

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Distribuce fosforu v půdách s pěstováním chmele

Diplomová práce

Bc. Štěpán Klas

Rostlinná produkce

Vedoucí práce

Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Distribuce fosforu v půdách s pěstováním chmele" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25.4. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za odborné vedení této práce a p. Miloslavu Klasovi za pomoc při odběru půdních vzorků.

Distribuce fosforu v půdách s pěstováním chmele

Souhrn

V rámci práce byla zkoumána distribuce fosforu na půdách s pěstováním chmele v lokalitě Chrást'any v okrese Rakovnícko v Žatecké chmelařské oblasti. Na zkoumaných chmelnicích, které obhospodařuje Zemědělské společnosti Chrást'any s.r.o., byly provedeny různé agrotechnické zásahy, které mohou ovlivňovat prostorové rozložení fosforu. Konkrétně byla zkoumána produkční chmelnice, kde před založením porostu nebyla provedena rigolovací orba. V této lokalitě bylo však za vegetace provedeno hloubkové uložení trojitého superfosfátu do hloubky 40-60 cm v rámci pokusů. Druhou lokalitou byla produkční chmelnice založená na pozemku, kde byla před výsadbou chmele provedena rigolovací orba. Jako kontrolní je zařazen pozemek, kde proběhla rigolovací orba, avšak zde ještě neproběhla výsadba chmele.

Zkoumání obsahu dostupného fosforu probíhalo formou odběrů půdy do hloubky 90 cm. Každý odběr je dále členěn na vrstvy 0-30 cm, 30-60 cm a 60-90 cm, tyto odběry jsou po jednotlivých vrstvách vyhodnocovány. Odběrová místa jsou v lokalitách s produkčním porostem lokalizována do vzdáleností 0 cm, 30 cm a 80 cm kolmo od řádku rostlin. Díky této souřadnicové síti byly následně vytvořeny 3 dílčí řezy v každé lokalitě s produkčním porostem, které následně poskytly obraz prostorového rozložení fosforu v dané lokalitě. K extrakci fosforu ze vzorků bylo využito extrakčního činidla Mehlich 3.

Ve statistickém šetření byl vyhodnocován vliv kolmé vzdálenosti odběrového bodu od řádku rostlin chmele na obsah dostupného fosforu, kde byl prokázán statisticky významný rozdíl pouze ve vrstvě 30-60 cm hluboké ve variantě bez rigolovací orby, kde byl zjištěn ve vzdálenosti 30 cm nižší obsah dostupného fosforu než ve vzdálenosti 80 cm.

Bylo taktéž zjištěno, že v rámci varianty založené bez rigolovací orby měla vrstva 0-30 cm nejvyšší obsah dostupného fosforu.

Byly porovnávány i lokality mezi sebou, kde bylo zjištěno, že ve vrstvě 30-60 cm má lokalita s rigolovací orbou vyšší obsah fosforu než lokalita, kde rigolovací orba provedena nebyla.

Klíčová slova: fosfor, *Humulus lupulus*, chmel otáčivý

Distribution of phosphorus in soils with hop growing

Summary

The paper studies the spatial distribution of available phosphorus in soils with hop growing. Particularly the study is carried out near Chrást'any in Rakovník region, which are a part of the Saaz hop growing region. The studied soils with hop growing were subjected to differing agrotechnical practices, which can alter the spatial distribution of phosphorus. In particular a hop garden which was not subjected to do deep ploughing but where the deep placement of triple superphosphate fertilizer was carried out is the first variant studied. The second one was a hop garden which was subjected to deep ploughing prior to the planting of hop plants. Thirdly a control variant was examined, which is represented by a site which was subjected to deep ploughing but was not yet planted with hop plants.

The phosphorus content sampling was carried out to a depth of 90 cm. Each 90 cm sample was divided into three layers, which are: 0-30 cm, 30-60 cm and 60-90 cm which were each studied separately. Sampling spots are located in sites with ongoing hop growing were located perpendicular to the hop plant row in three distances, 0 cm, 30 cm and 80 cm. Thanks to this coordinate system a spatial distribution map was possible to be constructed. The Mehlich 3 extraction method was used.

The influence of distance perpendicular to the hop plant row on available soil phosphorus was studied, where it was discovered that no difference is present except for the variant without deep ploughing, where a lower available phosphorus content in the 30-60 cm layer and 30 cm distance from plant row was discovered, when compared to the 80 cm distant sample in the same layer.

It was also discovered, that in the variant without deep ploughing the 0-30 cm layer had the highest available phosphorus content.

When the variants were compared to each other it was found that the variant with deep ploughing had a higher available phosphorus content in the 30-60 cm layer, than the variant without deep ploughing in the same layer.

Keywords: phosphorus, *Humulus lupulus*, common hop plant

Obsah

1 Úvod	- 1 -
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	- 2 -
3 Literární rešerše	- 3 -
3.1 Fosfor v půdě	- 3 -
3.1.1 Formy fosforu v půdě a přijatelnost rostlinami.....	- 3 -
3.1.1.1 Minerální formy fosforu v půdě.....	- 3 -
3.1.1.2 Organické formy fosforu v půdě.....	- 5 -
3.1.1.3 Účinnost využití fosforu.....	- 6 -
3.1.2 Mobilita fosforu.....	- 7 -
3.1.3 Distribuce fosforu v různých půdách.....	- 8 -
3.1.3.1 Distribuce fosforu v orných půdách.....	- 8 -
3.1.3.2 Distribuce fosforu ve chmelničních půdách.....	- 9 -
4.1.3.3 Vliv různých režimů zpracování půdy na prostorovou distribuci fosforu	- 11 -
3.2 Fosforečná hnojiva	- 12 -
3.2.1 Minerální fosforečná hnojiva.....	- 12 -
3.2.1.1 Superfosfáty.....	- 12 -
3.2.1.2 Hyperfosfáty.....	- 13 -
3.2.1.3 Sekundární zdroje fosforu.....	- 13 -
3.2.1.4 Kombinovaná hnojiva.....	- 14 -
3.2.2 Organická hnojiva obsahující fosfor.....	- 14 -
3.2.3 Efektivita příjmu fosforečných hnojiv.....	- 15 -
4 Metodika	- 18 -
4.1 Charakter pokusu	- 18 -
4.2 Lokality	- 18 -
4.2.1 Půdní podmínky.....	- 18 -
4.2.1.1 Lokalita kontrolní.....	- 18 -
4.2.1.2 Lokalita s rigolovací orbou.....	- 18 -
4.2.1.3 Lokalita s hloubkovým ukládáním hnojiva bez rigolovací orby.....	- 19 -
4.2.2 Charakteristika agrotechniky lokalit.....	- 19 -
4.3 Metodika pokusu	- 20 -
4.3.1 Stavba pokusu.....	- 20 -
4.3.1.1 Varianta kontrolní.....	- 20 -
4.3.1.2 Varianta s použitím rigolovací orby.....	- 20 -

4.3.1.3	Varianta na lokalitě založené bez rigolovací orby s hloubkovým ukládáním hnojiva	- 20 -
4.3.2	Odběr vzorků a jejich rozbor	- 20 -
4.3.2.1	Odběr vzorků kontrolní varianty	- 20 -
4.3.2.2	Odběr varianty s použitím rigolovací orby	- 21 -
4.3.2.3	Odběr varianty s hloubkovým ukládáním hnojiva bez rigolovací orby ...	- 22 -
4.3.2.4	Zpracování vzorků	- 24 -
4.3.3	Hloubkové ukládání hnojiva	- 24 -
4.3.4	Rigolovací orba.....	- 26 -
4.3.5	Statistické vyhodnocení	- 27 -
5	Výsledky	- 29 -
5.1	Výstup rozborů.....	- 29 -
5.1.1	Varianta s rigolovací orbou	- 29 -
5.1.1.1	Řez A.....	- 29 -
5.1.1.2	Řez B.....	- 30 -
5.1.1.3	Řez C.....	- 30 -
5.1.1.4	Průměrný řez ABC	- 31 -
5.1.2	Varianta bez rigolovací orby s hloubkovým ukládáním hnojiva	- 32 -
5.1.2.1	Řez D.....	- 32 -
5.1.2.2	Řez E	- 33 -
5.1.2.3	Řez F	- 33 -
5.1.2.4	Průměrný řez DEF.....	- 34 -
5.1.3	Varianta kontrola	- 35 -
5.2	Statistické šetření.....	- 36 -
5.2.1	Hypotéza: <i>Obsah fosforu v půdě v odběrném místě nejblíže rostlině bude nižší než ve vzdálenějších odběrných místech</i>	- 36 -
5.2.1.1	Varianta s rigolovací orbou	- 36 -
5.2.1.2	Varianta bez rigolovací orby s přihnojením	- 37 -
5.2.2	Hypotéza: <i>Ve vrstvě 0-30 cm půdy varianty chmelnice založené bez rigolovací orby bude vyšší obsah fosforu než v ostatních horizontech ve stejné variantě</i>	- 38 -
5.2.3	Hypotéza: <i>Ve variantě chmelnice založené s rigolovací orbou bude v horizontu 30-60 cm vyšší obsah fosforu než ve stejné vrstvě ve variantě založené bez rigolovací orby</i>	- 39 -
5.2.4	Celkové testování rozložení fosforu	- 40 -
6	Diskuze	- 42 -
6.1	Distribuce P vzhledem k hloubce	- 42 -
6.1.1	Vliv rigolovací orby na změnu distribuce P vzhledem k hloubce.....	- 45 -

6.2	Distribuce P vzhledem ke vzdálenosti od rostliny.....	- 46 -
6.3	Ukládání hnojiva	- 48 -
6.3.1	Vliv hloubkového uložení hnojiva na zjištěný stav	- 48 -
7	Závěry	- 51 -
8	Literatura.....	- 52 -

1 Úvod

Chmelnice je útvar, který setrvává na místě po dobu často delší než 10 let. Způsob jejich založení se promítá do celé doby jejich životnosti a je na tuto fázi pěstování chmele nutno brát zřetel. Chmel jako rostlina víceletá potřebuje připravit živnou půdu na roky budoucí a nutno pamatovat na dlouholetost této rostliny. Jednou z částí této přípravy pro výsadbu rostlin je i hnojení fosforem. Fosfor, jako prvek v půdě málo mobilní, je vhodné strategicky uložit do vrstev, kde bude rostlině chmele přístupný.

Často však důkladné zapravení fosforu není vzhledem k ostatním podmínkám při přesázení porostu chmele možné. Práce proto zkoumá již dříve založený pokus, při kterém bylo hnojivo zapraveno do hloubky bez zrušení porostu chmele či chmelnice, jako alternativu k většímu zpracování půdy při zakládání chmelnice. S touto pokusnou metodou je společně zkoumán i klasický postup zakládání chmelnic, který je používán v Zemědělské společnosti Chrást'any s.r.o., a to rigolování při založení chmelnice. Celkově tedy bude zkoumán vliv těchto metod na prostorovou distribuci fosforu v následných produkčních chmelnicích, kde dále zvolený způsob aplikace fosforu interaguje s rostlinou chmele.

Vzhledem k velkému množství získaných dat o rozložení fosforu v půdě jsou v práci popisovány možné vlivy rostlin na zjištěný stav distribuce fosforu. Práce by tímto měla poskytnout podklady pro další zdokonalování v postupech pěstování chmele.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem práce bude vyhodnocení prostorové distribuce fosforu v půdách chmelnic, kde byly provedeny zásahy, které mohou obsah fosforu ovlivnit (hloubkové uložení fosforečných hnojiv, zpracování půdy rigolováním). Taktéž bude sledován vliv rostlin na prostorovou distribuci fosforu v půdách chmelnic s využitím kontrolní varianty.

Hypotézy:

-Obsah fosforu v půdě v odběrném místě nejbližší rostlině bude nižší než ve vzdálenějších odběrných místech

-Ve vrstvě 0-30 cm půdy varianty chmelnice založené bez rigolovací orby bude vyšší obsah fosforu než v ostatních horizontech ve stejné variantě

-Ve variantě chmelnice založené s rigolovací orbou bude v horizontu 30-60 cm vyšší obsah fosforu než ve stejné vrstvě ve variantě založené bez rigolovací orby

3 Literární rešerše

3.1 Fosfor v půdě

Celkové množství fosforu v půdě kolísá od 0,01 % do 0,15 %. Vyšší obsah fosforu v půdě je často spojen s vyšším množstvím půdní organické hmoty, přičemž lehké půdy s nižším obsahem organických látek mají i nižší obsah celkového fosforu. Velká část celkového fosforu přítomného v půdě je pro výživu rostlin nevyužitelná (Vaněk et al. 2016).

Jiné zdroje uvádí množství celkového fosforu v ornici v rozsahu od 0,01 % do 0,1 % a uvádí, že vyšší obsah celkového fosforu nemusí nutně znamenat větší množství fosforu pro rostliny přijatelného (Mia 2015).

Základ různých forem fosforu v půdě jsou sloučeniny kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4) a menší míře pak sloučeniny kyseliny pyrofosforečné ($H_4P_2O_7$) (Vaněk et al. 2016).

Zajištění dostatečného obsahu fosforu v půdě je rozhodující pro následný výnos rostlin, půdy, které jsou dobře zásobené fosforem již nevykazují zvýšení výnosu plodin na nich pěstovaných při dodatečném fosforečném hnojení, pokud je již půdní zásoba fosforu dostatečná, v takové situaci pak již hnojení slouží pouze pro udržení půdní zásoby fosforu (Vaněk et al. 2016).

3.1.1 Formy fosforu v půdě a přijatelnost rostlinami

3.1.1.1 Minerální formy fosforu v půdě

Minerální formy fosforu lze rozdělit na formy primární a sekundární. Primární fosforečné minerály, tedy apatity, se rozptýleně vyskytují ve všech magmatických horninách. Chemicky to jsou sloučeniny tří molekul $Ca_3(PO_4)_2$ a jedné molekuly chloridu, fluoridu nebo hydroxidu vápenatého. Podle této doprovodné sloučeniny jsou poté vyvozeny jejich konečné názvy. Sekundární minerály jsou definovány jako vysrážené a adsorbované fosforečnany. Jejich složení je určeno především půdním pH. V půdě s kyselým pH se dostávají do půdního roztoku ionty železa a hliníku, se kterými potom tvoří příslušné soli kyseliny fosforečné, v tomto případě variscit $Al(OH)_2H_2PO_4$ a strengit $Fe(OH)_2H_2PO_4$. Sloučeniny hliníku a železa jsou v půdním roztoku velice obtížně rozpustné a obzvláště sloučeniny železa jsou potom pro většinu rostliny nepřijatelné. V prostředí slabě kyselém až alkalickém vznikají soli vápenaté, které vznikají reakcí původně rozpustných forem fosforu či uvolňované kyseliny fosforečné a vznikají sloučeniny: $Ca(H_2PO_4)_2$, $CaHPO_4$, až $Ca_3(PO_4)_2$, což vede až ke vzniku již výše

zmíněných apatitů. V půdách s neutrální půdní reakcí vzniká stabilnější sloučenina, sestávající se z molekul fosforečnanu vápenatého a hydrogenfosforečnanu vápenatého, která se nazývá oktokalciumfosfát. V půdách alkalických pak vzniká primárně hydroxilapatit. Celkově chemická sorpce fosforu na sekundární minerály výše zmíněné probíhá rychle, obzvláště v případě sloučenin Fe a Al. Tyto procesy jsou provázeny srážením rozpustných fosforečnanů přes vícero nestabilních sloučenin, které jsou vysráženy ve formě hydratovaných koloidních částic. Tyto částice mají poměrně velký povrch a jsou pro rostlin dostupné, ale pouze dokud nedojde k jejich dehydrataci a krystalizaci (Vaněk et al. 2016). V naprosté většině půd je však sorpce fosforu ve sloučeninách hliníku a železa zanedbatelná v porovnání se schopností sorpce jílových minerálů (Gérard 2016). Toto podporují i výsledky pokusů ve Švédsku, kde v podmínkách neutrálního až alkalického pH představovala podstatnou část fixace fosforu jeho fixace na illit (Devau et al. 2011). Uvádí se však, že v naprosté většině případů je pro přijatelnost fosforu rostlinami nejpříznivější neutrální pH přibližně v mezích 6,5 až 7, výjimku mohou tvořit pouze určité acidofilní rostliny, u kterých se může maximální příjem odehrávat v jiných hodnotách pH (Penn & Camberato 2019).

Některé publikace uvádějí, že v zajišťování dostupnosti minerálních forem fosforu mohou hrát roli i mikroorganismy. Byly prováděny pokusy i přímo s inokulací substrátu s cílem zlepšení efektivity využití fosforu v půdě. Experimenty ukázaly v podmínkách skleníku opakovatelné pozitivní výsledky, v případě polních pokusů už však výsledky nejsou konzistentní a často jsou velice silně variabilní (Richardson & Simpson 2011).

Tabulka 1- Rozpustnost minerálních sloučenin P (v mg P/l = ppm P) (Vaněk et al. 2016)

Sloučenina		ppm P
Dihydrogenfosforečnan vápenatý	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	13 270
Hydrogenfosforečnan vápenatý	CaHPO_4	14-31
Oktokalciumfosfát	$\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 2,5 \text{H}_2\text{O}$	0,31
Fosforečnan vápenatý	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0,03
Hydroxylapatit	$3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	0,11
Variscit	$\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$	0,003
Strengit	$\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$	0,000006

3.1.1.2 Organické formy fosforu v půdě

Podíl organického fosforu na celkovém množství fosforu se může různit od 20 % do 80 %. Na jeho zastoupení mají vliv obsah organické hmoty v půdě, závlahový a odtokový režim, režim hnojení a také režimy zpracování půdy. Byla pozorována také pozitivní korelace mezi obsahem jílovitých částic a podílem organického fosforu na fosforu celkovém. Toto může být přičteno schopnosti jílových minerálů inhibovat hydrolýzu fosforečných esterů tím, že absorbují na svůj povrch enzym fosfatázu (Lal & Stewart 2016).

Většinou podíl takto organicky vázaného fosforu však dosahuje 30-50 % z celkového obsahu P v půdě. Podstatnou část organického fosforu potom tvoří fytyl, jehož podíl na organicky fixovaném fosforu může dosahovat až 50 %, zbytek může být tvořen fosfolipidy, nukleovými kyselinami, nukleoproteiny a fosforilovanými lipidy, které se do půdy dostávají z kořenové hmoty, z posklizňových zbytků či ze statkových hnojiv (Vaněk et al. 2016).

Obecně lze říci, že organický fosfor má tendenci se akumulovat v povrchové vrstvě půdy, proto jej přeneseně lze považovat za součást půdní organické hmoty. Existují však půdy, jako například nekultivovaná borová rašeliniště, kde jsou nižší vrstvy na organický fosfor bohatší než vrstvy svrchní (Mia 2015). Spojitost v půdní dynamice organického fosforu a uhlíku podporují i dlouhodobé studie dynamiky fosforu při různých režimech pěstování provedené v Austrálii, kde bylo pozorováno, že obsah organického fosforu často kopíruje obsah C_{org} (Bünemann et al. 2006).

Nezanedbatelnou část půdního fosforu, typicky mezi 2 % a 10 %, může představovat fosfor sorbovaný v tělech mikroorganismů. Tato frakce půdního fosforu je však silně proměnná v závislosti na vnějších podmínkách jako jsou například: teplota půdy, vlhkost půdy a dostupnost uhlíku. Mikroorganismy rozkládají organické přídavky do půdy, jako jsou například organická hnojiva či rostlinné zbytky a mineralizují půdní organický fosfor spolu s půdní organickou hmotou. Podíl mikrobiálně fixovaného fosforu může v krátkém časovém období výrazně vzrůstat. Nedávné studie objevily, že nárůst mikrobiálně fixovaného fosforu byl opakovaně spojen se sníženou přítomností rostlinám dostupného fosforu v půdním roztoku. Toto se odehrávalo především v půdách na fosfor chudších či fosforem nehnojených. Z toho lze vyvodit, že mikrobiální P představuje nezanedbatelný podíl fosforu, který je dočasně rostlinám nedostupný, neboť si mikroby při osvojování fosforu s rostlinami konkurují. Z dlouhodobého hlediska však výzkumy napovídají, že tyto mechanismy mikrobiální fixace hrají důležitou roli při regulaci množství rostlinám dostupného fosforu v půdním roztoku a tím je fosfor udržován v labilních formách, kde je z časového hlediska chráněn před stabilizačními reakcemi s půdou. Takto labilně fixovaný fosfor může být následně uvolněn ve velkých množstvích v podmínkách jako například: když se stane uhlík limitujícím prvkem, půda projde několika cykly sucha a mokra, či jinými sezónními vlivy (Richardson & Simpson 2011). Starší publikace potom uvádějí, že v mírném pásmu je přímý vliv organického fosforu v půdě na rostlinu malý a neorganický fosfor je hlavním faktorem ovlivňující reakci rostlin (Anderson 1980).

3.1.1.3 Účinnost využití fosforu

Provedená studie uvádí, že účinnost využití fosforu je obecně stále pod reálně dosažitelným optimem. Tohoto optima lze dosáhnout vícero způsoby, jako je například využití genetického a fyziologického potenciálu rostlin spolu s agrotechnikou. Zvýšením účinnosti využití fosforu by se na fosforem málo zásobených či nehnojených půdách zvýšila hladina výnosu a na dobře zásobených půdách by mohlo dojít k významným úsporám fosforečných hnojiv (Veneklaas et al. 2012).

Jedna z cest zlepšení účinnosti využití fosforu je kořenová exsudace organických aniontů. Tento mechanismus je hlavním činitelem při mobilizaci méně dostupných forem fosforu z půdy. Některé druhy rostlin mají tuto schopnost exsudace na velmi efektivní úrovni, zatímco

jiné druhy mají i při nízké dostupnosti fosforu jen malou schopnost takto fosfor zpřístupňovat. Autoři uvádějí, že při šlechtění nových kultivarů by měla být více zohledňována schopnost kořenového vlásnění spolu s mírou tvorby kořenových exsudátů (Wang & Lambers 2020). Další z možností zlepšení efektivity využití fosforu je aplikace inokulantů organismů zpřístupňujících fosfor, tento postup však ukázal velice omezené zlepšení v půdách s nízkým obsahem fosforu, v půdách zásobenějších jsou pak výsledky příznivější (Schütz et al. 2018).

