

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav biologie rostlin**

---



Agronomická  
fakulta

Mendelova  
univerzita  
v Brně



**Zpracování podkladů pro variabilní aplikaci hnojiv  
v precizním zemědělství**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*  
Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

*Vypracoval:*  
Bc. Vrba Tomáš



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Tomáš Vrba**  
Studijní program: Fytotechnika  
Obor: Fytotechnika  
Název tématu: **Zpracování podkladů pro variabilní aplikaci hnojiv v precizním zemědělství**  
Rozsah práce: 45 – 50 str.

### Zásady pro vypracování:

1. Prostudovat odbornou literaturu k dané problematice a zpracovat literární rešerši
2. Seznámit se s postupy hodnocení zásobenosti půd živinami a úpravou hnojení polních plodin
3. Zpracovat výsledky půdního vzorkování do podoby půdních map s využitím geografických informačních systémů
4. Vytvořit aplikační mapy základního hnojení a porovnat rozdílné postupy stanovení intenzity hnojení pro vybrané polní plodiny

Seznam odborné literatury:

1. Adamchuk, V. I., Ferguson, R. B., Herbert, G. W. Soil Heterogeneity and Crop Growth, In: Oerke, E. C. et al. (eds.) Precision Crop Protection – the Challenge and Use of Heterogeneity, pp. 3-16, Dordrecht; Heidelberg [u.a.]: Springer, 2010. ISBN 9789048192762
2. Domsch, H., Schirrmann, M. Teillächenspezifische Grunddüngung, Bornimer Agrartechnische Berichte. Heft 72, ATB, Potsdam-Bornim, 2009. ISSN 0947-7314
3. Gnip, P., Charvát, K. Management of zones in precision farming. Agricultural economics. 2003, vol. 49, no. 9, pp. 3. ISSN 0139-570X
4. Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. 2. vyd. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2008. ISBN 978-80-87011-61-4
5. Lukas, V., Neudert, L., Křen, J. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství. Metodika pro praxi. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. 36 s. ISBN 978-80-7375-562-1
6. Lukas, V., Ryant, P., Neudert, L., Dryšlová, T., Gnip, P., Smutný, V. Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011, 36 s. ISBN 978-80-7375-561-4
7. Pierce, F., Clay, D. GIS applications in agriculture. Boca Raton: CRC Press, 2007. ISBN 9780849375262
8. Pierce, F. J., Nowak, P., Donald, L. S. Aspects of Precision Agriculture. Advances in Agronomy. 1999, vol. 67, pp. 1-85. ISSN 0065-2113

Datum zadání diplomové práce: listopad 2013

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2015

  
**Bc. Tomáš Vrba**  
Autor práce



  
**Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.**  
Vedoucí práce

  
**prof. Ing. Ján Křen, CSc.**  
Vedoucí ústavu

  
**prof. Ing. Ladislav Zeman, CSc.**  
Děkan AF MENDELU

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Zpracování podkladů pro variabilní aplikaci hnojiv v precizním zemědělství vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Vojtěchu Lukasovi, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení mé práce a připomínky při zpracování. Data pro řešení diplomové práce byla získána za podpory výzkumného projektu MZe NAZV QI111A184.

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce bylo zpracovat podklady pro variabilní aplikaci hnojiv v precizním zemědělství, vyhodnotit výsledky ze vzorkování půd a vytvořit pomocí interpolačních metod mapy zásobenosti a následně vypracovat plány hnojení, porovnat varianty mezi sebou a zhodnotit výsledky. Metodika práce, spočívala odebráním vzorků půdy v podzimním období odběrovou soupravou, dále bylo provedeno statistické vyhodnocení získaných výsledků a vytvoření návrhu šesti variant plánů hnojení. Tyto varianty jsme spolu porovnali. Z výsledků jsme zjistili, že vhodným řešením pro budoucí plány hnojení by mohl být bilanční koeficient.

**Klíčová slova:** Precizní zemědělství, variabilní hnojení, Bilanční koeficient

## **ABSTRAKT**

The aim of this master thesis is preparation and processing of input information for variable rate application of fertilizers in precision agriculture. Evaluation of the results of soil sampling, creation of continuous maps using interpolation methods and then development of fertilization plans. The methodology of work consist of taking samples of soil in the autumn period by sampling equipment. Six variants of data interpretation were compared and evaluated by statistical methods. The results shown that most promising variant is the fertilization using interpretation by balance coefficient.

**Keywords:** Precision farming, variable fertilization, balance coefficient

## OBSAH

1	ÚVOD .....	8
2	CÍL PRÁCE .....	9
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED .....	10
3.1	Výživa Fosforem .....	10
3.1.1	Nedostatky fosforu u polních plodin a zeleniny .....	11
3.1.2	Nedostatky fosforu u ovocných kultur .....	11
3.1.3	Efektivní použití fosforečných hnojiv .....	11
3.2	Výživa Draslíkem .....	11
3.2.1	Nedostatek draslíku .....	13
3.3	Výživa hořčíkem .....	13
3.3.1	Projev nedostatku hořčíku .....	14
3.4	Zásobní hnojení .....	14
3.5	Agrochemické zkoumání zemědělské půdy (AZZP) .....	15
3.5.1	Sběr vzorku .....	15
3.5.2	Způsob odběru vzorků: .....	16
3.5.3	Plocha na jeden vzorek a hloubky vpichu .....	16
3.5.4	Rozbor vzorků .....	17
3.5.5	Využití výsledků AZZP .....	17
3.5.6	Poslední výsledky z AZZP .....	18
3.6	Precizní zemědělství .....	18
3.6.1	Variabilní aplikace hnojiv a pesticidů .....	19
3.6.2	Příčiny variability na pozemku a její význam .....	20
3.6.3	Mapování půdních podmínek .....	21
3.6.4	Půdní vzorkování .....	21
3.6.5	Nepřímé metody identifikace variability půdy .....	22
3.6.6	Metody prostorových interpolací .....	24
3.6.7	Výnosové mapy .....	25

4	METODIKA VÝZKUMU.....	26
4.1	Charakteristika stanoviště .....	26
4.1.1	Klimatické podmínky .....	26
4.1.2	Geologicko-litologické poměry .....	26
4.1.3	Pedologické poměry .....	26
4.2	Získání podkladů .....	27
4.3	Zpracování vzorků .....	28
4.3.1	Úprava vzorků.....	29
4.3.2	Vyhodnocení zkoumaných vzorků: .....	29
4.4	Postupy zpracování dat .....	32
5	VÝSLEDKY A DISKUZE .....	33
5.1	Statistické zpracování výsledků .....	34
5.2	Zpracované interpolační mapy .....	35
5.3	Bilanční koeficient .....	40
5.4	Výpočet dávky hnojení .....	42
6	ZÁVĚR .....	55
7	CITACE:.....	56



## 1 ÚVOD

Současným vývojovým trendem v zemědělství je orientace na snižování nákladů a uplatnění postupů, které přinášejí ekologický přínos v porovnání s konvenčním hospodařením. Jedna z možných cest, jak toho dosáhnout, spočívá ve zjištění a respektování různorodosti prostředí v rámci pozemků a následně vhodným cíleným zásahem. V konvenčním (tradičním) zemědělství, je půda obhospodařována uniformně – nejmenší jednotkou agronomického rozhodování je celý pozemek, který je považován za homogenní prostředí, a na základě průměrné hodnoty z této plochy je volena intenzita pěstitelských zásahů. Základním úkonem precizního zemědělství je zohlednění rozdílných podmínek v rámci jednotlivých pozemků a přizpůsobit pěstitelské vstupy konkrétním lokálně specifickým podmínkám daného stanoviště. Tyto postupy přinášejí ekonomické přínosy v podobě zefektivnění agrotechnických zásahů a optimálního využívání produkčního potenciálu půdy. Ačkoli precizní zemědělství využívá nejmodernějších technologie současnosti, myšlenka zohlednění rozdílného hospodaření na jednotlivých částech nevyrovnaných pozemků není nijak nová. Již naši předkové si uvědomovali, že pozemky, které obdělávají, nejsou vždy vyrovnané a výnos není na různých pozemcích zcela shodný.

Pokud by půdní proměnlivost neexistovala, byla by půdní mapa světa jednobarevná, nebylo by nutné odebírat a analyzovat půdní vzorky, jeden model chování látek v půdě by byl univerzální pro všechny oblasti, ale také by byly zbytečné jakékoliv naše zásahy do půdy, protože každý náš zásah, hnojení, obdělávání či jiná úprava má za cíl posunout půdní vlastnosti nějakým směrem a tedy změnit půdní proměnlivost (Borůvka et al., 2001).

## **2 CÍL PRÁCE**

Cíl diplomové práce bylo, prostudovat literaturu k zadané problematice a zpracovat literární rešerši. Hlavní cíl bylo zpracování výsledků půdního vzorkování a jejich následné využití při tvorbě map zásobenosti. Vytvoření dalších půdních map, ze kterých bude možné navrhnout způsoby hnojení a jejich porovnání. Porovnávání výsledků a jejich statistické zhodnocení.

### 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

#### 3.1 Výživa Fosforem

Fosfor patří mezi nejdůležitější stavební živiny. Zásoba přijatelného fosforu v půdě se stále snižuje, a fosfor se proto stává více limitujícím prvkem výnosu a kvality produktu. Obsah čistých živin fosforu v půdě je kolem 0,03 – 0,13 %, v přírodě se fosfor vyskytuje v nejvyšším oxidačním stupni a to jako aniont kyseliny ortofosforečné  $\text{PO}_4^{3-}$ . Fosfor se vyskytuje ve formě minerální nebo organické.

*Minerální forma* fosforu je převážně ve vodě nerozpustná a pro rostliny málo přístupná, pro lepší zpřístupnění se doporučuje zařadit více plodin z čeledi bobovitých v osevním postupu a pravidelné zapravení organické hmoty.

*Organická forma* fosforu v půdě snižuje energetické ztráty a zlepšuje produktivitu všech endoergických pochodů, především humifikaci. Působí i na zlepšení bilance půdní organické hmoty. V různých půdách, je obsah organického fosforu odlišný a má se za to, že se pohybuje od 10 do 80 %.

Rostlina přijímá fosfor ve formě aniontu  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  nebo  $\text{HPO}_4^-$  největší množství fosforu rostlina potřebuje již v počáteční fázi růstu. Intenzita příjmu je závislá na obsahu kyslíku v živném prostředí, světle, teplotě, poměru aniontu  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{HPO}_4^-$  dále na přítomnosti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{BO}_3^{3-}$ . Příjem fosforu výrazně inhibují  $\text{OH}^-$  ionty.

Zabudování anorganického fosfátu do organických forem je velmi rychlé po 10 minutách se více jak 80% přijatého fosforu objevuje v organických vazbách. Fosfor je v rostlině velmi pohyblivý prvek v celé rostlině se fosfor vymění za 3 dny.

V rostlině má fosfor několik funkcí. Energetická funkce je vázaná na adenosintrifosfát (ATP), který zajišťuje přenos energie z různých částí rostliny a postupně jí v malých množstvích uvolňuje a tím zabraňuje tepelnému zničení metabolických center. Stavební funkci ve formě esterů (fosfolipidů, nukleoproteinů a nukleové kyseliny). Fosfor příznivě působí na plodnost (květy, semena) a dozrávání, zvyšuje energii klíčivosti a biologickou hodnotu osiv a sadby a podporuje rozvoj vikvovité složky v travních porostech (Richter a kol., 2007).

### **3.1.1 Nedostatky fosforu u polních plodin a zeleniny**

Nedostatky fosforu, jsou za normálních podmínek málo zřetelné a u polních plodin, se může projevit různými způsoby. Listy při nedostatku fosforu jsou malé, vzpřímené a dochází ke změně barvy listů, která z tmavozelené přechází do červenofialové barvy s vystouplou nervaturou, starší listy odumírají. Dále způsobuje zpomalení růstu nadzemních orgánů a nepříznivě působí i na kořeny (Richter a kol., 2007).

### **3.1.2 Nedostatky fosforu u ovocných kultur**

U jabloní a broskvoní se nedostatek fosforu projeví tím, že povrch listů je kožovitý s bronzovým leskem a tyto poškozené listy předčasně opadávají. Fosfor působí i na rašení pupenů, které se při nedostatku může opožďovat (Richter a kol., 2007).

### **3.1.3 Efektivní použití fosforečných hnojiv**

Efektivní použití fosforečného hnojiva záleží na dávce, jeho rozpustnosti, formě hnojiva (prášková, granulovaná) a také na jeho chemických vlastnostech. Další faktory ovlivňující půdní vlastnosti, je například půdní reakce, vlhkost, teplota a další důležité vlastností jako chemické, fyzikálně - chemické a biologické. Faktor, který také ovlivňuje příjem fosforečných hnojiv, je i způsob zapravení hnojiva, mělo by se zapravovat se statkovým hnojivem, nebo po vápnění. Důležitou úlohu, má i rostlina sama, různé odrůdy a rostlinné druhy přijímají rozdílné množství fosforu. (Kunzová a kol., 2010).

## **3.2 Výživa Draslíkem**

Draslík je nejdůležitější stavební živinou ve výživě rostlin. Zásoba celkového draslíku v půdách se pohybuje v rozmezí od 0,05 - 3,2 %  $K_2O$ . Z hospodářsky významných plodin patří mezi nejvíce náročné plodiny na draslík řepka olejka, méně náročné jsou obilniny, nejméně náročné pak luskoviny (Vaněk a kol., 2002).

Dle přístupnosti pro rostliny a druhu vazby máme 3 formy draslíku:

- A) Nevýměnná – patří sem všechny sloučeniny, ze kterých draslík nelze vytěsnit roztoky neutrálních solí. Více než 95 % z veškerého draslíku v půdě. Nevýměnný draslík je pevně vázaný v krystalové mřížce silikátových minerálů, fixovaný draslík a organicky vázaný draslík.
- B) Výměnná – ionty  $K^+$  vázané fyzikálně chemickou sorpcí na povrchu koloidů (mohou být vytěsněny roztoky neutrálních solí). Obsah výměnného je soustředěn v jemných frakcích půdy, stupněm zvětrání, hnojením, druhem a koncentrací ostatních iontů, reakcí půdy a vodním režimem. Výměnný draslík tvoří 0,8 % (u písčitých půd) a až 3 % (u humózních půd) z veškerého draslíku obsaženého v půdě.
- C) Vodorozpustná – představuje ve vodě rozpustné draselné soli ( $KCl$ ,  $KNO_3$ ,  $K_2SO_4$ ,  $K_2CO_3$ ). Podíl draslíku rozpustného ve vodě činí asi 1 – 10 % z draslíku výměnného. Je závislý na obsahu vody v půdě, na typu jílových minerálů, na druhu a koncentraci jiných kationtů.

Formy draslíku jsou v rovnovážném stavu, který má dynamický charakter. Rovnovážený stav, se průběžně narušuje například odběrem živin, hnojením, vyplavováním živin, mineralizací a zvětráváním. Po každém porušení rovnovážného stavu, se znovu ustaluje. Přístupnost organicky vázaného draslíku pro rostliny je možná až po mineralizaci odumřelých těl rostlin a organismů, obsah organicky vázaného draslíku je však v půdě zanedbatelný (Richter a kol., 2007).

V rostlině je draslík obsažen v rozmezí od 2 – 6 %. Draslík je monovalentní kationt jeho příjem probíhá aktivně při nižších koncentracích (do 0,5mM), nebo pasivně pokud je koncentrace vyšší. Snižující koncentrace draslíku negativně ovlivňuje příjem  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NH_4^-$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  a stimuluje příjem  $NO_3^-$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ . Draslík má v rostlině pozitivní vliv na hospodaření s vodou – udržuje buněčné napětí (turgor) a podporuje fotosyntézu. Kladně působí na transport asimilátů a aktivuje více než 60

enzymů. Zvyšuje odolnost rostliny proti suchu a nízkým teplotám, poléhání, chorobám a snižuje ztráty při skladování u okopanin a ovoce (Richter a kol., 2007).

### 3.2.1 Nedostatek draslíku.

Nedostatek draslíku u polních plodin a zeleniny se projevuje nekrózou od okraje listů, úzkou čepelí u listů, okraje listů se stáčejí dolů a tvoří rosetovitá stadia (metlovitý růst) (Richter a kol., 2007).

U ovocných kultur se listy stáčí nahoru a hnědnou, při velkém nedostatku opadávají květy.

### 3.3 Výživa hořčíkem

Rostlina přijímá hořčík pasivně, jako kationt  $Mg^{2+}$ . Na přístupu hořčíku ke kořenovému vlášení se podílí především tok půdního roztoku a v malé míře i růst kořenů. Nadbytek draslíku v půdě brání hořčíku v pasivním příjmu rostlinou. Obsah hořčíku v rostlině je ovlivněn také geneticky. Bylo dokázáno, více hořčíku obsahují rostliny dvouděložné než jednoděložné.

