

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Hodnocení obsahu fosforu přijatelného ozimou pšenicí
v alkalických půdách činidlem Mehlich 3**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Martina Matěchová

Obor studia: Rostlinná produkce, AMRR

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Sedlář, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Hodnocení obsahu fosforu přijatelného ozimou pšenicí v alkalických půdách činidlem Mehlich 3" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4. 2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Sedlářovi, Ph.D., za jeho ochotu, trpělivost, cenné rady, konzultace a za možnost podílet se na projektu: Inovace diagnostiky výživného stavu plodin fosforem a sírou. Také bych chtěla poděkovat za velkou podporu, během celého mého studia, svojí mamince Miroslavě Matěchové.

Tato diplomová práce byla vypracována s podporou projektu TJ01000454 Technologické agentury České republiky. Peníze z toho grantu byly použity na zaplacení analýz, chemikálií, odběrů vzorků apod.

Hodnocení obsahu fosforu přijatelného ozimou pšenicí v alkalických půdách činidlem Mehlich 3

Souhrn

V letech 2016 – 2018 byly odebírány vzorky alkalických půd (průměrná hodnota výměnného pH byla 7,04) a nadzemní biomasy ozimé pšenice z polních provozů na území České republiky. Jednalo se o mírně teplé až velmi teplé klimatické regiony. Nadzemní biomasa rostlin pšenice ozimé byla odebírána ve dvou vývojových fázích: začátek sloupkování (BBCH 31) a konec květu (BBCH 65 – 69). Obsah přijatelného fosforu v orniční vrstvě byl stanoven v extrakčním činidle Mehlich 3 a v extrakčním činidle dle Olsena.

Celkem bylo analyzováno přes 100 vzorků půd a nadzemní biomasy. Obsah přijatelného fosforu stanovený v extrakčním činidle Mehlich 3 a Olsen vzájemně silně korelovala. Přijatelný obsah fosforu stanovený ve výluhu Mehlich 3 koreloval silněji s obsahem fosforu v nadzemní biomase ozimé pšenice ve fázi začátku sloupkování než výluhu Olsen. Mehlich 3 byl také vhodnější pro vyhodnocení vztahu mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě a poměrem obsahu N/P v nadzemní biomase ve fázi začátku sloupkování než extrakční roztok Olsen.

Zjistili jsme, že obsah zinku v rostlinách ozimé pšenice není závislejší na poměru obsahu P/Zn v půdě než na prostém obsahu zinku v půdě. Obsah prostého zinku v půdě sice koreloval slabě s obsahem zinku v nadzemní biomase, ale poměr P/Zn ve fázi začátku sloupkování s obsahem zinku v nadzemní biomase nekoreloval. Poměr obsahu N/P v nadzemní biomase s obsahem přijatelného fosforu v půdě koreloval stejně. Použití indikátoru poměru obsahu N/P bylo vhodné v případě vyhodnocení prvního odběru (BBCH 31) ve výluhu Mehlich 3, kde byla vzájemná korelace těchto parametrů silná. Naopak nevhodné bylo použít tento indikátor při vyhodnocení druhého odběru rostlin (BBCH 65 – 69) ve výluhu Olsen, kde koreloval slabě. Index výživy rostlin fosforem (PNI) v nadzemní biomase není vhodnějším indikátorem výživného stavu ozimé pšenice fosforem než obsah fosforu v nadzemní biomase, neboť PNI koreloval u většiny sledovaných parametrů slaběji než samotný obsah fosforu v nadzemní biomase. Poměr obsahu P/Zn v nadzemní biomase je spolehlivějším ukazatelem výživného stavu ozimé pšenice zinkem než prostý obsah zinku v nadzemní biomase, protože poměr obsahu P/Zn v nadzemní biomase koreloval silněji

s obsahem poměru P/Zn v půdě než prostý obsah zinku v nadzemní biomase s obsahem poměru P/Zn.

Klíčová slova: alkalické půdy, fosfor, Mehlich 3, výživný stav, zinek

Evaluation of Phosphorus Content in Calcareous Soils Available for Winter Wheat Using the Mehlich 3 Extractant

Summary

In the years 2016 - 2018 samples of calcareous soils (average value of exchange pH 7.04) and shoot biomass of winter wheat were taken from onfarm trials in the Czech Republic. These locations were slightly warm to very warm climatic regions. Shoot biomass of winter wheat plants was sampled at two developmental stages: beginning of stem elongation (BBCH 31) and end of flowering (BBCH 65-69). The content of available phosphorus in the topsoil was determined using the Mehlich 3 extraction agent and in the Olsen extraction agent, respectively.

In total, over 100 soil samples and samples of shoot biomass were analyzed. These extraction agents strongly correlated with each other. The available phosphorus content determined in the Mehlich 3 solution correlated more strongly with the phosphorus content in shoot biomass of winter wheat than the Olsen one. Mehlich 3 was also more suitable for evaluating the relationship between the soil available phosphorus content and the shoot N/P ratio in biomass during first sampling date (BBCH 31) compared the Olsen extraction.

We have found that the zinc content of winter wheat plants is not more dependent on a P/Zn ratio in soil determined in the Mehlich 3 solution than on soil zinc content itself. While the soil zinc content correlated weakly with zinc content in shoot biomass, a shoot P/Zn ratio determined at the beginning of stem elongation did not correlate with the shoot zinc content. The shoot N/P ratio correlated equally with the available soil phosphorus content. The use of the shoot N/P ratio indicator was useful when evaluating the first sampling (BBCH 31) with the soil available phosphorus determined using the Mehlich 3 solution due to, strong correlation.

On the contrary, it was inappropriate to use this indicator when evaluating the second sampling (BBCH 65-69) with the soil available phosphorus determined using the Olsen extractant because of weak correlation. Phosphorus nutrition index (PNI) in shoot biomass is not a better indicator of winter wheat phosphorus nutritional status than shoot phosphorus content itself. The PNI correlated weaker in most of the monitored parameters than shoot phosphorus content. The shoot P/Zn ratio is a more reliable indicator of winter wheat zinc

status than the shoot zinc content itself, since stronger correlation was recorded between the shoot P/Zn ratio and the soil P/Zn ratio than between the shoot zinc content and the shoot P/Zn ratio.

Keywords: calcareous soils, phosphorus, Mehlich 3, nutritional status, zinc

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce	2
2.1	Vědecké hypotézy	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Pšenice	3
3.1.1	Botanická charakteristika	3
3.1.2	Nároky ozimé pšenice na prostředí	3
3.1.2.1	Zařazení pšenice ozimé v osevním postupu	4
3.1.2.2	Zpracování půdy	4
3.1.2.3	Setí	4
3.1.2.4	Přezimování	4
3.1.3	Výživa a hnojení ozimé pšenice	5
3.2	Fosfor	7
3.2.1	Fosfor v půdě	8
3.2.1.1	Minerální a organické formy fosforu	9
3.2.2	Sorpce fosforu	10
3.2.2.1	Biologická sorpce	11
3.2.2.2	Chemická sorpce	11
3.2.3	Fosfor v rostlinách	12
3.2.3.1	Projevy nedostatku fosforu	12
3.3	Zinek	13
3.3.1.1	Zinek v lidské výživě	13
3.3.2	Zinek v půdě	13
3.3.3	Zinek v rostlinách	15
3.3.3.1	Nedostatek zinku v rostlinách	15
3.3.4	Mobilita zinku	15
3.4	Principy stanovení přijatelného fosforu v půdě	16
3.4.1	Metoda dle Mehlicha (Mehlich 3)	16
3.4.2	Metoda dle Olsena (NaHCO ₃)	17
4	Materiál a metody	18
4.1.1	Stanovení pH	18
4.1.2	Metoda dle Mehlicha	18
4.1.2.1	Postup metody	18
4.1.3	Metoda dle Olsena	19
4.1.3.1	Postup metody	19

4.1.4	Výživný stav rostlin	19
5	Výsledky	21
6	Diskuze	42
7	Závěr	46
8	Seznam literatury	48

1 Úvod

V současnosti mezi nejdůležitější plodiny patří ozimá pšenice. Výživa a hnojení fosforem významně ovlivňují výnos této plodiny. Fosfor patří mezi nejdůležitější stavební živiny ve výživě rostlin (Kunzová 2009). Při vyšším obsahu fosforu v půdě, a to v přijatelné formě pro rostliny, se může snížit obsah zinku v zrna. Zinek je nejen důležitým a především základním mikroelementem ve výživě rostlin, ale je také velice důležitým nutričním a zdravotním faktorem u lidí (Nikolic et al. 2016). Nedostatek zinku v lidské potravě může způsobit vážné zdravotní komplikace (Prasad 2014).

Příjem fosforu i zinku může být ovlivněn mnoha faktory a mezi ty významné patří pH půdy. Na alkalických půdách je příjem obou živin rostlinami omezen (Vaněk et al. 2016).

Použitím extrakčního činidla Mehlich 3 lze stanovit obsah přijatelného fosforu v půdě a samozřejmě také obsah dalších makroelementů a mikroelementů v půdě. Kunzová (2009) uvádí, že při stanovení obsahu živin v alkalických a karbonátových půdách ve výluhu Mehlich 3 dochází ke snížení jeho extrakční schopnosti. A to může způsobit nejasné či nepřesné závěry experimentů. Pro stanovení obsažených živin v alkalických půdách je vhodnější využít Olsenovu metodu. Tato metoda využívá extrakční roztok 0,5 mol/l NaHCO_3 s pH 8,5. Účinnost tohoto roztoku je v průběhu rozboru konstantní (Kunzová 2009).

Tato diplomová práce se zabývá stanovením obsahu přijatelného fosforu pro rostliny v alkalických půdách ve výluhu Mehlich 3 pro porovnání výsledků byla použita Olsenova metoda. Analyzovalo se více než 100 vzorků alkalických půd a nadzemní biomasy ozimé pšenice. Vzorky byly odebírány z polních provozů na území České republiky.

2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je hodnocení obsahu fosforu přijatelného pro ozimou pšenici v alkalické půdě ve výluhu Mehlich 3 s ohledem na harmonický příjem dvou živin významných pro rostlinný i lidský metabolismus: fosforu a zinku.

2.1 Vědecké hypotézy

1. Extrakční činidlo Mehlich 3 je vhodnější pro stanovení obsahu přijatelného fosforu v alkalické půdě v porovnání s činidlem Olsen.
2. Obsah zinku v rostlinách ozimé pšenice je závislejší na poměru obsahu P/Zn v půdě než na prostém obsahu zinku v půdě.
3. Poměr obsahu N/P v nadzemní biomase je vhodnější indikátor výživného stavu ozimé pšenice fosforem než obsah fosforu v nadzemní biomase.
4. Index výživy rostlin fosforem (PNI) v nadzemní biomase je vhodnější indikátor výživného stavu ozimé pšenice fosforem než obsah fosforu v nadzemní biomase.
5. Poměr obsahu P/Zn v nadzemní biomase je spolehlivějším ukazatelem výživného stavu ozimé pšenice zinkem než prostý obsah zinku v nadzemní biomase.

3 Literární rešerše

3.1 Pšenice

Obiloviny patří k hlavním bílkovinným zdrojům lidské potravy a samozřejmě také k hlavním energetickým zdrojům (Hajšlová & Schulzová 2006). Mezi nejvíce pěstované obiloviny v České republice, ale i ve světě patří pšenice. Doba pěstování pšenice začala už v pravěku s prvním zemědělstvím. Společně s ječmenem je pšenice nejstarší známou pěstovanou plodinou (Foltýn et al. 1970). Pšenice má významné uplatnění nejen ve výživě lidí, ale i ve výživě zvířat. Zrno pšenice je využíváno jako surovina pro výrobu pečiva, škrobu, ethanolu a dalších produktů (Urban et al. 2016). V současnosti je v ČR převážně pěstována ozimá forma pšenice, protože poskytuje stabilní a vysoké výnosy kvalitního zrna (Vaněk et al. 2016). Pro sklizeň 2019 tvoří ozimá pšenice plochu 773 678 ha (ČSÚ 2019). Ostatní obiloviny například ječmen ozimý tvoří plochu 102 tis. ha, dále triticales 37 tis. ha a žito ozimé 25 tis. ha (ČSÚ 2019). Stejně tak FAOSTAT uvádí, že pšenice patří mezi obiloviny s největším objemem produkce na světě (FAO 2019).

3.1.1 Botanická charakteristika

Pšenice patří do čeledi rostlin lipnicovitých *Poaceae*, rodu *Triticum*. Do tohoto rodu řadíme několik druhů, ale nejvíce pěstovaným druhem u nás i ve světě je pšenice setá. Má nelámavý klas, osinatý nebo bezosinný, různě hustý. Obilky jsou nahé, buclatější, na řezu oblé, s mírně vystouplým klíčkem, na protilehlé straně ochmýřené. Plevy i pluchy jsou vejčité nebo podlouhle vejčité, se zřetelným kýlem (Zimolka et al. 2005).

3.1.2 Nároky ozimé pšenice na prostředí

V České republice se pšenice pěstuje ve všech výrobních podmínkách, které samozřejmě silně ovlivňují výši dosahované produkce i její kvalitu. Nejvhodnějšími oblastmi s dobrými podmínkami pro pěstování pšenice jsou dostatečně až velmi teplé, převážně suché až velmi suché, s průměrnou teplotou v jarním a letním období 14 – 17 °C, s nízkým srážkovým úhrnem 250 – 350 mm, s vysokými hodnotami úhrnného slunečního svitu během jarního a letního vegetačního období. Jde o kukuřičnou a řepařskou výrobní oblast (Zimolka et al. 2005).

3.1.2.1 Zařazení pšenice ozimé v osevním postupu

Pšenice ozimá patří mezi nejnáročnější obilniny na předplodinu, protože ta podstatně mění půdní prostředí a vlastnosti důležité jak pro růst plodin, tak pro tvorbu výnosu i jeho kvalitu. Při sestavování osevního postupu je nutné zohlednit podmínky výrobní oblasti, požadavky dané odrůdy a konečné využití produkce (Zimolka et al. 2005).

Vhodnými předplodinami pro pšenici ozimou jsou jeteloviny, luskoviny, z olejnin především ozimá řepka, dále pak okopaniny a zeleniny. Nejvhodnější předplodinou pšenice ozimé v našich podmínkách je vojtěška, a to především díky množství a kvalitě posklizňových zbytků, které zanechává v půdě, i fixaci atmosférického dusíku hlízkovými bakteriemi. Dusík, který se pozvolna uvolňuje z posklizňových zbytků je dobře využíván hlavně v období tvorby zrna (Zimolka et al. 2005).

3.1.2.2 Zpracování půdy

Rozhodující vliv na založení porostu a rentabilitu pěstování ozimé pšenice má způsob a kvalita předseťového zpracování půdy (Zimolka et al. 2005). Pracovní operace mezi sklizní předplodiny a setím se řídí délkou meziporostního období a zvolenou pěstitelskou technologií (Urban et al. 2016). Včasně a vhodně zvolené způsoby zpracování půdy významně ovlivňují počet rostlin po vzejití, ale také po přezimování, a rozhodují i o zaplevelení a výskytu chorob (Zimolka et al. 2005). Obvyklý postup jednotlivých pracovních operací je následovný: nejprve se provede podmínka, následuje orba a předseťová příprava půdy (Urban et al. 2016).

3.1.2.3 Setí

Výsevek závisí na výrobní oblasti, termínu setí, kvalitě předseťové přípravy půdy a také na odnožovací schopnosti dané odrůdy. Většinou se však u ozimé pšenice pohybuje v rozmezí 3,5 až 4,8 milionů klíčivých zrn na hektar (Urban et al. 2016)

3.1.2.4 Přezimování

Rostliny ozimé pšenice by měly před obdobím zimy zakořenit a částečně odnožit (2 – 3 odnože). Vegetace je ukončena při teplotách pod + 5 °C. Rostliny mohou během zimy uhynout, příčin může být několik. Například vymrznutí rostliny, záleží na mrazuvzdornosti rostliny. Mrazuvzdornost u ozimé pšenice je – 15 °C až – 20 °C. Záleží samozřejmě i na dalších faktorech (odrůda, úroveň sněhové pokrývky atd.). Dalším příčinou úhynu může být

plíseň sněžná (tzv. vyležení) dlouho ležící vrstva sněhu rostliny oslabuje a dochází k šíření této choroby. Dále pak vytahování rostlin (příčinou je kolísání teplot pod a nad bodem mrazu) a vymokání (zatopení rostlin vodou, která se nemůže vsáknout), (Urban et al. 2016).