3.1.2 Mobilita fosforu

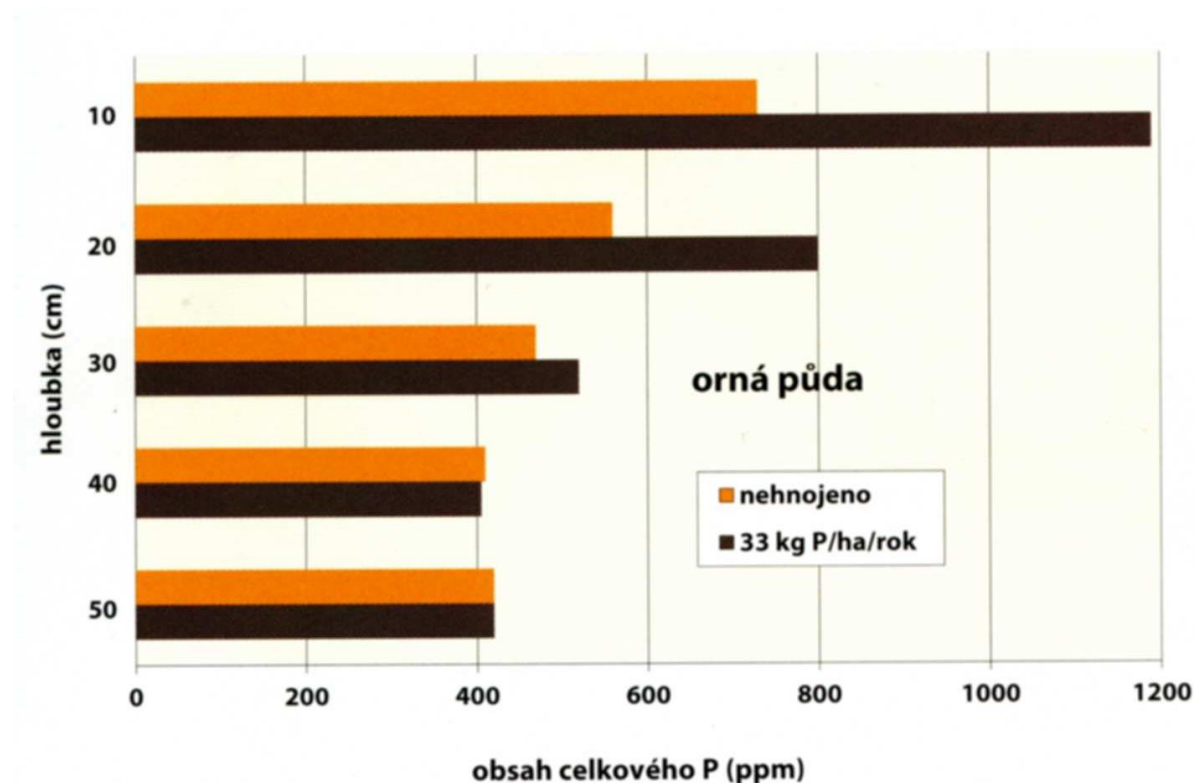
Ve zjišťování mobility fosforu hrají významnou roli takzvané věčné polní pokusy, kde je aplikován stejný režim hnojení ad infinitum. Studie porovnávající tři takovéto pokusy ve Spojeném Království (Rothamsted), Německu (Bad Lauchstaedt) a Polsku (Skierniewice) objevila rozdíly chování fosforu vzhledem k jeho využitelnosti rostlinami, potažmo jeho fixací nebo exportem. Na zjištěné výsledky měl silný vliv obsah půdní organické hmoty, přičemž vysoký obsah je v německé lokalitě, zatímco v lokalitách britských a polských je nižší. Dalším významným faktorem byl druh aplikovaného hnojiva, tedy minerální vs. organická. Konkrétně využitelnost minerálních hnojiv nepřesáhla 35 % a nejnižších hodnot (18 %) dosáhla na půdách s nejvyšším obsahem jílovitých částic v Rothamstedu. Nejvyšší využitelnosti bylo dosaženo při použití organických hnojiv v lokalitách Rothamsted (využitelnost 37 %) a Bad Lauchstaedt (využitelnost 47 %). Přičemž nejvyššího množství nevyužitého fosforu, který byl buď vyplaven nebo zafixován) bylo dosaženo na parcelách ošetřených superfosfátem (Bad Lauchstaedt 8 kg P/ha/rok a Rothamsted 25 kg P/ha/rok). V lokalitě Skierniewice na půdách hlinitopísčitých bylo však pozorováno lepší využití minerálních hnojiv oproti organickým (Blake et al. 2000). Vliv půdní organické hmoty na přijatelnost a mobilitu fosforu podporují experimenty provedené na černozemích v Číně, kde byly sledovány parametry půdy vzhledem k schopnostem sorpce, desorpce, navázaného množství a také síly vazby. Tyto experimenty ukázaly, že po přidání huminových kyselin se snížila pevnost vazby fosforu na půdní substrát, dále se zvýšilo navázané množství fosforu a částečně se zvýšila i desorpce, přičemž nejvyšší dostupnost fosforu byla dosažena při obsahu půdní organické hmoty 75,3 g/kg. Při nižších hodnotách obsahu org. hmoty nebyla půda schopná navázat dostatek P, při vyšších potom půda sice navázala více fosforu, ale půda poté nebyla schopna tímto fosforem zásobit rostlinu (Yang et al. 2019).

3.1.3 Distribuce fosforu v různých půdách

3.1.3.1 Distribuce fosforu v orných půdách

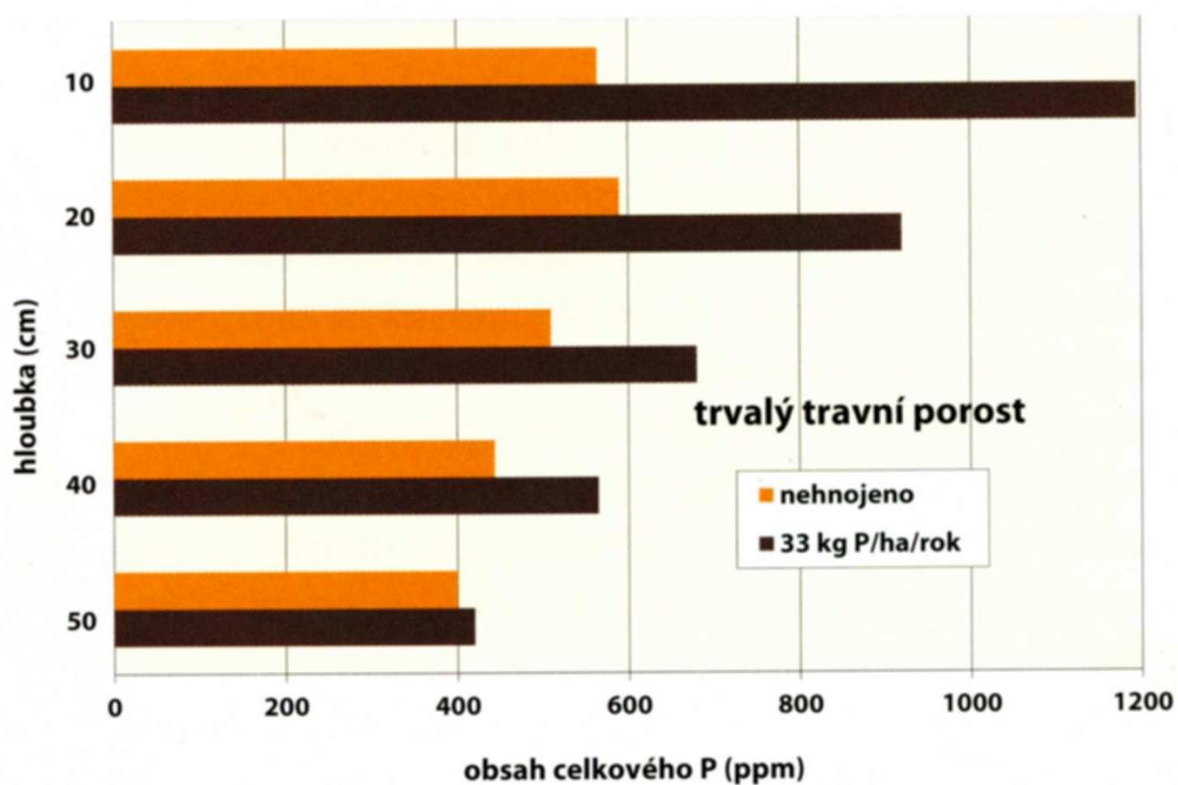
Distribuci v orných půdách určují již samotné vlastnosti fosforu. Jakožto málo pohyblivý prvek ho lze v naprosté většině orných půd očekávat ve svrchní vrstvě do 30 cm, přičemž jeho nejvyšší koncentrace lze nalézt v nejsvrchnější vrstvě půdy, zejména u bezorebných technologií. Mírně zvýšený transport do nižších vrstev lze nalézt u travních porostů. Výjimku tvoří pouze extrémně vysoké přísuny organických hnojiv s vysokým obsahem fosforu, jako je například kejda prasat. Tento případ lze pozorovat především mimo Českou republiku (Vaněk et al. 2016).

Obrázek 1 - Celkový obsah fosforu v orné půdě po 100 letech (Cooke & Williams 1970 in Vaněk et al. 2016)



Při sledování pohybu fosforu v půdním horizontu orné půdy ve Spojených státech amerických hnojených drůbežím hnojem nebyl pozorován pohyb fosforu níže než 30 cm pod povrchem půdy (Sharpley et al. 1993). Tento pohyb byl taktéž potvrzen po čtyřech letech aplikace hnoje a kompostu, kdy byl taktéž pohyb fosforu zaznamenán nejhlouběji ve 30 centimetrech (Eghball 2007).

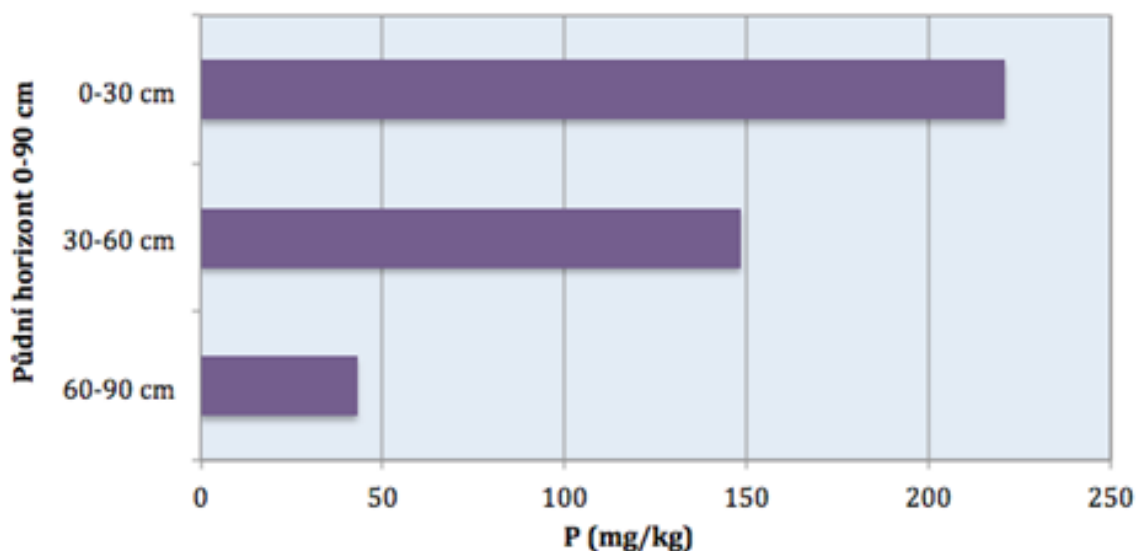
Obrázek 2 -Celkový obsah fosforu v trvalém travním porostu po 100 letech (Cooke & Williams 1970 in Vaněk et al. 2016)



3.1.3.2 Distribuce fosforu ve chmelnicích půdách

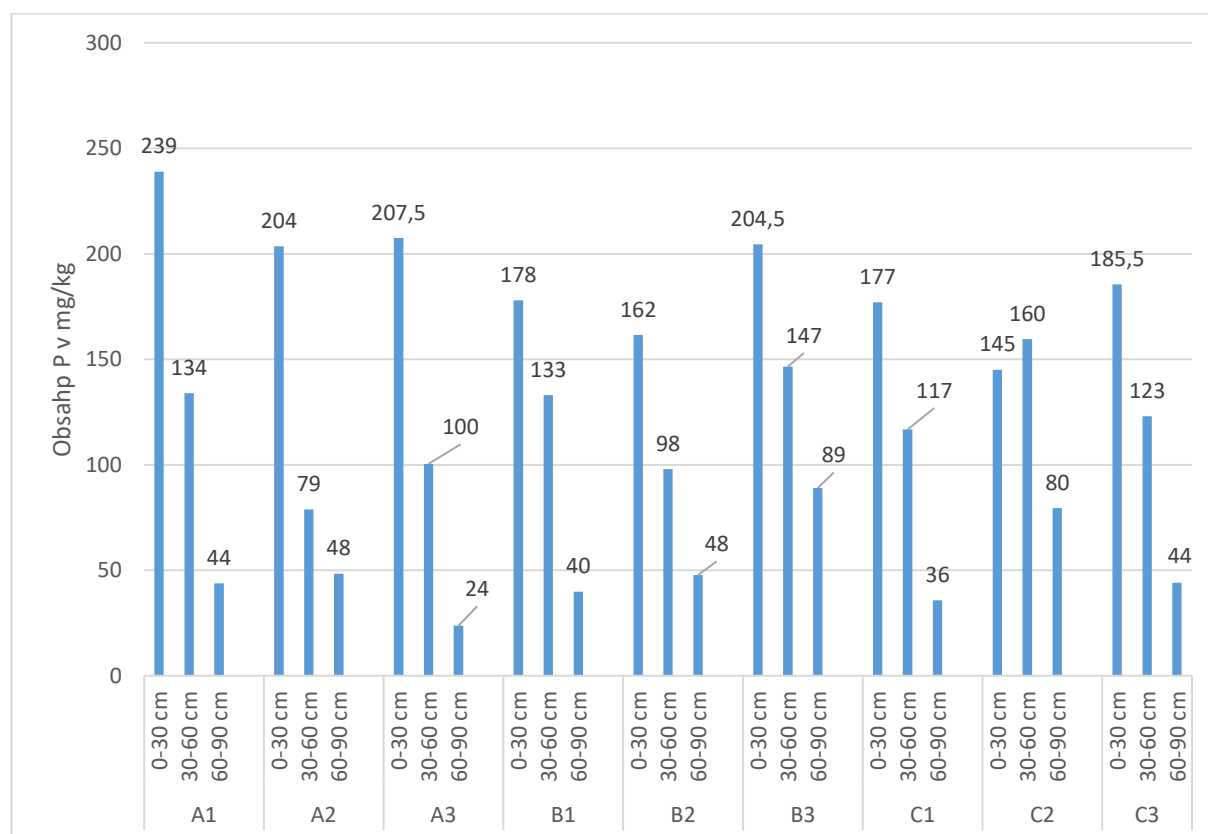
Při výzkumu distribuce prvků v produkčních chmelnicích v České republice, který zkoumal distribuce ve třech horizontech po 30 cm až do hloubky 90 cm bylo zjištěno, že je fosfor silně akumulován ve svrchní vrstvě 0-30 cm, kde dosahuje hodnot 221 ppm, zatímco ve vrstvě 60-90 cm dosahuje pouze 43 ppm (Klas 2015).

Obrázek 3- Vertikální distribuce fosforu ve chmelničních půdách (Klas 2015)



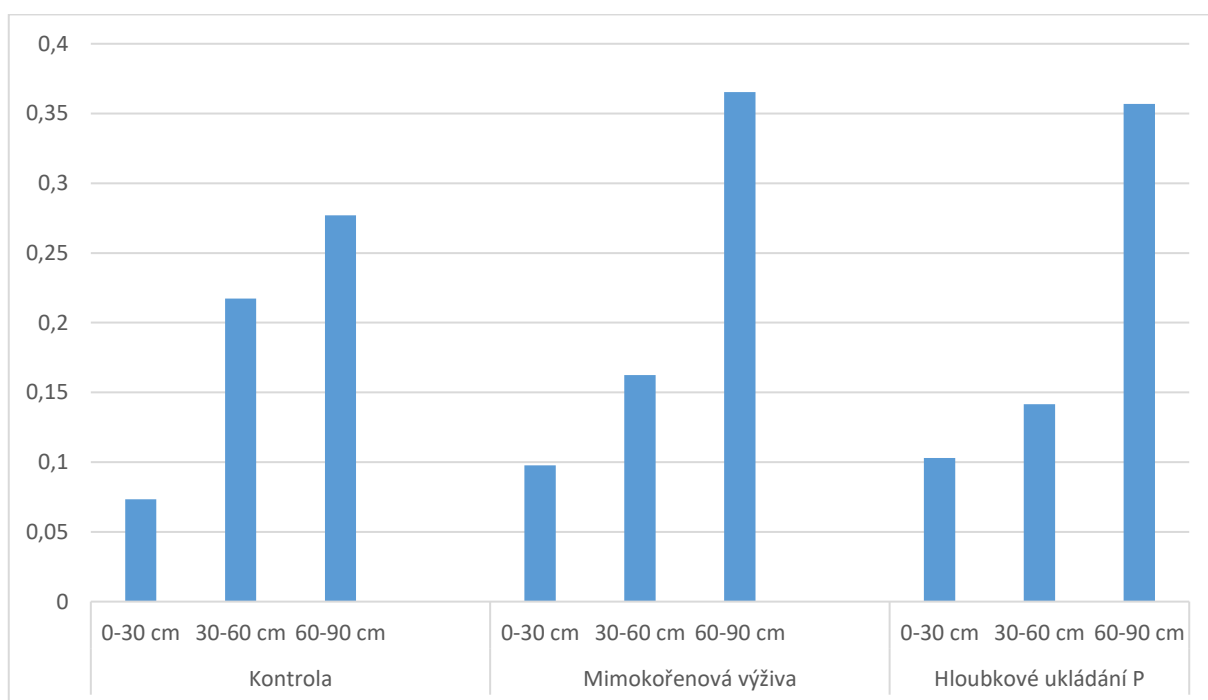
Tyto výsledky byly dále potvrzeny podrobnějším výzkumem provedeným při experimentu s hnojením chmele, kde bylo před samotným experimentem prováděno zjišťování obsahu fosforu v půdě ve třech horizontech o mocnosti 30 cm až do hloubky 90 cm. Byly tedy zjištěny hodnoty fosforu běžné produkční chmelnice (Klas 2019).

Obrázek 4- Obsah P ve chmelniční půdě (Klas 2019)



Jak ukazuje Obrázek 4 obsah fosforu ve zkoumané poloze ve vrstvě 0-30 cm kolísal od 145 mg/kg do 239 mg/kg. Vrstva 60-90 cm pak vykazuje hodnoty od 24 mg/kg do 89 mg/kg. Variační koeficient zpracovaný pro každou 30cm vrstvu ukazuje, že se variabilita obsahu fosforu v půdě zvyšuje s narůstající hloubkou. Nejvyšší variační koeficient byl tedy zaznamenán ve vrstvě 60-90 cm a nejnižší ve vrstvě 0-30 cm (Klas 2019).

Obrázek 5- Variační koeficient obsahu fosforu v půdě variant před ošetřením (Klas 2019)



3.1.3.3 Vliv různých režimů zpracování půdy na prostorovou distribuci fosforu

Zajímavé je také srovnání systémů s jednoletými proti systémům s vytrvalými rostlinami. Ve studii prováděné na věčných pokusech v Rothamstedu byl srovnáván věčný pokus pšenice nehnojené a hnojené fosforem s travním porostem zpracovávaným na seno také ve variantách nehnojených. V případě nehnojených variant obsah fosforu klesal v obou systémech. V případě hnojených variant byl horní horizont (vrchních 23 cm) také obohacen o fosfor v obou variantách. U pšenice významný nárůst hladiny fosforu v nižších pozorován nebyl, tedy ani po 150 letech. Pouze porost vytrvalých druhů vykázal zvýšený obsah organického fosforu pod 70 centimetry hloubky. Autoři zmiňují, že toto může napovídat větší

schopnosti vytrvalých bylinných porostů udržovat původní fosfor či dodaný fosfor z hnojiva v dostupnějších formách (Crews & Brookes 2014).

Velice významným zásahem do distribuce fosforu může být využití bezorebných systémů. Při využití těchto systémů může docházet ke kumulaci živin ve vrchní vrstvě, v tomto případě autoři zmiňují vrchních 10 cm půdy při bezorebných pokusech v Brazílii. V těchto pokusech bylo ověřováno použití krycích plodin na distribuci fosforu a ani po 19 letech pokusu neobsahovaly vrstvy pod 10 cm uspokojivé hladiny fosforu pro ekonomické pěstování polních plodin (Calegari et al. 2013).

3.2 Fosforečná hnojiva

3.2.1 Minerální fosforečná hnojiva

Primární surovinou pro výrobu minerálních fosforečných hnojiv jsou amorfní fosfáty, které se nacházejí ve větších ložiscích, hlavně v pobřežních státech Afriky, Florida a některé tichomořské ostrovy. Tato ložiska jsou omezená. Jako sekundární zdroje lze považovat kosterní pozůstatky živočichů, dále pak například některé druhy strusek vznikajících při zpracování železa. Fosfor je v fosfátech silně poután a je pro rostliny téměř nepřijatelný, proto se musí přistoupit k jednomu z vícero možných procesů či úprav vedoucích ke zlepšení dostupnosti pro rostliny. Do těchto postupů se řadí následující způsoby. První možností je rozložení fosfátů silnou kyselinou, jako například sírovou, dusičnou či fosforečnou, toto je technologická cesta výroby superfosfátů a je považována za primární technologii pro tvorbu vodorozpustných fosforečných hnojiv. Další postup je mletí fosfátů a to z amorfních fosfátů, toto je technologická cesta výroby hyperfosfátů. Pro výroby termofosfátů se fosfáty taví s alkalickými přísadami. Poslední možností vzniku fosforečného hnojiva je vazba na zoxidované strusky při výrobě železa (Vaněk et al. 2016).

3.2.1.1 Superfosfáty

Superfosfáty lze charakterizovat jako univerzální hnojiva použitelná v slabě kyselých až neutrálních půdách. Neměly by být aplikovány na půdy s pH nižším, než je 5,5. V takto kyselých lze aplikovat superfosfát pouze v předseťové přípravě, a to se sníženým účinkem. Celkově lze zlepšit účinnost superfosfátu aplikací se zaorávkou jetelovin či travních porostů, nebo jeho aplikaci na hnůj, zelené hnojení či slámu (Vaněk et al. 2016). O rozpustnosti fosfátů a jejich

mobilitě svědčí studie trojitého superfosfátu na půdách laterit a podzol, kde v laboratorních podmínkách bylo zjištěno, že po čtyřech týdnech se v lateritu rozpustilo 45 % hnojiva a v podzolu 72 %. V obou půdách se dodaný fosfor vyskytoval do 80 mm od granule hnojiva a vyskytoval se zde ve třech zónách. První zóna obsahující zbytek granule a možné její zpětné sraženiny. Druhá vnitřní část, kde se vyskytují sraženiny a adsorbovaný fosfor v maximální adsorbční kapacitě a poslední vnější část, kde je všechn dodaný fosfor adsorbován na půdu v kapacitě nižší, než je limitní (Benbi & Gilkes 1987). Taktéž práce zkoumající rozpustnost různých fosforečných hnojiv v podmínkách s půdou i bez ní uvádí, že ve srovnání s částečně naleptanými fosfáty a hyperfosfáty má trojitý superfosfát nejvyšší rozpustnost (K. Ghosal & Chakraborty 2012).

Jednoduchý superfosfát je hnojivo obsahující 7,5 – 8,5 % fosforu. Jeho hlavní účinné složky jsou dihydrogenfosforečnan vápenatý a síran vápenatý. Obsahuje krom fosforu ještě 20 % vápníku a 10 % síry. Velká část fosforu je v tomto hnojivu vodorozpustná, tedy dobře dostupná pro rostliny. Toto hnojivo může být nejvhodnější v půdách deficitních na síru, případně v plodinách náročných na síru, neboť trojitý superfosfát již touto živinou nezasobuje. Vzniká rozkladem fosfátů kyselinou sírovou (Vaněk et al. 2016).