V rostlině je hořčík transformován ve formě chelátů. V některých případech, je pohyb závislý na vápníku. Pohyb hořčíku, je třikrát rychlejší než u vápníku. Hořčík je v rostlině ve formě solí, jako Mg – oxalacetát, fytinu nebo sorpčně vázaný iont. Může se vyskytovat i jako chelát pro chlorofyl. 70 % z celkového obsahu Mg v rostlině je v difuzibilní formě anorganických nebo organických aniontů (Richter a kol., 2007).

Hořčík se projevuje v celé řadě metabolických procesů v rostlině, velmi důležitá je jeho funkce v chlorofylu, kde je chelátově vázán v porfyrinovém jádře. Obsah hořčíku v chlorofylu je kolem 15 – 20 % celkového obsahu. Při deficienci hořčíku, je nejdříve ochuzená řada dalších biologicky významných soustav a až poté dojde na chlorofyl.

Rostliny vyžadují rovnoměrný přísun hořčíku během celé vegetace. Obsah hořčíku v sušině rostlinných orgánů, se pohybuje pod 0,5 %. Vyšším obsahem hořčíku, se vyznačují jetele, vojtěška a listy cukrovky (Richter a kol., 2007).

### 3.3.1 Projev nedostatku hořčíku

Deficience se projeví nekrózou pletiv, korálkovou mozaikou nebo pruhovitostí. Projeví se až v dlouhodobějším měřítku (Richter a kol., 2007).

## 3.4 Zásobní hnojení

Udržením půdní úrodnosti je předpoklad pro zajištění stabilní a kvalitní produkce, kterou můžeme dosáhnout jediné přiměřenou náhradou odebraných živin a volbou dalších vhodných agrotechnických zásahů. To znamená vracet půdě všechny rostlinou odebrané živiny ve formě hnojiv. Při sníženém hnojení, nebo úplném vypuštění hnojení dokáže půda díky své pufrční setrvačnosti stále zásobovat pěstované plodiny živinami, aniž by po určitou dobu došlo k výrazným poklesům výnosu a zhoršení kvality. Důsledkem takového hospodaření je, že příjem živin jde ze „staré půdní síly“, a to nesedí s principem intenzivního hospodaření, protože její účinek je pouze dočasný.

V současnosti není trend hnojit do zásoby, což je velká škoda. V dnešní době se nejvíce hledí na snížení nákladů a dosažení velkého zisku. Většina podniků hospodaří na pronajaté půdě a nemá k ní tedy takový vztah, jako tomu bylo dříve. Dnes většina zemědělců hnojí velmi omezeně minerálními a statkovými hnojivy, tím dochází k odčerpání fosforu a draslíku z půdy. S klesajícím hnojením, se na všech druzích půd zastavil nárůst kategorií s vysokým a velmi vysokým obsahem a začal přechod do nižších zásobních tříd (Kunzová a kol., 2010).

Při stanovení potřeby hnojení fosforem a draslíkem, je nejvhodnější využití způsobu tzv. „nahrazovacího hnojení“, tedy navrácení živin odvezených ve formě komodity. V rámci osevního postupu, jsou živiny doplňovány v jedné nebo více dávkách. Přitom je nutné přihlídnout k výsledkům z Agrochemického zkoumání zemědělských půd (AZZP). Optimální zásoba přístupných živin by měla být v rozmezí vyhovující a dobré, dle toho bychom měli dávku přizpůsobit (Klír a kol., 2008).

### 3.5 Agrochemické zkoumání zemědělské půdy (AZZP)

Pro potřeby zemědělské praxe jsou nejdůležitější půdní vlastnosti shrnuty ve výsledcích Komplexního průzkumu půd. V lednu 1961, byl vládou schválen komplexní průzkum zemědělských půd, který sloužil k získání všestrannější znalosti o půdě a poznání faktorů půdní úrodnosti. Komplexní průzkum půd zahrnoval, dvě souběžně probíhají části (Klement a kol., 2012).

*Půdoznalecký průzkum* – Byl proveden jako jednorázový základní průzkum půd plánovaný na deset let. Účelem bylo získat důležité informace o geneticko – agrotechnických vlastnostech všech našich půd, které dále pomohlo umožnit souborné řešení pro zúrodnování půd. Dle základního půdoznaleckého průzkumu bylo provedeno genetické třídění půd, třídění podle zrnitosti, zjišťován byl i obsah skeletu a stupeň zamokření.

*Soustavné agrochemické zkoušení půd* – Prováděno v pětiletých cyklech za účelem agrochemické kontroly stavu přístupných živin, půdní reakce a potřeby vápnění. Metodika agrochemického zkoušení půd zahrnovala sledování výměnné půdní reakce, obsahu uhličitánů, potřeby vápnění a stanovení přístupného fosforu a draslíku. Údaje se staly podkladem pro vypracování plánu hnojení polních plodin, pro sledování vývoje půdních vlastností a prognózování hnojení.

#### 3.5.1 Sběr vzorku

Vzorky odebírá Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ), který metodicky a organizačně zabezpečuje odběr půdních vzorků, provádí dále jejich analýzy, zpracovává výsledky a předává je k využití MZe ČR, dalším orgánům státní správy a také zemědělským subjektům, u kterých byl odběr proveden. Vzorkování se provádí u všech druhů pozemků patřících do zemědělského půdního fondu, samostatně na pozemcích každého zemědělského subjektu. U travnatých porostů se provádí jen na intenzivně využívaných. AZZP je prováděn podle šestiletého plánu. Tento plán je zpracován za katastrální území, při přípravě se vychází z výměry pozemku orné půdy, trvalých travních porostů, vinic, chmelnic a ovocných sadů (Klement a kol., 2012).



Vzorky se odebírají v jarním nebo podzimním období. Jarní odběr začíná v únoru a končí nejpozději do konce května. Podzimní odběr se provádí od začátku července do konce listopadu. Průměrný vzorek se odebírá vždy z plochy jednotně obhospodařované. Menší lokality s výrazně odlišnými vlastnostmi se z odběru vylučují. **Půdní vzorky** se odebírají výhradně sondovací tyčí pro AZZP, přičemž jeden vzorek se skládá minimálně ze 30 vpichů. Při odběru je nutno vyloučit přimíchání zeminy z podorničí. (Klement a kol., 2012)

### **3.5.2 Způsob odběru vzorků:**

#### ***Konvenční způsob:***

Při odběru se prochází plocha po úhlopříčce, jednotlivé vpichy se umísťují v pravidelných vzdálenostech.

#### ***Mobilní – odběr pomocí GPS:***

Při tomhle způsobu odběru najede motorové vozidlo do středu vzorkované plochy lokalizované souřadnicovým systémem. Pracovníci, kteří provádějí odběr půdních vzorků, obcházejí vozidlo a umísťují jednotlivé vpichy tak, aby reprezentovaly vymezenou plochu kruhu. Velikost poloměru vymezené oblasti je úměrná vzorkované ploše a činí pro 3 ha 70 m, pro 5 ha 80 m, pro 7 ha 100 m, pro 10 ha 120 m.

### **3.5.3 Plocha na jeden vzorek a hloubky vpichu**

#### ***Orná půda:***

Průměrná plocha na 1 vzorek je v bramborářské a horské oblasti 7 ha, v řepářské a kukuřičné oblasti 10 ha. Hloubka vpichu odpovídá hloubce orničního profilu (max. 30 cm)

#### ***Trvalé travní porosty:***

Plocha na 1 půdní vzorek je shodná s ornou půdou. Vzorky se odebírají do hloubky jen 15 cm s tím, že se drnová vrstva odstraňuje.

### ***Chmelnice:***

Odebírá se jeden průměrný vzorek z 3 ha. U samostatných, na sebe nenavazujících chmelnic se odebírá vždy jeden vzorek z každé chmelnice. Hloubka odběru je 40 cm, u kterých se odstraňuje vrchních 10 cm zeminy. Vzorky se odebírají v řadách, a to uprostřed řádku.

### ***Vinice:***

Průměrný vzorek se odebírá z plochy min. 2 ha. Při odběru musíme přihlídnout k půdní vyrovnanosti a terénní členitosti. Vzorek by měl být odebrán z plochy kde je jedna odrůda. U samostatných vinohradů, menších než jeden hektar, se odebírá průměrný vzorek bez ohledu na výměru. Vzorky se odebírají z profilu 0 – 30 cm a 30 – 60 cm.

### ***Ovocné sady:***

Pro odběr vzorku u sadů činí výměra pro vzorek alespoň 3 ha, přičemž je nutné zohlednit členitost terénu a půdní vyrovnanost. Vzorek se odebírá do hloubky 30 cm a uprostřed řádku.

## **3.5.4 Rozbor vzorků**

V odebraném a upraveném vzorku se pro AZZP stanovuje pH, obsah uhličitánů a množství přístupných živin P, K, Mg a Ca (obsah přístupných živin se stanovuje dle metody Mehlich III).

## **3.5.5 Využití výsledků AZZP**

Vyhodnocení výsledků z rozboru AZZP půd provádí ÚKZÚZ a zpracované výsledky předává k využití ministerstvu zemědělství ČR a dalším orgánům státní správy. Na žádost vlastníka zemědělské půdy nebo podnikatele podnikajícího na zemědělské půdě předává ÚKZÚZ výsledky týkajících se jejich půdy, předání výsledků podléhá správnému poplatku dle zvláštního předpisu.

Výsledky AZZP jsou podnikatelům předány formou hodnotící zprávy, kterou si mohou stáhnout z portálu LPIS (Klement et al. 2012).

### 3.5.6 Poslední výsledky z AZZP

Pro pH je průměrná hodnota rovna 5,103 a spadá do skupiny kyselá půda. Minimum ze souboru je 4,5 a maximum 5,93. Směrodatná odchylka pro pH je 0,276, tato hodnota se dá pokládat za malou odchylku od střední hodnoty. Variační koeficient je roven 5,414% dle tabulky 7 je pozemek vyrovnaný. Průměrná hodnota zemědělských půd v ČR má pH 6. Půdy extrémně kyselé, silně kyselé a kyselé to jsou půdy s pH do 5,5 představuje 33 % prozkoušené výměry. Dalších 41 % vykazuje slabě kyselé pH v rozmezí 5,6 – 6,5. Pravidelné vápnění by se mělo dodržovat u 74% zemědělských půd (ÚKZÚZ a kol., 2013).

Průměrná zásoba přístupného fosforu na půdách v ČR je 87 mg.kg<sup>-1</sup>. Půd s nízkou zásobeností, která vyžaduje intenzivní dohnojení, je 24 % celé výměry v ČR, vyhovující zásoba fosforu, u které by se mělo provést mírné dosycení, zabírá 28 % a 25 % výměry spadá do kategorie vysoké a velmi vysoké zásobenosti (Klement a kol., 2012).

Průměrná zásoba přístupného draslíku na půdách v ČR je 242 mg.kg<sup>-1</sup>. Půd s nízkou zásobeností, která vyžaduje intenzivní dohnojení, je 8 % z celé výměry v ČR, vyhovující zásoba fosforu, u které by se mělo provést mírné dosycení, zabírá 38 % a 24 % výměry spadá do kategorie vysoké a velmi vysoké zásobenosti (ÚKZÚZ a kol., 2013).

## 3.6 Precizní zemědělství

Precizní zemědělství je ujednocený název pro hospodaření na půdě využívajících nových technologií, které začaly být rozvíjeny na přelomu osmdesátých a devadesátých let dvacátého století. Největší rozmach přišel s vývojem výpočetní techniky a nástupem Globálních navigačních systémů, které umožnily identifikaci a lokalizaci rozdílů na pozemcích, pro nově vznikající hospodaření. Hlavním cílem precizního zemědělství je přizpůsobení pěstebních operací lokálním podmínkám stanoviště. Hlavními zásadami je provádět pěstební zásahy na pozemku na **správném místě**, ve **správný čas** a se **správnou intenzitou**.

Nevyrovnanost pozemků vedla k základnímu předpokladu pro využití tohoto způsobu hospodaření, neboť bez ní nemá koncept precizního zemědělství význam. Již naši předkové si uvědomovali, že pozemky, které obdělávají, nejsou vždy vyrovnané a výnos není na všech pozemcích shodný. Se vznikem nových zemědělských podniků hospodařících na rozsáhlém území, přestal být diferencovaný přístup k pozemkům, zemědělci neměli generační vztah k půdě a ani dostatečnou techniku na zvládnutí tohoto problému (Lukas a kol., 2013).

Ovšem pozemky, které se jeví vyrovnaně, není potřeba obhospodařovat diferencovaně a můžeme použít celoplošný uniformní přístup. Znalost variability určitého agronomicky významného znaku, představuje základní vstupní informaci pro diferencované provádění operací (aplikaci herbicidů, variabilní dávka hnojiva). Jedním z indikátorů heterogenity pozemků, může být rozdílný dosažený výnos, který zjistíme z výnosových map nebo převažování odvezených souprav z pozemku. Lokálně provedený zásah je vhodné provádět, pokud jsou rozdíly ve výnosu na pozemku podobné po více let a odpovídají několika agrochemicky významným jevům (například zásobě živin, rozložení terénu).

### **3.6.1 Variabilní aplikace hnojiv a pesticidů**

Jak již bylo výše zmíněno, hlavní ideou precizního zemědělství je přizpůsobit opatření rozdílným podmínkám stanoviště. Variabilní aplikací hnojiv nebo přípravků na ochranu rostlin změním jejich dávku na základě zjištěného obsahu živin, nebo výskytu škodlivého organismu. Stanovení intenzity pěstitelského zásahu je dán agronomickou interpretací sledované veličiny a mírou prostorové heterogenity. Některé interpretace vycházejí z dlouhodobé praxe ověřených rozhodovacích postupů, zatímco jiné jsou vyjádřeny výsledky senzorových systémů (např. N – senzoru).

Podkladem pro efektivní zásah jsou aplikační mapy, které nám zobrazí rozložení dávek aplikace po celé ploše pozemku, nebo můžeme aplikaci provést pomocí online senzorového měření.

Variabilní aplikace na základě map vyžaduje GPS navigaci pro určení přesné polohy stroje a již zmíněnou aplikační mapu s rozložením zón pro pozemek a zásah. Zóna

představuje část pozemku, která vyjadřuje homogenní kombinaci výnos limitujících faktorů a kde je možná jednotná aplikace intenzity vstupu.

Na rozdíl od toho je variabilní aplikace dle online měření, kde je využito aktuálního senzorového měření při pojezdu soupravy bez znalosti její polohy.

### **3.6.2 Příčiny variability na pozemku a její význam**

Zmíněnou variabilitu, můžeme chápat dvěma směry – jako variabilitu prostorovou a časovou.

V případě prostorové variability se sledovaný znak mění v rámci plochy pozemku. Typickým příkladem může být různě utužená půda, nebo již zmiňovaný variabilní výnos v rámci jedné plodiny. Prostorová variabilita může být způsobena heterogenitou půdního prostředí, rozdílnou intenzitou obhospodařováním pozemků a bioticky škodlivými vlivy (Lukas a kol., 2013).

Časová variabilita proti prostorové představuje změny v čase. Příčinou je většinou průběh povětrnostních podmínek, které zásadně ovlivňuje vývoj sledovaného jevu.

Oba druhy variability se vzájemně prolínají a jejich projev je již dostatečně znám. Různé agronomické ukazatele, nám udávají rozdílnou úroveň časové a prostorové variability. Obsah minerálního dusíku v půdě je velice proměnnou veličinou, naproti tomu zrnitost půdy lze z krátkodobého hlediska považovat za neměnnou. Význam vlivu druhu variability půdy a porostů na proveditelnost precizního zemědělství zdůrazňuje Pierce et al. (1999). Uvádějí, že čím je vyšší prostorová závislost obhospodařované půdní vlastnosti, tím je vyšší potenciál precizního hospodaření. Problematika zachycení prostorové variability je při současném stavu precizního zemědělství považována za zvládnutou a v praxi plně použitelnou. Problém dělá časová variabilita její zvládnutí, je ve stavu výzkumu (Lukas a kol., 2013).

Důsledky nevyrovnanosti na pozemku mohou být patrné již pouhým okem na porost. Nejvýraznější rozdíly se ovšem ukáží až na výnosu plodiny.

### 3.6.3 Mapování půdních podmínek

Variabilitu půdních podmínek způsobuje celá řada faktorů, jejich vliv se mění s ohledem na prostorové měřítko sledování. V regionálním převládá vliv klimatických faktorů, způsob využití půdy, vegetační pokryv a charakteristiky povrchu krajiny. Na úrovni pole jsou hlavními faktory ovlivňujícími variabilitu způsob hospodaření, jaká byla předplodina, půdní typ a reliéf terénu. Dále může mít vliv stupeň utužení půdy, technologie zpracování, způsob aplikace živin a směr řádku porostu.

