



(foto: Káš M.)

Metodický postup pro optimalizaci hnojení fosforem na zemědělských půdách, včetně půd karbonátových

**Čermák P., Mühlbachová G., Káš M., Pechová M., Lošák, T., Hlušek J.,
Kulhánek, M., Sedlář O., Balík J.**

Schválená metodika pro praxi



2018

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Praha 6 - Ruzyně

ISBN 978-80-7427-294-3

Metodika je výsledkem řešení projektu KUS-NAZV: **QJ1530171** „Rozšíření využitelnosti a aktualizace kategorií pro stanovení obsahu přístupných makro a mikroživin v půdě v rámci zajištění trvale udržitelné úrodnosti a produkčních schopností zemědělských půd“.

Metodický postup pro optimalizaci hnojení fosforem na zemědělských půdách, včetně půd karbonátových

**Čermák, P. (33%), Mühlbachová, G. (32%), Káš M.(5%), Pechová M. (5%), Lošák, T. (5%),
Hlušek J. (5%), Kulhánek, M. (5%), Sedlář O. (5%), Balík, J. (5%)**

Schválená metodika pro praxi

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Praha 6 - Ruzyně

ISBN 978-80-7427-294-3

2018

V předkládané metodice je navržen postup stanovení optimálních dávek hnojení fosforem na zemědělských půdách, včetně půd karbonátových, kde analytická metoda Mehlich 3 používaná ke stanovení obsahu přístupného fosforu neudává vždy zcela přesné hodnoty jeho skutečného obsahu v půdě, resp. obsah P je na půdách karbonátových podhodnocen.

K eliminaci této nepřesnosti mají sloužit nově navržená kritéria hodnocení obsahu přístupného fosforu na karbonátových půdách. Bude následovat postup stanovení optimální dávky fosforu pro hnojení daných plodin, či skupin plodin s přihlédnutím k účelu a potřebám pěstovaných plodin na výživu fosforem a stavu půdních vlastností.

Hlavní myšlenkou předkládané metodiky je maximální jednoduchost a srozumitelnost, tzn. rychlé a účelné nastavení optimální dávky fosforu pro pěstovanou plodinu podle podmínek a účelu pěstování.

The methodology proposes process of determination of optimal phosphorus rates for agricultural soils, including calcareous soils, where extraction method Mehlich 3 used for determination of available phosphorus doesn't indicate real phosphorus content in soil.

New criteria of valuation of available phosphorus content in calcareous soils will be used for elimination of this incorrectness. Next process will be used for determination of optimal phosphorus rate for fertilization of crops, eventually group of crops, with regard to purpose and needs growing crops and soil properties.

Main idea of suggested methodology is maximal simplicity and intelligibility, i.e. quick and effective optimal phosphorus rate setting for growing crop according to conditions and purpose of growing.

Oponenti:

ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha 1 – Těšnov
doc. ing. Radim Vácha, Ph.D., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha 5 - Zbraslav

Metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství České republiky
pod č. 72961/2018-MZE-17221

Obsah

I.	Cíl metodiky	6
II.	Vlastní popis metodiky	6
1.	Současný stav problematiky	6
2.	Stanovení přístupného fosforu extraktantem Mehlich 3	8
3.	Výsledky dlouhodobých pokusů VÚRV, v.v.i. a monitoringu půd v ČR	9
3.1.	Mezinárodní polní pokusy IOSDV s hnojením minerálními a statkovými hnojivy	9
3.2.	Vliv stanoviště dlouhodobých pokusů na obsah fosforu a výnosy pšenice ozimé	14
3.3.	Monitoring půd v ČR	17
3.4.	Využitelnost P_{indexu} pro stanovení optimální dávky fosforu	24
3.4.1.	Metodika pokusů zaměřených na sledování P-indexů	24
3.4.2.	P-index založený na vztahu obsahů P, Fe a Al v půdě	25
3.4.3.	P-index založený na vztahu obsahu P v půdě a obsahu P v rostlině a interakcích se zinkem na karbonátových půdách	27
4.	Zásady hnojení fosforem, resp. fosforečnými hnojivy, včetně optimalizace hnojení na karbonátových půdách	28
III.	Srovnání „novosti postupů“	29
IV.	Popis uplatnění Certifikované metodiky	29
V.	Ekonomické aspekty	30
VI.	Seznam použité související literatury	30
VII.	Seznam publikací, které předcházely metodice	32

I. Cíl metodiky

Hlavním cílem této metodiky je rychlé a účelné nastavení optimální dávky fosforu pro pěstovanou plodinu podle podmínek a účelu pěstování.

V úvahu jsou brány zejména různé půdní vlastnosti (hodnota pH, obsah přístupných živin – zejména fosforu a vápníku) a nároky pěstovaných plodin na výživu fosforem.

II. Vlastní popis metodiky

1. Současný stav problematiky

V rámci agrochemického zkoušení zemědělských půd jsou v současné době vypracována a v platné legislativě uvedena kritéria pro hodnocení obsahu fosforu, draslíku a hořčíku stanovených extrakční metodou Mehlich 3. Extrakční metoda Mehlich 3 byla vyvinuta v USA (Mehlich, 1984) a je používána v řadě zemí celého světa jako normovaný půdní test. Extrakce půd metodou Mehlich 3 je pro svou jednoduchost vhodná pro rutinní používání v zemědělských laboratořích. Vhodnost použití této extrakční metody je pro široké spektrum půd z pohledu hodnoty půdní reakce, s výjimkou půd karbonátových (definovaných hodnotou pH 7,3 a výše a současně s obsahem přístupného vápníku 3500 mg.kg půdy⁻¹ a výše – Kunzová, 2009), kde je nutné aplikovat určité korekce (zejména na stanovení reálného obsahu přístupného fosforu) s ohledem na následné stanovení optimální dávky fosforu pro pěstované plodiny.

Fosfor je jedním z klíčových prvků ve výživě rostlin. Příjem a metabolismus fosforu kladně koreluje s celou řadou biochemických procesů probíhajících, jak buňkách kořenového systému, tak i v nadzemních částech rostlin (Fecenko & Ložek, 2000). Fosfor je rostlinami přijímán ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, převážně ve formě H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} . Přijatý minerální fosfor je rychle zabudován do organických sloučenin a následně transportován do míst jeho nejvyšší potřeby – tj. do mladých listů, vegetačního vrcholu, později květů a plodů (semen). Nevyšší obsah fosforu v rostlině vykazují generativní orgány a semena (Vaněk et al., 2007). V rostlinách má fosfor významné postavení v biochemických reakcích a v přenosu energie. Při omezeném příjmu fosforu rostlinami jsou pak pochopitelně narušeny významné procesy, zejména související s fotosyntézou a následně v důsledku toho dochází ke snížení výnosů plodin a složek v produktech, pro které jsou rostliny pěstovány (cukr, škrob, bílkoviny, aj.).