3.2.1.2 Hyperfosfáty

Hyperfosfáty jsou vyráběny mletím měkkých fosfátů. Obsahují minimálně 12,8 % fosforu a 1,8 % hořčíku. Zpřístupnění fosforu oproti původnímu materiálu je způsobeno právě mletím, tedy zvýšením povrchové plochy, z toho také vyplývá, že čím jemnější mletí, tím je účinnost vyšší. Toto však představuje i komplikaci při aplikaci. Obsahuje i celou řadu doprovodných balastních prvků jako je zinek, bór, molybden a mangan, dále pak ve větším zastoupení i vápník. Fosfor je zde velice pomalu rozpustný a lze tento typ doporučit v půdách s pH nižším než 5,5. Dobře využít se tato forma dá při hnojení trvalých kultur, kvůli jejímu dlouhodobému působení, dále je pak vhodná do kultur s vysokou osvojovací schopností (Vaněk et al. 2016).

3.2.1.3 Sekundární zdroje fosforu

Jako do budoucna zajímavé se jeví zdroje recyklovaného fosforu, jako je například struvit ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) získávaný při čištění odpadních vod. Tento minerál byl podroben studii využitelnosti v běžných systémech pěstování rostlin. Bylo zjištěno, že jeho rozpustnost je

značně zvýšena v přítomnosti aniontů organických kyselin. V tomto případě byla porovnávána pohanka, která dokázala mnohem lépe tento minerál mobilizovat díky vyššímu objemu exudovaných kyselin, oproti jarní pšenici, která nedokázala efektivněji tento minerál mobilizovat. Při pěstování jarní pšenice s použitím struvitu bylo pozorováno, že toto hnojivo nedokáže pokrýt potřebu v raných fázích růstu. V čase sklizně však toto hnojivo vykazovalo stejnou rychlost příjmu rostlinou, výnos i celkové využití hnojiva při sklizni jako diamonium fosfát (DAP). Jako východisko udávají autoři možnost využití kombinovaného hnojiva DAP-Struvit, jakožto udržitelnějšího hnojiva nežli běžná rychle rozpustná fosforečná hnojiva (Talboys et al. 2016). Jako další možnost využití sekundárních zdrojů je využití čistírenských kalů, tato problematika je diskutována v kapitole: Organická hnojiva obsahující fosfor.

3.2.1.4 Kombinovaná hnojiva

Do této kategorie lze zařadit mnoho produktů různých firem. Na trhu je dostupná široká škála hnojiv obsahující fosfor spolu s dalšími prvky. Zaujímají však velký podíl českého trhu v čele především s amofosem a dále s dalšími NPK hnojivy (Vaněk et al. 2016).

Kombinovaná hnojiva mohou mít velice pozitivní vliv na formování kořenového systému, v případě pěstování chmelové sadby se ukázalo, že oproti nehnojené variantě zvýšilo hnojení amofosem hmotnost chmelových sádí až o 72,3 %. V případě použití kombinovaného hnojiva Eurofertil Plus NPS 49 bylo pozorováno zvýšení až o 105,6 % (Štranc et al., Štranc 2011).

Tato zjištění u chmele podporují i experimenty provedené při pěstování řepy cukrové, kde hloubková aplikace amofosu do 20 cm poskytla nejvyšší výnos cukru ze všech zkoušených variant (Pulkrábek et al. 2016).

3.2.2 Organická hnojiva obsahující fosfor

Jako hlavní organická hnojiva obsahující fosfor lze označit kejdu a hnůj, sekundárně potom komposty, kde silně záleží na jejich výrobě a komponentech. V močůvce se fosfor téměř nevyskytuje. V těchto hlavních hnojivech však obsah fosforu taktéž kolísá, a to primárně vzhledem k původu hnojiva (Vaněk et al. 2016).

Tabulka 2- Obsah P v čerstvé hmotě organických hnojiv (Vaněk et al. 2016)

Typ hnojiva	Obsah P v %	
	Hnůj	Kejda
Hovězí	0,11	0,07
Hovězí (hluboká podestýlka)	0,15	-
Koňský	0,13	-
Ovčí	0,14	-
Prasečí	-	0,13
Drůbeží	-	0,28

Obsah fosforu v dobrém kompostu při obsahu vody do 50 % by měl dosahovat 0,7 %. Ve špatném kompostu se pohybuje okolo 0,2 %. Do kompostů lze však fosfor dodat i v minerální formě, zde lze použít mleté fosfáty i superfosfáty. Využitelnost fosforu v prostředí organických látek je vyšší než v původní formě (Vaněk et al. 2016).

V budoucnu se jako možnost jeví i využití rafinovaných čistírenských kalů jakožto koncentrovaného fosforečného hnojiva s obsahem organických látek. Tato možnost je však zatím ekonomicky znevýhodněna oproti klasickým minerálním fosforečným hnojivům (Ye et al. 2017).

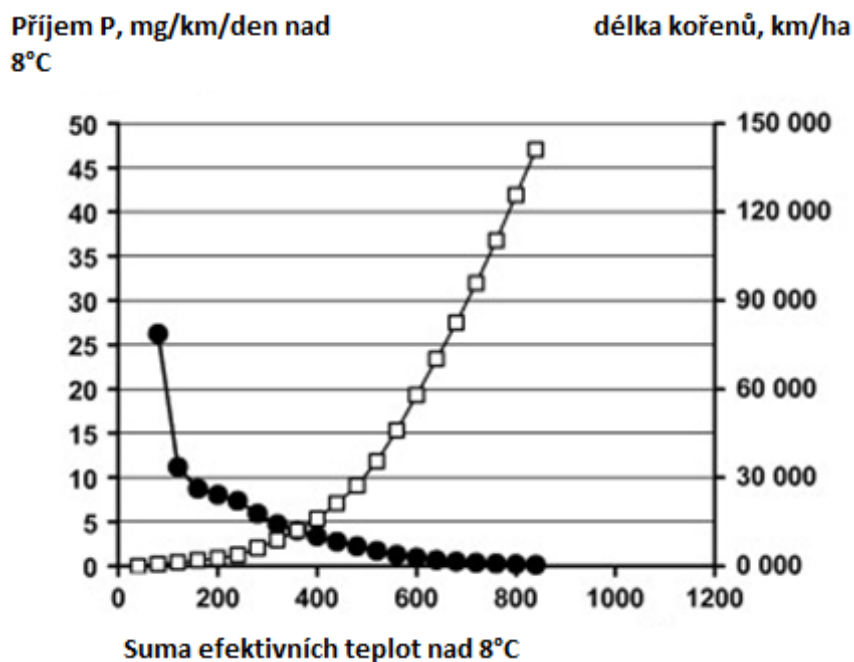
V současné době se využívá upravených čistírenských kalů. Takto upravené kaly obsahují i další prvky a vcelku velké množství organických látek. Živiny v těchto kálech jsou zpravidla pro rostliny dobře dostupné a využitelné většinou již v prvním roce po aplikaci. Nevýhodou těchto upravených kalů je obsah nežádoucích látek či prvků. Je tedy nutné při jejich používání dodržovat maximální dávku sušiny a zároveň sledovat jejich kvalitu, tedy i obsah rizikových prvků jako jsou například arsen, kadmium, chrom, měď, rtuť, nikl, olovo a zinek (Vaněk et al. 2016).

3.2.3 Efektivita příjmu fosforečných hnojiv

Důležitým faktem příjmu fosforu je, že fosfor se k rostlinným kořenům nepřemísťuje, děje se tam přesně naopak, s růstem kořenů se zpřístupňuje další fosfor v zóně, kam dosáhly kořeny. Z tohoto zjištění vyplývá, že i půda na fosfor v rozborech dobře zásobená může hostit rostliny, které jsou P deficitní. Děje se tak nejčastěji v případech pěstování rostlin s pomalou počáteční fází růstu a obzvláště v kombinaci s využitím širokých sponů, jako je například kukuřice. Toto

může být částečně napraveno cíleným umístěním hnojiva namísto rozhozu na široko (Schröder et al. 2011).

Obrázek 6- Sečtená délka kořenů kukuřice na ha (\square) a potřebný příjem P rostlinou na jednotku délky kořene v průběhu sezóny (\bullet) vyjádřené jako SET nad 8°C (Schröder et al. 2011)

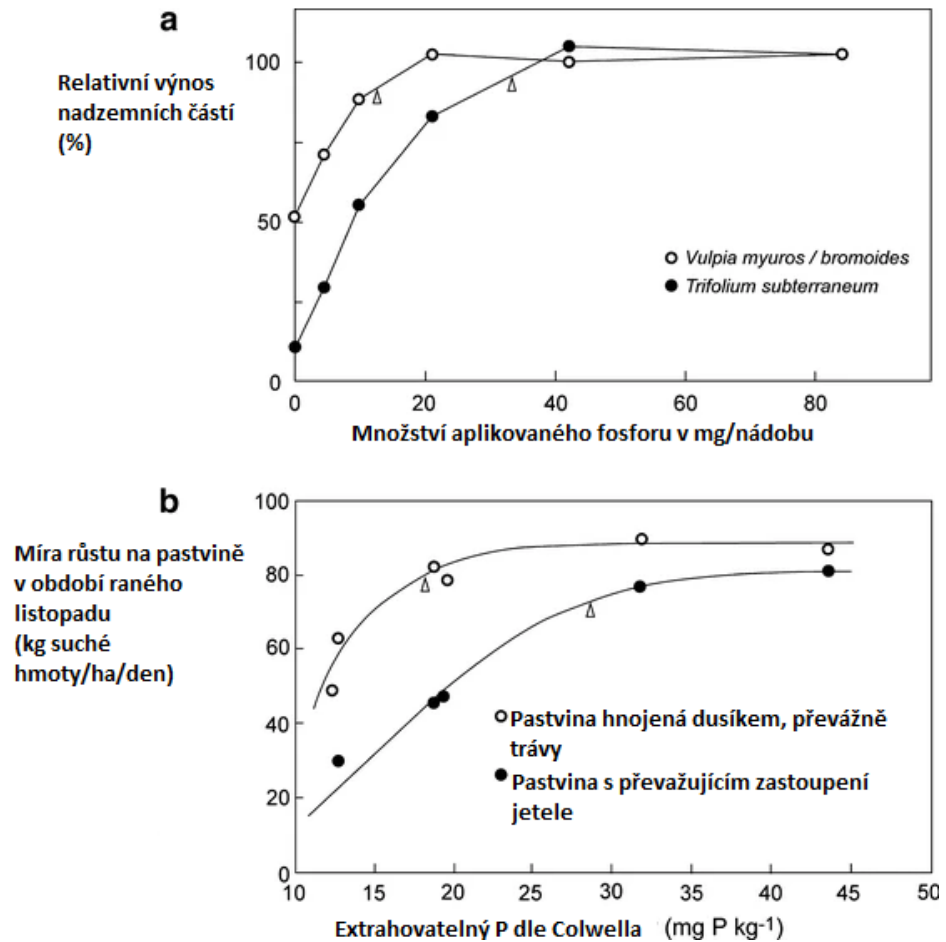


Efektivita příjmu minerálních fosforečných hnojiv byla předmětem výzkumu v Austrálii. Tato studie ukázala, že vertikální stratifikace fosforu v pastevních a minimalizačních systémech činí efektivitu příjmu velmi náchylnou na množství a distribuci srážek. V tomto ohledu konstatují, že lepší uložení fosforu, například i do podorničí, by mohlo vést k lepšímu využití fosforečného hnojiva v pastveních i pěstebních systémech. Dále uvádějí, že kapalná fosforečná hnojiva vykazují agronomické výhody příjmu fosforu na půdách s vyšším obsahem vápníku a hnojiva s pomalým uvolněním fosforu na půdách, kde je pozorován problém s proplavováním fosforu (McLaughlin et al. 2011).

Některé zdroje uvádějí, že spotřeba fosforečného hnojiva pro dosažení stejného výnosu mohou být při rozhozu na široko až dvojnásobná oproti cílenému využití. Stejně tak lze brát v potaz cílené vertikální umístění hnojiva i v případě organických hnojiv, kde však může efektivní aplikace organického hnojiva pro využití fosforu znamenat větší ztráty pro prvky ostatní, zejména dusík. Organická hnojiva aplikována do tak mělké hloubky, aby mohla být efektivnější pro využití fosforu u některých mělce kořenících rostlin může znamenat riziko zvýšených ztrát dusíku. Taktéž při aplikaci organických hnojiv je důležitá rovnoměrná plošná

aplikace, kde části přehnojené mohou mít drasticky sníženou efektivitu využití fosforu (Schröder et al. 2011) .

Obrázek 7- Graf (a) ukazuje relativní výnos nadzemních částí dvou druhů při různých intenzitách hnojení. Graf (b) ukazuje přírůstek pastvin dvou skupin porostů vztahených k obsahu extrahovatelného P dle Colwella (Simpson et al. 2011)



Taktéž je pro efektivitu využití fosforu důležitý koncept tzv. kritického obsahu P v půdě, kdy přísun fosforu v půdě nadkritický již nepřináší žádné zlepšení stavu či výsledku a tím pádem následně snižuje efektivitu využití fosforu. To se děje například proto, že toto nadměrné množství v půdě může být vystaveno imobilizujícím dějům v půdě, či může být exportováno například povrchovou erozí. Nutno však dodat, že kritický bod je jiný pro každou plodinu a je velmi variabilní například i vzhledem k povětrnostním podmínkám (Simpson et al. 2011).

4 Metodika

4.1 Charakter pokusu

Pokus měl charakter polního pokusu, kde bylo ve třech variantách, včetně kontrolní, srovnáván obsah fosforu v půdě. Pokus obsahoval variantu před založením porostu chmele, kde byla provedena rigolovací orba, taktéž byly aplikovány organická a minerální hnojiva, která jsou standartně používána při základní porostu chmele. Druhá varianta představuje chmelnici založenou bez použití rigolovací orby, kde bylo ovšem provedeno po založení porostu hloubkové uložení fosforečného hnojiva. Třetí varianta představuje produkční porost chmele, kde při založení bylo použito rigolovací orby. Srovnáván byl obsah fosforu v půdě. Všechny varianty byly hnojeny před založením shodným typem hnojiv i shodnou dávkou.

4.2 Lokality

Všechny pokusné lokality se nachází na území obce Chrástřany v okrese Rakovník. Chmelnice obhospodařuje konvenčním zemědělstvím Zemědělská společnost Chrástřany s.r.o. Pokusné polohy se nacházejí v nadmořské výšce od 378 m.n.m. do 396 m.n.m. Tyto lokality jsou členěny do výrobní oblasti obilnářské, výrobní podoblasti O2, klimatického regionu zemědělských půd MT 1.

4.2.1 Půdní podmínky

4.2.1.1 Lokalita kontrolní

Tato lokalita se nachází na půdách řazených do BPEJ 4.33.01 s překryvem 1,94 ha a 4.13.00 s překryvem 0,46 ha. BPEJ 4.33.01 lze charakterizovat jako kambizem převážně na rovině s všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %, hluboká až středně hluboká. BPEJ 4.13.00 lze popsat jako hnědozem hluboká převážně na rovině s všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Konkrétně se jedná o DPB 4704/7

4.2.1.2 Lokalita s rigolovací orbou

Tato lokalita se nachází na půdách řazených do BPEJ 4.30.01 s překryvem 1,06 ha a 4.12.00 s překryvem 0,70 ha. BPEJ 4.30.01 lze charakterizovat jako kambizem převážně na rovině s všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %, hluboká až středně hluboká. BPEJ

4.12.00 lze popsat jako hnědozem hluboká převážně na rovině s všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Konkrétně se jedná o DPB 6701/10.

4.2.1.3 Lokalita s hloubkovým ukládáním hnojiva bez rigolovací orby

Tato lokalita se nachází na půdách řazených do BPEJ 4.22.12 s překryvem 0,58 ha, 4.33.01 s překryvem 1,18 ha a 4.48.11 s překryvem 0,03 ha. BPEJ 4.22.12 lze charakterizovat jako regozemě hluboké převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu 10–25 %. BPEJ 4.33.01 lze charakterizovat jako kambizem převážně na rovině s všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %, hluboká až středně hluboká. BPEJ 4.48.11. lze charakterizovat jako pseudogleje hluboké převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Jedná se o DPB 5704/8.

4.2.2 Charakteristika agrotechniky lokalit

Kontrolní lokalita byla vedena před rigolovací orbou jako orná půda. Rigolovací orba zde byla provedena 12. října 2019. Orbě předcházelo organické a minerální hnojení, které je při zakládání chmelnic běžné, tím pádem je shodné u všech lokalit. Výsaz rostlin probíhal až po odběru půdních vzorků.

Na lokalitě, kde byl porost založen s rigolovací orbou, byla orba provedena na podzim roku 2015 a porost založen na podzim roku 2016. V době odběru vzorků se tedy jedná o porost po 4. roce vegetace, tedy již v plně produkčním období. Hloubka rigolovací orby se pohybovala dle charakteru půdního profilu od 50 cm do 70 cm.

Porost na lokalitě založené bez rigolovací orby s hloubkovým ukládáním hnojiva byl porost vysázen na podzim roku 2015, jedná se tedy o porost v 5. roce vegetace v době odběru půdních vzorků a je tedy taktéž ve fázi plné plodnosti. Před vysazením byla půda prokypřena hloubkovým kypřičem do hloubky přibližně 50 cm. V roce 2018 bylo uloženo přibližně do hloubky 50 cm v dávce 50 kg P/ha

Pro výsadbu obou produkčních lokalit byla využita technologie hlubokého jamkování používaná v Zemědělské společnosti Chrástany (Klas et al. 2017).

4.3 Metodika pokusu

4.3.1 Stavba pokusu

V pokusu jsou zahrnuty 3 varianty (lokality), ze kterých bude v předem daných místech a hloubkách vzhledem k rostlinám odebrán vzorek půdy, ze kterého bude následně stanoven obsah fosforu v půdě.

4.3.1.1 Varianta kontrolní

Varianta kontrolní, je varianta na pozemku, na kterém byla provedena příprava pro výsadbu chmele pomocí rigolovací orby. Tato varianta slouží jako kontrolní ve smyslu toho, že představuje výchozí stav fosforu v půdě, tedy není ovlivněna odběrem živin, který se projeví ve variantách, kde již několik let vegetuje produkční porost. Odběr vzorků byl proveden po rigolovací orbě, ale před vysazením porostu.

4.3.1.2 Varianta s použitím rigolovací orby

Varianta s použitím rigolovací orby je varianta na pozemku, na kterém byla provedena příprava pro výsadbu chmele pomocí rigolovací orby. Tato varianta má za účel poskytnout srovnání vůči kontrolní variantě, ve smyslu distribuce fosforu v půdě této varianty. Zde se předpokládá, že bude distribuce ovlivněná odběrem rostlin.

4.3.1.3 Varianta na lokalitě založené bez rigolovací orby s hloubkovým ukládáním hnojiva

Varianta na lokalitě založené bez rigolovací orby s hloubkovým ukládáním hnojiva slouží jako srovnání technologie bez rigolovací orby, kde proběhl pokus s ukládáním fosforečného hnojiva do hloubky 50 cm. Slouží pro srovnání distribuce fosforu vůči ostatním variantám.

4.3.2 Odběr vzorků a jejich rozbor

Všechny vzorky byly odebrány sondážní tyčí do hloubky 90 cm. Každý odběr byl členěn na tři vrstvy po 30 cm.

4.3.2.1 Odběr vzorků kontrolní varianty

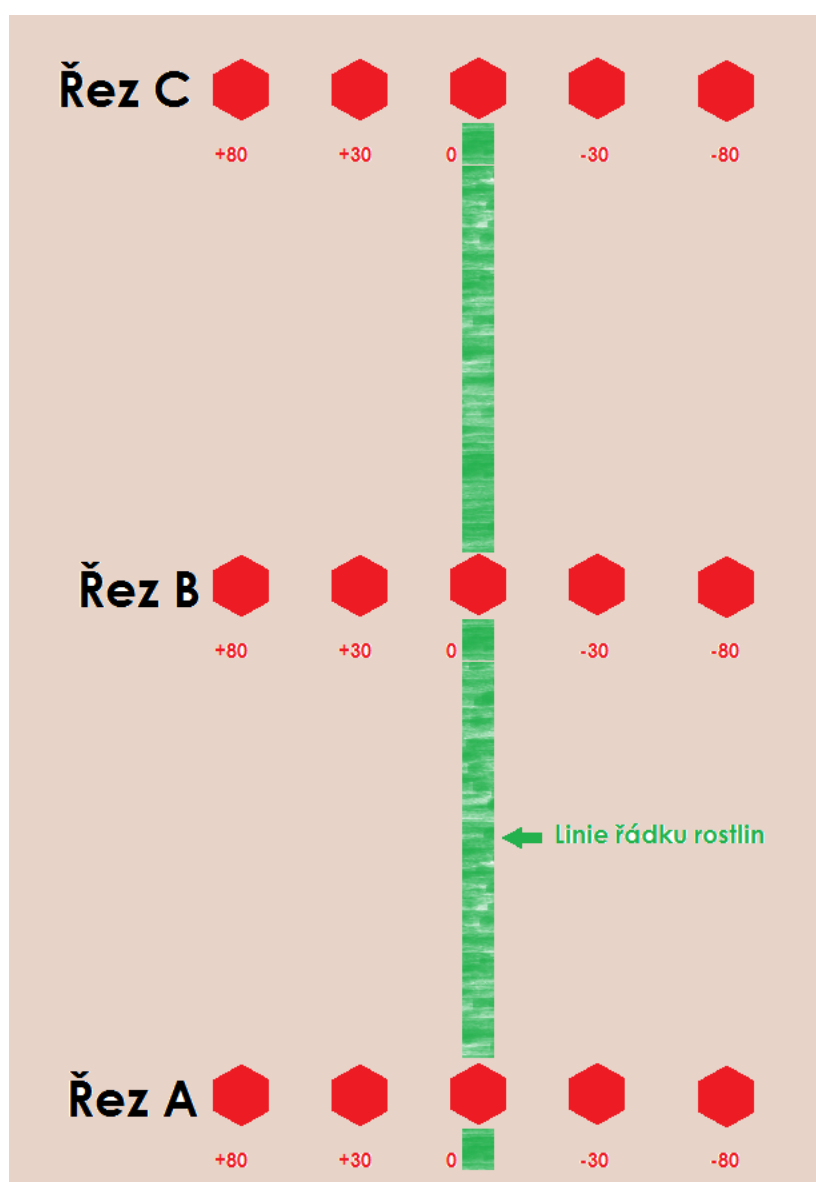
Kontrolní lokalita obsahovala pouze 3 odběrová místa a je zde zkoumána distribuce fosforu pouze ve smyslu hloubky, nikoliv prostorová distribuce. Tento postup je zvolen z důvodu, že

se po provedení rigolovací orby předpokládá prostorová homogenita distribuce fosforu vzhledem k absenci porostu, který by z půdy fosfor čerpal. Pro eliminaci půdních rozdílů jsou odběrová místa rozmístěna po celém pozemku.

4.3.2.2 Odběr varianty s použitím rigolovací orby

Odběr v této variantě probíhal systémem třech odběrových míst, kde na každém proběhlo 5 dílčích odběrů. Těchto 5 dílčích odběrů tvořilo linii kolmou na směr řádku rostlin a tím pádem tvořilo vertikální řez profilem půdy kolmo k řádku. Odběrná místa byla vždy vztažena ke středové linii řádku a probíhala v odměřených vzdálenostech od tohoto řádku. Tyto vzdálenosti byly: +80 cm, +30 cm, 0 cm (střed řádu s rostlinou), -30 cm, -80 cm. Každý z těchto dílčích odběrů byl dále členěn dle hloubky po 30 cm, tedy 0-30 cm, 30-60 cm a 60-90 cm. V každém odběrovém místě tedy vznikla matice 3x5 hodnot. Z jedné lokality tedy vzniklo 45 separátních vzorků, které byly využity dále ve zpracování, viz Obrázek 9. Odběrová místa byla stanovena vždy vprostřed chmelničního pole a rozstup mezi nimi byl stanoven stabilně na 4 chmelniční pole.

