

Metody regulace zaplevelení pro precizní zemědělství

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Ing. Pavel Hamouz Ph.D.

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze

Rok vydání: 2014

Dedikace:

Metodika byla vytvořena s podporou projektu Ministerstva zemědělství České republiky č. QI111A184 „Optimalizace metod regulace zaplevelení v systému precizního zemědělství“

Oponentní posudky vypracovali:

Ing. Michal Hnízdl (Ministerstvo zemědělství České republiky)

Mgr. Jan Lipavský, CSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.)

Publikaci bylo přiděleno osvědčení č. 88406/2014-MZE

ISBN: 978-80-213-2538-8

OBSAH:

I. CÍL METODIKY	4
II. VLASTNÍ POPIS METODIKY	4
II.1. Úvod.....	4
II.2. Základní principy regulace zaplevelení v systému precizního zemědělství.....	5
II.3. Volba prostorového rozlišení variabilní regulace zaplevelení a tvorba aplikačního schématu	6
II.4. Mapování výskytu plevelů	6
II.4.1. Volba vhodné intenzity vzorkování výskytu plevelů	7
II.4.2. Automatizované způsoby získávání dat	7
II.4.2.1. Pozemní sensorové systémy	7
II.4.2.2. Dálkový průzkum	8
II.5. Technika pro variabilní aplikaci herbicidů	9
II.5.1. Postřikovače umožňující aplikaci jedné postřikové kapaliny	9
II.5.2. Postřikovače umožňující aplikaci více postřikových kapalin.....	10
II.5.3. Přímá injektáž pesticidních přípravků	10
II.5.4. Navigační a řídicí technika	11
II.6. Tvorba aplikačních map	12
II.7. Stanovení prahových hodnot pro ošetření	13
II.7.1. Ekonomické prahy škodlivosti	13
II.7.2. Dlouhodobé prahy škodlivosti	14
II.7.3. Dlouhodobé prahy škodlivosti plevelů pro precizní zemědělství.....	14
II.8. Praktické ověření prahů škodlivosti pro precizní hospodaření	15
II.8.1. Metodika experimentu	15
II.8.1.1. Hodnocení zaplevelení	15
II.8.1.2. Tvorba aplikačních map a variabilní aplikace herbicidů	17
II.8.1.3. Sklizeň a měření výnosu.....	19
II.8.1.4. Statistické zpracování dat	19
II.8.2. Výsledky experimentu	19
II.8.2.1. Vliv variabilní aplikace herbicidů na výnos ozimé pšenice a řepky	22
II.8.2.2. Vliv variabilní aplikace herbicidů na populace plevelů	23
II.8.3. Závěr studie	33
II.9. Doporučené hodnoty prahů pro cílenou regulaci zaplevelení.....	34
III. Srovnání „novosti postupů“	36
IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky	36
V. Ekonomické aspekty.....	37
VI. Seznam použité související literatury	37
VII. Seznam publikací, které předcházely metodice	41

I. CÍL METODIKY

Cílem této metodiky je poskytnout zemědělské prvovýrobě návod pro uskutečnění cílené regulace zaplevelení, tedy zejména popsat a doporučit vhodné metody mapování výskytu plevelů, popsat postupy použité při optimalizaci prahů škodlivosti plevelů a navrhnout prahy škodlivosti plevelů vhodné pro použití v systémech precizního hospodaření, které z dlouhodobého hlediska nebudou způsobovat významný nárůst zaplevelení a v neposlední řadě také usnadnit výběr techniky vhodné pro tento způsob regulace výskytu plevelů. To má v konečném důsledku zajistit rychlejší prosazení cílené aplikace herbicidů do praxe a snížení zátěže životního prostředí herbicidními látkami.

II. VLASTNÍ POPIS METODIKY

II.1. Úvod

Přípravky na ochranu rostlin používané v intenzivní zemědělské výrobě napomáhají k dosažení vysokých a stabilních výnosů plodin, avšak představují riziko pro životní prostředí a pro lidské zdraví. Intenzivní snaha o omezování použití pesticidů v zemědělské výrobě je v současné době v ČR reprezentována zejména vytvořením tzv. Národního akčního plánu ke snížení používání pesticidů v České republice (č. 87595/2012-MZE-17221), který byl vytvořen v souladu s požadavky směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/128/ES (MZE, 2012). Tento akční plán podporuje zavádění prvků integrované ochrany rostlin, která zahrnuje použití prahů škodlivosti při rozhodování o aplikaci prostředků na ochranu rostlin. Pro skutečné praktické využití prahů škodlivosti však v mnoha případech chybí spolehlivé a současně časově nenáročné metody detekce škodlivých organismů zohledňující možnou variabilitu uvnitř jednotlivých pozemků. Přitom právě tato variabilita poskytuje značný potenciál úspory pesticidů a to zejména v oblasti regulace zaplevelení. Precizní hospodaření na půdě je založeno především na cílené aplikaci prostředků ochrany rostlin a hnojiv. Hlavním úkolem těchto cílených zásahů je omezit celková množství aplikovaných pesticidů a hnojiv a soustředit je na místa, kde jsou nejvíce potřebné a účinné. Výsledkem je potom hospodaření šetrnější k životnímu prostředí.

Předkládaná metodika je jedním z výsledků řešení projektu QI 111A184 „Optimalizace metod regulace zaplevelení v systému precizního zemědělství“ Projekt byl řešen v rámci programu „Výzkum v agrárním komplexu“ v letech

2011-2014. Projekt si klade za cíl stanovit vliv variabilní aplikace herbicidů na výnos plodiny a na dynamiku plevelných společenstev ve vybraných plodinách a jejich sledech a optimalizovat hodnoty prahů škodlivosti pro systém variabilní aplikace herbicidů. Při řešení projektu byly využity nové postupy ověřování a optimalizace prahů škodlivosti pro plevele, tak aby byly uplatnitelné v systému precizního hospodaření.

Metodika shrnuje poznatky získané během řešení projektu a doplňuje je o informace z dalších vědeckých a odborných zdrojů tak, aby usnadnila rozhodování zemědělských prvovýrobců a urychlila rozvoj používání cílených metod regulace zaplevelení.

II.2. Základní principy regulace zaplevelení v systému precizního zemědělství

Je dosud běžnou zemědělskou praxí, že se na celý pozemek aplikuje jednotná dávka herbicidu, přestože některé jeho části vykazují jen slabý nebo nulový výskyt plevelů. Cílená regulace zaplevelení založená na principu precizního zemědělství naopak tuto variabilitu zohledňuje. Regulační zásah je uskutečněn pouze v těch částech pozemku, kde výskyt plevelů překračuje práh škodlivosti (Sökefeld *et al.*, 2000, Gerhards *et al.*, 2000). Tím je možné dosáhnout významné úspory herbicidu (Hamouz *et al.*, 2013), omezit ekologickou zátěž prostředí, a v některých případech také omezit herbicidní poškození plodiny (Gerhards *et al.*, 2012). V ošetřovaných částech pozemku může být intenzita regulačního zásahu jednotná, nebo může dále zohledňovat hustotu zaplevelení. V případě aplikace herbicidů bývá například regulována dávka přípravku dle aktuální hustoty zaplevelení. Použití těchto metod však předpokládá, že je na dostatečně podrobné úrovni zmapováno zaplevelení pozemku. Při vytváření informace o výskytu jednotlivých druhů a jejich agregace je důležité dosáhnout co největšího přiblížení realitě a zároveň udržet spotřebu času na nízké úrovni. Současně je nutné pro rozhodnutí o regulačním zásahu zvolit vhodný práh. Je třeba použít takovou hodnotu, aby nedocházelo v některých částech pozemku ke zbytečné aplikaci herbicidu. Na druhou stranu však nesmí na neošetřených plochách docházet k významným ztrátám výnosu plodiny nebo k intenzivní produkci semen plevelů, která by v následujících letech vedla k výraznému nárůstu zaplevelení. Podobně jako v případě konvenčních metod regulace zaplevelení i zde platí, že práh škodlivost je třeba posuzovat pro jednotlivé druhy plevelů a je také nutné samostatně regulovat skupiny plevelů s odlišnou citlivostí vůči herbicidům. Toto činí systém cílené regulace zaplevelení poměrně komplexním a jeho uplatnění je možné pouze s využitím moderní zemědělské techniky, informačních a

navigačních technologií. Realizace systému cílené regulace zaplevelení zahrnuje celou řadu kroků, které jsou podrobně popsány v následujících kapitolách.

II.3. Volba prostorového rozlišení variabilní regulace zaplevelení a tvorba aplikačního schématu

Při cílené regulaci zaplevelení bývá nejčastěji využívána variabilní aplikace herbicidů pomocí postřikovače. V tomto případě je prostorové rozlišení dáno velikostí tzv. aplikačních buněk, tedy ploch, které budou individuálně hodnoceny a následně ošetřovány. Obecně platí, že velikost aplikačních buněk by měla být dostatečně malá na to, aby bylo možné rychle reagovat na náhlé prostorové změny hustoty zaplevelení. Pokud je pozemek herbicidně ošetřován ve stejném směru, ve kterém probíhá zpracování půdy a sklizeň, je vhodné volit obdélníkový tvar aplikačních buněk, jejichž delší strana bude právě ve směru obhospodařování, protože ohniska zaplevelení bývají v tomto směru prodloužená a změny hustoty populací plevelů tedy probíhají pomaleji než ve směru příčném. Šířku aplikačních buněk je samozřejmě nutné přizpůsobit také záběru jednotlivých sekcí aplikačního rámu postřikovače. Šíře sekcí postřikovače se nejčastěji pohybuje mezi 4,5 a 6 m, což lze současně považovat za vhodnou šířku pro aplikační buňky. Vhodná délka aplikačních buněk závisí zejména na rychlosti reakce postřikovače při otevírání a uzavírání ventilů jednotlivých sekcí. Při vhodném nastavení postřikovače a použití přesného navigačního systému lze obvykle chybu aplikace v podélném směru snížit pod jeden metr. V takovém případě lze doporučit délku aplikačních buněk v rozmezí 10 - 20 m v závislosti na míře variability pozemku. V případě použití aplikačních strojů s výraznějším zpožděním aplikace oproti signálu je však třeba zvolit délku aplikačních buněk podstatně větší. Aplikační schéma je třeba navrhnout tak, aby přesně korespondovalo s kolejovými řádky postřikovače, tedy aby jednotlivé sekce postřikového rámu přesně pokrývaly aplikační buňky. Pokrytí pozemku aplikačními buňkami lze navrhnout v některém z GIS programů. K tomu je nezbytné zaměřit hranice pozemku s chybou pokud možno menší než 0,5 m.

II.4. Mapování výskytu plevelů

Prostorovou distribuci populací plevelů v rámci pozemku je možné mapovat manuálně nebo pomocí sensorové techniky. Při manuálním mapování je zaplevelení v porostu zjišťováno pomocí rámců o známé velikosti, v nichž je hodnocen počet jednotlivých druhů plevelů nebo jejich pokryvnost. Zvláště

v případě hodnocení početnosti je manuální způsob mapování poměrně časově náročný a může být efektivní jen v situacích, kdy se na pozemku nachází velmi malé množství plevelů. V takovém případě je hodnocení vzorkovaných ploch rychlé a dosažená úspora herbicidu vysoká. Rychlejší způsob mapování může být zajištěn pomocí automatizovaných metod využívajících senzorovou a výpočetní techniku. Pro oba způsoby mapování však platí, že intenzita vzorkování musí být dostatečná, aby bylo dosaženo dostatečně spolehlivé mapy, která bude odrážet skutečný výskyt plevelů na pozemku.

II.4.1. Volba vhodné intenzity vzorkování výskytu plevelů

Intenzita vzorkování je dána velikostí a počtem vzorkovaných ploch a souhrnně ji lze vyjádřit procentem vzorkované plochy oproti celkové ploše pozemku. V řadě vědeckých studií byla sledována chyba odhadu hustoty populace na velikosti vzorkované plochy. Z výsledků předcházejících výzkumů (Hamouz *et al.* 2007, Hamouz, nepublikovaná data) vyplývá, že pokud jsou u druhů s nižší hustotou populace jako např. svízel přitula při vzorkování analyzována přibližně 3% celkové plochy, korelační koeficient mezi skutečnými a naměřenými hustotami populace se pohybuje v rozmezí 0,4 - 0,72 a průměrná relativní chyba může dosáhnout až 86 %. Chyba vzorkování pro jednotlivá vzorkovaná místa pozemku však může být i podstatně vyšší. Klíčovým faktorem pro spolehlivou detekci zaplevelení je tedy dostatečná velikost vzorkované plochy, která je dána velikostí jednotlivých vzorků a jejich hustotou. Pro dosažení přijatelné míry spolehlivosti map výskytu plevelů lze doporučit vzorkování 3 - 5 % celkové plochy pro druhy s vysokým prahem škodlivosti (např. violka rolní, rozrazil perský, hluchavky apod.). U druhů s nízkým prahem škodlivosti (např. svízel přitula, pcháč oset) je nutné vzorkování zintenzivnit na cca 10 % celkové plochy. Hustota vzorkování je obvykle přizpůsobena velikosti aplikačních buněk, přičemž pro dostatečné zachycení variability je třeba vzorkovanou plochu každé aplikační buňky rozdělit nejméně do čtyř dílčích vzorků, které budou rovnoměrně rozmístěny uvnitř buňky.