V půdě se obsah fosforu pohybuje v rozmezí od 0,01 do 0,15% (Vaněk et al., 2007). Fosfor je v půdě málo pohyblivý a jeho obsah v půdním roztoku je nízký – většinou pod 1 ppm. Vyšší obsah fosforu zpravidla vykazují půdy s vyšším obsahem organické hmoty.

Převážná část celkového fosforu v půdě je pro rostliny nepřijatelná. Přijatelnou část tvoří sloučeniny fosforu (H_3PO_4 – kyselina trihydrogenfosforečná, v menší míře pak ještě vazby kyseliny pyrofosforečné – $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$), které jsou potenciálním zdrojem pro výživu rostlin.

Celkový fosfor v půdě rozděluje Sanchez (2007) na dvě základní formy, a to:

- fosfor anorganický
- fosfor organický

Jejich podíl na celkovém obsahu fosforu je v jednotlivých půdách rozdílný v závislosti na druhu půdy a obsahu organických látek v půdě. Podíl organického fosforu v půdách kolísá od 2 do 75% a podíl anorganického fosforu je od 25 do 98% z jeho celkového obsahu. V lehkých

půdách je obsah organického fosforu nižší, než v půdách středních a těžkých (Fecenko & Ložek, 2000).

Anorganický fosfor je v půdě zastoupen původními minerály a jejich sloučeninami (vápenaté a hořečnaté fosforečnany dobře rozpustné ve vodě a slabých org. kyselinách, Ca-fosforečnany, Fe-fosforečnany, Al-fosforečnany, fosfor v apatitech).

Organický fosfor (fytin, fosfolipidy, nukleové kyseliny, nukleoproteidy, fosforylované lipidy a sacharidy) je nedílnou součástí organické půdní hmoty. Tento fosfor se dostává do půdy posklizňovými zbytky a statkovými, případně organickými hnojivy. Tvoří v půdě důležitou rezervu, ze které se v průběhu mineralizace uvolňuje a je zpřístupněn pro rostliny.

Optimální obsah fosforu v půdě závisí na plodině a plánovaném výnosu, ale také na vlastnostech půdy.

Problém správného hnojení zemědělských plodin fosforem nabývá na aktuálnosti, s ohledem na dlouhodobě nízkou spotřebu fosforečných hnojiv a následkem toho klesající zásobou obsahu přístupného fosforu v zemědělských půdách České republiky. Za posledních zhruba 25 – 30 let se průměrná roční dávka na 1 hektar zemědělské půdy pohybovala pouze lehce nad 12 kg P_2O_5 – přepočtu na čistý fosfor (jako P) je to pouze 5,24 kg P.ha⁻¹ zemědělské půdy. Výměra orné půdy z pohledu jednotlivých kategorií zásobenosti fosforem je v ČR následující: nízká – 26,52 %; vyhovující – 27,88 %; dobrá – 21,49 %; vysoká – 17,06 %; velmi vysoká – 7,05 %. Tedy více než 75 % výměry orné půdy vyžaduje určitou úroveň hnojení (Smatanová et al., 2017).

Je tedy naprosto logické, že na základě výsledků agrochemického zkoušení zemědělských půd je sledován zcela jasný trend úbytku přístupného fosforu v zemědělských půdách. V průměru za všechny druhy pozemků je od začátku 90. let minulého století až do současnosti vykazován cca 15% úbytek obsahu přístupného P v zemědělských půdách ČR. Navíc není žádný optimistický výhled do budoucna jak tuto situaci výrazně zlepšit. Od roku 2008 narostly globální ceny fosforu o 800%. Tento fakt (uváděný ve statistikách finančního sektoru) ukazuje na blížící se problém, který je společný zemědělství, životnímu prostředí, odpadovému hospodářství, případně dalším oblastem lidské činnosti.

Fosfor je totiž základní a nezbytnou složkou většiny dnes využívaných hnojiv a je elementárním faktorem pro stávající přístup k velkoplošnému zemědělství a vyrovnané výživě rostlin, hospodářských zvířat a následně lidské populace. Je prakticky nepostradatelný, a přitom jeho zdroje nejsou neomezené a navíc jsou geopoliticky velmi nerovnoměrně rozdělené. Šest zemí světa disponuje 90% veškerých zdrojů. Vedle Maroka, Číny, Alžíru, Sýrie, Jordánska a regionu jižní Afriky se dá hovořit pouze o minoritních a lokálních nalezištích, které nepokryjí ani národní spotřebu toho kterého státu. Až na výjimky se u výše jmenovaných států přitom nedá hovořit o nějaké jejich příznivé geopolitické situaci. Na druhé straně pak stojí Evropská unie, Indie nebo Brazílie, které jsou na fosforu závislé, a žádnými vlastními zdroji přitom nedisponují (Dohnal, 2014). Bude tedy naprosto nezbytné vyvíjet technologie a postupy, do jaké míry lze fosfor v této oblasti nahradit (a zda-li vůbec) a současně efektivně využívat fosfor z dalších zdrojů (odpadové hospodářství). V neposlední řadě je nutné optimalizovat hnojení fosforem, což spočívá v upřesnění stávajících kritérií s přihlédnutím na půdní vlastnosti.

Z pohledu všech výše uváděných skutečností je tedy naprosto nezbytné obnovit harmonizovanou a efektivní výživu rostlin fosforem s využitím všech dostupných podkladů a informací pro stanovování optimálních dávek hnojiv, včetně fosforečných, s ohledem na plánované výnosy, kvalitu produkce a stanovištní podmínky pěstovaných plodin.

V platné legislativě (vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů), se v příloze č. 3 uvádí principy chemických rozborů zemědělských půd včetně stanovení obsahu přístupného fosforu, avšak dosud chybí kritéria pro hodnocení obsahu přístupného fosforu v karbonátových půdách, kde je vzhledem k nepřesnostem extrakční metody Mehlich 3 u tohoto prvku nutné provádět jisté korekce ve vyhodnocování naměřených analytických hodnot.

2. Stanovení přístupného fosforu extrakčním činidlem Mehlich 3

Extrakční postup podle metody Mehlich 3 je popsán v Jednotných pracovních postupech vydaných ÚKZÚZ (Zbiral J. et al., 2016).

