

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Možnosti stanovení přístupného fosforu v půdě pro pšenici
ozimou**

Bakalářská práce

Autor práce: Miroslava Brodská

Obor studia: Pěstování rostlin

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Možnosti stanovení přístupného fosforu v půdě pro pšenici ozimou" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 23. 4. 2021

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé práce doc. Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za jeho ochotu, trpělivost, čas a zkušenosti, které mi předával po celou dobu spolupráce. Také bych chtěla poděkovat za velkou podporu během celého studia své rodině, která při mně vždy stála. V neposlední řadě, moje velké poděkování patří všem v mém okolí, co mi ve studiu důvěřovali.

Možnosti stanovení přístupného fosforu v půdě pro pšenici ozimou

Souhrn

Pšenice ozimá (*Triticum aestivum*) je nejpěstovanější a nejvýznamnější plodinou v ČR. Pro tuto plodinu je důležitý dostatek fosforu, kde se jeho největší množství nachází v zrnu. V rostlinách plní zásobní a stavební funkci, a také je přenašečem energie. Hnojení fosforem je však v současné době na většině území ČR silně podceňováno. Zatím navíc téměř chybí studie zaměřené na srovnání výsledků různých analytických metod s obsahy fosforu v rostlinách. Není tedy zřejmé, jestli metoda Mehlich 3 (používaná pro stanovení přístupného P v ČR) stanoví rostlinám skutečně přístupný fosfor.

Cílem této bakalářské práce bylo na základě vztahů mezi metodami užívanými pro stanovení přístupného fosforu v půdě a obsahy fosforu v nadzemní hmotě rostlin určit nejvhodnější metodu pro stanovení skutečně dostupného fosforu pro pšenici ozimou.

V letech 2015-2018 byly odebrány po ČR vzorky ornice (0-30 cm) a nadzemní biomasy ozimé pšenice ve dvou vegetačních fázích (BBCH 30-32; 65-69). Celkem tak byly shromážděny vzorky ze 105 stanovišť. Jednalo se o široké spektrum půd s rozdílnými vlastnostmi, lišící se zejména v hodnotě pH a obsahu fosforu. Vzorky byly následně rozděleny dle hodnoty pH na soubor karbonátových (pH do 6,99) a nekarbonátových (pH nad 7,00). Pro analýzy fosforu byly použity následující metody: vodný výluh, aniontové výměnné membrány (AEM) a Mehlich 3.

Z výsledků korelační i regresní analýzy je zřejmé, že metoda Mehlich 3 těsně koreluje s dalšími metodami používanými pro stanovení přístupného fosforu v půdě (AEM a vodným výluhem), a to na karbonátových i nekarbonátových půdách. Korelace s vodným výluhem byly přitom těsnější než s AEM. Celkově nejtěsnější korelace byly zjištěny v případě srovnání Mehlich 3 a vodného výluhu na karbonátových půdách, kde bylo dosaženo hodnoty r dokonce 0,892.

Při srovnání výsledků všech sledovaných metod s obsahem fosforu v nadzemní hmotě rostlin pšenice bylo zjištěno, že metoda Mehlich 3 dosahuje přinejmenším srovnatelných, ale ve většině případech lepších výsledků, než metody prověřené pro stanovení přístupných forem fosforu (vodný výluh a AEM).

Závěrem lze tedy konstatovat, že metoda Mehlich 3 je vhodnou metodou pro stanovení obsahu fosforu přístupného pro pšenici ozimou, a to v karbonátových i nekarbonátových půdách.

Klíčová slova: fosfor, půda, pšenice ozimá, přístupnost fosforu

The possibilities of determining bioavailable phosphorus in soil for winter wheat

Summary

Winter wheat (*Triticum aestivum*) is the most cultivated and most important crop in the Czech Republic. Sufficient phosphorus supply is important for this crop, when its largest amount is located in the grain. In plants, it fulfills a storage and building function, it is also a carrier of energy. However, phosphorus fertilization is currently strongly underestimated in most parts of the Czech Republic. In addition, studies aimed at comparing the results of various analytical methods with P contents in plants are almost missing. It is therefore not obvious whether the Mehlich 3 method (used to determine the accessible P in the Czech Republic) determines the plants that are actually accessible to P. The aim of this bachelor thesis was based on the relationships between the methods used to determine the available phosphorus in the soil and the P content in the above-ground biomass of plants to determine the most suitable method for determining the really available phosphorus for winter wheat.

In the years 2015-2018, samples of topsoil (0-30 cm) and above-ground biomass of winter wheat in two vegetation phases (BBCH 30-32; 65-69) were taken in the Czech Republic. In total, samples were collected from 105 sites. It was a wide range of soils with different properties, differing mainly in pH and phosphorus content. It was a wide range of soils with different properties, differing mainly in pH and phosphorus content. These were then divided according to the pH value into a set of carbonate (pH up to 6.99) and non-carbonate (pH above 7.00). The following methods were used for P analyzes: Water extraction, anion exchange membranes (AEM), Mehlich 3.

From the results of correlation and regression analysis, it is obvious that the Mehlich 3 method closely correlates with other methods used to determine the available P in soil (AEM and water extract) on carbonate and non-carbonate soils as well. The correlations with water extraction were closer than with AEM. The closest correlations were found in the case of comparison of Mehlich 3 and water extract on carbonate soils, where the value of r was even 0.892.

When comparing the results of all monitored methods with P content in the above-ground biomass of wheat plants, it was found that the Mehlich 3 method achieves at least comparable, but mainly better results than the tested methods for determining accessible forms of P (aqueous extract and AEM).

In conclusion, the Mehlich 3 method is a suitable method for determining the bioavailable phosphorus content for winter wheat, both in carbonate and non-carbonate soils.

Keywords: phosphorus, soil, winter wheat, accessibility of phosphorus

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Hypotéza a cíl práce	9
3	Literární rešerše.....	10
3.1	Pšenice ozimá.....	10
3.1.1	Botanická charakteristika	10
3.1.2	Význam pěstování pšenice	11
3.1.3	Historie pěstování pšenice.....	12
3.1.4	Požadavky na prostředí	13
3.1.5	Agrotechnika pšenice	13
3.1.5.1	Zařazení pšenice ozimé do osevního sledu.....	13
3.1.5.2	Příprava půdy k setí	14
3.1.5.3	Setí	14
3.1.6	Agrobiologická kontrola porostů	14
3.1.6.1	Plevele.....	15
3.1.6.2	Choroby.....	15
3.1.6.3	Škůdci	16
3.2	Výživa a hnojení pšenice ozimé.....	16
3.2.1	Projevy nedostatku živin u pšenice	18
3.2.2	Hnojení pšenice v závislosti na době aplikace hnojiva.....	19
3.2.2.1	Základní hnojení	19
3.2.2.2	Regenerační hnojení.....	19
3.2.2.3	Produkční hnojení	19
3.2.2.4	Kvalitativní hnojení	20
3.3	Úloha fosforu ve výživě rostlin.....	20
3.3.1	Fosfor jako prvek a historie jeho zkoumání	20
3.3.2	Fosfor v půdě.....	20
3.3.2.1	Minerální formy fosforu	21
3.3.2.2	Organické formy fosforu.....	21
3.3.3	Fosfor v rostlinách.....	22
3.3.3.1	Nedostatek fosforu	23
3.3.3.2	Nadbytek fosforu	24
3.3.4	Hnojení rostlin fosforem	24
3.3.4.1	Postup stanovení dávek fosforečných hnojiv.....	25
3.3.5	Hnojení pšenice fosforem.....	25
3.3.6	Fosforečná hnojiva	26

3.3.6.1	Organická hnojiva obsahující fosfor	26
3.3.6.2	Minerální fosforečná hnojiva	27
3.3.6.2.1	Hnojiva s lehce rozpustnými sloučeninami fosforu	27
3.3.6.2.2	Hnojiva se středně rozpustnými sloučeninami fosforu.....	28
3.3.6.2.3	Hnojiva s těžko rozpustnými sloučeninami fosforu	29
3.3.6.2.4	Vícesložková minerální hnojiva obsahující fosfor	30
3.4	Principy stanovení přijatelného obsahu fosforu v půdě	31
3.4.1	Mehlich 3.....	31
3.4.2	Iontovýmienné membrány	31
3.4.3	Vodný výluh.....	32
4	Metodika.....	33
5	Výsledky.....	35
5.1	Nekarbonátové půdy	35
5.2	Karbonátové půdy	39
6	Diskuze.....	43
7	Závěr.....	47
8	Bibliografie.....	48

1 Úvod

Pšenice setá (*Triticum aestivum*) je v České republice jednou z nejdůležitějších plodin. Její zastoupení je až 55,6 % na trhu nabídky všech obilovin a největší podíl produkce se zkrmuje. Ve světě zaujímá 30 % celkových osevních ploch.

Z hlediska půdních vlastností jsou pro pšenici nejvhodnější typy černozemě, pravé i degradované, hnědozemě, rendziny, s pH neutrálním. Snáší i půdy slabě kyselé i slabě alkalické. Půdy vhodné pro pšenici ozimou jsou středně-hlinité, jílovito-hlinité až hlinito-jílovité, které mají vyrovnaný poměr vody a vzduchu v půdě a mají dobrou půdní strukturu s dobrou biologickou činností. Dalším důležitým faktorem je vláhota, která by měla být dostatečně vysoká zejména na podzim v době vzcházení, a také na jaře v období vegetace.

Výnos u pšenice ozimé je v průměru mezi 3,5 až 6,0 t/ha. Vše závisí na volbě odrůdy, pokud zvolíme správnou odrůdu, výnosy se mohou pohybovat až mezi 6,0 a 10,0 t/ha. Pro dosažení očekávaných výnosů a s nimi i kvality pšenice je nutné, aby pěstitel vytvořil v půdě optimální podmínky pro to, aby rostlina s postupným rozvojem kořenového systému měla v půdě zajištěnou dobrou zásobu přístupných živin a mohla tak využít v maximální možné míře genetický potenciál pěstované odrůdy. Plodina na 1 tunu zrna a odpovídajícímu množství slámy a kořenů odčerpá v průměru 25 kg dusíku, 5 kg fosforu, 20 kg draslíku, 2,4 kg hořčíku, 4 kg síry.

Fosfor je jednou ze základních živin, zcela nezbytných pro růst a vývoj rostlin. Má důležitou úlohu v energetickém metabolismu, tím je pšenice na nedostatek P velmi citlivá. Tento prvek významně ovlivňuje fotosyntézu, dělení buněk, syntézu lipidů a bílkovin. Obsah fosforu má vysokou korelaci s výnosem zrna a schopností porostů přezimovat. Zvýšený obsah P v půdě ovlivňuje HTZ a sklovitost, neovlivňuje však vždy obsah lepku. Zde závisí zejména na odrůdových vlastnostech.

V průběhu vegetace se významně podílí na intenzitě a rozsahu asimilace dusíku. Je rozhodujícím prvkem pro tvorbu generativních orgánů, protože při klíčení a vzcházení se rychle spotřebovává ze zásobních látek obsažených v semeni (fytin). Jeho nedostatek, již v počátku vývoje může mít významný dopad na další vývoj porostu. Rozhoduje tak o kvantitě, ale i kvalitě výnosu. Problematika hnojení rostlin fosforem se může jevit jako triviální, mnohokrát popsána a zcela jasná, ale bohužel tomu tak není.

Způsobů ke stanovení obsahu P v půdě je více. Nejčastější možností je použití extrakčního činidla Mehlich 3, kterým lze stanovit obsah přijatelného fosforu v půdě a samozřejmě také dalších makroelementů, a i mikroelementů v půdě. Běžně se využívá v rámci agrochemického zkoušení půd (AZP). Podle literatury jsou však extrakcí Mehlich 3 stanoveny i některé rostlinám nepřístupné formy P. To se dá ověřit srovnáním výsledků s jinými metodami, které jsou udávány jako vhodné pro stanovení obsahu přístupného P, a zároveň srovnáním výsledků Mehlich 3 s obsahy P v nadzemní hmotě rostlin.

Tato bakalářská práce se zabývá stanovením obsahu fosforu přijatelného pro rostliny ve výluhu Mehlich 3, vodným výluhem a extrakcí iontovýměnnými membránami a srovnáním výsledků s obsahy P v nadzemní hmotě pšenice ozimé, včetně zahrnutí dalších parametrů. Analyzováno bylo přesně 105 stanovišť z celé České republiky.

2 Hypotéza a cíl práce

Vědecká Hypotéza

Každý půdní test hodnocený v rámci této práce stanoví různé množství fosforu v půdě, který je považován za rostlinám přístupný. Dají se tedy očekávat různé vztahy mezi výsledky rozboru půd a rostlin. Nejtěsnější dosažený vztah pak umožní určit nejvhodnější půdní test pro stanovení fosforu skutečně dostupného pro pšenici ozimou.

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo na základě vztahů mezi metodami užívanými pro stanovení přístupného fosforu v půdě a obsahu fosforu v nadzemní hmotě rostlin určit nejvhodnější metodu pro stanovení skutečně dostupného fosforu pro pšenici ozimou.

3 Literární rešerše

3.1 Pšenice ozimá

Říše:	rostliny (<i>Plantae</i>)
Podříše:	cévnaté rostliny (<i>Tracheobionta</i>)
Oddělení:	krytosemenné (<i>Magnoliophyta</i>)
Třída:	jednoděložné (<i>Liliopsida</i>)
Čeleď:	lipnicovité (<i>Poaceae</i>)
Rod:	pšenice (<i>Triticum</i>)

3.1.1 Botanická charakteristika

Rod pšenice (*Triticum L.*) se řadí do čeledi lipnicovité (*Poaceae*) (Sissons et al. 2012). *Poaceae* jsou byliny se specifickou stavbou, někdy s dřevnatějším stonkem. Kořeny jsou svazčité, z tenkých adventivních kořínků a také je velmi častá adventivní mykorhiza. Stonek se nazývá stéblem a je nevětvený, článkovaný, s rhexigenní dutinou. Výjimečně je stonek vyplněn dřevem. Stéblo je inkrustované křemičitany (Klement et al. 2012). Dále jsou stébla bohatá na celulózu a vláknina, hemicelulózu, bílkoviny, lignin a popel (Khan & Mubeen 2012). Dlouhé články stébel jsou přerušovány kolénky. Charakteristické jsou také časté podzemní různé dlouhé výhony nebo odnože, které vznikají v paždí nejspodnějších listů na bázi stonku. Listy jsou přisedlé a jejich pochva stéblo objímá. Pochva přechází v úzce čárkovitou čepel se souběžnou žilnatinou, a na místě přechodu je blanitý jazýček. Tvar jazýčku a oušek patří k rozlišovacím znakům některých rodů a druhů (Klement et al. 2012).

U pšenice rozlišujeme poměrně velké množství druhů, a to kolem dvaceti. Zahrnují jak druhy planě rostoucí, tak kulturní. Na tom se shodují Sissons et al. (2012) a Špaldon (1982). (Zimolka 2005) uvádí, že zatímco v dnešní době převažuje pěstování druhu *Triticum aestivum*, dříve se více pěstovaly i jiné druhy, jako např. pšenice jednozrnka (*Triticum monococcum*), pšenice dvouzrnka (*Triticum dicoccum*), pšenice naduřelá (*Triticum turgidum*) a pšenice shloučená (*Triticum compactum*). V teplejších oblastech se v České republice pěstuje i pšenice tvrdá (*Triticum durum*) (Klement et al. 2012).

Květenstvím pšenice je lichoklas (Klement et al. 2012). Klásky jsou 1-2 květy, či 5-7 květů. Většinou jsou jeden až čtyři květy plodné. Klas je nelámavý, různě hustý, osinatý či bezosinný. Plevy a pluchy mají vejčitý nebo podlouhle vejčitý a zřetelně viditelný kýl. Obilky jsou nahé, buclaté a v průřezu oblé. Klíček je mírně vystouplý, na protější straně ochmýřený (Petr & Húska 1997). Nejdůležitějším výnosovým prvkem je počet a hmotnost zrn v klasu (Prasad et al. 2007). V průběhu vegetace procházejí rostliny vývojovými změnami, jejichž projev je viditelný morfologickými a anatomickými změnami. Vnější znaky hodnotí makrofenologická stupnice. Organogenezi vzrostného vrcholu zaznamenává mikrofenologická stupnice podle Kupermanové (stupeň diference klásky). Růstová fáze se zaznamenává tehdy, jestliže 50-70 % rostlin v porostu dosáhlo uvedené fáze (Faměra 1993).

Pšenice setá neboli pšenice obecná, je nejvíce pěstovaným druhem u nás i ve světě (Petr & Húska 1997). Pšenici řadíme mezi „velké tři“ obilné plodiny, přičemž se světově sklízí více než 607 milionů tun ve srovnání s 652 miliony tun rýže a 785 milionů tun

kukuřice (Shewry 2009). Pšenice nemá konkurenci z hlediska flexibility, pěstuje se od 67 ° Skandinávie a Ruska po 45 ° jižní šířky v Argentině, včetně uvedených oblastí v tropech a subtropích (Feldman 1995). Pšenice má vynikající širokou plasticitu a silnou reakci na intenzifikační faktory. Vznikla nejspíše ze špaldy, či různým křížením a mutacemi (Petr & Húska 1997).

Z genetického hlediska dělíme pšenici podle počtu chromozomů na tři skupiny. První skupina je diploidní ($2n = 14$). Zahrnuje pšenici planou i kulturní, takzvanou jednozrnku planou (*Triticum boeoticum*). Větší význam má skupina tetraploidních pšenic ($2n = 28$). Zde se řadí pšenice, které nazýváme dvouzrnky, pšenice Timofejová (*Triticum timopheevi*), pšenice naduřelá (*Triticum turgidum*), pšenice tvrdá (*Triticum durum*) a pšenice polská (*Triticum polonicum*). Na tomto se shodují Moudrý & Jůza (1998) a Zimolka (2005). Asi 95 % současné světové produkce pšenice je hexaploidní chlebová pšenice, přičemž zbývajících 5 % tvoří tetraploidní pšenice tvrdá, která je více přizpůsobena suchému středomořskému podnebí (Szabó & Hammer 1996).

Největší význam má ovšem skupina hexaploidní ($2n = 42$), do které patří pšenice setá (*Triticum aestivum*) a také pšenice špalda (*Triticum spelta*). Na tom to se shodují Moudrý & Jůza (1998), Zimolka (2005) a Carver (2009)

3.1.2 Význam pěstování pšenice

Přestože statistiky poslední doby ukazují, že výživa zhruba 54 % obyvatel zeměkoule je založena především na rýži, stala se pšenice světovou královnou obilovin jak v produkovaném množství, tak svou hodnotou. Vezme-li se v potaz civilizovaný svět jako celek, tvoří pšenice hlavní potravu člověka. Je mnohem více distribuována než její komerční rival kukuřice či rýže. Z pšenice se stala prvořadá nutnost civilizovaného života. (Dondlinger 2018).

Pšenice obecná (*Triticum aestivum L.*) je i v ČR nejrozšířenější a nejpěstovanější plodinou (Vaněk et al. 2016). Zaujímá více než čtvrtinu orné půdy v ČR a polovinu ploch ze všech obilovin. Pěstují se dvě formy, ozimá a jarní (Štolcová 2009). Výnosy pšenice ozimé jsou obvykle vyšší než pšenice jarní, protože se vysévá koncem léta/ začátkem podzimu a je schopna efektivněji využít sluneční svit a potřebnou vlhkost. Tedy za předpokladu, že teploty nejsou příliš nízké na to, aby rostlinu nezahubily (Cornell & Hovelings 2019). Tato plodina je nejvýznamnější a nejvhodnější pro mnoho potravinářských výrobků. Její použití je prakticky všestranné (Diviš 2010). Kvůli vysokému obsahu škrobu je pšenice považována jako významný zdroj kalorií, který se využívá pro výrobu krmiv zvířat. Vysoce výnosné odrůdy s nízkým obsahem bílkovin jsou v krmných směsích doplňovány dalšími plodinami bohatými na bílkoviny. Těmi jsou zejména sója a zbytky olejnatých semen (Shewry 2009). Pšenice je vedle zdroje kalorií i zdrojem nejméně 30 % příjmu Fe a Zn a 20 % spotřeby energie a bílkovin ve stravě po celém světě; proto je důležité stále zlepšovat její nutriční kvalitu (Gupta et al. 2020).