II.4.2. Automatizované způsoby získávání dat

II.4.2.1. Pozemní sensorové systémy

Pozemní systémy pro detekci plevelů lze rozdělit do dvou základních skupin. Na jedné straně stojí metody, které pomocí senzorů jsou schopny pouze rozlišit, zda se na určité ploše nalézá odpovídající množství biomasy a podle toho otevřít či uzavřít trysky postřikovače (Biller *et Ihle*, 2000, Wartenberg *et Dammer*, 2002). Např. Felton *et McCloy* (1992) vyvinuli Spot-spraying-system pro neselektivní herbicidy založený na senzorech zachycujících odrazivost porostu v reálném čase. Trysky postřikovače jsou automaticky otevřeny, pokud senzor zachytí vyšší podíl zelené vegetace, než je stanovený práh. Tato technika funguje

jednoduše a rychle, je cenově poměrně výhodná a v praxi snadno použitelná. Nevýhodou však je, že nelze odlišit plevele od plodiny a lze tedy hodnotit zaplevelení jen v meziporostním období (např. na strništi) nebo v meziřádcích širokořádkových plodin. Kromě toho není možné rozlišit jednotlivé druhy plevelů, což komplikuje výběr herbicidů vhodných pro ošetření.

Na druhé straně je vyvíjena celá řada metod uplatňujících podrobnou digitální analýzu obrazu. Jsou schopny pomocí odpovídajících algoritmů odlišit plevele od kulturní rostliny, případně i stanovit druhovou příslušnost plevelných rostlin (Gerhards *et al.*, 2000, Sökefeld *et al.*, 2000). Tyto postupy jsou náročné a pracují pomaleji, díky ukládání a georeferenci snímku však umožňují dodatečnou analýzu snímků a vytváření map. Je vynakládáno úsilí ke zvýšení jejich rychlosti, aby mohly být rovněž využívány v on-line režimu. Např. Philipp *et al.* (2002) využil parametrů jako je plocha, obvod, konvexita či cirkularita pro obrazovou analýzu a identifikaci jednoduchých a dvouděložných plevelů přičemž dosáhl přesnosti klasifikace 77,2 %. Gerhards *et Oebel* (2006) využili tvarové vlastnosti pro klasifikaci plevelů v obilninách. Snímkování bylo uskutečněno pomocí bispektrální kamery v červeném a NIR pásmu. Přesnost klasifikace se pohybovala od 69 do 100% v závislosti na druhu. Jedná se zatím o jeden z neúspěšnějších systémů a jeho modifikovaná verze je již komerčně dostupná. Lze přepokládat její postupné uplatnění v praxi, zejména u podniků služeb a velkých zemědělských podniků.

II.4.2.2. Dálkový průzkum

Většina metod dálkového průzkumu využívá pro detekci vegetace oblast elektromagnetického spektra v rozmezí od 400 do 2500 nm. Významné rozdíly ve spektrální odrazivosti vegetace a půdy lze nalézt zejména v červeném a NIR pásmu. Zatímco půda vykazuje podobnou odrazivost v obou uvedených spektrálních pásmech, v případě rostlinné vegetace je většina červeného záření pohlcena a NIR záření naopak z velké části odraženo (Scottford *et Miller*, 2005).

V případě dálkového průzkumu bývá obvykle snímkována celá plocha pozemku a odpadá tedy riziko nedostatečné intenzity vzorkování. Hlavními faktorem, který určuje použitelnost dálkového průzkumu pro detekci plevelů je v tomto případě prostorové a spektrální rozlišení získaných dat. Spektrální rozlišení je dáno počtem spektrálních pásem, která jsou samostatně snímána a zaznamenávána pro každý pixel snímku. Multispektrální data pokrývají jen několik spektrálních pásem a poskytují tedy zjednodušenou informaci o spektrálních vlastnostech snímkaných objektů. Naproti tomu hyperspektrální senzory měří odrazivost pro velký počet úzkých spektrálních pásem a poskytují tak přesnější informaci o průběhu spektrální křivky objektu.

Pro snímkování může být využito buď leteckých, nebo satelitních platform. Obecně platí, že letecké snímky poskytují vyšší prostorové rozlišení než satelitní data. Multispektrální nebo hyperspektrální snímkování bylo již mnohokrát použito pro analýzu zemědělských porostů (např. Lass *et al.*, 1997; Lass *et al.*, 2005), avšak jen menší počet studií byl zaměřen na rozpoznání plevelů. Jacobi *et al.* (2006) použil data ze satelitního systému QuickBird pro detekci ohnisek plevelů v cukrové řepě, avšak kvůli nízkému prostorovému rozlišení bylo možné detekovat pouze ohniska pcháče osetu větší než 2 m. Lamb *et al.* (1999) použil multispektrální snímkování s pomocí letadla pro identifikaci ovsa hluchého v porostu triticales. Prostorové rozlišení 0,5 m umožnilo rozpoznat ohniska s hustotou tohoto plevele vyšší než 16 rostlin/m². V případě použití vrtulníku nebo bezpilotních platform lze díky malé letové výšce a nízké letové rychlosti získat kvalitní snímky s podstatně vyšším prostorovým rozlišením (méně než 0,05 m).

Pro identifikaci ohnisek plevelů na základě spektrálních vlastností jsou obvykle využívány tzv. vegetační indexy, tedy matematické kombinace hodnot odrazivosti v jednotlivých spektrálních pásmech. Jedním z nejběžnějších vegetačních indexů je NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Ashley *et al.*, 1975), později však byly vytvořeny nové indexy omezující vliv půdy na spektrální odezvu porostu (např. Huete (1988), Baret *et al.* (1989), Qi *et al.* (1994).

Dálkový průzkum má v současné době pro cílenou regulaci zaplevelení zatím jen malý význam. Rozlišení satelitních snímků není dostačující k tomu, aby bylo schopné zachytit plevele v časných růstových fázích. Kromě toho nejsou vždy v době ošetření pěstiteli k dispozici vhodné snímky. Monitoring pomocí letadla či vrtulníku je pro své vyšší rozlišení a relativně nižší náklady výhodnější. Pro detekci plevelů v současné době představují značný potenciál zejména bezpilotní letecké platformy, a to zejména díky nízkým provozním nákladům, malé letové výšce a tím možnosti dosažení vysokého rozlišení snímků.

II.5. Technika pro variabilní aplikaci herbicidů

II.5.1. Postřikovače umožňující aplikaci jedné postřikové kapaliny

Pro jednodušší formu variabilní aplikace herbicidů postačuje běžná technika, kterou je v současné době vybavena již velká část zemědělských podniků. Jedná se o standardní postřikovač s možností automatického ovládní jednotlivých sekcí (např. systémy Trimble Field IQ, Topcon ASC-10) v kombinaci s navigačním systémem. Tato technika umožní rychlé otevírání a uzavírání sekcí postřikovače na základě aplikační mapy bez nutnosti další investice. Nevýhodou však je, že není možné měnit dávkování v závislosti na intenzitě výskytu plevelů a není možné aplikovat nezávisle více herbicidních látek. V případě potřeby aplikace

více přípravků je tedy nutné uskutečnit jejich aplikaci samostatně (opakovaným přejezdem pozemku) nebo použít tank-mix více přípravků. V takovém případě však dojde ke snížení úspory herbicidů, protože některé herbicidní látky budou aplikovány i na místa, kde jejich aplikace není nutná. I přes uvedené nedostatky je tato varianta zejména zatím nejvhodnějším prostředkem pro variabilní aplikaci herbicidů, a to zejména díky své jednoduchosti a minimálním dodatečným nákladům.

II.5.2. Postřikovače umožňující aplikaci více postřikových kapalin

Pro umožnění nezávislé aplikace více pesticidních látek jsou vyvíjeny aplikační systémy obsahující více hydraulických okruhů včetně samostatných nádrží na postřikovou kapalinu. Např. Gerhards *et* Oebel (2006) vyvinuli postřikovač pro nezávislou aplikaci tří postřikových kapalin. Tento počet je pro běžné praktické použití dostačující a oproti standardním postřikovačům zajistí úsporu času i provozních nákladů. Na druhou stranu lze předpokládat výrazně vyšší cenu stroje a kvůli složitějšímu technickému řešení také jeho vyšší poruchovost.

II.5.3. Přímá injektáž pesticidních přípravků

Systémy přímé injektáže představují technicky pokročilé řešení, kde k mísení pesticidního přípravku s nosičem (vodou) dochází až v průběhu aplikace. Přípravky jsou čerpány obvykle přímo z původních obalů a dávkování přípravku je zajištěno pomocí mikročerpadel nebo elektromagnetických ventilů. K homogenizaci postřikové kapaliny dochází při dopravě kapaliny k tryskám nebo je zajištěna pomocí míchadel různých konstrukcí.

Jednoznačnou výhodou tohoto systému je, že v nádrži postřikovače je pouze voda a po ukončení aplikace nezůstávají zbytky postřikové jíchy v nádrži. Nespotřebované pesticidy zůstávají v původních obalech, které je možné uzavřít a přípravky uložit do skladu k pozdější spotřebě. Další významnou výhodou je možnost změny dávky jednotlivých přípravků v průběhu aplikace, přičemž počet aplikovaných přípravků je kromě jejich mísitelnosti omezen jen počtem dávkovacích mikročerpadel.

Výrazným nedostatkem, který v současné době limituje použití těchto systémů je zpoždění skutečné aplikace přípravku oproti signálu k aplikaci. Toto zpoždění je způsobeno zejména nutností dopravy namíchané postřikové jíchy k aplikačním tryskám. V závislosti na místě přípravy postřikové jíchy lze rozlišit několik variant tohoto systému (Vondricka *et* Schulze Lammers, 2009):

- centrální aplikace a mísení přípravků v hlavním potrubí - kvůli značné vzdálenosti trysek od místa injektáže přípravků vykazuje tento princip značné zpoždění aplikace, které může činit i více než 20 vteřin. Při běžné

pracovní rychlosti postřikovače tak chyba aplikace může být vyšší než 100 m. Z tohoto důvodu není systém v praxi použitelný pro variabilní aplikaci herbicidů.

- injektáž přípravků do jednotlivých sekcí postřikovače - injektáží do jednotlivých sekcí jsou výrazně zkráceny dopravní vzdálenosti postřikové kapaliny a tím i snížena chyba aplikace, která může klesnout pod 20 m. Takový systém může být využitelný pro off-line aplikaci na základě předem známé mapy, kde je možné při ovládání sekcí toto zpoždění do jisté míry zohlednit. Toto řešení je však nevhodné pro on-line použití, kdy je jedním přejezdem stroje detekováno zaplevelení a současně aplikován herbicid.
- injektáž pesticidu k jednotlivým tryskám - tímto způsobem lze dále významně zkrátit čas potřebný k přípravě postřikové kapaliny a její aplikaci na hodnotu nižší než 0,2 s, což je dostačující i pro on-line aplikační systémy. Zde je však nezbytné současně zajistit dostatečnou homogenizaci kapaliny, která se díky velmi krátké vzdálenosti mezi injektážním ventilem a tryskou nestihne homogenizovat samovolně jako je tomu u předcházejících systémů. Homogenizace je v tomto případě zajišťována pomocí míchacích komůrek umístěných mezi injekční ventil a aplikační trysku. Stroje umožňující přímou injektáž přípravků k jednotlivým tryskám jsou dosud předmětem vývoje. Jejich značná složitost a vysoká cena zatím brání praktickému využití při variabilní aplikaci.

