



VĚDECKÝ VÝBOR FYTOSANITÁRNÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Klasifikace:	Draft	<input type="checkbox"/> <i>Pro vnitřní potřebu VVF</i>
	Oponovaný draft	<input checked="" type="checkbox"/> <i>Pro vnitřní potřebu VVF</i>
	Finální dokument	<input type="checkbox"/> <i>Pro oficiální použití</i>
	Deklasifikovaný dokument	<input type="checkbox"/> <i>Pro veřejné použití</i>

Název dokumentu:

PRECIZNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ

I. ČÁST: PRECIZNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ V OBLASTI REGULACE
ZAPLEVELENÍ

II. ČÁST: VÝŽIVA ROSTLIN A HNOJENÍ V SYSTÉMU
PRECIZNÍHO HOSPODAŘENÍ

Poznámka:

Vypracovali: I. část: Ing. Pavel Hamouz, Ph.D., Doc. Ing. Josef Soukup, CSc.

II. část: Prof. Ing. Jiří Balík, CSc., Ing. Kamil Štípek, Ph.D., a
Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze, fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů,
katedra agrochemie a výživy rostlin

Výzkumný ústav rostlinné výroby, Drnovská 507, 161 06 PRAHA 6 - Ruzyně

Tel.: +420 233 022 324 , fax.: +420 233 311 591, URL: <http://www.phytopsanitary.org>

I. ČÁST: PRECIZNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ V OBLASTI REGULACE ZAPLEVENÍ.....	3
1. Úvod.....	3
2. Popis prostorové variability výskytu plevelů.....	3
3. Interpolace.....	5
4. Manuální metody mapování plevelných populací na úrovni pozemku.....	6
5. Alternativní metody mapování.....	8
6. Úroveň prostorové variability plevelných populací na zemědělské půdě a její příčiny.....	9
7. Stanovištní stabilita plevelů	10
8. Využití půdní zásoby semen k prognóze zaplevelení	11
9. Systém lokálně specifické regulace zaplevelení	12
10. Závěr.....	16
11. Použitá literatura	16
II. ČÁST: VÝŽIVA ROSTLIN A HNOJENÍ V SYSTÉMU PRECIZNÍHO HOSPODAŘENÍ	
.....	20
1. Úvod.....	20
2. Způsoby mapování prostorové variability na pozemku	21
2.1. Mapování na základě odběru půdních vzorků.....	22
2.1.1 Hustota odběru půdních vzorků	23
2.1.2 Volba vhodného schématu vzorkování	23
2.2. Zákonitosti vlastního odběru bodového půdního vzorku a jeho zpracování.....	24
2.2.1 Hloubka odběru vzorku půdy.....	24
2.2.2 Úprava půdního vzorku k analýze.....	25
3. Vliv ročníku a termínu odběru na úroveň prostorové variability půdních vlastností – časová variabilita.....	25
4. Variabilita výnosu	26
4.1. Faktory ovlivňující variabilitu výnosu na pozemku.....	26
4.1.1. Agrochemické vlastnosti půdy	27
Půdní reakce	27
Obsah přístupného fosforu	28
Obsah přístupného draslíku	28
Obsah přístupného hořčíku.....	29
5. Zpracování získaných dat měření.....	30
6. Literatura	33

I. ČÁST: PRECIZNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ V OBLASTI REGULACE ZAPLEVELENÍ

1. Úvod

Trvalé snahy o zvyšování efektivity zemědělské prvovýroby a zároveň trend omezování chemizace zemědělství nastupující od počátku 90. let si vynucují hledání takových způsobů snižování aplikace pesticidních látek, které nebudou mít negativní vliv na úroveň pěstební technologie a kvalitu porostu. V dosavadním průběhu hospodaření se přistupovalo diferencovaně pouze k jednotlivým pozemkům jako nejmenším částem systému. Precizní zemědělství naproti tomu vychází z prostorové heterogenity pozemků a časové dynamiky procesů tvorby výnosu polních plodin. Vývoj aplikační techniky, možnost využití signálu GPS (Global Positioning System) k navigaci a rychlý pokrok v elektronice otevírají možnosti pro lokální aplikaci pesticidů v závislosti na konkrétních podmínkách. To umožňuje snížit náklady na produkci a také omezit riziko znečištění životního prostředí agrochemikáliemi. Největší část pesticidních vstupů do zemědělství představují v současné době herbicidy (Kohout *et al.*, 1996). Přitom právě v této oblasti by mohlo být dosaženo značných úspor. Řada vědeckých prací (Werner *et Garbe*, 1998, Clay *et al.*, 1999, Nordmeyer *et Häusler*, 2000) dokazuje, že výskyt plevelů je i v rámci jednoho pozemku velmi nerovnoměrný. Lokálně specifická regulace zaplevelení založená na principu precizního zemědělství předpokládá, že v místech s nulovým nebo podprahovým výskytem plevelů bude aplikace přípravku vynechána a na ošetřovaných částech bude dávka přizpůsobena stupni zaplevelení (Sökefeld *et al.*, 2000, Gerhards *et al.*, 2000). Použití principu lokálně specifické regulace zaplevelení 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. Vlastní mapování se dosud nejčastěji provádí přímým hodnocením porostu, což je časově velmi náročné. Některé literární prameny (Krohman *et al.*, 2002, Werner *et Garbe*, 1998) uvádějí, že potřebu času je možné částečně snížit použitím map z předchozích let, protože druhové spektrum a četnost plevelů se v důsledku určité stanovištní stability během jednoho roku výrazně nemění. V posledních letech je také možné zaznamenat snahy o využití senzorů k automatické detekci plevelů.

2. Popis prostorové variability výskytu plevelů

Otázky prostorové variability zaplevelení jsou spojeny zejména se systémem precizního hospodaření, proto se staly předmětem intenzivního studia teprve v nedávné době. S tím souvisí zatím nedostatečná propracovanost metodických postupů. Některé

metody používané při sběru, zpracování a vyhodnocení dat jsou převzaty z ostatních oborů a nejsou dosud dostatečně adaptovány pro herbologii (Rew *et* Cousens, 2001).

Nejběžnějším a nejobecnějším způsobem vyjádření prostorové variability na jedné úrovni je použití rozptylu, směrodatné odchylky či variačního koeficientu (eg. Dieleman *et* Mortensen 1999). Variance s^2 kvantitativního znaku x vyjadřuje míru disperse a je definována jako průměrná suma čtverců odchylek od průměru \bar{x} .

Často používaná prostorová statistika popisující stupeň heterogenity je *Patchiness-index* podle Lloyda:

$$PI = (m + (s^2 / m) - 1) / m$$

kde m = průměrná hustota zaplevelení

s^2 = rozptyl hodnot výběrového souboru

Pokud $PI > 1$, je možné výskyt plevelů označit za nerovnoměrný a se vzrůstající hodnotou indexu stupeň nerovnoměrnosti roste.

Výše uvedené metody popisují více či méně podrobně míru variability sledovaných znaků, nevypovídají však nic o vlastním prostorovém uspořádání. K prostorově explicitnímu vyjádření dat je třeba použít mapu. Exaktním způsobem vytváření map je přiřazování souřadnic jednotlivým nalezeným rostlinám. Na podobném principu, jež rovněž uplatňuje kontinuální mapování celé hodnocené plochy, je založena např. fraktálová analýza (Wallinga 1995). Obě uvedené metody jsou však časově velmi náročné a jsou proto vhodné pouze v základním výzkumu pro mapování menších ploch o velikosti několika desítek až několika set čtverečních metrů.

Pro mapování větších ploch je nutno použít metod diskrétního vzorkování. To znamená, že na celkovou distribuci určité populace je usuzováno na základě odběrových bodů, které mohou být uspořádány buď náhodně nebo v rastrové síti. Při tomto způsobu mapování však často zůstávají velké plochy mezi vzorkovanými body nezhodnocené. Shluky plevelů, jež jsou menší než je vzdálenost mezi rastrovými body tak mohou být opomenuty, aniž by to mohlo být jakkoliv kompenzováno použitím interpolace. Je proto nutné zvolit pro mapování takovou vzdálenost, při které hodnoty sousedních bodů vykazují ještě určitý stupeň podobnosti (prostorové závislosti) a je tedy předpokládán přibližně kontinuální průběh změn mezi těmito body umožňující interpolaci. Studium prostorové závislosti a interpolačními technikami se zabývá geostatistika.

Geostatistika sloužila nejprve k popisu mocnosti ložisek nerostných surovin a rud. Teprve Nordmeyer *et* Niemann (1992) a Mortensen *et al.* (1993), použili geostatistiku i k popisu výskytu plevelů. Sledovaný znak (v tomto případě intenzita zaplevelení) nabývající pro sledovanou plochu případně prostor různých hodnot v závislosti na poloze je v geostatistice označován jako regionalizovaná proměnná. Její změny od místa k místu mohou být náhodné, ale také více či méně kontinuální. Komplexnost změn proto nelze

popsat ani statistickým vyjádřením ani deterministicky pomocí exaktního vztahu. Přesto se často za touto variabilitou skrývá taková struktura, že hodnoty blíže ležících bodů jsou si podobnější, než u vzdálenějších bodů. Tato vnitřní struktura vyžaduje při popisu regionalizované proměnné matematické vyjádření. Při zohlednění obou aspektů náhodnosti i strukturní závislosti může být na regionalizovanou proměnnou nahlíženo jako na realizaci určité náhodné funkce (Akin *et Siemes*, 1988).

Základním a nejpoužívanějším nástrojem geostatistiky k popisu vnitřní prostorově závislé struktury (autokorelace) je variogram. Variogram je využitelný pro optimalizaci vzorkovací strategie. Vykazuje-li semivariogram jen slabou prostorovou závislost, nebo není-li závislost vůbec nalezena, je to většinou odrazem nízké intenzity vzorkování. Ta může být podmíněna buď nedostatečnou hustotou vzorkovací sítě, jež nedokáže zachytit kontinuitu prostorových změn, nebo nedostatečnou velikostí vzorků (v tomto případě vzorkovaných ploch), které z důvodu mikrovariability nejsou reprezentativní vzhledem k použitému měřítku sítě. V takovém případě je nutno intenzitu vzorkování zvýšit (Heinrich, 1981).

3. Interpolace

Interpolační metody jsou používány k odhadu hodnot sledovaného znaku (v případě herbologického výzkumu většinou početnosti či pokryvnosti plevelů) na nevzorkovaných místech uvnitř vzorkovací sítě. Je přitom využíváno předpokladu, že určitý trend nárůstu, poklesu či stagnace sledovaného parametru, zasahující několik po sobě následujících bodů vzorkování je kontinuální i na nižší úrovni mezi jednotlivými body (Rew *et Cousens*, 2001). Jestliže má být pro vzorkovaná data provedena interpolace, je nutné, aby vzdálenost bodů vzorkovací sítě nepřesahovala hranici prostorové závislosti, jež je v semivariogramu vyjádřena dosahem. V opačném případě není kontinuita změn zachytitelná.

Jednou z nejjednodušších interpolačních technik je lineární triangulace. Je to metoda velmi rychlá, avšak neumožňuje extrapolaci, která je často potřebná při okrajích pozemku.

K interpolaci je často používána rovněž metoda inverzní vzdálenosti (*IDW*). Tato metoda je rychlá a patří mezi přesné interpolátory. Váhy jednotlivých koeficientů jsou v tomto případě stanoveny jako převrácené hodnoty vzdálenosti bodů využitých k interpolaci od bodu, pro který má proveden odhad.

Nejpoužívanější interpolační technikou v geostatistice je kriging. Metoda byla nazvána podle jihoafrického důlního inženýra a statistika D. E. Krigeho, jenž položil základy geostatistice. Pomocí krigingu lze na základě známých hodnot stanovit odhad hodnoty v určitém bodě tak, že chyba odhadu je minimální. Jeho podstata spočívá ve výpočtu koeficientů λ_i , které přidělují váhy jednotlivým bodům uvažovaným při interpolaci. Odhad je označován jako nestranný, protože součet koeficientů λ_i je roven 1, což znamená, že difference mezi skutečnými a odhadovanými hodnotami jsou v průměru nulové. Detailní popis

krigingu lze nalézt v řadě geostatistických publikací, např. Isaaks *et* Srivastava, (1989) nebo Webster *et* Oliver (2001).