Mapování prostorové variability půdy se provádí u těch půdních vlastností, které jsou nezbytné pro agronomické rozhodování. Nejčastěji se jedná o vlastnosti půdy pro korekci hnojení (obsah živin v půdě), vápnění půd, nebo o vlastnosti ovlivňující vlastnosti půd (fyzikální vlastnosti půdy, reliéf terénu). Když vezmeme ohled na materiálové vstupy, tak má největší přínos právě oblast výživy a hnojení rostlin.

### 3.6.4 Půdní vzorkování

Tradičním způsobem získání informací o půdních vlastnostech je vzorkování půd. Spočívá ve sběru vzorků z celkové plochy, které budou měřeny. Měření provedené na odebraném vzorku je podkladem pro stanovení vlastností, nebo parametrů větší plochy. Vzorkování je základní podstatou jakéhokoliv terénního výzkumu v půdních vědách, neboť měření celého pozemku je v praxi nemožné. Pro zachycení prostorové variability je rozhodující parametrem počet vzorků a jejich rozmístění na pozemku (Lukas a kol., 2013).

S vyšším odběrem vzorků dosáhneme k podrobnější znalosti o variabilitě pozemku, ale samozřejmě s vyššími náklady. Vzorkování s nižším počtem vzorků není tak nákladné, není však zaručeno že nám zachytí některé lokální rozdíly. Množství vzorků je odvislé od úrovně variability pozemku, ale zpravidla se v precizním zemědělství provádí 1 - 5 vzorků na ha (Lukas a kol., 2013).

Kromě hustoty vzorků má značný vliv i rozmístění vzorů, tzv. schémat, které se od sebe liší pouze za předpokladu, že již bylo provedené vzorkování a už známe přibližnou variabilitu pozemku. V případě, že již máme nějaká data z dřívějšíka, provedeme vzorkování na jeho základech. Při vzorkování neznámého pozemku

odebíráme vzorky v pravidelné síti anebo náhodě. Při chystání plánu vzorkování nám můžou pomoci letecké nebo družicové snímky lokality, výsledky měření elektrické vodivosti půdy, znalost topografie pozemku nebo dle výnosových map, tento způsob se nazývá **cílené vzorkování**. Lze tak kombinovat výhody obou způsobů mapování, a tím dosáhnout snížení počtu vzorků při zachování přesnosti půdních map (Lukas a kol., 2013).

Předpokládá se, že pozemek lze pomocí snadno měřitelných atributů reflektujících rozdíly v půdních vlastnostech rozdělit na homogenní oblasti, nazývané zóny. To vede ke snížení celkového počtu odběrů – v homogenních oblastech je počet vzorků nižší, než v oblastech s větší variabilitou pozemku. Na rozdíl od vzorkování v síti počet zón, jejich tvar a velikost závisí na stupni variability pozemku. Postup zónového vzorkování obecně vede k nižšímu počtu vzorků oproti pravidelné síti, ale vyžaduje daleko více času na jeho naplánování. Jako nejlepší strategie se jeví nejprve stanovit úroveň variability na pozemku a v případě, že je nízká, použít vzorkování v pravidelné síti, při zjištění vyšší variability použít vzorkování zónové (Lukas a kol., 2013).

### **3.6.5 Nepřímé metody identifikace variability půdy**

Nepřímé metody pracují na principu sensorového měření. Čidlo identifikuje sledované půdní vlastnosti, nebo vlastnost druhotnou s ní úzce svázanou, kterou může přenést na elektronický záznam. Sensorová technika má fixní náklady. Může měřit ve velkém prostorovém i časovém měřítku, zároveň umožňuje opakované měření v terénu. Na druhou stranu nevýhodou těchto nepřímých metod je nižší přesnost stanovení sledovaného jevu v porovnání s přesnými laboratorními rozbory. Tato nižší přesnost je ovšem vyvážena intenzivním prostorovým pokrytím. Sensory pracují na nejrůznějších principech, v současné době lze za nejvíce rozšířené považovat senzory elektrické, elektromagnetické a mechanické. Přístroje umožňují zjistit informace o půdních vlastnostech během jízdy a jsou označovány jako on – the – go. Výhodami těchto systémů je zvýšená hustota měření, rychlost mapování a relativně nízké náklady.

### **3.6.5.1 Elektrická vodivost půdy**

Elektrické a elektromagnetické metody umožňují rychlé a přesné stanovení rozdílů v půdním substrátu dle jeho vodivosti. Při měření se využívá geostacionárních vlastností půdy, kdy změna půdního prostředí ovlivňuje procházející elektrický proud (elektrická rezistivita půdy – ER) nebo elektromagnetické pole (elektromagnetická indukce). V současné době jsou v precizním zemědělství nejčastěji používané invazní senzory měrného elektrického odporu a neinvazivní senzory elektromagnetické indukce.

### **3.6.5.2 Elektrická rezistivita půdy - ER**

Metody založené na měření rezistivity půdy jsou invazní, tzn. narušující povrch půdy. Zpravidla se jedná o jeden či více párů kovových disků – elektrod, které prořezávají svrchní vrstvu půdy, a přitom jeden z disků vysílá elektrický proud a druhý jej přijímá a měří jeho změnu při průchodu půdou. Vzdálenost mezi disky určuje hloubku měření. Jedno z neznámějších zařízení měřící právě zmíněnou metodou je Veris 3100. Toto zařízení je vyvinuto společností Veris Technologies. Svou velikostí a hmotností musí být při měření taženo vozidlem (Lukas a kol., 2013).

### **3.6.5.3 Elektromagnetická indukce – EMI**

Tato metoda je bezkontaktní, půdou prochází pouze elektromagnetické pole. Výhodou této metody je, že měření může probíhat během vegetace a i na kamenitých a jinak znevýhodněných půdách. Přístroj sestává ze dvou cívek v přesně určené vzdálenosti od sebe. První cívka indukuje primární elektromagnetické pole a vysílá jej přímo do půdy. V půdě dochází na základě fyzikálně – chemických vlastností půdy k vytvoření sekundárního pole, které je přijato druhou cívkou na opačné straně a měří odezvu obou polí. Z rozdílu obou polí je následně stanovena elektrická vodivost půdy v jednotkách [ $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ]. Nejčastěji používaný přístroj na měření je EM38 od společnosti Geonics Limited a na našem trhu je k dostání obdoba přístroje CMD od společnosti GF Instrumental, s.r.o. Oba přístroje dokáží měřit v horizontální a vertikálním módu měření v závislosti na poloze přístroje při měření. Při měření v homogenním půdním profilu dosahuje měření při vertikální poloze do hloubky 1,5 – 2 m, při poloze horizontální do nižších hloubek kolem 1 m a méně. Výhodou těchto přístrojů je jejich



váha měření lze provést ručně nesením přístroje nebo je možnost ho táhnout za vozidlem (Lukas a kol., 2013).

#### 3.6.5.4 *Mechanické senzory*

Tyto senzory pracují na principu měření tahového odporu pronikajícího půdou. Velmi častou metodou je penetrometrické měření, které nám může stanovit vertikální utužení půdy. Tlak, který je třeba vyvinout pro zatlačení hrotu přístroje do půdy je v jednotlivých hloubkách zaznamenán a přepočten na penetrační odpor. Tyto mechanické senzory se již nedají zařadit do skupiny on – the – go, protože měření nemůžeme provádět za jízdy. Podobně jako u elektrické vodivosti je zde vliv různých faktorů, zcela dominantní vliv má zrnitost půdy, fyzikální vlastnosti půdy a vlhkost půdy. Informace o zhuštění půdy jsou přímo využitelné, pokud chceme provést nápravné zpracování půdy (Lukas a kol., 2013).

### 3.6.6 Metody prostorových interpolací

Prostorové interpolace představují různé metody odhadu sledovaných znaků mezi místy pozorování, tzn. na místech, kde nebyl proveden odběr vzorků. Jejich použití je nezbytně nutné zejména pro bodové půdní vzorkování. Výsledkem interpolací z dat jsou spojité půdní mapy, jejichž podoba může být značně ovlivněna volbou interpolačního postupu. Kromě interpolační metody závisí přesnost prostorových map půdních vlastností na faktorech, jako je hustota vzorkování a konfigurace směsných vzorků (Gotway et al., 1996)

Nejčastěji používanými interpolačními metodami pro tvorbu spojitých prostorových map je **kriging a inverzní vážená vzdálenost**. Metody se liší ve způsobu výpočtu. Obě metody vypočítávají nevzorkovanou oblast váženým průměrem z hodnot okolních měřených bodů.

### **3.6.6.1 Kriging**

Tato metoda je založena na výpočtu lokálně vážených průměrů pohyblivého okna z měřených hodnot. Váhy pro predikci hodnot jsou určeny dle variogramu, který popisuje měnu prostorové závislosti se vzdáleností a směrem tak, aby se co možná nejvíce minimalizovala chyba odhadu. Kriging je spolehlivá metoda pro predikci půdních vlastností, přičemž prostorová variabilita sledované půdní charakteristiky vysvětluje pomocí variogramu, s každou predikcí stanovuje rozptyl.

### **3.6.6.2 Inverzní vážení vzdálenosti**

Při této metodě jsou data vážena dle vzdálenosti bodu od ostatních sousedních bodů. Způsob výpočtu každého bodu je inverzně proporciován ke vzdálenosti od bodu odhadu. Čím blíže jsou měřené body k interpolovaným bodům, tím vyšší je váha jejich hodnot. S rostoucí vzdáleností klesá síla váhy a interpolovaná hodnota se přibližuje ostatním bodům. Častým jevem při použití této metody je výskyt tzv. očí ve výsledných mapách, což jsou okrouhlé a lokálně velmi ohraničené struktury (Gotway et al., 1996).

### **3.6.7 Výnosové mapy**

Výnos je možné vyjádřit množstvím sklizeného zrna na konkrétní ploše. Ke stanovení výnosu je tedy nutné znát množství sklizeného zrna a sklizňovou plochu (Arslan *akol.*, 2002).

Tvorba výnosových map na pozemku byla v roce 1990 jedna z prvních komerčně nabízených technologií v precizním zemědělství (Demmel, 2013). Sklízecí mlátičky dnes běžně sledují aktuální výnos komodity během jízdy a dokáží dokonce i určit vlhkost. Tyto hodnoty jsou, pro v zemědělství hospodařící osoby, velmi užitečné a již nějakou dobu běžné. S rozvojem výpočetní techniky se rozvíjely i tyto systémy. Dnes můžeme z navigace získat takzvanou „výnosovou mapu“, na které vidíme plochu provedené sklizně, směr jízdy stroje a pro nás nejdůležitější přehled kde byl jaký výnos. Dále mohou být uvedena data jako například šířka plochy jeho délka nebo celková výměra.

## **4 METODIKA VÝZKUMU**

### **4.1 Charakteristika stanoviště**

Pokusný pozemek spadá do katastrálního území Žabčice, které patří geomorfologické oblasti Dyjsko – svratecký úval. Obec je v kukuřičné výrobní oblasti (KVO), nadmořská výška 184 metrů nad mořem. Žabčice jsou 25 km jižně od Brna v okrese Brno – venkov. Souřadnice 49°01'08.4"N 16°35'32.6"E.

#### **4.1.1 Klimatické podmínky**

Oblast Žabčice je ve velmi suchém a teplém klimatickém regionu. Průměrná roční teplota za posledních dobu je dle sledování 9,2 °C. Roční úhrn srážek ve třicetiletém průměru je 483,3 mm, úhrnem srážek náleží lokalita k sušším oblastem. Údaje o srážkách a teplotách byly získány z meteorologické pokusné stanice v Žabčicích.

#### **4.1.2 Geologicko-litologické poměry**

Území Žabčice a jeho okolí leží v úvalu Dyjsko – svrateckém. Tento úval je tvořen převážně neogenními sedimenty. Část úvalu, na kterém se nachází pozemek je tvořen čtvrtohorními štěrky a částečně aluviálními naplaveninami. Druhým kvartérním pokryvem je spraš.

#### **4.1.3 Pedologické poměry**

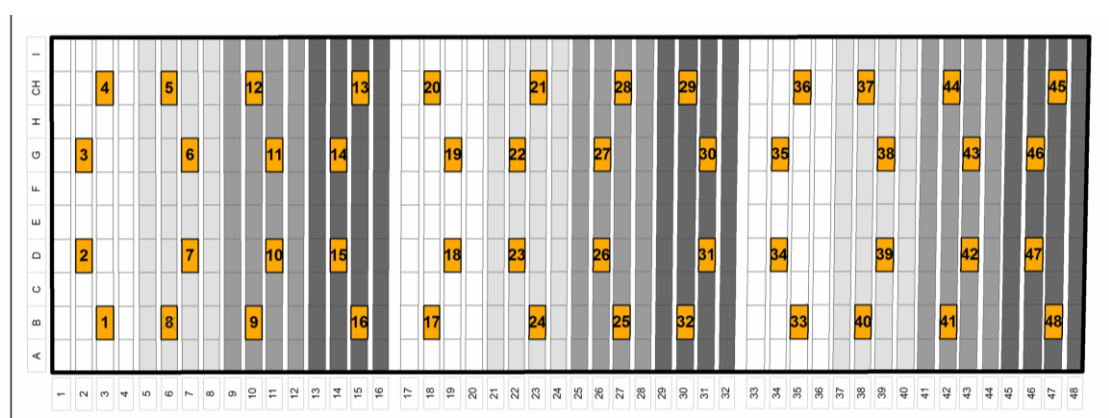
Stanoviště patří vývojem k mladším lužním glejovým půdám a je situováno v nivní oblasti řeky Svratky. Jedná se o půdy, které vznikly na holocenních, vápenitých nivních usazeninách. Půdní profil je tedy pod stálým vlivem spodních vod, to vede k silnému glejovému procesu, který do hloubky silně narůstá. Hladina podzemní vody je někde kolem 180 cm pod povrchem. V suchém období půda vysychá a vznikají velké praskliny. Ornice je hlinitá, až jílovitohlinitá, mocnost orničního profilu je 35 cm. Přechodný horizont sahá do hloubky 45 cm, tato část je ovšem zrnitostně těžší. Glejový

horizont je šedohnědý a jílovitý, dosahuje do hloubky 90 cm. V dalším glejovém horizontu do 130 cm nastává zesílení oglejení. Je šedé barvy s prismatickou strukturou jílového charakteru. V hloubce pod 130 cm se nachází půdotvorný substrát s glejovým procesem, který již nemá strukturu, a převládají u něj redukční procesy. To znamená, že spodina je těžká a se špatnou vodorozpustností. Díky tomu se v této vrstvě zadržuje půdní vláhá, která se pomocí kapilárního zdvihu dostává do svrchních vrstev. V orničním horizontu se nachází střední obsah humusu do 2,28 %. Půda má dobré sorpční vlastnosti. Nasyceností sorpčního komplexu a zásobenosti živin bude věnována další část metodiky.

## 4.2 Získání podkladů

Pro získání podkladů bylo provedeno vzorkování půdy na školním pozemku v Žabčicích na části půdního bloku 1907/4 dne 8. 9. 2014. Vzorky byly odebrány školní odběrovou soupravou Duoprob 60 taženou terénním vozidlem za pomoci DGPS navigace a předem vytvořeného plánu, s vyznačením kde budou vzorky odebrány. Celkem bylo odebráno 48 směsných vzorků z hloubky 0 – 0,3 m, každý se sestával ze 4 dílčích vzorků.

Dotčená část plochy pozemku byla od roku 2011 vedena jako experimentální lokalita v rámci řešení projektu NAZV QI111A184. Polní pokus byl rozdělen do 480 parcel, u nichž byl každoročně stanoven výnos. V rámci výzkumu bylo hlavním cílem půdního vzorkování stanovení plošné variability agrochemických vlastností půdy.



Obr 1: Schéma odběru vzorků

Odběrová souprava Duoprob 60 je hydraulická jednotka, která pomocí hydraulického kladiva o frekvenci 2500 ran/min zaboří odběrovou tyč hluboko do půdy. Ovládání soupravy lze provádět přímo z vozidla. Zařízení je tažené a ušetří nám unavující pochody po pozemku, dále může zařízení odebírat 2 vzorky, než je třeba vyprázdnit nádoby s oddělenými vzorky. Můžeme si zvolit odběr vzorků z hloubky do 30 cm nebo do 60 cm, které se oddělí samostatně do nádob, nebo lze provést 2 různé vzorky, odběr jednoho vzorku zabere přístroji 20 – 25 s. Samozřejmě je nezbytné dodržovat bezpečnost práce a být ohleduplný na zařízení hlavně nepojíždět s vozidlem pokud se vzorkovací tyč nachází v zemi.



*Obr 2: Odběrová souprava Duoprob 60*

### 4.3 Zpracování vzorků

Odebrané vzorky jsme vložili do číslem označených sáčků, dle odebrané pozice. Vzorky byly co nejdříve převezeny do laboratoře, kde byl proveden jejich rozbor dle v ČR aktuálně platné metodiky Mehlich 3 (Zbíral, 2002).