Díky kvalitě a obsahu lepku má zároveň vynikající pekařské vlastnosti. Dále je velmi dobře využitelná i v průmyslu. Zejména pro výrobu škrobu, lihu i bioplynu. Pšenice má i další kladné vlastnosti, jako i např. plasticitu, výnosové schopnosti, variabilitu odrůd a možnosti šlechtění (Diviš 2010). Její význam je také dán značnou přizpůsobivostí různým pěstitelským podmínkám, širokou využitelností zrna, a také velkým množstvím odrůd s různými nároky

(Pazdera 2006). Úspěšně se pěstuje v našich nejúrodnějších oblastech. Hlavně v kukuřičné a řepařské výrobní oblasti, ale i v méně příznivých podmínkách, kde však vyžaduje nejlepší půdy a intenzivní hnojení. U nás převažuje pěstování pšenice ozimé, která poskytuje stabilní a vysoké výnosy zrna. Nejvyšší kvalita potravinářské pšenice je v teplejších oblastech (Vaněk et al. 2016). Spotřeba pšenice na obyvatele v rozvojových zemích stále roste, i když zpomalujícím tempem. Zato v průmyslových zemích roste podíl celkového využití pšenice na krmení zvířat (Bruinsma 2003).

Podle (Urban & Vašák 2014) se osevní plochy ozimé pšenice v posledních letech pohybují okolo 750-800 tis. ha, s průměrným výnosem cca 4,5 - 5,5 t/ha. U jarní pšenice se osevní plochy pohybují okolo 60-69 tis. ha, s průměrným výnosem cca 3,2 – 4,1 t/ha.

3.1.3 Historie pěstování pšenice

Je prokázáno, že pěstováním pšenice se začali lidé zabývat již od pravěku. S největší pravděpodobností je tak pšenice nejstarší a nejvýznamnější obilninou, kterou člověk pěstuje a využívá. I nadále pšenice zaujímá přední místo v důležitosti pro výživu převážné části lidstva na naší planetě (Petr & Húska 1997).

Její domovinou je území přední Asie a také území Etiopie, odkud se rozšířila před začátkem našeho letopočtu do všech zemí Starého světa. Některé druhy byly pěstovány již několik tisíciletí před naším letopočtem (Špaldon 1963). (Feldman 1995) uvádí, že nejstarší domestikované pšenice se datují přibližně 7500 až 6500 let před naším letopočtem. Jsou spojovány s prehistorickými místy „Úrodného půlměsíce“, které tvoří horské řetězce lemující roviny Mezopotámie a syrskou poušť, a také s Anatólií a Balkánem. Dále dle (Dondlinger 2018) mezi obilninami zaujímá v západní části Asie, v Evropě a v severní Africe první místo již od nepaměti. Byla to jedna z hlavních plodin Izraelitů v Kanaánu.

Špaldon (1982) úzce propojuje počátky pěstování pšenice se vznikem zemědělství, které se datuje zhruba do doby 8. - 10. tisíciletí před naším letopočtem. Archeologické nálezy z tohoto období jasně dokazují pěstování pšenice jednozrnky a dvouzrnky. V 6. tisíciletí př. n. l. se již začala pěstovat pšenice obecná (*Triticum aestivum* L.) a také pšenice špalda (*Triticum spelta* L.). Ta je ovšem známá jen z archeologických nálezů v Evropě. V celosvětovém měřítku je pšenice pěstována zhruba na 220 mil. ha. Pěstuje se převážně na severní polokouli v 5° - 58° severní šířky. V přímořských oblastech se nejčastěji pěstuje pšenice až po 64.° severní šířky. Stala se nejdůležitější plodinou mírného pásma, ve kterém jsou srážky do 600 mm a suma vegetačních teplot od 1960 až 2534 °C. Na jižní polokouli připadá pšenici jen 7 % z její celkové světové pěstitelské plochy. Pěstuje se i v Jižní Americe, Austrálii a v Jižní Africe. V České republice představuje pšenice velmi významnou plodinu, která se stala jednak modelem ve využívání moderních agrotechnických metod na základě poznatků z vědeckých výzkumů. Dále je typickou plodinou z pohledu intenzifikace zemědělské výroby (Špaldon 1982).

Dnes je na prvním místě v pěstování pšenice Čína a Indie, a to převážně proto, že pšenice vyžaduje méně vody pro pěstování než jiné srovnatelné plodiny a je hlavní složkou různých polotovarů oceňovaných v moderním, zejména městském životě (Igrejas et al. 2020). Pšenice, která je u nás pěstována, je vyšlechtěnou kulturní pluchatou hexaploidní pšenicí. Ozimé formy se pěstují převážně v konvenčním zemědělství. V ekologickém zemědělství se naopak pěstují spíše jarní formy. Důvodem, proč tomu tak je, je zejména předejití možným problémům zapříčiněným vyzimováním, poškozením divokými zvířaty, zaplevelením

či deficitem dusíku. Potvrdilo to dotazníkové šetření, které proběhlo v roce 2006 mezi ekologickými farmáři (Konvalina 2008).

3.1.4 Požadavky na prostředí

Pšenice patří mezi nejnáročnější obilniny. Je hlavní plodinou teplejších a sušších oblastí (Konvalina 2008). Nejvhodnější pro pěstování pšenice jsou střední až těžší půdy, které mají neutrální až slabě kyselou půdní reakci. Naopak nevhodné jsou půdy vysychající a lehké, kyselé a zamokřené (Pulkrábek et al. 2003).

Pšenice ozimá je náročná na předplodinu, přičemž nejvhodnější jsou luskoviny, jeteloviny, olejninny a okopaniny. Svým výnosem reaguje ze všech nejcitlivěji na nevhodnou předplodinu, tudíž ani intenzivní hnojení nemůže nahradit nevhodnou předplodinu (Taufarová et al. 2014).

Pšenice má pomalý jarní vývoj a její kořenový systém je velmi slabě rozvinutý. Díky tomu špatně konkuruje plevelům, je více náročná na výživu a agrotechnická opatření. Při porovnání všech obilovin v ekologickém zemědělství bylo zjištěno, že pšenice reaguje na příznivé podmínky prostředí vysokým výnosem. Pro tvorbu výnosových prvků má důležitou váhu průběh počasí v době intenzivního růstu neboli sloupkování. Dále také při tvorbě klasu a zrna. Chladnější počasí s dešťovými přeháňkami v uvedených fázích podporuje vyšší úroveň tvorby prvků produktivity klasu (Konvalina 2008).

Hlavním sklizňovým produktem je zrna, jehož chemické složení se liší v závislosti na oblasti, odrůdě, průběhu počasí a agrotechnice. Při sklizni by správně mělo zrna obsahovat okolo 14 % vlhkosti (Šroller 1998).

Podle údajů ČSÚ byla v roce 2019 celková plocha pšenice 839. tis ha a celková sklizeň činila 4,87 mil. tun s průměrným hektarovým výnosem 5,80 t/ha. Výnosy při sklizni v roce 2019 jsou z celorepublikového pohledu přibližně o 0,41 t/ha vyšší oproti roku 2018, ale zaostávají o 0,66 t/ha za výnosově rekordními třemi lety 2014-2016. V tu dobu byl výnos průměrně 6,46 t/ha. Zatímco pěstitele u nových odrůd zajímá hlavně výnos a pěstitelské náklady, vyplývající z odolnosti dané odrůdy k poléhání a chorobám, pro zpracovatele a mlynáře je hlavní vlastností pšeničného zrna jeho kvalita. Ta je charakterizována objemovou hmotností, obsahem bílkovin, sedimentačním testem a číslem poklesu, případně také obsahem lepku a jeho kvalitou. Výnos a kvalitu zrna v zásadě ovlivňuje genotyp, neboli odrůda, prostředí a vzájemná interakce těchto faktorů. Mezi hlavní body prostředí patří počasí a agrotechnika (Jirsa et al. 2020).

3.1.5 Agrotechnika pšenice

3.1.5.1 Zařazení pšenice ozimé do osevního sledu

Nejlepšími předplodinami pro pšenici jsou luskoviny, okopaniny, olejninny a jeteloviny. Jeteloviny a vojtěško-travní směsi ale mohou v suchých letech způsobit nedostatek vláhy pro následnou plodinu. V tomto případě je vhodné zařadit před pšenici jinou plodinu. Pšenice ozimá je všeobecně velmi náročná na předplodinu a vysoký výnosový potenciál je využit zpravidla po zlepšujících plodinách. Rozšiřování ploch pšenice ale mnohdy způsobí, že se jejímu pěstování po sobě nevyhneme, ovšem vzrůstá tu nebezpečí vyššího zaplevelení stejného druhového spektra plevelů a velké riziko napadení rostlin škůdci a chorobami.

V takovémto případě je nutno dbát na dobrou přípravu půdy a zaklopení rostlinných zbytků. Zvážit pěstování zlepšující meziploidy a také zvýšení dávky minerálních hnojiv (Štípek et al. 2007).

Při zařazení pšenice ozimé do osevního plánu je také třeba počítat s termínem jejího setí. S pozdějším výsevem totiž klesá její výkonnost. Při opožděném termínu setí je třeba uplatnit minimalizaci půdního zpracování, popřípadě sít do nezpracované půdy. Tím minimalizujeme další časové prodloužení. Také bychom měli zvolit vhodnou a tolerantní odrůdu, která lépe snáší pozdní setí (Faměra 1993).

3.1.5.2 Příprava půdy k setí

Po strniskových předplodinách je základním opatřením včasná podmítka ošetřená válením či vláčením podle stavu půdy a podmínek počasí. Pšenice vyžaduje dobře a přirozeně slehlé seťové lůžko. Orba by měla proběhnout ideálně 4-6 týdnů před setím v hloubce 16-24 cm. Struktura půdy nemá být předseťovou přípravou příliš narušená. Odstup jeden až dva týdny mezi zásahy pomáhá k redukci semenných plevelů (Konvalina 2008).

3.1.5.3 Setí

Při zakládání porostu je nejdůležitější vlastní setí, jehož podcenění či nekvalitní provedení se těžko napravuje. Následně se projevuje do sklizně, ale i do kvality sklizené produkce. Je tedy třeba k setí přistupovat zodpovědně z hlediska splnění požadavků vyplývajících z biologické podstaty výnosotvorného procesu (Zimolka 2005).

U hustě setých obilnin jsou nejvhodnější užší řádky, nejlépe okolo 125 mm a méně. Zmenšením meziřádkové vzdálenosti se totiž zvyšuje vzdálenost obilek od sebe a vytvoří se příznivější podmínky pro jednotlivé rostliny. Pro setí do nezpracované nebo minimálně zpracované půdy (podle stavu půdy) je vhodné použít kotoučové nebo diskové secí botky (nutno dodržet hloubku setí). Hloubka setí se pohybuje kolem 40 mm a její dodržení je zásadní. Mělké i hluboké setí nepříznivě ovlivňuje vývin porostu a také má vliv na odnožování. Ideální výsevky se pohybují v rozmezí 400–500 (může být i 600) zrn na m². Samozřejmě záleží také na odrůdě a stanovišti. Na méně úrodných půdách, po zhoršující předplodině, při suchých podmínkách či opožděném setí se výsvek zvyšuje o 10-15 % (Faměra 1993).

Termín setí pšenice začíná od poloviny září ve vyšších polohách. Hlavní období setí je koncem září až začátkem října. Konečná lhůta setí je pro kukuřičnou oblast 15.10., pro řepařskou 10.10. a pro bramborářskou do 5.10. (Šroller 1998).

3.1.6 Agrobiologická kontrola porostů

Pro regulaci plevelů a omezení výskytu chorob a škůdců můžeme mnoho učinit či změnit promyšleným osevním sledem plodin, způsobem základního a předseťového zpracování půdy, organizací porostu a řadou dalších opatření. Chemická ochrana má řešit situace a problémy, které nelze jinak zvládnout. V takových případech je chemická ochrana důležitým intenzifikačním faktorem a cestou k dosažení vyšší výnosové úrovně.

Zásahy fungicidy, insekticidy, regulátory a dalšími přípravky jsou založeny na informacích z neustálého sledování výskytu škodlivých činitelů a průběhu růstu s vývojem porostu. Pokud výskyt plevelů, rozsah napadení chorobami a počet škůdců přesáhne práh

škodlivosti, zvolí se vhodný přípravek, jeho dávka a doba aplikace. Posuzují se též rizika polehnutí a z toho se vyvozují závěry pro aplikaci morforegulátorů. Podobně se sleduje a kontroluje výživný stav rostlin, ze kterého se stanovují dávky hnojiv. To je smyslem agrobiologické kontroly porostů a přísloví: „Kdo na pole chodí, tomu se rodí.“ (Petr & Hůska 1997). Pěstování obilnin následně po sobě způsobuje rostoucí počet škodlivých činitelů, což vede k nutnosti používat větší množství pesticidů a vzhledem k tomu jsou výrazně vyšší náklady (Woźniak 2019).

3.1.6.1 Plevel

Intenzita výskytu plevelů ovlivňuje zásobování pšenice živinami a vodou, zároveň působí na využití slunečního záření. Plevel zhoršují optimální rozvoj kulturní plodiny. Tím se snižuje výnos zrna i jeho jakost. Za plevel můžeme považovat také výskyt jiných kulturních rostlin, které nejsou v daném roce pěstovány. Jsou to rostliny z výdrolu, či ztrát z předplodin. Mezi závažné druhy řadíme chundelku metlici, svízel přitulu, heřmánkovec nevonný, oves hluchý, pýr plazivý a pcháč oset. Často se vyskytují tzv. citlivé plevele. Ke kterým se řadí hořčice rolní, merlík bílý a ředkev ohnice (Šroller 1998).

Z víceletého pohledu způsobují plevele v ozimé pšenici největší škody a mohou snížit výnos o 15-30 %. Nebezpečí spočívá nejvíce v jejich rozšíření po všech pozemcích a v schopnosti vytvářet v půdě zásobu dlouho životných semen. Nejčastěji se mezi ně řadí např. heřmánkovec přímořský a svízel přitula. Větší zaplevelení bývá po obilnině, hrachu, řepce a máku. Po neprořídých jetelovinách nebývá zaplevelení velké, v opačném případě se zvyšuje výskyt hlavně víceletých plevelů (pcháč oset, šťovík, pýr plazivý).

V dnešní době je na trhu velké množství přípravků, které mají velká a různá spektra účinnosti. Mohou se používat i kombinace přípravků, které působí na více plevelných druhů. Pro aplikaci herbicidů a jejich kombinování platí přesné podmínky. Jsou uvedeny v návodech přípravků, či v metodických příručkách (Faměra 1993).

U ozimé pšenice je možnost využít preemergentních herbicidů, což znamená použití aplikace mezi zasetím a vzejitím rostlin. Častější využití ovšem má postemergentní aplikace, která se zaměřuje podle konkrétních výskytů plevelů. Ošetřují se v podzimním i jarním období (Štolcová 2009, Urban & Vašák 2014).

3.1.6.2 Choroby

Choroby svým působením zhoršují normální růst rostlin. Napadají báze rostlin, snižují transport živin v rostlině, zvyšují možnost poléhání a snižují výkon asimilačních orgánů, což znamená menší velikost zrna (Šroller 1998).

Při dlouhodobé sněhové pokrývce hrozí napadení plísni sněžnou. Rozšířením chorob pat stébel hrozí poléhání porostů, snížení výnosů a také má dopad na kvalitu zrna. Nejčastější listovou chorobou je padlí travní, kde se na listech vytvářejí bílé chomáčky. Chorobám napomáhá vlhké, teplejší počasí a velké množství dusíku. Drobné kupky, které mohou mít různé barvy, jsou nejčastěji projevem různých druhů rzí. Rzi můžeme od sebe rozeznat právě podle barvy. Nejčastěji se v porostech pšenice objevují tyto druhy rzí: travní, plevová a pšeničná. Další, poměrně závažnou chorobou je braničnatka plevová. Napadá listy, a především pak klasy. Fungicidy nejčastěji aplikujeme ve fázi sloupkování. V tu dobu je potřeba chránit

poslední 2-3 listy, které mají u pšenice důležitý význam pro tvorbu zrna (Pulkrábek et al. 2003, Urban & Vašák 2014, Štolcová 2009).

Vyšší výskyt chorob či škůdců se projevuje při zařazení pšenice do osevního sledu po obilnině. Vůbec nejhorší je volba pšenice po pšenici (Tauferová et al. 2014).

Ochrana proti chorobám závisí na dodržování správně sestaveného osevního postupu a zásad agrotechnické kázně. Důležitá je volba odolných odrůd a kvalitního osiva. Je to nejlepší prevence proti snětím. Napadení braničnatkou (*Septoria nodorum*) můžeme omezit pečlivým zapravením posklizňových zbytků. Tím dojde k omezení primární infekce. Výskyt rzi (*Puccinia spp.*) lze také omezit, nejčastěji pozdějším výsevem na podzim. Výskyt škodlivých činitelů ovlivníme i pečlivou likvidací plevle, protože některé druhy trav, například chundelka metlice, může být hostitelem chorob (Konvalina 2008).

3.1.6.3 Škůdci

Škůdci působí na jakost zrna pšenice, poškozují asimilační plochu horní části rostliny a snižují asimilační výkonnost. Ochrana je prováděna především proti mšicím a kohoutkům (Šroller 1998). Mšice (*Aphidoidea*) vytvářejí kolonie na klasech i listech. V kalamitním množství se vyskytují jen v některých letech. Přenášejí některé virózy, snižují hmotnost a jakost zrn. Prodloužení doby od metání do mléčné zralosti může při napadení porostu mšicemi znamenat větší ztráty. Mšice se přemnožují za teplého a suchého počasí. Největší přímé ztráty způsobuje kyjatka osenní, která saje hlavně na klasech a latách. Ochrana klasů se provádí od konce květu do začátku tvorby obilky. Ochrana se řeší foliárním postřikem, který se používá na konci květu. Dalším častým škůdcem jsou kohoutci (*Lema sp.*). Nejvíce jsou napadány okraje porostů. K jejich přemnožení přispívá teplé a suché počasí v době kladení vajíček. Ošetřují se insekticidy, když je poměr vajíček a vylíhlých larev jedna polovina nebo vyšší, nebo lze pozorovat počáteční vývoj kolonií v podobě lesklých ploch porostu. Tehdy je třeba provést ošetření proti zvětšování těchto kolonií (Moudrý 2020).

V aktuální situaci, týkající se posledních několika let, je vyšší výskyt hlodavců, a to i díky počasí. Tato populace je stále početnější a na zemědělských porostech páchá velké škody. Pro redukci populace hlodavců se doporučuje hluboká orba, díky níž se přeruší jejich podzemní chodby a mechanicky mohou být jedinci i zahubeni (Woźniak 2020).

3.2 Výživa a hnojení pšenice ozimé

Ozimá pšenice na 1 tunu zrna a odpovídající množství slámy a kořenů odčerpá během vegetace z půdy v průměru 25 kg dusíku (N), 5 kg fosforu (P), 20 kg draslíku (K), 2,4 kg hořčíku (Mg), 4 kg síry (S). Vývoj pšenice začíná při procesu klíčení již v obilce, kde dochází vlivem enzymatické činnosti k rozkladu složitých organických látek na látky jednoduché, které zárodek (embryo) využívá pro svůj růst. Tvorba kořenového systému závisí na chemickém složení obilky a posléze na složení výživného stavu půdy. Obilka pšenice sama o sobě neobsahuje dostatek energie pro svůj růst a vývoj v počátečním období, a to ani v případě, že je osivo kvalitní a bohaté na dostatek zásobních látek. Ve 200 kg osiva je obsaženo pouze cca 4-5 kg N, 0,6-0,8 kg P, 1-1,2 kg K, 0,2-0,25 kg Ca, 0,25-0,3 kg Mg a 0,3-0,4 kg S. Pro optimální růst a vývoj pšenice na počátku vegetace má tak významnou úlohu dobrý obsah živin v půdě. Na dobrých a strukturních půdách může dosáhnout kořenový

system pšenice již na podzim hloubky 0,7 – 1 m. Podstatná část kořenového systému se rozprostírá ve vrstvě do 0,4 m. Proto právě v této vrstvě je třeba udržet v půdě vyrovnaný a kvalitní poměr živin. Nedostatek živin se může projevit výrazným omezením metabolických procesů, jejichž výsledkem jsou špatné a slabé odnože rostliny, které při silnějších zimách často vymrzají. Je tedy důležité, aby si rostliny během podzimu dokázaly vytvořit energetické zásoby. Významnou roli sehrává také termín setí, který limituje délku podzemní vegetace. Časné výsevy přispívají při optimálním průběhu povětrnosti k vyšší tvorbě sušiny rostlin během podzimu, což přispívá i k vyšší vitalitě a schopnosti rostlin přečkat mrazivé období. Platí to ale pouze tehdy, má-li rostlina k dispozici dostatek živin, což můžeme vyhodnotit na základě rozborů vzorků rostlin, které během podzimu odebereme. Všeobecně na podzim rostliny pšenice odeberou poměrně málo živin, přesto se deficit živin může projevit. Může se projevit i v zimních měsících, když jsou vyšší teploty a rostliny vegetují. Tímto způsobem jsou spotřebovávány zásoby živin a energie, které si rostliny vytvořily během podzimu (Hřivna 2012). Optimální obsah živin pro pšenici v podzimním období je uveden v tabulce č.1.