Podmínkou pro jeho správné a smysluplné použití krigingu je existence kvalitního semivariogramu s relativně nízkým nuget-effectem, v opačném případě dochází k silnému vyhlazení mapy a tím ztrátě informace o podrobnějších strukturách variability (Hamouz, 2005). Efekt vyhlazení je popisován i v dalších pracích, např. Rew *et al.* (2001). Tato metoda může být vhodná např. pro interpolaci půdních vlastností (eg. Brodský, 2003), kde z mapy odstraňuje nežádoucí mikrovariabilitu a lokální extrémů, pro interpolaci dat představujících výskyt plevelů je ale větší vyhlazení extrémů nevhodné. Jako reálné, i když metodicky ne zcela správné, se ukázalo použití krigingu s lineárním semivariogramem a nulovým nuget-effectem, což se projevilo výrazným snížením vyhlazení mapy, navíc se interpolace výrazně zjednodušuje a zrychluje (Hamouz, 2005).

Je velmi obtížné stanovit, která interpolační metoda poskytne v dané situaci optimální výsledek, tj. která metoda bude vytvářet hodnoty odhadu, jejichž distribuce se bude blížit distribuci skutečných hodnot. Jednou z možností je sledovat, jak se liší odhadovaná hodnota od skutečně naměřené pomocí ověřovacích dat, která byla získána při vzorkování pozemku, ale nebyla zahrnuta do vlastní interpolace (např. Heisel *et al.*, 1996, Brodský, 2003). Další možností statistického porovnání interpolačních metod je využití metody *Cross-Validation*, která pracuje na principu postupného odstraňování jednotlivých bodů měření ze základního souboru a výpočtu odhadu tohoto dočasně odstraněného bodu, který je potom porovnáván s naměřenou hodnotou. Výpočet odhadu v místě odstraněného bodu je tedy uskutečněn pomocí všech ostatních hodnot souboru. Tento proces se opakuje postupně pro všechny body vzorkování (Isaaks *et* Srivastava, 1989) Nevýhodou této metody je, že vzdálenost bodů použitých k odhadu v místě odstraněného bodu je podstatně větší než u reálné vzorkovací sítě.

4. Manuální metody mapování plevelných populací na úrovni pozemku

Jak již bylo zmíněno, při tvorbě mapy není možno na větších pozemcích hodnotit kontinuálně celou plochu, ale je nutné omezit se pouze na vzorky z jednotlivých bodů, jež vytváří určitou odběrovou síť. Shlukovitý výskyt plevelů zvyšuje nároky na počty odebíraných vzorků a tím značně zvyšuje časovou náročnost mapování. Gerhards *et al.* (1997) definuje shluk jako kontinuální výskyt, při kterém sousední body rastrové sítě vykazují počty rostlin větší než nulové. To platí samozřejmě pouze za předpokladu, je-li ohnisko větší než vzdálenost hodnocených bodů. I uvnitř určitého ohniska však dochází k variabilitě. Wallinga *et al.* (1998) pomocí fraktálové analýzy zjistil, že v rámci určité plochy je v každém měřítku nalézána přibližně stejná variabilita a jsou jí zatíženy i plochy menší než je velikost hodnocené plošky na odběrovém bodu. Tato mikrovariabilita může mít za následek, že

vzorkovaná ploška nebude vzhledem ke svému okolí reprezentativní. Při optimalizaci vzorkovací strategie je proto důležité kromě dostatečné hustoty vzorkovací sítě zvolit vhodnou velikost a počet vzorkovaných ploch při zachování přijatelné časové náročnosti.

V publikovaných pracích se velikost hodnocené plochy při diskrétním mapování obvykle pohybuje od 0,0025 do 2 m², velikost použitého rastru pak od 1,8 x 1,8 do 50 x 50 m (eg. Willson *et al.*, 1991, Gerhards *et al.* 1996, Colbach *et al.*, 2000, Hamouz *et al.*, 2004) Větší vzorkované plochy obvykle odpovídají a jsou uplatňovány na větších pozemcích.

Velikost použitého vzorkovacího rámce samozřejmě do značné míry závisí na konkrétních počtech vyskytujících se plevelů. Příliš velký rámec při vysokých počtech plevelů vede k neúměrně dlouhé době potřebné k hodnocení. Naopak při nízkých počtech má malá vzorkovaná plocha za následek vysokou variabilitu a zvýšený podíl nulových hodnot (Skellam, 1952, cit. Horne *et al.* Schneider, 1995). Hamouz (2005) zjistil, že u druhů s vysokým prahem škodlivosti jako violka rolní bude pravděpodobně postačující velikost vzorkované plochy 2 x 0,25 m² pro každý bod vzorkovací sítě. U druhů s nižším prahem škodlivosti a nižší početností jako je např. svízel přítula je nutné použít většího vzorku, minimálně 2 x 1 m². Pokud jsou k dispozici data v dostatečně husté síti, je možno vyloučením části dat porovnávat různé úrovně intenzity vzorkování. Heisel *et al.* (1996) hodnotil zaplevelení při použití rastru 10 x 10 m, a porovnával jej s rastrem 30 x 20 m. Při redukci mapovací sítě zůstala zachována základní charakteristika rozmístění plevelů na pozemku, avšak v některých, zejména okrajových částech docházelo k menším odlišnostem. Marshal *et al.* (1988) ukazují, že změna rastru z 24 x 12 m na 96 x 48 m výrazně snižuje kvalitu mapy. Na druhou stranu Gerhards *et al.* (1996) uvádějí, že zhuštění vzorkovací sítě z 15 m na 7,5 m nepřineslo žádné výrazné zpřesnění a doporučuje proto vzdálenost rastrových bodů 12 – 18 m v návaznosti na kolejové meziřádky. Hamouz (2005) považuje pro druhy s vysokým prahem škodlivosti za dostačující síť 40 x 40 m. Pro svízel přítula a pcháč oset je ke spolehlivému mapování nutné volit hustější síť, a to zejména ve směru kolmém na kolejové řádky. Vhodnost zvoleného rastru je v každém případě možno zhodnotit až následně po provedení vlastního mapování. Žádné obecné doporučení bez znalosti konkrétní situace zaplevelení není možné (Gerhards *et al.* 1996).

V dosavadním přehledu byly uváděny pouze exaktní způsoby zjišťování početnosti plevelů. K určité časové úspoře přispívají metody odhadové. Rew *et al.* (2000) porovnával dvě mapovací techniky, kdy v prvním případě byly všechny rostliny na vzorkovaných plochách počítány, ve druhém potom pouze zařazovány do jedné z osmi kategorií podle abundance. Metoda využívající kategorií přináší výraznou časovou úsporu zejména v situacích, kdy je nutné zachytit vysoké absolutní počty rostlin, tj. při vysokých hustotách zaplevelení a pro velké vzorkované plochy. Je však spojena s určitou ztrátou informace, což

Ize tolerovat, pokud má být stanoven pouze obecný trend nebo pokud jsou rozdíly mezi hodnocenými místy výrazné.

5. Alternativní metody mapování

Manuální způsoby mapování pro svoji časovou náročnost neumožňují na větších plochách zachovat dostatečnou intenzitu vzorkování. Součástí herbologického výzkumu je proto hledání nových cest k usnadnění akvizice dat. Rozvoj elektroniky a digitální fotografie nabízí využití analýzy obrazu při zpracování snímků, ať již leteckých, satelitních či pořízených přímo v porostu.

Pozemní metody automatické detekce 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 al.*, 2000, Wartenberg *et al.*, 2002). Tato technika funguje jednoduše a rychle, je cenově poměrně výhodná a již nyní je v praxi využitelná. Bývá používána v on-line režimu a data nejsou ukládána.

Na druhé straně jsou metody uplatňující podrobnou digitální analýzu obrazu využívající ukládání snímku v digitální podobě. 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 doposud relativně pomalu, díky ukládání a georeferenci snímku však umožňují vytváření map. Je vynakládáno úsilí ke zvýšení jejich rychlosti, aby mohly být rovněž využívány v on-line režimu.

Felton *et al.* (1992) vyvinuli *Spot-spraying-system* pro neselektivní herbicidy založený na senzorech zachycujících reflektanci v reálném čase. Trysky postřikovače jsou automaticky otevřeny, pokud senzor zachytí vyšší podíl zelené vegetace, než je stanovený práh. Systém je tedy použitelný jen v době před vzejitím plodiny, nebo pro aplikaci na strniště či úhor.

Sökefeld (1997) použil analýzu obrazu k automatické identifikaci 25 plevelných druhů vyskytujících se v cukrovce. Rostliny byly snímkovány ve fázi klíčících rostlin pomocí černobílé CCD-kamery citlivé k *NIR (near-infrared)* záření. Po extrakci obrysu byly rostliny přiřazovány k jednotlivým druhům podle tvarových parametrů jako je rozpětí listů, jejich plocha, poměr šířky a délky a úhlová funkce obvodu rostliny. Vhodnou kombinací váhy jednotlivých faktorů dosáhl 62 % schopnosti rozpoznání druhu rostliny. Po sloučení druhů do skupin podle citlivosti k herbicidním látkám dosáhl 80 % pravděpodobnosti správné volby účinné látky. Podobných principů využili i Philipp *et al.* (2002).

Gerhards *et al.* (1998) používají k detekci plevelů přímo v porostu CCD-Shutter-kameru umístěnou na mobilním prostředku. Tato kamera se vyznačuje velmi krátkým časem

expozice (0,2 ms), což umožňuje získání ostrých snímků i při pracovní rychlosti kolem 8 km.h⁻¹. Doba zpracování snímku o velikosti 0,6 x 0,6 m činí přibližně 1 s. Při výše uvedené rychlosti tedy systém umožňuje zachycení nového snímku vždy ve vzdálenosti 2 m, intenzita vzorkování v příčném směru je dána vzdáleností kamer na rámu a návazností jednotlivých jízd.

Všechny tyto systémy však zatím předpokládají, že plevele nejsou překryty pěstovanou plodinou a jsou proto využitelné pro širokořádkové plodiny v jejich počátečních růstových fázích. V obilovinách je použití zatím obtížné (Gerhards et al., 1998).

Dálkový průzkum má v současné době pro lokálně specifickou ochranu proti plevelům 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 s výkonností 80 000 až 150 000 ha za letový den je pro své vyšší rozlišení a relativně nižší náklady výhodnější. Chybí však doposud vyhodnocovací algoritmy pro odvození potřeby herbicidních opatření na základě zachycených dat (Kunisch, 2002).

6. Úroveň prostorové variability plevelných populací na zemědělské půdě a její příčiny

Bez ohledu na použitou metodu vypovídá průměrná hodnota zaplevelení o celkovém stavu zaplevelení pozemku jen omezeně. Johnson *et al.* (1995a) hodnotili zaplevelení v meziřádcích sóji a kukuřice. Na sledovaných pozemcích bylo v průměru 30 % plochy prosté dvouděložných plevelů a na 70 % plochy nebyly nalezeny žádné jednoděložné plevele. Häusler *et al.* (1998) zjistili na dvou honech ozimé pšenice nadprahový výskyt svízele přituly na 24 a 35 % plochy, ostatních dvouděložných druhů pouze na 25 a 31 % plochy a jednoděložných plevelů na 7,5 a 55 % pozemku. Walter (1996) zjistil poměrně vysoké hodnoty *PI* u rdesna ptačího (4,9 – 9,5). U dalších druhů jako merlíku bílého, ptačince prostředního či violky rolní hodnota *PI* značně kolísala v závislosti na ročníku. Kromě vysokého Patchiness indexu byl u kokošky pastuší tobolky navíc zaznamenán koncentrační efekt v místech souvratí (Werner *et Garbe*, 1998). Větší stupeň agregace Projevuje se zejména u vytrvalých plevelů jako je pcháček oset nebo pýr plazivý (Rew *et al.*, 1996, Donald, 1994) a dale např u heřmánkovitých plevelů, hluchavek a u kokošky pastuší tobolky (Werner *et Garbe*, 1998, Hamouz *et al.*, 2004). Obecně lze říci, že druhy s celkově nižší početností dosahují vyšších hodnot *PI*, což může být částečně způsobeno neadekvátní velikostí plochy vzorku (Hamouz, 2005).