II.5.4. Navigační a řídicí technika

V současné době je na našem trhu celá řada zařízení pro určování polohy a navádění stojů, sledování aplikace přípravků a ovládání jednotlivých sekcí postřikovače nebo i řízení aplikované dávky. Tato zařízení mohou být obvykle kombinována s různými typy antén nebo přijímačů zajišťujícími různou úroveň přesnosti navigace. V praxi jsou obvykle využívány tyto tři systémy a tomu odpovídající úrovně přesnosti:

- DGPS - chyba dosahuje 0,3 - 1 m, korekční signál je obvykle bezplatný
- Omnistar - chyba dosahuje 5 - 15 cm, korekční signál je obvykle zpoplatněn
- RTK - chyba dosahuje 2 - 5 cm, korekční signál je obvykle zpoplatněn

Pro variabilní aplikaci lze využít všechny tyto možnosti, avšak v případě DGPS dochází ke zvýšení nepřesnosti ovládání sekcí na začátku a konci aplikačních buněk a existuje také určité riziko zvýšeného bočního přesahu sekcí a tím jejich nežádoucího otevření či uzavření. Proto lze doporučit spíše přesnější formy navigace.

Pro variabilní aplikaci je třeba navigační systém nastavit tak, aby k otevírání a uzavírání sekcí docházelo přesně v požadovaném okamžiku a tedy v přesně určených místech pozemku. Zejména je třeba v navigačním přístroji upravit hodnoty zpoždění při otevírání a uzavírání ventilů sekcí a ověřit vzdálenost antény od ramen postřikovače tak, aby tyto hodnoty odpovídaly skutečnosti. Skutečnou chybu způsobenou nesprávným okamžikem otevření či uzavření ventilů je vhodné ověřit na zkušební ploše s vyznačenými hranicemi aplikačních buněk. Dále je třeba upravit citlivost jednotlivých sekcí k přesahu do sousedních ploch. V ideálním případě každá sekce pokrývá svým záběrem přesně šířku aplikační buňky, ale v praxi dochází k určitým přesahům sekcí do sousedních buněk např. při vychýlení z jízdní dráhy nebo vlivem nepřesnosti navigace. Nevhodným nastavením citlivosti může docházet k chybám dvojího druhu:

- příliš citlivé nastavení pro vypínání sekcí může způsobit, že sekce při mírném přesahu do sousední buňky bude vypnuta, protože tato sousední buňka nemá být ošetřena nebo případně již ošetřena byla při předchozí jízdě postřikovače (týká se okrajových sekcí).
- příliš citlivé nastavení pro zapínání sekcí může způsobit, že sekce při mírném přesahu do sousední buňky bude zapnuta, protože tato sousední buňka má být ošetřena, a to i přesto, že převážná část sekce se nachází v neošetřované buňce.

Aby nedocházelo k ovlivnění sekcí postřikovače sousedními aplikačními buňkami, je v obou případech vhodné citlivost nastavit na cca 50 % maximální hodnoty.

II.6. Tvorba aplikačních map

Aplikační mapa definuje, které části pozemku budou určitým přípravkem ošetřeny a které nikoli. Rozhodování je založeno na zjištěné hustotě druhu nebo skupiny plevelů a současně na hodnotě použitého prahu. Jako podkladový vzor slouží obvykle mapa aplikačních buněk vymezující jednotlivé samostatně ošetřované plochy.

Stanovení potřeby ošetření jednotlivých aplikačních buněk lze provést v běžném tabulkovém procesoru porovnáním prahových hodnot s hustotou zaplevelení každé buňky. Výsledek je potom přenesen do GIS, kde je vytvořen mapový (shp) soubor pro uložení do navigačního přístroje postřikovače. Jak již bylo zmíněno výše, rozhodující pro spolehlivou cílenou regulaci zaplevelení je použití správných prahových hodnot pro regulační zásah.

II.7. Stanovení prahových hodnot pro ošetření

Prahové hodnoty použité pro rozhodování o aplikaci herbicidu nebo i jiném regulačním zásahu by měly odrážet zejména konkurenční schopnost plevelů spojenou se snižováním výnosu plodiny. Tato škodlivost může být vyjádřena tzv. prahem škodlivosti, který je obecně definován jako hustota plevelů, při které se začíná v porostu projevovat konkurence vůči plodině vedoucí k poklesu výnosu. Z řady výzkumů však vyplývá, že křivka škodlivosti nemá sigmoidní, ale spíše hyperbolický průběh. V takovém případě i minimální hustota zaplevelení způsobí určitou ztrátu výnosu a hodnotu takového prahu proto není možné stanovit (Cousens 1987). Oliver (1988) popisuje práh škodlivosti jako hustotu plevelů a dobu jejich působení v porostu plodiny, při které dochází k významnému poklesu výnosu plodiny (10 - 20%). I tato definice však velmi neurčitá a neumožňuje přímé využití těchto prahů pro rozhodování při regulaci zaplevelení. Řešením, které lépe odráží skutečný přínos regulace zaplevelení uskutečněné na základě prahových hodnot, je tzv. ekonomický práh škodlivosti.

II.7.1. Ekonomické prahy škodlivosti

Za ekonomický práh škodlivosti je považována taková hustota zaplevelení, při které se náklady na herbicidní ošetření rovnají ekonomickému přínosu tohoto ošetření (Cousens, 1987). Pokud hustota výskytu plevelů nedosahuje tohoto prahu, ekonomický přínos herbicidního ošetření bude nízký a regulační zásah nebude rentabilní. Při výpočtu ekonomického prahu je třeba zohlednit nejen výnosovou ztrátu způsobenou konkurencí plevelů, ale také ostatní ekonomické přínosy regulačního zásahu. V mnoha případech může být odstraněním plevelů například usnadněna sklizeň plodiny a zajištěna vyšší čistota sklizeného produktu.

Většina autorů obecně uvádí jako práh škodlivosti v obilovinách pro svízel 0,1 - 0,5 rostlin /m² pro ostatní jednoleté dvouděložné druhy 40 - 50 rostlin/m², pro trávy 20 - 30 rostlin/m² a pro celkové zaplevelení potom 5% pokryvnost (Niemann (1981), Wahmhoff *et* Heitefuss (1985), Beer *et* Heitefuss (1981)). V okopaních jsou uváděny obvykle nízké hodnoty ekonomického prahu škodlivosti plevelů, např. 0,32 - 4,17 rostlin/m² pro merlík bílý v kukuřici (Fischer *et al.*, 2004) nebo 0,1 - 0,5 rostlin/m² pro ježatku kuří nohu v cukrové řepě (Norris, 1992).

Již z podstaty ekonomických prahů je zřejmé, že jejich hodnoty mohou být velmi proměnlivé v závislosti na ceně herbicidního ošetření a ceně sklizeného produktu. Z hlediska konkurenčních vztahů mezi plevelem a plodinou jsou však také významně ovlivněny okamžikem vzházení plevelů i plodiny (např. Knezevic *et al.*, 1994, Bosnic *et* Swanton, 1997) a celou řadou dalších faktorů. Pallut *et* Flatter (1998) experimentálně zjistili, že úroveň konkurence plevelů v obilovinách může kolísat v závislosti na druhu obiloviny v poměru 1:2, dle kvality porostu

v poměru 1:4 a dle půdního typu 1:2. Největší závislost byla prokázána u vlivu povětrnostních podmínek, které mohou modifikovat míru konkurence více než desetinásobně.

Jedním z nejvýznamnějších nedostatků konceptu ekonomických prahů je to že, ekonomický přínos herbicidního zásahu je kalkulován pouze pro jeden rok a nejsou zohledněny změny populací plevelů v letech následujících po regulačním zásahu. Při použití ekonomických prahů tedy nelze vyloučit, že v některých částech pozemku s podprahovým výskytem plevelů dojde v důsledku absence regulačního zásahu k vysemenění plevelů a tím k nárůstu zaplevelení v následujících letech.

II.7.2. Dlouhodobé prahy škodlivosti

Dlouhodobé prahy, označované někdy také jako optimální ekonomické prahy zohledňují populační dynamiku plevelů a počítají tedy se ztrátami způsobenými vysemeněním plevelů na neošetřených plochách. Výpočet takových prahů je však velmi obtížný vzhledem k širokému spektru faktorů ovlivňujících skutečné hodnoty. Populace jednotlivých druhů jsou z dlouhodobého hlediska ovlivněny nejen regulačními zásahy a konkurenčním působením plodiny, ale také osevním postupem a zpracováním půdy. Tato komplexnost je příčinou toho, že hodnoty dlouhodobých prahů škodlivosti plevelů nejsou pro většinu plodin dosud k dispozici. Některé studie (např. Bauer *et* Mortensen, 1992) však naznačují, že hodnoty dlouhodobých prahů budou většinou ve srovnání s ekonomickými prahy podstatně nižší. Lze předpokládat, že velmi nízké hodnoty prahů budou nutné pro zabránění nárůstu populací zejména těch druhů, které produkují velké množství semen a současně jejich semena přežívají dlouhou dobu v půdě. Toto se týká zejména skupiny pozdních jarních plevelů jako merlík bílý, ježatka kuří noha nebo laskavec ohnutý a další.

II.7.3. Dlouhodobé prahy škodlivosti plevelů pro precizní zemědělství

Prahy vhodné pro precizní zemědělství (v případě plevelů tedy pro variabilní regulaci zaplevelení) v zásadě vycházejí z dlouhodobých prahů, měly by však zohledňovat některá specifika. V případě variabilní aplikace herbicidů, kdy je ošetřovaný pozemek rozdělen na malé části (aplikační buňky), je významný zejména prostorový aspekt šíření semen plevelů. Hodnota použitého prahu by měla zohledňovat nejen riziko nárůstu zaplevelení v aplikační buňce, ale také možnost snadného přenosu semen plevelů do sousedních buněk např. větrem, kombajnovou sklizní nebo zpracováním půdy a tím zvýšené zaplevelení v okolí neošetřené buňky. Podobně jako v předchozím případě nejsou hodnoty těchto prahů dosud stanoveny ani pro základní plodiny.

II.8. Praktické ověření prahů škodlivosti pro precizní hospodaření

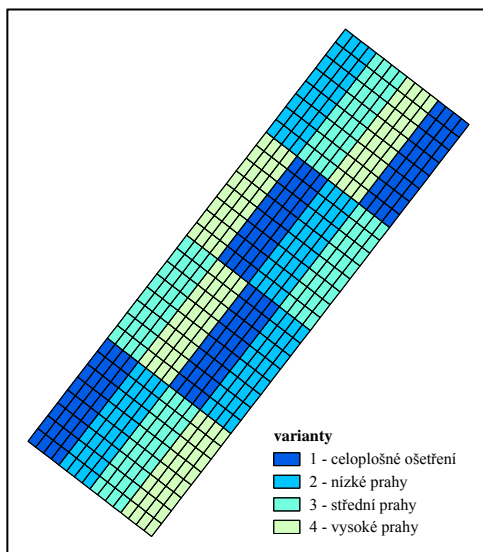
II.8.1. Metodika experimentu

Za účelem ověření vhodných hodnot prahů pro herbicidní ošetření byl na pokusném pozemku ve středních Čechách založen polní pokus pro sledování vlivu variabilní aplikace herbicidů na výnos plodin a populační dynamiku plevelů. Protože variabilní aplikace herbicidů nebyla dosud v ČR systematicky dlouhodobě použita, mohou tyto experimenty současně sloužit jako návod pro praktické využití, který odhaluje výhody, ale také slabé stránky tohoto systému.

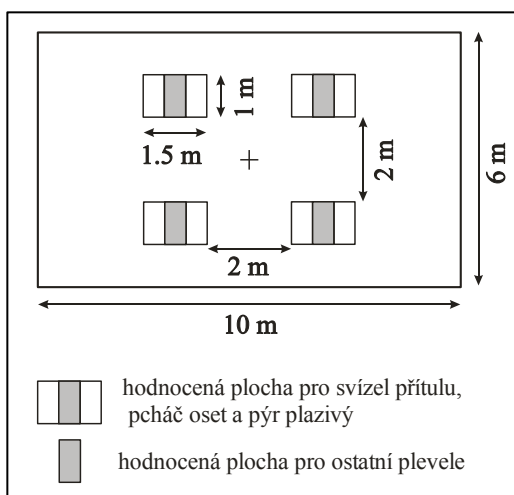
Na pokusné ploše Zibohlavy (okres Kolín) byla v letech 2011 - 2014 pěstována ozimá pšenice a ozimá řepka. Celá plocha (3,07 ha) byla rozdělena na 512 aplikačních buněk o velikosti 6×10 m, na nichž bylo individuálně hodnoceno zaplevelení a provedena případná aplikace herbicidů. Buňky by uspořádány do šestnácti bloků, do nichž byly ve znárodněném schématu umístěny čtyři varianty ošetření vždy se čtyřmi opakováními. Varianta č. 1 představovala kontrolní celoplošné ošetření herbicidy bez ohledu na hustotu populací plevelů, zatímco varianty 2, 3 a 4 byly ošetřovány variabilně na základě různých prahových hodnot hustoty plevelů. Uspořádání pokusu je patrné z obrázku č. 1.