Složení činidla Mehlich 3: 0.2 mol/L CH_3COOH , 0.015 mol/L NH_4F , 0.013 mol/L HNO_3 , 0.25 mol/L NH_4NO_3 , 0.001 mol/L EDTA.

Příprava extrakčního činidla: V asi 6000 ml demineralizované vody se rozpustí 200,0 g dusičnanu amonného, přidá se 40,0 ml roztoku fluoridu amonného – EDTA (2). Dále se přidá 115 ml koncentrované kyseliny octové (CH_3COOH , $\rho = 1,0498 \text{ g/cm}^3$) a 8,25 ml koncentrované kyseliny dusičné (HNO_3 , $\rho = 1,420 \text{ g/cm}^3$). Upraví se na výsledný objem 10 000 ml. pH připraveného extrakčního roztoku je $2,5 \pm 0,1$.

Pracovní postup: Do uzavíratelné PE nádoby o objemu 200 – 400 ml se naváží 10,0 g upraveného půdního vzorku (jemnozern < 2mm). Dávkovacím zařízením nebo odměrným válcem se přidá $100 \pm 0,5$ ml extrakčního činidla podle Mehlicha a po uzavření se extrahuje na rotační třepačce 10 min. Po extrakci se suspenze ihned filtruje přes hustý filtrační papír. Těsně před filtrací se obsah promíchá.

Analytická koncovka: Jako koncovka je doporučeno ICP-OES.

Poznámky:

- *Extrakt není stálý, všechna měření je třeba provést v den přípravy.*
- *Každá dodávka filtračních papírů a extrakční činidlo připravené z jiné šarže chemikálií se musí ověřit pomocí alespoň tří slepých pokusů.*
- *Pokud se používají jiné filtrační papíry než kvantitativní, je třeba je předem dekontaminovat postupem uvedeným v dodatku 7.3 Jednotných pracovních postupů ÚKZÚZ.*
- *Je-li vzorek dostatečně homogenní, je možné použít navážku 100 g a 50 ml extrakčního roztoku.*
- *Při použití dvojsodné soli EDTA není možné použít extrakty pro stanovení sodíku.*
- *Při extrakci je třeba dodržet předepsanou laboratorní teplotu a extrakční roztok musí být před dávkováním také na tuto teplotu vytemperován.*

3. Výsledky dlouhodobých pokusů VÚRV, v.v.i. a monitoringu půd v ČR

3.1. Mezinárodní polní pokusy IOSDV (Internationale Organische Stickstoff Düngung Versuch) s hnojením minerálními a statkovými hnojivy

Dlouhodobé pokusy s různou úrovní hnojení obecně představují možnost, jak zjistit nejvhodnější udržitelné systémy hnojení a přispívají tak k lepšímu chápání vhodných způsobů hnojení, dostupnosti živin a výnosů plodin (Rasmussen et al., 1998). Ke sledování vývoje zásob živin v půdě jsou dlouhodobé pokusy velmi užitečné, protože na nich lze na srovnatelné ploše a při kontrolovaných vstupech vysledovat účinky různých opatření na půdní vlastnosti, výnosy plodin a další sledované parametry.

Smyslem dlouhodobých polních pokusů bylo vyhodnotit obsah fosforu stanoveného extrakčním činidlem Mehlich 3 v půdách a vyhodnotit jeho obsah v závislosti na použitém hnojení dalšími statkovými a minerálními hnojivy. V pokusech je současně hodnocen vliv různých dávek minerálního dusíku na obsah fosforu stanoveného metodou Mehlich 3.

Metodika dlouhodobého mezinárodního pokusu IOSDV (Internationale Organische Stickstoff Düngung Versuch): Dlouhodobé polní pokusy byly založeny v roce 1985 na dvou stanovištích s odlišnými půdně-klimatickými podmínkami v Ivanovicích na Hané a v Lukavci. Půda v Ivanovicích je původem karbonátová, která byla pro tuto metodiku stěžejní a pokusná lokalita v Lukavci byla vybrána jako kontrolní nekarbonátové stanoviště.

V pokusech jsou uplatňovány tři systémy hnojení minerálními a statkovými hnojivy: (i) pouze minerální hnojení; (ii) 30 t/ha chlévského hnoje 1x za tři roky (na podzim k cukrovce); (iii) sláma obilnin (5t/ha) + 50 kg/ha N (rozklad slámy) + meziplodina (po ječmeni). Ke každému systému hnojení statkovými hnojivy jsou aplikovány stupňované dávky minerálního dusíku, které u pšenice ozimé představují 0-40-80-120-160 kg N/ha. Aplikační dávka fosforu a draslíku je vyjma nehnojené kontroly jednotná (35 kg P / ha a 83 kg K /ha). Osevní postup je následující: okopanina (brambory v Lukavci a cukrovka v Ivanovicích) – pšenice ozimá – ozimý ječmen + meziplodina po ozimém ječmenu.

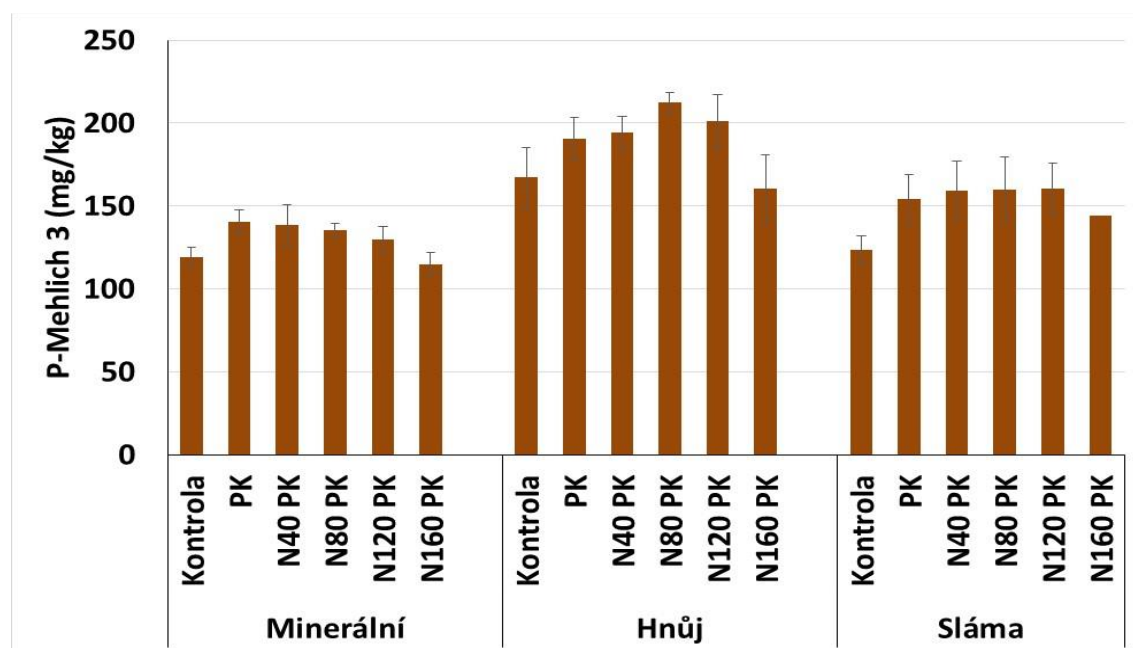
Výsledky: Na obsah fosforu v půdách měl vliv systém hnojení půd (minerální, hnůj, slámy), ale také úroveň hnojení půd minerálním dusíkem. Aplikace hnoje na půdu celkově zvýšila obsah přístupného fosforu stanoveného metodou Mehlich 3 v porovnání s pouze minerálním hnojením v půdách jak v Ivanovicích, tak v Lukavci (graf 1). Hnojení slámou obsah fosforu v půdě ovlivnilo méně.