Jako příčinu shlukovitého výskytu plevelů je nutno uvažovat s celou řadou faktorů zahrnujících vnitřní vlastnosti rostliny (zejména způsob rozmnožování), půdní vlastnosti, způsob hospodaření na pozemku (kultivace, sklizeň) a interakce mezi organismy (rostlina x

živočich, rostlina x rostlina, rostlina x patogen) (Cousens *et* Croft, 2000). Je patrné, že také obhospodařování pozemku zanechává zřetelné stopy na prostorové distribuci plevelů. Většina pozemků je obhospodařována převážně v určitém neměnném směru, což vede k intenzivnějšímu rozšiřování ohnisek plevelů právě ve směru pohybu mechanizačních prostředků při kultivaci a sklizni. Plevelé, u kterých zůstává část jejich semen v době sklizně ještě na rostlině (např. oves hluchý, jílky a sveřepy), jsou rozšiřovány na rozdíl od psárky polní sklízecí mlátičkou a lze tedy u nich předpokládat více prodloužená ohniska. Také agrotechnické chyby jako jsou chybějící řádky při výsevu, vypečkování řádků při kultivaci širokořádkových plodin, ucpané trysky nebo vynechaná místa při aplikaci herbicidu mají za následek výše uvedený efekt (Rew *et* Cousens, 2001). Prostorová variabilita je rovněž ovlivněna způsobem zpracování půdy. Chauvel *et al.* (1998) uvádějí, že orba a vláčení mají za následek větší uniformitu distribuce semen v půdě.

Více výzkumu bylo zaměřeno na sledování půdních podmínek v souvislosti s prostorovou distribucí plevelů. Lokalizace ohniska může korespondovat s půdními podmínkami, které ovlivňují mortalitu či reprodukci, jako je půdní vlhkost nebo deficit některých živin. Mortensen *et* Dieleman (1997) porovnávali data půdních analýz s výskytem čtyř plevelných druhů. Běry byly přítomny převážně ve výše položených částech pozemku s vyšším obsahem písku a nižším podílem organického materiálu, zatímco slunečnice roční a mračňák Theophrastův byly nalezeny v místech s vysokým obsahem organické hmoty. Nordmeyer *et* Dunker (1999) zjistili pozitivní korelaci mezi výskytem psárky polní a obsahem jílu. Nordmeyer *et* Niemann (1992) a Häusler *et* Nordmeyer (1995, cit. Walter *et al.*, 2002) našli významnou korelaci mezi výskytem rozrazilu břečťanolistého a obsahem písku, fosforu a hořčíku. Walter *et al.* (2002) zjišťovali prostorovou korelaci mezi výskytem plevelů a půdními vlastnostmi. Hustota hluchavky nachové ve všech letech pozitivně korelovala s obsahem fosforu.

7. Stanovištní stabilita plevelů

Hlavní problém použití lokálně specifické ochrany proti plevelům stále spočívá v přílišné časové náročnosti při mapování pozemku, zejména u plevelných druhů s velmi nízkými prahy škodlivosti jako je svízel přítula, kde je pro spolehlivé zachycení skutečného stavu nutno zhodnotit několikanásobně větší plochu než u ostatních druhů (Hamouz *et al.* 2002). Krohman *et al.* (2002) rovněž poukazují na časovou náročnost manuálního mapování a doporučují jej například pro plevelné trávy provádět jednou během rotace osevního postupu nejlépe v širokořádkových plodinách. Toto zjednodušení však předpokládá, že výskyt populací plevelných druhů bude během několika po sobě následujících let prostorově stabilní.

Je třeba zdůraznit, že tento korelační koeficient není dobrou mírou závislosti porovnávaných veličin v případě, není-li regrese těchto veličin lineární. Může docházet ke stanovení nízkého korelačního koeficientu, přestože závislost hodnot je vysoká.

Häusler *et al.* (1998) stanovili stupeň stanovištní stability pomocí Spearmanova koeficientu pořadové korelace. Hodnoty x a y jsou v tomto případě namísto skutečných hodnot nahrazeny jejich pořadím podle velikosti. Tím jsou obě sady hodnot transformovány do lineární podoby. Häusler *et al.* (1998) našli velmi vysoký korelační koeficient pro výskyt na shodných rastrových bodech mezi dvěma po sobě následujícími roky u psárky polní, relativně vysoký rovněž u penízku rolního, violky rolní a u svízele přítuly. Dobrou představu o úrovni stability, i když není matematicky vyjádřena, může poskytnout i pouhé porovnání map výskytu sledovaného druhu z jednotlivých let. Časovou proměnlivost je zde možno popsat chováním hranic jednotlivých ohnisek (Gerhards *et al.*, 1997). Ke studiu stability je rovněž možno využít metod geostatistiky. Colbach *et al.* (2000) použili pro stanovení závislosti prostorové variability ohnisek plevelů mezi dvěma různými roky cross-semivariogramu.

Vysokou stabilitu populací lze očekávat zejména u těch druhů, jejichž semena jsou schopna přežít v půdě řadu let. Koch (1968) uvádí vyšší životnost semen obecně pro dvouděložné druhy. Například semena kokošky pastušky, merlíku bílého, hořčice polní, penízku rolního, rozrazilu perského nebo konopice polní jsou schopna v půdě přežít 30 i více let. U jednoděložných s výjimkou prosovitých trav životnost semen v půdě většinou nepřesahuje 10 let.

Poměrně vysoká stabilita však může být nalezena někdy i u druhů, jejichž diasporu nemají v půdě příliš dlouhou životnost. Přežívání semen psárky polní, ovsa hluchého a svízele přítuly je spíše krátkodobé a většina jich vyklíčí již v prvním roce (Barralis *et al.* 1988). Jako příčinu stability ohnisek psárky polní uvádějí Willson *et al.* (1991) slabou schopnost kolonizovat nová místa v případě, že je uplatňována důsledná herbicidní ochrana. K velmi vysoké stabilitě obvykle přispívá kombinace obou podmínek. Časoprostorová stabilita populací je tedy zejména druhovou záležitostí. Počet vzešlých jedinců je však značně závislý také na povětrnostních podmínkách daného roku, druhu pěstované plodiny a na době a způsobu zpracování půdy (Vleeshouwers *et al.* 1996). Není proto výjimkou, že lze někdy nalézt vyšší korelační koeficient pro vzdálenější časové období, než mezi bezprostředně následujícími roky (např. Walter, 1996).

8. Využití půdní zásoby semen k prognóze zaplevelení

Z biologického pohledu je zřejmé, že musí existovat určitá závislost počtu vzcházejících rostlin určitého druhu na zásobě jeho diaspor v půdě. Podíl semen, která po kultivaci vyklíčí tvoří obvykle kolem 5 % celkové zásoby semen v horní vrstvě půdy. Wilson *et al.* (1985) sledovali u jednotlivých druhů plevelů závislost mezi počtem semen nalezených

v půdě a počtem vzešlých rostlin. Signifikantní korelaci našel u merlíku bílého, šruchy zelné, ježatky kuří nohy, laskavce ohnutého a slunečnice roční. Cardina *et al.* (1996) sledovali vztah mezi půdní zásobou semen a vzcházením rostlin merlíku bílého a prosovitých trav (rosička krvavá, bér zelený, proso vidličnatokvěté). Statisticky významná korelace byla zjištěna u merlíku bílého jak v případě bezorebné varianty tak na zoraném pozemku, pro jednoděložné plevely pouze u bezorebné varianty.

Pro vlastní analýzu odebraných vzorků je možno využít dvou základních způsobů – vyplavovací metody a vegetačního testu. Většina pozornosti byla věnována vegetační metodě. Její využití je do jisté míry omezené protože poskytuje informaci pouze o snadno vzcházející frakci semen. Metoda klíčného testu je tedy náchylná k podhodnocení celkové půdní zásoby, protože specifické požadavky na podmínky klíčení jednotlivých druhů plevelů nemohou být současně splněny (Gross, 1990).

Vyplavovací metoda je používána méně. Semena jsou v tomto případě získávána promýváním půdy na sítích s velikostí ok obvykle 0,2 mm nebo více (Wilson *et al.* 1985, Dessaint *et al.*, 1991) Na sítích se kromě semen zachycuje i písek a všechny ostatní částice větší než velikost ok použitého síta, které znesnadňují následný rozbor. Hron *et Kohout* (1977) doporučují k separaci semen z písku využít roztoku s vysokou měrnou hmotností. Vyplavovací metoda má výhodu v tom, že výsledek není ovlivněn různými nároky jednotlivých druhů na klíčení. Přesto je její přesnost také limitovaná, protože nerozlišuje živá semena od odumřelých. V tomto smyslu může docházet k nadhodnocení půdní zásoby.

Hlavním problémem většiny výzkumů zabývajících se půdní zásobou semen je shlukovité rozmístění semen v půdě, a to jak horizontálním tak vertikálním směru. Agregované prostorové uspořádání ovlivňuje přesnost stanovení početnosti populace, protože silné shlukování semen vyvolává vysokou varianci vzorků. Využití půdní zásoby semen k prostorově diferencované predikci výskytu plevelů zatím stále naráží na časovou náročnost všech výše uvedených postupů jejího stanovení, která neumožňuje na velkých pozemcích provádět odběry vzorku v dostatečném prostorovém rozlišení. Je téměř nepoužitelné u druhů, které se na pozemku vyskytují v malé míře, ale i u některých hospodářsky významných plevelů jako je svízel přitula, pcháč oset nebo chundelka metlice, jejichž semena jsou v půdní zásobě zastoupena v relativně malém počtu, i když výskyt v porostu může být silný (Hamouz, 2005).

9. Systém lokálně specifické regulace zaplevelení

Herbicidní ochrana je v principech integrované ochrany rostlin založena na využití prahů škodlivosti. Cílem je přizpůsobit intenzitu ochranných opatření každého pozemku aktuálnímu stavu zaplevelení. Ekonomickým prahem škodlivosti je hraniční hodnota hustoty zaplevelení, při jejímž překročení je již ošetření ekonomicky výhodné. Většina autorů obecně

uvádí jako práh škodlivosti v obilovinách pro svízele 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). Häusler *et al.* (1998) používali při modelování lokálně specifického herbicidního ošetření v obilninách tyto prahy: pýr plazivý – 0,1 r. / m², ostatní jednoděložné druhy – 20 r. / m², svízele přítula – 0,2 r. / m², pcháč oset - 0,1 r. / m², ostatní dvouděložné druhy 40 r. / m².

Výše uvedené hodnoty prahů škodlivosti jsou většinou stanoveny jako dlouhodobý průměr mnoha opakování. Vliv jednotlivých druhů plevelů na kulturní porost není závislý pouze na početnosti, ale také na vývojové fázi příslušných druhů stejně jako hustotě a vývojové fázi kulturního porostu a dále na půdních a povětrnostních podmínkách, které jsou v závislosti na ročníku a stanovišti velmi variabilní.

V době rozhodování o herbicidním zásahu nemůže být očekávané konkurenční působení na základě pevně daných hodnot s dostatečnou přesností stanoveno, zvláště je-li celý pozemek považován za homogenní. Lindquist *et al.* (1998) dokládají, že míra shlukovitosti populace plevelného druhu má zásadní vliv na výnosovou ztrátu na pozemku jako celku. Při stejné průměrné hustotě zaplevelení způsobují agregované populace podstatně nižší ztrátu výnosu, protože na některých částech pozemku se v takovém případě sledovaný druh vůbec nevyskytuje a jeho vyšší výskyt v ostatních částech pozemku není provázen lineárním nárůstem ztráty výnosu.

Při regulaci zaplevelení podle principu precizního zemědělství mohou být vypočítávány prahy škodlivosti specificky pro jednotlivé části pozemku, přičemž lze využít jak aktuální data (hustota zaplevelení, kvalita porostu), tak i data historická jako je mapa půdních vlastností, výnosová mapa a další informace popisující heterogenitu stanovištních podmínek (Kunisch, 2002). K tomuto účelu je však nutné nejprve vytvořit modely, které budou proměnlivost prahu škodlivosti v závislosti na různých podmínkách definovat.