**Ve vzorcích se určovalo:**

- pH (v 0,01 M roztoku  $\text{CaCl}_2$ )
- obsah přístupného fosforu v mg/kg půdy
- obsah přístupného draslík v mg/kg půdy
- obsah přístupného hořčík v mg/kg půdy

### 4.3.1 Úprava vzorků

Vzorek se nejdříve musí na vzduchu nechat vysušit a poté se proseje na síť s oky o průměru 2 mm. Ze vzorku je nutné odebrat případné rostlinné zbytky. Přes síto je nutné prosít celý vzorek ne jen jeho část. Přesetý vzorek se umístí do vzorkovnice, který se poté také pečlivě označí stejným číslem.

Stanovení pH – Mezi vyluhovacím roztokem a půdou se stanoví rovnováha mezi ionty vodíku v roztoku a ionty vodíku vázanými v sorpčním komplexu půdy. Aktivita iontů vodíku se měří v půdní suspenzi skleněnou iontově selektivní elektrodou.

Stanovení obsahu přístupných živin podle Mehlicha III – Půda pro stanovení přístupného obsahu se extrahuje kyselým roztokem, který obsahuje fluorid amonný pro zvýšení rozpustnosti různých forem fosforu vázaných na železo a uhlík. V roztoku je přítomen i dusičnan amonný, který ovlivňuje desorpci draslíku, hořčíku a vápníku. Kyselost vyluhovacího roztoku je nastavena kyselinou octovou a kyselinou dusičnou.

Fosfor určujeme pomocí spektrofotometricky po reakci s molybdenanem v kyselém prostředí.

Draslík se stanovuje metodou plamenné fotometrie.

### 4.3.2 Vyhodnocení zkoumaných vzorků:

pH – Změny v reakci půdy jsou ovlivňovány především vyplavením zásaditých složek v oblastech s vyššími srážkami, jejich odčerpáním rostlinami, používáním fyziologicky kyselých hnojiv, kyselými spády z ovzduší atd. Pro úpravu půdní reakce zpět na optimální hodnotu pH používáme Vápnění. Stanovení dávky vápnění vychází z hodnoty výměnné půdní kyselosti a zrnitostního složení. V tab. 1 jsou sepsány hodnoty půdní kyselosti a k příslušným kategoriím jejich hodnota pH.

Průměrná hodnota zemědělských půd v ČR má pH 6. Půdy extrémně kyselé, silně kyselé a kyselé to jsou půdy s pH do 5,5 představuje 33 % prozkoušené výměry. Dalších 41 % vykazuje slabě kyselé pH v rozmezí 5,6 – 6,5. Pravidelné vápnění by se mělo dodržovat u 74 % zemědělských půd (Klement a kol., 2012).

Tabulka 1: Rozdělení půdní kyselosti (zdroj ÚKZÚZ)

Hodnota pH	půdní kyselost
do 4,5	extrémně kyselá
4,6-5,0	silně kyselá
5,1-5,5	kyselá
5,6-6,5	slabě kyselá
6,6-7,2	neutrální
7,3-7,7	alkalická
nad 7,7	silně alkalická

Tabulka 2: Normativy dávek vápenatých hnojiv v tunách CaO.ha<sup>-1</sup> (zdroj ÚKZÚZ)

lehká půda		střední půda		těžká půda	
pH	t CaO.ha <sup>-1</sup>	pH	t CaO.ha <sup>-1</sup>	pH	t CaO.ha <sup>-1</sup>
do 4,4	1,2	do 4,5	1,5	do 4,5	1,7
4,5-5,0	0,8	4,6-5,0	1	4,6-5,0	1,25
5,1-5,5	0,6	5,1-5,5	0,7	5,1-5,5	0,85
5,6-5,7	0,3	5,6-6,0	0,4	5,6-6,0	0,5
		6,1-6,5	0,2	6,1-6,5	0,25
				6,6-6,7	0,2

Stanovení množství vápnění – pro stanovení množství vápnění, jak již bylo zmíněno, je zapotřebí znát půdní zrnitost a hodnotu pH. V našem případě byl pokus prováděn na střední půdě a průměrná hodnota pH byla 5,1. Při využití uniformního hnojení by dodaná dávka musela být 0,7 t CaO.ha<sup>-1</sup>.

Hodnocení množství přístupných živin - Zdrojem živin pro rostliny jsou mateční horniny, zbytky rostlin, hnojiva a jiné. Z přístupných živin, které jsou v půdě, jsou pro rostlinu přijatelné pouze malá část (uvádí se kolem 5 %). Pro živiny jako fosfor, draslík, hořčík platí, že je hnojíme do zásoby a hnojíme spíše půdu než rostliny. V tab. 3 můžeme zjistit, do které kategorie spadá hodnota ze zkoumaného vzorku. V zaslaných výsledcích AZPP nám již toto rozdělení provedou za nás. Společnost, která provedla odběr vzorků a zařídila jejich následný rozbor, zařadí i rozdělení výsledků do příslušných skupin a zpět zašle tabulku ve které je zřetelně vidět který pozemek (označený parcelním číslem) je ve které skupině.

V tabulce 4 je vysvětleno, jaký význam mají uvedené skupiny, co to znamená a jak to ovlivňuje hospodaření na pozemku. Z tabulky přehledně zjistíme, jestli máme vypočtenou dávku navýšit o kolik, nebo naopak jestli živinou má vůbec smysl hnojit.

Tabulka 3: Kategorie zásoby živin v mg.kg<sup>-1</sup> (zdroj ÚKZÚZ)

Obsah	Fosfor	draslík			hořčík		
		půda			půda		
		lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
N – nízký	do 50	do 100	do 105	do 1170	do 80	do 105	do 120
VH – vyhovující	51-80	101-160	106-170	171-260	81-135	106-160	121-220
D – dobrý	81-115	161-275	171-310	261-350	136-200	161-265	221-330
V – vysoký	116-185	276-380	311-420	351-510	201-285	265-330	331-460
VV – velmi vysoký	nad 185	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460

Tabulka 4: Vysvětlení tabulky kategorie zásoby živin (Klement a kol., 2012)

N - nízký	Potřeba dosycení příslušnou živinou a povýšit vypočtenou dávku o 50 %
VH - vyhovující	Je potřeba mírného dosycení příslušnou živinou a povýšit dávku o 20-30 %
D - dobrý	v Půdě je příznivé množství a je potřeba dodat pouze množství dle vypočteného normativu
V - vysoký	Potřeba vypustit hnojení příslušnou živinou na přechodnou dobu
VV - velmi vysoký	Zvyšováním obsahu je nevhodné a hnojení příslušnou živinou je nepřijatelné, nesmíme hnojit do dalšího AZZP



#### **4.4 Postupy zpracování dat**

Prostorová data byla zpracována v geografickém informačním systému (GIS) ESRI ArcGIS 10.2 s nástavbou Geostatistical Analyst a Spatial Analyst. Vstupní data byla ve formátu Shapefile, následně z nich byly vytvořeny kontinuální mapy v rastrové podobě (formát IMG). Pro účely zpracování podkladů byl v tomto prostředí vytvořen skript pro výpočet všech variant variabilní aplikace ze vstupních dat. Schéma postupu je znázorněno na Obr. 1 (Příloha). Statistické hodnocení bylo provedeno v Microsoft Excel 2013.

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Zpracování laboratorních výsledků ze vzorkování půd, které jsem odebíral na již zmíněném pozemku dne 8. 9. 2014. Získané vzorky byly poté odvezeny do laboratoře, kde provedli jejich rozbor podle platné metodiky Mehlich 3 a zpět zaslali zjištěné výsledky. V tabulce 5 jsou vypsány důležité hodnoty, které budou dále statisticky vyhodnoceny a použity k vypracování interpolačních map a návrhu plánu hnojení.

*Tabulka 5: Výsledky ze vzorkování zpracované laboratoří*

vzorek	půda	pH	P	K	Mg	vzorek	půda	pH	P	K	Mg
1	S	4,92	60	164	163	25	S	5,11	77	172	226
2	S	5,91	42	170	174	26	S	4,51	64	174	147
3	S	5,02	57	187	160	27	S	4,59	69	178	156
4	S	4,93	59	168	160	28	S	5,16	50	170	180
5	S	5,03	67	188	196	29	S	5,05	55	149	182
6	S	4,94	112	202	209	30	S	4,83	66	176	181
7	S	5,05	70	151	174	31	S	5,08	101	202	184
8	S	5,2	58	170	187	32	S	5,01	53	192	203
9	S	5,93	66	188	223	33	S	5,18	36	152	219
10	S	5,01	63	184	207	34	S	5,02	66	194	187
11	S	5,4	50	165	206	35	S	5,19	100	265	200
12	S	5,13	85	206	192	36	S	5,06	91	198	189
13	S	5,14	103	200	186	37	S	5,23	91	212	222
14	S	4,5	140	216	136	38	S	5,1	75	175	158
15	S	4,82	118	198	168	39	S	5,15	80	159	176
16	S	4,77	110	198	161	40	S	4,88	106	176	166
17	S	4,76	101	172	171	41	S	5,22	54	156	183
18	S	5,5	122	177	186	42	S	5,24	78	225	206
19	S	5,09	77	205	196	43	S	5,31	62	164	201
20	S	4,98	93	189	221	44	S	5,17	86	181	223
21	S	5,11	60	182	222	45	S	5,21	56	142	192
22	S	5,03	75	168	221	46	S	5,13	91	192	247
23	S	5,68	90	259	304	47	S	5,2	68	182	212
24	S	5,22	75	178	202	48	S	5,25	59	156	208

## 5.1 Statistické zpracování výsledků

Tabulka 6:základní statistické ukazatele

	pH	P	K	Mg
průměr	5,103	76,81	183,9	193,19
medián	5,105	72,5	179,5	190,5
min	4,5	36	142	136
max	5,93	140	265	304
směr odchylka	0,276	22,36	24,44	28,669
var. koeficient	5,414	29,11	13,29	14,84

V tabulce 6, jsou základní statistické ukazatele, které byly vypočteny ze souboru hodnot na který je možno nahlédnout v tabulce 5.

Tabulka 5 obsahuje i sloupce označené jako půda. Hodnota u všech vzorků vyšla stejná a celý pozemek se dle zrnitostní třídy řadí do kategorie *střední půda*.

Při hodnocení pH bylo na pozemku zjištěno, že průměrná hodnota vzorků je 5,103, Tento výsledek odpovídá kyselé půdě. Nejnižší pH na pozemku vyšlo 4,5 a největší hodnota 5,93. Směrodatná odchylka je 0,276, Tato hodnota se dá pokládat za velkou odchylku od střední hodnoty. Variační koeficient je roven 5,41 %. V porovnání s tabulkou 7 je pozemek vyrovnaný.

Pro fosfor je průměrná hodnota rovna 76,81 mg.kg<sup>-1</sup> a spadá do skupiny VH, tedy vyhovující, pro kterou je doporučeno zvýšit vypočtenou dávku hnojení o 20 – 30 %. Minimální hodnota ze změřených vzorků byla 36 mg.kg<sup>-1</sup>. Maximální hodnota byla 140 mg.kg<sup>-1</sup>. Směrodatná odchylka je 22,36. Tato hodnota se dá pokládat za velkou odchylku od střední hodnoty. Variační koeficient je roven 29,11%, Z hlediska hodnocení nevyrovnanosti lze pozemek považovat za nevyrovnaný.

Draslík měl průměrnou hodnotu ve vzorcích 183,9 mg.kg<sup>-1</sup>. Při zařazení do skupiny můžeme vidět, že patří do skupiny D – dobrý obsah a není potřeba nijak navyšovat vypočtenou dávku. Hnojí se tedy na úrovni normativní dávky. Minimální hodnota ze změřených vzorků byla 142 mg.kg<sup>-1</sup> a maximální hodnota byla 265 mg.kg<sup>-1</sup>. Směrodatná odchylka je 24,44. Tato hodnota se dá pokládat za velkou odchylku od střední hodnoty. Variační koeficient je roven 13,29 %, v porovnání s tabulkou 7 je pozemek vyrovnaný.

Hořčík měl průměrnou hodnotu ve vzorcích 193,19 mg.kg<sup>-1</sup>. Při zařazení do skupiny můžeme vidět, že patří do skupiny D, která značí dobrý stav a není potřeba

nijak navyšovat vypočtenou dávku. Minimální hodnota ze změřených vzorků byla 136 mg.kg<sup>-1</sup> maximální hodnota byla 265 mg.kg<sup>-1</sup>. Směrodatná odchylka je 28,669. Tato hodnota se dá pokládat za velkou odchylku od střední hodnoty. Variační koeficient je roven 14,84 %. V porovnání s tabulkou 7, je pozemek vyrovnaný.

Fosfor a draslík jsou živiny, které se považují za základní a hnojí se do zásoby. Z tohoto důvodu na ně nyní bereme ohled.

Důležitou živinou při výživě rostlin je také dusík. Tento prvek ovšem není hodnocen v rámci agrochemického zkoušení půd. Navíc se nehnojí do zásoby, je nutné jej dodávat rostlinám průběžně během vegetačního období. Z těchto důvodů je z hodnocení v rámci diplomové práce vyloučen.

*Tabulka 7: Variabilita půdních vlastností (Beránek a Klement, 2007)*

Výměra pozemku (ha)	Variační koeficient (%) - pozemek					
	vyrovnaný		nevyrovnaný		silně nevyrovnaný	
	pH	P,K,Mg,Ca	pH	P,K,Mg,Ca	pH	P,K,Mg,Ca
do 20,0	do 5	do 20	6 - 12	21 - 50	nad 12	nad 50
20,1 – 30,0	do 6	do 25	7 - 15	26 – 60	nad 15	nad 60
nad 30,0	do 7	do 30	8 - 20	31 - 65	nad 20	nad 65

## 5.2 Zpracované interpolační mapy

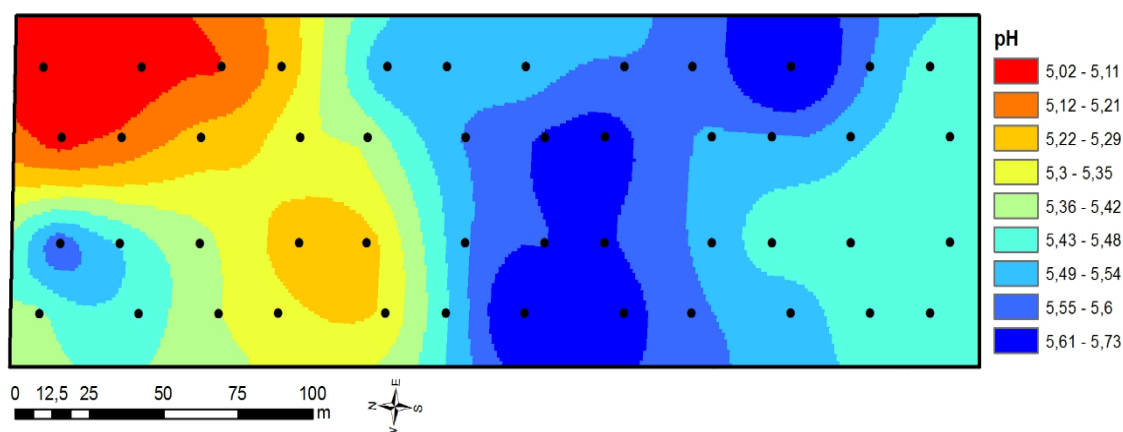
Výsledky půdních rozborů v podobě bodových dat byly následně zpracovány do podoby celoplošných kontinuálních map. Pro tyto účely byly použity metody prostorových interpolací kriging (varianta běžný kriging – ordinary kriging, OK) a metoda inverzního vážení vzdáleností (Inverse Distance Weighting, IDW). Volba interpolačního postupu závisí na přesnosti odhadu hodnot mimo měřená místa, která se hodnotí jako odchylka predikovaných hodnot od původní datové vrstvy metodou *cross – validation*. Z důvodu nejnižší odchylky predikce hodnot byla pouze pro tvorbu celoplošných map obsahu draslíku použita metoda IDW, v ostatních případech se jednalo o metodu ordinary kriging.