Obrázek 8 - Schéma odběrových řezů a jejich jednotlivých vpichů, půdorys



Obrázek 8 ukazuje půdorys chmelnice, kde jsou znázorněny jednotlivé řezy a jejich jednotlivé vpichy, které jsou zobrazeny červenými šestiúhelníky, u kterých je vždy přiřazena jejich kolmá vzdálenost od řádku rostlin. Linie řádku je zvýrazněna zelenou čarou. Mezi každým řezem je vzdálenost čtyř chmelničních polí, tedy 32 metrů. Vzdálenost mezi řezem A a C je tedy 64 metrů. Toto schéma je relevantní pro všechny varianty mimo kontrolní.

4.3.2.3 Odběr varianty s hloubkovým ukládáním hnojiva bez rigolovací orby

Odběr v této variantě probíhal systémem třech odběrových míst, kde na každém proběhlo 5 dílčích odběrů. Těchto 5 dílčích odběrů tvořilo linii kolmou na směr řádku rostlin a tím pádem tvořilo vertikální řez profilem půdy kolmo k řádku. Odběrná místa byla vždy vztažena ke

středové linii řádku a probíhala v odměřených vzdálenostech od tohoto řádku. Tyto vzdálenosti byly: +80 cm, +30 cm, 0 cm (střed řádu s rostlinou), -30 cm, -80 cm. Každý z těchto dílčích odběrů byl dále členěn dle hloubky po 30 cm, tedy 0-30 cm, 30-60 cm a 60-90 cm. V každém odběrovém místě tedy vznikla matice 3x5 hodnot. Z jedné lokality tedy vzniklo 45 separátních vzorků, které byly využity dále ve zpracování, viz Obrázek 9

Odběrová místa byla stanovena vždy vprostřed chmelničního pole a rozstup mezi nimi byl stanoven stabilně na 4 chmelniční pole. Tato odběrová místa byla lokalizována v části chmelnice, kde bylo dříve provedeno hloubkové uložení fosforečného hnojiva.

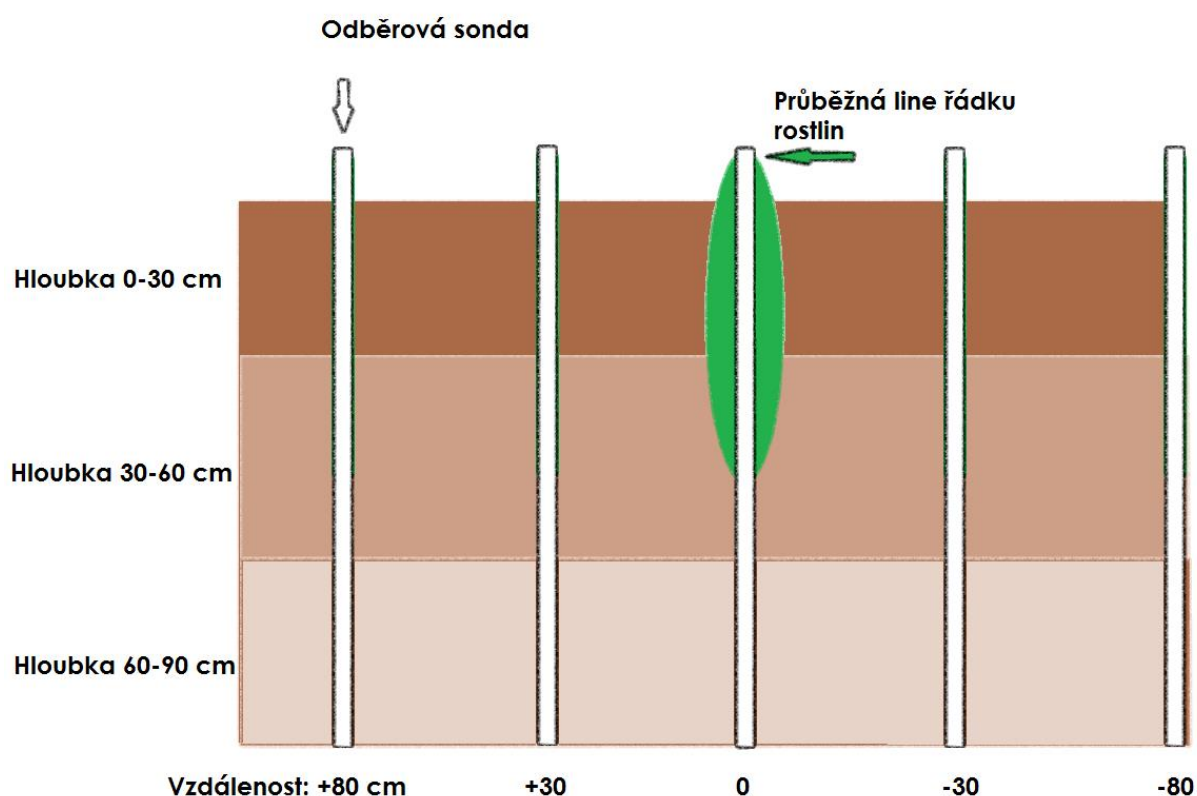
Obrázek 9- Schéma odběrového řezu

		+ 80 cm	+ 30 cm	0 cm (řádek chmele)	- 30 cm	- 80 cm
Hloubka	0-30 cm	Vzorek +80,0-30	Vzorek +30,0-30	Vzorek 0,0-30	Vzorek -30,0-30	Vzorek -80,0-30
	30-60 cm	Vzorek +80,30-60	Vzorek +30,30-60	Vzorek 0,30-60	Vzorek -30,30-60	Vzorek -80,30-60
	60-90 cm	Vzorek +80,60-90	Vzorek +30,60-90	Vzorek 0,60-90	Vzorek -30,60-90	Vzorek -80,60-90

Systém odběrů byl tedy shodný s variantou s použitím rigolovací orby, lišil se tedy pouze lokalitou.

Obrázek 10 ukazuje boční pohled na jeden řez. Je zde patrných pět odběrových vpichů, které jsou zvýrazněny (bílé sloupce), a tři relevantní hloubková pásma používaná v práci. Zeleně je zvýrazněna přibližné místo lokalizace chmelové rostliny. Pohled je zhotoven tak, že jím probíhá linie řádku dále do pozadí, je tedy linií řádku kolmý. Tento pohled je relevantní pro všechny varianty kromě kontroly.

Obrázek 10 - Boční pohled na odběrový řez variant (mimo kontrolní)



4.3.2.4 Zpracování vzorků

Všechny vzorky byly uchovávány společně. Před rozbořem byly usušeny a uchovány tak, aby v nich neprobíhaly pochody, které by ovlivnily obsah přístupného fosforu.

Pro účel rozborů byl každý individuální vzorek rozdělen na dva, a tak i nadále vyhodnocován, za účelem minimalizace možných chyb. Samotné rozborů na obsah přístupného fosforu byly provedeny ve spolupráci s katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity pomocí extrakčního činidla Mehlich 3.

4.3.3 Hloubkové ukládání hnojiva

Toto hloubkové ukládání hnojiva bylo provedeno v rámci bakalářské práce, na kterou tato práce částečně navazuje.

Obrázek 11- Zařízení na ukládání hnojiva



Toto zařízení bylo sestrojeno v dílnách Zemědělské společnosti Chrášťany s.r.o. za odborného dohledu p. Miloslava Klase. Tento stroj se sestává ze tří činných ústrojí. První je ústrojí kypřící, na které bylo použito jako základ Hlubkový kypřič do chmelnic CH - 1 – 017 vyráběný STS Jihlava. To se sestává ze tří kypřících orgánů. Na každém vnějším pracovním orgánu je umístěno drenovací těleso. Rozteč vnějších pracovních orgánů je 150 cm.

Druhé je ústrojí dávkovací. Je sestrojeno z rozmetadla průmyslových hnojiv FS/400 výrobce Faza, které bylo upraveno pro funkci s ústrojím kypřícím, ukládacím a s tažným prostředkem. Úprava byla provedena osazením rotačního hydromotoru na místo vývodového hřídele, dále umístěním dvojčinného lineárního hydromotoru pro ovládání dávky a spuštění dávkování. Nastavení dávky bylo provedeno kalibrovanými podložkami umístěvanými na pístnici lineárního hydromotoru, který otvírá dávkovací mechanismus rozmetadla, tím pádem se díky podložkám otvírá vždy do stejné polohy. Pro záchyt hnojiva a jeho úměrnou distribuci mezi oba pracovní orgány byly využity stávající dva otvory dávkovacího mechanismu a čehrač

umístněný v zásobníku rozmetadla. Správné dělení dávky hnojiva mezi pracovní orgány bylo ověřeno a potvrzeno.

Třetí ústrojí je ústrojí ukládací. Toto ústrojí se sestává na každém ze dvou vnějších kypřících orgánů ze svodu dávkovacího mechanismu, silnostěnného svodu na zadní straně slupic a spodního ukládacího tělesa. Dávkování je kalibrováno na pojezdovou rychlost 5 km/h při práci. Dávkování bylo ověřeno experimentálně měřením nadávkovaného množství za úsek času při stání stroje, nadávkované množství bylo přepočítáno na hektarovou dávku pomocí kalibrované pracovní pojezdové rychlosti 5 km/h. Dále bylo ověřeno zpětně množstvím aplikovaného hnojiva na jednotku plochy, oba testy potvrdily přesnost dávky s odchylkou do 3 %.

Bylo aplikováno fosforečné hnojivo trojitý superfosfát v dávce 250 kg/ha v pondělí 17. dubna 2018. Hnojivo mělo deklarovaný obsah fosforu 20 %. Hektarová dávka fosforu tedy činila 50 kg. Hnojivo bylo uloženo do hloubky přibližně 50 cm (Klas 2019).

4.3.4 Rigolovací orba

K rigolovací orbě byl využit rigolovací pluh, jednoradličný, jednostranný, osazený předradličkou.

Rigolovací orbě, která předcházela založení porostu ve variantě s rigolovací orbou, předcházelo rozmetání organických a minerálních hnojiv. Zde bylo mezi aplikacemi minerálních P a K hnojiv využito mělkého zpracování půdy. Po aplikaci organického hnojiva, zde kompost ze chmelinky, bylo využito klasické orby k jeho zapravení. Tato orba slouží i dalšímu účelu, a to, aby byla zapravena hnojiva do hloubky nižší než následně pracuje předradlička rigolovacího pluhu, aby nebyla takto přihnojená vrstva shozena předradličkou do spodku brázdy. Tedy aby nebyla hnojiva zapravena do spodku brázdy při rigolovací orbě předradličkou rigolovacího pluhu, ale aby byla promíšena a zaklopena až hlavním pracovním tělesem pluhu přibližně do středu zpracovávaného profilu půdy.

Obrázek 12 - Rigolovací orba v roce 2015 na pozemku varianty s rigolovací orbou (Zdroj: archiv autora)



Orba probíhala záhonovým způsobem. Hloubka orby se pohybovala od 50 cm do 70 cm, dle složení podloží. A probíhala v říjnu roku 2015, před podzimní výsadbou v roce 2016.

4.3.5 Statistické vyhodnocení

Statistické vyhodnocení bude probíhat s pomocí programu Statistica 12.

Každý jeden vzorek byl během rozborů měřen dvakrát. Vznikly tak dvě výsledné hodnoty, každá hodnota bude ve statistickém vyhodnocení brána jako samostatné měření z místa odběru.

Pro vyhodnocení hypotézy: „*Obsah fosforu v půdě v odběrném místě nejbliže rostlině bude nižší než ve vzdálenějších odběrných místech*“. Bude využita metoda ANOVA, jednofaktorová, kde faktorem bude umístění v souřadnicové síti řezu. Budou zpracovány výsledky separátně pro obě varianty s porostem. Stranově závislé koordináty budou sloučeny, tudíž +80 cm a -80 cm se stane koordinátem 80 cm vzdálenosti pro toto vyhodnocení. Stejně tak se stane i u vzdálenosti + - 30 cm.

Pro vyhodnocení hypotézy: „*Ve vrstvě 0-30 cm půdy varianty chmelnice založené bez rigolovací orby bude vyšší obsah fosforu než v ostatních horizontech ve stejné variantě*“ bude využita metoda ANOVA, jednofaktorová, kde faktorem bude hloubka odběru vzorku.

Pro vyhodnocení hypotézy: „*Ve variantě chmelnice založené s rigolovací orbou bude v horizontu 30-60 cm vyšší obsah fosforu než ve stejné vrstvě ve variantě založené bez rigolovací orby*“ bude využito dvou výběrového t-testu. Přičemž hodnoty v jednotlivých variantách budou v relativních jednotkách. Tedy obsah fosforu bude vyjádřen v procentech vzhledem k průměru obsahu P vrstvy 0-30 cm každé varianty za účelem eliminace vlivu rozdílnosti půdních podmínek mezi variantami tak, aby bylo možno hodnotit vliv variant na rozmístění fosforu v půdě.

Dále budou vyhodnoceny sekundární srovnání mimo přímé testování hypotéz. Zde bude v relativních jednotkách vztažených k průměru obsahu P ve vrstvě 0-30 cm každé varianty otestován rozdíl mezi vertikálními vrstvami variant metodou ANOVA.

Všechny testy budou probíhat s hodnotou významnosti $\alpha = 0,05$.

5 Výsledky

5.1 Výstup rozborů

Následující kapitola popisuje numerické výsledky rozborů. Součástí je i takzvaný průměrný řez, kde jsou z každé varianty zprůměrována shodná místa souřadnicové sítě a vytváří tak průměrný obraz varianty.

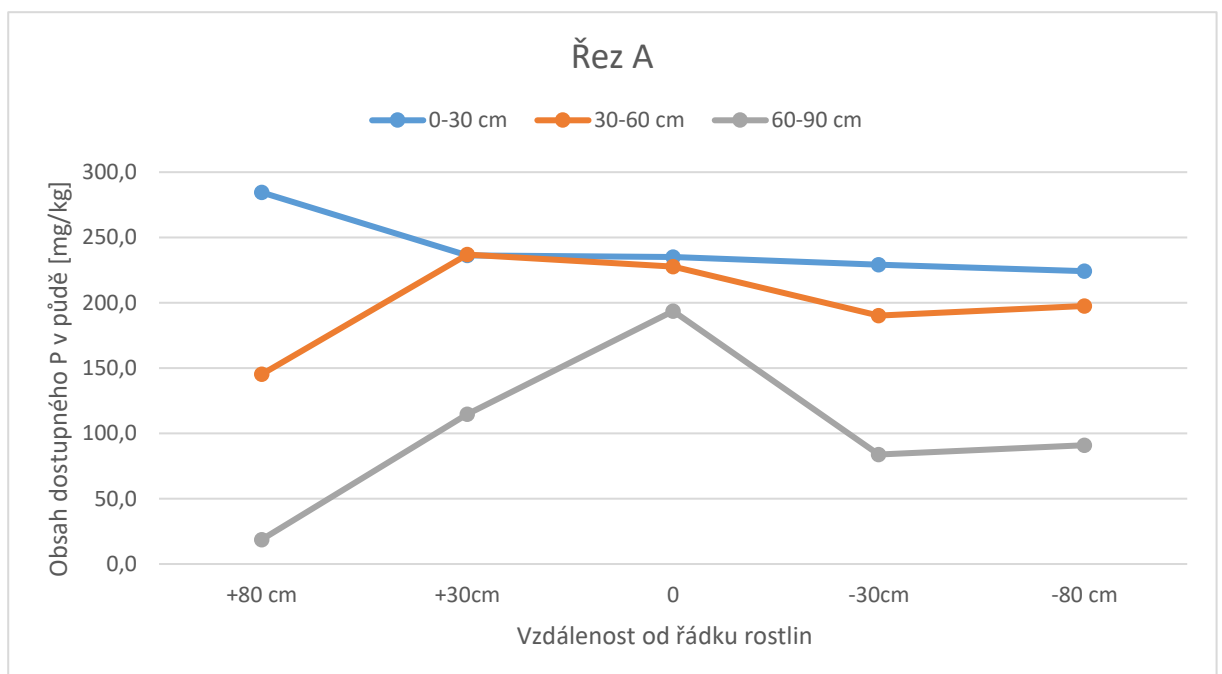
Varianta s rigolovací orbou se skládá z řezů A, B, C a průměrného řezu ABC. Varianta bez rigolovací orby s přihnojením se skládá z řezů D, E, F a průměrného řezu DEF.

5.1.1 Varianta s rigolovací orbou

5.1.1.1 Řez A

Řez A ukazuje v hloubkách 0-30 cm a 30-60 cm hodnoty, které se od sebe příliš nevzdalují, výjimku tvoří pouze souřadnice 30-60 cm hloubky, +80 cm vzdálenosti, která dosahuje hodnot okolo 150 mg/kg na rozdíl od zbytku hodnot ve stejné hloubce, které dosahují hodnot v rozsahu 200-250 mg/kg. Vrstva 60-90 cm vykazuje vždy nižší hodnoty dostupného P než vrstvy výše položené.

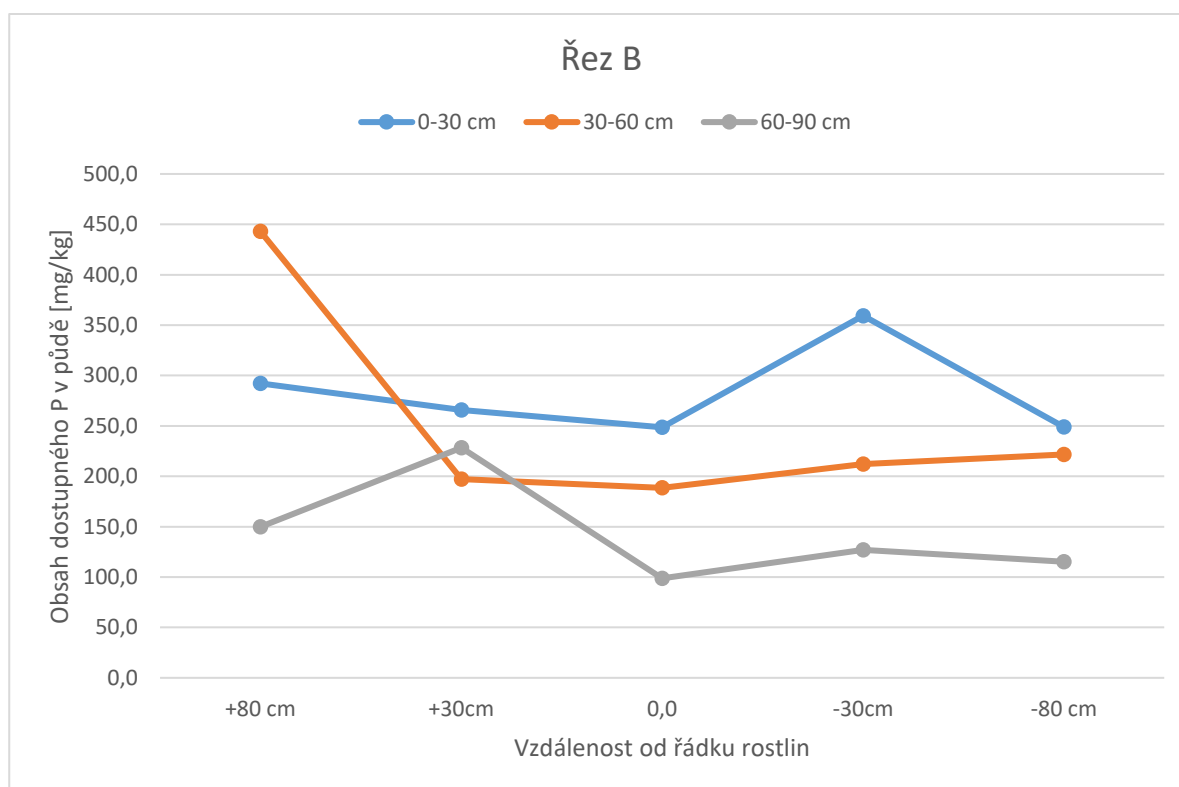
Graf 1 - Řez A, obsah dostupného fosforu v půdě [mg/kg]



5.1.1.2 Řez B

V řezu B se na první pohled vyskytuje patrná odlehlá hodnota na souřadnicích 30-60 cm hloubky, +80 cm vzdálenosti. Tato hodnota více než dvojnásobně překračuje hodnoty, které byly jinak zjištěny v této hloubkové vrstvě. Hodnota v grafu je složená ze dvou individuálních rozborů ze stejné souřadnice a obě hodnoty se významně neliší, tato odlehlá hodnota tedy s největší možnou pravděpodobností nevznikla chybou při rozboru, možné příčiny jsou popsány v diskuzi práce.

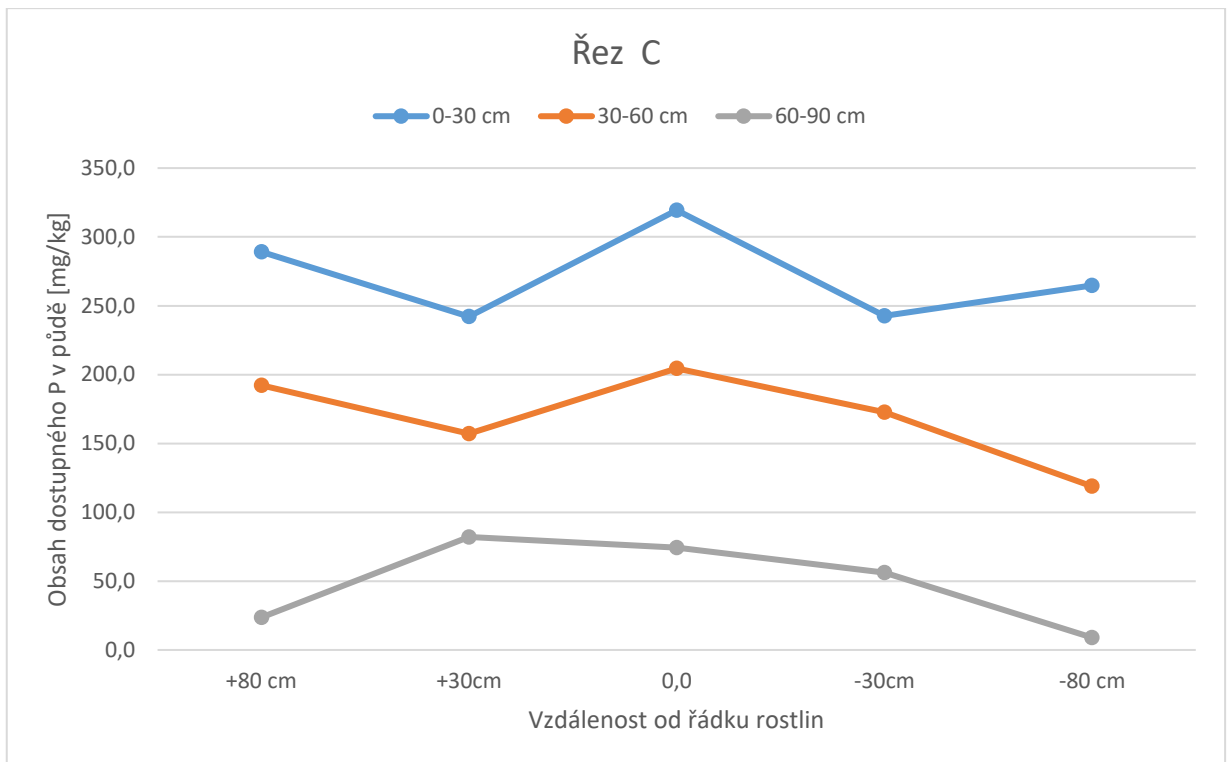
Graf 2- Řez B, obsah dostupného fosforu v půdě [mg/kg]



5.1.1.3 Řez C

Řez C nevykazuje žádné odlehlé ani nečekané hodnoty. Vrstva 0-30 cm vykazuje nejvyšší obsah, vrstva 30-60 nižší a vrstva 60-90 nejnižší. Za podotknutí stojí souřadnice 0 cm vzdálenosti od řádku ve vrstvě 0-30 a 30-60, kde byla u rostliny zjištěn nejvyšší obsah dostupného P z dané vrstvy. Taktéž je zajímavostí, že ve vrstvě 0-30 cm hloubky mají souřadnice +30 a -30 vzdálenosti nejnižší obsah dostupného P, tentýž jev se opakuje ve vrstvě 30-60 cm, ale pouze v plusové části souřadnicové sítě (včetně nuly). V druhé polovině se tento jev již nevyskytuje.