Prostorové uspořádání výskytu plevelů ovlivňuje ekonomický výsledek lokálně specifické aplikace herbicidu. Při velké variabilitě výskytu plevelů vede k dosažení výrazné úspory herbicidu a tím snížení ekologické zátěže prostředí (Christensen *et* Heisel, 1998). Gerhards *et al.* (2002) dosáhl použitím lokálně specifické aplikace herbicidu na pěti pozemcích v ozimém ječmeni v průměru 60 % úspory herbicidu proti dvouděložným plevelům a 92 % úspory proti jednoděložným plevelům. V kukuřici dosahovalo ušetřené množství 11 % pro dvouděložné a 81 % pro jednoděložné druhy. V cukrovce bylo lokálně specifické ošetření uplatněno jen na dvou pozemcích, kde činila úspora 42 % pro dvouděložné resp. 36 % pro jednoděložné. Häusler *et al.* (1998) zjistili na dvou honech ozimé pšenice nadprahový výskyt svízele přítuly na 24 a 35 % plochy, ostatních dvouděložných druhů pouze na 25 a 31 % plochy a jednoděložných plevelů na 55 a 7,5 % pozemku. Christensen *et* Heisel (1998) dospěli při simulaci lokálně specifické aplikace k 40

% omezení potřeby herbicidu. Nordmeyer *et* Häusler (2000) stanovili potřebu ošetření proti jednoděložným druhům na různých pozemcích od 7 do 64%. Hamouz (2005) stanovil teoretickou úsporu herbicidu od 24 % do 91 % oproti standardnímu celoplošnému ošetření při použití společné tank-mix aplikace proti všem plevelům a od 41% do 99,8 % při aplikaci proti jednotlivým skupinám plevelů vytvořeným podle citlivosti k herbicidním látkám.

Podkladem pro klasické lokálně specifické ošetření je aplikační mapa, v níž je zachycena plocha s nadprahovým výskytem určitého škodlivého činitele na daném pozemku. Ve spojení s navigačním systémem je na základě této mapy určována poloha, ve které jsou otevírány a uzavírány aplikační ventily postřikovače (Gerhards *et al.*, 2000). V mapě mohou být obsažena data pro jeden nebo více druhů plevelů. Obvykle jsou vytvářeny skupiny plevelů s podobnými prahy škodlivosti a shodnou citlivostí k určitým herbicidním látkám. Nejjednodušší systémy variabilní aplikace umožňují aplikovat pouze jednu dávku přípravku. V nádrži postřikovače je postřiková kapalina (jeden herbicid nebo tank-mix více přípravků). V tomto případě je nutné zvolit jeden práh, který je kritériem pro otevření či uzavření aplikačních trysek. Dokonalejší systémy mohou používat více úrovní dávky herbicidu podle aktuálního stupně zaplevelení (Sökefeld *et al.*, 2000). Tento systém je zvláště vhodný pro aplikaci herbicidů se širokým spektrem účinku, kdy není nutné použít tank-mix.

V situaci, kdy je nutné na pozemku aplikovat více přípravků, je vhodnější využít některého ze systémů umožňujících jejich oddělenou aplikaci, ať již se jedná o systém s více nádržemi na postřikovou kapalinu nebo systém přímé injeckáže herbicidu, u kterého lze však použít jen herbicidy s kapalnou formulací. Tímto způsobem je možno dosáhnout větší úspory herbicidu pro jednotlivé skupiny plevelů. Pro oddělenou aplikaci je výhodnější použití levnějších přípravků s užším spektrem účinku, které by však mělo co nejpřesněji odpovídat skupině plevelů na něž je přípravek aplikován. V případě výraznějšího překrývání spekter použitých herbicidů může být tento způsob aplikace i do jisté míry nevýhodný, protože jsou-li ohniska různých skupin plevelů na shodném místě, může v těchto místech dojít k dvojitmu ošetření proti některým druhům plevelů (Hamouz, 2005).

Nordmeyer *et* Häusler (2000) a Nordmeyer *et* Zuk (2002) rozlišují při aplikaci tyto skupiny plevelů podle prahů škodlivosti a citlivosti k herbicidům: dvouděložné druhy, jednoděložné druhy a svízel přítulu. Gerhards *et al.* (2000) používá program umožňující aplikaci tří úrovní dávky podle intenzity zaplevelení při zohlednění tří skupin škodlivých činitelů s různými prahy škodlivosti. Je-li u kteréhokoliv z faktorů překročena stanovená prahová hodnota, dochází ke změně dávky postřikové kapaliny, která je v tomto případě jednotná pro všechny plevele. Pokud jednotlivé skupiny vyžadují použití odlišných účinných látek, je nutno provést tank-mix aplikaci. Na určitých částech plochy jsou tak aplikovány některé herbicidní látky nadbytečně. Oddělenou aplikaci možno uskutečnit pouze opakovaným přejezdem pozemku, což zvyšuje náklady na aplikaci. Tento problém by

odstraní koncept přímého mísení aplikační jíchy, u něhož jsou jednotlivé přípravky vpravovány do přírodního potrubí jednotlivých sekcí rámu postřikovače. Tak je možno v každém okamžiku definovat požadované složení postřikové kapaliny v závislosti na aktuální intenzitě zaplevelení a druhovém spektru (Landers).

Stupeň redukce herbicidního ošetření bude záviset nejen na samotném výskytu plevelů, ale také na úrovni prostorového rozlišení při tvorbě mapy. To by mělo odpovídat úrovni rozlišení aplikační techniky (Wallinga *et al.*, 1998). Obvykle používaná šířka aplikačního rámu postřikovačů se pohybuje v současné době od 12 do 36 m. Je-li dávka herbicidu regulována jednotně pro celý rám, musí být ošetření provedeno v celé šířce záběru i v případě, kdy je práh překročen jen v určité části. Tím dochází k nadbytečnému ošetřování částí plochy a k degradaci konečného efektu. V podélném i příčném směru je prostorové rozlišení dále limitováno přesností navigace a v podélném směru navíc její synchronizací s aplikační technikou. Nordmeyer *et Häusler* (2000) udávají přesnost navigačního systému GPS s korekčním signálem 1 – 4 m. Rew *et al.* (1996) doporučují kolem každého ohniska vytvořit ochranný pás, který je ošetřován, i když v době hodnocení výskytu plevelů nevykazuje zaplevelení, jako pojistku proti nepřesnostem v mapování i samotné aplikaci a při použití map z minulých let rovněž kvůli možnosti prostorových změn v lokalizaci okrajů ohnisek. Pro použití systému variabilní aplikace je obecně výhodnější takový charakter zaplevelení, kdy se na pozemku vyskytuje menší počet ohnisek, které jsou rozsáhlejší, než naopak. Malá ohniska jsou těžko zachytitelná diskretním způsobem mapování a vyžadují zhuštění mapovací sítě. Rovněž na aplikační techniku jsou kladeny větší nároky - musí být velmi přesně lokalizována a musí citlivě reagovat na náhlé změny v dávkování Hamouz (2005).

Diskutovanou otázkou je vliv lokálně specifické ochrany na prostorovou stabilitu ohnisek plevelů. Plevelé jsou potlačovány jen v místech s vysokou hustotou, naopak v místech s podprahovým výskytem není vnějšími zásahy narušován jejich růst a tvorba generativních orgánů. To vytváří teoretický předpoklad postupné homogenizace pozemku. Krohmann *et al.* (2002) uvádí, že nasazení lokálně specifické herbicidní ochrany na pokusném pozemku podobu pěti let nevedlo k nárůstu plevelných populací na neošetřovaných částech. Naopak ohniska plevelů v určitých částech pozemku zůstávají často po mnoho let stabilní, ačkoliv herbicidní zásah, jenž je proti nim v jednotlivých letech prováděn, je účinný. Samotné použití lokálně specifické ochrany tedy nevede během několika let k výrazné homogenizaci plevelných populací na pozemku. Gerhards *et al.* (2000) uvádí, že v ozimé pšenici byl po lokálně specifické aplikaci herbicidu zaznamenán nejvyšší výskyt psárky polní opět v místech původních ohnisek, přestože zde byla aplikována dávka 2 l isoproturonu na hektar. To indikuje, že běžné herbicidní zásahy nejsou schopny dostatečně kontrolovat plevelé v místech s velmi vysokou hustotou zaplevelení.

Lokálně specifická ochrana je výhodná zejména u plodin s vysokou konkurenční schopností jako jsou obiloviny a řepka. U širokořádkových kultur je její použití problematické. Protože plevele v neošetřených částech pozemku mohou ke svému růstu, jenž je zde omezen jen relativně slabší konkurenční schopností kultury, využít celé vegetační období, je vhodnější provést celoplošnou aplikaci namísto lokálně specifické. Zabrání se tak silnějšímu pozdnímu zaplevelení a tím i přibývání semen do půdní zásoby (Krohmann *et al.*, 2002).

10. Závěr

Použití prostorově diferencovaných způsobů regulace zaplevelení je v současné době stále limitováno vysokou časovou náročností mapovacích metod. Výskyt plevelů podléhá často maloprostorovým kolísáním, což může mít za následek, že hodnota zjištěná na rastrovém bodě není reprezentativní pro plochu, jež má popisovat, neboť je v ní obsažen značný podíl náhodnosti. Lokálně specifická regulace zaplevelení může být v současné době účelná jen na slabě zaplevelených pozemcích s velkým potenciálem úspory herbicidu. Její rozšíření je podmíněno vývojem automatizovaných systémů, které budou schopny rychle vytvářet spolehlivé mapy zaplevelení. Ani tyto systémy však nebudou schopny mapovat kontinuálně celou plochu, proto bude i pro ně důležité volit v závislosti na jejich možnostech optimální metodu vzorkování.

11. Použitá literatura

- Akin H., Siemes H. (1988): Praktische Geostatistik. Eine Einführung für den Bergbau und die Geowissenschaften. Hochschultext. Springer Verlag, Berlin
- Barralis G., Chadoeuf R., Lonchamp J.P. (1988): Longévité des semences de mauvaises herbes annuelles dans un sol cultivé. Weed research, 28, 407-418
- Beer, E., Heitefuss, R.(1981):Ermittlung von Bekämpfungsschwellen und wirtschaftlichen Schadehsschwellen für monokotyle und dikotyle Unkräuter in Winterweizen und –gerste. II. Bekämpfungsschwellen und Wirtschaftliche Schadensschwellen in Abhängigkeit von verschiedenen Bekämpfungskosten, Produktpreis und Ertragsniveau. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz,88, 321-336
- Biller R.H., Ihle W. (2000): Pflanzenunterscheidung mit optischen Sensoren. Landtechnik, 55, 2, 184-149
- Brodský L. (2003): Využití geostatistických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd. Doktorská disertační práce ČZU Praha.
- Cardina J., Sparrow D.H., McCoy E.L. (1996): Spatial relationships between seedbank and seedling populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and annual grasses. Weed Science, 44, 298-308.