3.1.3 Výživa a hnojení ozimé pšenice

Pokud jde o potřebu živin, tak ozimou pšenicí řadíme mezi plodiny se střední potřebou (Zimolka et al. 2005). Příjem živin (tab.č. 1) i jejich konečný odběr sklizní jsou závislé na půdních a povětrnostních podmínkách, intenzitě růstu, dosaženém výnosu a také na pěstované odrůdě (Vaněk et al. 2016). V méně příznivých oblastech vyžaduje ozimá pšenice kvalitní půdy a intenzivní hnojení, to znamená dodávat větší množství živin (Vaněk et al. 2016).

Obecně platí, že na základě anorganických rozborů půdy se určuje dávka hnojení fosforem, draslíkem, hořčíkem a vápněm. Tato hnojiva se zapravují orbou v podzimním období (Urban et al. 2016). Přihnojování během vegetace není účelné (Vaněk et al. 2016). Dusík je hlavní živinou pro nárůst biomasy. Celková dávka dusíku je stanovena podle druhu předplodiny, stavu porostu, průběhu počasí a intenzity pěstitelské technologie. Dusík během vegetace dodáváme ve třech dávkách jako regenerační, produkční a kvalitativní dávku (Urban et al. 2016).

Většina životních procesů v rostlině je vázána na přítomnost fosforu a jeho prostřednictvím na přenos energie. Z jeho úlohy vyplývá také dynamika změn obsahu fosforu během vegetace. Abychom získali vysoké výnosy, je třeba, aby počáteční hladina fosforu byla poměrně vysoká, zvláště pak do období odnožování (Foltýn et al. 1970). Baier et al. (1988) uvádí, že vyhovující obsah fosforu u ozimé pšenice na počátku vegetace (konec odnožování – 6. pravý list) je 0,40 až 0,60 %. Pokud obsah fosforu zůstává i po odnožování vysoký, svědčí to o nedostatečném narůstání další hmoty. Příčinou může být nedostatek vláhy, nebo nedostatek ostatních živin (především dusíku), (Foltýn et al. 1970).

Tabulka č. 1: Střední odběry živin u pšenice ozimé v kg čisté živiny na 1 t zrna (Vaněk et al. 2016).

Plodina	N	P	K	Ca	Mg
Pšenice ozimá	22 - 26	4,4 - 6,2	16,6 - 21,0	2,8 - 5,7	1,2 - 3,0

Jak vyplývá z tabulky č. 2 převážná část dusíku (N) a fosforu (P) je soustředěna v zrna pšenice, zatímco ve slámě jsou draslík (K) a vápník (Ca), (Vaněk et al. 2016).

Tabulka č. 2 uvádí celkový odběr N, P, K pšenicí (kg/ ha), (Tlustoš et al. 2002).

Plodina	Výnos t/ ha	Odběr kg/ ha			
			N	P	K
Pšenice	5	celkový	125	26	100
		zrno	95	20	25

Množství odčerpaných živin sklizněmi je významně závislé na výnosu, pěstované odrůdě a povětrnostních podmínkách (Vaněk et al. 2016).

Udržení půdní úrodnosti jako předpoklad zajištění stabilních výnosů a kvality produkce zajistíme jedině přiměřenou náhradou odebraných živin a také vhodně zvolenými agrotechnickými zásahy. To znamená, že bychom měli do půdy vrátet všechny rostlinou odebrané živiny ve formě různých hnojiv (Kunzová 2009).

3.2 Fosfor

Fosfor je přirozenou součástí životního prostředí. Jeho průměrný obsah v litosféře činí asi 0,1 %, v biosféře 0,1 % až 1 % (Balík et al. 2002).

Fosfor patří mezi nejdůležitější stavební živiny ve výživě rostlin (Kunzová 2009). Podílí se na stavbě důležitých organických molekul, jako jsou fosfolipidy, DNA, RNA, ATP apod. (Richey 1983). Je velice důležitý pro fixaci dusíku, produkci semen a základní procesy fotosyntézy (Brady & Weil 2002). Fosfor zvyšuje odolnost rostlin proti nízkým teplotám, podporuje rozvoj kořenového systému a má také příznivý vliv na biologickou hodnotu osiva a sadby (Hlušek et al. 2002).

S postupným poklesem obsahu přijatelného fosforu v půdách se tento prvek stává limitujícím prvkem ve výnosu a kvalitě produkce. Při omezeném používání statkových (případně organických) a také minerálních hnojiv dochází k odčerpání fosforu z půdy, které bilančně přesahuje vstupy. Následkem toho je snižování přístupného fosforu v půdě (Kunzová 2009).

Průměrný obsah přístupného fosforu na orné půdě v České republice je 90 mg/kg. Zemědělská půda s nízkou zásobou fosforu, která potřebuje intenzivní hnojení, představuje více než 25,47 % výměry ČR. Plochy s vyhovující zásobou, které potřebují mírné dosycení fosforem, mají výměru 27, 59 %. Velmi vysokou a vysokou zásobu přístupného fosforu vykazuje 24,63 % výměry České republiky. Přehled průměrných hodnot přístupného fosforu a podíl půd s velmi vysokou, vysokou a nízkou zásobou v jednotlivých krajích ČR je uvedený v tabulce č. 3 (Smatanová & Sušil 2018).

Tabulka č. 3: Přístupný fosfor, extrakt Mehlich 3 – zemědělská půda (Smatanová & Sušil 2018).

Kraj	Průměrná hodnota P (mg/kg)	Podíl půd v % (vážené průměry)	
		Nízký obsah	Vysoký a velmi vysoký obsah
Praha hl. město	74	37,38	13,96
Středočeský	94	28,21	24,48
Jihočeský	88	29,51	26,16
Plzeňský	75	33,73	19,33
Karlovarský	80	29,98	23,82
Ústecký	101	25,01	31,21
Liberecký	112	11,17	42,76
Královohradecký	96	16,39	28,29
Pardubický	87	22,45	22,19
Vysočina	101	16,05	31,93
Jihomoravský	89	28,7	20,84
Olomoucký	92	21,18	23,88
Moravskoslezský	79	26,78	16,61
Zlínský	77	31,93	16,77
Česká republika	90	25,47	24,63

3.2.1 Fosfor v půdě

Fosfor se v půdách vyskytuje téměř výhradně ve formě orthofosfátu s celkovými koncentracemi fosforu obvykle v rozmezí 500 – 800 mg / kg (suché) půdy. Značná část tohoto fosforu je spojena s organickou hmotou a v minerálních půdách je podíl organického fosforu mezi 20 – 80 % celkového množství této živiny (Mengel et al. 2001). To tedy znamená, že půdy, které mají vyšší obsah organické hmoty, mají i vyšší obsah fosforu (Vaněk et al. 2012).

V alkalických půdách je dostupnost fosforu obecně nízká. Koncentrace v půdním roztoku je určena primárně desorpčí a adsorpčí fosforu, zvláště v půdách s více než 1 % organické hmoty a nikoliv rozpuštěním nebo vysrážením určitých anorganických sloučenin jako fosforečnan vápenatý. Při pH 6 až 8 se může koncentrace fosforu v půdním roztoku zvýšit, neboť fosfor má v organické hmotě při vysokém pH tendenci být méně stabilní (Vaněk et al. 2012).

V alkalických půdách s vyšším pH a nízkým obsahem organických látek v půdě, se pro koncentraci fosforu v půdním roztoku stanou stále důležitější rovnovážné konstanty

anorganických forem této živiny. Obecně však nedostatek fosforu u plodin rostoucích na alkalických půdách je způsoben především velmi nízkými koncentracemi celkového fosforu a nízkým obsahem vody v půdě, což omezuje růst kořene a pohyblivost fosforu v půdě (Marchner et al. 2012).

3.2.1.1 Minerální a organické formy fosforu

Velké množství fosforu v půdě je pro rostliny prakticky nepřístupné (Mengel et al. 2001). Fosfor je v půdě málo pohyblivý a jeho obsah v půdním roztoku je nízký, většinou pod 1 mg P/ kg půdy. Základem pro různé formy fosforu v půdách jsou sloučeniny H_3PO_4 a $(\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7)^{2-}$. Minerální a organické sloučeniny fosforu slouží jako potenciální zdroj výživy rostlin a mikroorganismů (Vaněk et al. 2012).

Minerální formy fosforu jsou tvořeny primárními fosforečnými minerály, které se vyskytují rozptýleně ve všech magmatických horninách. Jde o vápenaté sloučeniny sestávající se ze tří molekul $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a jedné molekuly chloridu, fluoridu nebo hydroxidu vápenatého (Vaněk et al. 2016).

Dále jsou minerální formy fosforu tvořeny sekundárními vysráženými a adsorbovanými fosforečnany (Vaněk et al. 2016).

Mezi významné anorganické formy fosforu v mírně kyselých a kyselých půdách patří fosforečnany s hliníkem a železem, na neutrálních a zásaditých půdách fosforečnany s vápníkem (Brady & Weil 2002). Tyto minerální vápenaté sloučeniny fosforu mohou za příznivých podmínek postupně uvolňovat fosfor do půdního roztoku, a tím zajistit výživu rostlin. Naopak sloučeniny s hliníkem a železem jsou velmi málo rozpustné, a zvláště pak sloučeniny železa jsou pro většinu rostlin nepřijatelné (Vaněk et al. 2016).

Organické formy fosforu mohou být součástí půdní organické hmoty nebo mohou reagovat s fosfátovými skupinami minerální složky půdy (Stewart & Tiessen 1987). Obsah organického fosforu v půdě koresponduje s rozdělením organické hmoty v půdním profilu (Vaněk et al. 2016). Balík et al. (2008) uvádí, že podíl organického fosforu může činit 3 – 80 % z celkového obsahu fosforu v půdě. Tento podíl závisí na půdně-klimatických podmínkách, pěstované kultuře a také intenzitě hnojení.

Velkou část organického fosforu tvoří fosfolipidy, fytyl, nukleové kyseliny, nukleoproteidy a fosforylované lipidy, které se nachází v kořenové hmotě a dostávají se do půdy také díky posklizňovým zbytkům (Vaněk et al. 2016). Z organických sloučenin fosforu v půdě je nejvíce zastoupena kyselina fytová, která tvoří 10 – 50 % celkového organického

fosforu (Brady & Weil 2002). Dále pak fosfolipidy představují 0,5 – 7 % a nukleové kyseliny jen 0,2 – 2,4 % organického fosforu (Essington 2015).

Fosforečnany inositolu jsou fosfátové estery hexahydroxycyklohexanu (inositol). V přírodě se vyskytuje několik izomerů inositolu, z nichž nejběžnější je myo-inositol ve vyšších rostlinách. Myo-inositol hexafosfát (již zmiňovaná kyselina fytová) je monomer, ze kterého je složen fyтин (látko nacházející se v zrnech obilovin). Kromě hexafosfátu se mono-, di- a trifosfáty inositolu také vyskytují v rostlinných tkáních. V půdách byly identifikovány myo-, scyllo-, neo- a D- a L-chiro-inositol-hexafosfáty, stejně jako myo-, scyllo- a chiro-inositol pentafosfáty. Bylo zjištěno, že izomerový scyllo-inositol-hexafosfát odpovídá přibližně 46% fosfátů inositolu extrahovaných z půdy. Vzhledem k tomu, že tento konkrétní isomer se nachází pouze v mikroorganismech, předpokládá se, že velké procento půdních inositolfosfátů je syntetizováno in situ mikroorganismy (Essington 2015).

3.2.2 Sorpce fosforu

Sorpční vlastnosti půd patří mezi její významné charakteristiky, především z hlediska vazby původních a dodávaných živin v půdě a dále vazby potenciálních kontaminujících látek. Určuje se celková sorpční kapacita – T, množství sorbovaných bází – S a nasycenost sorpčního komplexu (v %) – V (Sáňka & Materna 2004).

Sorpce živin je schopnost půdy zadržovat látky rozpuštěné, případně dispergované ve vodě. Díky sorpci nedochází k rychlému pohybu živin v půdním profilu a ztrátám vyplavením. Je to schopnost půd poutat jednotlivé živiny a většinu následně poskytnout rostlinám. Živiny se do půdy dostávají při zvětrávání půd, hnojivy a atmosférickým spadem. Ve výživě rostlin rozlišujeme několik druhů sorpcí (Vaněk et al. 2012).

V půdě fosfor podléhá různým přeměnám a procesům, stejně jako ostatní živiny. Mezi tyto děje patří především právě sorpce (srážení), ale také desorpce (rozpuštění) fosforečnanů. Například srážení fosforu s CaCO_3 v alkalických půdách nebo srážení s ionty Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{3+} v kyselých půdách. Obecně platí, že je tím větší, čím je sorbent více amorfní (Balík et al. 2002). Dalšími důležitými procesy v půdě jsou mineralizace a imobilizace organicky vázaného fosforu (Brady & Weil 2002).

Brady a Weil (2002) rozdělují hlavní procesy fixace fosforu následovně:

- 1) Fyzikální adsorpce H_2PO_4^- na povrch částic (proces aniontové výměny).
- 2) Chemisorpce fosforečnanového iontu (H_2PO_4^-) s hydratovanými oxidy železa a hliníku na povrch těchto částic.
- 3) Zabudování fosforečnanů do vnitřních struktur částic pomocí dvou chemických vazeb na železo nebo hliník.

Postup procesů také představuje klesající biologickou dostupnost fosforu (Brady & Weil 2002).

3.2.2.1 Biologická sorpce

Biologická sorpce spočívá v přijímání prvků vyššími rostlinami a edafonem s jejich zabudováním do organických sloučenin. Po odumření těchto organismů se poté prvky vrací zase zpět do koloběhu v půdním prostředí (Šarapatka 2014).

3.2.2.2 Chemická sorpce

Při chemické sorpci se vytváří buď málo rozpustné, nebo nerozpustné sloučeniny, které se pak mohou mechanicky zadržovat v pórech (Šarapatka 2014). Původní rozpustná sloučenina vlivem chemických reakcí přejde po vysrážení z kapalně fáze půdy do pevné, a tím nemůže být vyplavena. V půdním roztoku se tak snižuje její koncentrace. Tato sorpce se nejčastěji týká aniontů: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} (rozpustných ve vodě) a PO_4^- (nerozpustný ve vodě), (Vaněk et al. 2012).

3.2.3 Fosfor v rostlinách

Celkový obsah fosforu v rostlinných pletivech se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 1 % (Mengel et al. 2001).

Již na začátku používání minerálních hnojiv byla fosforečná hnojiva velmi důležitá (Mengel et al. 2001). Protože je v půdním roztoku fosforu velmi málo, je důležité, aby se po odčerpání z roztoku dostatečně rychle doplňoval z pevné fáze půdy (Vaněk et al. 2016).

Rostliny typicky přijímají fosfor buď ve formě H_2PO_4^- nebo HPO_4^{2-} , v závislosti na pH. Za určitých podmínek mohou ovšem přijímat rozpustné organické fosfáty, včetně nukleových kyselin. Část absorbovaného anorganického fosforu se rychle vstřebává do organických molekul při vstupu do kořenů nebo po jeho transportu do výhonku (Barker & Pilbeam 2007).

3.2.3.1 Projevy nedostatku fosforu

Nedostatek fosforu u rostlin se projevuje jen velmi málo. Většinou se pak jedná o latentní nedostatek. Pokud je obsah fosforu v rostlinách nízký, nemohou správně probíhat všechny biochemické funkce. Velice kritické období pro příjem fosforu nastává na počátku vegetace. Zvláště pak za nepříznivých podmínek jako je chladné počasí a sucho, je příjem fosforu rostlinami omezený (Vaněk et al. 2012).