Hnojení minerálním dusíkem dále ovlivnilo obsah P v půdě. Vliv hnojení fosforem se projevil zvýšením jeho obsahu v půdě, což bylo patrné při porovnání půdy u varianty PK s nehnojenou kontrolní půdou. Hnojení stupňovanými dávkami dusíku následně obsah P v půdách snižovalo, což lze pozorovat u minerálního hnojení na obou sledovaných stanovištích (graf 2). Na obsah fosforu v půdě mělo vliv několik faktorů. Jedním z nejvýznamnějších faktorů byl půdní typ, na kterém jsou pokusy vedeny, kde na černozemi v Ivanovicích byly zjištěny celkově vyšší obsahy živin než na kambizemi v Lukavci. Významný vliv měl dále vyšší výnos plodin pravidelně zjišťovaný v minulých letech na variantách s vyššími dávkami minerálního dusíku, kde logicky byl zjištěn i vyšší odběr živin plodinami (Káš a Mühlbachová 2014, Mühlbachová et al., 2016). Na zpřístupnění živin částečně měla vliv hodnota pH, které v závislosti na stupňované dávce dusíku kleslo v průměru v Lukavci z hodnoty 6,7 na 6,4 a v Ivanovicích z hodnoty pH 7,3 na 6,8 (graf 4). V důsledku nelze vyloučit i vyšší mineralizační činnost půdních mikroorganismů, které mohly mít na změny obsahu živin v půdách vliv.

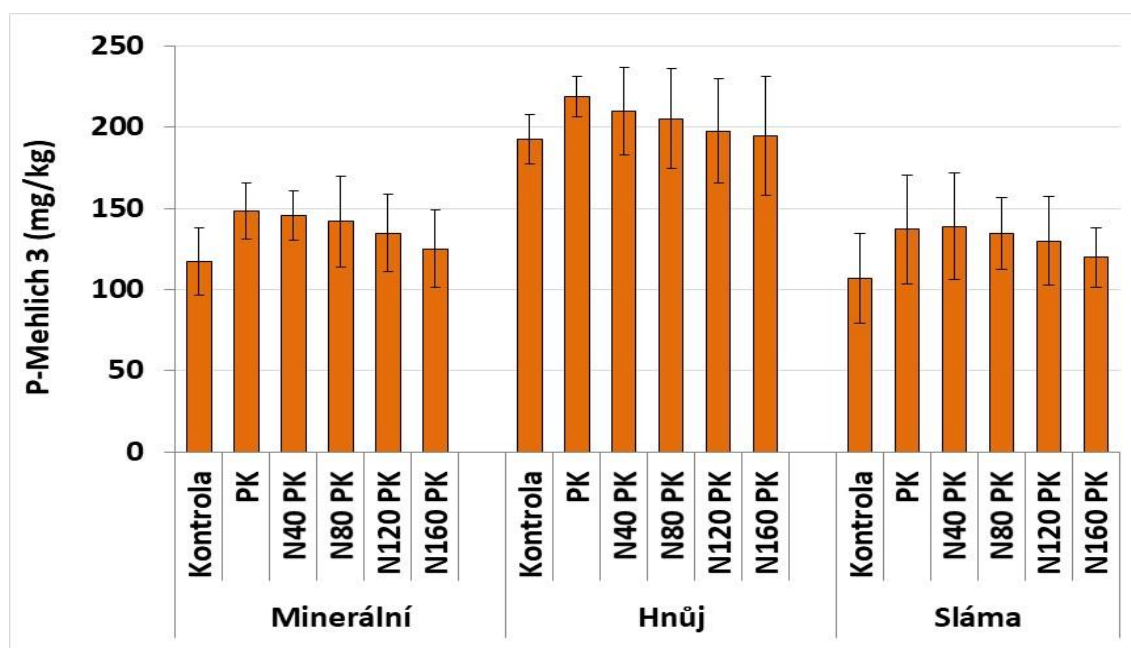
Výsledky analýz z dlouhodobých pokusů ukazují na nezbytnost pravidelného doplňování fosforečných hnojiv. Zvláště při vyšších dávkách dusíku je patrný pokles obsahu fosforu v půdě i přes pravidelné hnojení (s výjimkou kontrolní varianty). Jak je patrné u odběru fosforu pšenicí ozimou, zvláště u půd hnojených vysokými dávkami dusíku je zřejmé, že odběr fosforu rostlinou je vyšší než fosfor dodaný hnojením, což může být postupem času kritické zvláště pro půdy s vysokou úrodností, kde se dají očekávat vysoké výnosy (Graf 3 b).