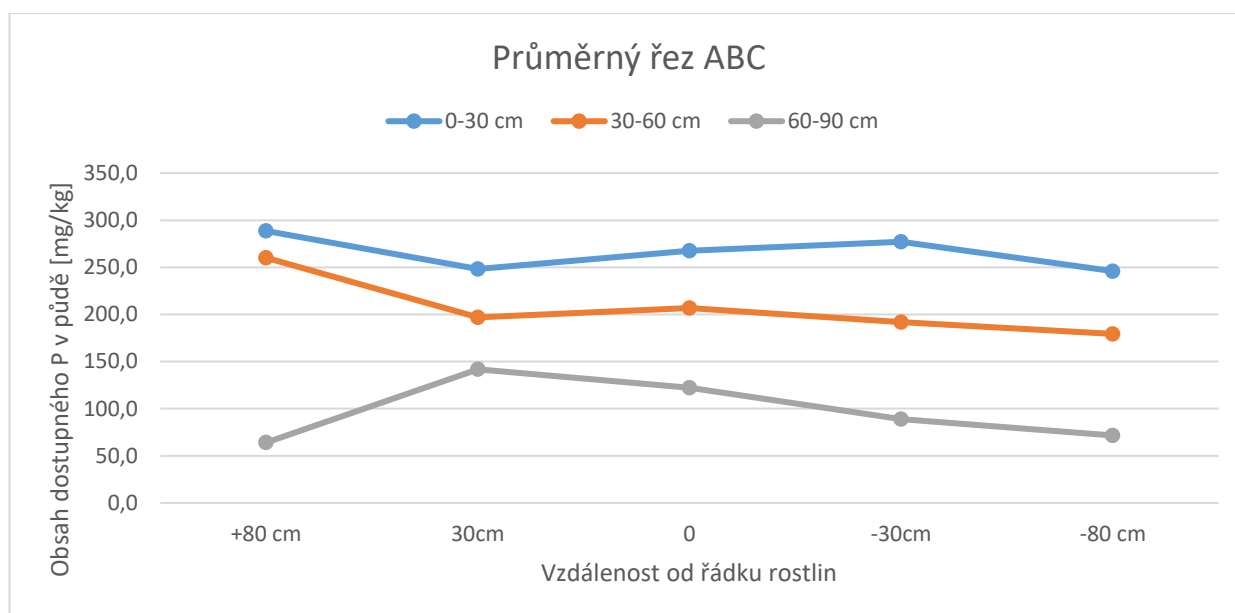
Graf 3 - Řez C, obsah dostupného fosforu v půdě [mg/kg]



5.1.1.4 Průměrný řez ABC

Průměrný řez ABC je vytvořen zprůměrováním všech hodnot v dané souřadnici pro variantu s rigolovací orbou, včetně odlehlé hodnoty v souřadnici 30-60 cm hloubky, +80 cm vzdálenosti řezu B. Vrstva 0-30 cm hloubky vykazovala nejvyšší hodnoty dostupného P. Vrstva 30-60 cm hloubky má nižší hodnoty dostupného P nežli vrstva vyšší a vyšší hodnoty dostupného P nežli vrstva nižší. Svými hodnotami dostupného P se však spíše blíží vrstvě 0-30 cm než vrstvě 60-90 cm. Vrstva 60-90 cm hloubky dosahuje nejnižších hodnot dostupného obsahu P. Souřadnice vzdálenosti +80 cm vykazuje ve vrstvách 0-30 cm a 30-60 cm hloubky výrazně odlišné hodnoty oproti zbytku příslušné vrstvy tím, že jejich obsahy jsou vyšší nežli zbytek v dané vrstvě a dosahují taktéž výrazně vyšších hodnot než opačná strana řádku, tedy souřadnice -80 cm vzdálenosti. Tento jev se neopakuje u vrstvy 60-90 cm hloubky, kde souřadnice +80 a -80 vzdálenosti mají přibližně stejnou hodnotu, avšak za zmínku stojí pouze pozorování, že mezi souřadnicemi +80 a +30 vzdálenosti, 60-90 cm hloubky je náhlý pokles o 80 mg/kg dostupného fosforu.

Graf 4- Průměrný řez ABC, obsah dostupného fosforu v půdě [mg/kg]

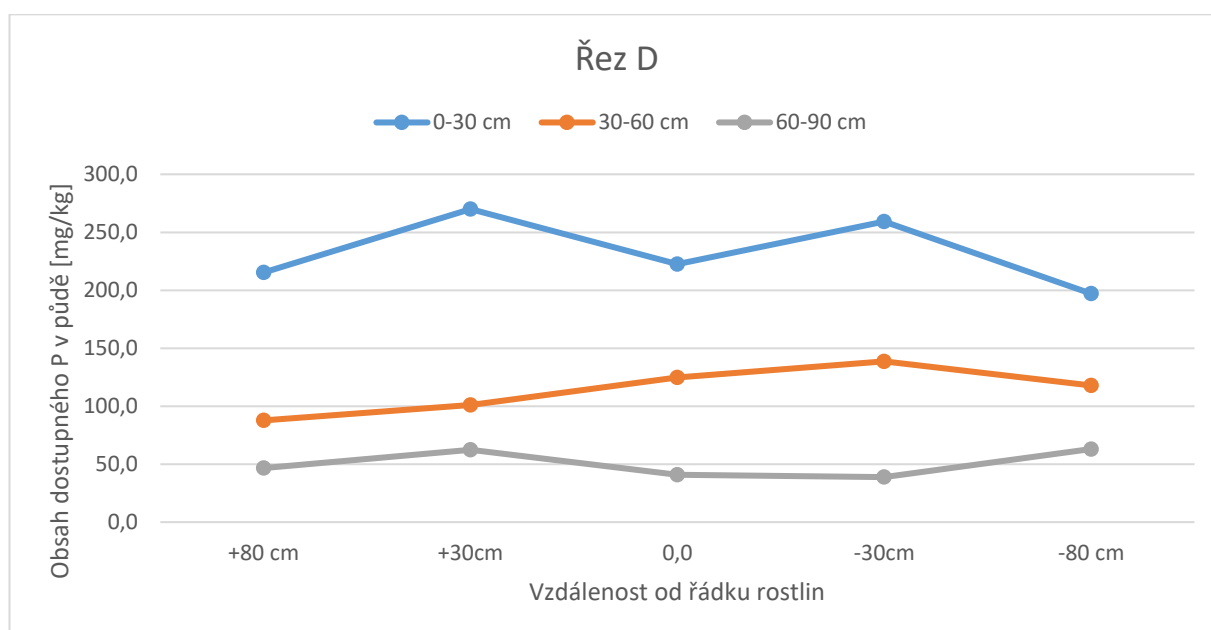


5.1.2 Varianta bez rigolovací orby s hloubkovým ukládáním hnojiva

5.1.2.1 Řez D

Řez D vykazuje vysoké hodnoty přijatelného fosforu ve vrstvě 0-30 cm hloubky, přičemž nejvyšších hodnot dosahuje v souřadnicích +30 cm a -30 cm vzdálenosti. Vrstva 30-60 cm hloubky vykazuje spíše hodnoty bližší vrstvě 60-90 cm hloubky. Nejspodnější vrstva 60-90 cm vykazuje nejnižší hodnoty dostupného P.

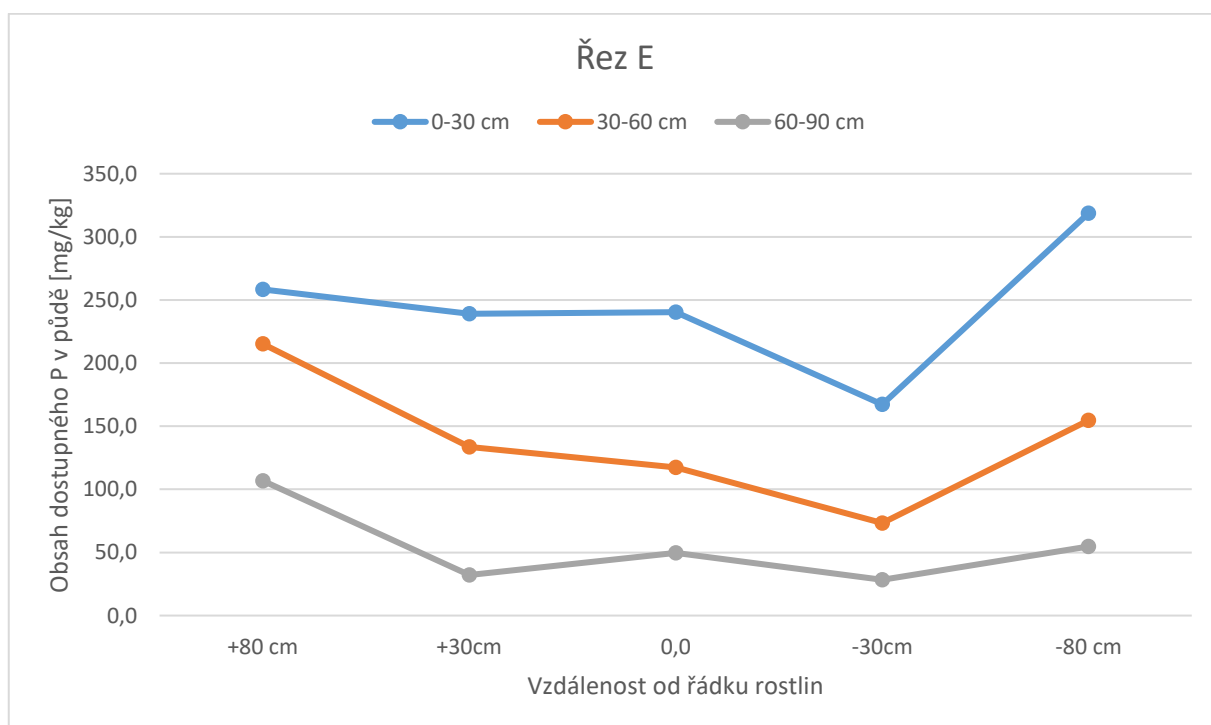
Graf 5 - Řez D, obsah dostupného fosforu v půdě [mg/kg]



5.1.2.2 Řez E

Řez E vykazuje očekávané hodnoty dostupného P pro každou vrstvu, s tím, že se zvyšující se hloubkou klesá obsah přijatelného P. Za poznámku stojí odběr -30 cm vzdálenosti, který ve všech jeho souřadnicích hloubek vykazuje nižší obsah než sousední souřadnice 0 a -80 cm. Tento jev se v souřadnici +30 cm neopakuje.

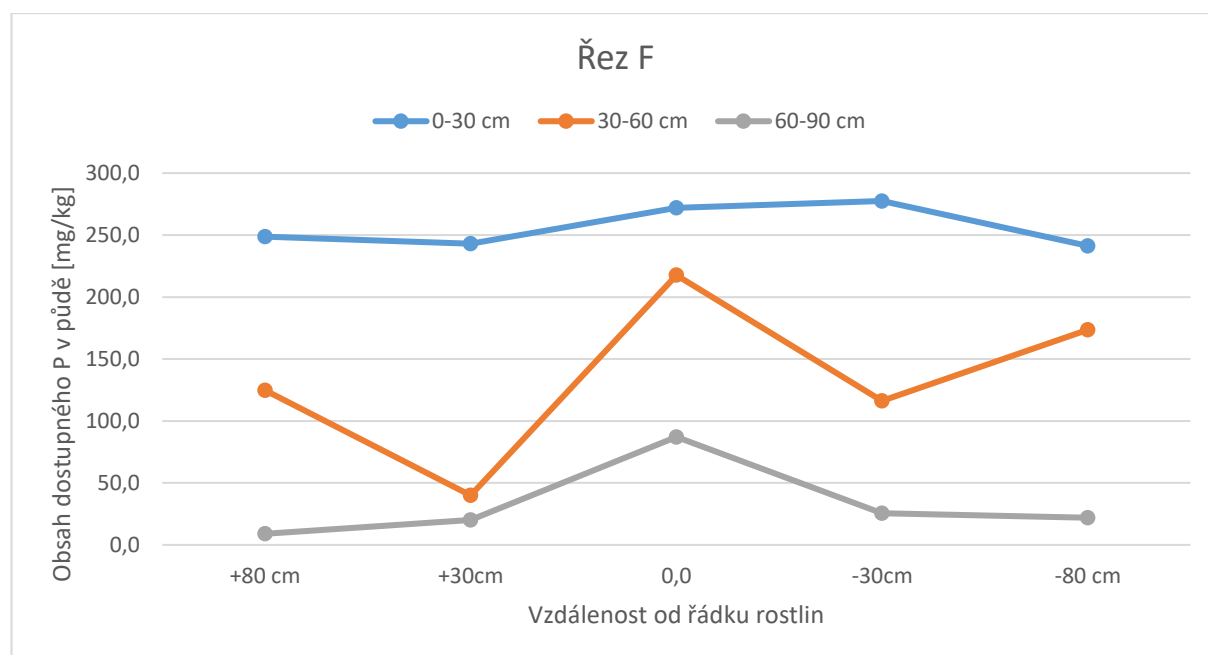
Graf 6- Řez E, obsah dostupného fosforu v půdě [mg/kg]



5.1.2.3 Řez F

Řez F vykazuje v rámci vrstvy 0-30 cm hloubky očekávané hodnoty dostupného fosforu v půdě. Vrstva 30-60 cm hloubky však vykazuje významné kolísání vzhledem ke vzdálenosti od rostliny s tím, že v souřadnici 0 cm vzdálenosti, tedy přímo u rostliny vykazuje nejvyšší obsah dostupného P. Následně v obou sousedních souřadnicích, tedy +30 cm a -30 cm vzdálenosti, obsah fosforu strmě klesá z hodnoty 218 mg/kg P, která byla zjištěna souřadnici 0 cm, na hodnoty 40 mg/kg P pro souřadnici +30 cm a 116 mg/kg P pro souřadnici -30 cm. Tento jev se tedy vyskytuje opakovaně, tím rozuměno po obou stranách rostliny. Při větší vzdálenosti od rostliny obsah dostupného fosforu opět stoupá na hodnoty 125 mg/kg P (souřadnice + 80 cm) a 174 mg/kg P (souřadnice -80 cm). Ve vrstvě 60-90 cm hloubky není již tento výrazný pokles v souřadnici +-30 cm pozorován, nejvyšší obsah dostupného fosforu v rámci vrstvy je však pozorován opět v místě rostliny.

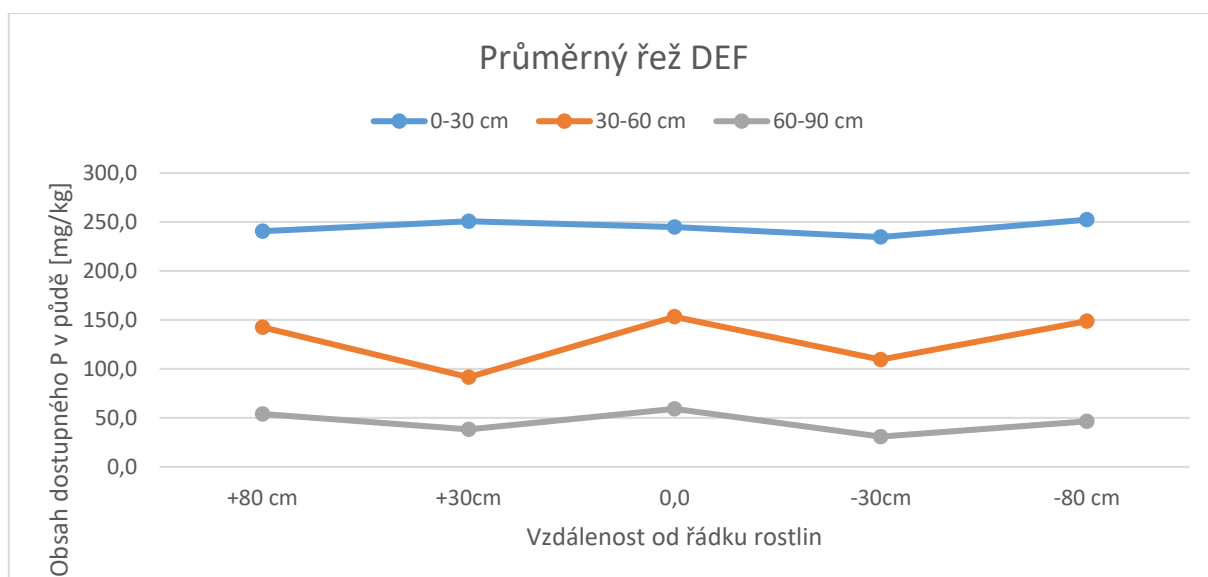
Graf 7- Řez F, obsah dostupného fosforu v půdě [mg/kg]



5.1.2.4 Průměrný řez DEF

Průměrný řez DEF je vytvořen zprůměrováním všech hodnot v dané souřadnici pro variantu bez rigolovací orby s hloubkovým přihnojením. V rámci vrstvy 0-30 cm hloubky není pozorována větší variabilita v obsahu dostupného fosforu vztažená ke vzdálenosti od rostliny a tato vrstva dosahuje nejvyššího obsahu v rámci všech vrstev. Vrstva 30-60 cm hloubky vykazuje snížený obsah v souřadnicích +30 cm vzdálenosti a -30 cm vzdálenosti oproti ostatním souřadnicím v této vrstvě, které vykazují téměř shodný obsah dostupného fosforu v půdě.

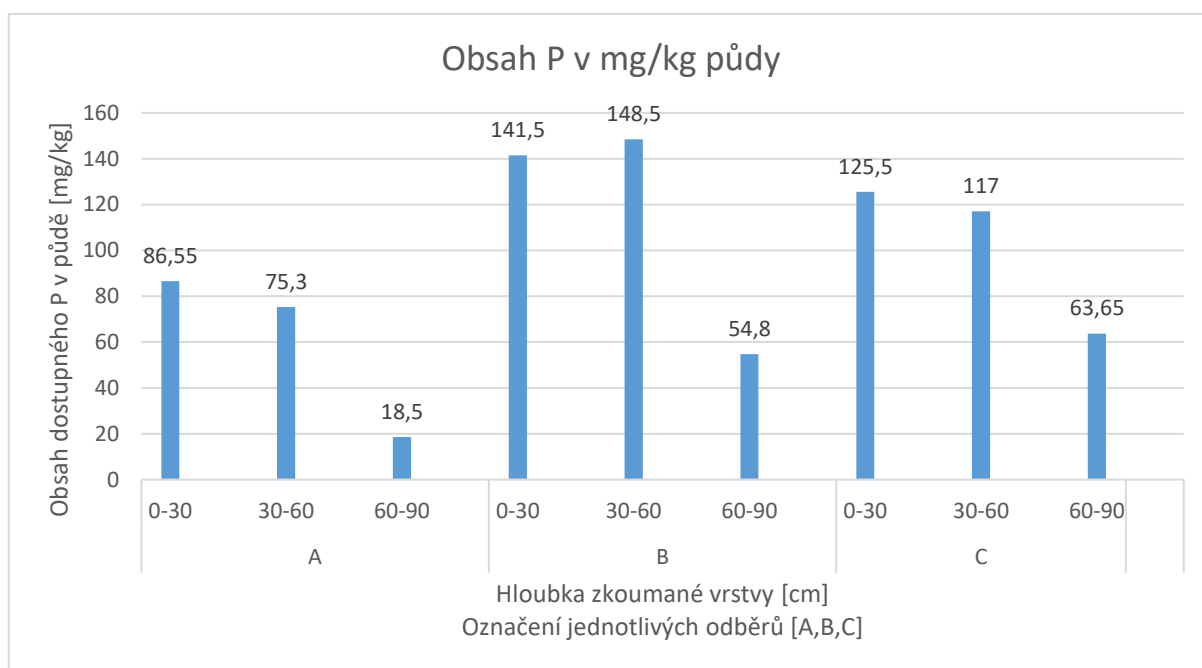
Graf 8 - Průměrný řez DEF, obsah dostupného fosforu v půdě [mg/kg]



Celkově se hodnoty této vrstvy spíše blíží vrstvě 60-90 cm hloubky. Vrstva 60-90 cm hloubky vykazuje menší, ale rámcově podobné hodnoty v závislosti na vzdálenosti od rostliny.

5.1.3 Varianta kontrola

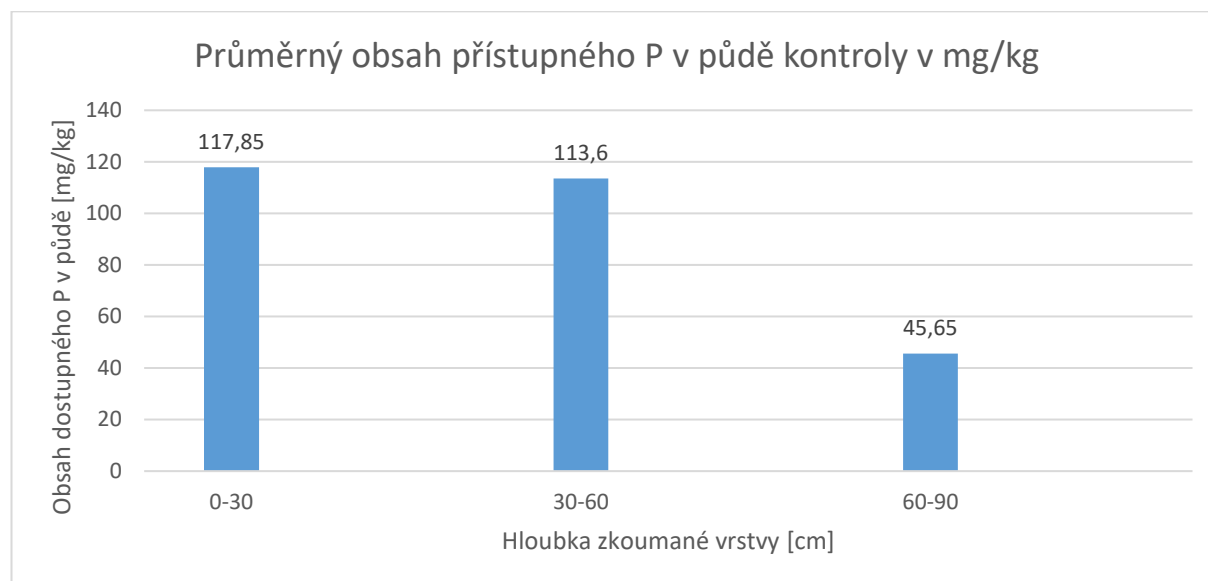
Graf 9 - Obsah P v mg/kg v kontrolní variantě



Výsledky varianty kontrolní ukázaly u všech tří odběrů poměrně stabilní homogenizaci vrstvy 0-30 cm a vrstvy 30-60 cm. Tyto vrstvy vykazovaly ve všech třech odběrných místech podobné hodnoty naměřeného přístupného fosforu v půdě. Pouze odběr A má hodnoty dostupného

fosforu výrazně nižší než ostatní dva odběry, ale je zachován poměr dostupného P mezi vrstvou 0-30 cm hloubky a 30-60 cm hloubky.