II.8.1.1. Hodnocení zaplevelení

Zaplevelení bylo na všech pokusných pozemcích zhodnoceno manuálně vždy na jaře před aplikací postemergentních herbicidů. V centrální části každé aplikační buňky byla vždy ve čtyřech definovaných plochách stanovena početnost a pokryvnost jednotlivých druhů plevelů. Vzhledem k nízkému prahu škodlivosti byla pro svízel přítulu, pcháč oset a pýr plazivý zhodnocena plocha $4 \times 1,5$ m², pro ostatní dvouděložné plevele a pro trávovité plevele byla hodnocena plocha $4 \times 0,5$ m². Umístění hodnocených ploch uvnitř aplikačních buněk je znázorněno na obrázku 2.



Obrázek č. 1: Schéma uspořádání pokusu.



Obrázek č. 2: Umístění hodnocených ploch uvnitř aplikačních buněk na pozemku Zibohlavy

II.8.1.2. Tvorba aplikačních map a variabilní aplikace herbicidů

Aplikační mapy pro jednotlivé pokusné plochy byly vytvořeny pomocí ArcGIS software na základě předem definovaných prahů škodlivosti. Hodnoty použitých prahů pro jednotlivé varianty ošetření jsou uvedeny v tabulce č. 1. Ve formě shp souboru byly tyto mapy importovány do programu FarmWorks, přeneseny do řídicí jednotky postřikovače a byly přímo využity k ovládní jednotlivých sekcí ramen. Před vlastní aplikací herbicidů byla rovněž provedena kalibrace postřikovače tak, aby chyba zapínání a vypínání sekcí nepřesahovala 1 m.

Tabulka č. 1: Hodnoty použitých prahů pro jednotlivé varianty ošetření

Skupina plevelů	Varianta			
	1	2	3	4
	celoplošné ošetření	nízké prahy	střední prahy	vysoké prahy
svízel přítula	-	0,2	0,5	1
pcháč oset	-	0,2	0,5	1
pýr plazivý	-	0,2	0,5	1
hefmánkovec nevonný	-	5	10	15
ostatní dvouděložné plevele	-	10	20	30
jednoleté trávovité plevele	-	5	10	15

Tabulka č. 2: Herbicidní látky použité v průběhu čtyřletého experimentu, jejich dávkování a termíny aplikace

Herbicid	Dávka herbicidu (g/ha)				Termín aplikace (fáze BBCH)	Cílová skupina plevelů
	2011	2012	2013	2014		
pinoxaden + metylester řepkového oleje	40 +792	-	-	-	31	jednoleté trávy
pinoxaden	-	-	30	30	31	
metsulfuron-ethyl + tribenuron-methyl	4.4 +8.8	-	4.95 +9.99	4.95 +9.99	29	ostatní dvouděložné plevele
clopyralid	120	-	-	120	31	pcháč oset
fluroxypyr	125	-	175	175	29	svízel přítula
glyphosate-IPA	1440	-	-	-	87	pýr plazivý
metazachlor	-	600	-	-	preemergentně	jednoleté trávy a dvouděložné plevele
clomazone	-	90	-	-	preemergentně	jednoleté dvouděložné plevele
clopyralid + picloram	-	93.5 +23.5	-	-	32	jednoleté dvouděložné plevele a pcháč
propaquizafop	-	150	-	-	33	jednoleté trávy a pýr

II.8.1.3. Sklizeň a měření výnosu

Sklizeň obilnin a řepky byla provedena pomocí maloparcelní sklizecí mlátičky se záběrem 1,5 m. Výnos zrna byl stanoven vážením vzorků získaných vždy z plochy 15 m².

II.8.1.4. Statistické zpracování dat

Pro jednotlivé varianty ošetření byla vždy vypočtena úspora herbicidu oproti celoplošnému ošetření. Rozdíly v hustotě populací jednotlivých skupin plevelů byly analyzovány pomocí analýzy rozptylu a následného Tukeyova testu na hladině významnosti $\alpha = 0,1$. Za účelem porovnání prostorové stability populací byl vypočten Pearsonův korelační koeficient mezi hustotami výskytu jednotlivých skupin plevelů v letech 2011 a 2014.

II.8.2. Výsledky experimentu

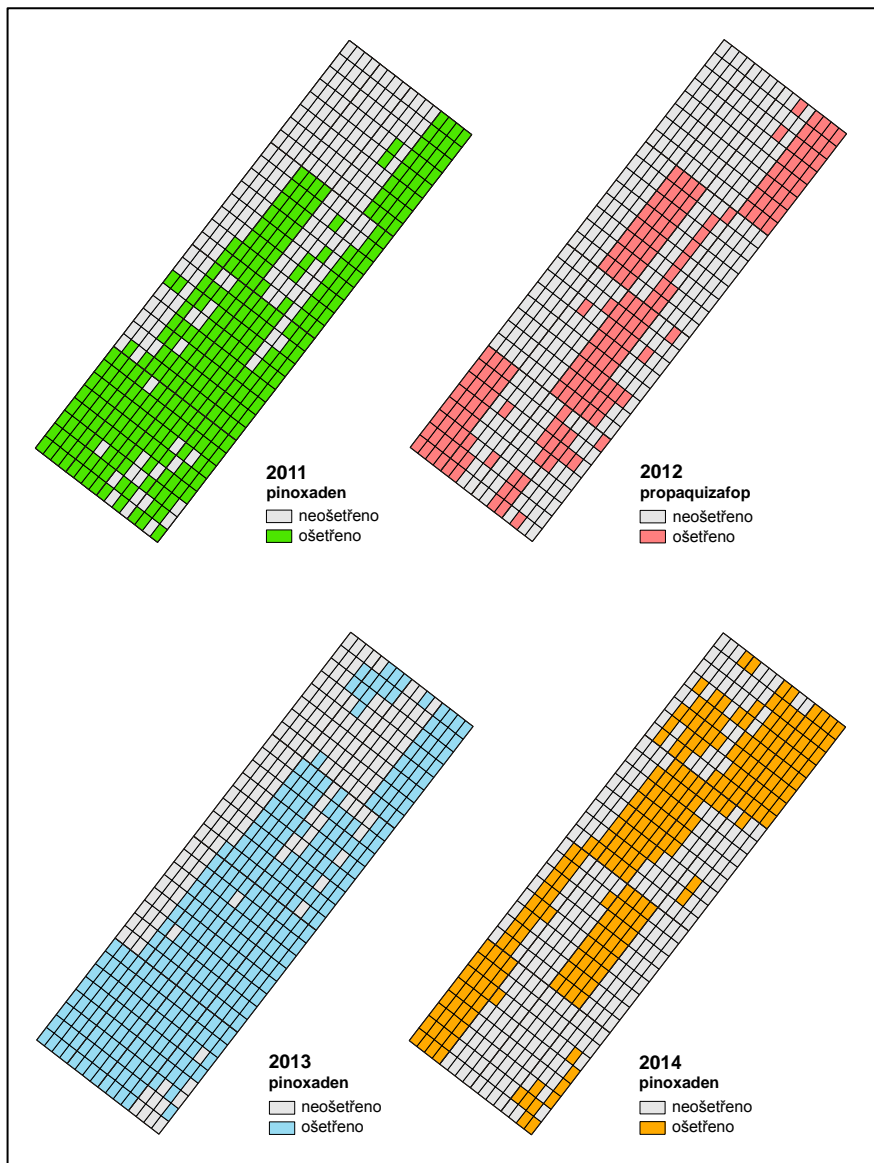
Experimentální pozemek vykazoval v roce 2011 při zahájení pokusu středně silné zaplevelení. Průměrná hustota plevelů činila 32 rostlin/m². Mezi nejpočetnější druhy patřila violka rolní, heřmánkovec nevonný a pýr plazivý. Výskyt nejvýznamnějších plevelů na počátku experimentu je patrný z map na obrázcích 11 - 13. Prostorové uspořádání populací jednotlivých druhů bylo většinou ohniskovité a umožňovalo nalézt části pozemku s podprahovým výskytem a dosáhnout tak úspory herbicidů při jejich cílené aplikaci. Dosažené úspory herbicidů pro jednotlivé varianty jsou sumarizovány v tabulkách 3 a 4. Příklad aplikačních map pro trávovité plevele je znázorněn na obr. 3. V následujících kapitolách je popsán vliv variabilní aplikace herbicidů na výnos plodin a dynamiku populací plevelů.

Tabulka č. 3: Úspora herbicidu v ozimé pšenici pro jednotlivé varianty ošetření (1- celoplošné ošetření, 2 - nízké prahy, 3 - střední prahy, 4 - vysoké prahy)

Herbicid	Úspora herbicidu (%)											
	2011				2013				2014			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
pinoxaden	0	50,8	75,8	90,6	0	31,3	39,8	58,6	0	80,5	74,2	64,1
metsulfuron-methyl + tribenuron-methyl	0	15,6	60,9	84,4	0	0	0	0	0	0	3,9	19,5
fluroxypyr	0	85,9	97,7	100	0	69,5	71,1	75,0	0	9,3	12,5	6,3
clopyralid	0	72,7	79,7	78,1	-	-	-	-	0	96,9	96,1	93,8
glyphosate-IPA	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabulka č. 4: Úspora herbicidu v ozimé řepce pro jednotlivé varianty ošetření (1- celoplošné ošetření, 2 - nízké prahy, 3 - střední prahy, 4 - vysoké prahy)

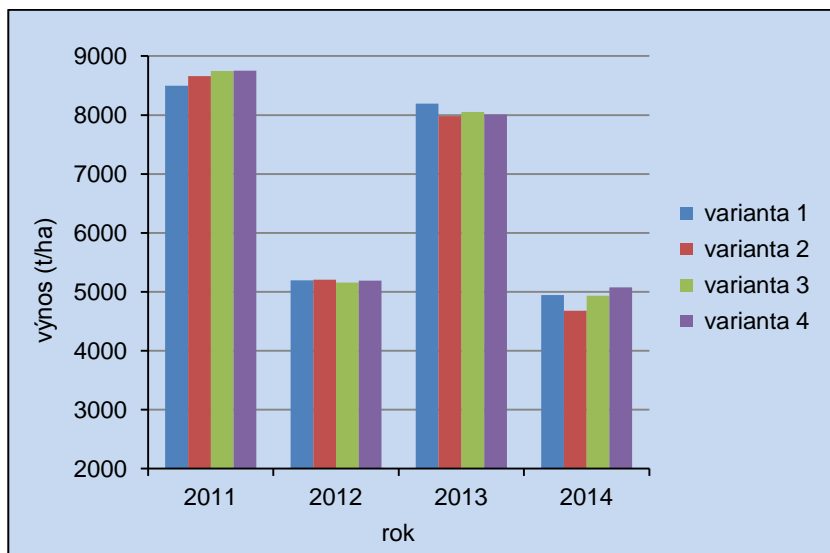
Herbicid	Úspora herbicidu (%)			
	1	2	3	4
metazachlor	0	0	0	0
clomazone	0	0	0	0
clopyralid + picloram	0	71,9	92,2	100
propaquizafop	0	79,7	90,6	91,4



Obrázek. č. 3: Aplikační mapy pro regulaci jednoletých trávovitých plevelů (2011, 2013, 2014) a pýru (2012)

II.8.2.1. Vliv variabilní aplikace herbicidů na výnos ozimé pšenice a řepky

Ve všech experimentálních letech byly zjištěny poměrně malé rozdíly mezi jednotlivými variantami ošetření. Průměrný výnos ozimé pšenice v roce 2011 se u jednotlivých variant pohyboval mezi 8498 - 8752 kg/ha, v roce 2013 mezi 7984 a 8195 kg/ha a v roce 2014 mezi 4681 a 5075 kg/ha. Výnos řepky v roce 2012 činil 5159 - 5205 kg/ha. V žádném z pokusných roků nebyl prokázán vliv variabilní aplikace na výnos plodiny v porovnání s celoplošně ošetřenou kontrolou ($p = 0,797 - 0,989$) a z dat není ani patrná žádná systematická tendence. Vyšší výnos variabilně ošetřených variant dosažený v prvním roce pokusu nebyl v následujících letech potvrzen. V žádném z pokusných roků nebyl nejnížší výnos dosažen na variantě 4 (nejvyšší hodnoty prahů) a lze se tedy domnívat, že ani nejvyšší použité prahové hodnoty nezpůsobily ztrátu na výnosu plodin. Průměrný výnos jednotlivých variant ve všech pokusných letech je sumarizován v tabulce 5 a graficky vyjádřen na obr. č. 4.



Obrázek č. 4: Výnos ozimé pšenice (2011, 2013, 2014) a ozimé řepky (2012) na jednotlivých variantách pokusu.