Pokud je nedostatek fosforu dlouhotrvající projevuje se to na rostlinách charakteristickými příznaky (Vaněk et al. 2012). U rostlin je omezen růst kořenů a dochází k méně intenzivnímu odnožování. Stébla jsou krátká a slabě vyvinutá. Listy jsou vzpřímené, tmavě zelené s nádechem do červenofialové barvy, způsobené antokyany - hyperchlorofylace. Stébla u paty mají při nedostatku fosforu červenofialové zbarvení (Zimolka et al. 2005).

Pavlíková et al. (2008) uvádí, že načervenalé zbarvení listů a pat stébel způsobuje zvýšená produkce fenolových sloučenin. Zvýšená biosyntéza těchto látek je další metabolickou reakcí umožňující opětovné využití fosforu v buňkách majících nedostatek fosforu. Vlastnosti některých fenolových sloučenin v kořenových exudátech mohou působit proti kořenovým patogenům, ale také bránit mikrobiální degradaci sloučenin obsažených v exudátech a sloužících k mobilizaci fosforu redukcí obtížně rozpustných Fe^{3+} fosfátů.

3.3 Zinek

V rostlinné produkci je již dlouho zaměřen výzkum výživy rostlin na interakci mezi fosforem a zinkem (Zhang et al. 2015).

Zinek je jedním z nejrozšířenějších kovů, přesto nepatří mezi významné kovy. Je téměř všudypřítomný ve stopových množstvích a je nezbytný pro normální růst a vývoj rostlin a živočichů. Sloučeniny zinku a zinek samotný je pro člověka relativně netoxický, pokud je užíván v normálních dávkách (Craig 2018).

3.3.1.1 Zinek v lidské výživě

V posledních letech se vazba mezi zemědělským využíváním zinečnatých hnojiv a lidskou výživou stala velmi významnou. Odhaduje se, že přibližně jedna třetina hospodářsky využívaných půd v celosvětovém měřítku obsahuje malé množství dostupného zinku, což vede k produkci zrn s nízkou nutriční hodnotou (Cakmak et al. 2017).

Zinek podporuje imunitní systém lidského organismu. Byl velmi úspěšně používán ve formě léčiv pro zvládnutí akutního průjmu u dětí, při běžném nachlazení, Wilsonovy choroby a dalších chorobách. Má antioxidační a protizánětlivé účinky. Některé vědecké studie prokázaly, že nedostatek zinku u lidí způsobuje oslabení imunity, infekce dýchacích cest u dětí a řadu dalších zdravotních potíží (Prasad 2014). Zhang et al. (2012) uvádí, že podvýživa lidí vyplývající z nedostatku zinku se stala celosvětovým problémem.

3.3.2 Zinek v půdě

Průměrná koncentrace zinku v nekontaminovaných půdách je v rozmezí 17 až 160 mikrogramů Zn na 1 gram půdy (Mengel et al. 2001). Smatanová a Sušil (2018) uvádí, že průměrný obsah zinku na orné půdě je 5,33 mg/ kg. Tato hodnota byla zjištěna při analýzách agrochemického zkoušení zemědělských půd, které probíhaly v rámci celé ČR v období 2012 – 2017 (tab.č. 4).

V půdě se zinek (Zn) vyskytuje v mnoha podobách. Nalezneme ho v půdním roztoku, povrchově adsorbovaný a vyměnitelný zinek, dále Zn vázaný na půdní organickou hmotu, Zn vázaný na oxidy a uhličitany (Barker & Pilbeam 2007). Převážně se v půdě vyskytuje jako dvojmocný kationt Zn^{2+} ve sloučeninách (Smatanová & Sušil 2018). Sorbuje se především na oxidy a hydroxidy železa (Fe) a hliníku (Al), v této formě však není dostupný pro kořenový systém rostlin (Mengel et al. 2001). Částečně může být vysrážen i na místech styku s uhličitany nebo v silně redukčním prostředí (Smatanová & Sušil 2018). Zinek se vyskytuje

v primárních a sekundárních alumino- silikátech (Barker & Pilbeam 2007). Ve většině půd celkový obsah zinku výrazně převyšuje požadavek plodin (Mengel et al. 2001).

Nedostatek zinku v půdách vede ke snížení její produktivity, což lze odstranit použitím stopového množství zinku v hnojivech (Craig 2018).

Kontaminace životního prostředí zinkem je velice vzácná. Obecně platí, že jediný okamžik, kdy může být koncentrace zinku škodlivá, je pokud je pH velmi nízké a zdroje zinku jsou velké (Craig 2018).

Tabulka č. 4: Průměrný obsah zinku v mg/ kg půdy na území ČR v jednotlivých krajích.
(převzato od Smatanová & Sušil 2018)

Kraj	Obsah Zn (mg/ kg půdy)	
	orná půda	zemědělská půda
hl. město Praha	10,3	10,3
Středočeský	6,3	6,8
Jihočeský	5,2	5,5
Plzeňský	4,5	4,9
Karlovarský	4	3,6
Ústecký	7,9	8,2
Liberecký	5,6	6,1
Královéhradecký	6,9	7
Pardubický	4,7	4,7
Vysočina	4,1	4,1
Jihomoravský	4,4	4,5
Olomoucký	4,9	5
Moravskoslezský	6,6	6,6
Zlínský	4,6	4,7
Celá ČR	5,3	5,5

*Mehlich 3 – vážené průměry za období 2012 – 2017 (Smatanová & Sušil 2018)

3.3.3 Zinek v rostlinách

Zinek rostliny přijímají převážně jako dvojmocný kationt Zn^{2+} , ale při vysokém pH se pravděpodobně absorbuje jako monovalentní kationt $ZnOH^+$. (Barker & Pilbeam 2007). Metabolické funkce zinku jsou založeny na jeho silné tendenci tvořit tetrahedrální komplexy s N-, O- a zejména S- ligandy, a tak hraje katalytickou a strukturální roli v enzymatických reakcích.

Zinek je v rostlině nedílnou součástí enzymových struktur a má následující tři funkce:

1. Katalytické
2. Kofaktory enzymů
3. Strukturální (Barker & Pilbeam 2007).

Zinek je koordinován se čtyřmi ligandy v enzymech s katalytickými funkcemi. Tři z nich jsou aminokyseliny, nejčastější je histidin, následuje glutamin a asparaginem. Molekula vody je čtvrtý ligand ve všech katalytických místech (Barker & Pilbeam 2007).

3.3.3.1 Nedostatek zinku v rostlinách

Nedostatek zinku se často projevuje u rostlin rostoucích na zvětralých, kyselých nebo vápenitých půdách. U některých plodin se nedostatek zinku může projevit chlorózou (na listech se objevují světle žluté skvrny). Listy jsou menší, internodia jsou krátká (Barker & Pilbeam 2007). Vyšší obsah fosforu v rostlinách může vést k metabolickým poruchám a symptomům nedostatku zinku (Mengel et al. 2001).

3.3.4 Mobilita zinku

Mobilita zinku je v půdě malá, hlavně při vyšším pH a větším obsahu fosforu (Vaněk et al. 2016). Dále je také ovlivňována přítomností ostatních živin – vápníkem (Ca), hliníkem (Al), manganem (Mn) a železem (Fe) a také organickými látkami. Stejně jako ostatní živiny podléhá zinek půdním procesům a přeměnám. Jde především o srážení zinku s hydroxidy, uhličitany, fosfáty, sulfidy, molybdenany a s několika dalšími anionty. Stejně tak komplexy s organickými ligandy (Kumpiene et al. 2008).

3.4 Principy stanovení přijatelného fosforu v půdě

Pro stanovení obsahu přijatelného fosforu v půdě se u nás, ale i ve světě používá široká škála metod. Mezi nejpoužívanější metody patří Mehlich 3, Mehlich 2, Mehlich 1, CAL, Olsenova, Egnerova, Bray and Kurtz P – 1 metoda (Zbírál & Němec 2002).

V mé diplomové práci jsem použila metodu pomocí extrakčního činidla Mehlich 3 a pro srovnání jsem použila metodu extrakcí Na HCO_3 (tzv. Olsenovu metodu).

3.4.1 Metoda dle Mehlicha (Mehlich 3)

Půdní test Mehlich 3 byl vyvinut Adolfem Mehlichem v roce 1984 jako vylepšený vícesložkový extrakt pro fosfor, draslík, vápník, hořčík, měď, železo, mangan a zinek. Je efektivnější než půdní test Mehlich 1 (Kovar & Pierzynski 2009). Extrakční roztok Mehlich 3 vznikl jako nové činidlo, pro extrakci mědi (Cu) s přidáním EDTA a substituce dusičnanů za chloridové anionty (Mehlich 2008). Test Mehlich 3 je používán po celých Spojených státech, Kanadě a v dalších zemích, protože je vhodný pro širokou škálu půd, a to jak kyselých, tak zásaditých (Kovar & Pierzynski 2009).

Extrakční činidlo Mehlich 3 je kyselý roztok, který obsahuje fluorid amonný pro zvýšení rozpustnosti různých forem fosforu vázaných na hliník (Kovar & Pierzynski 2009). V roztoku je také obsažen dusičnan amonný, který má příznivý vliv na desorpci draslíku, vápníku a hořčíku. Kyselá reakce vyluhovacího roztoku je nastavena kyselinou octovou a kyselinou dusičnou. Kyselina octová v extrakčním činidle také přispívá k uvolnění dostupného fosforu ve většině půd (Kovar & Pierzynski 2009). Dobrou uvolnitelnost nutričně významných mikroelementů zajišťuje obsažená EDTA (Mehlich 2008).

Optimální koncentrace fosforu pro výživu rostlin je u této metody v rozmezí 45 – 50 mg P/ kg. Tyto hodnoty jsou vyšší než u ostatních agronomických metod (Kovar & Pierzynski 2009). Kunzová (2009) ve své publikaci uvádí vyhovující obsah přístupného fosforu v alkalické půdě 51 – 80 mg P/ kg pro metodu dle Mehlicha (M3) (tab.č. 5).

Extrakční činidlo Mehlich 3 (M3) se skládá z 0.2N CH_3COOH -0.25N NH_4NO_3 -0.015N NH_4F -0.013N HNO_3 -0.001M EDTA (Mehlich 2008).

Tabulka č. 5: Kritéria hodnocení obsahu přístupného fosforu (Mehlich 3, orná půda)
(Kunzová 2009).

Obsah	Přístupný P mg/kg
Nízký	do 50
Vyhovující	51 - 80
Dobrý	81 - 115
Vysoký	166 - 185
Velmi vysoký	nad 185

3.4.2 Metoda dle Olsena (NaHCO₃)

Metoda dle Olsena, nebo také půdní zkouška na bázi hydrogenuhličitanu sodného byla vyvinutá Sterlingem R. Olsenem a jeho spolupracovníky v roce 1954, pro zjištění reakce plodiny na vstup fosforečných hnojiv na vápenitých půdách. Tato metoda se používá především v Severní a Střední Americe. Optimální hodnota koncentrace u tohoto testu je 10 mg P/ kg, tedy méně než u ostatních metod (Kovar & Pierzynski 2009). Kunzová (2009) ve své publikaci uvádí jako vyhovující obsah fosforu v alkalických půdách, pro metodu dle Olsena, hodnoty 27 -35 mg P/kg (tab.č. 6).

Metoda je založena na použití 0.5 mol/l roztoku NaHCO₃ při pH roztoku 8,5. Principem extrakce je zvýšení rozpustnosti fosforu snížením aktivity Ca²⁺ a Al³⁺. V alkalických půdách zvyšuje rozpustnost fosforečnanu vápenatého pomocí srážení CO₃²⁻ s Ca²⁺. Díky vysokým hodnotám pH snižuje počet sorpčních míst na povrchu železitých a hlinitých oxidů (Olsen et al. 1954).

Extrakční činidlo dle Olsena je založeno na 0.5 mol/l roztoku NaHCO₃ při pH 8,5 (Olsen et al. 1954).

Tabulka č. 6: Kategorie zásobenosti půd fosforem zjištěné rozborem Olsenovou metodou a dávky fosforečných hnojiv podle EVH (Kunzová 2009).

Kategorie zásobenosti	mg P/ kg	EVH v OJ t/ha		
		< 5,0	5,0 - 6,0	> 6,0
Nízký	< 26	30	35	40
Vyhovující	27 - 35	20	15	30
Dobrý	36 - 45	10	15	20
Vysoký	46 - 57	0	10	15
Velmi vysoký	> 58	0	0	0

*EVH – ekonomické výrobní hladiny

4 Materiál a metody

Data představují vzorky půdy a nadzemní biomasy odebrané z polních provozů na území ČR v letech 2016 – 2018, přičemž tyto provozy se nacházejí v okresech: Mělník, Rokycany, Nymburk, Litoměřice, Hradec Králové, Přerov, Rakovník, Mladá Boleslav a Znojmo, tedy mírně teplých až velmi teplých klimatických regionů. Nadzemní biomasa rostlin pšenice je odebírána ve dvou vývojových fázích: začátek sloupkování (BBCH 31) a konec květu (BBCH 65 – 69). Vzorky půdy byly odebírány do hloubky 30 cm.

Přístupný obsah fosforu v orniční vrstvě a rostlině byl stanoven ve výluhu Mehlich 3 a ve výluhu dle Olsena, vždy 1:10 w/v, měření bylo provedeno optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji ICP-OES Varian Vista Pro (Varian, Austrálie).

Rostlinná nadzemní biomasa byla zmineralizována metodou suchého rozkladu (Mader & Čurdová 1997). Měření bylo provedeno optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji ICP-OES Agilent 720 (Agilent Technologies, USA). Pro stanovení celkového obsahu dusíku v rostlinné biomase byl použit rozklad na mokré cestě v prostředí kyseliny sírové (1:20 w/v) katalyzovaný práškovým selenem. Celkový obsah dusíku v nadzemní biomase ozimé pšenice byl stanoven metodou podle Kjeldahla na přístroji Vapodest 50s (Gerhardt, Spolková republika Německo).

Sledovanými parametry v našich pokusech byly: obsah fosforu, dusíku a zinku v nadzemní biomase včetně jejich vzájemných hmotnostních poměrů, pH půdy, obsah fosforu v ornici za použití výše zmíněných extrakčních činidel, hmotnost nadzemní biomasy a index výživy rostlin.

4.1.1 Stanovení pH

Aktivitu iontů vodíku změříme v půdní suspenzi za použití 0,01 mol/l CaCl_2 (1:2,5 w/v) pomocí skleněné iontové selektivní elektrody.

Průměrná hodnota pH u všech analyzovaných vzorků půd byla 7,04.

4.1.2 Metoda dle Mehlicha

4.1.2.1 Postup metody

Do plastové kyvety navážíme 5 g zeminy a přilijeme 50 ml extrakčního činidla (Mehlich 3) a následně dáme vzorek třepat na třepačku po dobu 10 minut. Suspenze poté zfiltrujeme přes filtrační papír. Zfiltrované vzorky změříme optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji ICP OES Agilent 720 (Agilent Technologies, USA).

4.1.3 Metoda dle Olsena

Obsah fosforu ve výluhu Olsen byl stanoven v celkovém objemu 25 ml vodného roztoku: objem vzorku byl 2,5 ml, k němuž byl přidán 1 ml molybdenanového činidla (roztok molybdenanu amonného a zředěné kyseliny sírové) a redukční činidla: 1 ml roztoku SnCl₂ v koncentrované HCl a 2,5 ml H₆N₂O₄S. Stanovení bylo provedeno přístroji Lambda 25 (Perkin Elmer, USA) při vlnové délce 660 nm.

4.1.3.1 Postup metody

Do plastové třepací láhve si navážíme 2 g zeminy a přilijeme 40 ml extrakčního činidla a následně dáme vzorek třepat na třepačku po dobu 2 hodin. Suspenze se následně přefiltruje přes filtrační papír.

Vzorek si připravíme tak, že do 25 ml kalibrované zkumavky nepipetujeme 2,5 ml filtrátu. Doplníme DEMI (destilovanou) vodou na objem 17 ml. Dále přidáme 1 ml molybdenového činidla a 1 ml redukčního činidla. Výsledkem je modré zbarvení vzorku.

Vzorek necháme 10 minut stát, poté přidáme 2,5 ml síranu hydrazinu a doplníme na celkový objem 25 ml DEMI vodou. Vzorek promícháme a po 30 minutách měříme na fotometru při vlnové délce 660 nm.