Graf 10 - Průměrný obsah dostupného fosforu v půdě kontrolní varianty



Graf 10 ukazuje hodnoty průměrného obsahu dostupného P ve vrstvách kontrolní varianty, kde proběhla rigolovací orba, ale ještě nebyl založen porost. Jsou zde vidět velmi podobné hodnoty vrstev 0-30 cm a 30-60 cm. Vrstva 60-90 cm má znatelně nižší obsahy než vyšší vrstvy.

5.2 Statistické šetření

V této kapitole budou primárně uvedeny výsledky statistického šetření třech hypotéz stanovených v této práci. Sekundárně zde budou uvedeny výsledky statistického šetření prováděného na numerických výsledcích pro účely diskuze.

Data splňují předpoklady pro všechny použité testy.

5.2.1 Hypotéza: *Obsah fosforu v půdě v odběrném místě nejbliže rostlině bude nižší než ve vzdálenějších odběrných místech*

5.2.1.1 Varianta s rigolovací orbou

Statistické šetření ukázalo, že neexistuje statisticky významný vliv vzdálenosti od rostliny na obsah přístupného fosforu v půdě této varianty.

5.2.1.2 Varianta bez rigolovací orby s přihnojením

Statistické šetření ukázalo, že neexistuje statistický významný vliv vzdálenosti od rostliny na obsah přístupného fosforu v půdě ve vrstvách 0-30 cm a 60-90 cm.

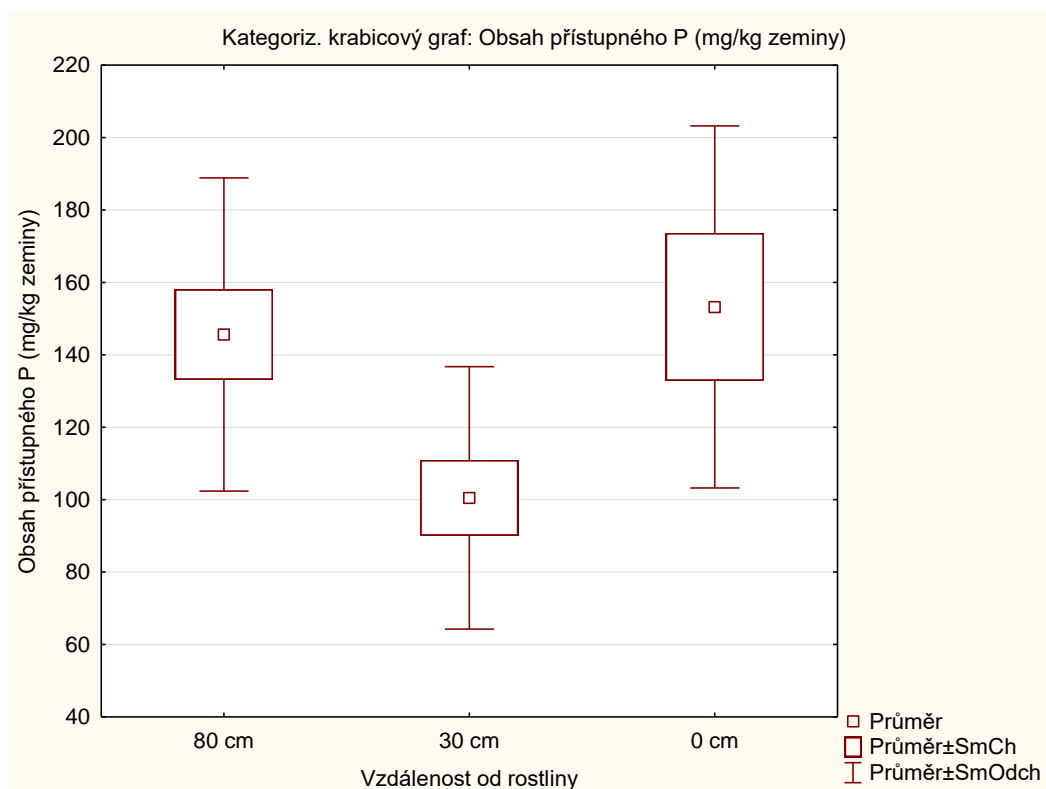
Ve vrstvě 30-60 cm se však vyskytuje statisticky významný rozdíl mezi vzdáleností 30 cm a 80 cm. V tomto páru p-hodnota dosahovala 0,045652, viz Tabulka 3.

Tabulka 3 - Scheffeho test, hloubka 30-60 cm, varianta bez rigolovací orby s přihnojením

Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Korigovaný obsah přepočítaný (mg/kg zeminy) hloubka 30-60 cm Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1759,8, sv = 27,000			
	Skupina (vzdálenost od rostliny)	1 145,61	2 100,50	3 153,23
1	80 cm		0,045625	0,936305
2	30 cm	0,045625		0,058477
3	0 cm	0,936305	0,058477	

Mezi vzdáleností 80 cm a 0 cm nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl, mezi vzdálenostmi taktéž nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl, p-hodnota se ale pohybuje mnohem blíže hladině statistické významnosti než pár 80 cm a 0 cm.

Graf 11 - Krabicový graf obsahu P vrstvy 30-60 cm varianty bez rigolovací orby



Jak ukazuje Graf 11, tak vzdálenost 30 cm od rostliny dosahuje nižších průměrných hodnot obsahu dostupného fosforu v půdě, konkrétně 100,5 mg/kg P. Vzdálenost 0 cm dosahuje hodnoty 145,5 mg/kg P, vzdálenost 80 cm potom dosahuje hodnoty 153 mg/kg P.

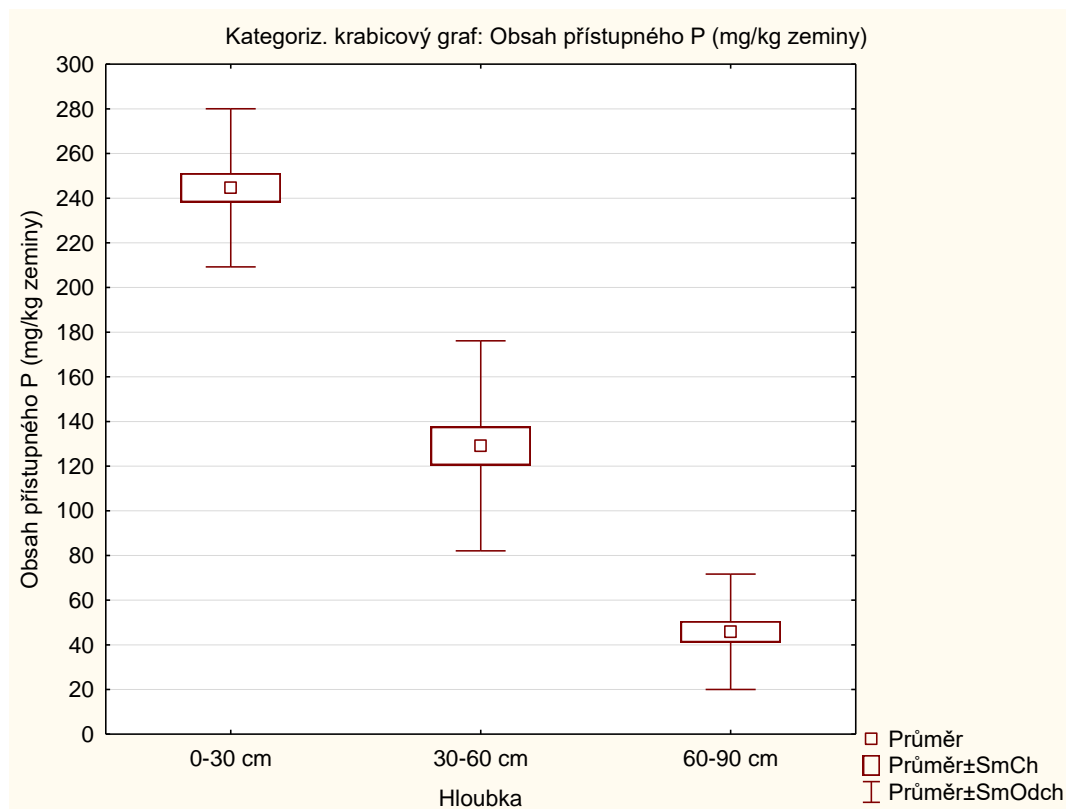
5.2.2 Hypotéza: Ve vrstvě 0-30 cm půdy varianty chmelnice založené bez rigolovací orby bude vyšší obsah fosforu než v ostatních horizontech ve stejné variantě

Tabulka 4 - Scheffeho test obsahu přijatelného fosforu ve variantě založené bez rigolovací orby

Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Obsah přístupného P (mg/kg zeminy) (vstup pro statisticu-use) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1376,8, sv = 87,000			
	Hloubka	1	2	3
		244,68	129,09	45,826
1	0-30 cm		0,000000	0,000000
2	30-60 cm	0,00		0,000000
3	60-90 cm	0,00	0,000000	

Statistické šetření ukázalo, že existují statisticky významné rozdíly, mezi všemi testovanými hloubkami odběru, viz Tabulka 4, kde se všechny p-hodnoty pohybovaly pod hodnotou $\alpha = 0,05$.

Graf 12 - Krabicový graf obsahu přístupného P podle hloubkových vrstev

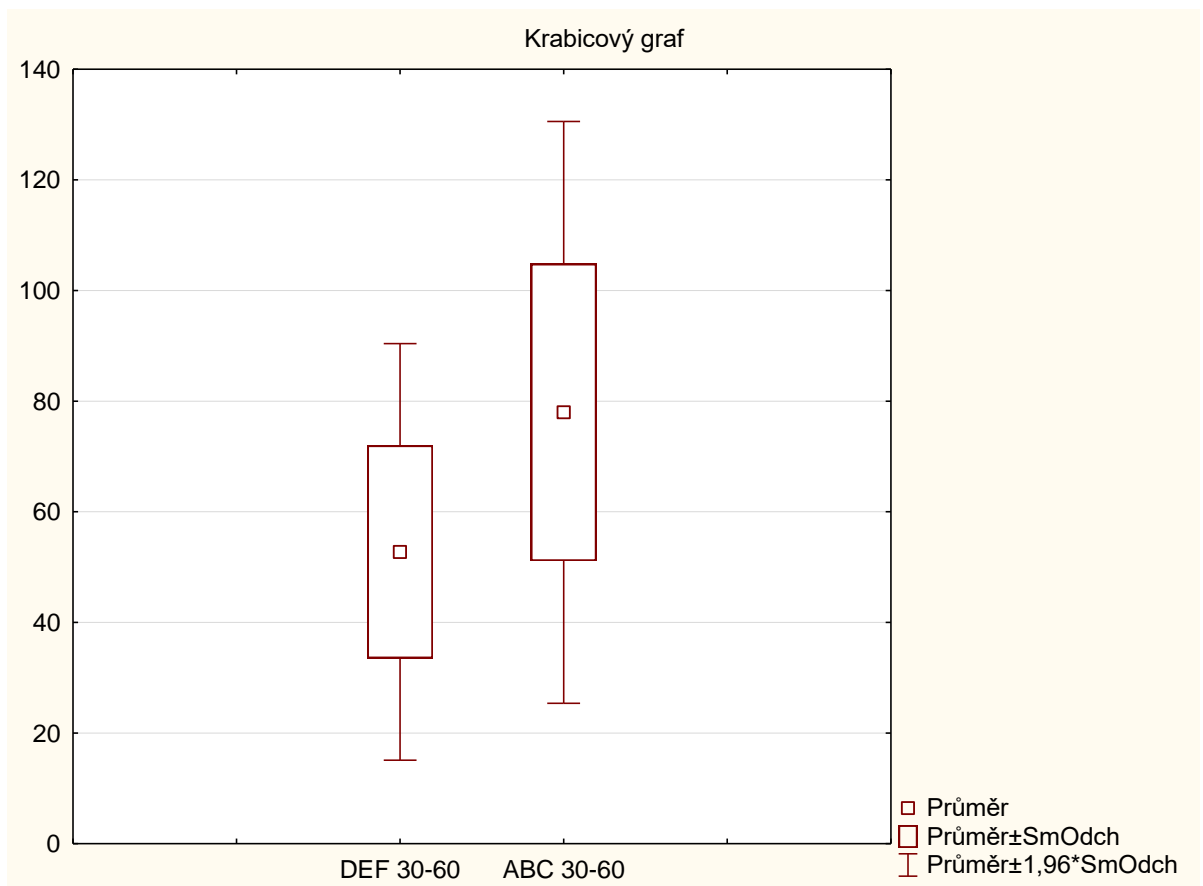


Jak znázorňuje Graf 12, obsah přijatelného fosforu se stoupající hloubkou klesal. Ve vrstvě 0-30 cm dosahoval obsah přijatelného fosforu průměrných hodnot 244,7 mg/kg P, ve vrstvě 30-60 cm potom dosahoval 129,1 mg/kg P, ve vrstvě 60-90 cm potom obsah přístupného P dosahoval hodnot 45,8 mg/kg P.

5.2.3 Hypotéza: Ve variantě chmelnice založené s rigolovací orbou bude v horizontu 30-60 cm vyšší obsah fosforu než ve stejné vrstvě ve variantě založené bez rigolovací orby

Statistické šetření ukázalo, že existuje statisticky významný rozdíl mezi relativními obsahy dostupného fosforu ve hloubce 30-60 cm mezi variantami s rigolovací orbou a variantou založenou bez rigolovací orby s hloubkovým přihnojením.

Obrázek 13 - Relativní obsahy dostupného fosforu varianty s rigolovací orbou (ABC) a bez rigolovací orby (DEF) ve vrstvě 30-60 cm hloubky, vyjádřeno v procentech průměrného obsahu dostupného fosforu ve vrstvě 0-30 cm hloubky každé varianty



Krabicový Graf 12 ukazuje, že průměr relativního obsahu fosforu pro variantu s rigolovací orbou byl 77,97 %. Pro variantu bez rigolovací orby je průměr na hodnotě 52,75 %. Ve variantě s rigolovací orbou se tedy obsah fosforu ve vrstvě 30-60 cm hloubky pohybuje mnohem blíže hodnotám vrstvy 0-30 cm hloubky.

5.2.4 Celkové testování rozložení fosforu

Tabulka 5 - Scheffeho test celkového relativního obsahu přijatelného P

Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Obsah P v % 0-30 (vstup pro statisticu-use - mimo hyp.)									
	Pravděpodobnosti pro post-hoc testy									
Chyba: meziskup. PČ = 367,00, sv = 189,00										
	Umístění	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ABC_0-30		0,014	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000
2	ABC_30-60	0,014		0,000	0,014	0,002	0,000	0,581	0,795	0,010
3	ABC_60-90	0,000	0,000		0,000	0,246	0,108	0,000	0,000	1,000
4	DEF_0-30	1,000	0,014	0,000		0,000	0,000	1,000	1,000	0,000
5	DEF_30-60	0,000	0,002	0,246	0,000		0,000	0,000	0,002	0,952
6	DEF_60-90	0,000	0,000	0,108	0,000	0,000		0,000	0,000	0,707
7	KNT_0-30	1,000	0,581	0,000	1,000	0,000	0,000		1,000	0,000
8	KNT_30-60	1,000	0,795	0,000	1,000	0,002	0,000	1,000		0,001
9	KNT_60-90	0,000	0,010	1,000	0,000	0,952	0,707	0,000	0,001	

Tabulka 5 uvádí výsledky metody ANOVA, kde byla zjišťována statisticky významná odlišnost mezi skupinami údajů, zde skupinami byly hloubky jednotlivých variant, kde ABC je varianta s rigolovací orbou (řádek, sloupec 1-3), DEF je varianta bez rigolovací orby s hloubkovým přihnojením (řádek, sloupec 4-6) a nakonec varianta kontrolní (řádek, sloupec 7-9). Obsahem skupin dat byly relativní hodnoty přístupného fosforu v půdě vztažené k průměrnému obsahu vrstvy 0-30 cm příslušné varianty.

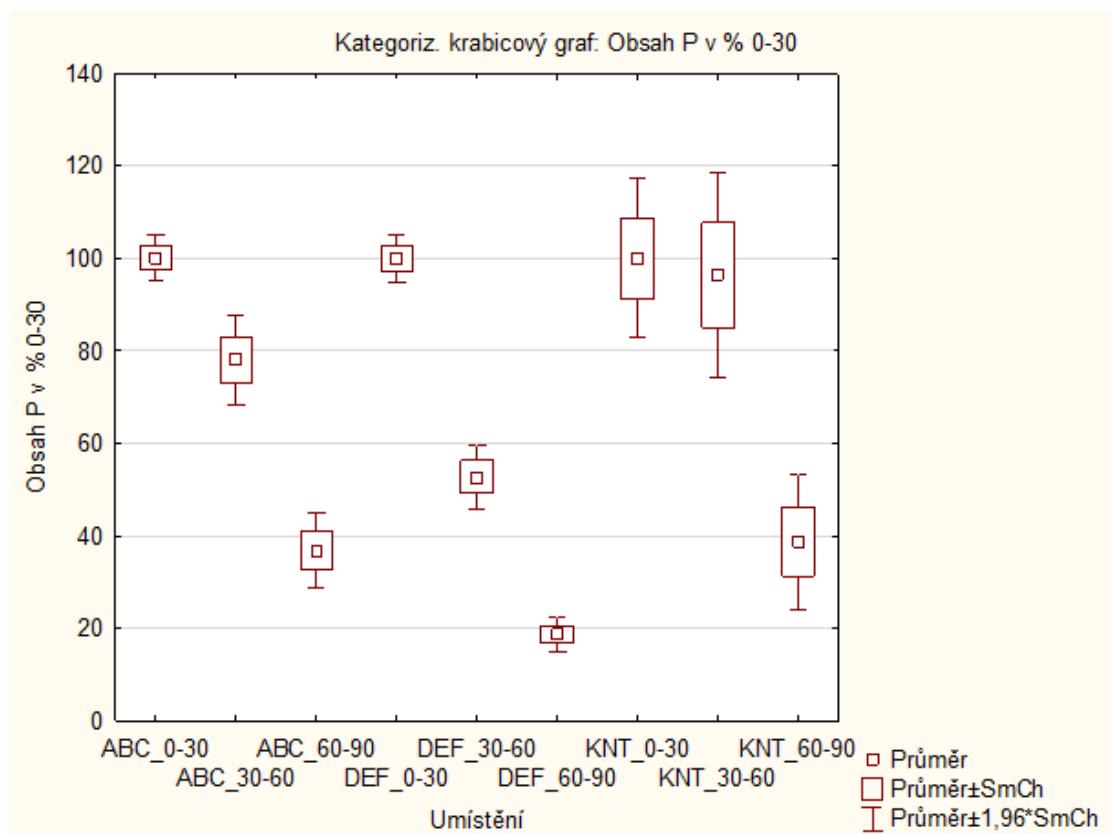
Červeně označené p-hodnoty pod 0,05 ukazují statisticky významný rozdíl mezi párem skupin. Černé p-hodnoty nad 0,05 ukazují páry, kde nebyl statisticky významný rozdíl zjištěn.

Vrstva 0-30 cm varianty s rigolovací orbou nevykazuje statisticky významný rozdíl s vrstvami 0-30 cm ostatních variant a potom s vrstvou 30-60 cm varianty kontrolní.

Vrstva 30-60 cm varianty s rigolovací orbou nevykazuje statisticky významný rozdíl pouze s vrstvami 0-30 cm a 30-60 cm varianty kontrolní. Vrstva 60-90 cm varianty s rigolovací orbou nevykazuje statisticky významný rozdíl s vrstvami 30-60 cm a 60-90 cm varianty bez rigolovací orby s přihnojením a poté s hloubkou 60-90 cm varianty kontrolní.

Vrstva 0-30 cm varianty bez rigolovací orby s přihnojením nevykazuje statisticky významné rozdíly s vrstvou 0-30 cm varianty s rigolovací orbou a s vrstvami 0-30 cm a 30-60 cm varianty kontrolní. Vrstva 30-60 cm varianty bez rigolovací orby nevykazuje statisticky významné rozdíly s vrstvou 60-90 cm varianty s rigolovací orbou. Poté nevykazuje statisticky významné rozdíly s vrstvou 60-90 cm varianty kontrolní. Vrstva 60-90 cm varianty bez rigolovací orby nevykazuje významné rozdíly oproti ostatním variantám stejné hloubky. Hloubka 0-30 cm varianty kontrolní nevykazuje rozdíly oproti hloubce 30-60 cm stejné varianty. Ostatní páry rozdílů byly již zmíněny výše.

Graf 13 - Krabicový graf relativních obsahů dostupného P v rámci hloubek a variant. (ABC - varianta s rigolovací orbou, DEF - varianta bez rigolovací orby s přihnojením, KNT - kontrola)



Graf 13 ukazuje relativní hodnoty přístupného fosforu v %, které byly vztaženy k průměru vrstvy 0-30 cm každé varianty. Jak je z grafu patrné, vrstvy 0-30 cm a 30-60 cm varianty kontrolní dosahují velmi podobných hodnot. Z grafu je dobře patrný i rozdíl mezi vrstvami 30-60 cm variant ABC a DEF, kde varianta s rigolovací orbou (ABC_30-60) je svými hodnotami blíže vrstvě 0-30 cm, zatímco varianta bez rigolovací orby s přihnojením svými hodnotami blíží vrstvě 60-90 cm ve své variantě.

6 Diskuze

6.1 Distribuce P vzhledem k hloubce

Průměrný obsah přístupného fosforu ve vrstvě 0-30 cm ve variantě bez rigolovací orby je 265,5 mg/kg. Průměrný obsah přístupného fosforu ve vrstvě 0-30 cm ve variantě s rigolovací orbou je 244,7 mg/kg. Poslední dokončené kolo AZZP pro okres Rakovnicko uvádí průměrný obsah pro chmelnice jako 272 mg/kg P, taktéž v extrakčním činidle Mehlich 3. Ovšem s rozdílem, že je vrchních 10 cm půdy při odběru odstraněno, odebírání se půda do hloubky 40 cm (ÚKZÚZ 2020). S přihlédnutím na rozdílnost metodik však lze říci, že se průměrný obsah fosforu ve vrchní vrstvě pohyboval pod okresním průměrem dle zkoušení AZZP.