Graf 1: Obsah fosforu v půdě stanoveného metodou Mehlich 3 v Lukavci u Pacova (a) a v Ivanovicích na Hané (b) při různých způsobech hnojení minerálními a statkovými hnojivy

a)

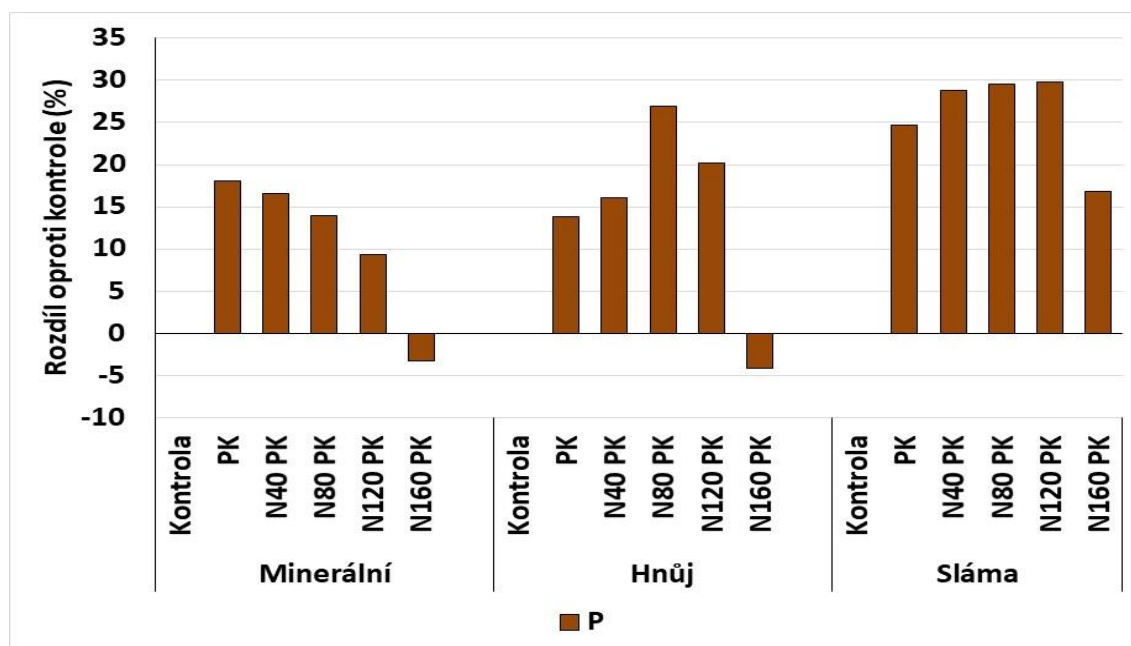


b)

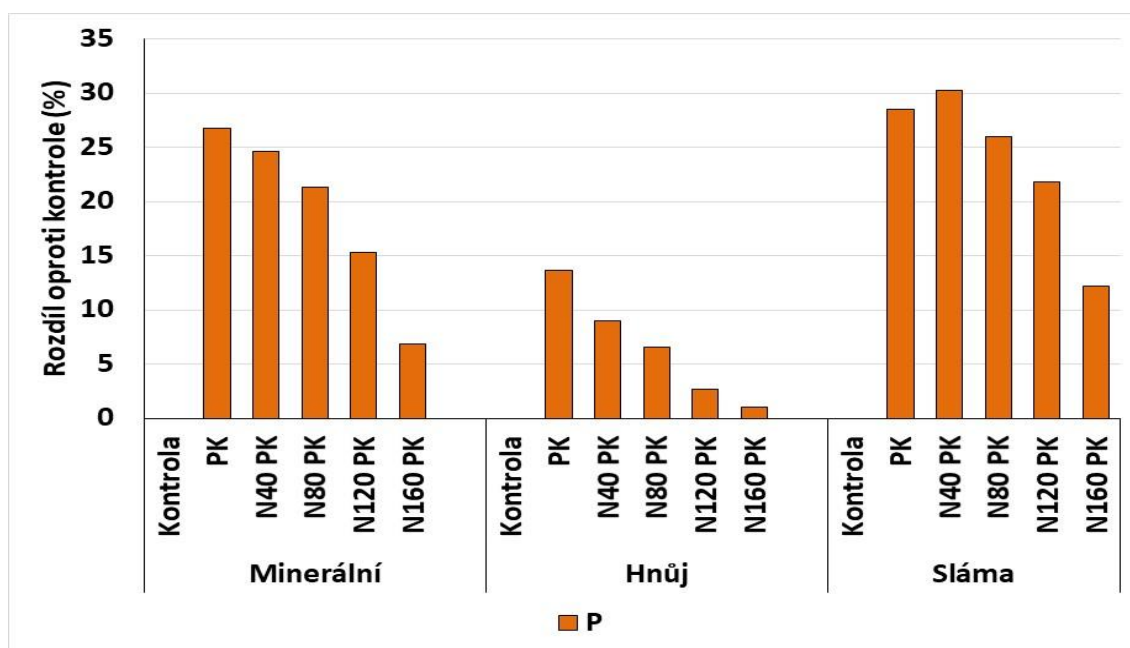


Graf 2: Relativní rozdíl obsahu fosforu v půdě oproti nehnojené kontrole: (a) Lukavec u Pacova, (b) Ivanovice na Hané

a)

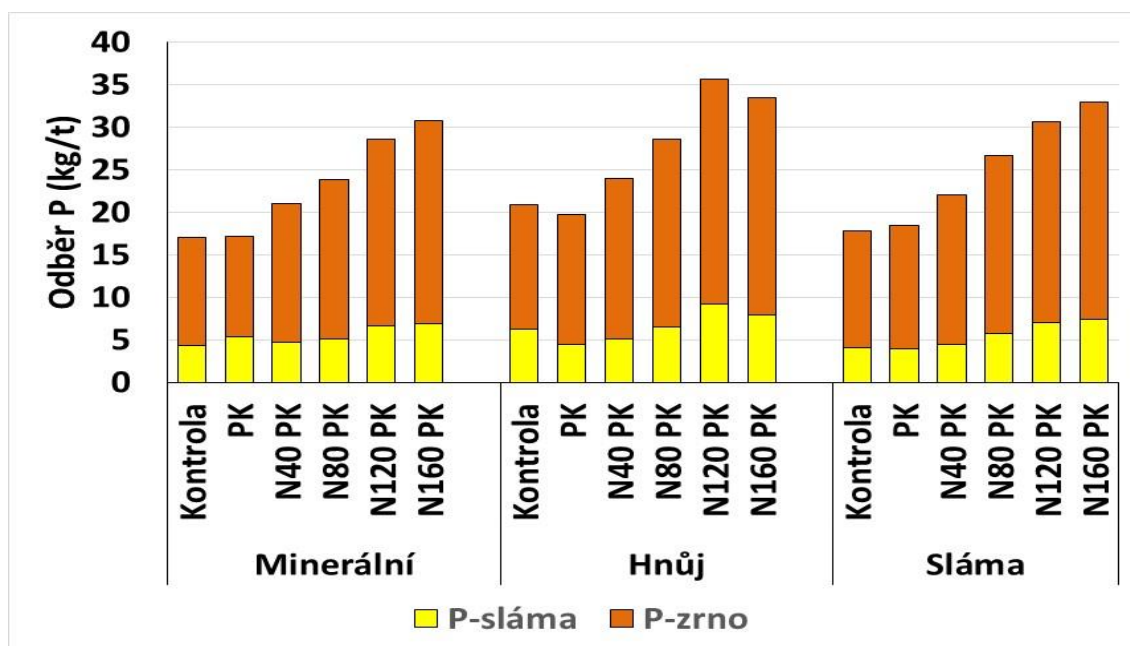


b)