Tab. č.1: Optimální obsah živin v podzimním období u porostů pšenic (Hřivna 2012).

Hmotnost sušiny 1 rostliny v-g	Obsah živin sušiny (v %)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
0,2-0,4	4,6-5,2	0,40-0,60	3,6-4,0	0,45-0,60	0,13-0,15	0,32-0,37

Při sklizení pšenice jsou spolu s plodinou z půdy odebírány různé druhy potřebných prvků, a to zejména veškerý dusík, fosfor, draslík, uhlík, voda a další minerály (Norwood et al. 2015). Rostliny pšenice odeberou na podzim necelých 10 % dusíku z celkového jeho odběru, proto není nutné aplikovat vysoké dávky dusíkatých hnojiv již na podzim. Odběr dusíku se zvyšuje na jaře, kdy rostliny po zimě obnovují biomasu. Do začátku sloupkování rostliny přijmou kolem 40 % N a intenzita jeho příjmu roste až do konce kvetení. Do té doby odebere dalších zhruba 30 % N. Po odkvětu se nároky rostlin na výživu dusíkem snižují. Dusík se přemísťuje do zrna z ostatních částí rostliny. Na konci vegetace je v zrnu nahromaděno až 75 % dusíku. Využití dusíku pro tvorbu zrna ovlivňují i další prvky podílející se na výživě rostliny. Je to především fosfor, draslík a hořčík. Je proto velmi důležité nezapomenout na základní hnojení fosforečnými a draselnými hnojivy. Rovněž bychom měli hnojit i hořčíkem a sírou. Především tam, kde bylo zapravováno velké množství posklizňových zbytků předplodiny. Poměr C:S má totiž vliv na rychlost rozkládání posklizňových zbytků. Rychlost rozkladu posklizňových zbytků samozřejmě také ovlivňuje dusík. Obecně se udává, že na 1 tunu slamatých zbytků z obilniny by se mělo aplikovat 0,8-1 kg N/ha (Hřivna 2012).

Pro výpočet množství aplikovaného hnojiva je nezbytné znát procentický obsah živiny, který uvádí výrobce hnojiv. U dusíkatých hnojiv je dusík uváděn v "čistém" prvku (N). U ostatních hnojiv jsou obsahy živin vyjadřovány zpravidla v oxidech (P₂O₅, K₂O, MgO) (Trávník 2010).

Celkové dávky hnojiv by měly být vypočteny s ohledem na obsah přístupných živin v půdě. Při nízkém obsahu živin v půdě je nezbytné dávky hnojiv zvyšovat (Hřivna 2012). Množství přístupných živin v půdě je stanovováno agrochemickým zkoušením zemědělských půd u fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku. Tyto rozborů půd zajišťuje jednou za šest let stát.

Ovšem šest let je v potřebě výživy rostlin velmi dlouhá doba, proto je vhodné rozborů minimálně jednou v mezidobí opakovat na vlastní náklady. Zároveň zjistíme i půdní reakci a potřebu vápnění. Pro stanovení a korekce dávek dusíku je vhodné na jaře provést rozbor půdy na obsah minerálního dusíku (N_{\min}). Pro aktuální zjištění výživného stavu porostu je vhodné v průběhu vegetace provést anorganický rozbor rostlin (Trávník 2010). Optimální zásoba živin v půdě pro pěstování ozimé pšenice, která byla stanovena metodou Mehlich 3 je uvedena v tabulce č.2.

Tab.č.2: Optimální zásoba živin v půdě pro pěstování ozimé pšenice(mg.kg⁻¹), kdy obsah živin byl stanoven metodou Mehlich 3 (Hřivna 2012).

Dobrá zásoba	Půdní druh		
	Lehká	Střední	Těžká
P	81-115		
K	161-275	171-310	261-350
Ca	1801-2800	2001-3300	3001-4200
Mg	136-200	161-265	221-330

3.2.1 Projevy nedostatku živin u pšenice

Nejvýraznější projevy, jaké můžeme prostým okem v porostech vidět se ukazuje nedostatek dusíku. Důsledkem deficiencie dusíku jsou slabé rostliny, nevyrovnanost porostů, snížení počtu odnoží a redukovaný počet stébel, krátký vegetační vrchol, krátký klas s malým počtem zrn v klase. Porosty mají specifické chlorózy na listech. Snižuje se také kvalita zrna, které má zhoršené technologické parametry. Pšenice ozimá přijímá dusík od počátku růstu až do jeho ukončení, tedy prakticky do sklizně. Z tohoto důvodu je nutné neprovádět aplikaci dusíku naráz, ale podle fáze vývoje, ve které se obilnina právě nachází.

Nedostatek fosforu má za důsledek redukci odnoží, krátká a slabě vyvinutá stébla, snížený počet zrn v klasu a je energeticky narušen metabolismus rostlin. Rostliny jsou také náchylnější k poškození mrazem, zvyšuje se náchylnost k poléhání, a také se zvyšuje nebezpečí napadení porostu houbovými chorobami.

Vlivem nedostatku draslíku se snižuje škrobnatost zrna a negativně je také ovlivněna proteosyntéza. Optimální zásoba draslíku vede k lepšímu využití a zhodnocení dusíku v rostlinách a způsobuje zvýšení obsahu proteinů, zlepšení sedimentace, HTZ a obsahu lepku. Ovlivňuje pevnost buněčných stěn a zvyšuje odolnost porostů proti poléhání. Deficiencie síry se také negativně odráží na tvorbě odnoží, limituje příjem dusíku, proteosyntézu a nepříznivě ovlivňuje rovněž kvalitu zrna a jakost výrobku z něho vyrobeného. Síra v kombinaci s vyrovnanou výživou dusíkem může významně přispět k vysokému a zároveň kvalitativně dobrému výnosu zrna. Společné hnojení dusíkem a sírou je předpokladem pro ekonomické a ekologicky efektivní řešení. Zvyšuje se využití jednotlivých živin, a tím se omezuje i případná kontaminace okolního prostředí nadbytečnými živinami.

Deficit vápníku a hořčíku ovlivňuje negativně mrazuvzdornost rostlin, při nedostatku vápníku kořen neroste a může docházet až k odumírání vegetačního vrcholu, deficit hořčíku snižuje výkon fotosyntézy a klesá obsah bílkovin v zrně. Hořčík se také zúčastňuje

při fosforylaci, redukcii nitrátů a zabudování amonného dusíku do oxokyselin. Při jeho nedostatku společně s draslíkem klesá intenzita proteosyntézy a stoupá obsah aminokyselin a amidů, čímž se většinou snižuje i kvalita ozimé pšenice (Hřivna 2012).

3.2.2 Hnojení pšenice v závislosti na době aplikace hnojiva.

3.2.2.1 Základní hnojení

Základní hnojení je realizováno nejpozději v období setí. S ohledem na malou potřebu rostlin na živiny v podzimním období, zvláště dusíku, který se může během zimního období vyplavit, není třeba volit vysoké dávky. V některých případech je vhodné i základní hnojení vynechat (Vaněk et al. 2016). Při základním hnojení by měla být aplikována především fosforečná, draselná a hořečnatá hnojiva. Vždy vycházíme z výživného stavu pozemku a plánovaného výnosu zrna, který by měly dodané živiny zajistit. Samozřejmě musíme kalkulovat i s obsahem živin, který vracíme ve formě posklizňových zbytků zpět do půdy. Pokud je vysoká zásoba živin v půdě, provedeme odpočtové normativy (Hřivna 2012). (Chesworth 2008) uvádí, že se obecně dává přednost hnojení z jara a podzimní hnojení se omezuje na minimum nezbytné k tomu, aby ozimé plodiny měly dostatečnou startovní dávku živin.

3.2.2.2 Regenerační hnojení

Toto hnojení se provádí co nejdříve v jarním období. Hnojíme tedy jakmile to půdní a povětrnostní podmínky dovolí a rostliny začínají vegetovat. Vhodné je využít nočních mrazíků, kdy je půda lehce přimrzlá a umožní tak vstup techniky do porostů. Ovšem pozor na půdu promrzlou do větších hloubek, než je 8 cm. Na poli rovněž nesmí ležet sněhová pokrývka. V obou případech je aplikace hnojiv zakázána. Časná aplikace hnojiv může urychlit vývoj porostu, jeho regeneraci a podpořit odnožování rostlin. Regeneračním hnojením se porostům nejčastěji dodávají hnojiva s obsahem dusíku. Brzké jarní přihnojení pšenice ozimé dusíkem zvyšuje intenzitu přijímání fosforu, čímž se dosahuje stabilních přírůstků biomasy (Fecenko & Ložek 2000). Podle regionu a podmínek se také upravuje množství a rozložení jednotlivých dávek hnojení. Je prokázáno, že v sušších oblastech, a také v oblastech s vyšší nadmořskou výškou, je výhodné aplikovat převážnou celkovou část dusíku právě již v regeneračním hnojení. Je to v ohledu na vláhové a teplotní podmínky. Nejčastěji aplikovaným hnojivem v této fázi je LAV v dávce mezi 20 až 60 kg N/ha (Vaněk et al. 2016).

3.2.2.3 Produkční hnojení

Aplikujeme nejčastěji na počátku sloupkování, kdy dochází k diferenciaci vegetačního vrcholu. V tomto období se zakládá počet zrn v klasu. Později fytomasa narůstá a začíná tak zvýšený příjem dusíku. Je tedy třeba zajistit tvorbu založených stébel. Optimální počet stébel a dostatečný počet zrn v klasu je základním předpokladem dobrého výnosu. Při produkčním hnojení aplikujeme často větší část dusíku. Je to hlavně v oblastech, kde bylo regenerační hnojení provedeno v menší míře. Vhodnými hnojivy do této fáze jsou DAM 390 a LAV. Dávka hnojiv je nejčastěji v rozmezí 20 až 60 kg N. ha⁻¹ (Vaněk et al. 2016).

3.2.2.4 Kvalitativní hnojení

Jedná se o pozdní přihnojení v období před metáním nebo krátce po něm. Tímto hnojením dokážeme ovlivnit kvalitu zrna a hmotnost 1000 semen. Aplikujeme dávku rovnoměrně 20 až 30 kg N/ha. Nejlépe v LV nebo LAV (Vaněk et al. 2016). Je doporučeno použít pevná hnojiva, aby nemohlo dojít k popálení vrcholů klasů a také praporcového listu (Zimolka 2005). Po kvalitativním hnojení přijmou rostliny podobné množství dusíku jako po hnojení regeneračním a produkčním. Většina dusíku ale zůstane zabudována ve slámě. Při předcházející dobré výživě a dobrém výživném stavu rostliny, nemusí být efekt kvalitativního hnojení patrný. Zvláště v suchém období, kdy nejsou vhodné podmínky pro příjem živin, je efekt tohoto hnojení malý až mizivý. Regenerační a produkční hnojení u pšenice se řadí mezi nejvýznamnější hnojení (Vaněk et al. 2016).

3.3 Úloha fosforu ve výživě rostlin

3.3.1 Fosfor jako prvek a historie jeho zkoumání

Fosfor se řadí mezi nekovové prvky. Elementární fosfor je vysoce reaktivní, proto se jako prvek běžně v přírodě nevyskytuje, ale je vázán pouze ve formě sloučenin (Housecroft & Sharpe 2012). Elementární forma fosforu byla objevena kolem roku 1669 německým alchymistou Henningem Brandtem z moči. Je možné, že byl znám již ve starověkém Římě, jenže poté byl jeho objev zapomenut. Brandt fosfor objevil při hledání bájných kamenů mudrců, kdy destiloval 50 kbelíků moči. Kámen sice nenašel, ale objevil čistou formu P, která ve tmě září. Nejprve byl využíván hlavně k léčebným účelům. Po jeho objevu v kostech začal být získáván v poměrně velkém množství a využíval se k výrobě zápalek (Emsley 2000). V roce 1843 začal vyrábět superfosfátové hnojivo Sir J. B. Lawes, který se dlouhodobě zabýval výrobou fosfátového hnojiva z kostí (Huffman & Evenson 2006).

Fosfor je přímo zapojen do mnoha důležitých životních procesů, a byl proto nazván jako „klíč k životu“. Je komponentem každé živé buňky a jako část nukleoproteinu nese genetický kód živých organismů (Troeh & Thompson 2005). Je tedy silně zapojen do mechanismů přenosu energie, při kterém se chemická vazebná energie přeměňuje na jiné chemické vazby nebo na jiné formy energie, včetně kinetické energie ve svalovém pohybu, elektrického výboje u úhořů a bioluminiscence u světlušky (Molins 1991). Fosfor má tendenci být koncentrován v semenech a rostoucích částech rostlin. Významnou roli také zastává v energetických sloučeninách živočichů i rostlin, podílejících se na celé řadě životně důležitých reakcí (Troeh & Thompson 2005).

Je to jeden ze základních biogenních prvků, patří mezi důležitou složku protoplazmy, hlavně buněčného jádra. Z agrochemického hlediska je označován jako „faktor plodnosti“, protože urychluje zrání, podporuje nasazení květů a také napomáhá k tvorbě pevných pletiv. Využívá se především pro tvorbu nukleových kyselin a sloučenin ATP. Ze všech biogenních prvků je nejméně hojný (Šafarčíková & Kouřil 2016).

3.3.2 Fosfor v půdě

Jackson (2005) uvádí, že v půdě existuje celé spektrum fosfátů, od fosforečnanů vápenatých po fosforečnany vázané s železem, hliníkem apod. Autor mimo jiné zjistil,

že vápněním, pomocí změny pH půdy, dojde ke zvýšení dostupnosti fosfátů, a to jednoduše tím, že se sníží aktivita železa a hliníku.

Celkové množství fosforu v půdě se pohybuje v rozmezí od 0,01 do 0,15 %. Vyšší obsah P vykazují půdy s vyšším obsahem organické hmoty. Lehčí půdy s malým obsahem organické hmoty mají obsah nízký. Převážná část fosforu, která je v půdě obsažena, je pro rostliny nepřijatelná. Základem různých forem P v půdě jsou sloučeniny kyseliny trihydrogenfosforečné a v malé míře pyrofosforečné (Vaněk et al. 2016).

Fosfor je v půdách hojný v organické i anorganické formě, často je hlavním faktorem limitujícím růst rostlin. Biologická dostupnost půdního anorganického fosforu v rhizosféře se značně liší podle druhů rostlin, nutričního stavu půdy a okolních půdních podmínek (Lichtfouse et al. 2009).

Rhizosféra je proto klíčová zóna interakce mezi půdou a kořeny rostlin, kde probíhá mnoho klíčových transformací fosforu, které pomáhají regulovat a zvyšovat tok volného fosfátu do rostliny (Elsen & Haygarth 2021). Fosfor je v půdě velmi málo nepohyblivý a obecně je poután v blízkosti místa aplikace (Prasad & Power 1997).

3.3.2.1 Minerální formy fosforu

- Primární fosforečné minerály (apatity) se vyskytují rozptýleně ve všech magmatických horninách. Jsou to vápenaté sloučeniny sestavené ze tří molekul fosforečnanu vápenatého a jedné molekuly chloridu, fluoridu nebo hydroxidu vápenatého.
- Sekundární vysrážené a adsorbované fosforečnany-vápenaté soli převažují v půdách slabě kyselých až alkalických a jsou to sloučeniny, které v půdách vznikají při chemických reakcích původně rozpustných sloučenin či uvolňované kyseliny fosforečné: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, CaHPO_4 až $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, jež vede až ke vzniku apatitů. V neutrálních půdách nejčastěji vzniká stabilnější sloučenina z molekul fosforečnanu vápenatého a hydrogen fosforečnanu vápenatého, nazývaného oktakalciumfosfát. V alkalickém prostředí vzniká hlavně hydroxyl apatit. V kyselém prostředí se vlivem vyšší rozpustnosti a přítomnosti Al a Fe iontů v půdním roztoku tvoří soli těchto kationtů: variscit a strengit. Tvorba solí kyseliny fosforečné v půdě závisí na pH prostředí a má výrazný dopad na chování fosforu v půdě a jeho dostupnost rostlinám.

3.3.2.2 Organické formy fosforu

Podíl organického fosforu v půdě se pohybuje většinou v rozmezí 30-50 % z celkového obsahu fosforu v půdě. Množství organického fosforu je závislé na množství obsahu organické hmoty v půdním profilu. Podstatnou část organického fosforu tvoří fyty, fosfolipidy, nukleové kyseliny, nukleoproteiny a fosforylované lipidy, které se nacházejí v kořenové hmotě. Z té se dále dostávají posklizňovými zbytky a statkovými hnojivy zpět do půdy. Velká část organicky vázaného fosforu v půdách je výsledkem biologické sorpce fosforu půdními mikroorganismy, které imobilizují fosfor do svých těl. Tento fosfor může být následnou mineralizací těl mikroorganismů po jejich odumření uvolňován a zpřístupňován rostlinám (Vaněk et al. 2016).

3.3.3 Fosfor v rostlinách

Společně s dusíkem a draslíkem je fosfor ve výživě rostlin nejčastěji diskutovaným prvkem. Rostlinami je přijímán ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné. Převážně ve formách H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} (Balík et al. 2008). V půdním roztoku je fosfor obsažen pouze v malých koncentracích. Je tedy důležité, aby se po postupném odčerpávání z roztoku dostatečně rychle doplňoval z pevné fáze půdy. Rostliny jsou schopné fosfor přijímat i při jeho velmi malých koncentracích v půdním roztoku. Ovšem musí překonávat značný koncentrační gradient. Příjem fosforu rostlinou je aktivní proces a vyžaduje tedy dostatek energie. Tato energie je získávána z makro-energetické vazby v ATP, která se uvolňuje pomocí enzymu ATPázy. Příjem fosforu je rovněž ovlivněn teplotou půdy. Při nízkých teplotách půdy, kdy rostliny nemají potřebnou energii pro příjem fosforu, se může projevit jeho nedostatek, i když je v půdě obsažen v optimální koncentraci. Rostliny si v určité míře umí příjem fosforu upravovat dle potřeby. Vlivem nedostatku fosforu v jejich pletivech aktivují v membránách kořenů fosfatázy a přenašeče s vysokou afinitou k fosforečnanům, aby se zlepšil příjem fosforu. Je tak upřednostněn růst kořenů nad nadzemní částí, aby kořeny získaly větší povrch, větší rozsah a z půdy tak dosáhly do vrstev, kde je fosfor obsažen ve větší míře. Rovněž se zvyšuje kořenová sekrece. Výměšky kořenů umožňují zvyšovat rozpustnost, a tedy tím i přijatelnost prvku (Vaněk et al. 2016). Adaptace rostliny zvyšující odběr fosforu jsou důležité zejména kvůli nízké pohyblivosti fosforu v půdě, přičemž nejvyšší koncentrace se obvykle nacházejí v orniční vrstvě. Fosfor se díky své nízké pohyblivosti dostává do spodnějších půdních profilů velmi obtížně (Vance et al. 2003). Naproti tomu v rostlině je fosfor společně s dusíkem a draslíkem vysoce mobilní a podléhá neustálé redistribuci (Forbes & Watson 1996).