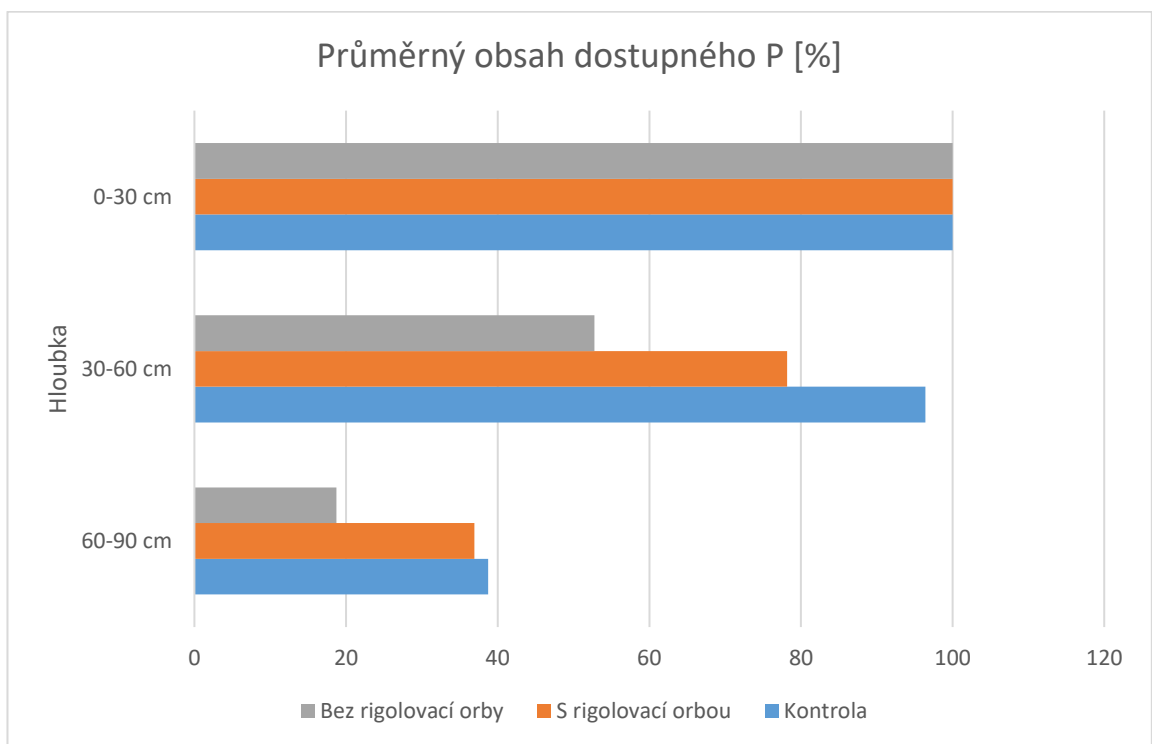
Výzkum provedený pro prostorové rozložení živin při různých systémech pěstování bavlny odhalil, že vrstva půdy 0-15 cm měla o 425 % větší obsah dostupného fosforu než vrstva 60-90 cm (Wright et al. 2007). Ve sledování provedém v této práci průměrný obsah vrstvy 0-30 cm vůči vrstvě 60-90 cm představoval pro variantu bez rigolovací orby 502 %, pro variantu s rigolovací orbou potom 270 %. Toto se jeví jako ukazatel pro silnější akumulaci fosforu ve variantě bez rigolovací orby ve vrstvě 0-30 cm oproti variantě s rigolovací orbou. Toto mohlo být způsobeno jednak promísením vrstev 0-30 cm a 30-60 cm, nebo přioráním vrstvy 60-90 cm tím pádem mohlo dojít k jejímu částečnému dosycení fosforem u varianty s rigolovací orbou. Toto může mít další důsledky na výživu rostlin fosforem, obzvláště s přihlédnutím, že ve svrchní vrstvě mohou dříve nastat podmínky sucha a ty mají za následek výrazně zhoršenou schopnost rostlin přijímat fosfor (He & Dijkstra 2014).

Celkově lze tedy říci, že největší akumulace fosforu byla dosažena ve vrstvě 0-30 cm v obou variantách mimo kontrolu, což je v souladu se zjištěními jiných autorů, kde byla zjištěna akumulace ve stejné vrstvě při zkoumání půdního profilu dánských zemědělských půd do 1 m hloubky (Rubæk et al. 2013).

Průměrný obsah P vrstvy 30-60 cm představoval pro variantu s rigolovací orbou 78 % vrstvy 0-30 cm. Pro variantu bez rigolovací orby představoval průměrný obsah P vrstvy 30-60 cm 53 %. Pro porovnání v polní produkci při různých osevních postupech při vysokém stupni hnojení (15 kg P/ha) bylo ve vrstvě 30-60 cm dosaženo pouze 21 % obsahu extrahovatelného P vrstvy 0-30 cm (Malhi et al. 2002). Toto vypovídá, že vrstva 30-60 cm v půdách s pěstováním chmele vykazuje vyšší obsahy dostupného fosforu nežli půdy polní produkce bez pěstování chmele. Další skutečnost, která je hodná pozornosti, je rozdíl mezi variantami, kde vrstva

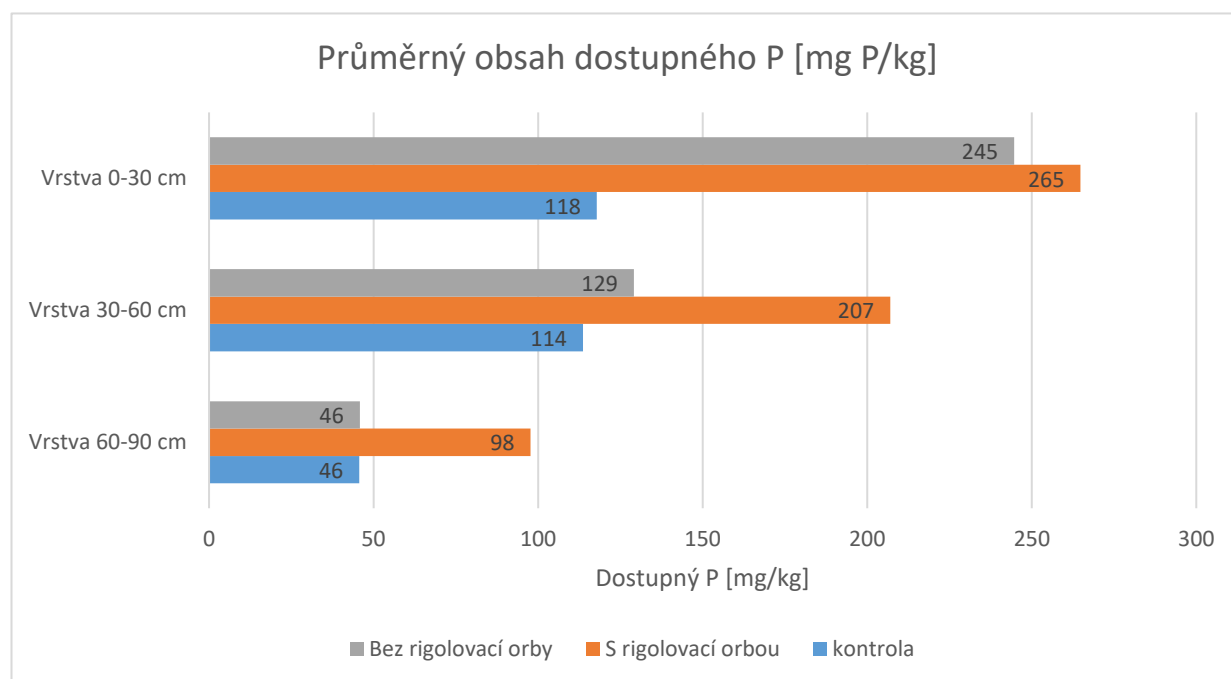
30-60 cm varianty s rigolovací orbou vykazuje hodnoty bližší vrstvě 0-30 cm své příslušné varianty nežli vrstva 30-60 cm ve variantě bez rigolování ke své vrstvě 0-30 cm. Tento jev lze vysvětlit schopností rigolovací orby zpracovat obě zmiňované vrstvy naráz a promísit je před zakládáním porostu. Údajem podporující tuto domněnku jsou i hodnoty kontrolní varianty, tedy pozemku připraveném pro výsadbu chmele, kde byly vzorky odebrány po rigolaci. V této variantě se vrstvy 0-30 cm a 30-60 cm silně podobají svým obsahem fosforu (100 a 96 %) viz Graf 13 a Graf 14. Lze tedy říci, že byla potvrzena hypotéza: Ve variantě chmelnice založené s rigolovací orbou bude v horizontu 30-60 cm vyšší obsah fosforu než ve stejné vrstvě ve variantě založené bez rigolovací orby.

Graf 14 - Průměrný obsah dostupného P jako procento průměrného obsahu vrstvy 0-30 cm každé varianty



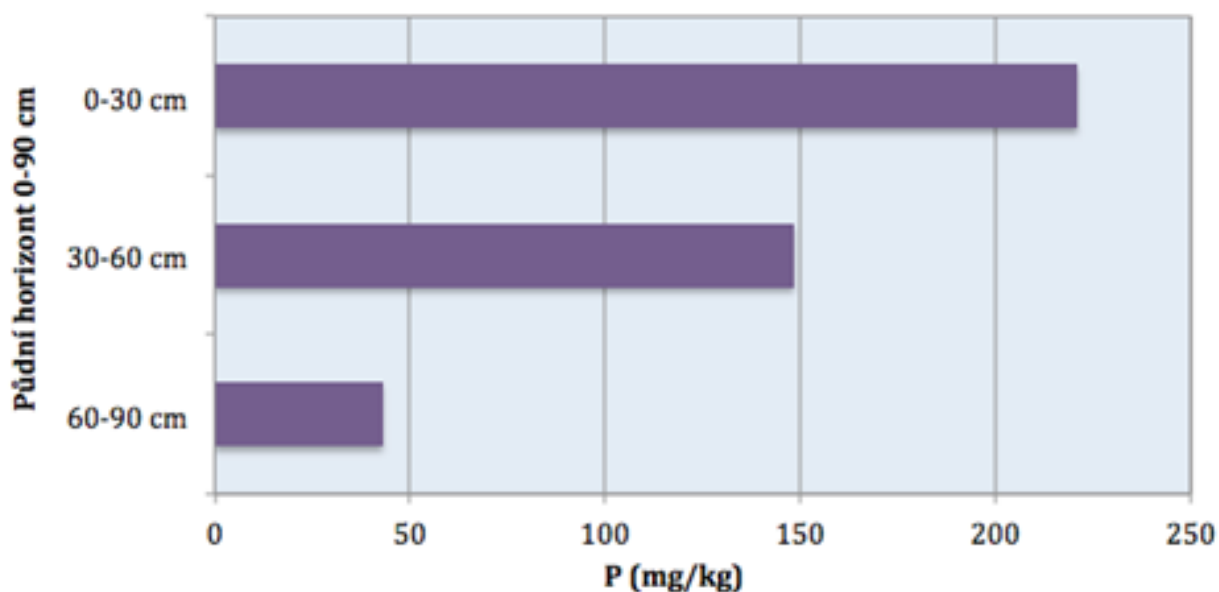
Průměrné hodnoty obsahu přijatelného fosforu v hloubce 60-90 cm znázorňuje Graf 15. Varianta kontrolní a varianta bez rigolovací orby nedosáhly průměrných hodnot nad 50 mg P/kg. Varianta s rigolovací orbou potom dosáhla průměrné hodnoty 97,7 mg P/kg. Nutno však podotknout, že statistické vyhodnocení nevykázalo žádné statisticky významné rozdíly. Toto mohlo vzniknout díky lokálně variabilní hloubce rigolovací orby, kde mohla lokálně zasáhnout do vrstvy 60-90 cm, nikoliv však stabilně.

Graf 15 - Obsah dostupného fosforu všech variant [mg P/kg]



Tyto hodnoty zjištěné podporuje i dřívější šetření hloubkového rozdělení dostupného fosforu v oblasti Chráščanska, kde bylo zjištěn průměrný obsah dostupného fosforu ve vrstvě 60-90 cm jako 47 mg P/kg (Klas 2015).

Graf 16- Obsah P (mg/kg) v hloubce 0-90 cm (Klas et al. 2017)



Lze tedy říci, že byla potvrzena hypotéza: Ve vrstvě 0-30 cm půdy varianty chmelnice založené bez rigolovací orby bude vyšší obsah fosforu než v ostatních horizontech ve stejné variantě.

6.1.1 Vliv rigolovací orby na změnu distribuce P vzhledem k hloubce

Výsledky ukázaly, že na distribuci fosforu mezi zkoumanými vrstvami mělo vliv použité zpracování půdy. Toto je nejvíce patrné v datech hloubky 30-60 cm, kde varianta založená bez hlubšího zpracování půdy (rigolace) vykazuje nižší hodnoty v této hloubce, než varianta založená s hlubším zpracováním půdy. Toto zjištění je v souladu s dlouhodobými pokusy provedenými v polní rostlinné výrobě, v tomto případě v porovnání systémů se zpracováním půdy a bez zpracování půdy, kde byl zjištěn zvýšený obsah Mehlich 3 dostupného fosforu ve vrstvě 5 až 10 cm pro variantu bez zpracování půdy a taktéž zvýšený obsah Mehlich 3 dostupného fosforu ve vrstvě 20-30 cm pro variantu se zpracováním půdy (Cade-Menun et al. 2010). Toto podporují i další zdroje z dlouhodobých experimentů, kde fosfor nepronikal hlouběji než půl metru po 100 letech hnojení při 33 kg P/ha a silně se akumuloval ve svrchních vrstvách, tento experiment probíhal při pěstování okopanin (Cooke & Williams 1973). Pozdější studie toto zjištění doplnily tvrzením, že mobilita, konkrétně ztráty vyplavováním skrze půdní profil jsou silně závislé na její struktuře a půdním druhu. Fosfor zde uniká ve zvýšeném množství i z půd s velkou sorpční schopností díky vytvoření linií preferenčních odtoků. Jiné půdy však byly svojí strukturou a sorpční schopností této ztrátě odolné a proplavené množství fosforu bylo minimální (Djordjic et al. 2004). Nutno však poznamenat, že akumulace P ve vrchní vrstvě je přítomná u obou systémů zpracování půdy, byť v jiném rozsahu (Holanda et al. 2008). Z tohoto lze vyvodit, že rigolovací orba způsobila promísení vrchních vrstev (0-60 cm) tak, že zmírnila akumulaci P ve vrchní vrstvě 0-30 cm a homogenizovala jí tak s vrstvou 30-60 cm. Toto podle jiných zdrojů mohlo mít za výsledek, kromě eliminace stratifikace, i větší odolnost zásob fosforu proti ztrátám (Sharpley 2003).

Mohla taktéž proběhnout interakce zapravení organických hnojiv použitých před orbou a jejich zapravení do větších hloubek, tato domněnka vyplývá z poznatků, že kombinace minerálních hnojiv a organických hnojiv má největší předpoklady pro zvýšení obsahu půdního fosforu (Elgodah et al. 2017).

Jak je tedy patrné z Graf 14 a Graf 16 rigolovací orba má silný vliv na změnu distribuce fosforu v půdách s pěstováním chmele, toto dokazuje velmi malý rozdíl vrstev 0-30 cm a 30-60 cm kontrolní varianty a taktéž jiné rozdělení fosforu mezi vrstvy ve variantě s rigolovací orbou. Zajímavý je i rozdíl distribuce fosforu ve vrstvách 0-30 cm a 30-60 cm ve variantě kontrolní a s rigolovací orbou. Varianta s rigolovací orbou totiž vykazuje zvýšené hodnoty distribuce ve vrstvě 0-30 cm. Toto může být vysvětleno několika způsoby. První možností je navýšení

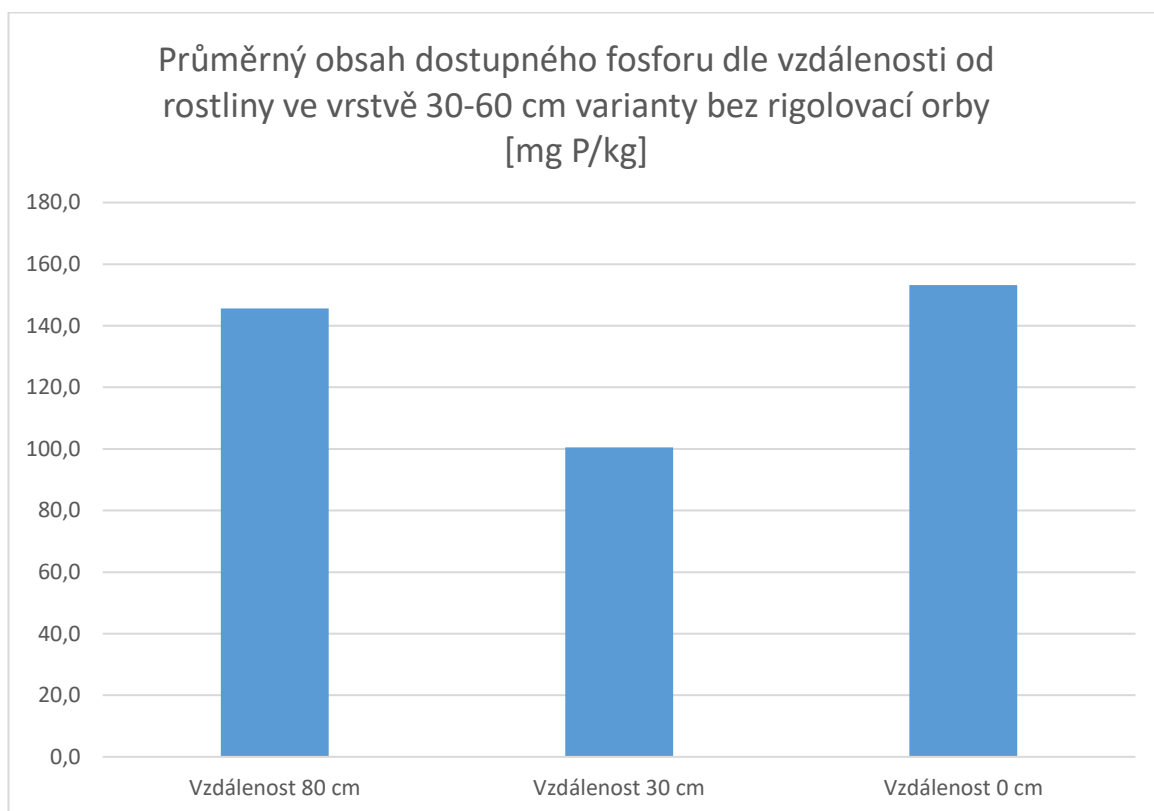
obsahu fosforu ve vrstvě 0-30 cm aplikací hnojiva s obsahem fosforu, tím by šlo vysvětlit obohacení vrstvy 0-30 cm na hodnoty zjištěné oproti distribuci v kontrole. Kromě hnojení před výsadbou však dosud na žádné produkční variantě nebylo fosforečné hnojení prováděno vzhledem k dostatečným hladinám vzhledem k zásobnímu hnojení před výsadbou porostu.

Druhá možnost je nerovnoměrnost odběru fosforu rostlinou v rámci půdního profilu 0-60 cm hloubky. Rostlina by musela preferenčně odebírat z vrstvy 30-60 cm hloubky nežli z vrstvy 0-30 cm. Obdobné chování, kdy rostliny sóji poskytly nejvyšší výnos za stresu suchem z hnojiva uloženého do hloubky (v tomto případě 20 cm), než z povrchového hnojení, již bylo pozorováno (Hansel et al. 2017). Kořenový systém do těchto hloubek zasahuje a je v nich aktivní, jak ukázaly výzkumy prostorového rozmístění kořenů chmele (Brant et al. 2016). Další výzkumy ukazují, že je příjem fosforu rostlinou ve velké míře pozorován i v 60 cm hloubky a ve vzdálenosti 80 cm od rostliny dokonce hloubkový příjem (60 cm) převyšuje ten povrchový (15 cm) (Štranc 2008).

6.2 Distribuce P vzhledem ke vzdálenosti od rostliny

Statistické šetření neukázalo statisticky významný rozdíl v obsahu fosforu vzhledem ke vzdálenosti od rostliny v žádné hloubce a variantě krom případu hloubky 30-60 cm varianty bez rigolovací orby s hloubkovým přihnojením. Obsah P ve vzdálenosti 30 cm od rostliny je statisticky významně menší než ve vzdálenosti 80 cm a rozdíl se vzdáleností 0 cm je na hraně statistické významnosti.

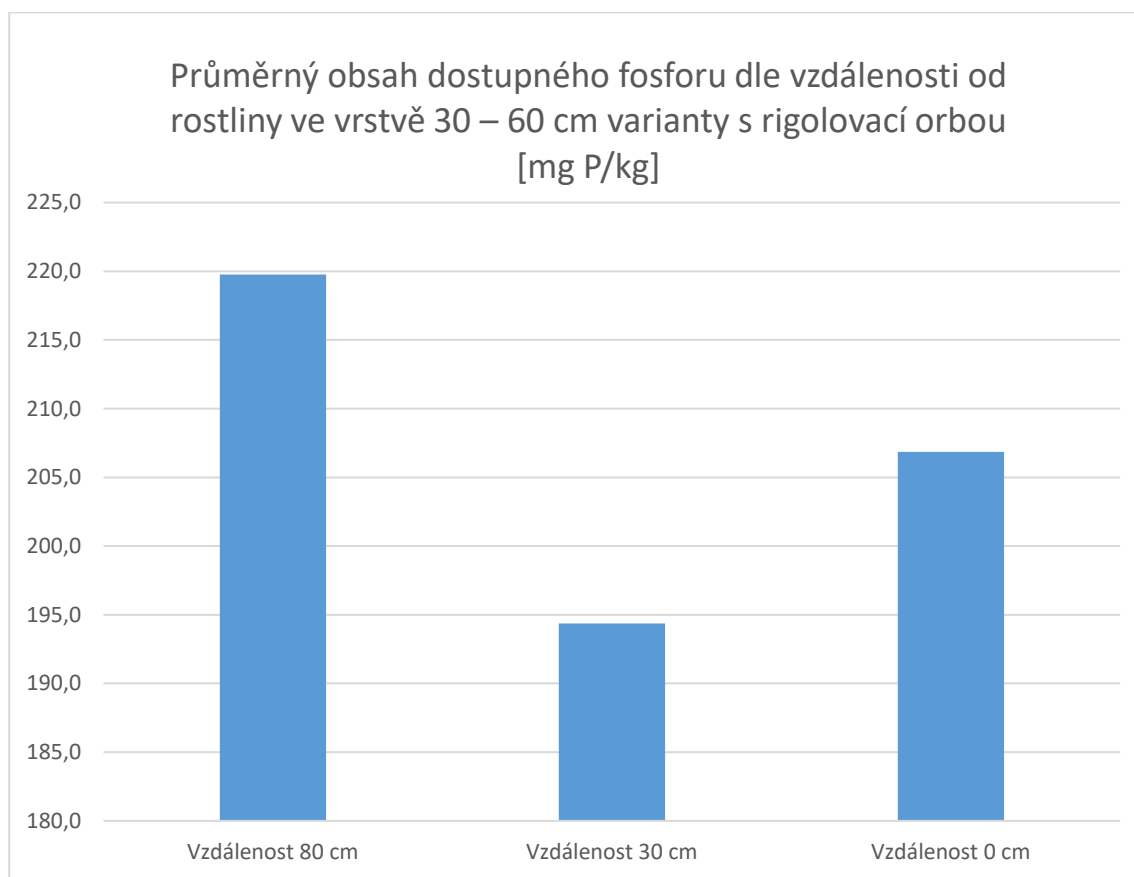
Graf 17 - Průměrný obsah dostupného fosforu dle vzdálenosti od rostliny ve vrstvě 30-60 cm varianty bez rigolovací orby [mg P/kg]



Při diskutování výsledků obsahu fosforu vzhledem ke vzdálenosti od rostliny by měla být zmíněna anomálie řezu B, tedy varianty s rigolovací orbou, v souřadnici +80, 30-60 cm. Obsah dostupného fosforu se zde výrazně zvýšil nad hodnoty obvyklé pro tuto hloubku a převýšil i hodnoty vrstvy 0-30 cm, dosáhl hodnoty 442,9 mg P/kg, což představuje nárůst o 253 % oproti průměru ostatních hodnot. Tato anomálie mohla být způsobena chybou odběru, kdy mohla být odebrána spolu se zeminou i částečně rozpuštěná granule hnojiva. Vzhledem tomu, že nelze vyloučit to, že se tento obsah v této souřadnici skutečně nachází a směrodatný opakovaný odběr nelze provést vzhledem ke vlivu obhospodařování pozemku mezi odběry, nebyla hodnota vyřazena a byla použita ve statistickém šetření a všech výsledcích.