Tabulka 8: Použité metody prostorových interpolací pro jednotlivé agrochemické půdní vlastnosti:

Půdní vlastnost	pH	P	K	Mg
Metoda	OK	OK	IDW	OK

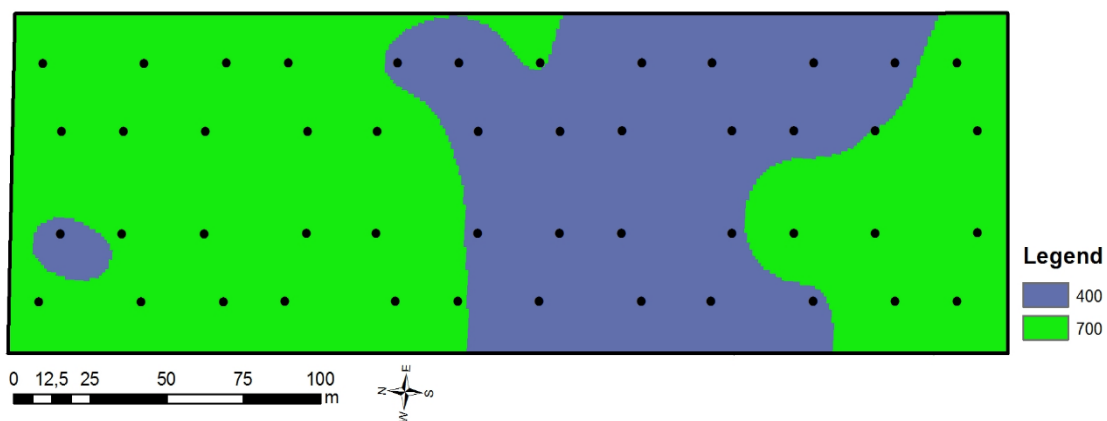
OK – běžný kriging (*ordinary kriging*); IDW – metoda inverzního vážení vzdáleností (Inverse Distance Weighting)

Hustota a rozmístění odběrových bodů půdního vzorkování byly voleny podle výsledků předběžné analýzy variability půdních podmínek měřením elektrické vodivosti půdy (EC). Mapové výsledky jsou uvedeny včetně klasifikace obsahu živin do příslušných kategorií zásobenosti a interpretace hodnoty pH do podoby potřeby vápnění (dávka CaO na ha).

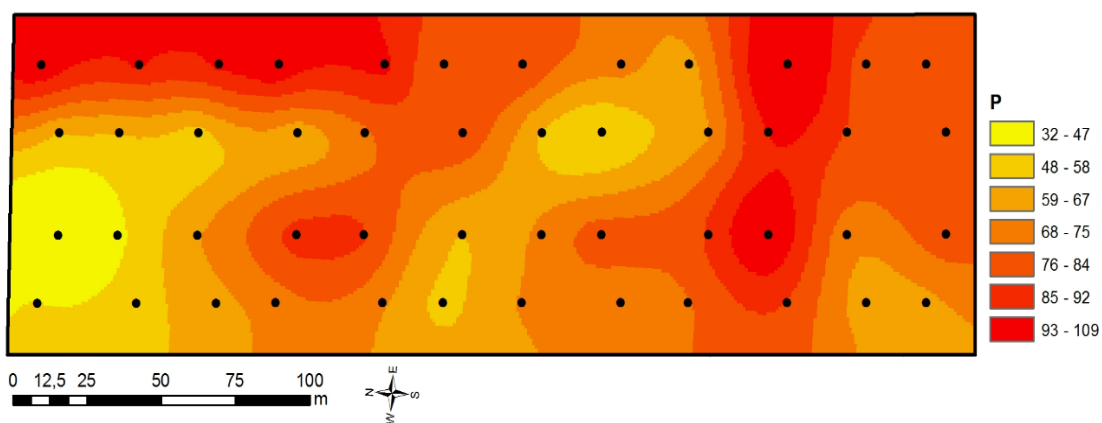


Obr. 3 Mapa pH půdy z výsledků půdního vzorkování na pokusné lokalitě Žabčice

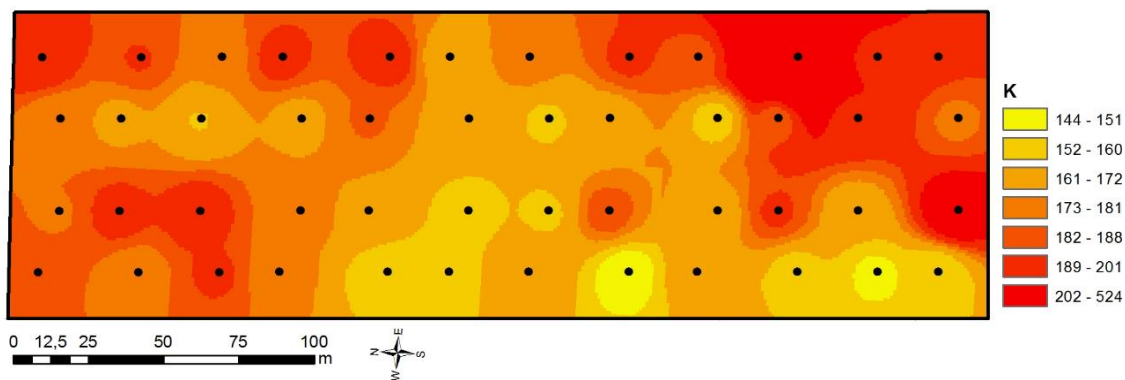
Na obrázku 3, vidíme již zpracovanou celoplošnou kontinuální mapu s obsahem pH. Na první pohled se pozemek jeví jako nevyrovnaný. Při srovnání s obrázkem 4, na kterém je přepočteno, jaké množství CaO je třeba dodat, můžeme usoudit, že pozemek lze z pohledu pH brát jako vyrovnaný. To potvrzuje i vypočtený variační koeficient.



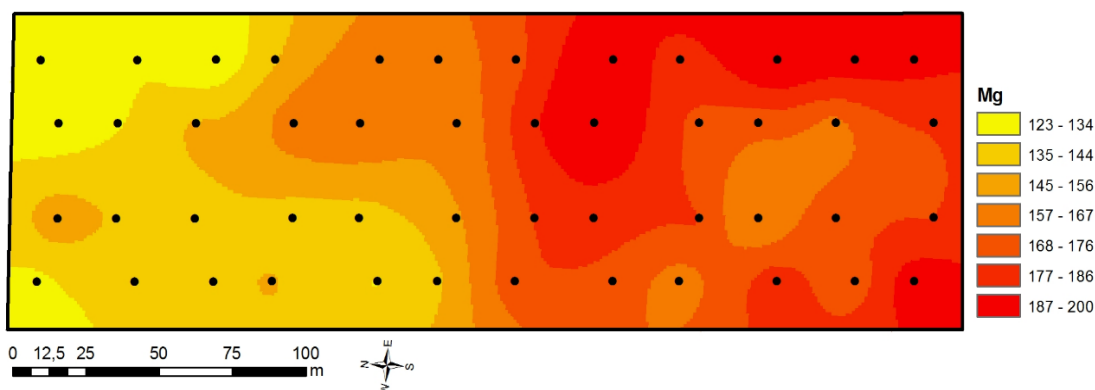
Obr. 4 Mapa potřeby vápnění z výsledků půdního vzorkování na lokalitě Žabčice v roce 2014.



Obr. 5 Mapa obsahu přístupného fosforu z výsledků půdního vzorkování na pokusné lokalitě Žabčice

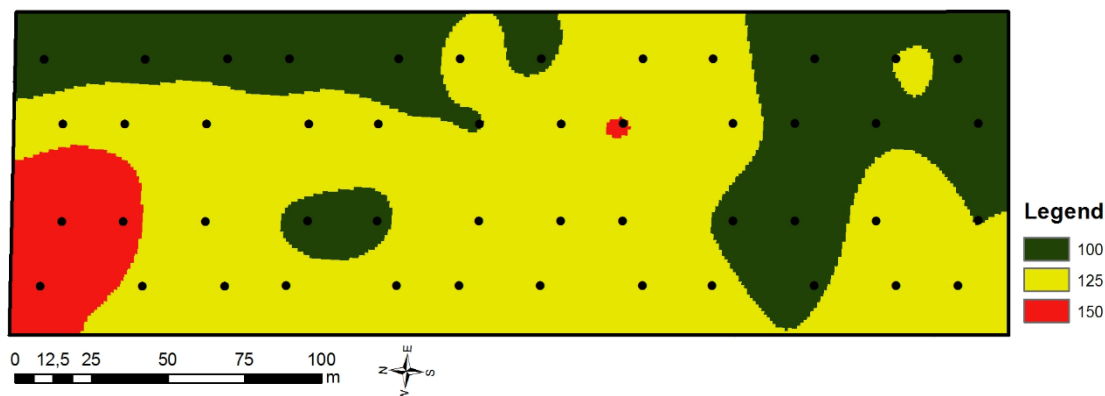


Obr. 6 Mapa obsahu přístupného draslíku z výsledků půdního vzorkování na lokalitě Žabčice



Obr. 7 Mapa obsahu přístupného hořčíku z výsledků půdního vzorkování na lokalitě Žabčice

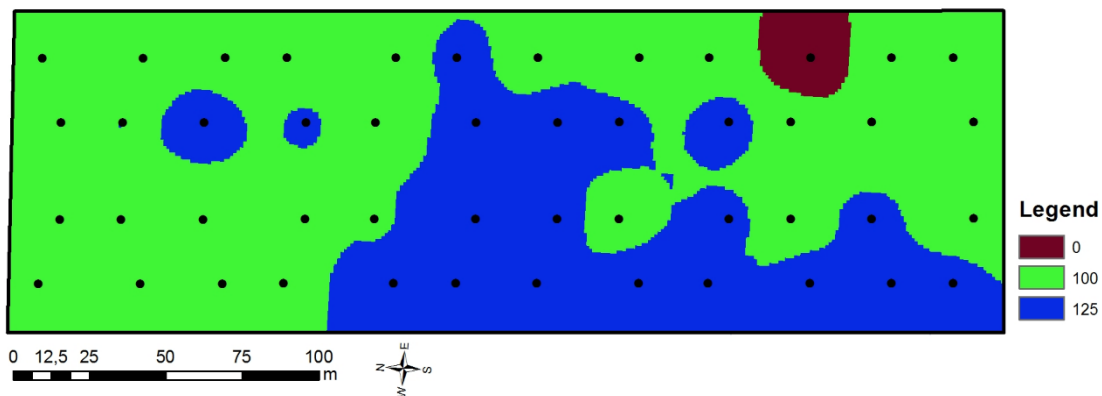
Obrázky 5 – 7 jsou vypracované interpolační mapy ze získaných výsledků. Mapy fosforu a hořčíku byly zpracované metodou OK – běžný kriging a draslík byl zpracován metodou IDW - inverzního vážení vzdáleností. Na mapách jsou tmavěji zvýrazněny místa s vyšší zásobeností a světleji místa s menší zásobeností.



Obr. 8 Mapa zásobenosti fosforem z výsledků půdního vzorkování na lokalitě Žabčice v roce 2014; označení 100 vyjadřuje dobrou zásobenost, 125 vyhovující a 150 nízkou.

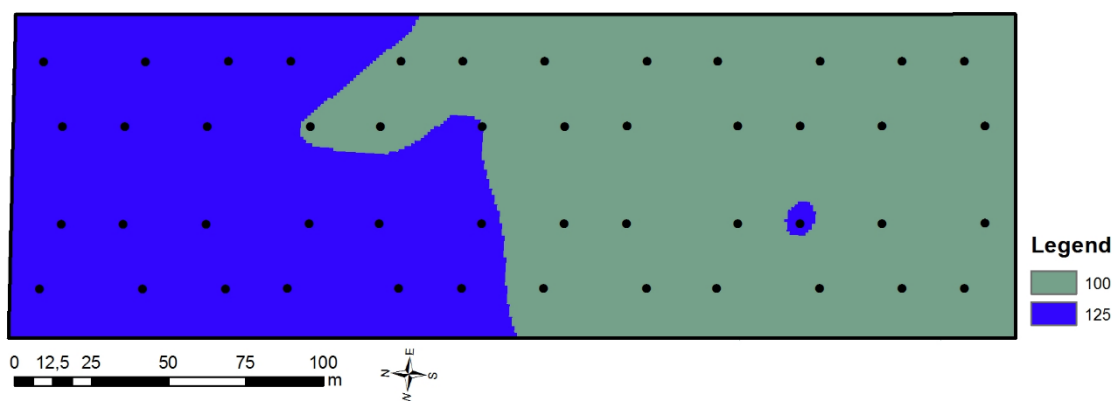
Obrázek 8 je vypracovaná mapa dle skupin Mehlich3, která nám už pomůže s plánem hnojením. Červená je oblast s nízkou zásobeností a dávku v této oblasti je doporučeno navýšit o 50 %, žlutá část je oblast s vyhovující zásobeností kde bychom dávku měli zvýšit zhruba o 25 % a zelená oblast znázorňuje dobrou zásobenost a na této ploše není třeba upravit dávku. Výměru jednotlivých oblastí lze zjistit v GIS prostředí

(například z programu ESRI ArcGIS), plocha jednotlivých kategorií, nám můžeme zvolit adekvátní dávku hnojení.



*Obr. 9 Mapa zásobenosti draslíkem z výsledků půdního vzorkování na lokalitě Žabčice v roce 2014 rozděleného dle kategorií zásoby živin: označení 0 vyjadřuje vysokou zásobenost, 100 dobrou a 125 vyhovující*

Obrázek 9, vykresluje zásobenost draslíkem dle Mehlich3. Na této mapě vidíme modře vykreslená místa s vyhovující zásobeností draslíkem. Zelená znázorňuje dobrou zásobenost a hnědá barva nám zvýrazňuje oblast, kde je zásobenost vysoká a v této části by se nemělo hnojit.



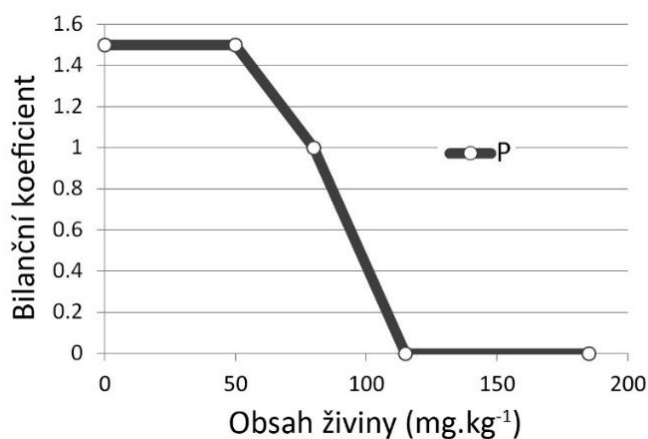
*Obr. 10 Mapa zásobenosti hořčíkem z výsledků půdního vzorkování na lokalitě Žabčice v roce 2014 rozděleného dle kategorií zásoby živin; označení 100 vyjadřuje dobrou zásobenost a 125 vyhovující zásobenost*



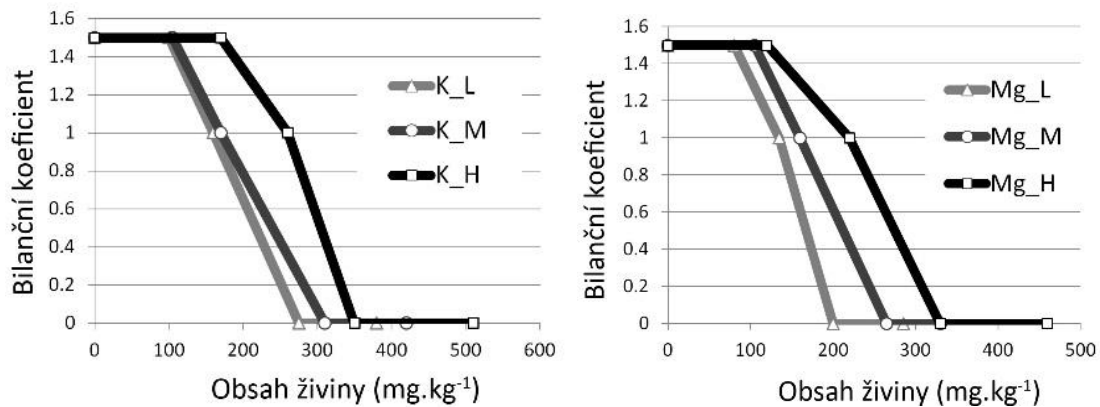
Obrázek 10 je vytvořen pro zásobenost hořčíkem, kde nám modrá barva znázorňuje zásobenost vyhovující a šedá barva představuje oblast s dobrou zásobeností.