Při přípravě standardních roztoků napipetujeme do 25 ml kalibrovaných zkumavek následující množství standardního roztoku 0,25 ml – 0,5 ml – 1 ml – 2 ml – 4 ml. Ke každému standardu přidáme 5 ml vyluhovacího činidla NaHCO₃ a doplníme DEMI vodou na objem 17 ml. Další postup je identický jako při přípravě vzorků.

4.1.4 Výživný stav rostlin

Výživný stav rostlin byl vyjádřen hmotnostním poměrem obsahů N/P v nadzemní biomase ozimé pšenice (Yan et al. 2015) a indexem výživy rostlin fosforem (PNI). PNI byl vyjádřen jako poměr naměřeného obsahu fosforu v nadzemní biomase a kritického obsahu fosforu v nadzemní biomase vypočítaného dle Bélanger et al. (2015) rovnicí:

$$P_c = -0,677 + 0,221N - 0,00292N^2,$$

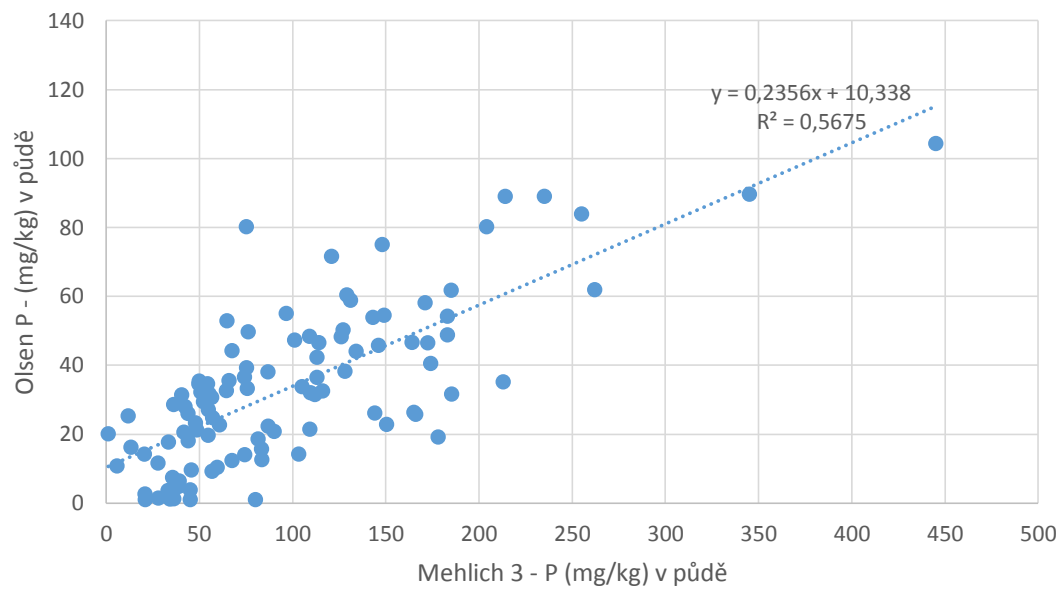
Kde obsah fosforu (P) i dusíku (N) je dosazen v g/kg suché hmoty. Hodnoty PNI vyšší než 1,0 indikují nadbytečný příjem fosforu, naopak hodnoty nižší než 1,0 jsou projevem nedostatečného příjmu fosforu (Bélanger et al. 2015).

Rostlinný materiál určený k analýzám byl homogenizován laboratorním střížným mlýnem SM100 (Retsch, Spolková republika Německo). Výsledky byly vyhodnocovány pomocí regresních rovnic v programu Microsoft Office Excel.

5 Výsledky

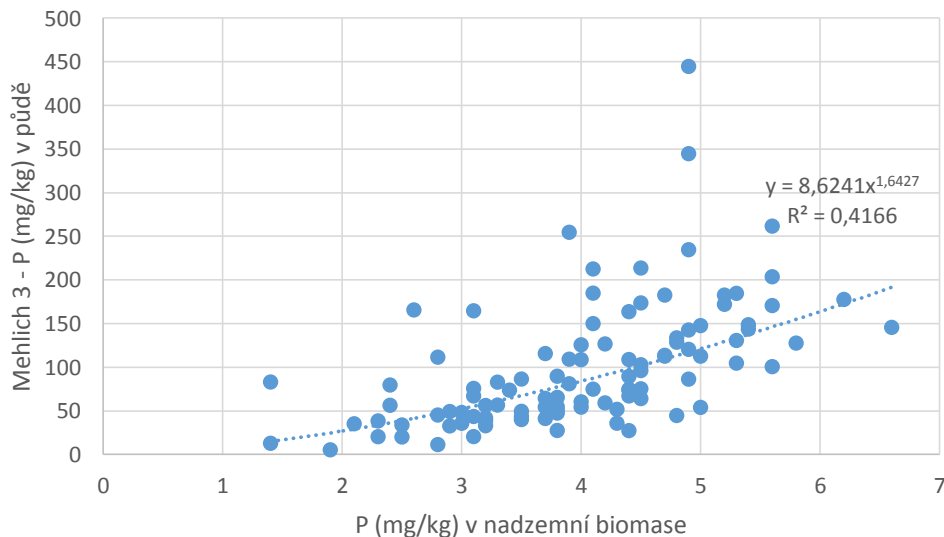
Graf 1. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a ve výluhu Olsen

Graf 1. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a ve výluhu Olsen. Jedná se o pozitivní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,5675 * 100 = 56,75 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,7533$ udává silnou korelaci.



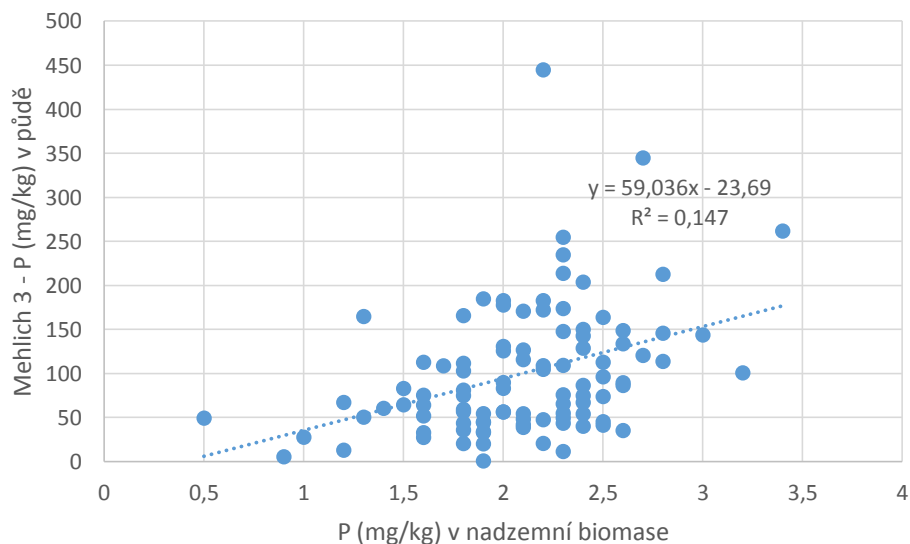
Graf 2. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a obsahem P v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31).

Graf 2. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a obsahem fosforu v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování. Jedná se o pozitivní korelaci s mocninnou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,4166 * 100 = 41,66 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,6454$ udává silnou korelaci.



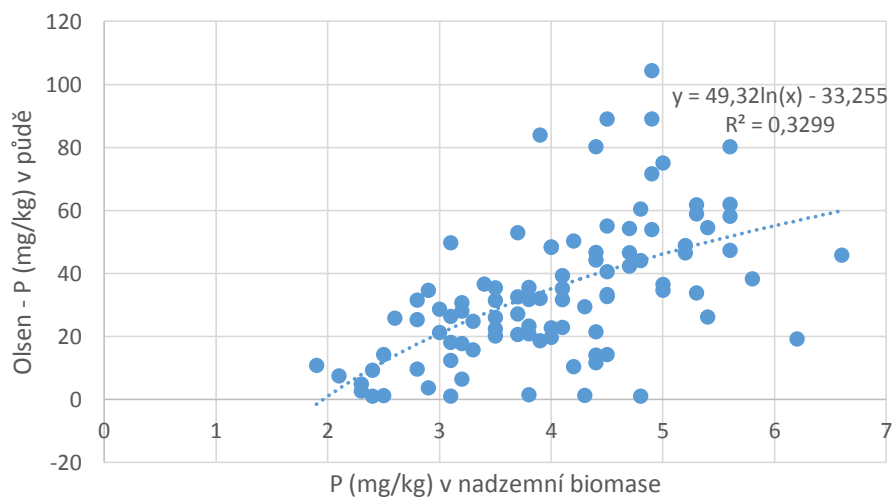
Graf 3. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a obsahem P v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 - 69).

Graf 3. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a obsahem fosforu v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu. Jedná se o pozitivní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,147 * 100 = 14,7 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,3834$ udává slabou korelaci.



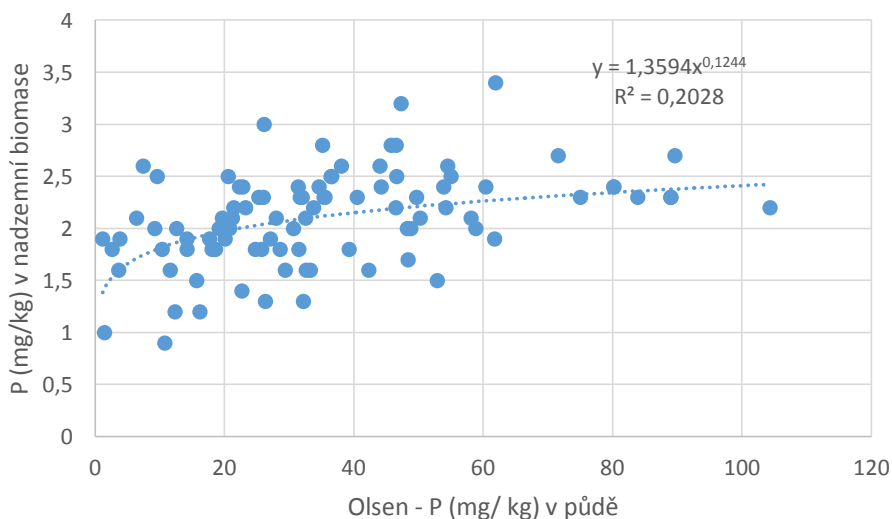
Graf 4. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a obsahem P v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31).

Graf 4. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a obsahem fosforu v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování. Jedná se o pozitivní korelaci s logaritmickou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,3299 * 100 = 32,99 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,5743$ udává střední korelaci.



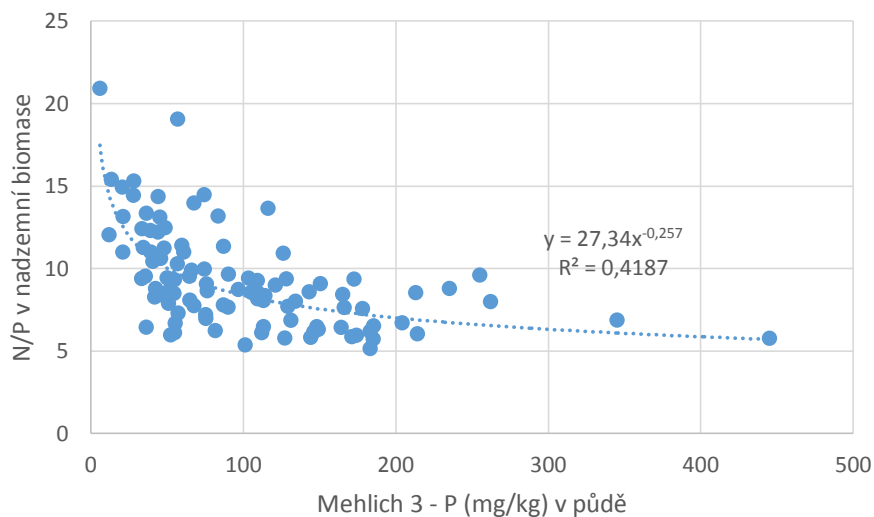
Graf 5. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a obsahem P v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 - 69).

Graf 5. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a obsahem fosforu v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu. Jedná se o pozitivní korelaci s mocninnou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,2028 * 100 = 20,28 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,4503$ udává střední korelaci.



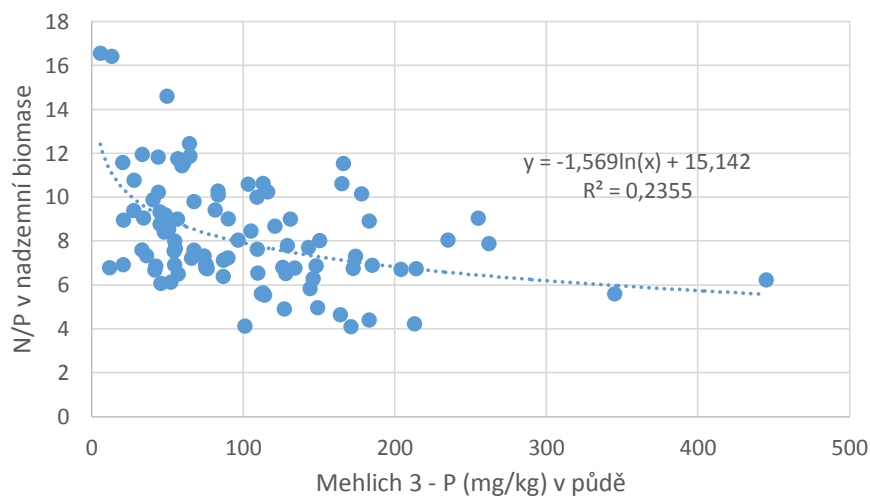
Graf 6. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a poměrem N/P v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31).

Graf 6. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a poměrem N/P v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování. Jedná se o negativní korelaci s mocninnou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,4187 * 100 = 41,87 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,6470$ udává silnou korelaci.



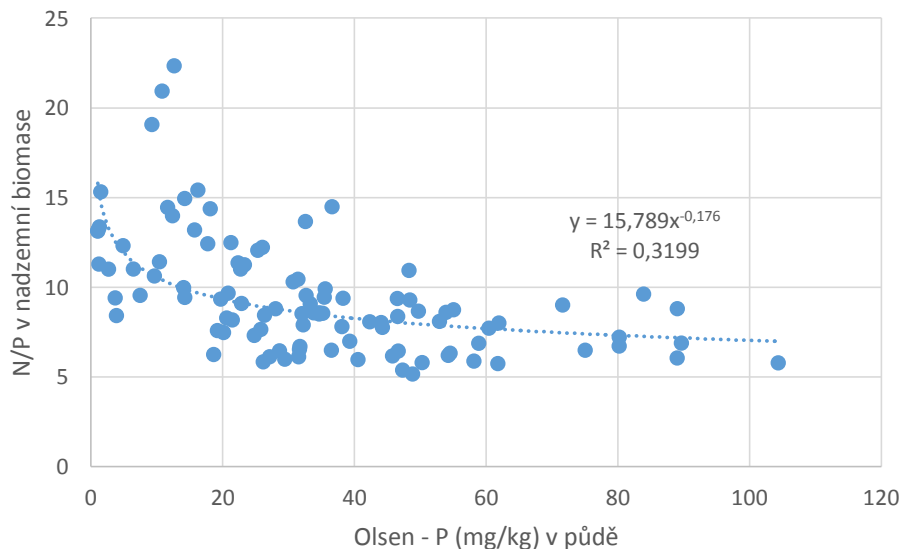
Graf 7. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a poměrem N/P v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69).

Graf 7. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a poměrem N/P v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu. Jedná se o negativní korelaci s logaritmickou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,2355 * 100 = 23,55 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,4852$ udává střední korelaci.