Tabulka č. 5: Výnos ozimé pšenice (2011, 2013, 2014) a ozimé řepky (2012) na jednotlivých variantách pokusu a jeho procentuální vyjádření oproti celoplošně ošetřené kontrole.

Varianta	2011		2012		2013		2014	
	Výnos (kg/ha)	%	Výnos (kg/ha)	%	Výnos (kg/ha)	%	Výnos (kg/ha)	%
1	8498	100	5195	100	8195	100	4947	100
2	8658	101,9	5205	100,2	7984	97,4	4681	94,6
3	8745	102,9	5159	99,3	8051	98,2	4934	99,7
4	8753	103,0	5192	99,9	8011	97,8	5075	102,6

II.8.2.2. Vliv variabilní aplikace herbicidů na populace plevelů

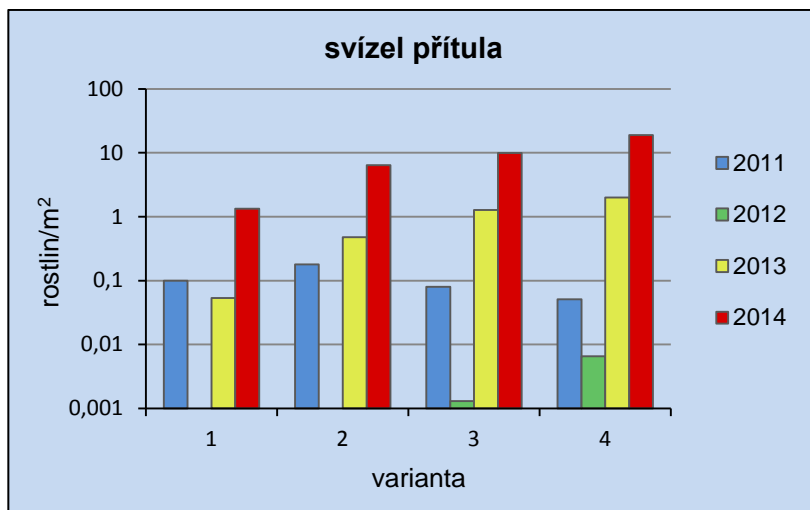
V následujícím textu jsou popsány změny v hustotě populací jednotlivých druhů nebo skupin plevelů pro celoplošně ošetřovanou variantu v porovnání s variantami variabilní aplikace herbicidu. Prezentovaná data představují vždy průměrné hustoty populace každého druhu nebo skupiny plevelů za celou variantu a vyjadřují tedy celkový trend populace. Změny v jednotlivých aplikačních buňkách jsou potom vyjádřeny korelačním koeficientem vypočteným mezi prvním a posledním rokem experimentu (tabulka č. 6). Průběh těchto změn u vybraných skupin plevelů je patrný také z map na obrázcích č. 11 - 13.

Svízel přítula

Výskyt svízele přítuly byl u všech variant při zahájení pokusu nízký a pohyboval se v průměru od 0,05 do 0,18 rostliny/m². Jarní variabilní aplikace herbicidu v ozimé pšenici s použitím výše uvedených prahů v kombinaci s preemergentním celoplošným ošetřením řepky na podzim 2011 zajistily nízký výskyt svízele na jaře 2012. V letech 2013 a 2014 však již došlo k výraznému nárůstu výskytu tohoto druhu na variabilně ošetřovaných variantách (obr. č. 5), přičemž hustota narůstala se vzrůstající hodnotou použitého prahu. V obou letech byl nalezen statisticky průkazný rozdíl mezi celoplošným ošetřením a variantou s nejvyšší hodnotou prahu.

Veškerý nárůst však nelze připsat pouze variabilní aplikaci, protože k určitému zvýšení došlo i na celoplošně ošetřené kontrole. Příčiny tohoto nárůstu je třeba hledat zejména v jednostranném osevním postupu se zastoupením pouze ozimých plodin v kombinaci s minimalizační technologií zpracování půdy, kdy nedochází k zapravení dozrálých semen svízele do větších hloubek. Nárůst ve čtvrtém roce na všech variantách byl způsoben také celkově nižší účinností herbicidu ve třetím roce.

Kvůli postupnému nárůstu populace svízele poklesla úspora herbicidu z 85,9 - 100% v roce 2011 jen na 6,3 - 12,5% v roce 2014 (tabulka č. 3). Poměrně vysoká korelace mezi roky 2011 a 2014 byla nalezena pouze u varianty 1 (viz tabulka č. 6), což svědčí o vlivu variabilní aplikace herbicidu na změny populace tohoto druhu.

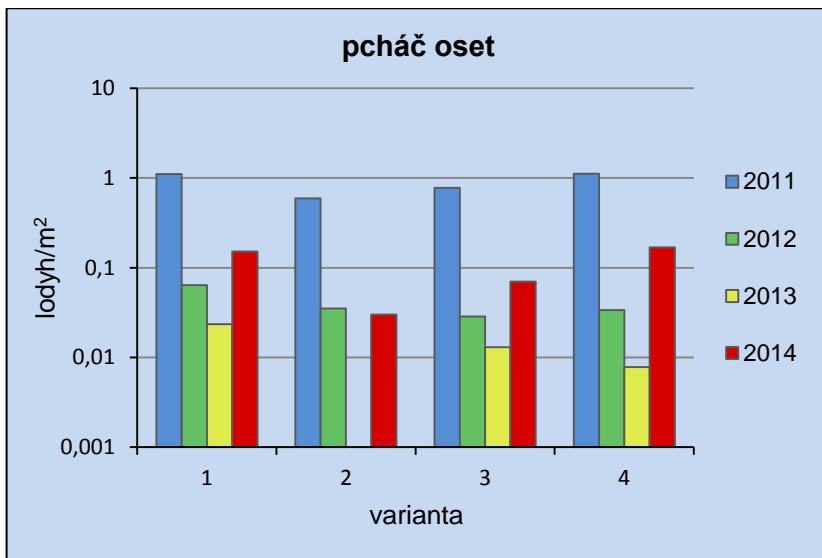


Obrázek č. 5: Vývoj průměrné hustoty populace svízele přítuly na jednotlivých variantách v průběhu experimentu

Pcháč oset

Počáteční poměrně vysoký výskyt byl variabilní aplikací clopyralidu v kombinaci s předsklizňovou celoplošnou aplikací glyfosatu velmi dobře potlačen. V následujících letech bylo nízké zaplevelení na variabilně ošetřovaných variantách udržováno ošetřováním jen relativně malého podílu plochy. Žádná z variabilně ošetřovaných variant nevykazovala průkazně zvýšené zaplevelení oproti celoplošně ošetřované kontrole (obr. č. 6).

Díky vysoké účinnosti aplikovaného herbicidu bylo možno dosáhnout vysoké úspory přesahující 90 % i v posledním roce experimentu (tabulka č. 3). Nízká korelace výskytu tohoto druhu mezi lety 2011 a 2014 byla způsobena spíše celkově nízkou hustotou a tím relativně vyšší chybou vzorkování, než rozšířením pcháče do neošetřených aplikačních buněk. V případě vyšších hustot by mohla být očekávána vyšší korelace vzhledem k vytrvalosti a vegetativnímu rozmnožování pcháče. Na základě těchto výsledků může být pro variabilní aplikaci doporučen i nejvyšší z testovaných prahů, tedy 1 lodyha/m².



Obrázek č. 6: Vývoj průměrné hustoty populace pcháče osetu na jednotlivých variantách v průběhu experimentu

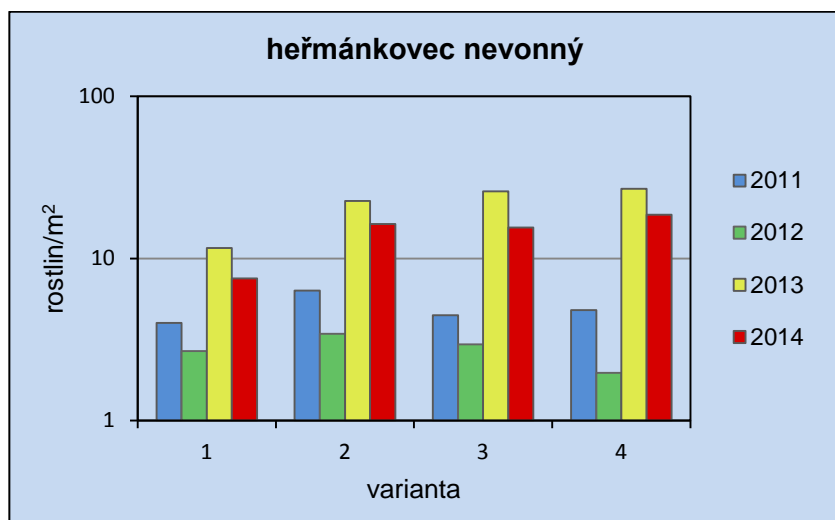
Heřmánkovec nevonný

V prvním roce experimentu byl výskyt heřmánkovce na pozemku střední a průměrná hustota pro jednotlivé varianty se pohybovala mezi 4,01 a 6,35 rostlinami/m². Ve druhém roce se podobně jako u ostatních druhů plevelů projevila plošná aplikace preemergentního herbicidu a výskyt heřmánkovce byl celkově nízký. Ve třetím a čtvrtém roce se však projevil výrazný nárůst zejména na variabilně ošetřených variantách (obr. č. 7). Vysoký výskyt v třetím roce znamenal téměř celoplošné ošetření všech variant a následný mírný pokles v roce 2014. Celkově lze sledovat mírnou tendenci nárůstu populace se zvyšujícím se prahem. Výskyt heřmánkovce byl nejvyšší u varianty č. 4, přestože v prvním roce zde byl výskyt srovnatelný s ostatními variantami. Statisticky významný rozdíl oproti celoplošně ošetřené kontrole byl nalezen u variant 3 a 4 v letech 2013 a 2014.

Vypočtenou úsporu herbicidu nelze v tomto případě vztahovat pouze k heřmánkovci, protože aplikovaný herbicid byl současně použit také proti skupině ostatních dvouděložných plevelů.

Z těchto výsledků je zřejmé, že z hlediska populační dynamiky jsou prahy použité u variant 3 a 4 pro variabilní aplikaci herbicidů v ozimých obilninách

nevhodné. I nejnižší použitý práh 5 rostlin/m² může způsobit zvýšené zaplevelení v následujících letech.



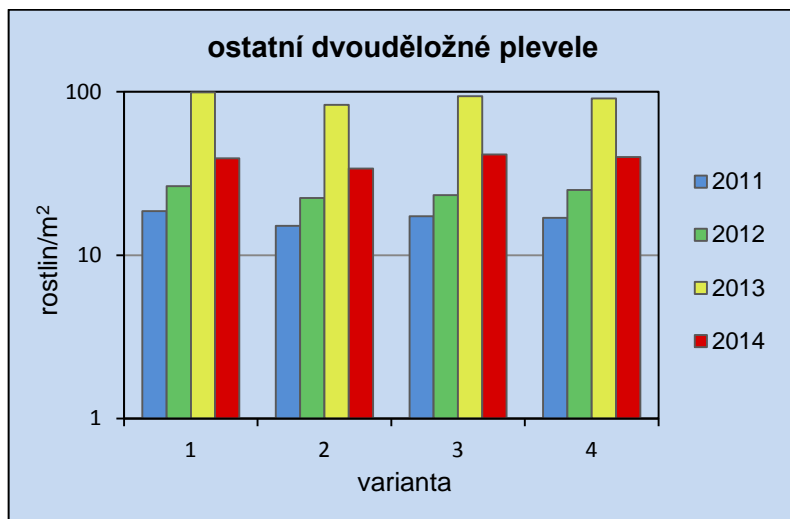
Obrázek č. 7: Vývoj průměrné hustoty populace heřmánkovce nevonného na jednotlivých variantách v průběhu experimentu

Ostatní dvouděložné plevely

Skupina ostatních dvouděložných plevelů byla na pozemku zastoupena převážně violkou rolní. Počáteční zaplevelení v roce 2011 bylo mezi variantami poměrně vyrovnané a pohybovalo se od 15,1 do 18,6 rostlin/m². Variabilní ošetření dle stanovených prahů se v následujícím roce neprojevovalo nárůstem zaplevelení a nejvyšší výskyt zůstal na celoplošně ošetřené variantě. Ve druhém roce bylo proti violce uplatněno pouze preemergentní celoplošné ošetření, protože postemergentní přípravky určené do ozimé řepky neposkytovaly proti tomuto druhu dostatečnou účinnost. To se projevilo nárůstem této skupiny v roce 2013, kde dominantním druhem byla opět violka rolní (obr. č. 8). Kvůli tomuto nárůstu byly prahy pro ošetření překročeny ve všech aplikačních buňkách a úspora herbicidu byla nulová. V posledním experimentálním roce došlo k mírnému snížení hustoty, přesto bylo dosaženo jen nízké úspory přípravku (viz tabulka č. 3).