### 5.3 Bilanční koeficient

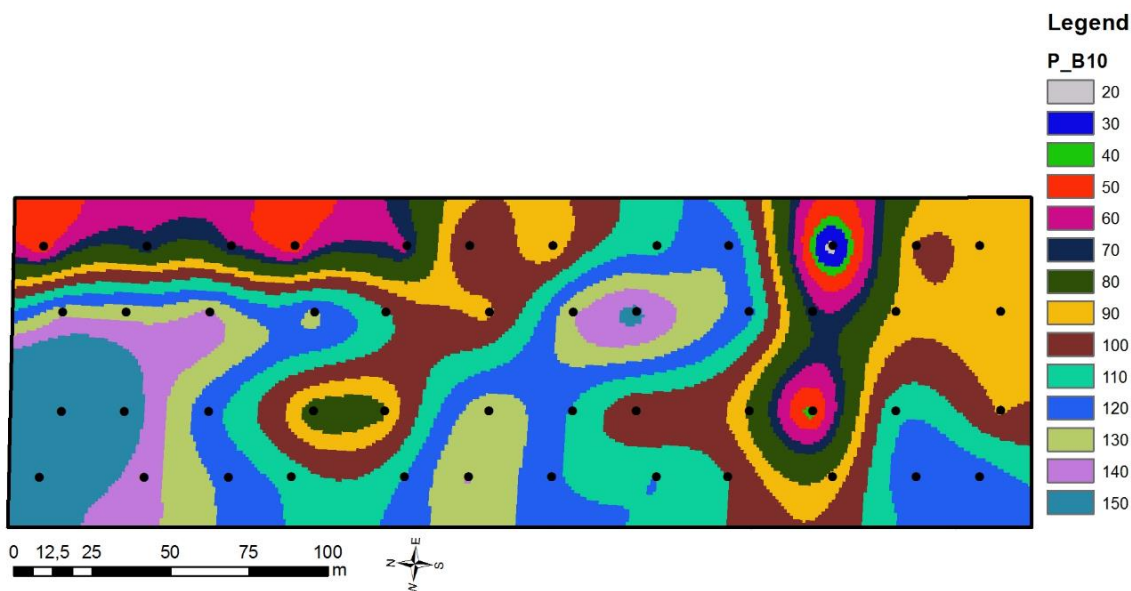
Autor bilančního koeficientu je Dr. Klír (Klír et al. 2008). Bilanční koeficient je zpřesnění 5 stupňové klasifikace lineárním proložením, kdy pro každou jednotku obsahu lze stanovit koeficient korekce normativní dávky hnojení s rozpětím 0 – 150 %. V našem případě, jsme zvolili rozložení dle bilančního koeficientu rozděleného po 10 %. Tato varianta by měla pozemek rozdělit do více oblastí a měla by sloužit k přesnějšímu určení rozdílností obsahu na pozemku a nemělo by být tak členěné, aby se nedali určit jednotlivé kategorie. Bilanční koeficient 1,5 znamená zvýšení hnojení o 50 % nad nahrazovací hnojení. Bilanční koeficient 1 znamená navrácení živin odebraných sklizenými produkty. Obrázky 11 a 12 s lineárním proložením, které ukazují princip bilančního koeficientu



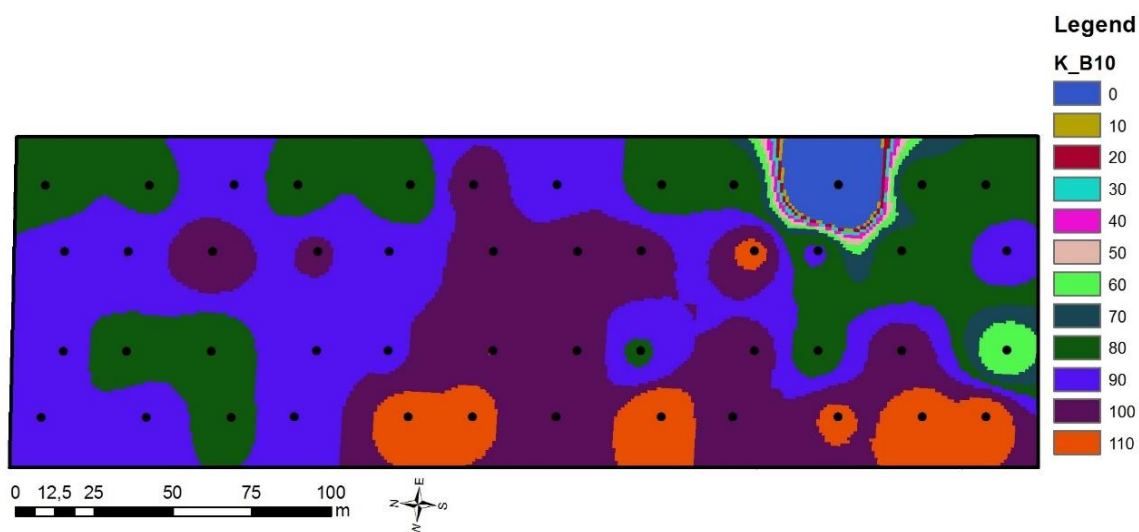
*Obr. 11 Bilanční koeficient pro fosfor*



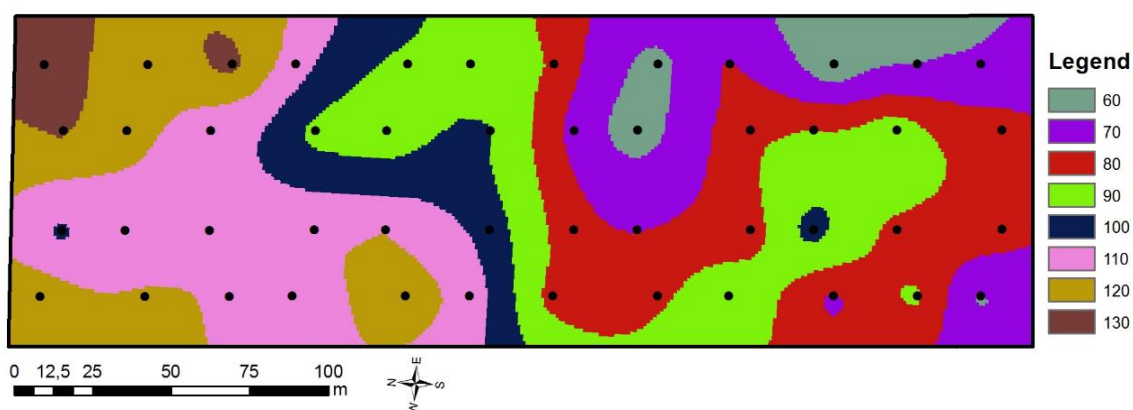
Obr. 12 Bilanční koeficient pro draslík a hořčík



Obr. 13 Mapa zásobenosti fosforem z výsledků půdního vzorkování na lokalitě Žabčice v roce 2014 rozděleného dle bilančního koeficientu po 10% vyjadřující korekci normativní dávky (100% = normativní dávka pro úhradu odběru živin na plánovaný výnos)



Obr. 13 Mapa rozložení bilančního koeficientu draslíku z výsledků půdního vzorkování na lokalitě Žabčice v roce 2014 rozděleného dle bilančního koeficientu po 10% vyjadřující korekci normativní dávky (100% = normativní dávka pro úhradu odběru živin na plánovaný výnos).



Obr. 14 Mapa rozložení bilančního koeficientu hořčíku z výsledků půdního vzorkování na lokalitě Žabčice v roce 2014 rozděleného dle bilančního koeficientu po 10% vyjadřující korekci normativní dávky (100% = normativní dávka pro úhradu odběru živin na plánovaný výnos).

## 5.4 Výpočet dávky hnojení

Dávka hnojení byla vypočtena pro ječmen jarní s předpokládaným výnosem 5,3 t.ha<sup>-1</sup> a s odběrovým normativem 5 kg P, 20 kg K a 2,4 kg Mg na jednotku produkce (1 t zrna). Pro výpočet celkové dávky hnojiv bylo zvoleno pro hnojení fosforu hnojivo

AMOFOS, který aktuálně (jaro 2015) stojí 14 900 Kč, pro hnojení draslíkem *draselná sůl* s 9 300 Kč za 1 t hnojiva a pro hořčík jsme zvolili *hořkou sůl*, která se dá nyní (jaro 2015) pořídit za 7 950 Kč. Výpočet hnojení byl proveden v šesti variantách. Čtyři varianty s uniformním výnosem 5,3 t.ha<sup>-1</sup> na celé parcele, kde se počítali tyto varianty, uniformní hnojení dle M3, uniformní hnojení dle bilančního koeficientu, variabilní hnojení dle M3 a variabilní hnojení dle bilančního koeficientu BK10. Poslední varianty s označením VRY vycházejí z proměnlivého stanovení normativní dávky dle záznamu výnosové mapy a dávka byla dále přepočtena podle variabilního hnojení dle M3 a variabilního hnojení podle bilančního koeficientu BK10.

*Tabulka 9: přehled použitých metod*

varianta	aplikace	korekce normativu	plánovaný výnos
UNI-M3	uniformní	Mehlich 3	konstantní
UNI-BK	uniformní	bilanční koeficient	konstantní
VRA-M3	variabilní	Mehlich 3	konstantní
VRA-B10	variabilní	bilanční koeficient po 10%	konstantní
VRY-M3	variabilní	Mehlich 3	výnosová úroveň
VRY-B10	variabilní	bilanční koeficient po 10%	výnosová úroveň

UNI-M3 – tato dávka je vypočtena jako uniformní dávka na celou výměru, kdy počítáme, že výnos na celém pozemku byl jednotný 5,3 t.ha<sup>-1</sup>. Ze zjištěného průměru obsahu čistých živin z půdních vzorků, jsme vypočetli odběrový normativ a dále ho upravili podle doporučení k výsledkům AZZP. Tento postup odpovídá tradiční interpretaci agrochemického zkoušení půd dle platné metodiky ÚKZÚZ (Klement et al, 2012).

UNI-BK10 – tato dávka byla počítána stejně jako u varianty UNI-M3, pouze v závěru byla zvolena korekce výsledku dle bilančního koeficientu.

VRA-M3 – varianta představuje postup stanovení dávky pro variabilní aplikaci hnojiv v precizním zemědělství, tzn. zohledňují se prostorové rozdíly obsahu přístupných živin v půdě. Výnos a odběr živin je konstantní pro celou plochu pozemku.

Z interpolačních map jsme získali obsah pro jednotlivé kategorie a tuto plochu jsme následně vynásobili, dle doporučení pro danou skupinu. Do výsledků jsme nezapočetli hodnotu 7,9 u draslíku, protože tato hodnota je vyhovující a není potřebné provádět hnojení. Výsledky hodnocení ukazuje tabulka 10. Varianta odpovídá v praxi běžnému postupu stanovení zásobního hnojení dle Mehlich 3, kdy chybí údaj o rozložení výnosu plodin na pozemcích.

VRA-BK10 – obdoba varianty VRA-M3 s tím rozdílem, že interpretace obsahu živin byla za pomoci bilančního koeficientu, který jsme rozdělili po 10%, jsme zjistili zastoupení zvolených skupin. Zjištěnou plochu jsme následně přepočítali bilančním koeficientem, který se lišil pro každou z určených skupin. Toto rozložení by hospodařícím jedincům mělo dát podrobný přehled o stavu a potřebě živin na pozemku. Názornější postup ukazuje tabulka 13.

VRV-M3 – varianta variabilní aplikace hnojiv zohledňující prostorové rozdíly ve výnosu plodiny na daném pozemku. Jedná se o variabilní aplikaci hnojiv dle doporučení AZZP (Mehlich 3) a také upravenou o výnosovou mapu, tato varianta by měla sloužit k podpoření výnosnějších částí pozemku. Hlavní účel této varianty by mělo být navýšit dávku hnojení tam, kde je dle výnosových map vyšší výnos a podpořit tuto oblast větší dávkou hnojení. A naopak vyvarovat se přehnojení v oblastech se zjištěným dlouhodobě nižším výnosem. Část pozemku s dlouhodobě nižším výnosem nemá potenciál dosáhnout vysokých výsledků a není nutné aplikovat více než je odběr rostlin na danou úroveň výnosu. Varianty VRV nám nejspíš zvýší náklady na plochu, ale měly by nám také poskytnout efektivnější využití aplikovaných hnojiv.

VRV-BK10 – jedná se o variabilní aplikaci hnojiv, kde jsme rozdělili skupiny podle bilančního koeficientu po 10 % a také upravili o výnosovou mapu. Tato varianta by měla sloužit k podpoření výnosnějších částí pozemku a zemědělci by měli dát podrobný přehled o stavu na pozemku. Kombinace zpřesnění interpretace zásobenosti živin v půdě s diferencovaným normativem odběru rostlin podle výnosových dat představuje inovovaný a zatím v praxi nevyužívaný postup stanovení dávek zásobního hnojení.

Tabulka 10: Vypočtená dávka hnojení pro fosfor dle jednotlivých skupin Mehlich 3

Výpočet variabilní dávky fosforu dle M3			
třídy zásobenosti	%	m <sup>2</sup>	množství živin (kg)
M3-1-150	6,6	2257	9,0
M3-2-125	61,7	20989	69,5
M3-3-100	31,7	10776	28,6
M3 -4	0	0	0,0
		Suma (kg)	107,1

V tabulce 10 je vidět postup výpočtu variabilní dávky fosforu. Rozdělení je podle tříd zásobenosti dle Mehlich 3, kdy skupina M3-1-150 je skupina s nízkou zásobeností fosforu a je nutné zvýšit vypočtenou dávku o 50 %, skupina M3-2-125 znázorňuje vyhovující zásobenost a dávku je nutné navýšit o 25 %, skupina M3-3-100 znázorňuje dobrou zásobenost a dávku není nutné navyšovat a skupina M3-4 znázorňuje vysokou zásobenost a hnojenou dávku bychom měli vypustit. Z vytvořených interpolačních map jsme zjistili plochu pro každou skupinu a přepočítali na výslednou dávku v čistých živinách

*Tabulka 11: Vypočtená dávka hnojení pro draslík dle jednotlivých skupin Mehlich 3*

Výpočet variabilní dávky draslíku dle M3			
třídy zásobenosti	%	m <sup>2</sup>	množství živin (kg)
M3-1-150	0	0	0,0
M3-2-125	34,3	11667	154,6
M3-3-100	63,5	21611	229,1
M3 -4	2,2	744	7,9
		Suma (kg)	383,7

Tabulka 11 znázorňuje postup výpočtu variabilní dávky draslíku. Rozdělení je podle tříd zásobenosti dle Mehlich 3, kdy skupina M3-1-150 je skupina s nízkou zásobeností fosforu a je nutné zvýšit vypočtenou dávku o 50 %, skupina M3-2-125 znázorňuje vyhovující zásobenost a dávku je nutné navýšit o 25 %, skupina M3-3-100 znázorňuje dobrou zásobenost a dávku není nutné navyšovat a skupina M3-4 znázorňuje vysokou zásobenost a hnojenou dávku je doporučeno vypustit.

*Tabulka 12: Vypočtená dávka hnojení pro draslík dle jednotlivých skupin Mehlich 3*

Výpočet variabilní dávky draslíku dle M3			
třídy zásobenosti	%	m <sup>2</sup>	množství živin
M3-1-150	0,0	0	0,0
M3-2-125	43,3	14734	23,4
M3-3-100	56,7	19288	24,5
M3-4	0,0	0	0,0
		Suma (kg)	48,0

Tabulka 12 znázorňuje postup výpočtu variabilní dávky hořčíku. Rozdělení je podle tříd zásobenosti dle Mehlich 3. Rozdělení je podle tříd zásobenosti dle Mehlich 3 kdy skupina M3-1-150 je skupina s nízkou zásobeností fosforu a je nutné zvýšit vypočtenou dávku o 50%, skupina M3-2-125 znázorňuje vyhovující zásobenost a dávku je nutné navýšit o 25%, skupina M3-3-100 znázorňuje dobrou zásobenost a dávku není nutné navyšovat a skupina M3-4 znázorňuje vysokou zásobenost a hnojenou dávku bychom měli vypustit.



Tabulka 13: Vypočtená dávka hnojení upravená dle skupin Bilančního koeficientu rozděleného po 10 %

BK10	fosfor			draslík			hořčík		
	%	m <sup>2</sup>	živin		m <sup>2</sup>	živin		m <sup>2</sup>	živin
150	6,63	2257	9,0	0	0	0	0	0	0
140	5,00	1701	6,3	0	0	0	0	0	0
130	9,02	3070	10,6	0	0	0	2,80	953	1,6
120	15,92	5418	17,2	0	0	0	13,12	4464	6,8
110	15,75	5359	15,6	7,62	2594	30,2	19,67	6693	9,4
100	15,99	5441	14,4	26,67	9073	96,2	7,71	2624	3,3
90	12,75	4339	10,3	35,36	12029	114,8	18,11	6163	7,1
80	7,24	2463	5,2	23,83	8106	68,7	20,38	6934	7,1
70	3,46	1178	2,2	1,90	646	4,8	13,69	4656	4,1
60	4,63	1574	2,5	1,20	407	2,6	4,51	1535	1,2
50	2,97	1012	1,3	0,32	108	0,6	0	0	0
40	0,30	103	0,1	0,23	79	0,3	0	0	0
30	0,29	98	0,1	0,20	68	0,2	0	0	0
20	0,03	9	0,0	0,19	66	0,1	0	0	0
10	0	0	0,0	0,12	42	0,0	0	0	0
0	0	0	0,0	2,36	804	0,0	0	0	0
množství živin celkem (kg)			94,9	318,6			40,5		

V tabulce 13 jsou sepsány výsledky bilančního koeficientu BK10 pro fosfor, draslík a hořčík. Zde je pro každou skupinu bilančního koeficientu vypočteno, jakou plochu zabírá a jaké množství živin je nutné aplikovat. Pro každou z uvedených skupin byla vypočtena potřebná dávka podle plochy, kterou zabírá a plánovaného výnosu.