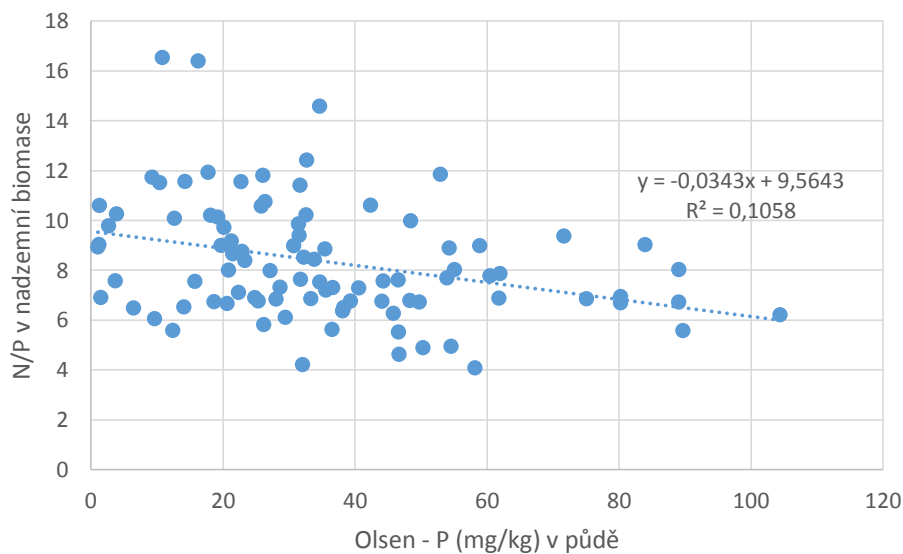
Graf 8. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a poměrem N/P v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31).

Graf 8. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a poměrem N/P v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování. Jedná se o negativní korelaci s mocninovou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,3199 * 100 = 31,99 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,5655$ udává střední korelaci.



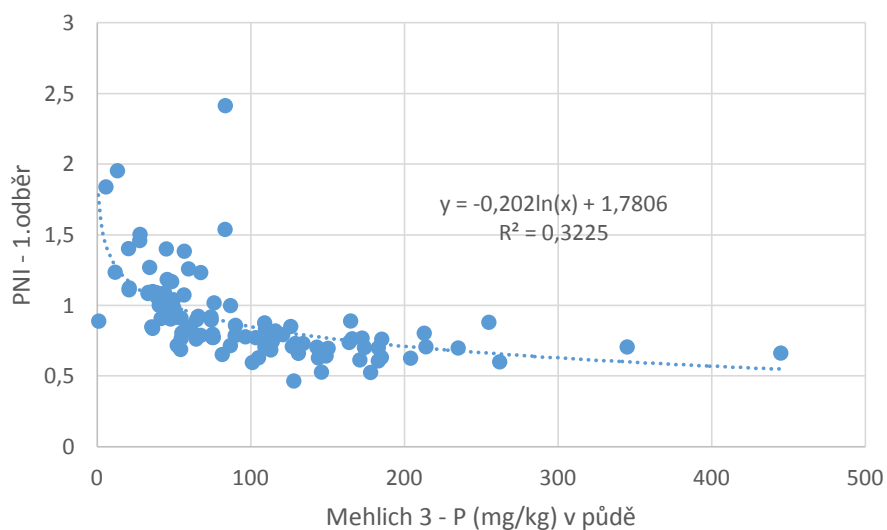
Graf 9. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a poměrem N/P v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69).

Graf 9. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a poměrem N/P v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu. Jedná se o negativní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,1058 * 100 = 10,58 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,3252$ udává slabou korelaci.



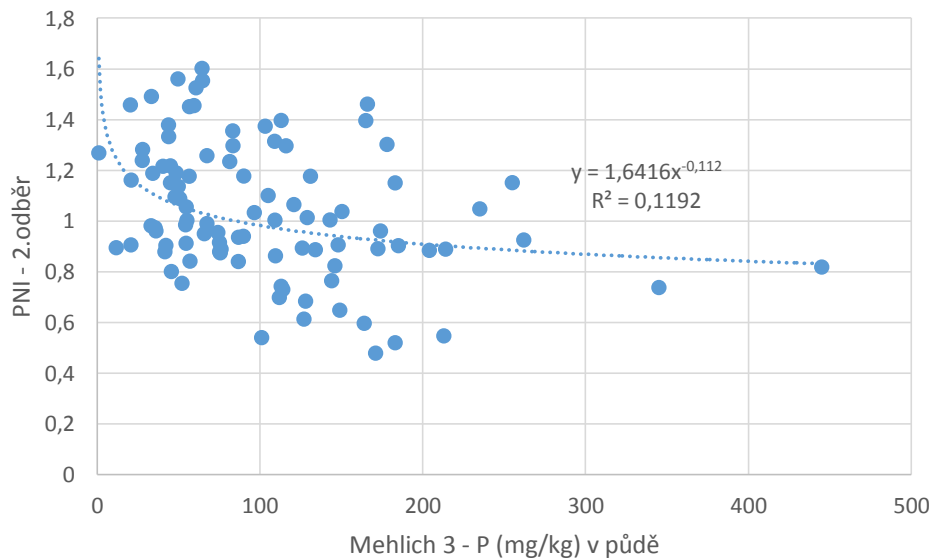
Graf 10. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a PNI (Index výživy rostlin) při prvním odběru (BBCH 31).

Graf 10. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a PNI (Indexem výživy rostlin fosforem) při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování. Jedná se o negativní korelaci s logaritmickou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,3225 * 100 = 32,25 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,5678$ udává střední korelaci.



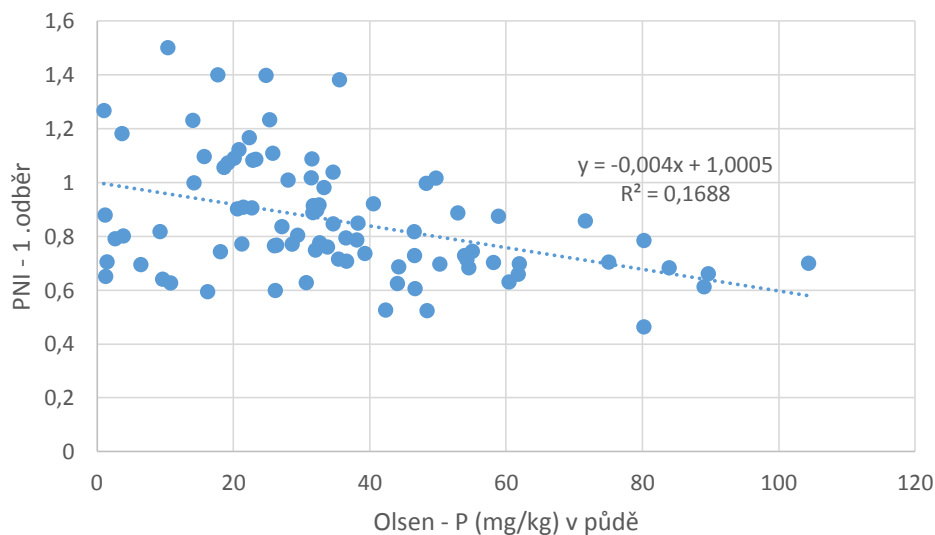
Graf 11. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a PNI (Index výživy rostlin) při druhém odběru (BBCH 65 – 69).

Graf 11. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 a PNI (Indexem výživy rostlin fosforem) při druhém odběru ve fázi konce květu. Jedná se o negativní korelaci s mocninnou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,1192 * 100 = 11,92 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,3452$ udává slabou korelaci.



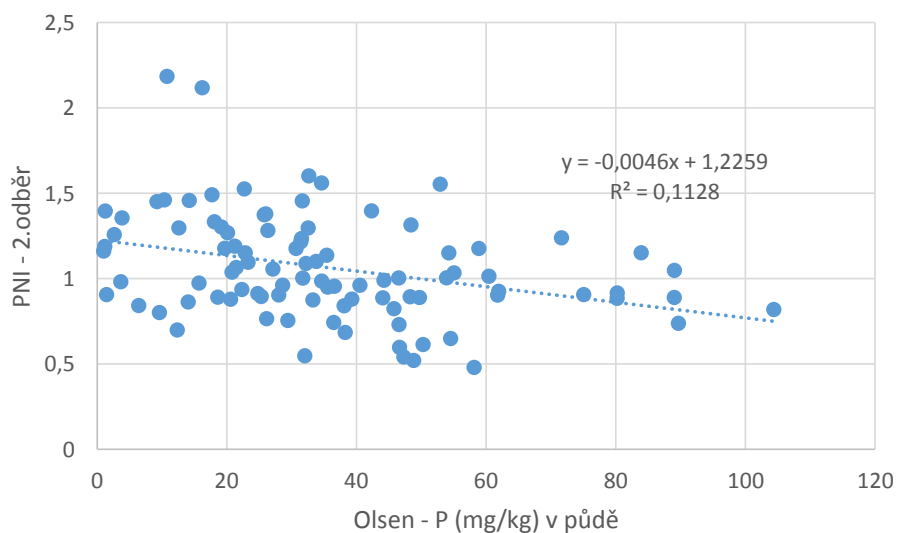
Graf 12. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a PNI (Index výživy rostlin) při prvním odběru (BBCH 31).

Graf 12. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a PNI (Indexem výživy rostlin fosforem) při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování. Jedná se o negativní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,1688 * 100 = 16,88 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,4108$ udává slabou korelaci.



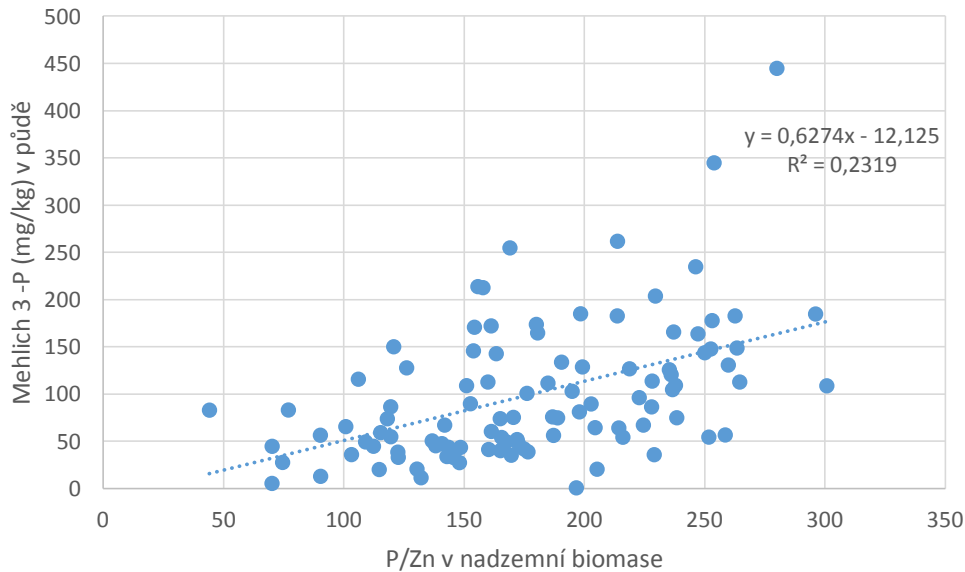
Graf 13. Vztah mezi obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a PNI (Index výživy rostlin) při druhém odběru (BBCH 65 – 69).

Graf 13. uvádí vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen a PNI (Indexem výživy rostlin fosforem) při druhém odběru ve fázi konce květu. Jedná se o negativní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,1128 * 100 = 11,28 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,3354$ udává slabou korelaci.



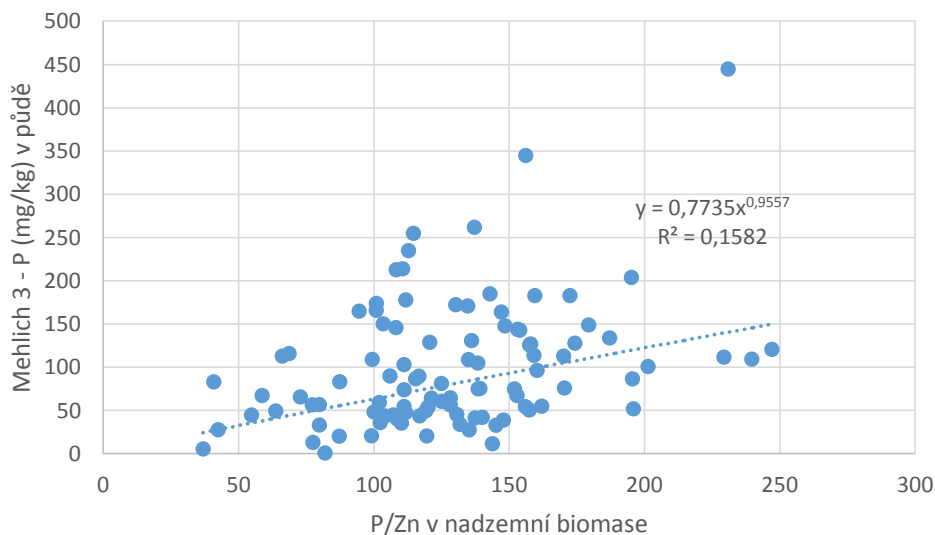
Graf 14. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31) a obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 14. uvádí vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o pozitivní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,2319 * 100 = 23,19 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,4815$ udává střední korelaci.



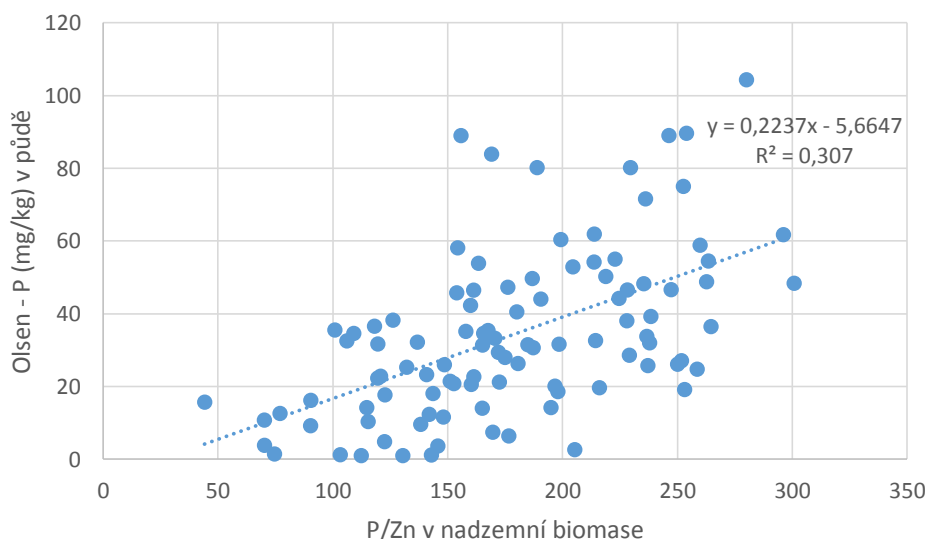
Graf 15. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69) a obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 15. uvádí vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu a obsahem fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o pozitivní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,1582 * 100 = 15,82 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,3977$ udává slabou korelaci.



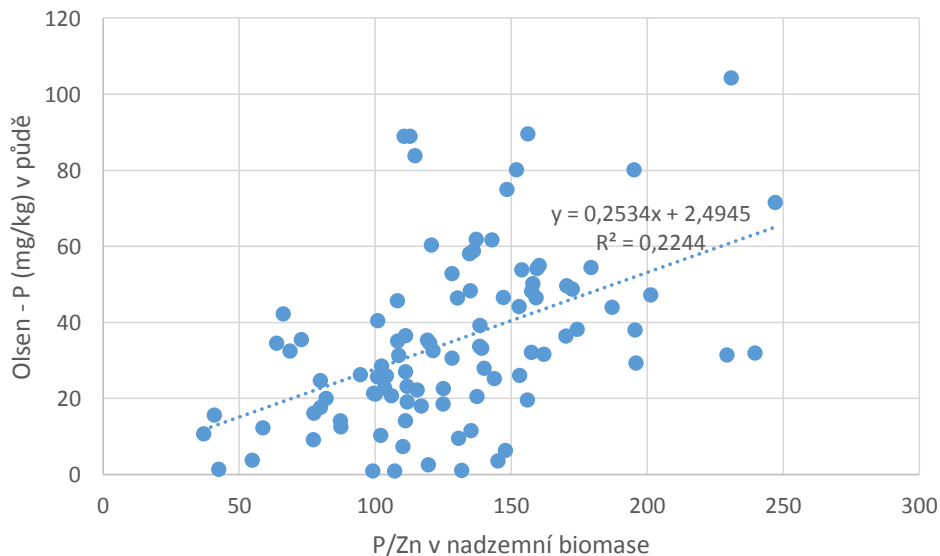
Graf 16. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31) a obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen.