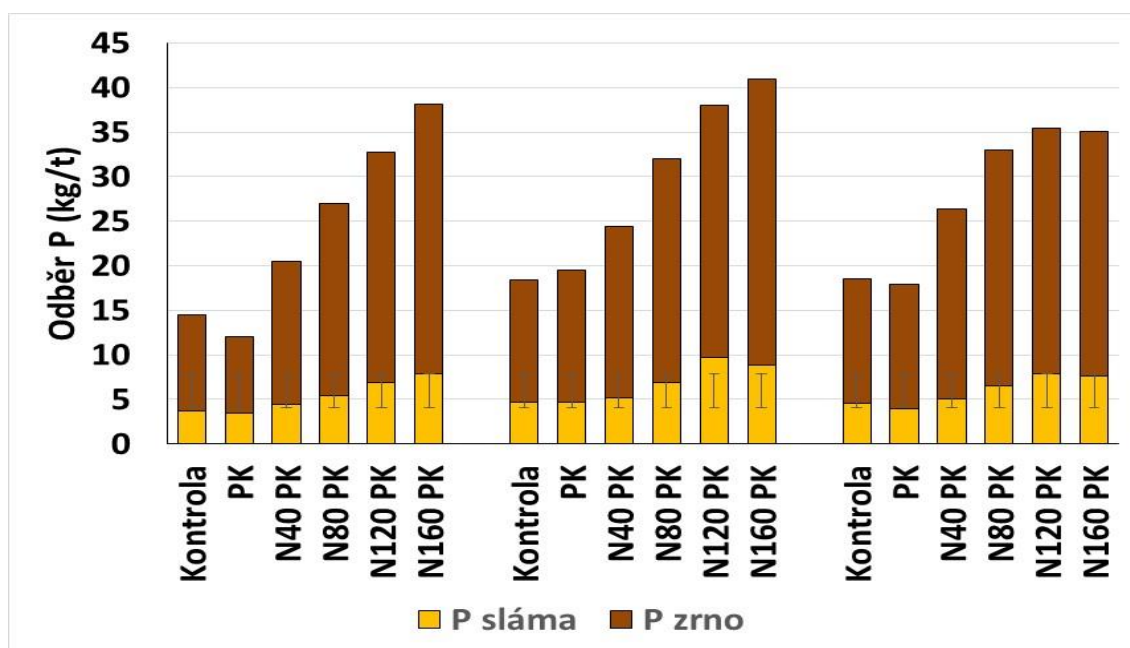


Graf 3: Odběr fosforu ozimou pšenicí při sklizni hlavního a vedlejšího produktu (BBCH 89) v Lukavci u Pacova (a) a v Ivanovicích na Hané (b)

a)

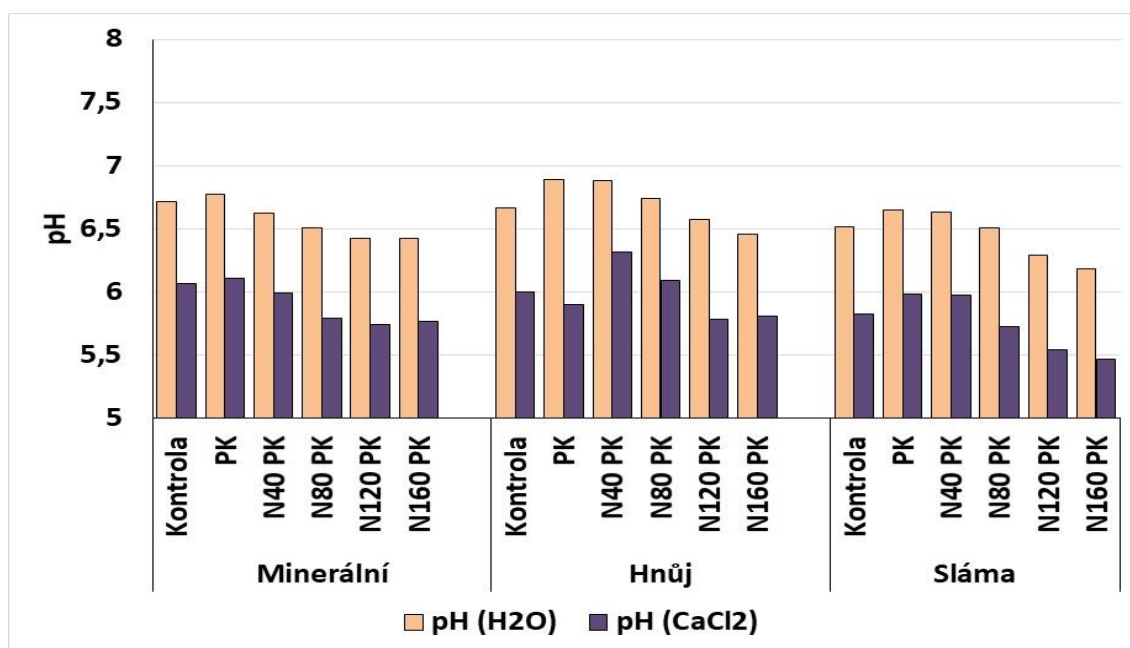


b)