- Chancellor R.J. (1985): Changes in the weed flora of an arable field cultivated for 20 years. *Journal Of Applied Ecology*, 22 (2), 491-502.
- Chauvel B., Colbach N., Munier-Jolain N.M. (1998): How to estimate weed flora in a field ? Comparison sampling methods. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 16, 265-272.
- Christensen S. Heisel T. (1998): Patch spraying using historical, manual and real time monitoring of weeds in cereals. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVI*, 257-263
- Clay S.A., Lems G.J., Clay D.E., Forcella F., Ellsbury M.M., Carlson C.G. (1999): Sampling weed spatial variability on a fieldwide scale. *Weed Science*, 47, 674-681.
- Colbach N., Forcella F., Johnson G.A. (2000): Spatial and temporal stability of weed populations over five years. *Weed Science*, 48, 366-377,
- Cousens R., Croft A.M. (2000): Weed populations and pathogens. *Weed research*, 40, 63-82.
- Dessaint F., Chadoeuf R., Barralis G. (1991): Spatial patern analysis of weed seeds in the cultivated soil seed bank. *Journal of Applied Ecology*, 28, 721-730
- Dieleman J. A., Mortensen D.A. (1999): Characterizing the spatial pattern of *Abutilon theophrasti* seedling patches. *Weed research*, 39, 455-467
- Donald W.W. (1994): Geostatistics for Mapping Weeds, with a Canada Thistle (*Cirsium arvense*) Patch as a Case Study. *Weed Science*, 42, 648-657
- Felton W.L., McCloy K.R. (1992): Spot spraying. *Agric. Eng.* 73, 9-12
- Gerhards R., Sökefeld M., Knuf D., Kühbauch W. (1996): Kartierung und geostatistische Analyse der Unkrautverteilungin Zuckerrübenschlägen als Grundlage für eine teilschlagspezifische Bekämpfung. *Journal of Agronomy ad Crop Science.* 176, 259-266
- Gerhards R., Sökefeld M., Kühbauch W. (1998):Einsatz der digitalen Bildverarbeitung bei der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVI*, 273-278
- Gerhards R., Sökefeld M., Timmermann C., Krohmann P., Kühbauch W. (2000): Precision Weed Control – more than just saving herbicides. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVII*, 179-186
- Gerhards R., Sökefeld M., Nabout A., Therburg R.D., Kühbauch W. (2002): Online weed control using digital image analysis. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVIII*, 421-427
- Gerhards R., Wyse-Pester D.Y., Mortensen D., Johnson G.A. (1997): Characterizing spatial stability of weed populations using interpolated maps. *Weed Science*, 45, 108-119
- Gross K. L. (1990): A comparison of methods for estimating seed numbers in the soil. *Journal of Ecology*, 78, 1079-1093
- Hamouz P. (2005): Optimalizace ochrany proti plevelům v závislosti na nerovnoměrnosti jejich výskytu na pozemku. *Disertační práce ČZU Praha.* 146 s.

- Hamouz P., Soukup J. Gerhards R. (2002): Unkrautverteilung und Ortsstabilität der Unkrautnester auf Ackerflächen in Abhängigkeit der Fruchtfolge. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVIII, 269-275
- Hamouz P., Soukup J., Holec, J. Nováková K. (2004): Field-scale variability of weed distribution on arable land. Zeitschrift für Pflkrank. und Pflsch. Sonderheft, vol. XIX, 2004, 445 – 452.
- Häusler A., Nordmeyer H., Niemann P. (1998): Voraussetzungen für eine teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVI, 249-256.
- Heinrich, U. (1981): Zur Methodik der räumlichen Interpolation mit geostatistischen Verfahren. Untersuchungen zur Validität flächenhafter Schätzungen diskreter Messungen kontinuierlicher raumzeitlicher Prozesse. Deutscher Universitätsverlag.
- Heisel T., Andreasen C., Ersbøll A.K. (1996): Annual weed distributions can be mapped with kriging. Weed Research., 36(4), 325-338
- Horne J.K., Schneider D.C. (1995): Spatial variance in ecology. Oikos, 74, 18-26
- Hron F., Kohout V. (1977): Polní plevelé – metody plevelářského výzkumu a praxe. SPN Praha
- Isaaks E.H., Srivastava R.M. (1989): An introduction to Applied Geostatistics. Oxford university press.
- Johnson G.A.; Mortensen D.A.; Martin A.R. (1995a): A simulation of herbicide use based on weed spatial distribution. Weed Research, 35(3), 197-205
- Kohout V. *et al.* (1996): Herbologie. ČZU Praha, 115 s.
- Koch W.(1968): Zur Lebensdauer von Unkrautsamen. Saatgutwirtschaft, 8, 251-253
- Krohmann P., Timmermann C., Gerhards R., Kühbauch W. (2002): Ursachen für die persistenz von Unkrautpopulationen. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVIII, 261-268
- Kunisch M. (2002): Precision Farming in der Unkrautbekämpfung? Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVIII, 415-420
- Landers A.: Use of direct injection sprayers for precision agriculture. <http://www.aben.cornell.edu/extension/pestapp/publications/dir.inj.nj.html>
- Lindquist J. L., Dieleman J. A., Mortensen D. A. (1998): Economic importance of Managing spatially heterogeneous weed populations. Weed Technology, 1998, 12, 7-13
- Marshall E. J. P. (1988) Field-scale estimates of grass weed populations in arable land. Weed Research, 28, 191-198
- Mortensen D. A., Dieleman J. A. (1997): The biology underlying weed management treatment maps in maize. Proceeding 1997 Brighton Crop Protection Conference – Weeds. Brighton, UK, 645-648

- Mortensen D. A., Johnson G. A., Young L. J. (1993): Weed Distribution in Agricultural Fields. in Soil Specific Crop Management, P. Robert et R.H. Rust (eds.), American society of Agronomy, Madison, WI, 113-124
- Niemann P. (1981): Schadschwellen bei der Unkrautbekämpfung. Angewandte Wissenschaft, Reihe A, Heft 257
- Nordmeyer H., Dunker M. (1999): Variable weed densities and soil properties in a weed mapping concept for patchy weed control. Proceedings 2nd European Conference on Precision Agriculture, Sheffield Academic Press, 453-462
- Nordmeyer H., Häusler A. (2000): Erfahrungen zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung in einem Praxisbetrieb. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVII, 195-205
- Nordmeyer H., Niemann P. (1992): Möglichkeiten der gezielten Teilflächenbehandlung mit Herbiziden auf der Grundlage von Unkrautverteilung und Bodenvariabilität. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIII, 539-547
- Nordmeyer H., Zuk A. (2002): Teilflächenunkrautbekämpfung in Winterweizen. . Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVIII, 459-466
- Rew L. J., Alston C. L., Harden S., Felton W. L. (2000): Counts versus categories: choosing the more appropriate weed scoring method. Australian Journal of Experimental Agriculture, 40, 1121 - 1129
- Rew L. J., Cussans G. W., Muggleston M. A., Miller P. C. H. (1996): A technique for mapping the spatial distribution of *Elymus repens*, with estimates of the potential reduction in herbicide usage from patch spraying. Weed Research 36, 283-292
- Rew L. J., Cousens R.D. (2001): Spatial distribution of weeds in arable crops: are current research methods appropriate? Weed Research, 40, 1-18
- Roberts H. A., Potter M. E. (1980): Emergence patterns of weed seedlings in relation to cultivation and rainfall. Weed Research, 20, 377-386
- Sökefeld M. (1997): Automatische Erkennung von Unkrautarten im Keimblattstadium mit digitaler Bildverarbeitung. Dissertation Univ. Bonn.
- Sökefeld M., Gerhards R., Kühbauch W. (2000): Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle - von der Unkrauterfassung bis zur Herbizidapplikation. – Z. Pfl.Krankh. Pfl.Schutz, Sonderh. XVII, 227-233
- Vleeshouwers L. M., Kropff M. J. (1996): Prediction of weed emergence in the field. Proceedings of Second International Weed Control Congress, Copenhagen, 209-214
- Wallinga J. (1995) The role of space in plant population dynamics: annual weeds as an example. Oikos 74, 377-383
- Wallinga J., Groeneveld R. M. W., Lotz L. A. P. (1998): Measures that describe weed spatial patterns at different levels of resolution, and their applications for patch spraying of weeds. Weed Research 38, 351-359

- Walter A. M. (1996): Temporal and spatial stability of weeds. Second international weed Control Congress, Copenhagen, 125-130
- Walter A. M., Christensen S., Simmelsgaard S. E. (2002): Spatial correlation between weed species densities and soil properties. *Weed Research*, 42, 26-38
- Wahmhof W., Heitefuss R. (1985): Untersuchungen zur Anwendung von Schadensschwellen für Unkräuter in Wintergerste. I. Einflußfaktoren und Prognosemöglichkeiten der entwicklung von Unkrautbeständen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 92, 1-16
- Wartenberg G., Dammer K. H. (2002): Erfahrungen bei der Verfahrensentwicklung zur teilflächenspezifischen Herbizidanwendung in Echtzeit. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVIII*, 443-450
- Webster R., Oliver M. (2001): *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons, 271 s
- Werner B., Garbe V. (1998): Bedeutung der Unkrautverteilung im Winterrraps für eine gezielte Bekämpfung nach Schadensschwellen. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderheft XVI*, 279-288
- Wilson B. S., Brain P. (1991): Long term stability of *Alopecurus myosuroides* within cereal fields. *Weed Research*, 31, 367-373
- Wilson R. G., Kerr E. D., Nelson L. A. (1985): Potential for Using Weed Seed Content in the Soil to Predict Future Weed Problems. *Weed Science*, 33, 171-175

II. ČÁST: VÝŽIVA ROSTLIN A HNOJENÍ V SYSTÉMU PRECIZNÍHO HOSPODAŘENÍ

1. Úvod

Základním principem precizního zemědělství je usměrňování jednotlivých pracovních operací tak, aby maximálně odpovídaly podmínkám konkrétního místa na pozemku. Precizní zemědělství vychází ze znalostí variability půdního prostředí a umožňuje přistupovat k jednotlivým částem honu odděleně podle úrovně sledovaných faktorů. Pro získání údajů o pozemku jsou používány odběry vzorků půd, rostlin, mapování pomocí senzorů nebo metody leteckého a satelitního snímání. Pro hodnocení variability faktorů se vztahem k výživě rostlin (agrochemické vlastnosti půd, zejména zásoba přístupných živin P, K, Mg a půdní reakce) je doposud nejvíce používanou metodou odběr půdních vzorků. Současná hodnocení variability vycházejí nejčastěji z analýzy vzorků odebraných v síti bodů. Volba schématu vzorkování je individuální podle sledovaného pozemku a musí respektovat prostorovou variabilitu sledovaných měřených parametrů, technické, ekonomické a analytické možnosti a způsob konečného vyhodnocení získaných dat.

Při odběru půdních vzorků je nutné uvážit i vliv časové proměnlivosti sledovaných půdních parametrů. Parametry s vysokou prostorovou závislostí a nízkým podílem časové variability se v systému precizního hospodaření uplatňují snáze. Sezónní variabilitu v hodnotách půdních testů lze očekávat zejména díky změnám v působení faktorů, které ovlivňují příjem živin rostlinami a doplňování půdního roztoku živinami. Dobu vzorkování je potřeba zvolit s ohledem na minimalizaci sezónního efektu. Z výsledků pokusů většiny autorů zabývajících se výzkumem v této oblasti je zřejmá nízká časová proměnlivost hodnoty pH půdy a obsahu přístupného fosforu, draslíku a hořčíku v půdě, což umožňuje víceleté využití výsledků půdních testů pro návrh variabilní aplikace hnojiv. K výraznějším změnám během roku dochází vždy u labilních forem tj. živin v půdním roztoku včetně obsahu minerálního dusíku v půdě.

Pro posouzení vzájemných vztahů mezi sledovanými půdními vlastnostmi navzájem a např. výnosem je využívána korelační a regresní analýza spolu s faktorovou analýzou. Většina půdních vlastností je prostorově variabilní a proto je nutné získaná data převést do mapové podoby přiřazením hodnot zeměpisných souřadnic x a y. K tomu slouží geostatistika tj. věda zahrnující soubor metod pro analýzu, charakteristiku a zhodnocení prostorové závislosti. Nezbytnou součástí procesu mapování je interpolace. Jedná se o výpočet hodnot proměnné u velkého množství bodů, ležících na neovzorkovaných územích na základě informací o proměnné z nejbližších bodů odběru půdních vzorků.

Ekonomický profit lokálně cílené aplikace hnojiv závisí na schopnosti vzorkování dostatečně reprezentovat hlavní plochy o různé úrovni zásoby přístupných živin v půdě a tak od sebe oddělit plochy, kde není nutná aplikace a kde je nutné dávku odstupňovat.

2. Způsoby mapování prostorové variability na pozemku

Základním principem lokálně specifického hospodaření na pozemku je usměrňování jednotlivých pracovních operací a vstupů do výroby tak, aby maximálně odpovídaly podmínkám konkrétního místa na pozemku, jinými slovy, aby zohledňovaly prostorovou variabilitu sledovaných parametrů.

Odhad variability je tedy základním krokem v cyklu precizního hospodaření. Správné určení lokálně specifických odlišností v půdních vlastnostech, růstových parametrech a ostatních faktorech ovlivňujících výnos dovoluje pochopit vztah mezi půdním prostředím a rostlinou.