V případě této skupiny došlo k celkovému nárůstu abundance, to se však týkalo i celoplošně ošetřované kontroly a nelze tento efekt přičíst variabilní aplikaci. Mezi celoplošným ošetřením a variabilně ošetřovanými variantami nebyly v žádném roce experimentu nalezeny statisticky průkazné rozdíly. Celkový nárůst

hustoty byl v tomto případě způsoben zejména opakovaným pěstováním ozimých plodin a nedostatečnou regulací violky rolní v roce 2012.

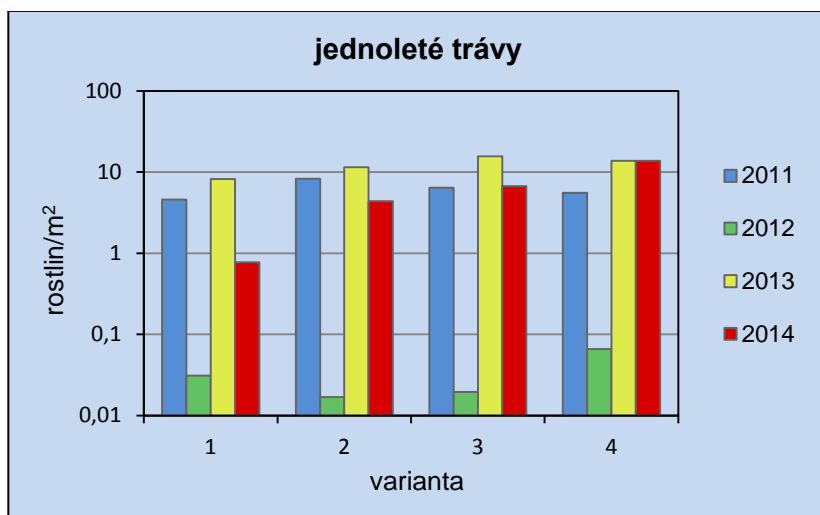


Obrázek č. 8: Vývoj průměrné hustoty populace ostatních dvouděložných plevelů na jednotlivých variantách průběhu experimentu

Jednoleté trávy

Jednoleté trávy byly na pokusné ploše zastoupeny zejména chundelkou metlicí. Z dalších druhů se pouze okrajově vyskytoval oves hluchý. V roce 2011 byl výskyt této skupiny mezi variantami poměrně vyrovnaný a pohyboval se mezi 4,58 a 8,58 rostlin/m². Variabilní aplikace pinoxadenu v ozimé pšenici s následnou celoplošnou aplikací preemergentního herbicidu v řepce zajistila velmi nízký výskyt jednoletých trav na jaře 2012, přičemž rozdíly mezi variantami byly zanedbatelné. V tomto roce nebylo proti jednoletým travám samostatně ošetřováno, avšak část jich mohla být zasažena ošetřením proti pýru. Výskyt jednoletých trav v roce 2013 byl poměrně vyrovnaný a přibližně odpovídá počátečnímu stavu jen s mírně vyšší početností na variabilně ošetřovaných variantách. V posledním pokusném roce se však rozdíly mezi variantami prohloubily a početnost jednoletých trav poklesla u celoplošně ošetřené varianty (obr. č. 9). V případě variabilního ošetření zůstává početnost vysoká a narůstá se zvyšující se hodnotou použitého prahu. Průkazný rozdíl byl nalezen pouze mezi variantami 1 a 4.

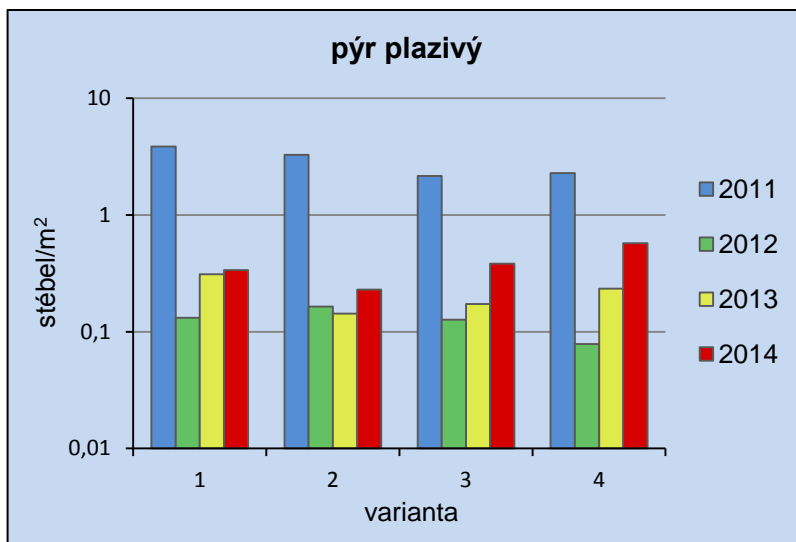
Silná negativní korelace výskytu chundelky na variabilně ošetřovaných variantách (tabulka č. 6.) dokládá, že chundelka metlice nevytváří dlouhodobou zásobu semen v půdě a většina obilek vyklíčí na podzim. Nejvyšší zaplevelení bylo zjištěno v těch aplikačních buňkách, kde byl v předcházejícím roce výskyt podprahový, a herbicidní ošetření zde nebylo provedeno. I přes vyšší zaplevelení variabilně ošetřovaných variant chundelkou metlicí oproti kontrole lze variabilní regulaci vůči tomuto druhu doporučit. Vysoká účinnost použitého herbicidu a krátká životnost obilek chundelky v půdě umožnily dosažení úspory herbicidu ve všech experimentálních letech (tabulka č. 3).



Obrázek č. 9: Vývoj průměrné hustoty populace jednoletých trav na jednotlivých variantách průběhu experimentu

Pýr plazivý

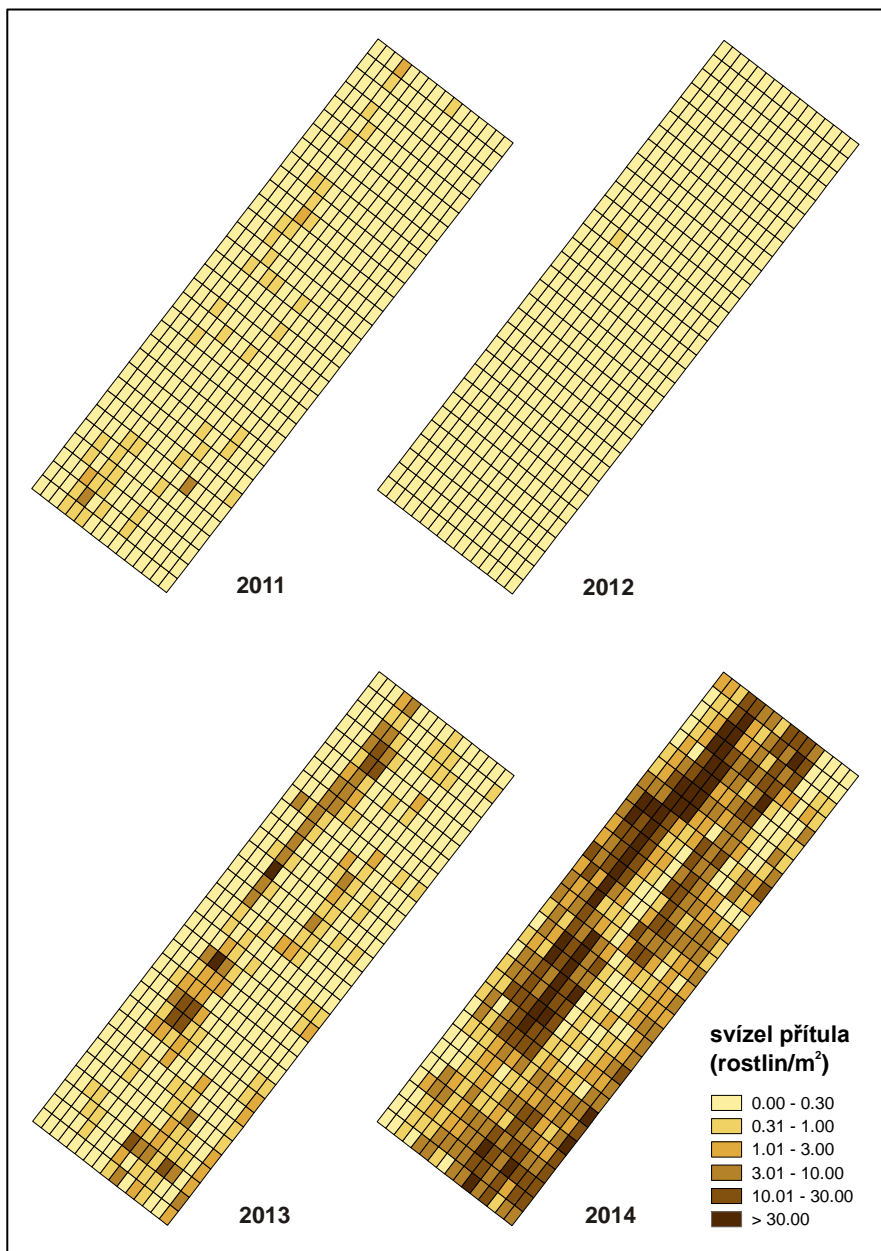
Počáteční zaplevelení pozemku pýrem bylo poměrně silné a vzhledem k aplikaci ostatních přípravků a riziku poškození porostu již nebylo možné v jarním období aplikovat další herbicid proti tomuto vytrvalému druhu. Regulace pýru byla proto řešena předsklizňovou aplikací neselektivního herbicidu s cílem výrazně omezit pýr, aby v následujících letech (zejména v obilnínách) nebylo nutné proti němu systematicky zasahovat. Tím bylo dosaženo celkového zjednodušení ochrany v následujících letech. Variabilní aplikace herbicidu proti pýru byla uplatněna pouze v roce 2012 v ozimé řepce. Její použití se na výskytu pýru v následujících letech statisticky průkazně neprojevovalo (obr. č. 10).



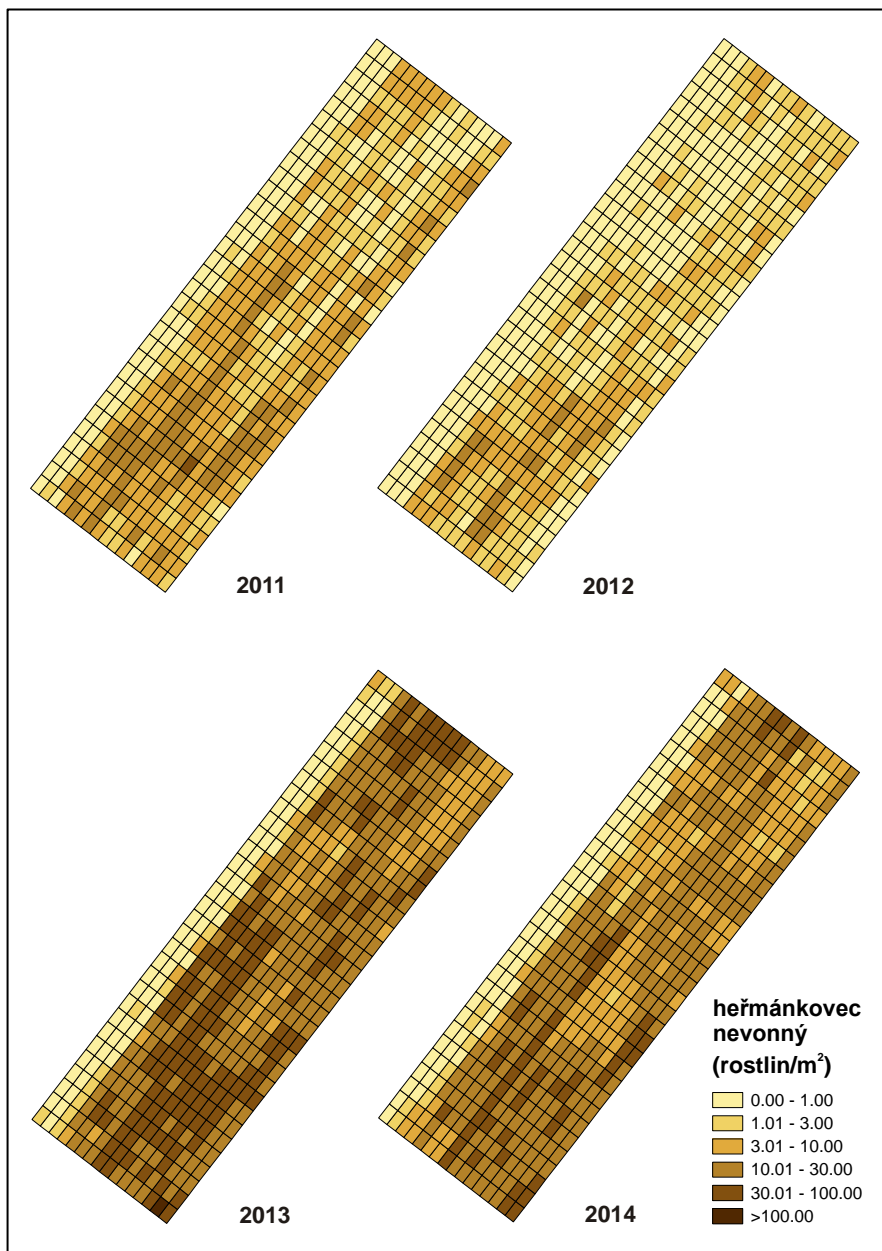
Obrázek č. 10: Vývoj průměrné hustoty populace pýru plazivého v průběhu experimentu