I když je příjem fosforu rostlinou rovnoměrný během vegetace, rozhodující je příjem na počátku vegetace. V úplném počátku čerpají rostliny fosfor ze semene (Grant et al. 2001). Semena rostlin vykazují nejvyšší obsah fosforu. Právě do nich je fosfor ke konci vegetace nejvíce transportován. V semeni je fosfor vázán v podobě fytinu (Vaněk et al. 2016). Ve druhé fázi, je fosfor přijímán z vnějšího prostředí a příjem je ovlivňován okolním prostředím (Grant et al. 2001). Na příjem fosforu také působí pozitivně dostatečná vlhkost půdy, příznivá půdní reakce, která by se měla pohybovat v rozmezí mezi 5,5 až 7 pH. V půdě by měl být dostatek organických látek a půda by měla být dostatečně biologicky činná. Optimální množství přijatelného fosforu v půdě se pohybuje na hladině 40 až 80 mg/kg P (Vaněk et al. 2016). Hodnocení obsahu fosforu v půdě je níže uvedeno v tabulce č.3.

Tab.č.3 Hodnocení obsahu přístupného P v půdě podle Mehlich 3 (Hřivna 2012)

Obsah	Obsah P (mg/kg)
Nízký	do 50
Vyhovující	51-80
Dobrý	80-115
Vysoký	116-185
Velmi vysoký	nad 185

Fosfor má od jiných živin několik odlišností. První je, že je v rostlině obsažen jak v organické, tak i anorganické formě. Dalším specifíkem je, že během asimilace zůstává fosfor v oxidovaném stavu. Na rozdíl od dusičnanů a síranů, které jsou během asimilace redukovány (Balík et al. 2008).

Fosfor má pro rostlinu klíčový význam. Jeho sloučeniny se podílejí na širokém spektru reakcí, a to buď jako donory energie, nebo jako strukturní části složitých sloučenin. Dále je součástí mnoha organických sloučenin, např. ATP, NADP, fosforylovaných sacharidů, Calvinova cyklu a kyseliny fosfoglycerové. Anorganický fosforečnan je nezbytný pro vznik ATP při fosforylaci a jeho hladina ve stomatu ovlivňuje syntézu škrobu v chloroplastu a transport sacharidů do cytoplazmy. Kyselina fosforečná patří mezi nezbytné komponenty nukleových kyselin. Nukleové kyseliny se skládají právě z kyseliny fosforečné, monosacharidů ribosy nebo deoxyribosy a z dusíkatých heterocyklických bází. Fosfor je v nukleových kyselinách nositelem jejich acidity, a tedy i vysoké koncentrace kationů ve strukturách nukleových kyselin. Důležitou roli hraje fosfor i při přenosu signálů na vnitro i mezibuněčné úrovni. Z důležitých poslů je to adenosinmonofosfát. Z vnějšího prostředí do buněk přenáší signály dva poslové, a to inositol-1,4,5-trifosfát a diacylglycerol (Balík et al. 2008).

Fytin

Fytin je nízkenergetická sloučenina fosforu. V semenech tvoří obsah fytinu 60 až 80 % celkového obsahu fosforu. Ve fytinu je také soustředěna velká část hořčiku. V obilninách se množství fytinu pohybuje okolo 1 %. Hrách a sója obsahuje 1,2 % a řepka až 4 %. Při klíčení semen se aktivitou fytázy uvolňují anionty kyseliny fosforečné a kationty Mg^{2+} , případně Ca^{2+} , které jsou hlavním zdrojem fosforu a hořčiku pro klíčící rostlinky. Vysokou aktivitu vykazují semena žita, nižší pšenice, nízkou oves a luskoviny, a nejnižší kukuřice. Fytin se navrácí do půdy ve formě organických hnojiv nebo v posklizňových zbytcích. V živých organismech začíná enzymový rozklad fytinu v trávicím ústrojí. Působí na něj fytázy četných mikroorganismů střevní mikroflóry. Rozklad je poměrně rychlý u přežvýkavců. U ostatních zvířat i lidí je rozklad pozvolnější a část fytinu se tak dostává výkaly do statkových hnojiv a následně do půdy (Vaněk et al. 2016).

3.3.3.1 Nedostatek fosforu

Nedostatek fosforu se projevuje méně často. Velice často se je jedná o latentní nedostatek, což znamená, že na rostlinách nejsou zřetelné žádné zjevné příznaky. Ovšem jeho obsah je nízký, takže nemohou probíhat biochemické funkce na určité potřebné úrovni. Nejdůležitější období pro příjem fosforu rostlinami je na začátku vegetace. Nejvíce je ztížen příjem za chladného, nebo suchého počasí. Běžný je tento výskyt především na chudých stanovištích, utužených půdách a okrajích pozemků. Napomáhá k tomu chladné počasí, kdy je nižší biologická činnost půd a omezené uvolňování fosforu z organických sloučenin mineralizací (Vaněk et al. 2016).

Rostliny s nedostatkem fosforu zaostávají v růstu, jsou malé, zakrslé a mají podobně vzpřímené postavení, jako při nedostatku dusíku. Starší listy jsou šedo zelené, z části i načervenalé. Kořeny se vyvíjejí slabě a je omezen jejich růst. Stonky jsou tenké a načervenalé. Tvorba plodů a semen je omezena. U obilnin je omezeno odnožování. Generativní vývoj je opožděný (Baier 1962). Omezený příjem fosforu může být také způsoben stresovými

podmínkami (např. sucho, nízké teploty aj.), které výrazně ovlivňují jeho příjem (Richter & Hřivna 2005). V návaznosti (Rodriguez et al. 1996) nádobových pokusech s pšenicí zjistil, že vyšší obsah fosforu zlepšuje toleranci rostlin ke stresu ze sucha.

3.3.3.2 *Nadbytek fosforu*

Výrazný nadbytek fosforu v rostlinách se u nás téměř nevyskytuje. Je to zapříčiněno tím, že je půdou velice dobře sorbován a jeho obsah zdaleka nedosahuje kritických hodnot, kdy by přecházel ve vyšších koncentracích do půdního roztoku. V zahraničí, kde je uváděn nadbytek fosforu jako negativní vliv v půdách na rostliny, je jeho obsah daleko vyšší. Většinou je způsoben vysokým podílem organického fosforu (fytin), který se do půd dostává ze statkových hnojiv. Pokud byly u nás zaznamenány příznaky poškození rostlin jeho nadbytkem, stalo se tak většinou z důvodu vysokého melioračního hnojení. Vysoká dávka způsobí krátkodobé snížení přijatelnosti některých kovů tím, že se rozpustné fosforečnany vážou na tyto kovy a vytvářejí nerozpustné sloučeniny (Vaněk et al. 2016).

3.3.4 **Hnojení rostlin fosforem**

Fosfor patří mezi nejvýznamnější stavební živiny ve výživě rostlin. Zásoby přijatelného fosforu v půdách se ale postupně snižují a fosfor se stává limitujícím prvkem výnosu a kvality produkce. V současné době převyšuje bilanční odběr fosforu nad jeho vstupy. Je to dáno především omezeným množstvím hnojení statkovými hnojivy, dalšími organickými a minerálními hnojivy. To má za následek snižování obsahu přístupného fosforu v půdě. S klesajícím hnojením se na všech druzích půd zastavil nárůst kategorií s vysokým a velmi vysokým obsahem fosforu a začal přechod do nižších kategorií zásobenosti. Hnojení fosforem by mělo být takové, aby nedocházelo k jeho trvalému deficitu v půdě. Tím by byla snížena půdní úrodnost, která je základním předpokladem pro zajištění stabilních výnosů a kvalitní produkce. Důsledkem hospodaření bez navracení odebraných živin je příjem fosforu ze „staré půdní síly“, což je v rozporu s intenzivní výrobou a účinek „staré půdní síly“ je pouze dočasný (Kunzová 2009).

Hnojení fosforem je možné provádět do zásoby. Jednoleté rostliny se hnojí na podzim. Je zde přípustné celoplošné hnojení. Pokud máme možnost hnojení lokálního, hnojíme na jaře. U víceletých rostlin se musí uvažovat o lokálním hloubkovém hnojení, nejlépe na jaře. Vzhledem k tomu, že je fosfor difúzně téměř nepohyblivý a půdní biotou preferenčně přijímaný, je nutné ho zapravit k rostlinám do optimální hloubky a co nejbližší k ní.

Před aplikací fosforečného hnojiva je nutné mít upravenou půdní reakci. Fosfor je totiž mimořádně snadno vázán s ostatními prvky. Pozitivní afinita k jakýmkoliv vazbám je realizována v přímé vazbě na stupeň pH. V půdách kyselých velmi rychle vznikají fosforečnany hliníku a železa. S vápníkem tvoří nejběžnější formy výskytu fosforu v zemské kůře, minerálů skupiny apatitů $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. V případě neupravené půdní reakce tak dochází k znepřístupnění fosforu vznikem nerozpustných anorganických sloučenin.

Nejlépe je volit dávky fosforečných hnojiv na základě výsledků analýzy AZP. V horším případě dle jednotlivých odběrových normativů rostlin. Nesmyslné je použití nižších dávek, než je určeno potřebou. Zájem půdní bioty o tuto živinu, umocněný nepohyblivostí a vazbou v půdě, může způsobit, že se fosfor k rostlinám vůbec nedostane. Pokud nutnost aplikovat menší množství hnojiva, než je určená dávka, pak je doporučeno místo plošné aplikace hnojiva hnojit rostliny lokálně nebo plnou dávkou vyhnojit jen určitou část pozemku (Baier 1962).

3.3.4.1 Postup stanovení dávek fosforečných hnojiv

Obsah fosforu v půdě zjistíme pomocí agrochemického zkoušení zemědělských půd. Je to totiž základní parametr, který se při AZP zjišťuje pomocí činidla Mehlich III. Stanovením přístupné formy fosforu se získávají informace, dle kterých lze mimo jiné určit některé parametry půdní úrodnosti. Půdní úrodnost může mít i velmi dynamické změny a to proto, že jakákoliv změna dynamiky fosforu předem signalizuje možnou následnou změnu obsahu přístupného fosforu, i když nemusí být ještě u AZP zaznamenána. Pro určování dynamiky byly využity následující ukazatelé: mobilní a labilní fosfor, adsorpčně desorpční a kinetické ukazatele. Vypočtené dávky a potřeba P-hnojiv vychází z charakteru skupin půd, z dlouhodobých bilancí živin a z předpokládaných výnosů plodin. Ve výpočtech musíme zohlednit jak chemický rozbor půd, tak skupinu půd, skupinu půdního druhu, aciditu půdy, statkové hnojení, zaorávání různých posklizňových zbytků a zvětrávání půdního substrátu (Kunzová 2009).

3.3.5 Hnojení pšenice fosforem

Fosfor a jeho dostupnost je pro rostliny důležitý již při začátcích vývoje. I když je v tomto období jeho odběr velmi malý, je pro rostliny nepostradatelný. Při klíčení a vzcházení se rychle spotřebovává ze zásobních látek, které jsou v semeni obsažené (fytin). Nedostatek P v raných fázích vývoje pšenice může mít významný dopad na další vývoj porostu.

Potřeba fosforu je pevně spjata s energetickými toky rostlin (fosforečné estery ATP). Rovněž ovlivňuje tvorbu buněčných membrán (fosfolipidů). U pšenice ozimé hraje významnou roli při odnožování. Jeho nedostatek snižuje tvorbu odnoží a redukuje listovou plochu. V dalších fázích vývoje má vliv na zakládání generativních orgánů – klasů a klásků. Při nedostatku P se jednotlivé fáze vývoje pšenice opoždějí. Dochází taktéž ke snížení počtu fertálních klasů a zvyšuje se podíl hluchých klásků a klasů. Bylo vědecky prokázáno, že odrůdy tvořící výnos počtem zrn v klasu, jsou méně ovlivněny nedostatkem fosforu než odrůdy, které tvoří výnos počtem klasů na rostlinu. Na konci vegetace je P ve velkém podílu ukládán v zrnu. Rostliny část fosforu remobilizují z vegetativních částí do generativních. Určitý podíl je i nadále přijímán kořeny. Tím, že je P v zrnu obsažen relativně ve velkém množství, ovlivňuje nejen výnos, ale i kvalitu produkce.

Aplikovat fosforečná hnojiva je nejlepší již před setím ozimé pšenice a zapravit je do půdy, nejlépe rovnoměrně v celém orničním profilu. Je živinou, která je v půdě velmi málo pohyblivá a při příhodných podmínkách přechází velmi snadno do nepřijatelných forem. Z tohoto ohledu je zřejmé, že není vhodné aplikovat P pouze na povrch (například přihnojením během vegetace), jelikož využití P ozimou pšenicí bude velice nízké. Při volbě dávky hnojiv se řídíme půdní zásobou. Pokud je úroveň fosforu na dobré úrovni, není potřeba vysoké dávky

hnojiv. Nezbytné je respektování půdních vlastností. Zvláště pH. Při nevhodné půdní reakci dochází k vysrážení dodaných vodorozpustných forem a účinnost hnojení se snižuje. Vodorozpustný fosfor je dodáván aplikací amofosu a superfosfáty. Do kyselých půd je vhodnější aplikovat hnojiva typu mletých fosfátů, hyperfosfátů apod. Správným způsobem, jak pečovat o půdní úrodnost a přijatelnost fosforu, je nejprve optimalizovat pH půdy a až následně hnojení.

Nedostatek P u rostlin nelze řešit mimokořenovou výživou, jednak s ohledem na pomalý vstup fosforečných aniontů do vnitřního prostředí rostlin. Rovněž vysokou potřebu pšenice (20-30 kg P/ha) nelze touto aplikací dodat. Na stanovištích s výrazným deficitem fosforu může foliární aplikace přinést určité zlepšení stavu, ale nelze tento deficit odstranit (Černý et al. 2014).

3.3.6 Fosforečná hnojiva

Fosforečná hnojiva jsou látky, které obsahují tuto živinu přímo ve formě pro rostliny přístupnou, nebo ji poskytují až po svém rozkladu. Hnojiva se dělí dle dostupnosti a fosforu. Rozsah je veliký. Od lehce rozpustných solí až po látky velmi těžko rozpustné. A to jen za specifických stanovištních podmínek (Baier 1962).

3.3.6.1 Organická hnojiva obsahující fosfor

Půdy pravidelně hnojené organickými hnojivy mají lepší fyzikální vlastnosti, lépe zadržují živiny a přijímají vodu. Jsou odolnější k výkyvům pH a umožňují příhodnější dávkování a využití minerálních hnojiv (Vaněk et al. 2016).

(Amadou et al. 2021) ve svém článku píše, že kombinace slámy a organických hnojiv při vrácení na pole zlepšují úrodnost půdy a zvyšují produktivitu. Dodávají vysoký obsah dusíku a vyšší obsah bílkovin.

Ke statkovým hnojivům se řadí organické hmoty a materiály, jejichž společným znakem je biologický původ. Jsou nejen zdrojem živin, ale především dodavatelem humusotvorných látek (Baier 1962). Nejvíce fosforu obsahuje hnůj skotu chovaný na hluboké podestýlce. Obsahuje 0,15 %. Ovčí hnůj v čerstvém stavu obsahuje 0,14 % a koňský 0,11 % fosforu. V močůvce není fosfor obsažen vůbec. Nejbohatší obsah fosforu obsahuje kejda drůbeží. V čerstvém stavu je zde fosfor obsažen v množství 0,28 %. Fosfor můžeme nalézt také v kompostu. Hnojením fosforem, draslíkem a hořčíkem bychom měli vytvořit a udržovat střední obsah přijatelných živin, který zajistí stabilní a přiměřený výnos. Pro dostatečnou výživu rostlin fosforem je důležitý obsah fosforu v půdě. Jestliže je dosaženo potřebného obsahu fosforu v půdě, předpokládá se, že produkce rostlin a výnos plodin už není závislý na vlastním hnojení. Nelze ovšem počítat s tím, že při velice nízkém obsahu fosforu dosáhneme po prvním hnojení výrazných změn. Každá navržená dávka živin se aplikuje v určitém intervalu. Na většinu půd lze hnojit fosforem na tři roky (Vaněk et al. 2016).

Předpokladem dobré účinnosti hnojení je ideální pH půdy, množství půdních zásob atd. Potřebné hnojení určujeme pomocí agrochemických rozborů půdy a z rozborů rostlin. Fosfor můžeme dodat jak v anorganické, tak v organické formě. Vhodná aplikace hnojiv je na konci léta, většinou na podzim. Nejvhodněji před zpracováním půdy, kdy lze hnojiva do půdy zapravit orbou či podmítkou (Faměra 1993).

Balík et al. (2008) díky rozsáhlému množství analýz tvrdí, že naše zemědělství stále ještě využívá fosfor, který byl dodán do půd v období 1965 až 1990. Tudíž čerpá z půdních rezerv.

3.3.6.2 Minerální fosforečná hnojiva

Hlavní surovinou minerálních fosforečných hnojiv jsou především surové fosfáty z přírodních nalezišť. Dále to jsou nerosty obsahující fosfor a další fosforečné sloučeniny. Fosfáty, které vznikly sopečným původem, nazýváme apatity a fosfority. Fosfority jsou různě zbarvené amorfní sedimenty. Nejrozšířenější apatit je kolský z Ruska. Obsahuje 17,5 % fosforu a chemicky je tvořen fluorapatitem. Fosforitová naleziště jsou především v Africe. Maroku, Alžírsku, Tunisu a podobně. Obsah fosforu se pohybuje v rozmezí od 12,5 % do 15,5 %. Jsou to organogenní kryptokrystalinické fosfority. Po chemické stránce jsou tvořeny fluoroapatitem, chlorapatitem, hydroxylapatity a karbonátapatity. Fosforečná hnojiva vznikají i při výrobě železa z železné rudy. Zde přítomný fosfor se musí při tavení odstranit. Vzniká tzv. Thomasova moučka (Baier, 1962). Jednotlivými kroky úprav fosforečných hnojiv jsou: mletí, promývání, síťování, magnetické oddělení oxidů železa, flotace pro oddělení křemene a kalcinace pro oddělení organických nečistot (Büchner 1991).

Výroba fosforečných hnojiv se děje více způsoby. Principem chemického zpřístupnění fosforu z vápenatých fosfátů při výrobě superfosfátů je to, že se část vápníku nahradí vodíkem. Mechanickým způsobem získáváme mleté fosfáty, např. hyperfosfát. Tavením s přísadami (termickým způsobem) jsou získávány termofosfáty. Mletím Thomasovy strusky se získává hnojivo Thomasova moučka (Baier 1962).

3.3.6.2.1 Hnojiva s lehce rozpustnými sloučeninami fosforu

Fosforečná hnojiva s lehce rozpustnými sloučeninami fosforu se vyznačují tím, že převážný podíl fosforu je ve formě vodorozpustné. Účinek těchto hnojiv, dodaných do půdy s neutrální až slabě kyselou reakcí, je poměrně rychlý. Ale i zde dochází časem k tzv. retrogradaci vodorozpustné formy. Je zesílená kyselou i alkalickou půdní reakcí. Přes různé mezistupně amorfních forem se v kyselé půdní reakci tvoří těžko rozpustné Fe- a Al- fosfáty a obdobně při neutrální až alkalické reakci Ca-fosfáty. Pozdější remobilizace fosforu je možná především změnou půdní reakce. Do této skupiny hnojiv patří různé druhy superfosfátů (Baier 1962). Základní surovinou pro výrobu superfosfátu je kyselina fosforečná. Nejrozšířenějším fosforečným hnojivem je trojitý superfosfát, který tvoří přibližně 20 % celosvětové spotřeby (Jäger & Hegner 1987).

- Superfosfát jednoduchý

Jednoduchý superfosfát je první průmyslově vyráběné hnojivo a do konce šedesátých let byl na předním postavení mezi nabízenými hnojivy světového trhu (Richter & Hlušek 1996). Základní složkou je $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Aplikace tohoto hnojiva je vhodná pro půdy od slabě kyselé reakce. Na kyselých půdách se dihydrogenfosforečnanový iont váže na hliník a železo, když není sorpční komplex nasycen vápníkem. Proto aplikace tohoto hnojiva není doporučována na kyselých půdách. Jednoduchý superfosfát je ve dvou formách. Práškový superfosfát obsahuje 8,3 % fosforu (18 až 19 % P_2O_5). Vlastnostmi je to šedohnědý kyprý prášek, který je mírně vlhký, ale nemazlavý.