Prostorová variabilita se na pozemku vyskytuje ve všech popsaných úrovních; mikro, meso a makro, proto je třeba jednotlivé postupy mapování přizpůsobit tak, aby získaná data byla reprezentativní. Kvalita a použitelnost získaných dat závisí do značné míry na hustotě měření. Z tohoto pohledu lze možnosti získávání prostorově vztahovaných dat o pozemku rozdělit na:

- mapování na základě odběru půdních vzorků (jednotky vzorků na hektar)
- mapování pomocí senzorů (stovky dat na hektar)
- letecké a satelitní snímkování (tisíce dat na hektar)

Poslední dva uvedené způsoby se vyznačují kromě vysoké hustoty zaznamenaných prostorově vztažených dat také krátkým intervalem mezi měřením a využitím naměřených dat. To je důležité zejména u vlastností s vysokou časovou proměnlivostí (půdní vlhkost, obsah minerálního dusíku, růstové charakteristiky). Zejména díky tomu našla senzorová technika doposud největší uplatnění při monitorování variability výnosu nebo při diagnostice výživy rostlin dusíkem (Olfs 2000).

Letecké a satelitní snímkování je velkým přínosem při detekci prostorové variability díky velké rozlišovací schopnosti. Dovoluje monitorovat růst rostlin a určit možné příčiny výnosové variability (Schepers et al. 1996). Tento způsob získávání podkladů o variabilitě není doposud příliš rozšířen díky své finanční náročnosti (Frazier et al. 1997).

Nejrozšířenějším způsobem získávání podkladů o prostorové variabilitě je metoda mapování na základě odběru půdních vzorků.

2. 1. Mapování na základě odběru půdních vzorků

Odběr půdních vzorků je doposud nejvíce používanou metodou získávání plošně vztažených informací o vlastnostech pozemku. Je zmiňována v celé řadě prací zabývajících se plošnou variabilitou.

V ČR je půdní vzorkování od 60. let zavedeno systematicky v rámci Agrochemického zkoušení půd (AZP). Metodika AZP je založena na odběru průměrného vzorku o hustotě, příslušné pro danou výrobní oblast (kukuřičná a řepařská 1 vzorek na 10 ha, bramborářská a horská 1 vzorek ze 7 ha).

Pro popis prostorové variability na homogenním pozemku náhodný odběr vzorků a analýza směsného vzorku. Dílčí odběry musí přitom dostatečně reprezentovat celou sledovanou plochu. Postupně s rostoucím povědomím o variabilitě půdních vlastností bylo nutné revidovat některá doporučení, vycházející z těchto konvenčních metod vzorkování.

Pocknee a Boydell (1995) rozlišují dvě základní metody vzorkování: odběr z ploch pravidelně rozmístěných po pozemku nebo odběr z pravidelné sítě bodů. Při vzorkování jednotlivých ploch byla přiřazena jedna hodnota pro celou měrnou plochu. V případě zvolení příliš velké sítě odběru a vysoké úrovni prostorové variability dochází k nesprávnému odlišení lokalit s různou úrovní sledovaného faktoru. To spolu s časovou náročností přispělo k malému uplatnění tohoto způsobu v praxi.

Současná hodnocení variability vycházejí nejčastěji z analýzy bodových vzorků. Odběr ze sítě bodů není tak časově náročný. Aby mapa, vytvořená na základě takto získaných dat, co nejlépe vykreslovala reálnou skutečnost, je nutné získat dostatečné

množství informací. Protože tato metoda uvažuje pouze s omezeným počtem odběrových míst, musí se pro dopočet hodnot z neovzorkovaných částí pozemku použít některá z interpolačních metod (Brodský a Vaněk 2000).

2.1.1 Hustota odběru půdních vzorků

Při půdním vzorkování je důležitým parametrem zvolená hustota vzorkování. Schepers et al. (2000) uvádějí, že hustota vzorkování může ovlivnit rozložení a tvar území, reprezentujícího odlišnou úroveň sledovaného znaku. Se zvyšující se hustotou vzorkování klesá variabilita mezi sousedními vzorky.

Obvykle se odebírá 1 vzorek z plochy 0,4 – 1,6 ha, nejčastěji jeden vzorek z hektaru. V některých pracích zabývajících se optimální hustotou pravidelného systematického vzorkování byly navrženy různé odběrové sítě; 100 x 100 m (Pocknee a Boydell 1995), 67 x 67 m (Penney et al. 1996), 60 x 60 m (Dampney et al. 1997), 90 x 90 m (Wollenhaupt et al. 1995) nebo 80 x 80 m (Brodský a Vaněk 2000). Navržená síť odběru vzorků by měla být dostatečně přesná, postihnout úroveň variability sledovaných parametrů, ale přitom nesmí celý proces neúměrně prodražovat. Ekonomický profit lokálně cílené aplikace hnojiv závisí na schopnosti vzorkování dostatečně reprezentovat hlavní plochy o různé úrovni zásoby přístupných živin v půdě a tak od sebe oddělit plochy, kde není nutná aplikace a kde je nutné dávku odstupňovat.

2.1.2 Volba vhodného schématu vzorkování

Při volbě vhodné strategie vzorkování je nutné přihlížet k předpokládané hodnotě variačního koeficientu pro měřený parametr, zohlednit informace o historii pozemku a velikost a topografii pozemku a uvážit časovou, pracovní a finanční náročnost (Wollenhaupt et al. 1994).

Pro dosažení maximální reprezentativnosti získaných dat je třeba zvolit vhodné schéma vzorkování s optimální hustotou a vzájemným rozmístěním odběrových míst na pozemku.

Volba schématu vzorkování je individuální dle sledovaného pozemku a musí respektovat prostorovou variabilitu sledovaných měřených parametrů, technické, ekonomické a analytické možnosti a způsob konečného vyhodnocení získaných dat.

Doposud nejrozšířenější způsob zjišťování parametrů půdní úrodnosti na základě analýzy tzv. směsného vzorku nerespektuje existenci prostorové variability napříč pozemkem. Pro postihnutí prostorové variability je nutné rozdělit plochu na několik dílčích jednotek, jejichž tvar a velikost se budou lišit v závislosti na zvoleném schématu vzorkování.

Způsob, kdy je půdní vzorek na pozemku odebírán z libovolného místa na pozemku, se nazývá náhodné vzorkování. Pro sledování proměnných vyskytujících se ve shlucích a při

prvním orientačním průzkumu pozemku se často využívá shlukové nebo hnízdové schéma vzorkování.

Ve většině prací, zabývajících se půdním vzorkováním je zmiňován pravidelný, systematický návrh vzorkování, založený na pokrytí sledované plochy sítí bodů, vzdálených od sebe v pravidelných intervalech. Tento způsob je upřednostňován díky své jednoduchosti a preciznosti.

Při rozhodování o nejvhodnějším systému vzorkování v konkrétních podmínkách lze využít celou řadu informací, kterých je využíváno při úsudkovém, resp. řízeném schématu vzorkování.

Ať už se uživatel pozemku rozhodne jakkoliv, měl by návrh schématu vzorkování vždy co nejlépe vystihovat prostorové rozložení sledovaného znaku na pozemku a současně respektovat ekonomickou stránku procesu vzorkování. Zde je patrný rozpor mezi kvalitou získaných dat a celkovými náklady na vzorkování.

Rovněž důležitým předpokladem využití dat o prostorové variabilitě získaných různými systémy vzorkování je jejich využití v geostatistice.

2.2. Zákonitosti vlastního odběru bodového půdního vzorku a jeho zpracování

Při bodovém odběru půdních vzorků musí vzorek co nejlépe reprezentovat reálný stav v daném místě. K tomu je zapotřebí určit optimální velikost bodu odběru a počet vpichů sondovací tyčí tvořících jeden vzorek. Z plochy zahrnuté do vzorkování by se měly vyloučit oblasti, kde by hodnoty měřených charakteristik mohly dosahovat extrémních hodnot (bývalá polní hnojiště, okraje pozemku atd.).

Odběrové místo je tvořeno nejčastěji kruhem nebo čtvercem o daném průměru respektive délce strany. Přístupy jednotlivých autorů se mohou v tomto ohledu výrazně lišit, přičemž plocha odběrového místa se pohybuje zpravidla od 5 do 25 m² s počtem vpichů 5 až 15. Z výsledků sledování prostorové variability obsahu přístupného fosforu, draslíku a hořčíku na pozemku o výměře 54 ha v řepařské oblasti se jeví jako dostačující odběr 7 vpichů z kruhu o průměru 6 m se středem v záměrném bodě (Štípek et al. 2000, Brodský a Vaněk 2001).

2.2.1 Hloubka odběru vzorku půdy

Při odběru bodového půdního vzorku je důležité dodržet správnou hloubku odběru. Metodika AZP uvádí hloubku odběru shodnou s orniční vrstvou, maximálně do 30 cm.

Na půdách, kde jsou půdní horizonty dobře odlišitelné se doporučuje dle nich upravit hloubku vzorkování, naopak na homogenních půdách se slabě vyvinutými půdními horizonty je úspěšnější vzorkování v pravidelném intervalu hloubky. Vzorek obsahující části dvou přilehlých horizontů, které jsou navíc rozdílné, může poskytovat zkreslené údaje (Tan 1995).

V klasickém orebním systému se očekává rozvrstvení živin v profilu, proto by se měla hloubka vzorkování shodovat s hloubkou orby (Peck a Melsted 1967 in Wollenhaupt et al. 1995, Westerman 1990). K úpravě hloubky vzorkování by mělo dojít při použití bezorebných technologií (Viera et al. 2001) a také s ohledem na hloubku kořenového systému (prokořenění půdy) a distribuci živin v půdě. Hlubší vzorkování je doporučováno zejména při sledování mobilních živin (Westerman 1990).

2.2.2 Úprava půdního vzorku k analýze

Přesnost vzorkování je také dáována do souvislosti s velikostí vzorku, která je odvozena od hrubosti materiálu, účelu vzorkování, množství analýz a jejich požadované přesnosti. Tan (1995) doporučuje minimální hmotnost vzorku u lehké písčité půdy 500 g a u jílu pouze 150 g.

K analýze vzorků v rámci AZP se využívá homogenizovaného vzorku, sušeného při laboratorní teplotě o minimální velikosti půdních částic 2 mm (jemnozeme). Tento postup se týká většiny parametrů, kromě analýz na obsah minerálního a mineralizovatelného dusíku v půdě. Zde platí, že pokud nemohou být vzorky zpracovány bezprostředně po odběru, měly by být zamrazeny při teplotě $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Vliv ročníku a termínu odběru na úroveň prostorové variability půdních vlastností – časová variabilita

Při odběru půdních vzorků je nutné kromě ostatních aspektů uvážit vliv časové proměnlivosti sledovaných půdních parametrů. Jednotlivé charakteristiky se od sebe v zastoupení prostorové a časové variability mohou výrazně lišit a s tím může kolísat jejich uplatnění v systému precizního hospodaření, přičemž parametry s vysokou prostorovou závislostí a nízkým podílem časové variability se v systému precizního hospodaření uplatňují snáze.

Sezónní variabilitu v hodnotách půdních testů lze očekávat zejména díky změnám v působení faktorů, které ovlivňují příjem živin rostlinami a doplňování půdního roztoku živinami (sorpce, desorpce, transport vody, mikrobiální činnost v půdě, hodnota pH a KVK).

Časová variabilita znamená dle Hoskinsona et al. (1999) určitou komplikaci při sestavování map variabilní aplikace hnojiv, proto by měla být doba vzorkování zvolena s ohledem na minimalizaci sezónního efektu. Podle metodiky AZP v ČR je vzorkování rozděleno na jarní odběr (od 1.2. do 31.5.) a podzimní odběr (od 1.7. do 30.11.). Často je doporučován odběr vzorků půdy současně se vzorky rostlinného materiálu, kde termín odběru závisí na růstové fázi (Tan 1995).

Úroveň časových změn prostorové variability velmi kolísá od zvoleného pozemku či oblasti, způsobu hospodaření, pěstované plodiny, půdních vlastností, zejména půdní vlhkosti.