Graf 16. uvádí vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen. Jedná se o pozitivní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,307 * 100 = 30,7 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,5540$ udává střední korelaci.



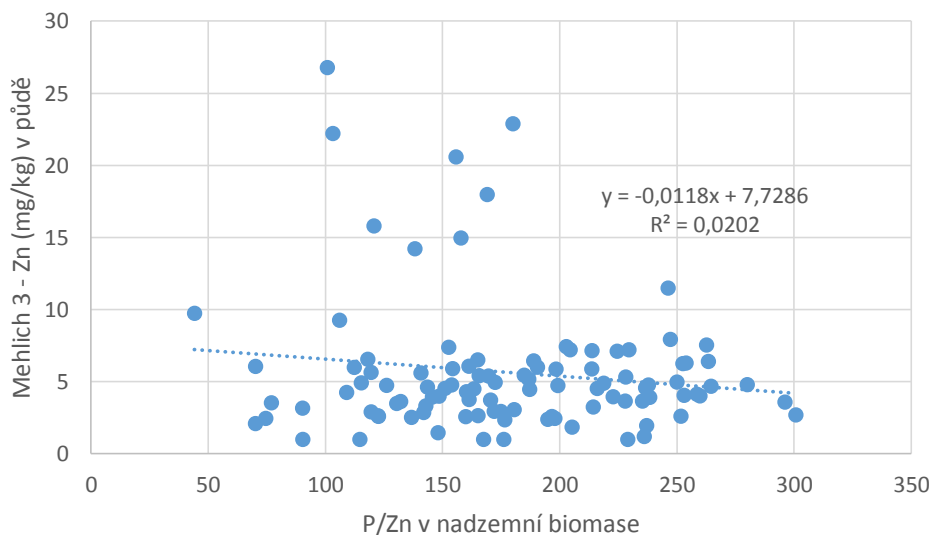
Graf 17. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69) a obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen.

Graf 17. uvádí vztah mezi poměrem P/Zn při druhém odběru ve fázi konce květu v nadzemní biomase a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen. Jedná se o pozitivní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,2244 * 100 = 22,44 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,4737$ udává střední korelaci.



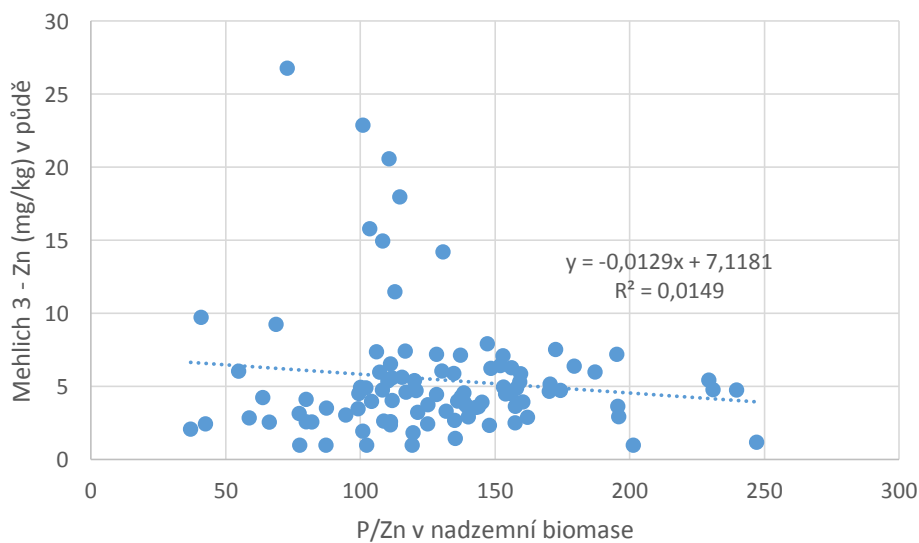
Graf 18. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31) a obsahem Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 18. uvádí vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a obsahem zinku v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o negativní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,0202 * 100 = 2,02 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,1421$ udává velmi slabou korelaci.



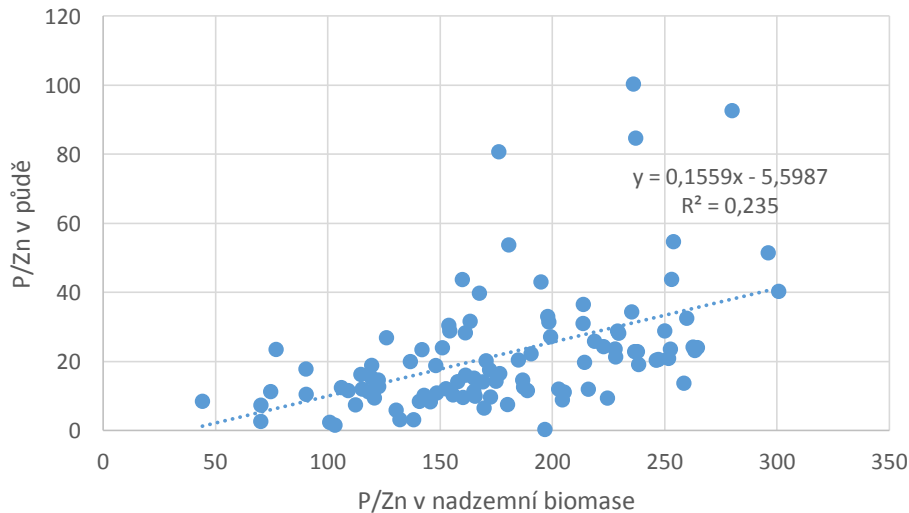
Graf 19. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69) a obsahem Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 19. uvádí vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu a obsahem zinku v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o negativní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,0149 * 100 = 1,49 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,1220$ udává velmi slabou korelaci.



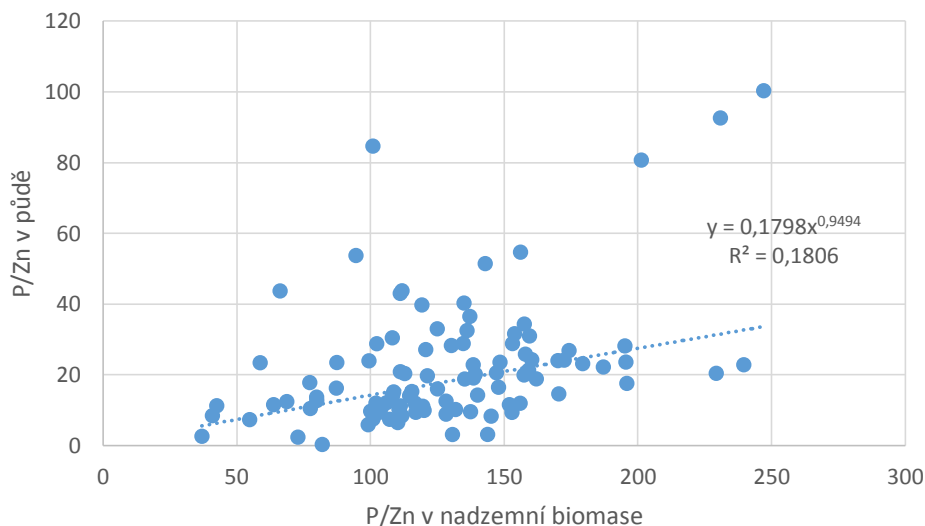
Graf 20. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31) a poměrem P/Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 20. uvádí vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a poměrem P/Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o pozitivní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,235 * 100 = 23,5 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,4847$ udává střední korelaci.



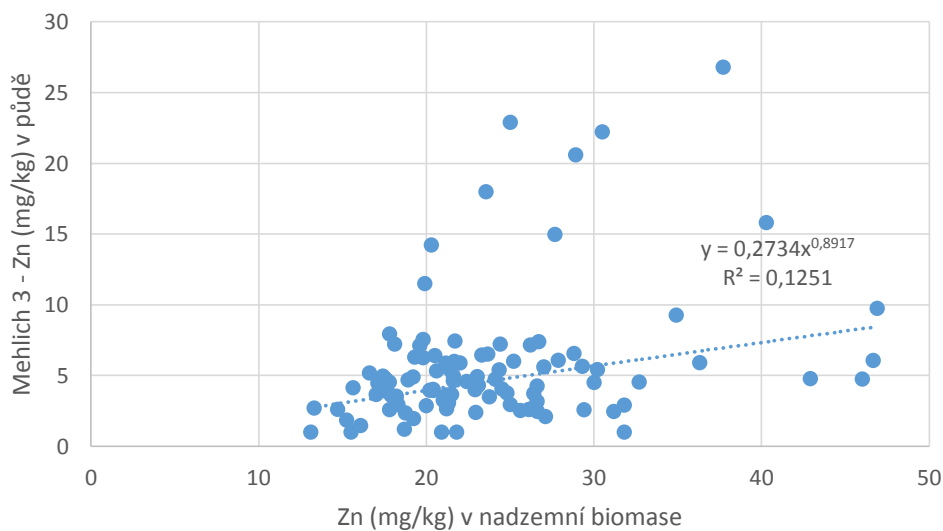
Graf 21. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69) a poměrem P/Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 21. uvádí vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu a poměrem P/Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o pozitivní korelaci s mocninnou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,1806 * 100 = 18,06 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,4249$ udává slabou korelaci.



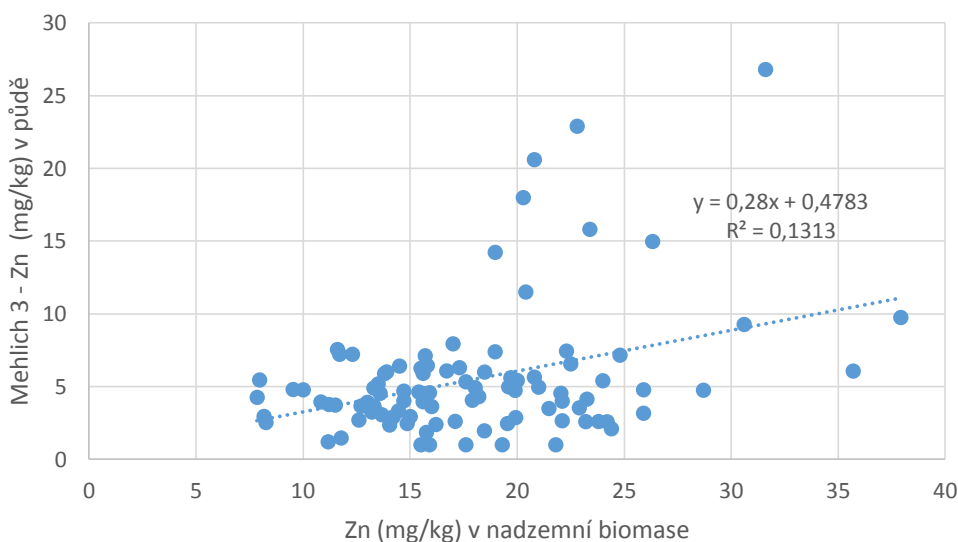
Graf 22. Vztah mezi obsahem Zn v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31) a obsahem Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 22. uvádí vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a obsahem zinku v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o pozitivní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,1251 * 100 = 12,51 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,3536$ udává slabou korelaci.



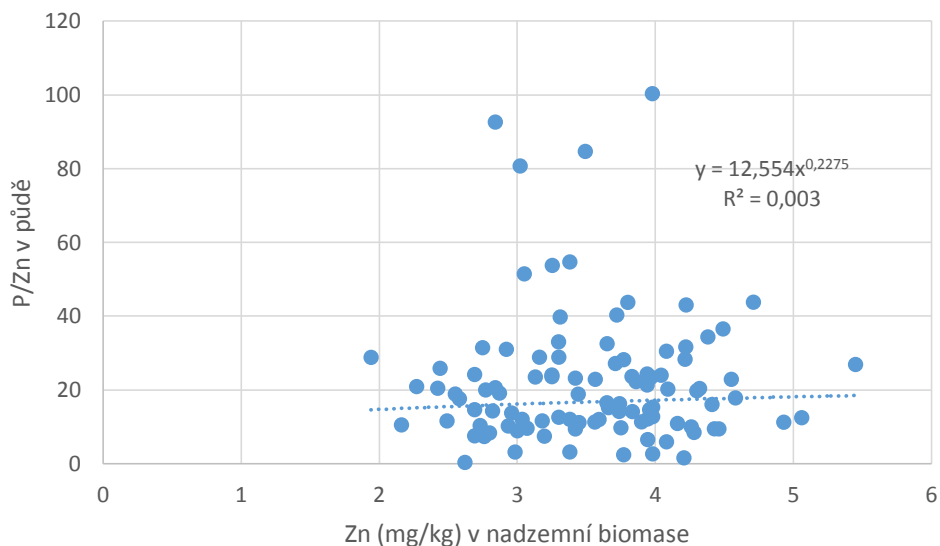
Graf 23. Vztah mezi obsahem Zn v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69) a obsahem Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 23. uvádí vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu a obsahem zinku v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o pozitivní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,1313 * 100 = 13,13 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,3623$ udává slabou korelaci.



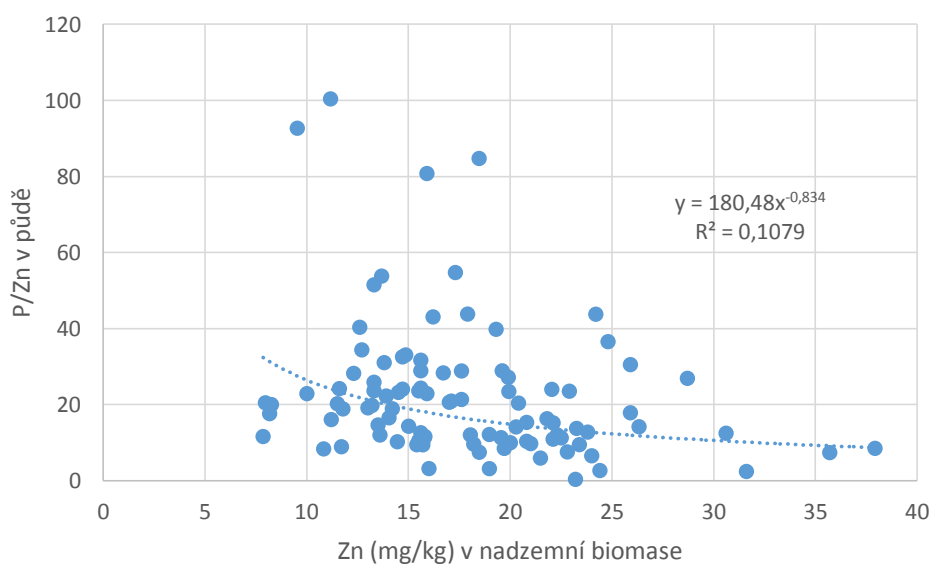
Graf 24. Vztah mezi poměrem Zn v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31) a poměrem P/Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 24. uvádí vztah mezi poměrem Zn v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a poměrem P/Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Hodnoty spolu nekorelují. Hodnota $R^2 = 0,003 * 100 = 0,3 \%$. Dle Pearsonova korelačního koeficientu spolu hodnoty nekorelují, $r = 0,05477$.