Tabulka 13: porovnání výpočtů

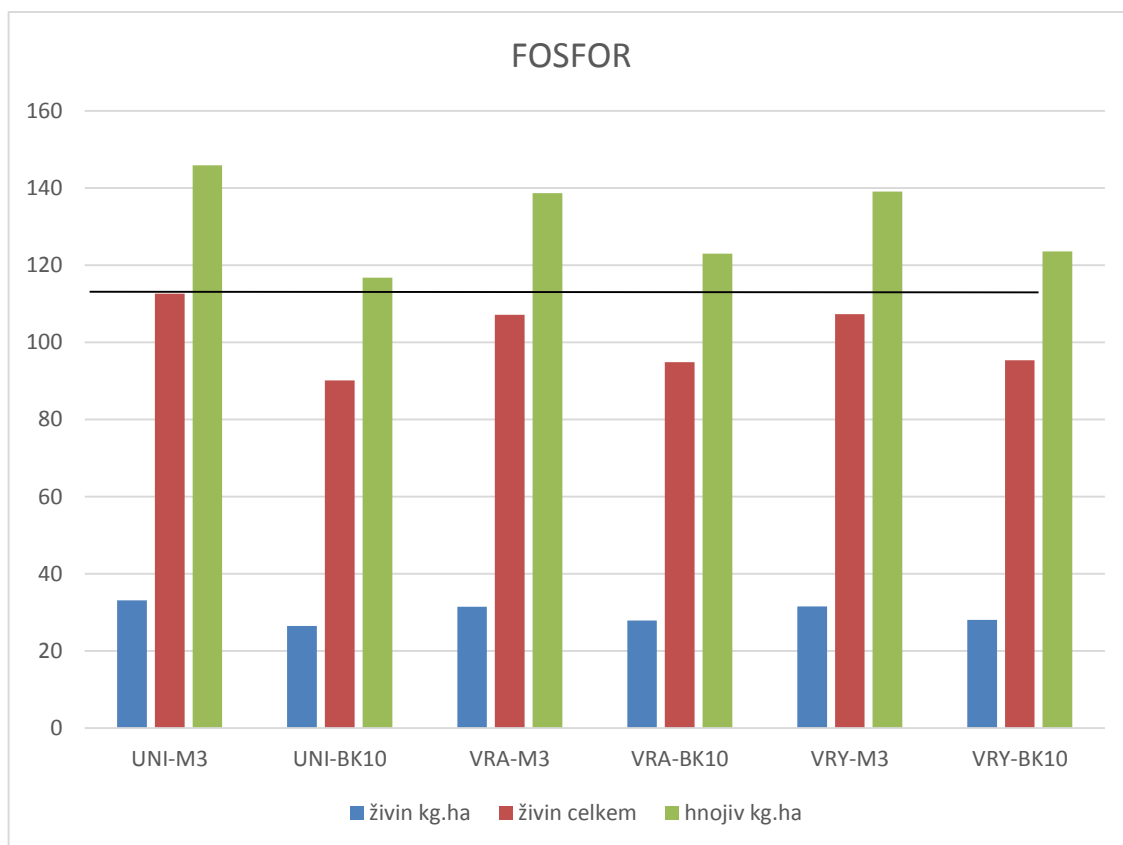
	UNI-M3			UNI-BK10			VRA-M3			VRA-BK10			VRY-M3			VRY-BK10		
	P	K	Mg	P	K	Mg	P	K	Mg	P	K	Mg	P	K	Mg	P	K	Mg
živin (kg.ha <sup>-1</sup> )	33,12	106	12,71	26,5	95,412	7,618	31,5	112,9	14,12	27,91	93,71	11,91	31,57	113,2	14,1	28,0	94,1	11,9
živin celkem (kg)	112,6	360,4	43,2	90,1	324,4	25,9	107,1	383,7	48	94,9	318,6	40,5	107,3	384,9	48,0	95,4	320,0	40,5
Hnojiv (kg.ha <sup>-1</sup> )	145,9	212,9	88,3	116,8	191,6	53,0	138,7	226,6	98	123	188	82,8	139,1	227,4	98,1	123,6	189,0	82,8
hnojiv celkem (kg)	496,1	723,9	300,3	397,0	651,6	180,0	471,6	770,6	333,1	418,1	639,9	281,4	472,9	773,1	333,5	420,1	642,7	281,5
cena (Kč)	7392	6732	2387	5915	6060	1431	7027	7167	2648	6230	5951	2237	7047	7190	2652	6260	5977	2238

V tabulce 14 jsou vypsané počítané varianty, živiny a další faktory, které jsme určili (množství přijatých živin rostlinou, množství živin na celou výměru, množství hnojiv a aktuální cena hnojiv).

Lukas et al. (2011) došel k výsledku, kdy u živin fosforu a draslíku vedla variabilní aplikace k mírnému navýšení celkového množství navrhovaných dávek živin v porovnání s uniformní aplikací. Na námi sledovaném pozemku, jsme došli k podobnému závěru u draslíku a hořčíku. V porovnání s variantou uniformního hnojení došlo při variabilní aplikaci k navýšení množství dodaných hnojiv. Fosfor v naší variantě variabilního hnojení mírně odporuje původnímu předpokladu, že dávka této živiny bude na pokusné ploše nižší než při uniformním hnojení.

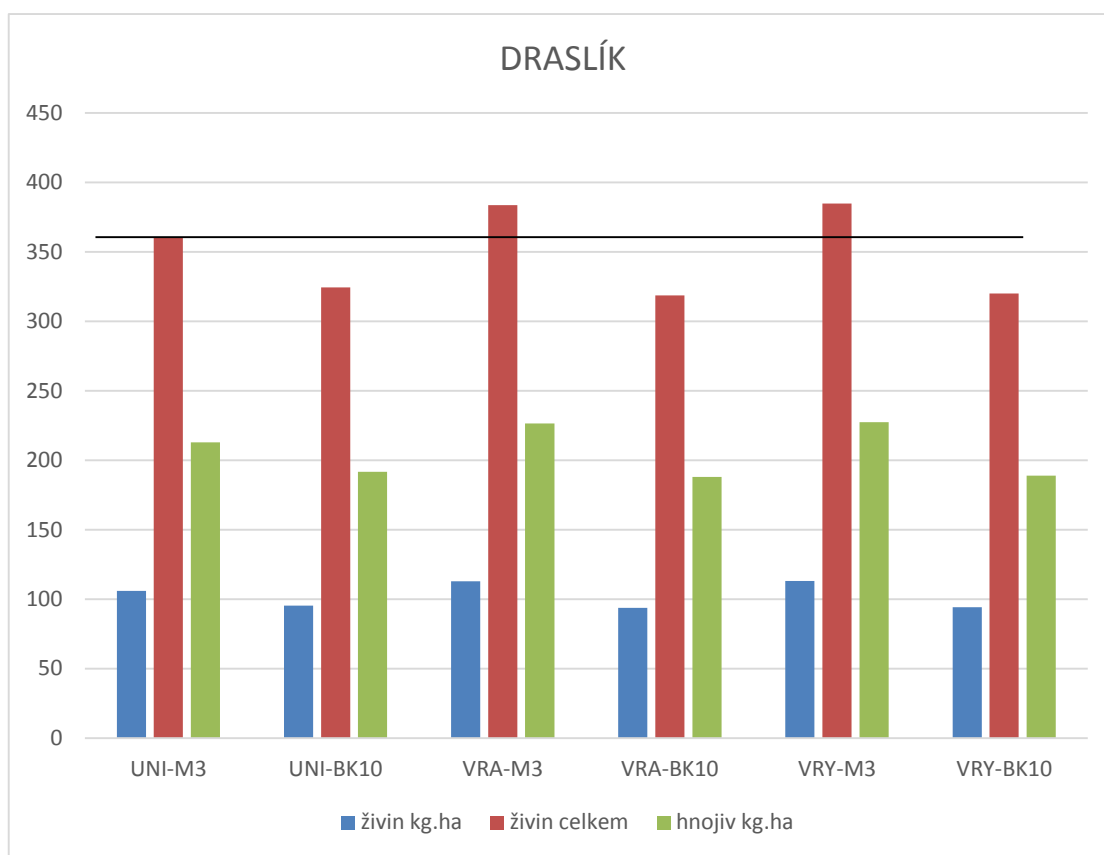
U porovnání uniformní dávky bilančního koeficientu (varianta UNI-BK10) jsme u fosforu a hořčíku došli k výsledku, že variabilní dávka bude vyšší. Variabilní dávka pro draslík dle hodnocení BK10 v porovnání s uniformní aplikací, nám sníží celkovou dávku na hnojení.

Srovnáním variabilního hnojení bez úpravy o výnosovou mapu s variantou, kde tato korekce byla provedena, nám v každé variantě navýšila aplikační dávku u všech živin. Některé zvýšení bylo sice velmi nepatrné, ale i tak se projevilo. Jak přesně vytvořit a zpracovat výnosové mapy viz Širůček et al. (2014), který se tímto zabýval podrobněji.



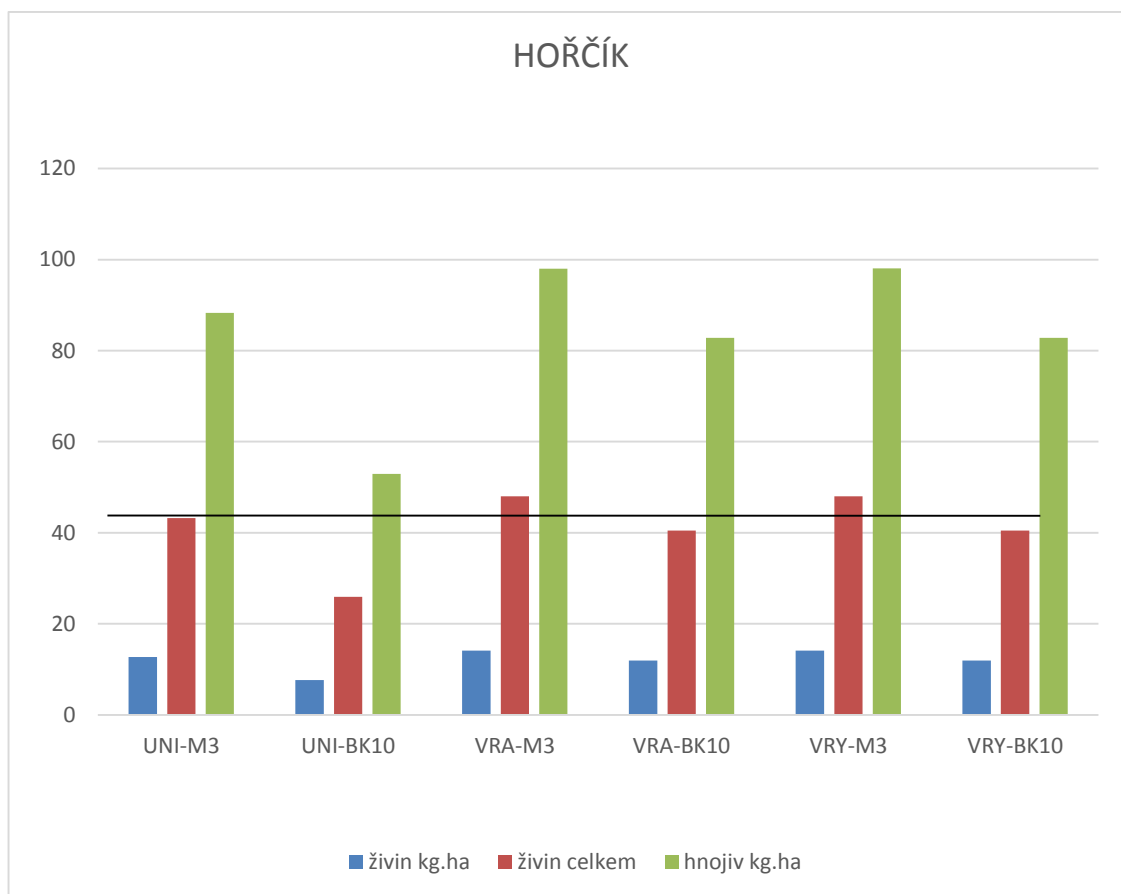
*graf 1: Souhrn výsledků pro fosfor v počítaných variantách. Přímka odpovídá dosažené úrovni hnojení pro variantu s uniformní dávkou hnojení.*

Graf 1 pro fosfor vychází, že nejmenší množství hnojiv je třeba dodat při variantě hnojení UNI-BK10. Varianta VRY-BK10, která je po úpravě výnosovým normativem navýšila aplikační dávku velmi nepatrně od odběru živin, ve variantě VRA-BK10. Při srovnání variant VRA-M3 a UNI-M3 vyšla lépe variabilní dávka než dávka uniformní. To je i znázorněné i na obrázku 7, kde vidíme nevyrovnaný pozemek, kde uniformní aplikace nepokryje rozdílnosti v zásobenosti. Do grafu je vložena přímka, která má posloužit k porovnání jaké množství živin celkem se dodá v nejpoužívanější variantě UNI-M3.



*graf 2: Souhrn výsledků pro draslík v počítaných variantách. Přímka odpovídá dosažené úrovni hnojení pro variantu s uniformní dávkou hnojení*

Graf 2 pro hodnoty draslíku jako nejlepší varianty s bilančním koeficientem. Nejmenší množství hnojiv vypočteno pro variantu hnojení VRA-BK10. Při srovnání s variantou VRY-BK10, po úpravě o výnosovou mapu se hodnoty mírně zvýšily. To může být způsobeno rozdílným výnosem, než byl předpokládáný. Při porovnání variant u draslíku, které se upravily dle M3, tak u variant VRA-M3 a VRY-M3 je třeba použít větší množství hnojiva, než bylo vypočteno v uniformní dávce. Pokud bychom se řídili těmito výsledky, zvýšila by se nám aplikovaná dávka, ale mělo by to pozitivní vliv na vyrovnanost pozemku. Do grafu je vložena přímka, která má posloužit k porovnání jaké množství živin celkem se dodá v nejpoužívanější variantě UNI-M3.



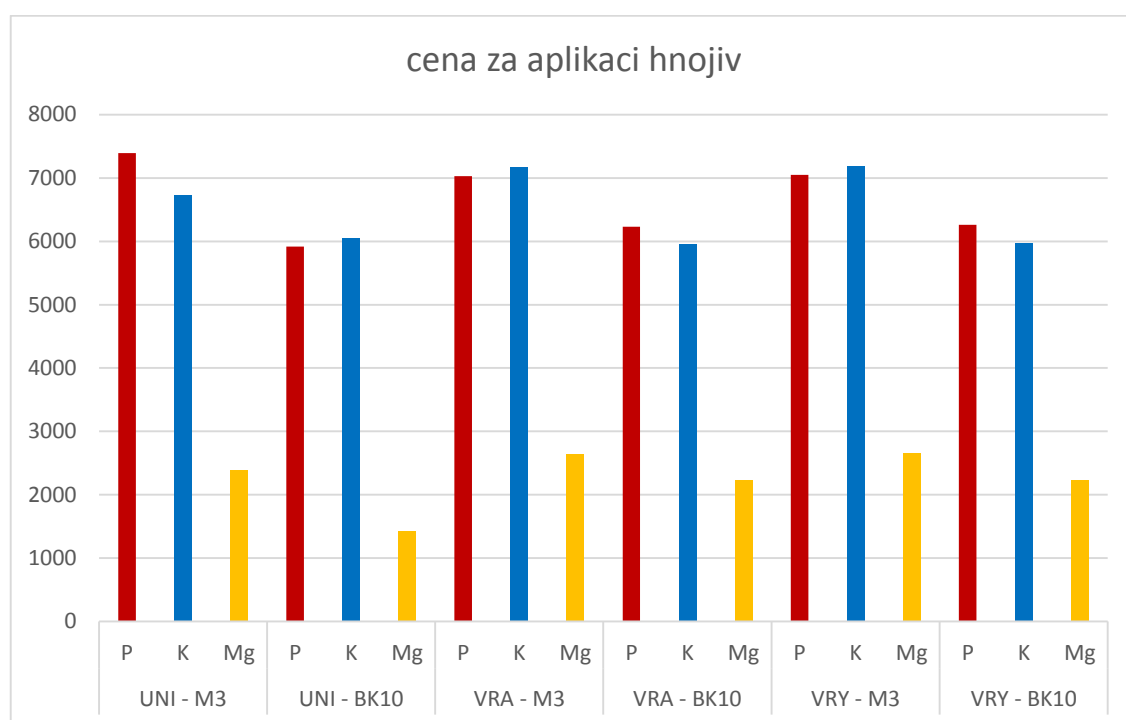
*graf 3: Souhrn výsledků pro hořčík v počítaných variantách. Přímka odpovídá dosažené úrovni hnojení pro variantu s uniformní dávkou hnojení*

Graf 3 hořčík vychází nejnižší ve variantě, kde jsme průměrnou hodnotu čistých živin upravili pomocí bilančního koeficientu. V této variantě záleží, zda chceme pouze ušetřit na hnojení, nebo se řídíme zásady dobrého hospodaření a chceme mít vyrovnaný pozemek dle zásobenosti živin. Při srovnání variant M3, došlo u variabilní aplikace k nutnosti navýšit dávku. Ve variantách BK10 také vyšlo, že je nutné zvýšit aplikovanou dávku. Hlavní důvod, proč je nutné u obou variant zvýšit dávku hnojení je ten, že v dnešní době se zohledňuje většinou jen hnojeno tři živin - dusíku, fosforu a draslíku.