Z výsledků pokusů většiny autorů zabývajících se výzkumem v této oblasti je zřejmá nízká časová proměnlivost hodnoty pH půdy a obsahu přístupného fosforu, draslíku a hořčíku v půdě, což umožňuje víceleté využití výsledků půdních testů pro návrh variabilní aplikace hnojiv.

Pouze v půdách s převahou vermikulitů a smektitů dochází často ve spojení se změnami půdní vlhkosti ke značným sezónním výkyvům v obsahu přístupného draslíku. K výraznějším změnám během roku dochází vždy u labilních forem tj. živin v půdním roztoku včetně obsahu minerálního dusíku v půdě N_{min} .

4. Variabilita výnosu

Důležitým kritériem pro posouzení stavu jednotlivých lokalit v rámci pozemku je výnos, respektive jeho prostorová variabilita, monitorovaná snímačem výnosu a zpracovaná do výnosových map.

Výnos je determinován fotosyntézou a dýcháním tj. základními životními pochody rostlin. Tyto procesy jsou ovlivněny mimo jiné půdními procesy jako např. pohybem živin a jejich přístupností, pH půdy, vodním a vzdušným režimem půdy.

Informace o variabilitě výnosu, doplněné o další mapy např. zásoby přístupných živin, pH, půdního druhu, utuženosti půdy, zaplevelení a výskytu škodlivých činitelů, pomáhají zjistit, který faktor se nejvíce podílí na variabilitě výnosu v rámci pole. Vhodně zpracovaný soubor takto získaných údajů tvoří základ pro lokálně cílené hospodaření včetně prostorově variabilní aplikace vstupů.

Ačkoliv mapování výnosu tvoří již od počátku 90. let dvacátého století základ precizního zemědělství, lze do budoucna předpokládat právě s ohledem na meziroční variabilitu výnosu, stále větší uplatnění leteckého a satelitního snímání během vegetace, které povede ke spolehlivějšímu kvantitativnímu odhadu výnosu již před sklizní.

4.1. Faktory ovlivňující variabilitu výnosu na pozemku

Potenciál pro precizní pěstování rostlin vychází z interakce mezi genotypem rostliny a vnějšími faktory. Výnos je chápán jako kvantitativní vyjádření úrovně pěstování rostlin a jeho výše závisí, za předpokladu pěstování jedné odrůdy, na široké škále vlivů půdního prostředí a klimatických faktorech, mezi které řadíme působení škodlivých činitelů, množství rostlinám přístupné vody a živin, nerovnoměrné zaplevelení, rozdíly v textuře, obsahu organické hmoty v půdě a pH půdy a chyby při agrotechnických zásazích na pozemku.

4.1.1. Agrochemické vlastnosti půdy

K faktorům, které nejvíce ovlivňují výši výnosu na pozemku patří agrochemické vlastnosti půdy, zejména zásoba přístupných živin (P, K, Mg) a půdní reakce vyjádřená pH.

Prostorová variabilita agrochemických vlastností půd má řadu různých příčin. Především se jedná o skupinu geogenních příčin, tj. různou matečnou horninu a odlišný půdotvorný substrát.

Variabilita má také řadu antropogenních příčin, mezi které patří spolu s nedokonalou aplikační technikou také zcelování menších honů s mnohdy různou úrovní agrotechniky do větších celků.

Prostorovou, ale i časovou variabilitu půdních agrochemických vlastností ovlivňuje také klima, expozice a nadmořská výška stanoviště spolu s úrovní agrotechniky, hnojení a ochrany rostlin.

Při posouzení vlivu různé úrovně zásoby přístupných živin v půdě a hodnoty pH na variabilitu výnosu by mělo být přihlédnuto také k analýzám vzorků rostlin, které mohou být použitelné při monitorování odběru živin rostlinami.

Půdní reakce

Reakce půdy patří k nejvýznamnějším charakteristikám půdy. Na tom, jestli je půda kyselá, neutrální nebo zásaditá do značné míry závisí příjem živin rostlinami (vysoký příjem Al, Fe, Mn při nízkém, resp. Ca, Mg při vyšším pH půdy), přechod cizorodých látek do rostlin a aktivita půdních mikroorganismů. Půdní reakce se dělí dle povahy na aktivní, kde je suspenze tvořena navázkou zeminy a vodou a na výměnnou, kde se jedná o suspenzi zeminy a roztoku neutrálních solí (0,2 M resp. 1 M KCl a 0,01 M CaCl₂). V praxi se více využívá měření výměnné půdní reakce, která méně podléhá sezónním výkyvům, což do značné míry souvisí s kolísáním půdní vlhkosti v průběhu roku..

Obecně se půdní reakce vyznačuje mnohem větší prostorovou variabilitou, než časovou proměnlivostí (Franzen a Peck 1995), což dává předpoklad pro lokálně cílenou aplikaci hnojiv. Správné posouzení plošné variability půdní reakce na pozemku musí být podloženo analýzou dostatečného množství vzorků, volbou vhodné interpolační metody při tvorbě map (Gotway et al. 1996), použitím vhodného extrakčního činidla a využitím údajů o prostorové variabilitě půdního druhu a obsahu organické hmoty v půdě (Ewans et al. 1997).

Protože pH půdy při extrémních hodnotách významně ovlivňuje přístupnost živin rostlinám, a tím také výnos, měl by být půdní test v těchto případech doplněn o analýzu rostlin.

Obsah přístupného fosforu

Fosfor se nachází v půdě ve třech hlavních skupinách:

- fosfor v půdním roztoku, okamžitě přístupný rostlinám ve formě H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}
- fosfor ve formě pomaleji přístupných fosfátů, adsorbovaných na povrchu půdních částic
- stabilní anorganické fosfáty a stabilní organické vazby fosforu

Určitou část z celkového fosforu půdě tvoří fosfor mikrobiální biomasy a fosfor obsažený v posklizňových zbytcích.

Rostlinám přijatelná část fosforu je tvořena P v půdním roztoku a fosforem adsorbovaným labilními vazbami na povrchu půdních částic. Přijatelnost fosforu rostlinami je ovlivněna mnoha faktory, zejména pH půdy, druhem půdy a zásobou ostatních přijatelných živin v půdě. Důležité je rovněž dodržení optimální struktury půdy a podmínek pro zdárný růst kořenů.

Správné určení obsahu přístupného fosforu, ale také ostatních živin, závisí na zvoleném extrakčním postupu. Odlišný chemismus jednotlivých extrakčních činidel způsobuje rozdíly v obsahu přístupného fosforu na půdách s podobnými vlastnostmi, stejně tak použití jednoho extrakčního činidla na různých typech půd může vést k rozdílným výsledkům.

V rámci AZP se v ČR stanovuje obsah přístupného fosforu metodou Mehlich III, zejména díky její univerzálnosti. Přesto Zbíral a Němec (1999) doporučují u půd s pH přesahujícím 7,0 a při obsahu přístupného Ca nad 4000 ppm korekci naměřených hodnot zejména s ohledem na snížení extrakční schopnosti vyluhovadla.

Prostorová variabilita obsahu přístupného fosforu je známa a závisí na řadě půdních a stanovištních podmínek pozemku a na pěstované plodině. Pro posouzení vlivu obsahu přístupného fosforu na variabilitu výnosu lze využít kromě analýz vzorků půdy také údaje o textuře půdy, pH a obsahu organické hmoty v půdě a informace o topografii pozemku (vyšší obsahy na úpatí pozemků vlivem erozní činnosti). Mnohdy na svažitéjších pozemcích jsou vhodnější více než intenzivní hnojení fosforem, spíše úpravy struktury půdy a změny v agrotechnice.

Návrh variabilní aplikace fosforečných hnojiv odvozený od zásoby přístupného P v půdě může být doplněn a zpřesněn na základě údajů o odběru fosforu rostlinami.

Obsah přístupného draslíku

Draslík se vyskytuje v půdě především vázaný na primární minerály či sekundární jílové minerály (illit, montmorillonit). Kromě draslíku, který je součástí krystalových mřížek minerálů a draslíku fixovaného v mezivrstvách jílových minerálů, obsahuje půda ještě

výměnný draslík poutaný v sorpčním půdním komplexu, draslík vázaný na organickou hmotu a draslík v půdním roztoku (Mengel a Kirkby 1987).

Největší část rostlinám přístupného K tvoří vodorozpustná forma a výměnný draslík. Množství rostlinám přístupného draslíku v půdě závisí především na matečné hornině, intenzitě zvětrávacích procesů, množství jílu a typu jílových minerálů. Významným faktorem ovlivňujícím příjem draslíku rostlinami je morfologie kořenů a intenzita jejich růstu kdy, kořeny rychleji rostoucích plodin mohou prorůst do spodních horizontů a odtud čerpat draslík. To může být příčinou nesouladu s výsledky půdních testů, kdy jsou vzorky odebrány převážně pouze z hloubky ornice. V takových případech je vhodné zohlednit obsah přístupného K v podorničí.

Pro stanovení obsahu přijatelného draslíku se využívá řada extrakčních metod s mnohdy rozdílnými výsledky, které závisí na tom, jak velký podíl z výměnného draslíku se podaří vyextrahovat. V rámci AZP využívaná metoda Mehlich III uvolňuje draslík z půdy intenzivněji než ostatní metody a to nejen kvantitativně, ale i z pevnějších vazeb. Draslík je poměrně pevně vázán na jílové minerály, které se v těžkých půdách vyskytují ve větší míře a vyluhovadlo Mehlich III je extrahuje efektivněji, než ostatní zkoumané extrakční postupy.

Pro správné posouzení toho, zda je výnosová variabilita způsobena prostorovou variabilitou v obsahu přístupného draslíku je nutné zvolit nejvhodnější extrakční metodu s ohledem na půdní vlastnosti (obsah jílu, převládající jílový minerál). Získaná data je vhodné doplnit o analýzy ostatních přístupných živin a pH. Dampney et al. (1997) posuzovali variabilitu obsahu přístupných živin na pozemku pomocí variačního koeficientu a zjistili, že vysoká prostorová variabilita jedné živiny je doprovázena také vysokou variabilitou ostatních živin. Tato závislost platila zejména pro fosfor a draslík.

Kompletní soubor informací o variabilitě výnosu v závislosti na obsahu přístupného draslíku by se neměl obejít bez údajů o topografii pozemku, o průběhu vlhkosti a teploty půdy během vegetace a u hlouběji kořenících plodin o analýzu podorničí na obsah výměnného draslíku.

Obsah přístupného hořčíku

Hořčík, stejně jako draslík se nachází v půdě převážně vázaný v primárních minerálech a sekundárních jílových minerálech, dále jako výměnný v sorpčním půdním komplexu a vodorozpustný v půdním roztoku. Obsah hořčíku vázaného v organické hmotě je zpravidla nízký.

Rostliny přijímají hořčík vodorozpustný, výměnný popř. vázaný v okrajových prostorách jílových minerálů. Proto dostatečná zásoba přijatelného hořčíku bude závislá na jeho koncentraci v půdním roztoku, zastoupení v sorpčním půdním komplexu (KVK 4 – 20 %) a převládajícím typu půdních koloidů.

Přijatelnost hořčíku pro rostliny bude záviset na jeho zastoupení v sorpčním půdním komplexu a poměru k ostatním kationtům v půdě, zejména draslíku. Vysoká zásoba přístupného draslíku v půdě může vést k deficitu v příjmu hořčíku rostlinami.

Nejpoužívanějšími metodami pro stanovení přístupného hořčíku jsou 1 M octan amonný, Mehlich III, 0,01 M CaCl_2 , CAL, Schachtschabel – Mg.

Porovnáním metody Mehlich III s ostatními sledovanými postupy (0,01 M CaCl_2 , Schachtschabel – Mg) zjistil Zbíral (2001) lineární vztah, závislý na druhu půdy.

Při posouzení extrémů ve variabilitě přístupného hořčíku a variability výnosu na pozemku by se mělo přihlídnout, kromě údajů zmíněných v kapitole o draslíku také k variabilitě v poměru K : Mg v půdě.

Závěry autorů, monitorujících prostorovou variabilitu v obsahu přístupného hořčíku pomocí variačního koeficientu (Dampney et al. 1997 a Štípek et al. 2000) se shodují v tom, že hořčík patří mezi méně variabilní živiny.