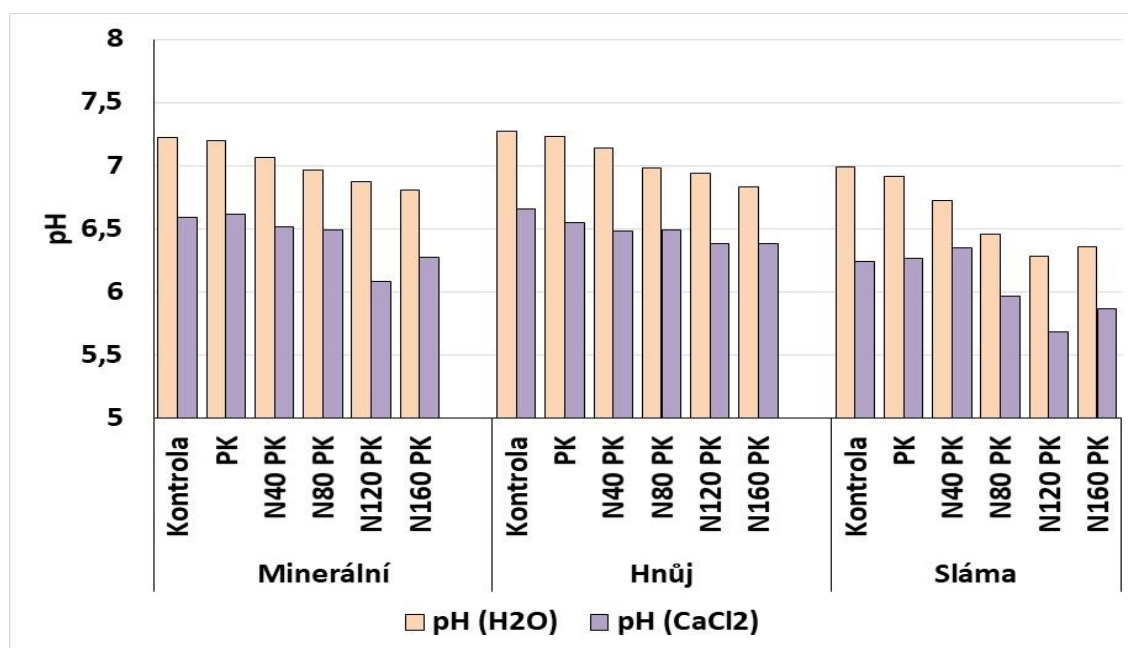


Graf 4: Hodnoty pH v půdách v Lukavci u Pacova (a) a v Ivanovicích na Hané (b)

a)



b)



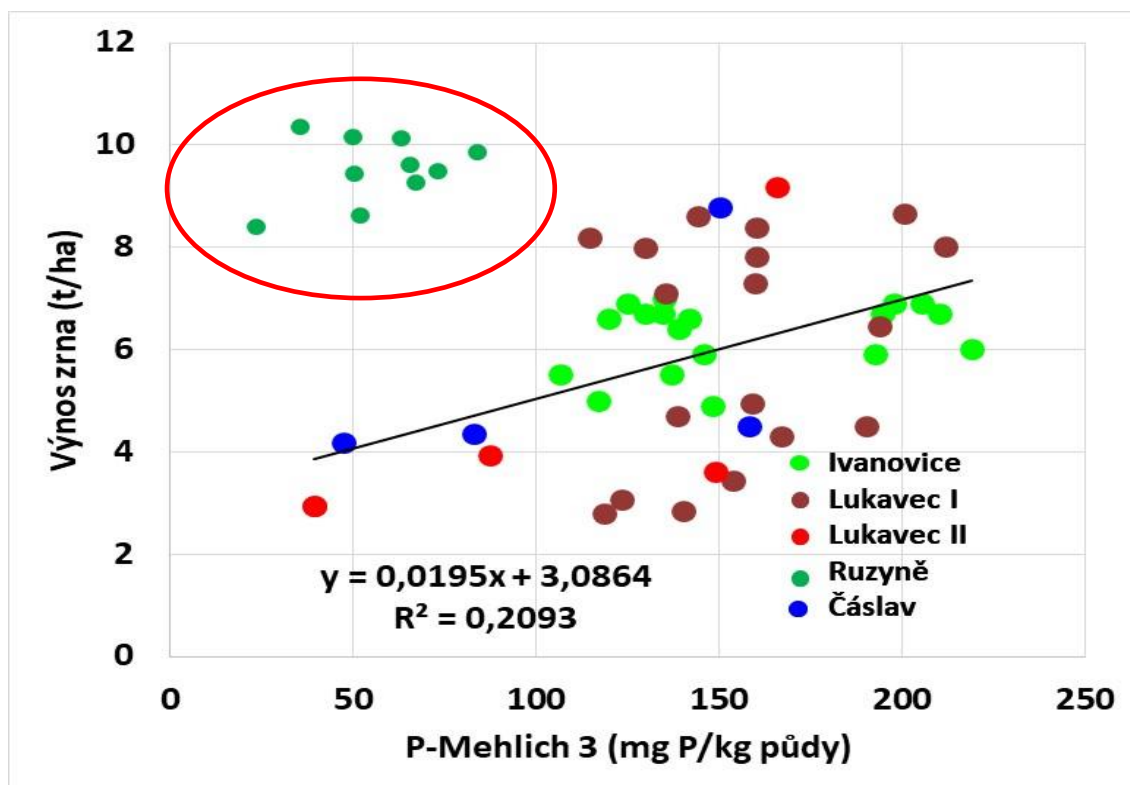
3.2. Vliv stanoviště dlouhodobých pokusů na obsah fosforu a výnosy pšenice ozimé

V dlouhodobých pokusech byl zjišťován vliv obsahu fosforu na výnos plodin jak s ohledem na minerální hnojení dusíkem, tak s vyloučením jeho vlivu. Byly zahrnuty výsledky dlouhodobých pokusů ze stanovišť v Lukavci I a II, v Ivanovicích, Čáslavi a Praze – Ruzyni. Stupňované dávky minerálního N byly 0 - 40 - 80 - 120 - 160 kg N/ha, dávky fosforu byly pro stanoviště v Ivanovicích, Lukavci a Čáslavi 35 kg P/ha, v případě Prahy – Ruzyně podle varianty 48 a 60 kg P/ha. Hodnocenou plodinou byla pšenice ozimá (průměr tří sledovaných let), u které jsou hodnoceny vzorky odebrané těsně před sklizní (BBCH 89).