Tabulka č. 6: Pearsonův korelační koeficient pro hustotu populací jednotlivých skupin plevelů mezi roky 2011 a 2014. Signifikantní hodnoty ($\alpha = 0.05$) jsou označeny hvězdičkou

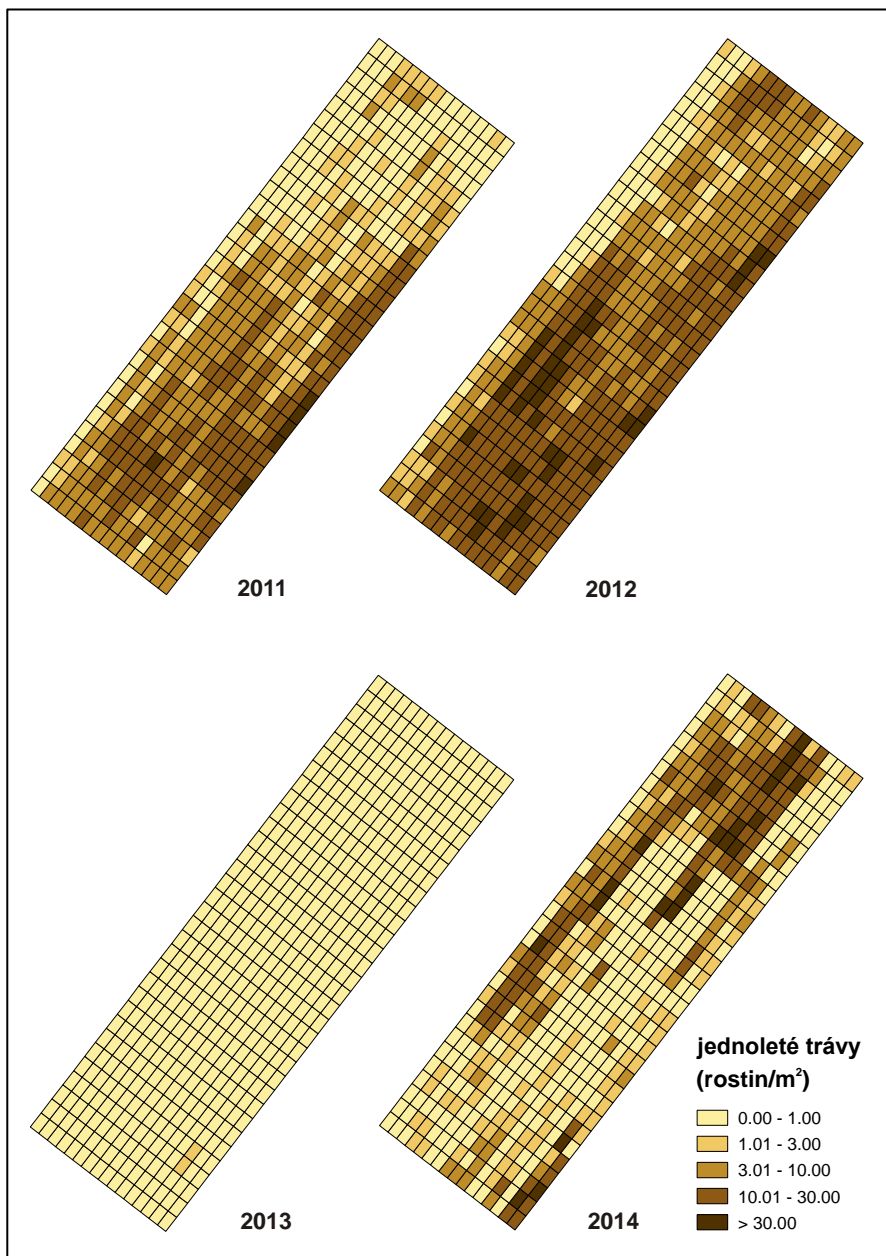
Druh	Varianta			
	1	2	3	4
svízel přitula	0,565*	-0,025	0,056	0,476*
pcháč oset	0,172	0,125	0,257*	0,295*
hefmánkovec nevonný	0,369*	0,483*	0,466*	0,537*
ostatní dvouděložné	0,503*	0,318*	0,316*	0,194*
jednoleté trávy	-0,057	-0,261*	-0,401*	-0,237*
pýr plazivý	0,281*	-0,020	0,394*	0,026



Obrázek č. 11: Mapy hustoty populace svízele přituly ve všech experimentálních letech.



Obrázek č. 12: Mapy hustoty populace heřmánkovce nevonného ve všech experimentálních letech.



Obrázek č. 13: Mapy hustoty populace jednoletých trav ve všech experimentálních letech.

II.8.3. Závěr studie

Většina studií zabývajících se prahy škodlivosti se zaměřuje na jednotlivé druhy plevelů. Vícenásobné vztahy mezi plodinou a plevely jsou obtížně kvantifikovatelné, protože působení více druhů na plodinu není aditivní (Swanton *et al.* (1999), Oliver (1988)). V případě představeného experimentu je obtížně oddělitelný efekt jednotlivých přípravků. Proti některým skupinám plevelů byl použit společně jeden přípravek, nebo přípravek aplikovaný proti jedné skupině měl vedlejší účinek na další druhy. Odlišný efekt na jednotlivé druhy měla v některých případech také kombinace přípravků. Přesto pokus lépe odráží skutečnou situaci při praktickém použití variabilní aplikace herbicidů a z výsledků jsou patrné některé podstatné efekty tohoto způsobu regulace zaplevelení, které jsou shrnuty v následujících bodech:

- aplikace na základě prahů přinesla u některých skupin plevelů významnou úsporu herbicidu a tím snížila zátěž životního prostředí
- prahy použité v obilninách a řepce nezpůsobily v těchto plodinách významnou ztrátu výnosu
- použití variabilní aplikace herbicidů na základě výše uvedených prahů vedlo v některých případech k nárůstu zaplevelení pokusného pozemku a tím k omezení úspory herbicidu v následujících letech.
- v ozimých plodinách způsobovaly problémy zejména svízel přítula a heřmánkovec nevonný, jejichž semena přežívají v půdě více let
- u chundelky metlice, jejíž obilky mají krátkou životnost, došlo sice na neošetřených plochách k nárůstu zaplevelení, ale aplikace herbicidu snížila hustotu její populace v následujícím roce na velmi nízké hodnoty bez rizika vytvoření významné zásoby semen v půdě.
- regulace pcháče pomocí variabilní aplikace herbicidů může být úspěšná a díky ohniskovitému výskytu pcháče nabízí také vysoký potenciál úspory herbicidu.
- opakované pěstování ozimých plodin současně s minimalizační technologií zpracování půdy zvýšilo zaplevelení některými ozimými plevely na všech variantách, přičemž u variabilně ošetřovaných variant byl tento efekt výraznější. Variabilní aplikaci herbicidů je tedy z hlediska populační dynamiky plevelů vhodné kombinovat spíše s konvenčním zpracováním půdy a s vyváženým osevním postupem.
- při volbě prahových hodnot je třeba zachovat určitou rezervu kvůli nepřesnosti detekce zaplevelení a také pro případ nižší účinnosti herbicidu

II.9. Doporučené hodnoty prahů pro cílenou regulaci zaplevelení

Na základě uskutečněného experimentu a s využitím relevantních informací ve světové literatuře (např. Cousens *et al.* 1986, Norris 1992, Sattin *et al.* 1992, Knezevic *et al.* 1994, Cardina *et al.*, 1995, Dieleman *et al.* 1995, Bosnic *et Swanton* 1997) byly navrženy prahy pro variabilní regulaci plevelů v ozimých plodinách. Hodnoty prahů jsou uvedeny v tabulce č. 6. Uvedené hodnoty jsou oproti ekonomickým prahům nižší, čímž je sníženo riziko produkce semen a nárůst zaplevelení v následujících letech. Doporučené rozpětí hodnot platí pro běžné situace, přičemž skutečná hodnota prahu škodlivosti je závislá vždy na vývojové fázi plodiny a plevele. Zejména v situacích, kdy plevel má náskok před plodinou mohou být aktuální prahové hodnoty nižší. Nižší hodnoty prahů je také vhodnější použít pro nevyrovnaný osevní postup, kde může docházet k přemnožení určitých skupin plevelů.

V rámci okopanin platí dolní hranice uvedeného rozpětí hodnot zejména pro cukrovku, která má např. ve srovnání s kukuřicí nižší konkurenční schopnost. Velmi nízké hodnoty prahů uvedené u pozdních jarních plevelů (merlík, laskavec, rdesna) v okopaninách odrážejí vysoký potenciál produkce semen u těchto druhů. Navržené hodnoty jsou pod ekonomickým prahem, ale přesto mohou vést k určitému nárůstu populací v následujících letech. V praktických situacích jsou takto nízké hustoty vzácné a jsou navíc mimo možnosti spolehlivého odhadu pomocí vzorkovaných ploch, protože přesné stanovení nízkých hustot by vyžadovalo značnou velikost vzorků. Možnost použití cílené regulace plevelů v okopaninách je tedy spíše teoretická. Obvykle v těchto případech vhodnější koncept prahů škodlivosti nepoužívat a uskutečnit celoplošné ošetření, což doporučují i další autoři (např. Sattin *et al.*, 1992). I v případě celoplošné aplikace herbicidu často dochází k přežívání nebo pozdnímu vzházení menšího množství jedinců, kteří následně vytvoří dostatek semen pro doplnění půdní zásoby. Není tedy vhodné tento stav dále zhoršovat záměrným vynecháním aplikace herbicidu v některých částech pozemku. Hodnoty prahů u druhů s nižší produkcí semen lze předpokládat vyšší, nejsou však dostatečně ověřeny kvůli menšímu významu těchto plevelů v okopaninách.

V případě okopanin a sóji může být variabilní aplikace vhodná spíše jako opravný zásah po celoplošné aplikaci preemergentního herbicidu. Později vzešlé nebo herbicidem poškozené rostliny způsobují nižší výnosovou ztrátu a současně vytvářejí podstatně menší množství semen. Může být také využita krátkodobě (jeden rok) s vyššími hodnotami prahů, ale je třeba počítat s omezením úspor v následujících letech, nebo ještě pravděpodobněji s dočasným ustoupením od variabilní aplikace, protože se kvůli zvýšenému zaplevelení stane neefektivní.