5. Zpracování získaných dat měření

Každý soubor naměřených dat je nejprve hodnocen jako celek základními statistickými ukazateli (aritmetický průměr, směrodatná odchylka, modus, medián, minimální a maximální hodnota, variační koeficient, histogram rozdělení četností aj.). Tyto charakteristiky mohou poskytnout cenné informace o charakteru souboru. Zpravidla nejvyšší počet hodnot měřené proměnné se pohybuje okolo průměru celého souboru hodnot. Pokud se aritmetický průměr výrazně liší od modu (nejčtenější hodnoty souboru), lze hovořit o asymetrii rozdělení hodnot. Odchylka od normálního „Gaussova“ rozdělení hodnot může vycházet z nedostatečného počtu odebraných vzorků (Penney et al. 1996).

Pro posouzení vzájemných vztahů mezi sledovanými půdními vlastnostmi navzájem a např. výnosem je využívána korelační a regresní analýza spolu s faktorovou analýzou (Borůvka et al. 1999 a Borůvka 2002a).

Většina půdních vlastností je prostorově variabilní a proto je nutné získaná data převést do mapové podoby přiřazením hodnot zeměpisných souřadnic x a y. K tomu slouží geostatistika tj. věda zahrnující soubor metod pro analýzu, charakteristiku a zhodnocení prostorové závislosti.

Nezbytnou součástí procesu mapování je interpolace. Jedná se o výpočet hodnot proměnné u velkého množství bodů, ležících na neovzorkovaných územích na základě informací o proměnné z nejbližších bodů odběru půdních vzorků. Z celé řady interpolačních metod se nejvíce využívá metoda Inverse Distance, která je rychlá a patří mezi přesné interpolátory. Hodnota proměnné odhadovaného bodu vychází z hodnot váženého průměru sousedních vzorkovaných bodů. Váha daná každé hodnotě je jednoduchou funkcí vzdálenosti mezi polohou vzorkovaného bodu a polohou zjišťovaného bodu. Se stoupající

vzdáleností mezi porovnávanými body váha klesá. Hodnotu, kterou je nutné pro výpočet určit, je síla „power“, udávající, jak rychle hodnoty vah klesají k nule. S rostoucí silou klesá podíl z bodů ležících daleko od odhadované hodnoty. Nejčastěji se síla pohybuje v rozmezí hodnot 1 – 3. Tato metoda patří mezi lineární interpolace a není vhodná při shlukovém systému vzorkování, protože nepostihuje pozvolné trendy na dlouhé vzdálenosti.

Geostatistickou metodou lineární kombinace je kriging. Jedná se o interpolační postup založený na lineární kombinaci dat. Rozdíl od ostatních interpolačních metod spočívá v tom, že váhy jsou odvozeny od statistického modelu. Jedná se o obecně nejpřesnější interpolační postup, to však neznamená, že je nejvhodnější pro všechny případy.

Změnu úrovně prostorové variability v závislosti na vzdálenosti a směru popisuje variogram (Isaak a Srivastava 1989). Konkrétní prostorová závislost mezi body, vyjádřená funkcí vzdálenosti a směru, je následně porovnávána s modelovým variogramem. Existuje několik modelů semivariogramu: lineární, sférický, exponenciální a Gaussův. Takový model variogramu, který při porovnání s experimentálním variogramem vykazuje nejmenší hodnotu sumy čtverců odchylek (residual sums of squares) nejlépe popisuje průběh semivariance (Robertson 2000).

Jestliže hodnoty bodů sobě blízkých jsou si více podobné než hodnoty z bodů od sebe navzájem více vzdálených, pak hodnoty semivariogramu rostou s rostoucí vzdáleností. Pokud je prostorová závislost funkcí vzdálenosti a směru, jedná se o anisotropii, pokud rozdíl závisí pouze na vzdálenosti, mluvíme o isotropii. V takovém případě lze použít všesměrný semivariogram.

Obecný model variogramu je popsán několika parametry.

Rozsah semivariogramu (range) uvádí vzdálenost, pro kterou existuje prostorová závislost. Hodnoty z bodů o vzájemné vzdálenosti přesahující tuto mez se jeví jako navzájem prostorově nezávislé. Při použití Gaussova a exponenciálního modelu, jako nejlepší možné varianty, popisující konkrétní prostorovou závislost je třeba uvést, že rozsah (range) je zde chápán jako hodnota přímo vztažená k danému modelu, zatímco vzdálenost, po kterou je patrná prostorová závislost je mnohem větší a je v anglické literatuře uváděna jako effective range (Robertson 2000).

Práh (sill) udává maximální hodnotu semivariance, která při dalším zvyšování vzdálenosti bodů (h) zůstává konstantní a je přibližně rovna hodnotě statistického rozptylu hodnot.

Teoreticky by se měla hodnota semivariance při vzdálenosti bodů $h = 0$ rovnat nule. Ve skutečnosti existuje určitý stupeň variability už při vzdálenosti menší, než je interval vzorkování. Tento jev se nazývá nugget efekt a tvoří jej nejčastěji chyba při vzorkování popř. analytická chyba. Pokud tvoří nugget efekt velkou část celkové variability, nemusí být kriging nejpřesnějším interpolátorem (Cressie 1991). Poměr mezi nugget efektem a prahem

variogramu se nazývá relativní nugget efekt. Uvádí se v procentech a je často používán jako parametr popisující úroveň prostorové variability. Relativní nugget efekt dosahující hodnot pod 25% vyjadřuje silnou prostorovou závislost, při hodnotách v rozmezí 26-75% se jedná o střední závislost a hodnoty nad 75% ukazují na slabou prostorovou závislost sledovaných parametrů (Cambardella et al. 1994).

Tvar experimentálního variogramu závisí kromě samotného rozložení hodnot dané veličiny na hustotě vzorkování a s tím souvisejícím dostatečným počtem vzorků (Valla et al. 2000) a velikostí zkoumaného pozemku.

Pro posouzení dat se vzájemně podobným prostorovým rozložením je využíván cross-variogram.

Úroveň prostorové variability nejrůznějších sledovaných parametrů je nejčastěji prezentována ve formě map. Před vlastním vytvořením mapy prostorové distribuce je třeba ověřit možné zdroje chyb. Nejprve je nutné rozřadit získaná data, vyhledat extrémní hodnoty a posoudit, zda se jedná o trend nebo zda se extrémní hodnota vyskytuje v dané části pozemku náhodně. Výskyt maximálně od sebe odchýlených hodnot na krátké vzdálenosti znesnadňuje interpolaci dat.

Kromě správně zvoleného schématu vzorkování s dostatečným počtem vzorků může přesnost tvorby map ovlivnit chyba při odběru vzorků a analytická chyba. Vzorky by měly být odebrány stejnou metodikou a ve shodném termínu. Brown (1993) in Wollenhaupt et al. (1995) uvádějí chybu, vyjádřenou variačním koeficientem, při různém termínu odběru mezi 5 – 15 %, zatímco chyba analýzy činila max. 5 %. Sáňka (1996) připisuje 92 % z celkové variability chybě při vzorkování a uvádí pouze 1 % analytické chyby. Chyba při mapování vzniká také nepřesným určením polohy odběrového místa.

6. Literatura

- Borůvka, L., Kozák, J., Drábek, O. (1999): Species of Al ions of north bohemian mountains as related to selected soil characteristics. *Rostlinná Výroba*, 45: 229-236.
- Borůvka, L., Valla, M., Donátová, H., Němeček, K. (2002): Vulnerability of soil aggregates in relation to soil properties. *Rostlinná Výroba*, 48: 329-334.
- Brodský L., Vaněk V. (2000): Získávání podkladů pro precizní hospodaření. Sborník „Racionální použití průmyslových hnojiv“. KAVR, ČZU Praha, 23-29.
- Brodský L., Vaněk V., Száková J., Štípek K. (2001): Spatial variability of soil properties. *Rostlinná Výroba*, 47: 521-528.
- Cambardella C. A., Moorman T. B., Novak J. M., Parkin T. B., Karlen D. L., Turco R. F., Konopka A. E. (1994): Field scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *SSSAJ*, 58: 1501 – 1511.
- Cressie N. A. C. (1991): *Statistics for spatial data*. Willey, New York, USA.
- Dampney P. M. R., Froment M. A., Dawson C. J. (1997): The variability of pH and available phosphorus, potassium and magnesium in soils within arable fields in England. *Precision Agriculture 1997*, BIOS Scientific Publishers Ltd, 79-86.
- Ewans E. J., Shiel R. S., Mohamed S. B. (1997): Optimisation of lime application to take account of within field variation in pH and soil texture. *Precision Agriculture 1997*, BIOS Scientific Publishers Ltd, 103-110.
- Franzen D. W., Peck T. R. (1995): Field soil sampling density for variable rate fertilization. *J. Prod. Agric.*, 8/4: 568-574.
- Gotway C. A., Ferguson R. B., Hergert G. W., Peterson T. A. (1996): Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters, nutrient management and soil and plant analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60: 1237-1247.
- Hoskinson, R. L., Hess, J. R., Alessi, R. S. (1999): Temporal changes in the spatial variability of soil nutrients. *Precision Agriculture 1999*, BIOS Scientific Publishers Ltd, 61-69.
- Isaaks E. H., Srivastava R. M. (1989): *Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, USA.
- Mengel K., Kirkby E. A. (1987): *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Olf H. W. (2000): Hydro N-Sensor: A system for on-line variable N application. Sborník „Racionální použití hnojiv“ KAVR, ČZU Praha, 70-82.
- Peck T. R., Melsted S. W. (1973): Field sampling for soil testing. In „Soil Testing and Plant Analysis“ (L. M. Walsh and J. D. Beacon) SSSA, Madison, USA, 67 – 75.

- Penney D. C., Nolan S. C., Mc Kenzie R. C., Goddard T. W., Kryzanowski L. (1996): Yield and nutrient mapping for site specific fertilizer management. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27: 1265 – 1279.
- Pocknee, S., Boydell, B. (1995) : Soil sampling for precision farming, NESPAL, Univ. Georgia, USA.
- Robertson G., P. (2000): GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan, USA.
- Sáňka M. (1996): Vzorkování půd – technika, metody, řízení jakosti. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno – Bulletin 96, 2: 27-37.
- Schepers J. S., Blackmer T. M., Shah T., Christensen N. (1996): Remote sensing tools for site – specific management. *Proc. of the Third International Conference on Precision Agriculture*, Minneapolis, USA, 315 – 319.
- Schepers J. S., Schlemmer M. R., Ferguson R. B. (2000): Site – specific consideration for managing phosphorus. *J. Environ. Qual.*, 29: 125 – 130.
- Štípek K., Brodský L., Vaněk V., Száková J., Bazalová M., Prchalová G. (2000): Prostorová variabilita agrochemických vlastností půdy. Sborník „Racionální použití hnojiv“ KAVR, ČZU Praha, 125-132.
- Tan K. H. (1995): *Soil Sampling, Preparation and Analysis*. Marcel Dekker Inc., USA.
- Valla M., Kozák J., Němeček J., Matula S., Borůvka L., Drábek O. (2000): *Pedologické praktikum, skripta ČZU v Praze*.
- Viera S. R., Molin J. P. (2001): Spatial variability of soil fertility for precision agriculture. *Proc. of the Third European Conference on Precision Agriculture*, Montpellier, France, 737 – 742.
- Westerman R. L. (1990): *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America, Inc. Wisconsin, USA..
- Wollenhaupt N. C., Wolkowski R. P., Clayton M. K. (1994): Mapping soil test phosphorus and potassium for variable – rate fertilizer application. *J. Prod. Agric.*, 7: 441 – 448.
- Wollenhaupt N. C., Mulla D. J., Gotway C. A., Crawford C. A. (1995): Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. *The State of Site-Specific Mangement for Agiculture*. ASA, CSSA, and SSSA, 677, 2: 19-53.
- Zbírál J. (2001): Porovnání extrakčních postupů pro stanovení základních živin v půdách ČR. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno.
- Zbírál J., Němec P. (1999): Porovnání extrakčních postupů podle Mehlicha II a Mehlicha III pro stanovení přístupného fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku v půdách ČR. *Rostlinná Výroba*, 45: 1 – 7.