Granulovaný superfosfát obsahuje 19 % P_2O_5 . Jsou to šedé až šedohnědé granule o velikosti 1-4 mm. Granulovaná forma je ekonomicky výhodnější, hygieničtější a má větší hnoјivou účinnost.

- Superfosfát dvojité

Základní složkou je $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$. Obsahuje 14,4 % P (33 % P_2O_5). Dodává se ve formě šedých až šedohnědých granulí. Je vhodnější na kyselé půdy než superfosfát jednoduchý a je vhodný i na neutrální půdy.

- Superfosfát trojitý

Základní složkou je $Ca(H_2PO_4)_2$. Obsahuje 19,8 % P (45 % P_2O_5). Dodává se ve formě šedých až šedohnědých granulí. Nehodí se pro půdy bohatě zásobené vápníkem s vyšším obsahem železa a vápníku, a pro půdy silně kyselé (Kunzová 2009). Trojitý superfosfát má několik agronomických výhod, díky nimž je po mnoho let tak oblíbeným zdrojem P. Má nejvyšší obsah P v hnojivech bez N. Více než 90 % celkového P je rozpustný ve vodě, takže je rychle dostupný pro příjem rostlinami. Hnojivo také obsahuje 15 % vápníku (IPNI 2020).

Superfosfáty lze univerzálně používat ke všem plodinám nejen při předset'ové přípravě, ale také při před zásobním hnojením či hnojením do zásoby. Na půdách chudých na fosfor se osvědčuje lokální aplikace hnojiva do blízkosti osiva nebo plošná aplikace startovací dávky. Půdy dobře zásobené fosforem nereagují tak významným způsobem na hnojení superfosfáty. Na půdách s méně příznivými poměry pro trvalejší účinek vodorozpustné formy fosforu dodávané v superfosfátech, je nutné kombinovat hnojení superfosfátem se zapravením organických hnojiv do půdy orbou. Toto zapravení rovněž chrání vodorozpustnou formu fosforu před rychlou retro gradací a přispívá i k rozšíření organických vazeb fosforu, které se po mineralizaci stávají pozvolným trvalejším zdrojem výživy rostlin fosforem. Superfosfát přidaný k organickým hnojivům rovněž stimuluje humusotvorné pochody. Práškový superfosfát je také vhodný k obohacování močůvky fosforem, kde snadno přechází do roztoku, vyrovnává poměr živin a zabraňuje ztrátám amoniaku. Přidává se 1 až 2 kg na 100 l močůvky superfosfátů (Baier 1962).

3.3.6.2.2 Hnojiva se středně rozpustnými sloučeninami fosforu

Převážný podíl přítomného fosforu je ve formách rozpustných buď ve 2 % citronanu amonném, nebo ve 2 % kyselině citrónové. Tato hnojiva nejsou ve vodě rozpustná, proto musí být jejich fosfor v půdě převeden do přístupné formy. To se nejčastěji děje pozvolna pomocí činnosti kyselin, mikroorganismů a kořenových výměšků. Sortiment hnojiv je zde velmi malý. Jedná se o Thomasovu moučku, termofosfáty a dikalciumfosfáty. Poslední dvě jmenovaná hnojiva se však příliš často nevyužívají.

▪ **Thomasova moučka**

Thomasova moučka obsahuje kolem 7 % fosforu, který je z 80 % rozpustný ve 2 % kyselině citrónové. Dále obsahuje 32-35 % vápníku, do 2,5 % hořčíku a 5-6 % křemíku. Dodává se ve formě těžkého, jemně mletého prášku světle šedé nebo tmavošedé barvy (Baier 1962). Thomasova moučka je jediné fosforečné hnojivo, které se nezískává zpracováním přírodních fosfátů (Richter & Hlušek 1996). Získává se mletím strusky, která vzniká jako vedlejší produkt při odstraňování fosforu ze železných rud při výrobě oceli konventorovým či talbotovým způsobem (Baier 1962). Fosfor má v moučce formu fosforečnanů křemičitano-vápenatých, protože se váže na oxid vápenatý, který je při tavení železných rud přidáván do vsázky (Richter & Hlušek 1996). Hnojivý účinek je větší při velmi jemném namletí moučky. Moučka působí v půdě pozvolna. Obsahuje rovněž vysoký obsah vápníku a působí alkalicky.

Nejlepší účinky má na lehčích a kyselých půdách v našich bramborářských a horských oblastech. Přednostně ji aplikujeme k plodinám s delší vegetační dobou. Moučku je vhodné zapravit předseťovou přípravou nebo orbou. Orbou dosáhneme hlubší zapravení hnojiva a dosáhneme tak dosycení i spodnějších vrstev půdy fosforem. Toto hnojivo má mimořádně příznivý vliv na půdní úrodnost, kdy otupuje kyselé půdní reakce, zlepšuje půdní strukturu a stimuluje biologickou činnost půdy (Baier 1962).

3.3.6.2.3 Hnojiva s těžko rozpustnými sloučeninami fosforu

Přítomný fosfor ve formě fluorapatitu či jiných apatitů je pro rostliny bez rozrušení vazeb půdními faktory nedostupný. Pro dobrý účinek se k hnojení používají především měkké surové fosfáty, které jsou upraveny jemným mletím. Podle rozpustnosti v kyselině mravenčí je zařazujeme do tří skupin:

- s vysokým podílem fosforu rozpustného v kyselině mravenčí (hyperfosfát)
- se středním podílem rozpustného fosforu
- s nízkým podílem rozpustného fosforu

Na působení a využití fosforu z těchto hnojiv nemá vliv pouze rozpustnost a jemnost jejich mletí. Ale vliv mají také půdní podmínky. K nejintenzivnější mobilizaci dochází při nízkých hodnotách půdní reakce (pod pH 6 až 6,5), dostatečné vlhkosti půdy, vyšších teplotách a dostatku organické hmoty, která stimuluje biologickou aktivitu půdy.

Fosfor je z těchto hnojiv uvolňován postupně a v závislosti na výše uvedených podmínkách. Hnojiva jsou aplikována především ve vysokých dávkách jednorázově s cílem využití jejich melioračního účinku ke zvýšení půdní úrodnosti.

▪ **Hyperfosfát**

Základní složkou je $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Obsahuje kolem 13 % fosforu, a nejméně 2/3 jsou rozpustné ve 2 % kyselině mravenčí. Dále obsahuje kolem 34 % Ca přítomného především v apatitu, 0,6 % Mg a z mikroelementů B, Cu, Mn, Zn. Vlastnostmi je to jemně šedá nebo šedohnědá hmota bez zápachu, velmi sypká a prašná. Granulovaná forma tohoto hnojiva se nazývá hyperkorn.

Hyperfosfáty používáme na kyselé půdy s hodnotou pH pod 6,5 především ve vlhčích oblastech. Aplikace je možná na jaře i na podzim. Výhodné je předzásobení nebo meliorační hnojení vyššími dávkami spojit se zapravením orbou společně s organickými hnojivy. Vhodné

je rozmetení již na strniště. Hyperfosfáty také využíváme k obohacování hnoje nebo kejdy, kdy se přidává 30 až 40 kg hyperfosfátu na 1 t hnoje nebo asi 0,5 kg na ustájený kus skotu na den (Baier 1962).

3.3.6.2.4 Vícesložková minerální hnojiva obsahující fosfor

Vícesložková hnojiva dále dělíme na hnojiva:

Směsná: jsou vyráběna pouhým smícháním jednotlivých jednosložkových hnojiv v požadovaném poměru živin. Není zde využito žádných chemických reakcí.

Kombinovaná: během výroby jednotlivé složky hnojiva spolu chemicky reagují. Při výrobě kombinovaných hnojiv je technologicky výhodné použít suroviny s vysokou koncentrací základních složek a minimem znečišťujících přísad.

Základními surovinami pro výrobu kombinovaných hnojiv je kapalný nebo plynný čpavek, kyselina dusičná s koncentrací 52-7 %, fosfáty nebo kyselina fosforečná, chlorid nebo síran draselný. Dalšími surovinami může být např. kyselina sírová, síran amonný, oxid uhličitý, dusičnan amonný, případně fosforečnany amonné. Základní krokem při výrobě kombinovaných fosforečných hnojiv je rozklad fosfátů v min pětiprocentním přebytku kyseliny dusičné s koncentrací nad 53 % (Richter 2007).

▪ **NPK 15-15-15**

Obsahuje 15 % N, 15 % P_2O_5 a 15 % K_2O , 2 % MgO a 12 % síry jako SO_3 . Dusík, fosfor a draslík je pro rostliny v lehce přijatelných formách. 40 % dusíku je v ledkové formě a draslík je ve vodorozpustné chloridové formě. Živiny jsou v hnojivu ve formě vápenatých, amonných a draselných solí kyseliny fosforečné, dusičné a chlorovodíkové. NPK je dodáváno ve formě šedohnědých granulí o velikosti 2 až 5 mm. Hnojivo je určeno k základnímu hnojení (na jaře před setím nebo výsadbou, resp. před zahájením vegetace) a k přihnojování během vegetace, zejména u půd se střední a vysokou zásobou fosforu a draslíku (Hnojivo ES 2012).

▪ **Amofos**

Obsahuje 12 % N a 52 % P_2O_5 . Hnojivo se používá k podzimnímu předset'ovému hnojení nebo k regeneračnímu hnojení ozimů během vegetace. Možné je také využití k základnímu jarnímu hnojení, ovšem s nutností dodatečného dusíkatého přihnojení. Kvůli zvrhávání fosforu se nedoporučuje aplikace amofosu společně s hořečnatými a vápenatými hnojivy (Amofos 2018).

3.4 Principy stanovení přijatelného obsahu fosforu v půdě

Pro stanovení přijatelného obsahu fosforu v půdě se využívá mnoho metod. Podle (Zbiral & Němec 2000) mezi nejpoužívanější metody patří Mehlich 3, Mehlich 2, Mehlich 1, CAL, Egnerova metoda, Olsenova metoda, Bray and Kurtz P metoda.

V této bakalářské práci byly využity pro srovnání tři metody. Metoda pomocí extrakčního činidla Mehlich 3, iontovýměnné membránami (AEM) a jako třetí extrakce vodným výluhem.

3.4.1 Mehlich 3

Činidlo Mehlich je výluhem směsi kyselin a dalších chemických sloučenin a je pojmenováno dle autora, postupně popisujícího metody Mehlich 1, Mehlich 2 a Mehlich 3. Poslední zmíněný v pořadí vyvinul Mehlich v roce 1984 jako vylepšení metody Mehlich 2. Jedná se o více prvkový extrakt pro P, K, Ca, Mn, Cu, Fe a Zn, vhodný pro širokou škálu půd, kyselých i zásaditých.

Mehlich 3 je směs kyseliny octové, dusičnanu amonného, fluoridu amonného, kyseliny dusičné a EDTA. Kyselina octová v extrakčním činidle mimo jiné přispívá k uvolňování dostupného P ve většině půd. Pro predikci reakce plodin na P na neutrálních a alkalických půdách je tato metoda účinnější než půdní test Mehlich 1, protože kyselost extraktantu je méně neutralizována půdními uhličitany. Za obecně optimální hodnotu Mehlich 3 pro růst rostlin a výnosy plodin je považováno 45-50 mg P/kg půdy (Wuenschel et al. 2016).

3.4.2 Iontovýměnné membrány

Iontovýměnná membrána (AEM) je separační membrána, která je schopná při aplikovaném elektrickém poli separovat kationty a anionty z roztoku. Díky tomu, že AEM obsahuje vázané funkční skupiny, jsou volné proti-ionty, mající opačný náboj než funkční skupiny, přes AEM transportovány a ko-ionty jsou AEM zadržovány. Rozlišujeme dva typy, a to homogenní, které jsou tvořeny polymerní maticí přímo obsahující iontovýměnné funkční skupiny navázané na řetězci, jako druhé heterogenní, které jsou tvořeny polymerní maticí, iontovýměnnou pryskyřicí (ionexem) a aditivy. Dále je možné AEM rozdělit dle typu iontů, které transportují, na aniontovýměnné a kationtovýměnné membrány (Stránská et al. 2015).

Aniontové membrány se běžně používají ke studiu dynamiky P v půdách a sedimentech. Používají se zejména k měření „snadno vyměnitelného“ fosfátu v půdách a ve spojení s fumigací hexanolem ke stanovení P obsaženého v půdní mikrobiální biomase (Cheesman et al. 2010). Pryskyřicí impregnované iontoměničové membrány nabízejí mnoho výhod při určování biologické dostupnosti půdních iontů. Jejich téměř dvourozměrná struktura eliminuje problémy s vnitřní difúzí. Novější typy aniont měničových membrán sorbují a desorbují ionty a vytvářejí tak dynamické prostředí, které může odrážet skutečné půdní podmínky.

Iontovýměnné membrány lze použít in-situ, což umožňuje měření dostupnosti iontů tak, aby odrážely všechny půdní, environmentální a biologické faktory, které by mohly ovlivnit dostupnost iontů v půdě (Ion Exchange membranes 2006).

3.4.3 Vodný výluh

Principem extrakce demineralizovanou vodou je převedení snadno rozpustného P z půdních částic do roztoku a ustanovení rovnovážné koncentrace P v systému roztok–půda (Bartels & Bigham 1996). Jednoduchost a rychlost stanovení patří mezi nesporné výhody této metody, díky kterým se zároveň snižuje riziko vnesení chyb (Fuhrman et al. 2005). Další výhodou je extrakce P při hodnotách pH blízkých půdnímu roztoku oproti jiným testům používajícím kyselé nebo alkalické roztoky.

(Fuhrman et al. 2005) zároveň poukazují na skutečnost, že použitý poměr půda ku roztoku a čas extrakce se v mnoha studiích liší a neexistuje jednotná metodika. Ve své porovnávací práci ukázali, že extrakční poměr půda: voda 1:10 a čas extrakce 10 minut jsou pro toto stanovení dostatečné a získané koncentrace silně korelují s hodnotou P získanou podle metody Mehlich 3.

4 Metodika

Vzorky rostlin pšenice ozimé a půdy byly odebírány v letech 2015-2018. Základní data o pozemcích byla získána s pomocí Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ) nebo přímo od agronomů. Cílem bylo získat široké spektrum půd s rozdílnými vlastnostmi, lišící se zejména v hodnotě pH a obsahu fosforu (P). Celkem tak byly shromážděny půdy ze 105 stanovišť. Ty byly následně rozděleny dle hodnoty pH na soubor nekarbonátových ($\text{pH} < 7,00$; $n=47$) a karbonátových půd ($\text{pH} > 7,00$, $n=58$). Důvodem je možnost neutralizace kyselého působícího činidla Mehlich 3 na karbonátových půdách uváděná v některých literárních zdrojích. Na této skupině půd pak hrozí horší korelace mezi obsahem P v půdě a v rostlině.

Vzorky nadzemní hmoty rostlin pšenice ozimé byly odebírány na jaře ve dvou vegetačních fázích – BBCH 30-32, tj. počátek sloupkování a BBCH 65-69, tj. ve fázi kvetení. Půdní vzorky (0-30 cm) byly odebírány spolu s prvními odběry rostlin.

Postup při odběru vzorků byl následující:

- Identifikace všech ploch byla provedena pomocí měření geografické polohy souřadnic, odečtených z mapy a zaznamenaných pomocí přístroje GPS.
- Plocha pro odběr půdního vzorku byla totožná s plochou pro odběr rostlin.
- Vzorky půdy byly odebírány výhradně sondovací tyčí o průřezu 2 cm.
- Vzorky půdy byly usušeny volně na vzduchu a jemně rozrušeny, homogenizovány a přesety přes síto (2 mm).

Analytická stanovení

Pro stanovení hodnoty pH v 0,01 mol/l CaCl_2 bylo naváženo 5 g usušeného substrátu, který reagoval po dobu 2 hodin (1 hod. třepání, 1 hod. ustálení) s 50 ml 0,01 M CaCl_2 (upraveno dle Minsany et al., 2011) ve 100 ml plastových lahvičkách. Po ustálení proběhlo měření výměnného pH přístrojem HANNA Instruments (HI 991 300, Woonsocket, Rhode Island, USA) přímo v suspenzi.

Stanovení celkového oxidovatelného uhlíku (C_{ox})

Obsah celkového oxidovatelného uhlíku byl stanoven pomocí dichromanu draselného a kyseliny sírové (Sims & Haby 1971). Ve stručnosti: 1 g vzorku byl zalit postupně 10 ml $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a 10 ml H_2SO_4 . Po ochlazení byla směs dolita na objem 100 ml demineralizovanou vodou. Obsah organického uhlíku byl po zfiltrování suspenze měřen kolorimetricky při vlnové délce 600 nm přístrojem Perkin Elmer Lambda 25 UV/VIS Spectrophotometer (Waltham, Massachusetts, USA).

Extrakce půd vodným výluhem

Extrakty byly zhotoveny dle (Luscombe et al. 1979). K 10 g vzorku bylo doplněno 50 ml demineralizované vody. Vzorky byly třepány 2 hodiny a následně filtrovány. Vzniklé

extrakty byly analyzovány na obsah okamžitě přístupného P, železa (Fe), hliníku (Al) i vápníku (Ca) pomocí optického emisního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Varian Vista Pro, Victoria, Austrálie).

Extrakce půd výluhem Mehlich 3

Pro analýzy půd byl použit extrakční roztok dle Mehlich 3 (Mehlich, 1984) složený z kyseliny octové (0,2 mol/l), fluoridu amonného (0,015 mol/l); kyseliny dusičné (0,013 mol/l), dusičnanu amonného (0,25 mol/l) a kyseliny ethylendiamintetraoctové (0,001 mol/l). Poměr substrátu a extrakčního roztoku činil 1:10 (3 g zeminy, 30 ml roztoku). Následovalo třepání suspenze po dobu 5 minut. Získaný roztok byl zfiltrován, a ve vzniklých extraktech byl analyzován obsah P, Fe, Al a Ca prostřednictvím ICP-OES. Železo, hliník a vápník jsou jednou z hlavních příčin sorpce fosforu v půdě, a proto jsou zde uvedeny jako jedny ze stanovených prvků ve vodném výluhu i ve výluhu Mehlich 3.

Extrakce iontovýměnnými membránami (AEM)

Principem funkce AEM je výměna iontů HCO_3 nasorbovaných z NaHCO_3 za síranové anionty v roztoku. Ty jsou pak zpětně desorbovány pomocí HCl . Metodika byla upravena dle (Kuono et al. 1996) a (Tiessen & Moir 1993) AEM byly nejprve 3 dny regenerovány v roztoku 0,5 mol/L HCl a následně 3 dny v 0,5 mol/L NaHCO_3 . Do 50ml kyvet byl navážen 1 g jemnozeme. Ta byla zalita 20 ml demineralizované vody. Následně byly ke každému vzorku přidány 2 regenerované membrány (proužky 5x1 cm). Po uzavření byly kyvety 16 hod. třepány na horizontální třepačce při 120 ot./min. Poté byly membrány vyjmuty, lehce opláchnuty demineralizovanou vodou a následně třepány 16 hod. v roztoku 0,5 mol/L HCl . Po vyjmutí membrán byl v získaných extraktech měřen obsah fosforu pomocí ICP-OES.

Analýzy rostlin

Rostliny byly v době sklizně změřeny, poté byla sklizena nadzemní hmota (0,5 cm nad povrchem půdy), která byla zvážena a usušena (do 40 °C). Na základě podílu suché a čerstvé hmoty bylo vypočteno procento sušiny. Pro další analýzy bylo naváženo 0,25 g ($\pm 0,005$ g) jemně namleté nadzemní hmoty. Ta byla rozložena pomocí mikrovlnného rozkladu působením koncentrované kyseliny dusičné a peroxidu vodíku (7 + 2 ml). Získaný vzorek byl poté převeden na objem 25 ml pomocí demineralizované vody a analyzován ICP-OES pro stanovení obsahu fosforu.