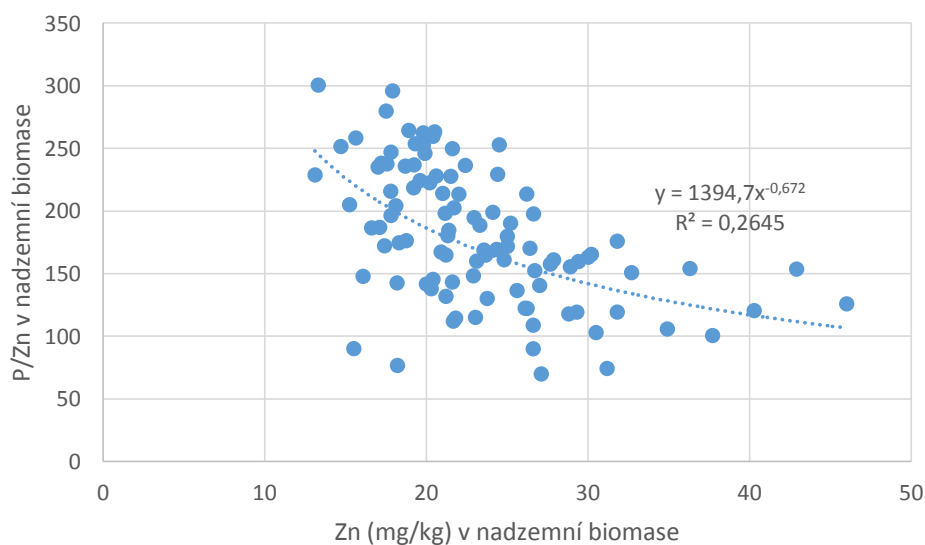
Graf 25. Vztah mezi obsahem přijatelného Zn v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 - 69) a poměrem P/Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 25. uvádí vztah mezi poměrem Zn v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce kvetení a poměrem P/Zn v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o negativní korelaci s mocninnou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,1079 * 100 = 10,79 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,3284$ udává slabou korelaci.



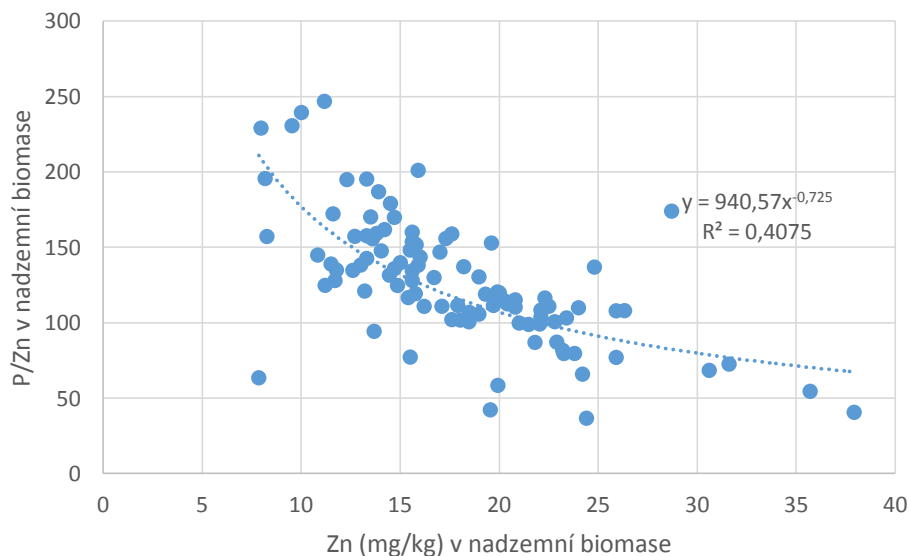
Graf 26. Vztah mezi obsahem Zn a poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31).

Graf 26. uvádí vztah mezi obsahem zinku a poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování. Jedná se o negativní korelaci s mocninnou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,2645 * 100 = 26,45 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,5142$ udává střední korelaci.



Graf 27. Vztah mezi obsahem Zn a poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69).

Graf 27. uvádí vztah mezi obsahem zinku a poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu. Jedná se o negativní korelaci s mocninnou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,4075 * 100 = 40,75 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,6383$ udává silnou korelaci.



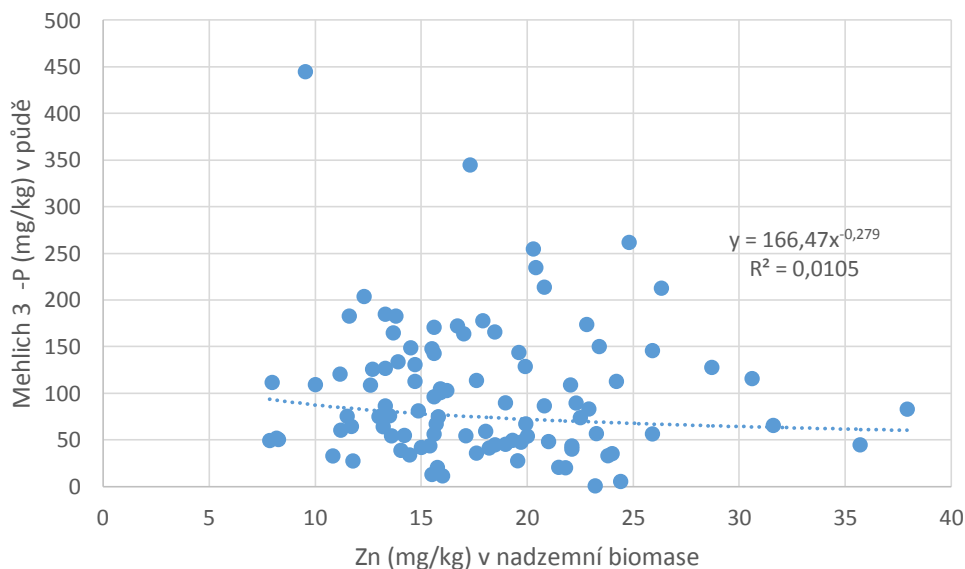
Graf 28. Vztah mezi obsahem Zn v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31) a obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 28. uvádí vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Jedná se o pozitivní korelaci s mocninnou funkcí. Hodnota $R^2 = 0,0177 * 100 = 1,17 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,1330$ udává velmi slabou korelaci.



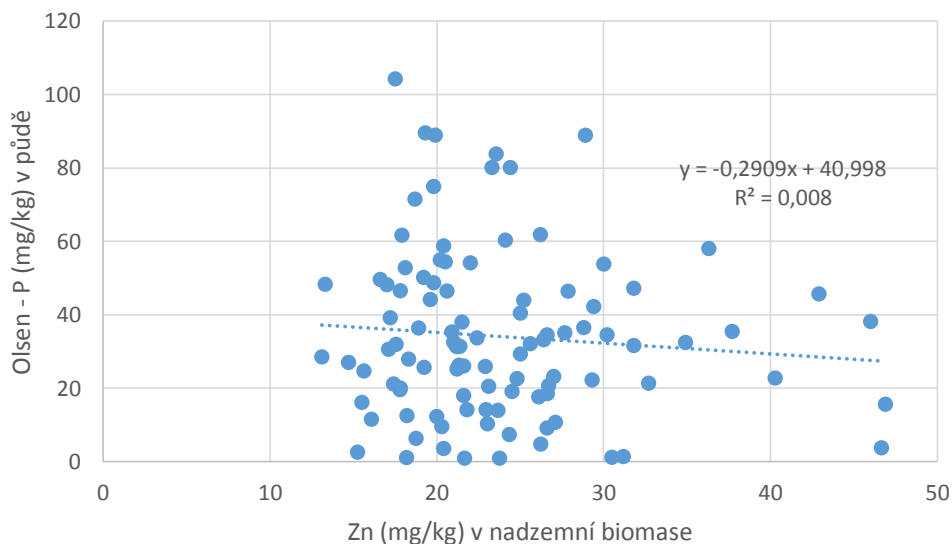
Graf 29. Vztah mezi obsahem Zn v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69) a obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3.

Graf 29. uvádí vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3. Hodnoty spolu nekorelují. Hodnota $R^2 = 0,0105 * 100 = 1,05 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,1024$ udává velmi slabou korelaci.



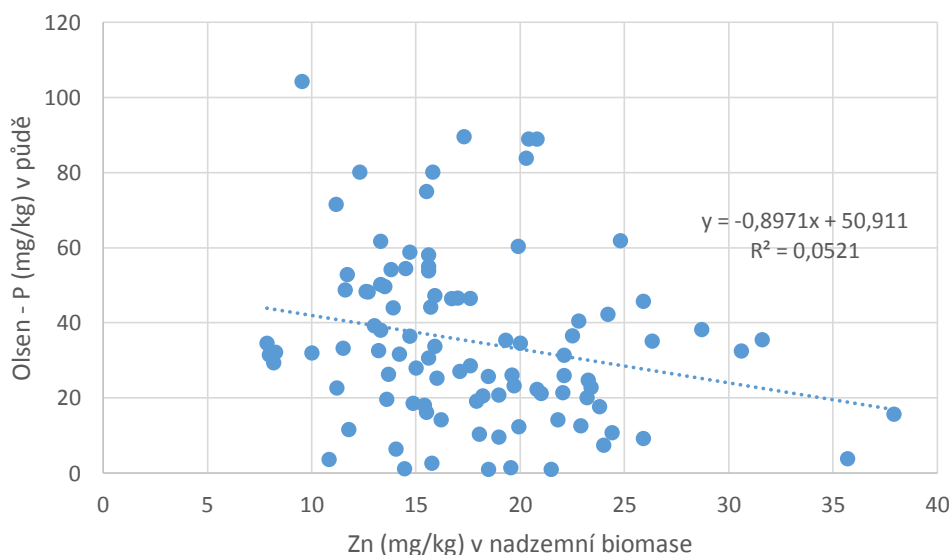
Graf 30. Vztah mezi obsahem Zn v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31) a obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen.

Graf 30. uvádí vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen. Hodnoty spolu nekorelují. Hodnota $R^2 = 0,008 * 100 = 0,8 \%$. Dle Pearsonova korelačního koeficientu spolu parametry nekorelují, $r = 0,0894$.



Graf 31. Vztah mezi obsahem Zn v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69) a obsahem přijatelného P v půdě stanoveného ve výluhu Olsen.

Graf 31. uvádí vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce květu a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen. Jedná se o negativní lineární korelaci. Hodnota $R^2 = 0,0521 * 100 = 5,21 \%$. Pearsonův korelační koeficient $r = 0,2282$ udává slabou korelaci.



6 Diskuze

Cílem této práce bylo zhodnotit přijatelnost fosforu ozimou pšenicí pěstovanou na alkalických půdách za použití výluhu Mehlich 3 a porovnání tohoto činidla s výluhem podle Olsena (0,5 mol/l roztok Na HCO₃). Bylo analyzováno více než 100 vzorků alkalických půd a nadzemní biomasy ozimé pšenice. Vzorky byly odebírány v letech 2015 – 2018 z polních provozních ploch.

Dalším cílem bylo zhodnotit vztah fosforu a zinku. Tyto dvě živiny jsou významné nejen pro rostlinný, ale také pro lidský metabolismus (Nikolic et al. 2016). Hodnotila se přítomnost a vzájemný vliv těchto dvou živin. Mobilita zinku je totiž na alkalických půdách a za vyššího obsahu fosforu značně omezená, jak uvádějí Nikolic et al. (2016) a Vaněk et al. (2016).

Přijatelný obsah fosforu stanovený ve výluhu Mehlich 3 silně koreloval s obsahem fosforu stanoveným ve výluhu Olsen. Buondonno et al. (2008) ve výsledcích své studie uvádí, že extrakční činidlo Mehlich 3 je pro stanovení obsahu přijatelného fosforu v půdě účinnější než extrakční činidlo Olsen (NaHCO₃). Současně stejný autor uvádí, že analýza alkalických půd ve výluhu Mehlich 3 je vhodnější než ve výluhu Olsen (Buondonno et al. 2008). Stejně tak Kleinman a Sharpley (2007) ve výsledcích své studie uvádějí, že extrační činidlo Mehlich 3 je spolehlivé pro stanovení obsahu přijatelného fosforu v alkalické půdě. Kunzová (2008) naopak uvádí, že extrakční činidlo Mehlich 3 je při stanovení přijatelného fosforu v alkalických a karbonátových půdách nevhodné, protože dochází ke snížení jeho extrakční schopnosti, což může vést ke zkreslení výsledných hodnot. Z výsledků mé diplomové práce vyplývá, že obsahy fosforu v půdě stanovené v obou činidlech (Mehlich 3, Olsen) spolu silně korelovala.

Silná závislost byla zaznamenána i ve vztahu mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného v roztoku Mehlich 3 a fosforem obsaženým v nadzemní biomase při prvním odběru, tedy ve fázi začátku sloupkování (BBCH 31), zatímco pro výluh podle Olsena byla tato korelace střední. Při druhém odběru, ve fázi konce kvetení (BBCH 65 - 69) se naopak ukazuje slabá závislost mezi obsahem fosforu v půdě stanoveným ve výluhu Mehlich 3 a obsahem fosforu v nadzemní biomase ozimé pšenice, naproti tomu byla zjištěna střední závislost mezi obsahem fosforu v nadzemní biomase a obsahem fosforu stanoveným ve výluhu Olsen.

Na základě našich výsledků můžeme tedy říct, že při analýze vztahu přijatelného fosforu v půdě a fosforu obsaženého v nadzemní biomase při prvním odběru (BBCH 31) byl relevantnější extrakční roztok Mehlich 3. Při jehož vyhodnocení byla závislost sledovaných parametrů prokázána jako silnější než v případě extrakčního činidla Olsen. Ovšem při stanovení obsahu přijatelného fosforu ve fázi konce kvetení v roztoku Olsen, se ukazuje korelace sledovaných parametrů silnější než ve výluhu Mehlich 3.

Při sledování vztahu mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě extrahovaného ve výluhu Mehlich 3 a poměrem N/P v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku kvetení (BBCH 31) se mezi těmito parametry prokázala silná závislost. Stejně tak se hodnotil vztah přijatelného fosforu v půdě stanoveného v extrakčním činidle Mehlich 3 a poměrem N/P v nadzemní biomase ve fázi konce kvetení (BBCH 65 – 69), tedy při druhém odběru se jednalo o střední závislost. Dále se hodnotil vztah těchto dvou parametrů stanovených ve výluhu Olsen. Tento vztah byl pro vegetační fázi začátku sloupkování střední. Při druhém odběru, tedy ve fázi konce kvetení byl slabý. Z těchto výsledků vyplývá, že při stanovení hodnot ve výluhu Mehlich 3 byly zjištěny silnější korelace s poměrem N/P než ve výluhu Olsen.

Vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveným v extrakčním činidle Mehlich 3 a indexem výživy rostlin fosforem (PNI) při prvním odběru (BBCH 31) je středně silný. Zhodnocen byl i vztah indexu výživy rostlin fosforem ve fázi konce kvetení, tedy při druhém odběru a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3, který byl slabý. Sedlář et al. (2018) uvádí ve výsledcích svého pokusu, že obsah přístupného fosforu v půdě silně koreloval s indexem výživy rostlin fosforem. Vzorky byly vyluhovány také v extrakčním činidle Mehlich 3 a jednalo se též o alkalické půdy. Vzorky nadzemní biomasy byly však odebírány u jarní formy pšenice, což však může vést k rozdílnému výsledku. Jarní forma pšenice vyrůstá za jiných klimatických podmínek než ozimá pšenice a navíc se jednalo o nádobový pokus.

Vztah mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanovený v extrakčním činidle Olsen a indexem výživy rostlin fosforem při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování byl středně silný. Dále byl hodnocen i vztah obsahu přijatelného fosforu v půdě vyhodnoceného ve výluhu Olsen a indexem výživy rostlin fosforem při druhém odběru, ve fázi konce kvetení. V tomto případě byla korelace slabá. Z výsledků tedy vyplývá, že obě činidla korelovala se sledovanými parametry stejně.

Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase ve fázi začátku sloupkování a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 udává střední korelaci. Při

druhém odběru ve fázi konce kvetení (BBCH 65 – 69) byl tento vztah slabý. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním a druhém odběru (BBCH 31 a BBCH 65 – 69) a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen byl střední. Z těchto výsledků vyplývá, že vztah mezi poměrem P/Zn a obsahem přijatelného fosforu v půdě je střední. Také můžeme říct, že při stanovení poměru P/Zn v nadzemní biomase a obsahu přijatelného fosforu v půdě byl relevantnější extrakční roztok Olsen (Na HCO_3), neboť vztahy sledovaných parametrů korelovaly silněji než v případě stanovení v činidle Mehlich 3.

Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase ve fázi začátku sloupkování a obsahem zinku v půdě stanoveným ve výluhu Mehlich 3 je velmi slabý. Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce kvetení a obsahem zinku v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 je také velmi slabý. Z výsledků vyplývá, že mezi těmito sledovanými parametry existuje jen velmi slabá závislost.

Vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi sloupkování a obsahem přijatelného fosforu v půdě extrahovaného ve výluhu Mehlich 3 je velmi slabý. Vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při druhém odběru ve fázi konce kvetení a obsahem přijatelného fosforu stanoveného ve výluhu Mehlich 3 vzájemně nekorelovaly. Z těchto údajů tedy vyplývá, že obsah přijatelného fosforu v půdě s obsahem zinku v nadzemní biomase, ve fázích začátku sloupkování a konce kvetení, nekoreluje nebo jen velmi slabě. Zhang et al. (2012) ale ve své studii uvádí, že tyto parametry spolu korelují, protože hnojení fosforem a následně vyšším obsahem přijatelného fosforu v půdě dochází ke sníženému příjmu zinku rostlinou. Je třeba brát v úvahu i další faktory, například obsahy dalších makroelementů a mikroelementů, zejména obsah zinku v půdě.

Vztah mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a poměrem P/Zn v půdě stanoveným ve výluhu Mehlich 3 byl střední. Také se hodnotil vztah těchto parametrů i při druhém odběru, ve fázi konce kvetení, který byl slabý. Z uvedených výsledků tedy můžeme říct, že poměr P/Zn v nadzemní biomase ozimé pšenice je závislejší na poměru P/Zn v půdě stanoveným ve výluhu Mehlich 3 než na obsahu zinku stanoveným rovněž ve výluhu Mehlich 3.

Poměr fosforu a zinku v nadzemní biomase je velice důležitý, protože ovlivňuje kvalitu zrna a následně tak kvalitu potravin (Zhang et al. 2012). Proto je důležité tento parametr sledovat. Vztah mezi obsahem zinku a poměrem P/Zn v nadzemní biomase ve fázi začátku sloupkování byl střední. Vztah mezi obsahem zinku a poměrem P/Zn v nadzemní biomase při druhém odběru, ve fázi konce květu byl silný. Z toho těchto údajů tedy můžeme

říct, že silná závislost je mezi obsahem zinku a poměrem P/Zn v nadzemní biomase je především ve fázi konce kvetení (BBCH 65 – 69).

Junus a Cox (1987) ve své studii uvádí, že obsah zinku v nadzemní biomase se snižuje se zvyšujícím se pH půdy. Uvádí také, že extrakční činidlo Mehlich 3 je vhodné pro analýzu obsahu zinku v alkalických půdách.

Vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase ve fázi začátku sloupkování při prvním odběru a obsahem zinku v půdě stanoveným ve výluhu Mehlich 3 je slabý. Při zhodnocení druhého odběru (BBCH 65 – 69) je tento vztah také slabý. Z výsledků mé diplomové práce můžeme o vztahu mezi obsahem zinku v nadzemní biomase a obsahem zinku v alkalické půdě extrahovaných v Mehlich 3 říct, že spolu korelují jen slabě.

Vztah mezi obsahem zinku v rostlině ve fázi začátku sloupkování a poměrem P/Zn v půdě stanoveném ve výluhu Mehlich 3 není. Hodnoty spolu nekorelují. Při vyhodnocení druhého odběru (BBCH 65 – 69) spolu tyto dva parametry korelovaly slabě.

Ve výsledcích našeho pokusu se ukázalo, že neexistuje vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při prvním odběru ve fázi začátku sloupkování a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen. Hodnoty spolu nekorelují. Vztah mezi obsahem zinku v nadzemní biomase při druhém odběru (BBCH 65 – 69) a obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveného ve výluhu Olsen je slabý. Z těchto výsledků opět vyplývá, že obsah zinku v nadzemní biomase není závislý nebo jen velmi málo na obsahu přijatelného fosforu v půdě. Extrakční činidlo Mehlich 3 bylo při stanovení sledovaných parametrů ve fázi začátku sloupkování účinnější než výluh Olsen. Ovšem při vyhodnocení druhého odběru (BBCH 65 – 69) byl účinnější výluh Olsen.

Na základě výsledků mé diplomové práce můžeme říct, že extrakční činidlo Mehlich 3 je vhodnější pro vyhodnocení obsahu přijatelného fosforu v alkalické půdě než extrakční činidlo Olsen. Extrakční roztok Mehlich 3 navíc umožňuje bez obtíží stanovit obsah zinku v alkalické půdě. Při vyhodnocení výsledků je třeba brát v úvahu i další faktory, které mohou ovlivnit výsledky analýz. Výsledky analýz mohou být ovlivněny i lidským faktorem, například pracovní přesnost či nepřesnost techniků atd. (Shahandeh et al. 2017).

7 Závěr

Výsledkem hodnocení obsahu fosforu přijatelného ozimou pšenicí v alkalických půdách činidlem Mehlich 3 je, že tento extrakční roztok se prokázal jako vhodnější pro stanovení většiny sledovaných parametrů než extrakční činidlo Olsen (NaHCO_3).

Na základě vlastních pokusných výsledků s vybranými extrakčními činidly a jejich porovnáním jsem dospěla k těmto závěrům:

- Extrakční činidlo Mehlich 3 je vhodné pro stanovení obsahu přijatelného fosforu v alkalické půdě. Tuto hypotézu můžeme potvrdit. U většiny sledovaných parametrů v mé diplomové práci byly zjištěny silnější korelace s obsahem fosforu stanoveným extrakčním činidlem Mehlich 3 než extrakčním činidlem Olsen. Obsahy fosforu stanovené za použití obou těchto činidel spolu silně korelovala. Výluh Mehlich 3 byl vhodnější při hodnocení vztahu mezi obsahem fosforu v půdě a obsahem přijatelného fosforu v nadzemní biomase ve fázi začátku sloupkování, kde vzájemně tyto parametry silně korelovaly. Mehlich 3 byl také vhodný pro vyhodnocení vztahu mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě a poměrem obsahu N/P v nadzemní biomase ve fázi začátku sloupkování, kde tyto parametry opět silně korelovaly.
- Obsah zinku v rostlinách ozimé pšenice je závislejší na poměru obsahu P/Zn v půdě než na prostém obsahu zinku v půdě. Výsledky mé diplomové práce tuto hypotézu vyvrací. Obsah prostého zinku v půdě sice koreloval slabě s obsahem zinku v nadzemní biomase, ale poměr P/Zn ve fázi začátku sloupkování s obsahem zinku v nadzemní biomase nekoreloval.
- Poměr obsahu N/P v nadzemní biomase je vhodnější indikátor výživného stavu ozimé pšenice fosforem než obsah fosforu v nadzemní biomase. Tuto hypotézu nemůžeme potvrdit ani zamítnout. Použití indikátoru poměru obsahu N/P bylo vhodné v případě vyhodnocení prvního odběru (BBCH 31) ve výluhu Mehlich 3, kde byla korelace silná. Naopak nevhodné bylo použít tento indikátor při vyhodnocení druhého odběru (BBCH 65 – 69) ve výluhu Olsen, kde koreloval slabě.
- Index výživy rostlin fosforem (PNI) v nadzemní biomase je vhodnější indikátor výživného stavu ozimé pšenice fosforem než obsah fosforu v nadzemní biomase. Hypotézu můžeme zamítnout. Index výživy rostlin fosforem koreloval u většiny parametrů slaběji než samotný obsah fosforu v nadzemní biomase.
- Poměr obsahu P/Zn v nadzemní biomase je spolehlivějším ukazatelem výživného stavu ozimé pšenice zinkem než prostý obsah zinku v nadzemní biomase. Tuto

hypotézu můžeme potvrdit. Poměr obsahu P/Zn v nadzemní biomase u obou odběrů koreloval silněji s obsahem poměru P/Zn v půdě než prostý obsah zinku v nadzemní biomase s obsahem poměru P/Zn v půdě.

8 Seznam literatury

Internetové zdroje:

Craig JR. 2018. Zinc (Zn). Salem Press Encyclopedia of Science. Available from www.search.ebscohost.com (accessed February 2019).

Český statistický úřad. 2019. Osevní plochy ozimých plodin pro sklizeň v roce 2019. Český statistický úřad, Praha. Available from www.czso.cz/csu/czso/osevni-plochy-ozimych-plodin-pro-sklizen-v-roce-2019- (accessed January 2019).

FAO 2019 (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2019. FAOSTAT: Crops (Production) – Wheat. FAO, Rome. Available from www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize. (accessed January 2019).

Literatura:

Baier J, Smetánková M, Baierová V. 1988. Diagnostika výživy rostlin. Institut vých. a vzdělávání MZVŽ ČSR, Praha.

Balík J, Kulhánek M, Pavlíková D, Tlustoš P, Wisniowska – Kielian B. 2008. Fosfor v půdě. Pages 23 - 30 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Sborník ze 14. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy a hnojení fosforem. Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Balík J, Vaněk V, Pavlíková D, Kulhánek M, Jakl M. 2002. Fosfor v půdě a jeho koloběh v přírodě. Pages 26 – 34 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Sborník z 8. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku fosforu v rostlinné výrobě. Katedra agrochemie a výživy rostlin, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Barker AV, Pilbeam DJ. 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC Taylor & Francis Group, an Informa business, Boca Raton.

Bélangier G, Ziadi N, Pageau D, Grant C, Högnäsbacka M, Virkajärvi P, Hu Z, Lu J, Lafond J, Nyiraneza J. 2015. A Model of Critical Phosphorus Concentration in the Shoot Biomass of Wheat. *Agronomy Journal* **107**: 963 – 970.

Brady NC, Weil RR. 2002. *The Nature and Properties of Soils*, thirteenth edition. Pearson Education Ltd, New Jersey.

Buondonno A, Coppola E, Felleca D, Violante P. 2008. Comparing tests for soil fertility: 1. Conversion equations between Olsen and Mehlich 3as phosphorus extractants for 120 soils of south Italy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **23**: 699 – 716.

Cakmak I, McLaughlin MJ, White P. 2017. Zinc for better crop production and human health. *Plant Soil* **411**: 1 – 4.

Essington EM. 2015. *Soil and Water Chemistry, An Intergrative Approach*. CRC PRESS, Boca Raton.

Foltýn J, Apltauerová M, Baňoch Z, Bareš I, Bartoš P, Benada J, Černý V, Fadrhons J, Foltýn J, Foral A, Haniš M, Hýža V, Kociánová M, Kuhn F, Malěj J, Nátr J, Perutík R, Pešík J, Petr J, Prugar J, Přikryl K, Rovenská B, Rus L, Segeřa V, Sehnalová J, Suchoman K, Škopík P, Tempír Z, Troníčková E, Vlach M, Zadražil K, Záruba J, Zemánek M, Zemánek J. 1970. *Pšenice*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

Hajšlová J, Schulzová V. 2006. *Porovnání produktů ekologického a konvenčního zdroje*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha.

Hlušek J, Richter R, Ryant P. 2002. *Výživa a hnojení zahradních plodin*. Redakce odborných časopisů, Praha.

Junus MA, Cox FR. 1987. A Zinc Soil test Calibration Based upon Mehlich 3 Extractable Zinc, pH, and Cation Exchange Capacity 1. *Soil Science Society of America Journal* **3**: 678 – 683.

Kleinman PJA, Sharpley AN. 2007. Estimating soil phosphorus sorption saturation from Mehlich 3 data. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **33**: 1825 – 1839.

Kovar JL, Pierzynski GM. 2009. *Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters, Second Edition*. Southern Cooperative Series Bulletin **408**: 1 – 122.

Kumpiene J, Lagerkvist A, Maurice Ch. 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments – A review. *ScienceDirect. Waste Management* **28**: 215 - 225.

Kunzová E. 2009. *Výživa rostlin a hnojení fosforem*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha 6 – Ruzyně, Praha.

Mader P, Čurdová E. 1997. Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků. *Chemické Listy* **91**: 227 – 236.

Marschner P, Broadley M, Brown P, Buerkert A, Cakmak I, Cooper J, Eichert T, Engels Ch, Fernández V, Kirkby E, Eckhard E, Hawkesford M, Walter H, Huber D, Kichey T, Bernard L, Ma JF, Neumann E, Neumann G, Scherer H, Schlecht E, Rengel Z, Romheld V, Schjoering J, Moller IS, Weinmann M, White P, Wiesler F, Zhao F. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. School of Agriculture, Food and Wine The University of Adelaide Australia, London.

Mehlich A. 2008. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **4**: 6.

Mengel K, Kirkby EA, Kosegarten H, Appel T. 2001. Principles of Plant Nutrition, 5th Edition. Springer Science + Business Media Dordrecht, Originally published by Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Nikolic M, Nikolic N, Kostic L, Pavlovic J, Bosnic P, Stevic N, Savic J, Histov N. 2016. The assessment of soil availability and wheat grain status of zinc and iron in Serbia: Implications for human nutrition. *Science of the Total Environment* **553**: 141 – 148.

Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction With Sodium Bicarbonate. Soil Water Conservation Research Branch, Agricultural Research Service, Circular **939**: 1 - 19.

Pavlíková D, Pavlík M, Balík J. 2008. Úloha fosforu v rostlinách. Pages 31 -35 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Sborník ze 14. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy a hnojení fosforem. Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Prasad AN. 2014. Impact of the discovery of human zinc deficiency on health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* **28**: 357 – 363.

Richey JE. 1983. The phosphorus cycle. Pages 51 - 55 in Bolin B, Cook R B, editors. The major biogeochemical cycles and their interactions. SCOPE 21, Stockholm.

Sáňka M, Materna J. 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.

Sedlář O, Balík J, Kulhánek M, Suran P, Matěchová M. 2018. Hodnocení výživového stavu u pšenice pěstované na karbonátových půdách. Pages 105 – 108 in Vaněk V, Balík J, Tlustoš P, editors. Sborník z 24. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na význam a uplatnění mikroelementů ve výživě rostlin. Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Shahandeh H, Hons FM, Provin TL, Pitt JL, Waskom JS. 2017. Factors Affecting Mehlich 3 Soil Test Methodology for Extractable P. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **48**: 423 – 438.

Smatanová M, Sušil A. 2018. Výsledky agrochemického zkoušení půd za období 2012 – 2017. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Sekce zemědělských vstupů, Brno.

Šarapatka B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Stewart JWB, Tiessen H. 1987. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biochemistry* **4**: 41 – 60.

Tlustoš P, Pavlíková D, Balík J. 2002. Úloha fosforu v rostlinách, jeho příjem a potřeba rostlinami. Pages 38 – 45 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Sborník z 8. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku fosforu v rostlinné výrobě. Katedra agrochemie a výživy rostlin, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Urban J, Vašák J, Adamčík J, Bečka D, Capouchová I, Dvořák P, Faměra O, Kuchtová P, Pazderů K, Pulkrábek J, Štranc P, Tomášek J. 2016. Zemědělské systémy 2., (Rostlinná produkce). Provozně ekonomická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. Výživa zahradních rostlin. ACADEMIA PRAHA, Praha.

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

Yan W, Zhong Y, Shangguan Z. 2015. The relationships and sensibility of wheat C:N:P stoichiometry and water use efficiency under nitrogen fertilization. *Plant, Soil and Environment*, **61**: 201 - 207.

Zbiral J, Nemecek P. 2002. Comparison of Mehlich 2, Mehlich 3, CAL, Egner, Olsen, and 0.01 M CaCl₂ extractants for determination of phosphorus in soils. *Communications in soil science and plant analysis* **33**: 3405 – 3417.

Zhang YQ, Deng Y, Chen RY, Cui ZL, Chen XP, Yost R, Zhang FS, Zou ChQ. 2012. The reduction in zinc concentration of wheat upon increased phosphorus – fertilization and its mitigation by foliar zinc application. *Plant and Soil* **360**: 143 – 152.

Zhang W, Liu D, Li Ch, Cui Z, Chen X, Russel Y, Zou Ch. 2015. Zinc accumulation and remobilization in winter wheat as affected by phosphorus application. *Field Crops Research* **184**: 155 – 161.

Zimolka J, Edler S, Hřivna L, Jánký J, Kraus P, Mareček J, Novotný F, Richter R, Říha K, Tichý F. 2005. *Pšenice - pěstování, hodnocení a užití zrna*. Profi Press, s. r.o., Praha.