Tabulka č. 6: Doporučené prahové hodnoty pro cílenou regulaci zaplevelení

Plodina	Druh nebo skupina plevelů	Hodnota prahu (rostlin/m ²)
ozimé obilniny	svízel přítula	0,2 - 0,5
	pcháč oset	0,5 - 1*
	heřmánkovec nevonný	2 - 5
	ostatní dvouděložné plevely	20 - 30
	jednoleté trávy	5 - 15 **
	pýr plazivý	1 - 2*
jarní obilniny	svízel přítula	0,2 - 0,5
	pcháč oset	0,5 - 1*
	heřmánkovec nevonný	5 - 10
	opletla obecná	3 - 5
	ostatní jednoleté dvouděložné plevely	20 - 40***
	jednoleté trávy	3 - 15 **
	pýr plazivý	1 - 2
řepka	svízel přítula	0,2 - 0,5
	pcháč oset	0,5 - 1*
	heřmánkovec nevonný	2 - 5
	ostatní jednoleté dvouděložné plevely	20 - 30
	jednoleté trávy	5 - 15
	pýr plazivý	0,5 - 1*
okopaniny (širokořádkové plodiny)	vzrůstné dvouděložné druhy s vysokou produkcí semen (merlík bílý, laskavec ohnutý, rdesna apod.)	0,01 - 0,1
	mračňák theofrastův	0 - 0,1****
	ostatní jednoleté dvouděložné plevely	0,2 - 0,5
	ježatka kuří noha a ostatní prosovitě trávy	0,01 - 0,1
	pcháč oset	0,5 - 1*
	pýr plazivý	1 - 2*
sója	vzrůstné dvouděložné druhy s vysokou produkcí semen (merlík bílý, laskavec ohnutý, rdesna apod.)	0,1 - 0,2
	ostatní jednoleté dvouděložné plevely	0,2 - 0,5
	ježatka kuří noha a ostatní prosovitě trávy	0,1 - 0,2

* počet lodyh nebo stébel/m²

** nižší hodnoty platí zejména pro oves hluchý

*** vyšší hodnoty platí pro méně vzrůstné druhy

**** hodnota 0 platí pro první výskyt mračňáku, doporučuje se manuální odstranění jednotlivých rostlin před květem

III. Srovnání „novosti postupů“

Ochrana polních plodin proti plevelům se v současnosti provádí jednotně pro celý pozemek. Tím jsou v mnoha případech aplikovány herbicidy i na takové části pozemku, kde je výskyt plevelů nízký nebo nulový a aplikace zbytečná. Metody precizního hospodaření zohledňují variabilitu uvnitř pozemků a přizpůsobují tomu jednotlivá agrotechnická opatření. V případě plevelů je aplikován herbicid jen na těch částech pozemku, kde zaplevelení překračuje práh škodlivosti. Tím je možné podstatně omezit negativní vliv herbicidů na životní prostředí a lidské zdraví. Předložená metodika je zaměřena na optimalizaci prahů škodlivosti vhodných pro variabilní regulaci zaplevelení formou praktického testování prahů během čtyřletého období. Novost spočívá již v samotném uskutečnění variabilní aplikace herbicidů na základě definovaných prahů na několikahektarové ploše. Z hlediska rozsahu a komplexnosti přístupu byla takováto aplikace provedena v České republice poprvé. Dalším novým prvkem je navržení dlouhodobých prahů, které na rozdíl od ekonomických prahů zohledňují vývoj zaplevelení v následujících letech. Tato metodika umožní zvolit vhodné prahy pro variabilní aplikaci herbicidů v porostech vybraných polních plodin, tak aby nedocházelo nejen k výnosovým ztrátám, ale ani k významnému nárůstu zaplevelení v letech následujících po variabilním ošetření.

IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Tato metodika je určena zejména zemědělským prvovýrobcům a podnikům zemědělských služeb, ale i dalším subjektům provádějícím aplikaci herbicidních látek v porostech polních plodin. Navržené postupy a hodnoty prahů, jsou vodné zejména pro prostorově cílené regulační zásahy při regulaci zaplevelení, ale značnou část informací je možné využít také pro klasickou integrovanou ochranu plodin proti plevelům založenou na prazích škodlivosti. Metodika bude uživateli uplatňována při realizaci takových regulačních zásahů proti plevelům, které směřují k omezení aplikace herbicidů. Tímto by měla přispět racionalizaci spotřeby pesticidních látek v zemědělství k celkovému snížení zátěže životního prostředí.

V. Ekonomické aspekty

Uplatnění systému cílené regulace zaplevelení vyžaduje zvýšené náklady na mapování výskytu plevelů na jednotlivých pozemcích. Skutečné náklady na toto mapování jsou značně závislé na způsobu mapování a na intenzitě zaplevelení. Manuální malování je efektivní jen na velmi slabě zaplevelených pozemcích, kde náklady nepřekročí 400 - 500 Kč/ha. V případě využití kamerových systémů mohou být náklady sníženy až na 190 Kč/ha (Oebel, 2006).

Přínos metodiky spočívá zejména ve snížení kontaminace zemědělských produktů a vodních zdrojů nežádoucími látkami, a tím omezení negativního vlivu zemědělské výroby na lidské zdraví. Hodnota těchto efektů není spolehlivě vyčíslitelná, avšak snížení spotřeby herbicidů má i přímý finanční efekt u prvovýrobců. Na základě předcházejících výzkumů (např. Hamouz *et al.*, 2004) je odhadováno, že nejméně 20% zemědělských pozemků (tj. 600 000 ha orné půdy) v ČR vykazuje velmi nízké zaplevelení vhodné pro uplatnění cílené regulace zaplevelení. Omezením nákladů na herbicidy dojde po započtení zvýšených nákladů na mapování k průměrné roční úspoře v rozsahu cca. 200 Kč/ha, což při uvedené výměře představuje úsporu 120 000 tis. Kč/rok.

VI. Seznam použité související literatury

- Ashley H. D., Rea J. (1975): Seasonal vegetation differences from ERTS imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing 41*: 713 – 719.
- Baret F., Guyot G., Major D. J. (1989): TSAVI: A Vegetation Index Which Minimizes Soil Brightness Effects On LAI And APAR Estimation.- In Proceedings of the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing, Vancouver, Canada, 1355 - 1358.
- Bauer T. A., Mortensen D. A. (1992): A comparison of economic and economic optimum thresholds for two annual weeds in soybeans. *Weed Technology*, 6: 228 - 235.
- Beer E., Heitefuss R. (1981): Determination of control thresholds and economic thresholds for monocotyledonous and dicotyledonous weeds in winter wheat and winter barley. II. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 88: 321 - 336. (In German)
- Biller R. H., Ihle W. (2000): Pflanzenunterscheidung mit optischen Sensoren. *Landtechnik*, 55: 2, 184 - 149.

- Bosnic A. C., Swanton C. J. (1997): Influence of Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) Time of Emergence and Density on Corn (*Zea mays*). Weed Science, 45: 276 - 282.
- Cardina J., Regnier E., Sparrow D. (1995): Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Competition and Economic Thresholds in Conventional- and No-Tillage Corn (*Zea mays*). Weed Science, 43: 81 - 87.
- Cousens R., Doyle C. J., Wilson B. J., Cussans G. W. (1986): Modelling the economics of controlling *Avena fatua* in winter wheat. Pesticide Science, 17: 1 - 12.
- Cousens R. (1987): Theory and reality of weed control thresholds. Plant Protection Quarterly, 2:13-20.
- Dieleman A., Hamill A. S., Weise S. F., Swanton C. J. (1995): Empirical Models of Pigweed (*Amaranthus spp.*) Interference in Soybean (*Glycine max*). Weed Science, 43: 612 - 618.
- Felton W. L., McCloy K. R. (1992): Spot spraying. Agricultural Engineering 73: 9 - 12.
- 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.
- Gerhards R., Oebel H. (2006): Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying Weed Research, 46: 85 - 193.
- Gerhards R., Gutjahr C., Weis M., Keller M., Sökefeld M., Möhring J., Piepho H.P. (2012): Using precision farming technology to quantify yield effects attributed to weed competition and herbicide application. Weed Research, 52: 6 - 15.
- Gerhards R., Sökefeld M., Timmermann C., Krohmann P., Kühbauch W. (2000): Precision Weed Control – more than just saving herbicides. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, 179 - 186.
- Hamouz P., Soukup J., Holec J., Jursík M. (2004): Field-scale variability of weediness on arable land. Plant Soil and Environment, 50: 134 -140
- Hamouz P., Nováková K., Holec J., Soukup J. (2007): The variability in spatial distribution of *Galium aparine* L. Proceedings of 14th EWRS Symposium, Hammar, s. 128

- Hamouz P., Hamouzová K., Holec J., Tyšer L. (2013): Impact of site-specific weed management on herbicide savings and winter wheat yield. *Plant, Soil and Environment*, 59: 101 - 107.
- Huete A. R. (1988): Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25: 295 - 309.
- Jacobi, J., M. Backes, W. Kühbauch, L. Plümer (2006): Identifikation von Unkräutern in Zuckerrüben anhand spektraler Reflektionsunterschiede in Fernerkundungsaufnahmen. In: *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Heft XX, 241 - 248,
- Knezevic S. Z., Weise S. F., Swanton C. J. (1994): Interference of Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus*) in Corn (*Zea mays*). *Weed Science*, 42, 568 - 573.
- Lamb D.W., Weedon M. M., Rew L. J. (1999): Evaluating the accuracy of mapping weeds in seedling crops using airborne digital imaging: *Avena* spp. in seedling triticale. *Weed Research* 39: 481 - 492.
- Lass L. W., Callihan R. H. (1997): The effect of phenological stage on detectability of yellow starthistle (*Hieracium pratense*) and oxeye daisy (*Chrysanthemum leucanthemum*) with remote multispectral digital imagery. *Weed Technology* 11: 248 - 256.
- Lass L.W., Prather T.S., Glenn N.F., Weber K.T., Mundt J.T., Pettingill J. (2005): A review of remote sensing of invasive weeds and example of the early detection of spotted knapweed (*Centaurea maculosa*) and babysbreath (*Gypsophila paniculata*) with a hyperspectral sensor. *Weed Science* 53: 242 - 251.
- MZE (2012): Národní akční plán ke snížení používání pesticidů v České republice (č. 87595/2012-MZE-17221)
- Niemann P. (1981): Schadschwellen bei der Unkrautbekämpfung. *Angewandte Wissenschaft, Reihe A*, Heft 257.
- Nordmeyer H. (2006): Patchy weed distribution and site-specific weed control in winter cereals. *Precision Agriculture*, 7: 219 - 231.
- Norris R. (1992): Case History for Weed Competition/Population Ecology: Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Sugarbeets (*Beta vulgaris*). *Weed technology*, 6: 220 - 227.
- Oebel H. (2006): Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- und (Online-) Verfahren (TURBO). Verlag Landpresse, Weilerswist, 176 s.

- Oliver L. R. (1988): Principles of weed threshold research. *Weed Technology*, 2: 398 - 403.
- Pallut B., Flatter A. (1998): Variabilität der Konkurrenz von Unkräutern in Getreide und daraus resultierende Auswirkungen auf die Sicherheit von Schadensschwellen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI*, 333 - 344.
- Philipp I., Rath T., Nordmeyer H. (2002): Computerbildanalytische Unkrautkartierung in Zuckerrübenbeständen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 429 - 436.
- Qi J., Chehbouni A., Huete A. R., Kerr Y. H. (1994): Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI).- *Remote Sensing of Environment* 48: 119 - 126.
- Sattin M., Zanin G., Berti A. (1992): Case History for Weed Competition /Population Ecology: Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in Corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 6: 213 - 219.
- Scotford I. M., Miller P. C. H. (2005): Applications of spectral reflectance techniques in Northern European cereal production: A Review.- *Biosystems Engineering*, 90: 235 - 25.
- Sökefeld M., Gerhards R., Kühbauch W. (2000): Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle - von der Unkrauterfassung bis zur Herbizidapplikation. – *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*, 227 – 233.
- Swanton C. J., Weaver S., Cowan P., Van Acker R., Deen W., Shreshta A. (1999): Weed Thresholds Theory and Applicability, *Journal of Crop Production*, 2: 9 - 29.
- Vondricka J., Lammers P. S. (2009): Real-time controlled direct injection system for precision farming. *Precision agriculture*, 10: 421 - 430.
- Wahmhoff W., Heitefuss R. (1985): Investigations on the application of economic injury levels for weeds in winter barley. I: Factors of influence and possibilities of prognosis for the development of weed infestation. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 92: 1 - 16.
- Wartenberg G., Dammer K. H. (2002): Erfahrungen bei der Verfahrensentwicklung zur teilflächenspezifischen Herbizidanwendung in Echtzeit. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 443 - 450.

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

- Hamouz P., Hamouzová K., Holec J., Tyšer L. (2013): Impact of site-specific weed management on herbicide savings and winter wheat yield. *Plant, Soil and Environment*, 59: 101 - 107. (Supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Project No. QI111A184.)
- Hamouz P., Hamouzová K., Tyšer L., Holec J. (2014): Effect of site-specific weed management in winter crops on yield and weed populations. *Plant, Soil and Environment*, 60: 27 - 35. (Supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Project No. QI111A184.)
- Hamouz P., Hamouzová K., Holec J., Tyšer L. (2014): Impact of site-specific weed management in winter crops on weed populations. *Plant, Soil and Environment*, v tisku. (Supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Project No. QI111A184.)

Název: Metody regulace zaplevelení pro precizní zemědělství

Autor: Ing. Pavel Hamouz, Ph.D.

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze

Tisk: powerprint, s.r.o.

Náklad: 500 ks

Počet stran: 42

Doporučená cena: zdarma

Rok vydání: 2014

ISBN: 978-80-213-2538-8