Lze jednoznačně říci, že varianty upravené pomocí bilančního koeficientu prokazují nižší spotřebu hnojiv, než při rozdělení do tříd dle Mehlich 3. Ke stejnému závěru došel i Lukas et al. (2011), který to vysvětluje tím, že bilanční koeficient i s rozdílnou výnosovou mapou vede ke snížení aplikačních dávek. Rozdělení dle

bilančního koeficientu po 10 % by mělo nejlépe pokrýt rozdíly v zásobenosti na pozemku a pomoci nám efektivně a rychle pomoci vyrovnat tyto rozdíly .

Při dlouhodobém využívání správného variabilního hnojení bychom měli dosáhnout jednotnějšího stavu zásobenosti na pozemku. V takovém případě je náš cíl dosáhnout dobré zásobenosti a hnojit pouze takové množství, které využije rostlina na produkci. Tímto hodnocením se zabýval Šírůček et al. (2012), který sledoval výsledky za několik let a porovnával, k jakým došlo změnám při využívání variabilního hnojení.



graf 4: Srovnání cen za aplikaci v Kč (na celý pozemek)

Graf 4 slouží k přehlednému porovnání cen za aplikovaná hnojiva ve sledovaných variantách. Cílem této práce není navrhnout variantu na ušetření vstupů ale takovou, aby odpovídala dobrým zemědělským zásadám.

Změna výpočtu z dnes používané metody Mehlich3 v této práci zvolených BK10 nijak nezmění cenu za vzorkování. Jedná se pouze o změnu způsobu výpočtu, která dle mého má své budoucí využití.

## 6 ZÁVĚR

Rád bych závěrem upozornil, že cílem práce nebylo snížit množství aplikovaných hnojiv, ale zvolit takovou aplikaci hnojiv, aby vedla k co nejefektivnějšímu využití vstupů. Výzkum byl sice prováděn pouze na malé výměře jednoho dostupného pozemku, ovšem výsledky naznačují, že využití hnojení metodou BK10 by mělo být efektivnější, než klasická metoda Mehlich 3 (M3).

Při srovnání variant uniformního hnojení dle M3, která se dnes používá nejvíce, s variantou, kterou jsme navrhli, nám naše varianta BK10 vychází, že aplikovaná dávka na pozemek by měla být nižší. Výsledek se nám zopakoval u všech sledovaných živin.

Při porovnání variant M3 nám vychází, že variabilní aplikace hnojiv zvýší dávku u draslíku a hořčíku. Pro fosfor ve variantě M3 dojde ke snížení dávky hnojení.

Variabilní aplikace hnojiv podle BK10 nám zvýší aplikační dávku u fosforu a hořčíku. Draslík ve variantě BK10 bude nižší, než doporučuje uniformní hnojení. Tyto hodnoty jsou způsobeny nejspíš častějším hnojením draslíku, pro fosfor a hořčík je nejspíš volená nižší dávka.

Hlavní výhodou metody BK10 je zastoupení 16 různě hnojených skupin, které nám pomohou velmi efektivně rozvrhnout dávky na pozemku. Hlavní výhodou oproti M3 je, že tato varianta počítá i s postupným snížením základního odběrového normativu, který je potřebný pro rostlinu. V metodě variabilního hnojení M3 je pouze možnost navyšování dávky a v případě dostatku živin, tak celou dávku vypustit.

Při korekci hnojení o výnosovou úroveň dojde také ke zvýšení aplikační dávky. Korekce o výnosovou úroveň by nám měla pomoci zvýšit dávku v místech, kde v minulých letech byl větší výnos. V případě vhodného roku, kdy dojde například k rapidnímu zvýšení výnosu, nám může částečně pokrýt výnos živinami a v dalších letech nemusí dojít k velkému nedostatku obsahu přístupných živin velkým odběrem rostlinou.

Pokud někdo uvažuje, nebo již provádí variabilní aplikaci hnojiv, doporučil bych mu hnojení podle varianty BK10. Pro aplikaci hnojiv na pozemku má jednak větší škálu aplikačních dávek a cena, kterou zaplatí za vzorkování a tvorbu map, zůstane stejná. Se selským rozumem může posoudit i sám, že variabilita pozemku se díky 16 skupinám sníží mnohem rychleji, než při variabilním hnojení M3.



## 7 CITACE:

Arslan S. a Colvin T. S., (2002): *An avaluation of the response of yiled monitors and combines to varying yields*, 3, s. 107-122 [cit. 2015-03-29]

Demmel M., (2013): *Site-Specific Recording of Yields*, s. 313-329. In: HEEGE H.J. (Editor), *Precision in Crop Farming*. Springer, Kiel, 356 s. [cit. 2015-03-29]

Gotway, C. A., Ferguson, R.B., Hergert, G. W., Peterson, T. A. (1996): *Comparsion of kriging and inversedistance methods for mapping soil parameters*. Soil Sciency of America Journal. 1996, vol. 60, no. 4, pp.1237-1247. [cit. 2015-03-04] ISSN 03615995

Klement, V., Smatanová M. a Trávník K. (2012): *Padesát let agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice: Fifty years of agrochemical testing of agricultural soils in the Czech Republic ; Čtyřicet let dlouhodobých výživářských pokusů v ÚKZÚZ = Forty years of long-term field experiments in ÚKZÚZ*. Vyd. 1. [cit. 2015-03-04] Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2012, 95 s. ISBN 978-80-7401-062-0.

Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. (2008): *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení*, 2. ed. [cit. 2015-03-04] Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, vvd., 2008. 28 s. [cit. 2015-03-04] ISBN 978-80-87011-61-4.

Kunzová, E. (2019): *Výživa rostlin a hnojení fosforem*. [cit. 2015-03-04] Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2009, 25 s. ISBN 978-80-7427-015-4.

Kunzová, E. (2010): *Výživa rostlin a hnojení draslíkem*. [cit. 2015-03-04] Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2010, 22 s. ISBN 978-80-7427-066-6.

Lukas, V., Neudert L. a Křen J. (2011): *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství*: [cit. 2015-03-04] metodika pro praxi. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011, 34 s. ISBN 978-80-7375-562-1.

Lukas, V., (2014): *Modifikace agrochemického zkoušení půd pro variabilní aplikaci hnojiv v precizním zemědělství*; Úroda, 12/2014, Výzkumný ústav pícninářský s.r.o., Troubsko, str. 6 [cit. 2015-03-04]

Širůček, P., (2012): *Vyhodnocení variabilní aplikace fosforečných a draselných hnojiv v zemědělském podniku*. Bakalářská práce, Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova univerzita v Brně, Brno, 64 s. [cit. 2015-03-04]

Širůček, P., (2014): *Zpracování a interpretace výnosových map jako podklad pro agronomické rozhodování*. Diplomová práce, Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova univerzita v Brně, Brno, 64 s. [cit. 2015-03-04]

Vaněk, V. a kol., (2002): *Výživa a hnojení polních a zahradních plodin*. Třetí, doplněné vydání. [cit. 2015-03-04] Praha: Zemědělec, 132 s, [cit. 2015-03-04] ISBN 80-902413-7-9.

Zbírál, J. (2002): *Analýza půd I: jednotné pracovní postupy*. [cit. 2015-03-04] Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Laboratorní odbor, 2002, 197 s. ISBN 8086548155

Internetové zdroje:

Beránek, K., Klement, V.(2008): *Variabilita agrochemických vlastností zemědělské půdy dle výsledků agrochemického zkoušení zemědělských půd v období 1999-2004*. Bulletin: Sekce úřední kontroly. 2007, XV, 4/2007, [cit. 2015-03-04]], str. 7, <http://www.ukzuz.cz/Uploads/7792-7-42007pdf.aspx>

Richter, R. (2007): *Multimediální učební text: draslík v půdě* [online]. [cit. 2015-03-29].

Dostupné z:

[http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/agrochemie\\_pudy/a\\_index\\_agrochem.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/a_index_agrochem.htm)

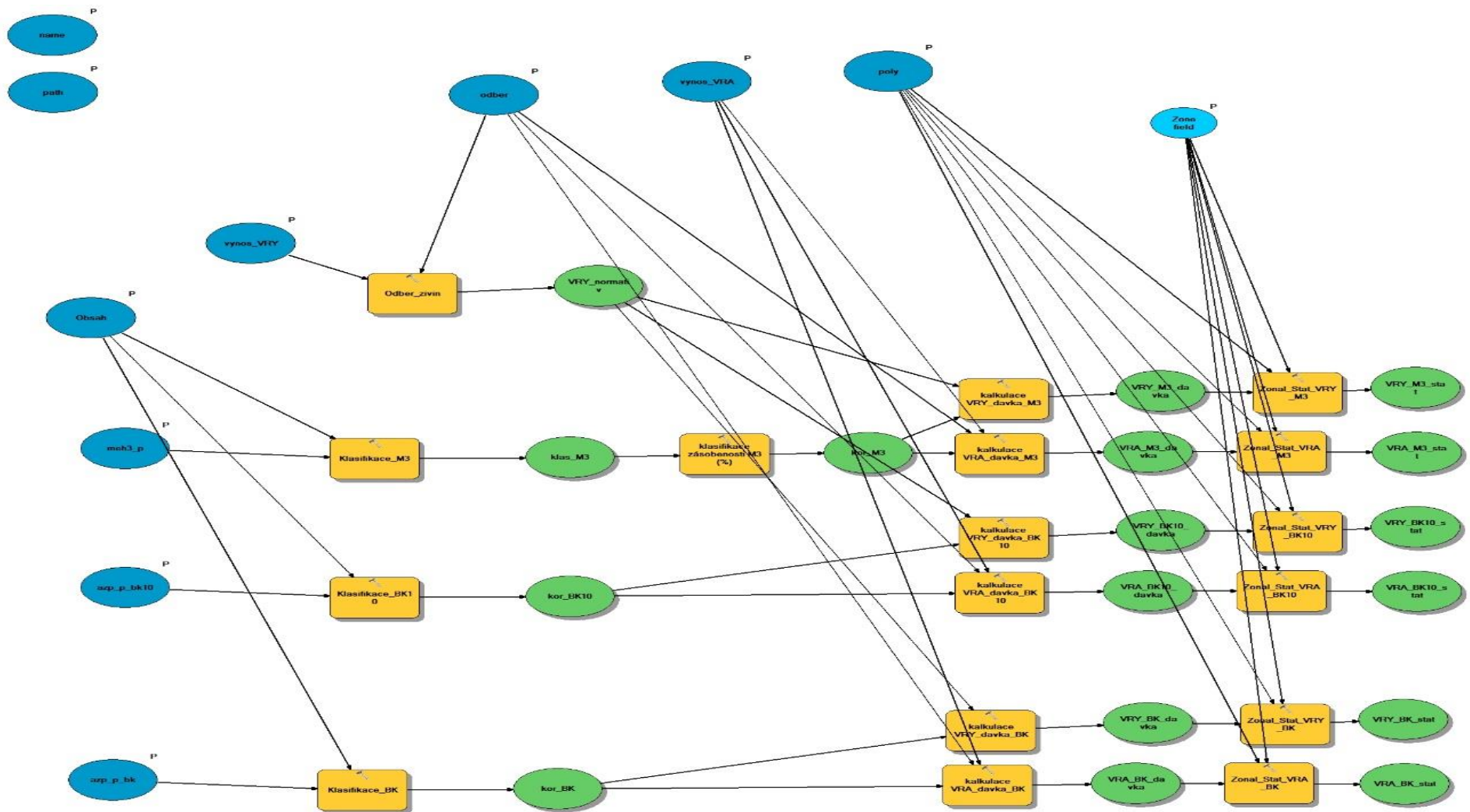
Nietfeld, (2015): *Duoprob 60* [online]. [cit. 20-3-15] Dostupné

z:<http://www.bodenprobetechnik.de/index.php/en/duoprob-60-eng>

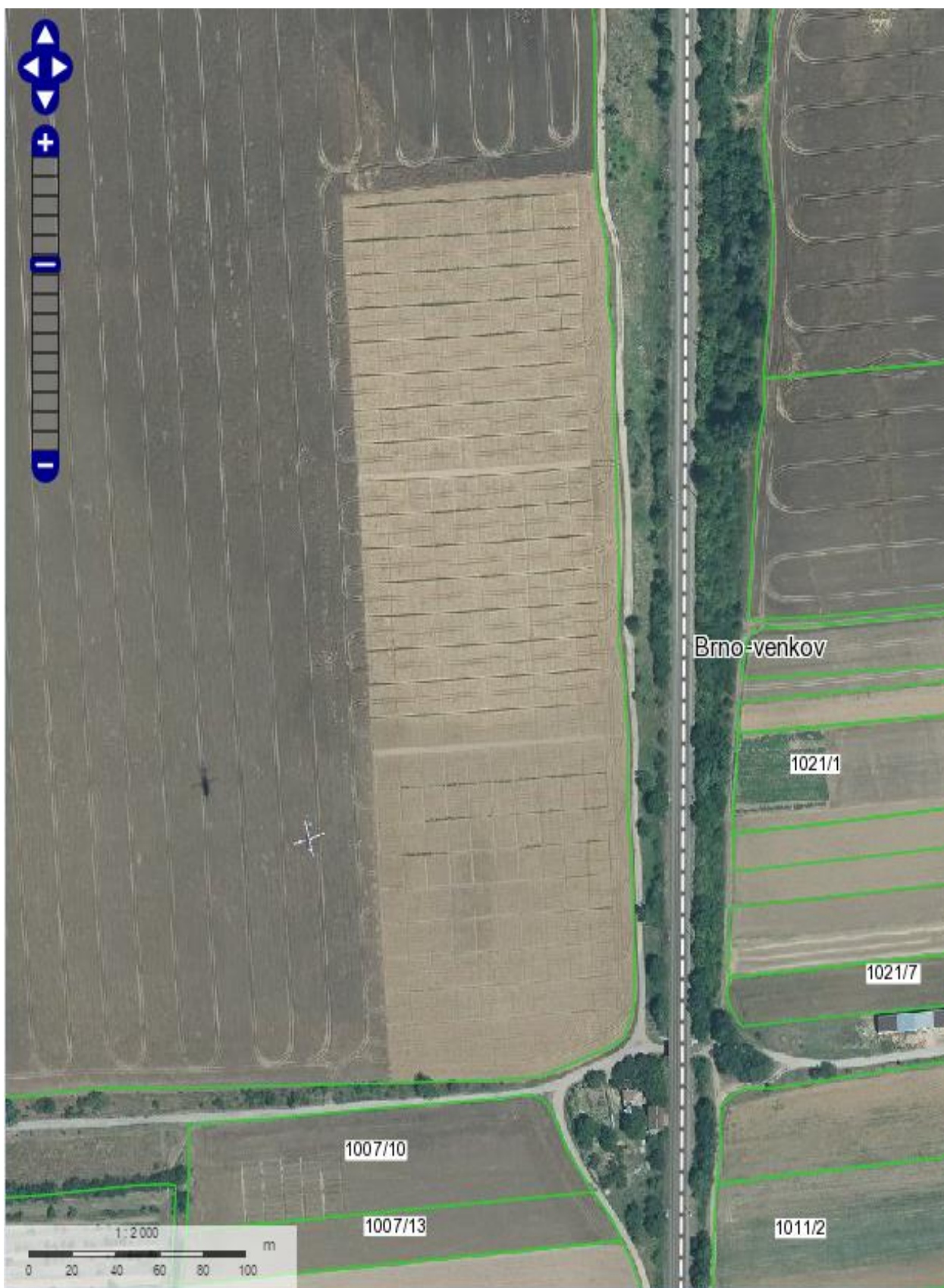
ÚKZÚZ, (2013): *Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2007*

– 2012. [www.ukzuz.cz](http://www.ukzuz.cz) [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupné z:

[http://www.ukzuz.cz/Folders/Uploads/159600-7-Hodnotici\\_zprava\\_AZZP\\_2007 - 2012pdf.aspx](http://www.ukzuz.cz/Folders/Uploads/159600-7-Hodnotici_zprava_AZZP_2007_-_2012pdf.aspx)



*Příloha 1: skript pro výpočet všech variant variabilní aplikace*



*příloha 1: snímek zkoumané parcely (zdroj LPIS)*