Statistické vyhodnocení

K hodnocení výsledků byly použity zejména korelační a regresní analýzy. K popisným charakteristikám byl využit program Excel (Excel, 2010) a k pokročilejšímu výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu s průkazností při hladině významnosti $p < 0,05$ byl užit program STATISTICA (StatSoft, 2019).

5 Výsledky

5.1 Nekarbonátové půdy

Tabulka. 1. uvádí popisné charakteristiky v nekarbonátových půdách. Je zde uvedeno pH, obsah celkového oxidovatelného uhlíku (Cox), obsah fosforu stanoveného AEM membránami a také obsah prvků (fosforu, vápníku, železa a hliníku), které byly stanoveny výluhem Mehlich 3. Obsahy fosforu zjištěné AEM membránami byly od 8,3 po 162 mg/kg. Obsah fosforu stanovený metodou Mehlich 3 se pohyboval od 27,9 až po 465 mg/kg. I z tohoto důvodu průměrný obsah fosforu stanovený metodou Mehlich byl výrazně vyšší, a to 110 mg/kg, zatímco a u AEM dosahoval průměr pouze 46,8 mg/kg.

Tabulka 1. Popisné charakteristiky pro nekarbonátové půdy (pH, obsah P stanovený AEM membránami a obsah P, Ca, Fe a Al stanovený výluhem Mehlich 3)

	pH _{CaCl2}	Cox	P _{AEM}	P _{M3}	Ca _{M3}	Fe _{M3}	Al _{M3}
		%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Maximum	6,99	2,26	162	445	6629	540	926
Minimum	4,70	0,55	8,3	27,9	752	121	135
Medián	6,15	1,51	43,9	106	25500	323	478
Průměr	6,05	1,44	46,8	110	2655	333	460

Tabulka. 2. uvádí popisné charakteristiky obsahů P, Ca, Fe a Al stanovených vodným výluhem na nekarbonátových půdách. Obsah stanovený vodným výluhem se u fosforu pohyboval od 1,49 mg/ kg po 30,8 mg/kg, Průměr byl o 38,04 mg/kg menší než u fosforu stanoveného metodou Mehlich 3.

Tabulka 2. Popisné charakteristiky výsledků vodného výluhu pro nekarbonátové půdy.

	P _{H2O}	Ca _{H2O}	Fe _{H2O}	Al _{H2O}
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Maximum	30,8	229	228	160
Minimum	1,49	37,1	0,29	0,35
Medián	6,85	110	35,2	68,3
Průměr	8,76	112	40,8	68,3

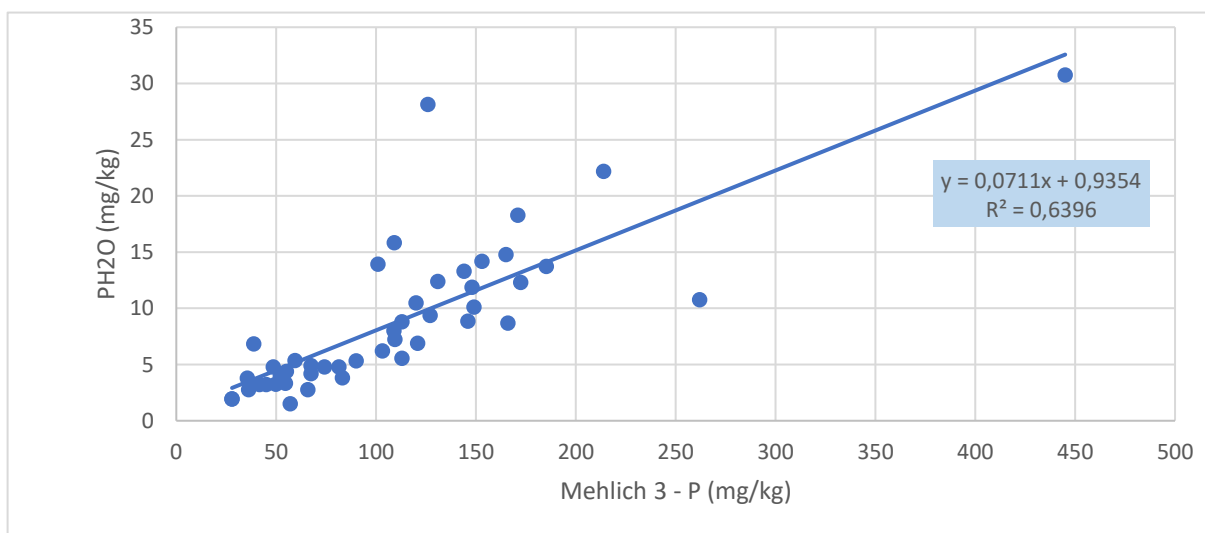
Tabulka. 3. uvádí popisné charakteristiky obsahu celkového fosforu v nadzemní hmotě rostlin pěstovaných na nekarbonátových půdách. Jak v první fázi na konci odnožování (BBCH 30-32), tak v druhé fázi na konci kvetení (BBCH 65-69). Obsahy fosforu zde byly variabilní a v první fázi se pohybovaly v rozmezí od 2069 po 6600 mg/kg. Ve druhé fázi se pohybovaly od 829 do 3400 mg/kg. Zde je viditelné, že hodnoty zjištěné při prvním odběru jsou skoro dvojnásobně vyšší, oproti druhému odběru. Průměr v první fázi je 4195 mg/kg a v druhé fázi 2146 mg/kg. U všech sledovaných parametrů (tabulky 1. – 3.) jsou průměrné hodnoty blízké mediánům, z čehož lze usuzovat na normální distribuci sledovaných dat.

Tabulka 3. Popisné charakteristiky obsahu P v rostlinách nekarbonátové půdy

	BBCH31	BBCH 65-69
	mg/kg	mg/kg
Maximum	6600	3400
Minimum	2069	829
Medián	4185	2147
Průměr	4195	2146

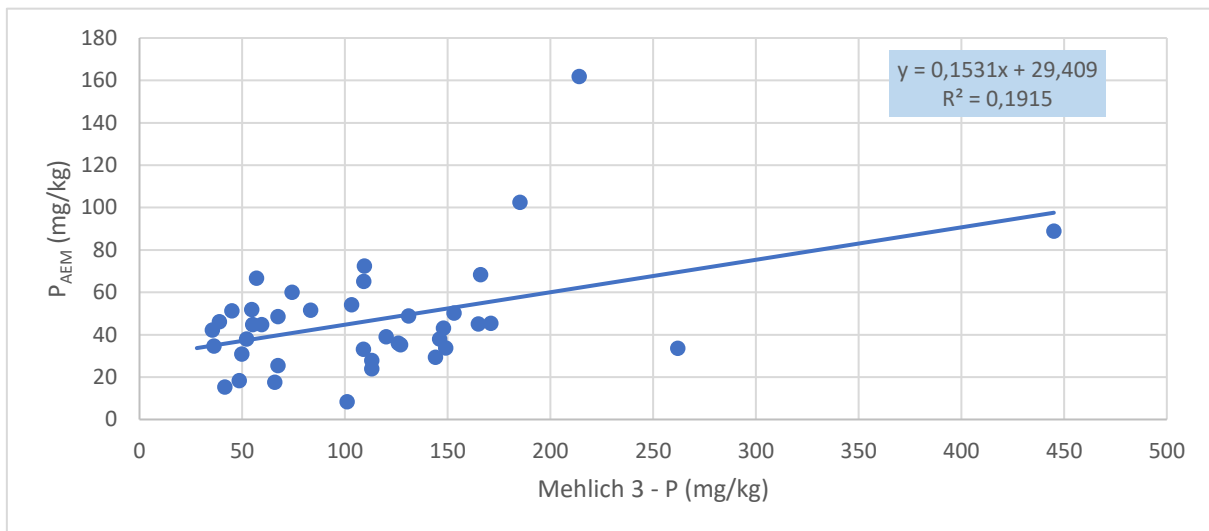
Graf 1. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v nekarbonátových půdách stanoveného ve výluhu Mehlich 3 s P ve vodném výluhu. Jedná se o pozitivní lineární regresi. Hodnota regresního koeficientu R^2 činila 0,640, to znamená, že změny hodnot Mehlich 3 lze s 63% spolehlivostí vyjádřit změnami výsledků vodného výluhu a naopak. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,752$ udává silnou korelaci.

Graf 1. Vztah mezi obsahem přijatelného P v nekarbonátových půdách stanovených ve výluhu Mehlich 3 s P_{H_2O} .



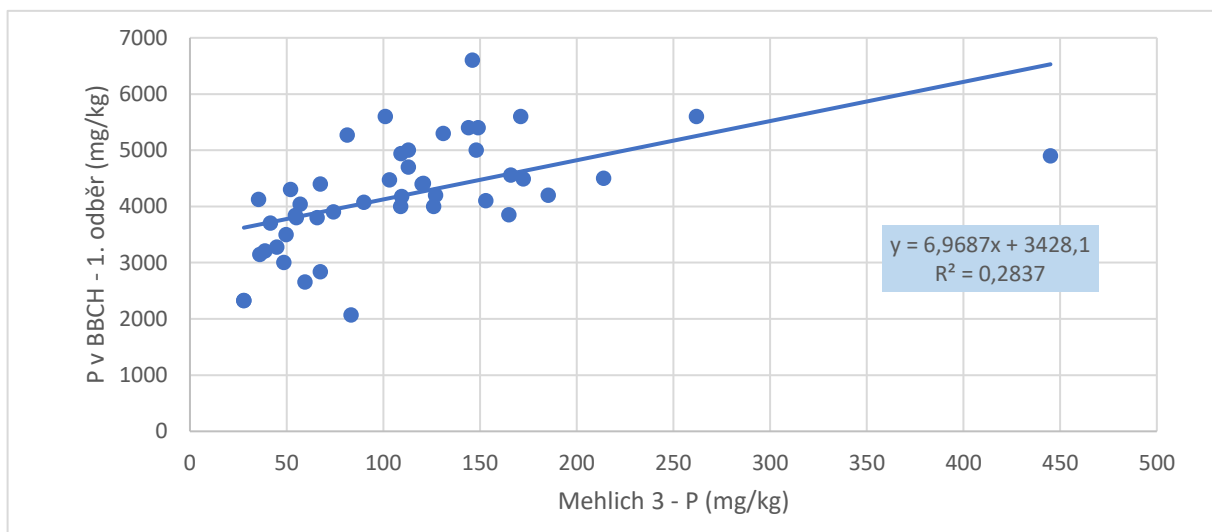
Graf 2. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v nekarbonátových půdách stanoveného ve výluhu Mehlich 3 s iontovýměnnými membránami (AEM). Jedná se o pozitivní lineární regresi. Hodnota regresního koeficientu ($R^2 = 0,1915$), byla výrazně nižší než v případě srovnání Mehlich 3 s vodným výluhem, avšak Pearsonův korelační koeficient $r = 0,757$ udává rovněž velmi silnou korelaci.

Graf 2. Vztah mezi obsahem přijatelného P v nekarbonátových půdách stanovených ve výluhu Mehlich 3 s iontovýměnnými membránami



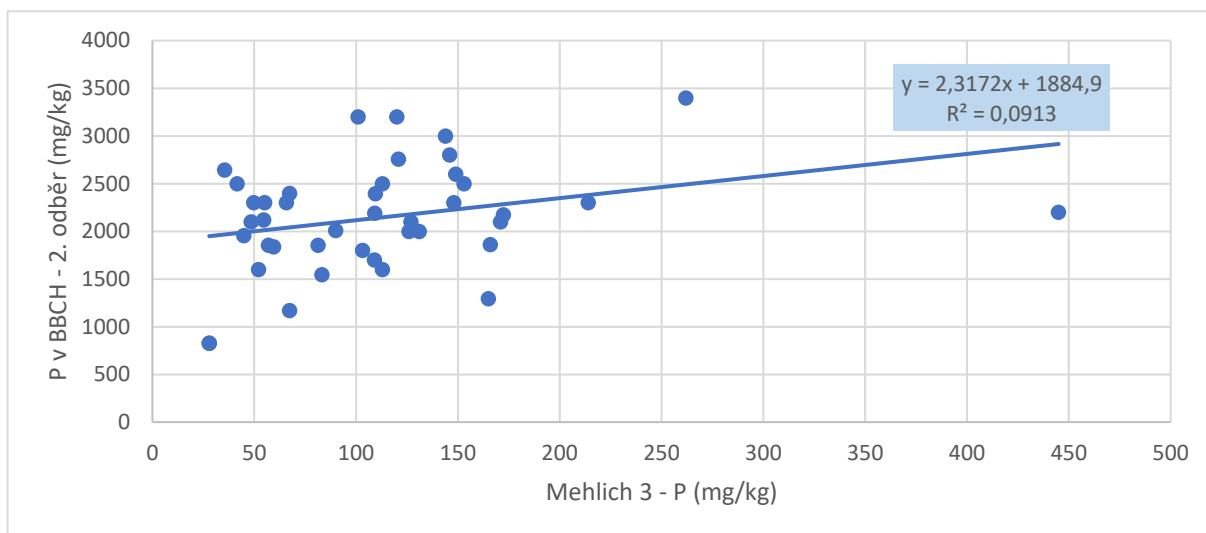
Graf 3. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v nekarbonátových půdách stanoveného ve výluhu Mehlich 3 s obsahem P v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování. Jedná se o pozitivní lineární regresi. Hodnota R^2 činila 0,2837. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,460$ udává průkaznou závislost při hladině významnosti $p < 0,05$.

Graf 3. Vztah mezi obsahem přijatelného P v nekarbonátových půdách stanovených ve výluhu Mehlich 3 a obsahem P v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 30-32)



Graf 4. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v nekarbonátových půdách stanoveného ve výluhu Mehlich 3 s obsahem P v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi kvetení. Jedná se o pozitivní lineární regresi. Hodnota $R^2 = 0,091$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,185$ udává neprůkaznou korelaci.

Graf 4. Vztah mezi obsahem přijatelného P v nekarbonátových půdách stanovených ve výluhu Mehlich 3 a obsahem P v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65-69)



Srovnání dalších parametrů na nekarbonátových půdách

Tabulka 4. uvádí vztah fosforu stanoveného metodou Mehlich 3 v nekarbonátových půdách s dalšími sledovanými parametry. Jediný průkazný vztah byl u nekarbonátových půd zjištěn ve vztahu s železem s hodnotou korelačního koeficientu $r = 0,498$. Lze tak nepřímo předpokládat, že v nekarbonátových půdách byl hůře přístupný fosfor vázán především na železo,

Tabulka 4. Vztah fosforu (Mehlich 3) v nekarbonátových půdách s různými parametry

	r	A	b	R^2
pH	0,008	15,7	15,2	0,025
Cox	0,115	-14,2	128	0,007
Ca	-0,213	-0,973	2762	0,004
Fe	0,498*	0,718	254	0,291
Al	-0,230	0,623	391	0,035

* průkazný vztah při hladině významnosti $p < 0.05$; a, b – parametry lineární regrese

5.2 Karbonátové půdy

Tabulka. 5. uvádí popisné charakteristiky v karbonátových půdách. Je zde uvedeno pH, obsah celkového oxidovatelného uhlíku (Cox), obsah fosforu stanoveného AEM membránami a také obsah prvků (fosforu, vápníku, železa a hliníku), které byly stanoveny výluhem Mehlich 3. Obsahy fosforu zjištěné AEM membránami byly od 3,98 po 208 mg/kg. Obsah fosforu stanovený metodou Mehlich 3 se pohyboval od 1 až po 345 mg/kg. I z tohoto důvodu průměrný obsah fosforu stanovený metodou Mehlich byl výrazně vyšší, a to 89,9 mg/kg, zatímco a u AEM dosahoval průměr pouze 35 mg/kg.

Tabulka 5. Popisné charakteristiky pro karbonátové půdy (pH, obsah P stanovený AEM membránami a obsah prvků stanovených výluhem Mehlich 3)

	pH _{CaCl2}	Cox	P _{AEM}	P _{M3}	Ca _{M3}	Fe _{M3}	Al _{M3}
		%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Maximum	8,02	3,06	208	345	38600	375	871
Minimum	7	0,07	3,98	1	2090	46,9	0
Medián	7,4	1,46	30,2	64,7	8530	180	324
Průměr	7,46	1,46	35	89,9	9402	191	333

Tabulka. 6. uvádí popisné charakteristiky obsahů P, Ca, Fe a Al stanovených vodným výluhem na karbonátových půdách. Obsah stanovený vodným výluhem se u fosforu pohyboval od 0,35 mg/ kg po 16,1 mg/kg, Průměr byl o 84,9 mg/kg menší než u fosforu stanoveného metodou Mehlich 3.

Tabulka 6. Popisné charakteristiky pro karbonátové půdy (Cox. a obsah prvků stanovených vodným výluhem Mehlich 3)

	P _{H2O}	Ca _{H2O}	Fe _{H2O}	Al _{H2O}
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Maximum	16,1	365	79	124
Minimum	0,35	88,9	0,58	0,77
Medián	3,94	239	13,2	26,5
Průměr	4,99	245	17,8	30,8

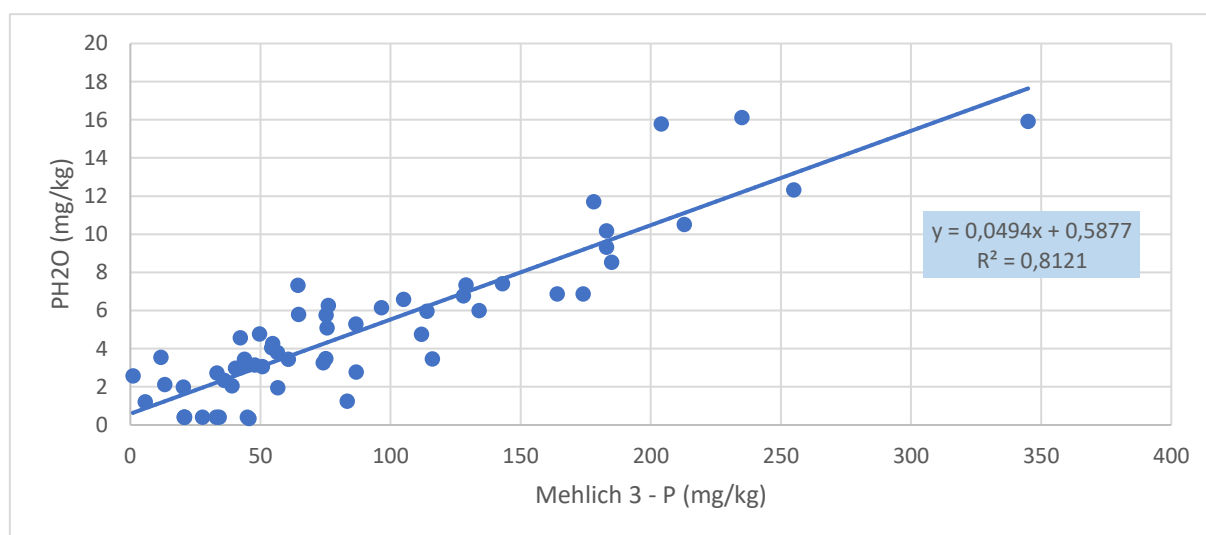
Tabulka. 7. uvádí popisné charakteristiky obsahu celkového fosforu v nadzemní hmotě rostlin pěstovaných na karbonátových půdách, a to jak v první fázi na konci odnožování (BBCH 30-32), tak v druhé fázi na konci kvetení (BBCH 65-69). Obsahy fosforu zde byly variabilní a v první fázi se pohybovaly v rozmezí od 1400 po 6200 mg/kg. Ve druhé fázi se pohybovaly od 500 do 5000 mg/kg. Zde je viditelné, že hodnoty zjištěné při prvním odběru jsou výrazně vyšší, než ty při druhém odběru. Průměr v první fázi je 3796 mg/kg a v druhé fázi 2093 mg/kg. U všech sledovaných parametrů (tabulky 5. – 7.) jsou průměrné hodnoty blízké mediánům, z čehož lze usuzovat na normální distribuci sledovaných dat.