Výsledky varianty s rigolovací orbou ve stejné hloubce jsou zobrazeny v Graf 18. Je zde taktéž patrný rozdíl mezi vzdálenostmi, je však nutné na tento rozdíl v průměrech nahlížet s vědomím, že nebyly prokázány statisticky významné rozdíly.

Graf 18 - Průměrný obsah dostupného fosforu dle vzdálenosti od rostliny ve vrstvě 30-60 cm varianty s rigolovací orbou [mg P/kg]



Tuto nízkou hodnotu v souřadnici lze vysvětlit zvýšeným odběrem rostliny v této hloubce a vzdálenosti. Toto se částečně shoduje se zjištěními jiných autorů, kteří uvádí, že odběr fosforu velmi intenzivně probíhá i ve hloubce 60 cm a ve vzdálenosti 80 cm od rostliny a hloubce 60 cm převyšuje povrchový odběr (Štranc 2008). Zde však byl pozorován zdánlivě zvýšený odběr ve vzdálenosti 30 cm od rostliny. Do vysvětlení této ochuzené zóny však vstupuje i dříve provedené uložení fosforečného hnojiva na této variantě do zmíněné hloubky, proto bude toto zjištění dále diskutováno s vlivem hloubkového uložení hnojiva v kapitole 6.3.1. Lze však konstatovat že hypotéza: „Obsah fosforu v půdě v odběrném místě nejbližší rostlině bude nižší než ve vzdálenějších odběrných místech“ byla vyvrácena.

6.3 Ukládání hnojiva

6.3.1 Vliv hloubkového uložení hnojiva na zjištěný stav

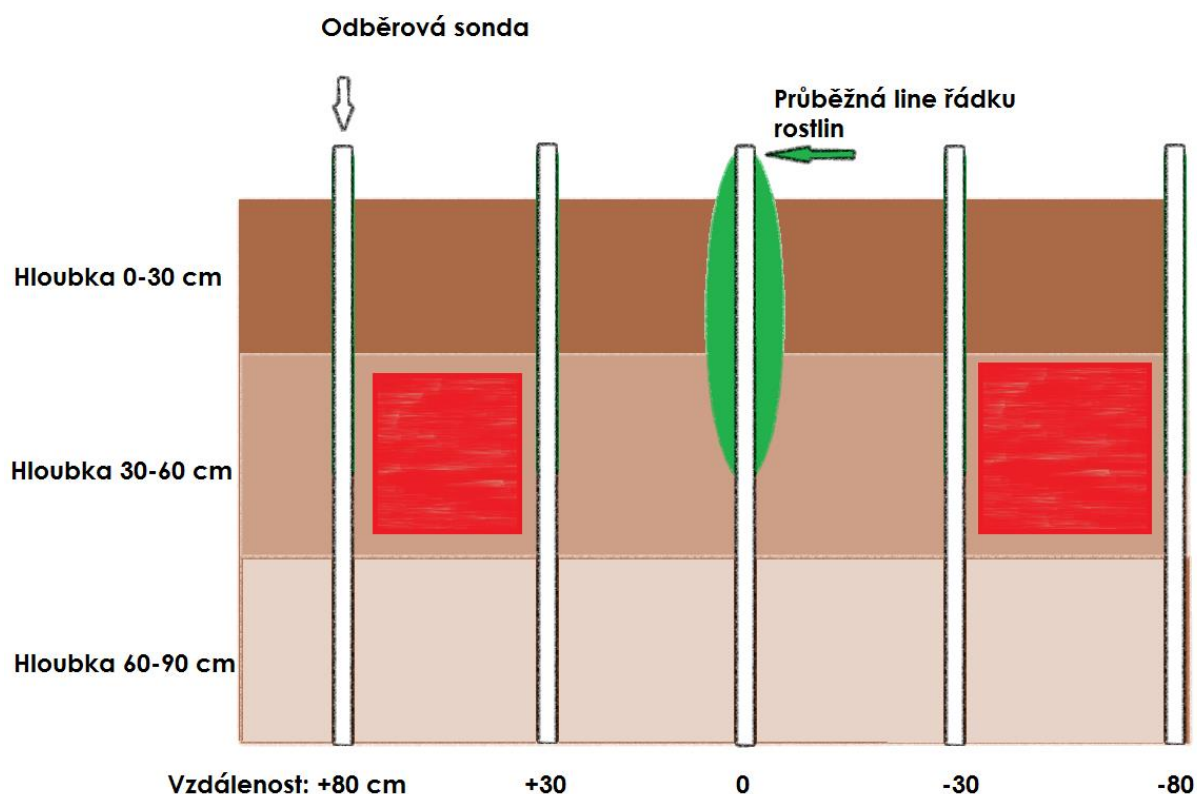
Odborná literatura uvádí, že pro výnos 1,5 t suchých hlávek a 3,85t ostatní sušiny z hektaru je potřeba 20 kg P/ha, tedy 13,3 kg P/ha/t suchých hlávek (Rybáček 1980). Novější zdroje hovoří o potřebě 17 kg P/ha/t suchých hlávek (Vavera et al. 2017). Průměrný výnos odrůdy pěstované

na této variantě dosahoval v oblasti Žatecka 1,24 t/ha (Altová 2020). Lze tedy konstatovat, že by se podle zdrojů normativního odběru mělo odebrat z pěstované parcely 33 až 42 kg P/ha. Z tohoto lze vyvodit, že ani za předpokladu, že by rostlina chmele využívala pouze živiny dodané hloubkovým uložením hnojiva, tak by nespotřebovala všechny živiny dodané hloubkovým uložením. Souprava ukládala vzhledem k nerovnosti dráhy pojezdu hnojivo do vzdálenosti od 50 cm od řádku rostlin řádku do vzdálenosti 70 cm od rostliny.

Z pokusů při pásovém uložení hnojiva vyplývá, že umístění pásu hnojiva mělo významný vliv na obsah dostupného fosforu až do hloubky 30 cm až 45 cm, a to ve vzdálenosti 30 cm od řádku hnojiva (Rehm et al. 1995). Z tohoto lze vyvodit, že by měl být stále efekt uložení patrný. Na zjištěných hodnotách však není patrné žádné průkazné navýšení obsahu dostupného P ve vzdálenosti 80 cm ani 30 cm. Ostatní zdroje uvádí, že po použití technologie páskového uložení hnojiva byla koncentrace nejvyšší v odstupu 12 měsíců od aplikace a 18 měsíců po aplikaci byly zaznamenány hodnoty v místě pásu stále nadnormální (Stecker et al. 2001).

První možné vysvětlení zjištěných hodnot je scénář, kde by se většina aplikovaného fosforu vyskytla blíže sondě 80 cm vzdálenosti. Tímto by zvýšila původní hodnotu na hodnotu zjištěnou v práci, tomu však nenasvědčují odběry provedené ve variantě s rigolovací orbou. U varianty s rigolovací orbou lze předpokládat, že by se v půdě promísené rigolovací orbou odběr rostlinami projevil. Žádné větší snížení hodnoty dostupného P ve vzdálenosti 80 cm však zjištěno nebylo. Druhá varianta vysvětlení je uložení hnojiva spíše blíže sondě 30 cm vzdálené od rostliny. Zde přichází v úvahu, že by toto hloubkové uložení hnojiva navýšilo částečně hodnoty v sondě vzdálené 30 cm od rostliny, které by bez této operace byly nižší. Taktéž je možné, že navýšení obsahu dostupného P bylo rozmělněno do prostoru mezi sondy 30 cm a 80 cm vzdálené a v sondě 30 cm vzdálené se projevilo pouze částečně. Možný výskyt pásu hnojiva je znázorněn v Obrázek 14.

Obrázek 14 - Schéma možného výskytu pásku hnojiva, vyznačeno červenými čtverci



Na příjem P ze spodních vrstev mohlo mít i vliv i samotné podryvání. Zdroje uvádí, že, podryvání, obzvláště u hluboce kořenících rostlin může mít za výsledek zlepšení příjmu fosforu rostlinou z těchto vrstev a využití takzvaného zděděného (v originále: „legacy“) fosforu, který by jinak zůstal nevyužitý (Rowe et al. 2016). Výskytu oblasti se sníženým obsahem dostupného P napovídají i průměrné hodnoty ze stejné hloubky druhé varianty, tedy s rigolovací orbou, kde lze předpokládat, že byly hodnoty při založení porostu v této hloubce homogenní viz Graf 18, byť nutno brát v potaz, že pozorovaný rozdíl v průměrech není statisticky průkazný. Z tohoto lze vyvodit, že použití technologie hnojiva by nezpůsobilo zjištěné snížené hodnoty ve vzdálenosti 30 cm a tím pádem je možné vysvětlení takové, že existuje preference pro odběr fosforu z půdy rostlinou v hloubce 30–60 cm a okolo 30 cm vzdálenosti od středu řádku rostlin.

7 Závěry

1. Statistické šetření ukázalo, že neexistuje statisticky významný vliv kolmé vzdálenosti od řádků rostlin chmele na obsah fosforu extrahovatelného extrakčním činidlem Mehlich 3 ve variantě s rigolovací orbou. Obsah dostupného fosforu nejbližší rostlině se tedy statisticky významně nelišil od jiných zkoumaných bodů vzdálenějších od rostliny. Statisticky významný rozdíl byl prokázán pouze ve variantě bez rigolovací orby. Zde se ve hloubce 30-60 cm souřadnice 30 cm vzdálená od řádku rostlin statisticky významně lišila svou nižší hodnotou od souřadnice 80 cm vzdálené od řádku rostlin. Rozdíl mezi souřadnicemi 0 cm a 30 cm od řádku, kde byla hodnota v 30 cm nižší, nebyl statisticky průkazný, pohyboval se však blízko hranici statistické významnosti.

2. Vrstva půdy do hloubky 0-30 cm ve variantě bez rigolovací orby vykazovala vyšší obsahy dostupného fosforu než vrstvy půdy 30-60 cm a 60-90 cm. Vrstva do hloubky 60-90 cm měla nejnižší obsahy dostupného fosforu. Mezi všemi třemi vrstvami byly prokázány statisticky významné rozdíly.

3. Ve variantě chmelnice založené s rigolovací orbou bude v horizontu 30-60 cm vyšší obsah fosforu než ve stejné vrstvě ve variantě založené bez rigolovací orby. Při porovnávání relativních obsahů dostupného fosforu bylo zjištěno, že existuje statisticky významný rozdíl mezi relativními obsahy dostupného fosforu v hloubce 30-60 cm. Varianta, kde byla provedena rigolovací orba vykazovala vyšší relativní obsah fosforu v této vrstvě než varianta bez rigolovací orby s hloubkovým přihnojením. Rozdíl byl zkoumán v relativních jednotkách, kde 100 % je roven průměru získaných hodnot dostupného fosforu ve vrstvě 0-30 cm ve zkoumané lokalitě, tento postup byl zvolen kvůli eliminaci půdních rozdílů mezi lokalitami.

4. Bylo zjištěno, že rigolovací orba před založením porostu chmele silně ovlivňuje charakteristiky rozložení fosforu v půdě takové lokality. Tato změna distribuce je patrná i několik let po tomto zásahu, kde během této doby již probíhalo produkční pěstování chmele.

Další výzkum by bylo vhodné zaměřit na to, jak změna distribuce fosforu způsobená rigolovací orbou ovlivňuje následné výnosové parametry chmele, který je na takové lokalitě pěstován, obzvláště ve srovnání s lokalitou, kde tato agrotechnická operace provedena nebyla.

8 Literatura

Altová M. 2020. Situační a výhledová zpráva: Chmel, Pivo. 1. Ministerstvo zemědělství, Praha.

Anderson G. 1980. Assessing Organic Phosphorus in Soils. The Role of Phosphorus in Agriculture:411-431. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. Available from <http://doi.wiley.com/10.2134/1980.roleofphosphorus.c16>.

Benbi D, Gilkes R. 1987. The movement into soil of P from superphosphate grains and its availability to plants. *Fertilizer Research* **vol. 12**:21-36. Available from <http://link.springer.com/10.1007/BF01049418>.

Blake L, Mercik S, Koerschens M, Moskal S, Poulton P, Goulding K, Weigel A, Powlson D. 2000. Phosphorus content in soil, uptake by plants and balance in three European long-term field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **vol. 56**:263-275. Available from <http://link.springer.com/10.1023/A:1009841603931>.

Brant V, Kroulík M, Krofta K, Zábanský P, Procházka P, Pokorný J, Chyba J. 2016. Prostorové rozmístění kořenového systému chmele v půdě. *Chmelařství* **89**:42-46.

Bünemann E, Heenan D, Marschner P, McNeill A. 2006. Long-term effects of crop rotation, stubble management and tillage on soil phosphorus dynamics. *Soil Research* **vol. 44**:611 - 618. Available from <http://www.publish.csiro.au/?paper=SR05188>.

Cade-Menun B, Carter M, James D, Liu C. 2010. Phosphorus Forms and Chemistry in the Soil Profile under Long-Term Conservation Tillage: A Phosphorus-31 Nuclear Magnetic Resonance Study. *Journal of Environmental Quality* **vol. 39**:1647-1656. Available from <http://doi.wiley.com/10.2134/jeq2009.0491>.

Calegari A, Tiecher T, Hargrove W, Ralisch R, Tessier D, de Tourdonnet S, Guimarães M, dos Santos D. 2013. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research* **vol. 133**:32-39. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198713000974>.

Cooke G, Williams R. 1970. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural land. *Water Treatment Examination* **19**:253-276. In Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. edition. Profi Press, Praha.

Cooke G, Williams R. 1973. Significance of man-made sources of phosphorus: Fertilizers and farming. The phosphorus involved in agricultural systems and possibilities of its movement into natural water. *Water Research* **vol. 7**:19-33. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0043135473901504>.

Crews T, Brookes P. 2014. Changes in soil phosphorus forms through time in perennial versus annual agroecosystems. *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT* **184**:168-181.

Devau N, Hinsinger P, Le Cadre E, Colomb B, Gérard F. 2011. Fertilization and pH effects on processes and mechanisms controlling dissolved inorganic phosphorus in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **vol. 75**:2980-2996. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016703711001141>.

Djordjic F, Börling K, Bergström L. 2004. Phosphorus Leaching in Relation to Soil Type and Soil Phosphorus Content. *Journal of Environmental Quality* **vol. 33**:678-684. Available from <http://doi.wiley.com/10.2134/jeq2004.6780>.

Eghball B. 2007. Leaching of Phosphorus Fractions Following Manure or Compost Application. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **vol. 34**:2803-2815. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/CSS-120025207>.

Elgodah A, Syed A, Mingkui Z. 2017. Effects of fertilization on phosphorus distribution in water-stable aggregates of soils with different properties. *Toxicological & Environmental Chemistry* **vol. 99**:32-47.

Gérard F. 2016. Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate sorption in soils — A myth revisited. *Geoderma* **vol. 262**:213-226. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706115300653>.

Hansel F, Amado T, Ruiz Diaz D, Rosso L, Nicoloso F, Schorr M. 2017. Phosphorus Fertilizer Placement and Tillage Affect Soybean Root Growth and Drought Tolerance. *Agronomy Journal* **vol. 109**. Available from <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/109/6/2936>.

He M, Dijkstra F. 2014. Drought effect on plant nitrogen and phosphorus: a meta-analysis. *New Phytologist* **vol. 204**:924-931. Available from <http://doi.wiley.com/10.1111/nph.12952>.

Holanda F, Mengel D, Paula M, Carvaho J, Bertoni J. 2008. Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **vol. 29**:2383-2394. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103629809370118>.

K. Ghosal P, Chakraborty T. 2012. Comparative Solubility Study of Four Phosphatic Fertilizers in Different Solvents and the Effect of Soil. *Resources and Environment* **vol. 2**:175-179. Available from <http://article.sapub.org/10.5923.j.re.20120204.07.html>.

Klas M. 2015. Agrochemické vlastnosti půd chmelnic (pH, obsah Ca, P, K, Mg, S, organického uhlíku a poměru K/Mg) v závislosti na půdních horizontech v hloubkách 0-90 cm (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) Více zde: <https://www.zsch.cz/news/agrochemicke-vlastnosti-pud-chmelnic-ph-obsah-ca-p-k-mg-s-organickeho-uhliku-a-pomeru-k-mg-v-zavislosti-na-pudnich-horizontech-v-hloubkach-0-90-cm-0-30-cm-30-60-cm-60-90-cm/>. *Chmelařství* **2015**:11-16.

Klas M, Klas M, Klas Š, Klasová M. 2017. Výsadba chmele: Agrochemie, kořeny, značkování, vrtnání. Zemědělská společnost Chrástany, Chrástany. Available from <https://www.zsch.cz/news/vysadba-chmele-agrochemie-koreny-znackovani-vrtani/> (accessed 2019-02-06).

Klas Š. 2019. Vliv hnojení na výnos chmele [Bc. Thesis]. Česká zemědělská univerzita, Praha.

Lal R, Stewart B. 2016. Soil Phosphorus. 1st Edition. CRC Press, Boca Raton.

Malhi S, Brandt S, Ulrich D, Lemke R, Gill K. 2002. Accumulation and distribution of nitrate–nitrogen and extractable phosphorus in the soil profile under various alternative cropping systems. *Journal of Plant Nutrition* **vol. 25**:2499-2520. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/PLN-120014709>.

McLaughlin M, McBeath T, Smernik R, Stacey S, Ajiboye B, Guppy C. 2011. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils—implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. *Plant and Soil* **vol. 349**:69-87. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s11104-011-0907-7>.

Mia B. 2015. Nutrition of Crop Plants. 1st. Nova Science Publishers, Incorporated, Hauppauge.

Penn C, Camberato J. 2019. A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants. *Agriculture* **vol. 9**:120. Available from <https://www.mdpi.com/2077-0472/9/6/120>.

Pulkrábek J, Urban J, Jedličková M, Dvořák P. 2016. The effect of depth of fertilizer deposition in combination with deep chisel ploughing on sugar beet production. *Listy cukrovarnické a reparské* **132**:294-299. Výzkumný ústav cukrovarnický a.s., Praha.

Rehm G, Scobbie A, Randall G, Vetsch J. 1995. Impact of Fertilizer Placement and Tillage System on Phosphorus Distribution in Soil. *Soil Science Society of America Journal* **vol. 59**:1661-1665. Available from <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj1995.03615995005900060022x>.

Richardson A, Simpson R. 2011. Soil Microorganisms Mediating Phosphorus Availability Update on Microbial Phosphorus. *Plant Physiology* **vol. 156**:989-996. Available from <http://www.plantphysiol.org/lookup/doi/10.1104/pp.111.175448>.

Rowe H et al. 2016. Integrating legacy soil phosphorus into sustainable nutrient management strategies for future food, bioenergy and water security. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **vol. 104**:393-412. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s10705-015-9726-1>.

Rubæk G, Kristensen K, Olesen S, Østergaard H, Heckrath G. 2013. Phosphorus accumulation and spatial distribution in agricultural soils in Denmark. *Geoderma* **2013**:241-250. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001670611300222X>.

- Rybáček V. 1980. Chmelařství. 1. vyd. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Sharpley A. 2003. Soil Mixing to Decrease Surface Stratification of Phosphorus in Manured Soils. *Journal of Environment Quality* **vol. 32**:1375–1384. Available from <https://www.agronomy.org/publications/jeq/abstracts/32/4/1375>.
- Sharpley A, Smith S, Bain W. 1993. Nitrogen and Phosphorus Fate from Long-Term Poultry Litter Applications to Oklahoma Soils. *Soil Science Society of America Journal* **vol. 57**:1131-1137. Available from <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj1993.03615995005700040041x>.
- Schröder J, Smit A, Cordell D, Rosemarin A. 2011. Improved phosphorus use efficiency in agriculture: A key requirement for its sustainable use. *Chemosphere* **vol. 84**:822-831. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653511001056>.
- Schütz L, Gattinger A, Meier M, Müller A, Boller T, Mäder P, Mathimaran N. 2018. Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. *Frontiers in Plant Science* **vol. 8**:2204. Available from <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2017.02204/full>.
- Simpson R, Oberson A, Culvenor A, Ryan H, Veneklaas J, Lambers H, Lynch P, Ryan R, Delhaize E, Smith A, Smith E, Harvey R, Richardson E. 2011. Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. *Plant and Soil* **vol. 349**:89-120. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s11104-011-0880-1>.
- Stecker J, Brown J, Kitchen N. 2001. Residual Phosphorus Distribution and Sorption in Starter Fertilizer Bands Applied in No-Till Culture. *Soil Science Society of America Journal* **vol. 65**:1173-1183. Available from <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2001.6541173x>.
- Štranc J, Štranc D, Erhartová D, Štranc P. 2011. Results of Experiments with Hop Seedlings Fertilization in 2010. Pages 175-182 in *Osivo a sadba: sborník referátů 10. odborného a vědeckého semináře*. 10. vydání. Česká zemědělská univerzita, katedra rostlinné výroby, Praha.
- Štranc P. 2008. *Zpracování půdy ve chmelnicích*. 1.vyd. Kurent, Praha [i.e. České Budějovice].
- Talboys P, Heppell J, Roose T, Healey J, Jones D, Withers P. 2016. Struvite: a slow-release fertiliser for sustainable phosphorus management?. *Plant and Soil* **vol. 401**:109-123. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s11104-015-2747-3>.
- ÚKZÚZ . 2020. *Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2014 - 2019: Příloha č. 1 Základní živiny. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Praha*. Available from http://eagri.cz/public/web/file/657651/_1_priloha.pdf (accessed 2021-02-16).
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. edition. Profi Press, Praha.

Vavera R, Křivánek J, Pechová M. 2017. Výživa a hnojení produkčních chmelnic. 1. vyd. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.

Veneklaas E et al. 2012. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New Phytologist* **vol. 195**:306-320. Available from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1469-8137.2012.04190.x>.

Wang Y, Lambers H. 2020. Root-released organic anions in response to low phosphorus availability: recent progress, challenges and future perspectives. *Plant and Soil* **vol. 447**:135-156. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s11104-019-03972-8>.

Wright A, Hons F, Lemon R, McFarland M, Nichols R. 2007. Stratification of nutrients in soil for different tillage regimes and cotton rotations. *Soil and Tillage Research* **vol. 96**:19-27. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198707000530>.

Yang X, Chen X, Yang X. 2019. Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. *Soil and Tillage Research* **vol. 187**:85-91. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198718304367>.

Ye Y, Ngo H, Guo W, Liu Y, Li J, Liu Y, Zhang X, Jia H. 2017. Insight into chemical phosphate recovery from municipal wastewater. *Science of The Total Environment* **vol. 576**:159-171. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969716322446>.