Tabulka 7. Popisné charakteristiky obsahu P v rostlinách - karbonátové půdy

	BBCH31	BBCH 65-69
	mg/kg	mg/kg
Maximum	6200	5000
Minimum	1400	500
Medián	3700	2075
Průměr	3796	2093

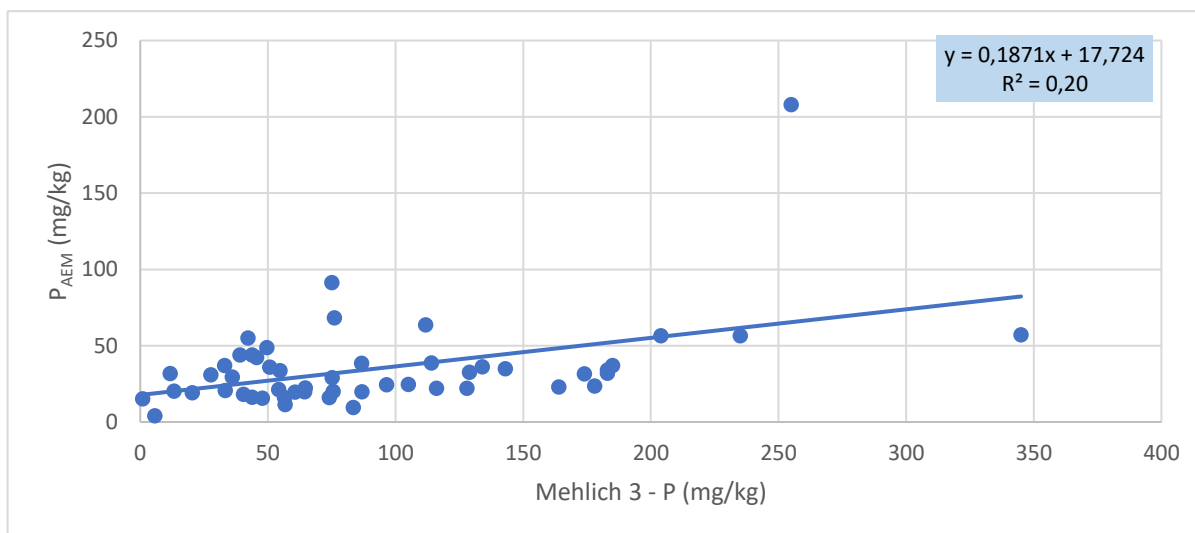
Graf 5. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v karbonátových půdách stanoveného ve výluhu Mehlich 3 s vodným výluhem. Jedná se o pozitivní lineární regresi. Hodnota R^2 činila 0,8121. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,892$ vykazoval průkaznou, velmi těsnou korelaci.

Graf 5. vztah mezi obsahem přijatelného P v karbonátových půdách stanovených ve výluhu Mehlich 3 s P_{H_2O} .



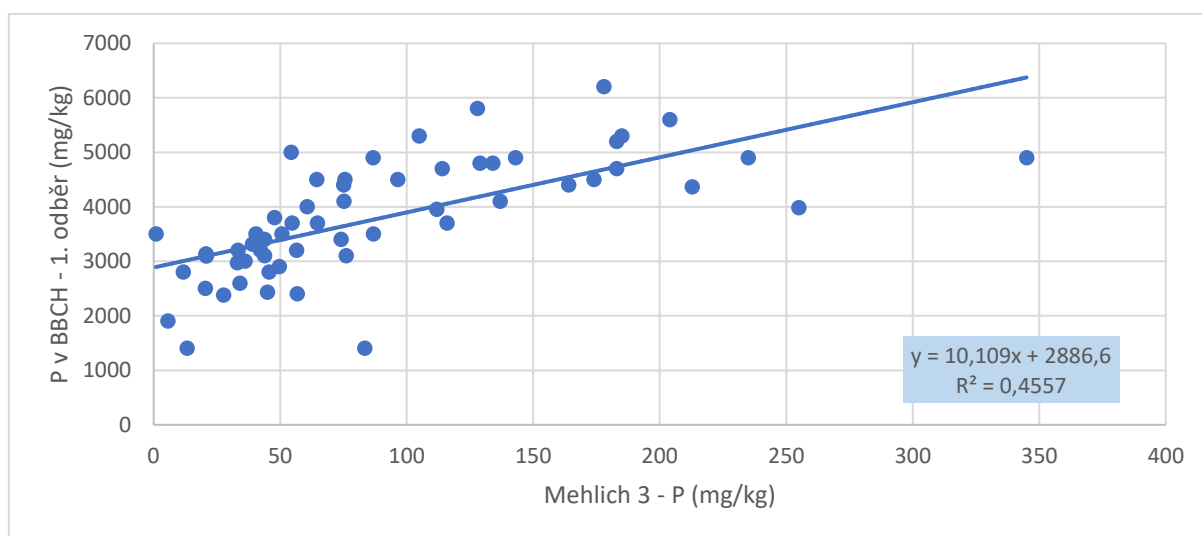
Graf 6. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v karbonátových půdách stanoveného ve výluhu Mehlich 3 s iontovýměnnými membránami (AEM). Jedná se o pozitivní lineární regresi. Hodnota R^2 dosáhla 0,20. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,379$ značí rovněž průkaznou korelaci.

Graf 6. Vztah mezi obsahem přijatelného P v karbonátových půdách stanovených ve výluhu Mehlich 3 s iontovýměnnými membránami



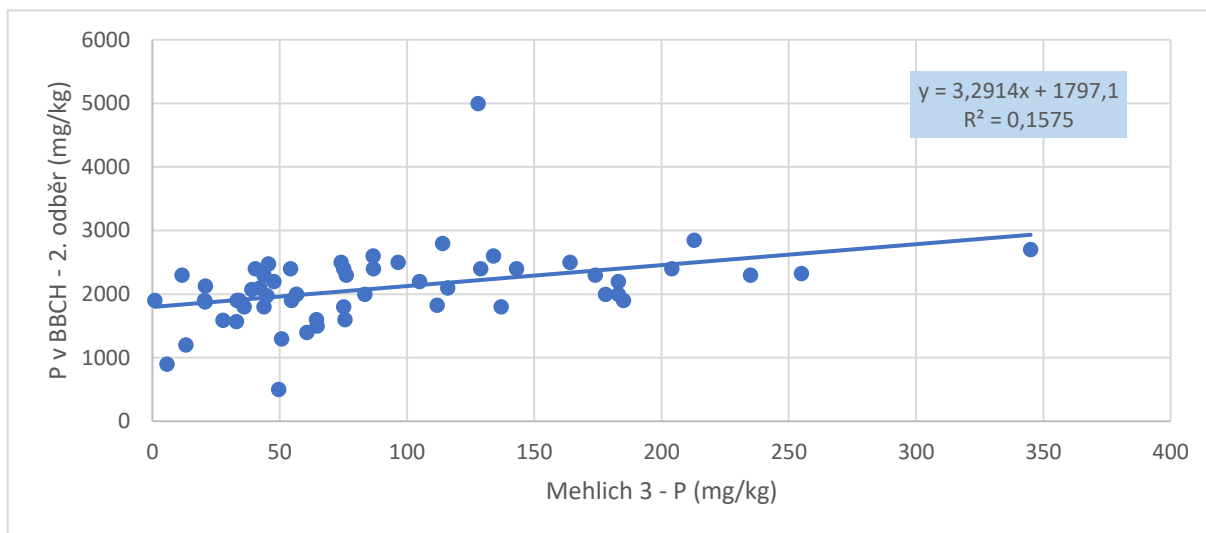
Graf 7. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v karbonátových půdách stanoveného ve výluhu Mehlich 3 s obsahem P v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování. Jedná se o pozitivní lineární regresi, kdy hodnota R^2 dosáhla 0,456. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,651$ udává průkaznou korelaci.

Graf 7. Vztah mezi obsahem přijatelného P v karbonátových půdách stanovených ve výluhu Mehlich 3 a obsahem P v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 30-32).



Graf 8. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v karbonátových půdách stanoveného ve výluhu Mehlich 3 s obsahem P v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu. Jedná se o pozitivní lineární regresi při hodnotě $R^2 = 0,1575$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,377$ udává rovněž průkaznou závislost sledovaných hodnot.

Graf 8. Vztah mezi obsahem přijatelného P v karbonátových půdách stanovených ve výluhu Mehlich 3 a obsahem P v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65-69)



Srovnání dalších parametrů na karbonátových půdách

Tabulka 8. uvádí vztah fosforu stanoveného metodou Mehlich 3 v karbonátových půdách s dalšími sledovanými parametry. Stejně jako u nekarbonátových půd zde byly nejtěsnější korelace zjištěny s obsahem železa. Dále však byla zaznamenána i průkazná korelace obsahu P stanoveného metodou Mehlich 3 s hodnotou pH. V obou případech se jednalo o pozitivní korelaci. Průkazné negativní korelace bylo naopak dosaženo ve vztahu obsahu Ca s P stanovených metodou Mehlich 3.

Tabulka 8. Vztah fosforu v karbonátových půdách stanovených výluhem Mehlich 3 s ostatními prvky a jejich korelace

	r	A	B	R^2
pH	0,417*	-70,5	616	0,077
Cox	0,278	27,4	52,3	0,052
Ca	-0,365*	-30,6	12157	0,147
Fe	0,622*	0,728	126	0,311
Al	-0,115	0,018	332	4E- 05

* průkazný vztah při hladině významnosti $p < 0,05$; a,b – parametry lineární regrese

6 Diskuze

Cílem této bakalářské práce bylo na základě vztahů mezi metodami užívanými pro stanovení přístupného fosforu v půdě a obsahu fosforu v nadzemní hmotě rostlin určit nejvhodnější metodu pro stanovení skutečně dostupného fosforu pro pšenici ozimou. Byly zde použity tyto metody: výluh Mehlich 3, vodný výluh a extrakce iontovýměnnými membránami.

Metoda Mehlich 3 je celosvětově používaná metoda s extraktantem k extrakci biologicky dostupných živin v půdě (Kulhánek et al. 2018). Četnost využití této metody potvrzuje i (Kunzová et al. 2017) kteří uvádějí, že v současné době se v České republice pro analýzu půd a vyhodnocení obsahů živin v půdě využívá právě tato metoda. Jejimi výhodami je snadná proveditelnost, nízké finanční nároky a možnost využití pro finální analytické stanovení. Výhoda univerzálních činidel, a tedy i metody Mehlich 3, se významně zvýšila s nástupem multielementárních analytických metod, především ICP-OES (optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu), kde jsou všechny prvky měřené v jednom extraktu a přidání dalšího prvku do měřeného souboru neznamena prakticky žádné další finanční nároky. V současné době je metoda široce užívaná a bylo by žádoucí, aby se zpřesnila kritéria pro hodnocení výsledků získaných touto metodou. Zvýšená pozornost musí být věnována zejména stanovení fosforu, kde zejména na karbonátových půdách je nutné upravit kritéria hodnocení a analytický postup. Tato nutnost souvisí se změnou pH činidla v průběhu extrakce, která vede ke snížení extrakční schopnosti. Jeho hodnoty extrahované v půdách neodpovídají koncentracím P reálně využitelným pro rostliny. Proto musí být provedena optimalizace a úprava korekce na změnu pH extrakčního činidla vlivem karbonátů v půdách. Zbíral (2016) uvádí, že se metoda Mehlich 3 používá při agrochemickém zkoušení zemědělských půd. Využití této metody je pro široké spektrum půdních typů. Při stanovení obsahu přístupného fosforu v karbonátových půdách je nutné učinit korekce. Při extrakcích je využíváno extrakční činidlo o pH 2,5 s téměř nulovou pufrací schopností proti změně pH a tím je při vyluhování omezena extrakční efektivita.

Zřejmě nejdůležitější je však sledování odezvy samotných rostlin, to znamená porovnání výsledků půdních rozborů s rozborů rostlin, včetně zahrnutí různých indexů beroucích v potaz i další faktory ovlivňující příjem P (Kulhánek et al. 2018).

Každý půdní test hodnocený v rámci této práce stanovil různé množství fosforu v půdě, který je považován za rostlinám přístupný. Daly se tedy očekávat různé vztahy mezi výsledky rozborů půd a rostlin. Nejtěsnější dosažený vztah pak umožnil určit nejvhodnější půdní test pro stanovení fosforu skutečně dostupného pro pšenici ozimou.

Na základě výše uvedených skutečností byl soubor vzorků hodnocených v rámci této bakalářské práce rozdělen na karbonátové (pH do 6,99) a nekarbonátové (pH nad 7,00) půdy. U obou skupin bylo stanoveno množství různých forem přístupného fosforu (vodný výluh, AEM membrány a Mehlich 3), oxidovatelného uhlíku, a také dalších prvků souvisejících se sorpcí P stanovených ve vodném výluhu a metodou Mehlich 3 - vápníku, železa a hliníku.

Obsah fosforu stanovený metodou Mehlich 3 se u **nekarbonátových** půd pohyboval od 27,9 mg/kg až po 465 mg/kg, naproti tomu hodnoty obsahu fosforu zjištěné metodou AEM membránami byly od 8,3 mg/kg po 162 mg/kg. Dle naměřených hodnot byl průměrný obsah fosforu stanovený metodou Mehlich 3 o 63,2 mg/kg vyšší než u AEM membrán. Lineární

regrese mezi oběma metodami měla hodnotu R^2 pouze 0,192, avšak Pearsonův korelační koeficient $r = 0,757$ udává velmi silnou korelaci a je průkazný.

Kulhánek et al. (2009) ve své práci analyzoval půdní vzorky z 16 stanovišť z ČR a 6 z Německa. Průměrná hodnota pH těchto půd byla 5,9. Naměřená střední hodnota fosforu u metody analýzy Mehlich 3 byla 106 mg/kg. U metody AEM membrán 59,1 mg/kg.

V rámci této práce byly zjištěny podobné hodnoty. Malé odchylky jsou způsobeny odlišným druhem zkoumaných lokalit a vlastnostmi půd. Naměřené hodnoty pH v této práci byly u nekarbonátových půd v průměru o 1,09 pH vyšší, u AEM membrán byly obsahy v průměru o 12,3 mg/kg nižší a u metody Mehlich 3 naopak o 4 mg/kg vyšší. Korelace obou metod byla dle Kulhánek et al. (2009) rovněž statisticky průkazná.

Při srovnání další metody vodného výluhu s metodou Mehlich 3 na nekarbonátových půdách, byly naměřeny tyto hodnoty: průměrný obsah fosforu ve vodném výluhu činil 8,76 mg/kg, přičemž hodnoty se pohybovaly od 1,49 mg/kg po 30,8 mg/kg. U metody Mehlich 3 bylo v průměru naměřeno 110 mg/kg fosforu, je to tedy o 101 mg/kg více. Mezi těmito metodami byla zjištěna pozitivní lineární regrese. Hodnota regresního koeficientu R^2 činila 0,640, to znamená, že změny hodnot Mehlich 3 lze se 64 % spolehlivostí vyjádřit změnami výsledků vodného výluhu a naopak. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,752$ udává silnou korelaci. Wuenscher et al. (2015) ve své práci uvádějí rozpětí hodnot obsahu fosforu u vodného výluhu 0-15 mg/kg, což oproti této práci je nižší. V této práci se hodnoty pohybovaly 1,49 - 30,8 mg/kg. To si v tomto případě můžeme vysvětlit především rozdílným poměrem zeminy a vyluhovadla.

Jako další bylo provedeno srovnání obsahu celkového fosforu v nadzemní hmotě rostlin pěstovaných na nekarbonátových půdách. Jak v první fázi na konci odnožování (BBCH 30-32), tak v druhé fázi na konci kvetení (BBCH 65-69). Obsahy fosforu zde byly variabilní a v první fázi se pohybovaly v rozmezí od 2069 po 6600 mg/kg. Ve druhé fázi se pohybovaly od 829 do 3400 mg/kg. Zde je viditelné, že hodnoty zjištěné při prvním odběru jsou skoro dvojnásobně vyšší než ty při druhém odběru. Průměr v první fázi byl 4195 mg/kg a ve druhé fázi 2146 mg/kg.

Při vztahu mezi obsahem přijatelného fosforu v nekarbonátových půdách stanoveného ve výluhu Mehlich 3 s obsahem P v nadzemní biomase při prvním odběru se jedná o pozitivně lineární regresi. Hodnota R^2 činila 0,284, to znamená, že lze s 28 % spolehlivostí vyjádřit změny výsledků. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,460$ udává průkaznou závislost při hladině významnosti $p < 0,05$. Při druhém odběru ve fázi kvetení se jedná také o pozitivní lineární regresi. Hodnota $R^2 = 0,091$, tím pádem lze vyjádřit pouze 9% spolehlivost. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,185$ udává neprůkaznou korelaci.

Podle Baier & Baierová (1985), kteří uvádějí, že ideální hodnota procentuálního obsahu fosforu v nadzemní biomase pšenice ozimé v první fázi v době odnožování se pohybuje okolo 0,33 %. Při fázi kvetení je ideální hodnota 0,23 %. Z dosažených výsledků této práce vyplývá, že v první sledované fázi byly zjištěné obsahy P vyšší (o 0,09 %) a ve druhé srovnatelné.

Na základě uspořádání sledovaných parametrů podle těsnosti závislosti lze konstatovat, že nejsilnější vztah u nekarbonátových půd byl vypočten mezi obsahem fosforu stanoveným AEM membránami a P v Mehlich 3, kde korelační koeficient činil 0,757. Při vztahu vodného výluhu s metodou Mehlich 3 byl korelační koeficient 0,752, což je druhá nejsilnější korelace. Při stanovení vztahu mezi P nadzemní biomasy při prvním odběru s Mehlich 3 činil korelační koeficient 0,460, tím udává průkaznou závislost. Jako poslední s nejslabším vztahem mezi

obsahem P nadzemní biomasy při druhém odběru s Mehlich 3 byl korelační koeficient 0,185 a udával tak neprůkaznou korelaci.

Vztah fosforu stanoveného metodou Mehlich 3 v nekarbonátových půdách s dalšími sledovanými parametry do kterých patří pH, celkový oxidovatelný uhlík, železo, vápník a hliník byl průkazný pouze v případě železa s hodnotou korelačního koeficientu $r = 0,498$. Lze tak nepřímou předpokládat, že v nekarbonátových půdách byl hůře přístupný fosfor vázán především na železo. Kulhánek et al. (2009) uvádí, že při srovnání obsahu fosforu vázaného na železo a hliník byly zaznamenány velmi těsné korelace. Lze tedy předpokládat, že touto metodou je stanoven i signifikantní podíl fosforu vázaného na železo a hliník. S tímto názorem se shoduje i Zbírál (2017).

V rámci výzkumu Kunzová et al. (2017) byly realizovány odběry půdních a rostlinných vzorků ($n=128$) ze stanovišť v ČR. Jednalo se především o **karbonátové** půdy s hodnotou pH vyšší než 7 ($n=88$). Půdy byly extrahovány metodou Mehlich 3, vodným výluhem a AEM membránami pro stanovení obsahu přístupného fosforu. V rostlinách byl pomocí suchého rozkladu stanoven celkový obsah P. Dále byla měřena míra neutralizace činidla Mehlich 3 v závislosti na pH půdy. Ze statistické analýzy dle Kunzová et al. (2017) vyplývá, že na půdách s vyšším pH (nad 7,0) poklesly korelace mezi hodnotami dosaženými metodou Mehlich 3 a obsahy P v rostlinách. Byla potvrzena i neutralizace činidla Mehlich 3 se zvyšujícím se pH půdy. Zde na silně alkalických půdách došlo ke zvýšení hodnoty z původních 2,6 na více než 4,0. Proto je u půd s vyšším pH důležité hledat alternativy k hodnocení obsahu P v půdě, např. vyšší okyselení činidla Mehlich 3 nebo použití doplňujících extrakčních metod (vodného výluhu).

Výše uvedená skutečnost však v této práci byla potvrzena jen částečně. Je pravděpodobné, že docházelo k neutralizaci činidla Mehlich 3, avšak pravděpodobně nedošlo k výraznému snížení jeho extrakční účinnosti. To lze vyvodit z výsledků korelační analýzy obsahů P v půdě a v obou vegetačních fázích pšenice, kdy byly v obou případech zjištěny průkazné korelace. Tyto korelace byly dokonce těsnější než u nekarbonátových půd.

Z výsledků dlouhodobých pokusů dle Čermák et al. (2018) na lokalitách s karbonátovými půdami v ČR nebyly pozorovány žádné poruchy v růstu a vývoji rostlin způsobené nedostatkem fosforu, z čehož vyplývá, že fosfor v půdě je, a že rostliny jsou schopné jej přijmout a využít. V rámci této práce rovněž nebyly zaznamenány vizuální příznaky nedostatku P. Je však možné, že se nedostatek P projevil latentně.

Při srovnání další metody vodného výluhu s metodou Mehlich 3 tentokrát na karbonátových půdách, byly naměřeny tyto hodnoty: průměrný obsah fosforu ve vodném výluhu činil 4,99 mg/kg, přičemž hodnoty se pohybovaly od 0,35 mg/kg po 16,1 mg/kg. U metody Mehlich 3 bylo v průměru naměřeno 89,9 mg/kg fosforu, je to tedy v průměru o 84,9 mg/kg více. Mezi oběma metodami byla zjištěna pozitivní lineární regrese. Hodnota regresního koeficientu R^2 činila 0,812, to znamená, že změny hodnot Mehlich 3 lze s 81 % spolehlivostí vyjádřit změnami výsledků vodného výluhu a naopak. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,892$ vykazoval průkaznou velmi těsnou korelaci. Ve studiích Wuenscher et al. (2015) v případě srovnání vodného výluhu s Mehlich 3 byly u podobného souboru vzorků zjištěny méně průkazné hodnoty než v této práci.

Dále byl na karbonátových půdách sledován obsah celkového fosforu v nadzemní hmotě rostlin pěstovaných na karbonátových půdách, a to jak v první fázi na konci odnožování

(BBCH 30-32), tak v druhé fázi na konci kvetení (BBCH 65-69). Obsahy fosforu zde byly variabilní a v první fázi se pohybovaly v rozmezí od 1400 po 6200 mg/kg. Ve druhé fázi se pohybovaly od 500 do 5000 mg/kg. Zde je viditelné, že hodnoty zjištěné při prvním odběru jsou výrazně vyšší, než ty při druhém odběru. Průměr v první fázi je 3796 mg/kg a v druhé fázi 2093 mg/kg.

Ve studii Čermák et al. (2018) se obsah fosforu v rostlinách pohyboval okolo 0,35 %, což odpovídá průměrným obsahům stanoveným v rámci této bakalářské práce v první vegetační fázi pšenice.

U vztahu fosforu stanoveného metodou Mehlich 3 v karbonátových půdách s dalšími sledovanými parametry byly stejně jako u nekarbonátových půd nejtěsnější korelace zjištěny s obsahem železa. Dále však byla zaznamenána i průkazná korelace obsahu P stanoveného metodou Mehlich 3 s hodnotou pH. V obou případech se jednalo o pozitivní korelaci. Průkazné negativní korelace bylo naopak dosaženo ve vztahu obsahu Ca s P stanovených metodou Mehlich 3.

Na základě výsledků této bakalářské práce můžeme říci, že extrakční činidlo Mehlich 3 je vhodnou metodou pro stanovení obsahu fosforu přístupného pro pšenici ozimou, a to v karbonátových i nekarbonátových půdách. Z výsledků korelační i regresivní analýzy je zřejmé, že metoda Mehlich 3 těsně koreluje s dalšími sledovanými metodami. Korelace s vodným výluhem byla ovšem těsnější než s AEM. Nejtěsnější korelace byla zjištěna v případě srovnání Mehlich 3 s vodným výluhem u karbonátových půd, kde hodnota r byla dokonce 0,892. Při porovnání obsahů P stanovených metodou Mehlich 3 s obsahem fosforu v nadzemní biomase bylo zjištěno, že tato metoda dosahuje srovnatelných a ve většině případů i lepších výsledků, než vodný výluh a AEM membrány.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo na základě vztahů mezi metodami užívanými pro stanovení přístupného fosforu v půdě a obsahy P v nadzemní hmotě rostlin určit nejvhodnější metodu pro stanovení skutečně dostupného fosforu pro pšenici ozimou.

Z dosažených výsledků je možno vyvodit následující nejpodstatnější závěry:

- Z výsledků korelační i regresní analýzy je zřejmé, že metoda Mehlich 3 těsně koreluje s dalšími metodami používanými pro stanovení přístupného P v půdě (AEM a vodným výluhem) a to na karbonátových i nekarbonátových půdách. Korelace s vodným výluhem byly přitom těsnější než s AEM. Celkově nejtěsnější korelace byly zjištěny v případě srovnání Mehlich 3 a vodného výluhu na karbonátových půdách, kde bylo dosaženo hodnoty r dokonce 0,892.
- Při srovnání výsledků všech sledovaných metod s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin pšenice bylo zjištěno, že metoda Mehlich 3 dosahuje přinejmenším srovnatelných, ale ve většině případech lepších výsledků, než metody prověřené pro stanovení přístupných forem P (vodný výluh a AEM).
- Se zvyšující se hodnotou pH obsah fosforu stanoveného v Mehlich 3 průkazně klesal. Tím je pravděpodobné, že vyšší hodnota pH negativně ovlivňovala extrakční účinnost fosforu. Je tomu tak díky neutralizaci kyselého roztoku.

Závěrem lze tedy konstatovat, že metoda Mehlich 3 je vhodnou metodou pro stanovení obsahu fosforu přístupného pro pšenici ozimou, a to v karbonátových i nekarbonátových půdách.

8 Bibliografie

- ADW AGRO. 2018. Amofos. Available from <https://www.adw.cz/underwood/download/files/pl-amofos.pdf> (accessed April 2021).
- Baier J. 1962. Abeceda výživy rostlin. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Baier J, Baierová V. 1985. Abeceda výživy rostlin a hnojení. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Balík J, Kulhánek M, Černý J, Vaněk V. 2008. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Bartels JM, Bigham JM. 1996. Phosphorus, Methods of Soil Analysis, Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc. USA
- Bruinsma J. 2003. World agriculture: Towards 2015-2030 an FAO perspective. 67 in World agriculture. Ecanthscan publications, USA. Available from https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=2yd868WG6V4C&oi=fnd&pg=PR1&dq=agriculture&ots=0LYXW6ZmOL&sig=ZQ_paITu_ABh5hbH7l8YYV96izc&redir_esc=y#v=onepage&q=wheat&f=false (accessed April 2021).
- Büchner W. 1991. Průmyslová anorganická chemie: důležité suroviny a meziprodukty. SNTL-Nakladatelství technické literatury, Praha.
- Čermák P, Mühlbachová G, Káš M, Pechová M, Lošák T, Hlušek J, Kulhánek M, Sedlár O, Balík J. 2018. Metodický postup pro optimalizaci hnojení fosforem na zemědělských půdách, včetně půd karbonátových. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Černý J, Shejbalová Š, Kulhánek M, Kovařík J. 2014. Předset'ové a podzimní hnojení pšenice ozimé. Agromanuál, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-pszence-ozime> (accessed March 2021).
- Diviš J. 2010. Pěstování rostlin: učební texty pro obor provozní podnikatel a pozemkové úpravy a převody nemovitostí. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- Dondlinger PT. 2018. The Book of Wheat: An Economic History and Practical Manual of the Wheat industry. Routledge Revivals, New York. Available from https://books.google.cz/books?id=PXt_DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=The+book+of+wheat:+an+economic+history+and+practical+manual+of+the+wheat+industry&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwjGk9bxxO7vAhUaOuwKHR6vDO8Q6AEwAHoECAyQAg#v=onepage&q=The%20book%20of%20wheat%20an%20economic%20history%20and%20practical%20manual%20of%20the%20wheat%20industry&f=false (accessed April 2021).
- Elsen J, Haygarth P. 2021. Phosphorus: Past and Future. Oxford university press, USA. Available from <https://books.google.cz/books?id=SIoIEAAAQBAJ&pg=PA53&dq=story+of+phosphorus&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwjOmuOymenvAhUCP->

wKHcemBm4Q6AEwA3oECAIQAg#v=onpage&q=story%20of%20phosphorus&f=false (accessed April 2021).

Emsley J. 2000. The Shocking History of Phosphorus: A Biography of the Devil's Element. Macmillan Publishers, London.

Excel. Microsoft Office Excel 2016: Microsoft office Enterprise 2016. USA.

Faměra O. 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha.

Fecenko J, Ložek O. 2000. Výživa a hnojení polních plodin. SPU, Praha.

Feldman M. 1995. Wheats. In Evolution of Crop Plants. Longmans, London.

Filippelli G. 2002. The Global Phosphorus Cycle. Reviews in Mineralogy and Geochemistry **48**:391-425. Available from <https://pubs.geoscienceworld.org/rimg/article/48/1/391-425/110619> (accessed March 2021).

Forbes JC, Watson RD. 1996. Plants in Agriculture. Cambridge university press, USA. Available from https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=itB5yKv7-rIC&oi=fnd&pg=PR13&dq=agriculture&ots=b4j9xE7T0f&sig=ZnAWtjo65MYJb4LSECmfiM9LcBA&redir_esc=y#v=snippet&q=phosphorus&f=false (accessed April 2021).

Fuhrman JK, Zhang H, Schroder JL, Davis RL. 2005. Water-Soluble Phosphorus as Affected by Soil to Extractant Ratios, Extraction Times, and Electrolyte. Communications in Soil Science and Plant Analysis **36**:925–935.

Greenwood N, Earnshaw A. 1993. Chemie prvků. Informatorium, Praha.

Haberle J, Trčková M, Růžek P. 2008. Příčiny nepříznivého působení vlivu sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

Hergert GW. 2010. Sugar Beet Fertilization. Sugar Tech **12**:256-266. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s12355-010-0037-1> (accessed March 2021).

Hnojivo ES. 2012. Agrofert. Available from https://www.agrofert.cz/sites/default/files/downloads/npkmsgs_15-15-152_12_hokr.pdf (accessed April 2021).

Housecroft CE, Sharpe AG. 2012. Inorganic chemistry. Pearson, Harlow.

Hřivna L, Cerkal R. 2009. Možnosti ovlivnění výnosu i kvality cukrovky mimokořenovou výživou. Listy cukrovarnické a řepařské **5-6**:164-169, Brno.

Hřivna L. 2012. Výživa a hnojení porostů pšenice ozimé a kvalita produkce. Šlechtitelské listy:1-4, Brno.

Huffman WE, Evenson RE. 2006. Science for Agriculture, A Long-Term Perspective. Blackwell publishing, Australia. Available from https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=7CuCZJeB5KcC&oi=fnd&pg=PR5&dq=agriculture&ots=UYVnnvN_zP&sig=9lMi-8cDu9hM-qN5mr1knVGpkbQ&redir_esc=y#v=onepage&q=phosphate&f=false (accessed April 2021).

Cheesman AW, Turner BL, Reddy KR. 2010. Interaction of Phosphorus Compounds with Anion-Exchange Membranes: Implications for Soil Analysis. *Soil Science Society of America Journal* **74**:1607-1612. Available from <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2009.0295> (accessed March 2021).

Chesworth W. 2008. Encyclopedia of Soil Science. Springer, Canada. Available from <https://books.google.cz/books?id=EOYYM0-DAGQC&printsec=frontcover&dq=soil+science&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwj1-vL0q-LvAhURDOWKHQ8CBOcQ6AEwCXoECAcQAq#v=onepage&q=winter%20wheat&f=false> (accessed April 2021).

Igrejas G, Ikeda T, Guzmán C. 2020. Wheat Quality For Improving Processing And Human Health. Springer, Switzerland. Available from <https://books.google.cz/books?id=pI7XDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Wheat+Quality+For+Improving+Processing+And+Human+Health&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwj05Liwr u7vAhWUH-wKHZS7D3YQ6AEwAXoECAIQAg#v=onepage&q=Wheat%20Quality%20For%20Improving%20Processing%20And%20Human%20Health&f=false> (accessed April 2021).

| Ion exchange membranes. 2006. University of Wisconsin-Madison **1**:29-37.

IPNI. 2020. Triple Superphosphate. Nutrient source specifics **1**:1. IPNI, USA. Available from <https://www.ipni.net/publication/nss.nsf/0/35039C5F78D8740C852579AF0076567A/%24FILE/NSS-14%20Triple%20Superphosphate.pdf> (accessed April 2021).

Jackson ML. 2005. Soil Chemical Analysis: Advanced Course. Parrallel Press, University of Wisconsin. Available from <https://books.google.cz/books?id=VcEOK9QCKVEC&printsec=frontcover&hl=cs#v=snippet&q=phosphates&f=false> (accessed April 2021).

Jäger L, Hegner P. 1987. Kvalita tuhých průmyslových hnojiv. SNTL, Praha.

Jirsa, Tvarůžek, Polešenská, Jergl. 2020. Kvalita odrůd ozimé pšenice v polním pokusu v Kroměříži v roce 2019. *Obilnářské listy* **28**:7.

Khan TS, Mubeen U. 2012. Wheat straw: A pragmatic overview. *Current Research Journal of Biological Sciences*. Chartered University, Pakistan.

Konvalina P. 2008. Pěstování obilnin a pseudoobilnin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita, České Budějovice.

Kulhánek M, Balík J, Sedlář O, Zbíral J, Smatanová M, Suran P. 2018. Stanovení přístupné síry v půdě metodou Mehlich 3. Česká zemědělská univerzita, Praha.

- Kulhánek M, Černý J, Balík J, Sedlář O, Suran P. 2018. Potential of Mehlich 3 method for extracting plant available sulfur in the Czech agricultural soils. *Plant, Soil and Environment* **64**:455-462. Available from https://www.agriculturejournals.cz/web/pse.htm?type=article&id=372_2018-PSE (accessed May 2021).
- Kulhánek M, Černý J, Balík J, Vaněk V. 2009. Evaluation of phosphorus mobility in soil using different extraction methods. *Plant, Soil and Environment* **2**:267-272.
- Kunzová E, Menšík L, Vach M. 2017. *Živiny a rizikové prvky v půdě*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Kuono K, Tuchiya Y, Ando T. 1995. Measurement of soil microbial biomass phosphorus by an anion exchange membrane method. *Soil Biology and Biochemistry* **27**:1353-1357.
- Lichtfouse E, Navarrete M, Debaeke P, Souchere V, ALberola C. 2009. *Sustainable Agriculture*. Springer, France. Available from https://books.google.cz/books?id=7cP-2jIIO2wC&printsec=frontcover&dq=Journal+of+Sustainable+Agriculture&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwivlpr_kenvAhUI3KQKHfdZAIwQ6AEwAXoECAUQA#v=snippet&q=phosphate&f=false (accessed April 2021).
- Luscombe PC, Syers JK, Gregg PEH. 1979. Water extraction as a soil testing procedure for phosphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **10**:1361-1369.
- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **15**:1409-1416.
- Minasny B, McBratney AB, Brough DM, Jacquier D. 2011. *Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration*. University of Sydney, Australia.
- Molins RA. 1991. *Phosphates in food*. CRC press, Boston. Available from https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=PydigGYruqYC&oi=fnd&pg=PA1&dq=phosphates&ots=h5aVrFRSJ8&sig=hmE66zDbt1SoOxPW6vEYXaEs4Bc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (accessed April 2021).
- Moudrý J, Jůza J. 1998. *Pěstování obilnin*. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- Norwood FB, Oltenacu PA, Calvo-Lorenzo MS, Lancaster S. 2015. *Agricultural and Food Controversies: What Everyone Needs to Know*. Oxford university, USA. Available from https://books.google.cz/books?id=IyatBAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (accessed April 2021).
- Pazdera J. 2006. *Pěstování rostlin – cvičení*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Petr J, Húska J. 1997. *Speciální produkce rostlinná*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Prasad LC, Singh RM, Abdin MZ. 2007. Combining ability analysis for grain filling duration and yield traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). *Genetics and Molecular Biology* **2**:411-416.

Prasad R, Power JF. 1997. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. CRC Lewis publishers, New York. Available from https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=otAyc8tJGbwC&oi=fnd&pg=IA1&dq=agriculture&ots=RELjKggiTD&sig=41pZ62uGus248ME_Hrah4Xd1u50&redir_esc=y#v=onepage&q=phosphate&f=false (accessed April 2021).

Pšenice obecná. 2020. Zf.CJU, Brno. Available from <https://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Psenice.htm> (accessed February 2021).

Pulkrábek J, Capouchová I, Hamouz K. 2003. Speciální fytotechnika. Česká zemědělská univerzita, Praha.

Richter M. 2007. Chemie a technologie sloučenin fosforu. UJEP, Ústí nad Labem. Available from http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/pt1/Chemie_a_techologie_sloucenin_fosforu.pdf (accessed April 2021).

Richter R, Hlušek J. 1996. Průmyslová hnojiva, jejich vlastnosti a použití. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha.

Richter R, Hřivna L. 2005. Pšenice ozimá. MZLU, Brno. Available from http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/html/obilniny/psenice_ozima.htm (accessed February 2021).

Rodriguez D, Goudriaan J, Oyarzabal M, Pomar M. 1996. Phosphorus nutrition and water stress tolerance in wheat plants. Journal of Plant Nutrition **19**:29-39. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904169609365104> (accessed March 2021).

Shewry. 2009. Journal of Experimental Botany **6**:1537-1553. Available from <https://academic.oup.com/jxb> (accessed April 2021).

Sims JR, Haby VA. 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. Soil Science **112**:137-141.

STATISTICA. 2019. ver. 13.2. Dell software. <https://software.dell.com/products/statistica/>.

Stránská E, Neděla D, Válek R, Křivčík J. 2015. Optimalizace přípravy heterogenní kationvýměnné membrány s využitím různé distribuce velikostí částí iontovýměnné pryskyřice. Chemické listy **3**:701-709.

Szabó AT, Hammer K. 1996. Notes on the taxonomy of farro: Triticum monococcum, T. dicoccon and T. spelta, Hulled wheats. IPGRI, Italy.

Šafarčíková S, Kouřil M. 2016. Živiny v krajině. DAPHNE ČR – Institut aplikované ekologie **1**:1-16.

Špaldon E. 1963. Rostlinná výroba. SZN, Praha.

Špaldon E. 1982. Rostlinná výroba - vysokoškolská učebnica pre vysoké školy poľnohospodárske. Příroda, Bratislava.

Šroller J. 1998. Speciální fytotechnika-rostlinná výroba. Ekopress, Praha.

Štípek K, Shejbal P, Černý J, Vaněk V, Kulhánek M. 2007. Výživa a hnojení ozimé pšenice určené (nejen) k potravinářskému využití. Agromanuál **3**:71-74. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/casopis-agromanual/agromanual-2007-4> (accessed March 2021).

Štolcová M. 2009. Speciální fytotechnika. Česká zemědělská univerzita, Praha.

TaufEROVÁ A, PetrášOVÁ M, Pokorná J, Tremlová B, Bartl P. 2014. Rostlinná produkce. Disertace, Brno.

Tiessen H, Moir JO. 1993. Characterization of available phosphorus by sequential extraction. In: Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers: 75-86.

Toužín J. 2008. Stručný přehled chemie prvků. Tribun EU, Brno.

Trávník K. 2010. Metodický návod pro hnojení plodin. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.

Urban J, Vašák J. 2014. Zemědělské systémy II. Česká zemědělská univerzita, Praha.

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, Praha.

Wittwer SH, Taubner FG. 1959. Foliar absorption of mineral nutrients. Plant. Physiology **1**:13-30.

Woźniak A. 2019. Effect of Crop Rotation and Cereal Monoculture on the Yield and Quality of Winter Wheat Grain and on Crop Infestation with Weeds and Soil Properties. International Journal of Plant Production **13**:177-182. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s42106-019-00044-w> (accessed February 2021).

Woźniak A. 2020. Effect of Cereal Monoculture and Tillage Systems on Grain Yield and Weed Infestation of Winter Durum Wheat. International Journal of Plant Production **14**:1-8. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s42106-019-00062-8> (accessed February 2021).

Wuenschel R, Unterfrauner H, Peticzka Z, Zehenter F. 2015. A comparison of 14 soil phosphorus extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. Plant, Soil and Environment **2**:86-96.

Zbírál J. 2016. Determination of plant-available micronutrients by the Mehlich 3 soil extractant a proposal of critical values. Plant, Soil and Environment 527-531.

Zimolka J. 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press, Praha.