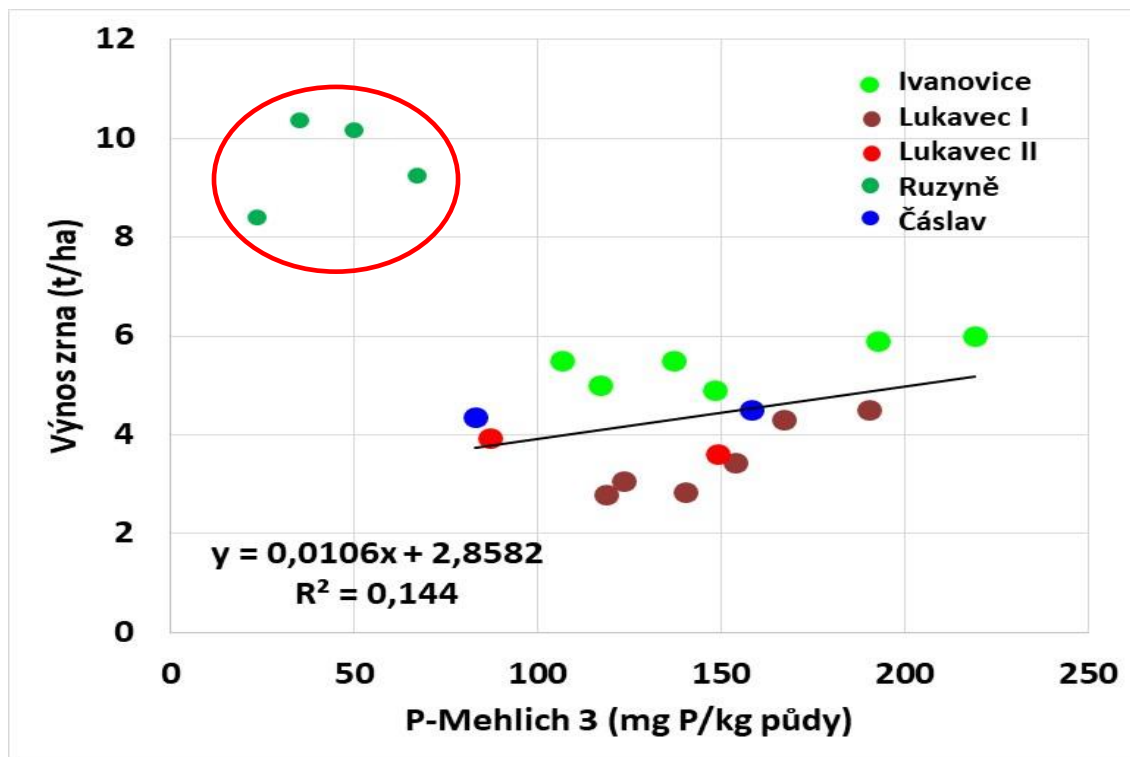
Na půdách z Ivanovic, Lukavce a Čáslavi (graf 5) lze vysledovat společný trend, kdy se stoupajícím obsahem fosforu stoupá i výnos pšenice ozimé. Z trendu hodnot se zřetelně oddělují výsledky zjištěné na dlouhodobém pokusu v Praze – Ruzyni. V Praze – Ruzyni jsou patrné vysoké výnosy pšenice i při nižším obsahu P v půdě stanoveném metodou Mehlich 3. Přestože půda v Ruzyni má v průměru vyšší hodnoty pH (pH/CaCl₂ 6,6 - 7) a vápníku (cca 3000 mg Ca/kg), nelze ji podle Kunzové (2009) charakterizovat jako půdu karbonátovou. Tyto půdní vlastnosti (tj. hodnota pH a obsah vápníku) negativně ovlivnily obsah fosforu v půdě v Ruzyni stanoveného metodou Mehlich 3. Následně zde ani vyšší dávky fosforečných hnojiv dodávaných do půdy (ve srovnání s dávkami P aplikovanými na jiných stanovištích) obsah P v půdě podstatně nezvýšily. Vzhledem k dosaženým výnosům však lze vyvozovat, že na pokusném stanovišti v Ruzyni fosfor není limitující živinou.

Půdy v Ivanovicích (degradovaná černozem) jsou charakteristické vyšším obsahem přístupného fosforu, ale jen průměrnými výnosy. U lehčích půd, především kambizemě, v Lukavci se více projevuje vliv dusíku (hlavně Lukavec), ale je zřejmý i vliv vyššího obsahu fosforu.

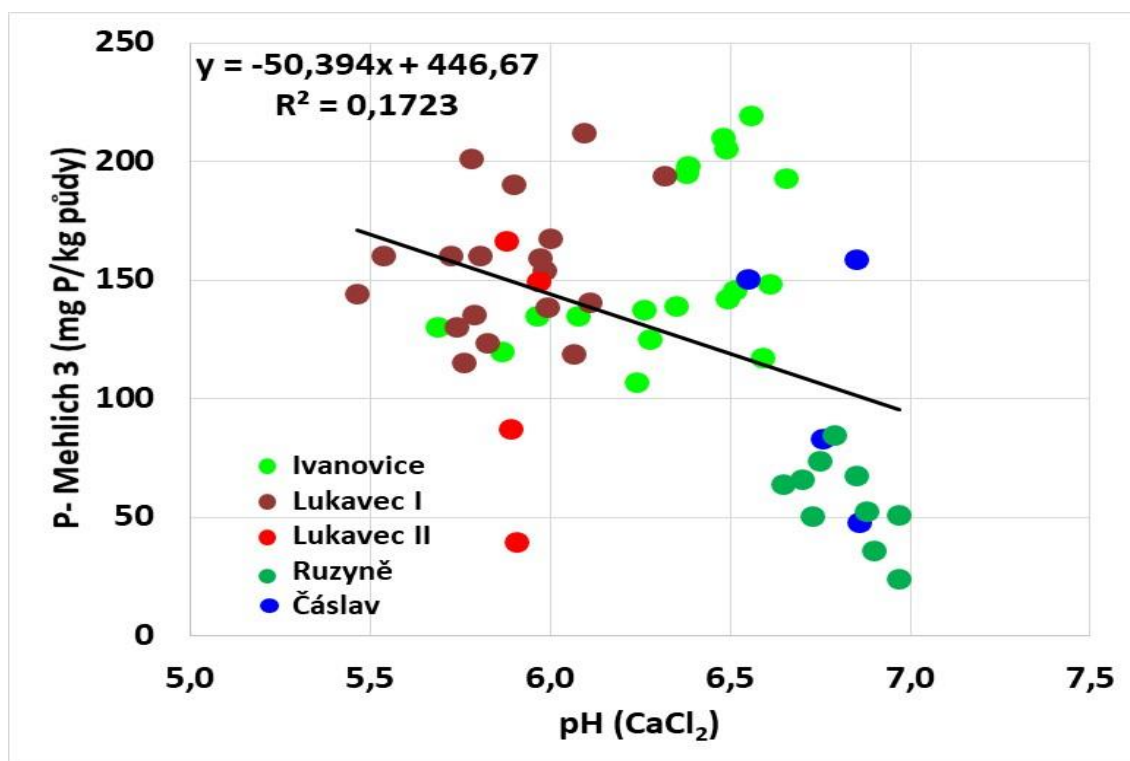
Graf 5: Vztah mezi obsahem fosforu a dosaženými výnosy zrna ozimé pšenice (BBCH 89) v dlouhodobých pokusech VÚRV, v.v.i.



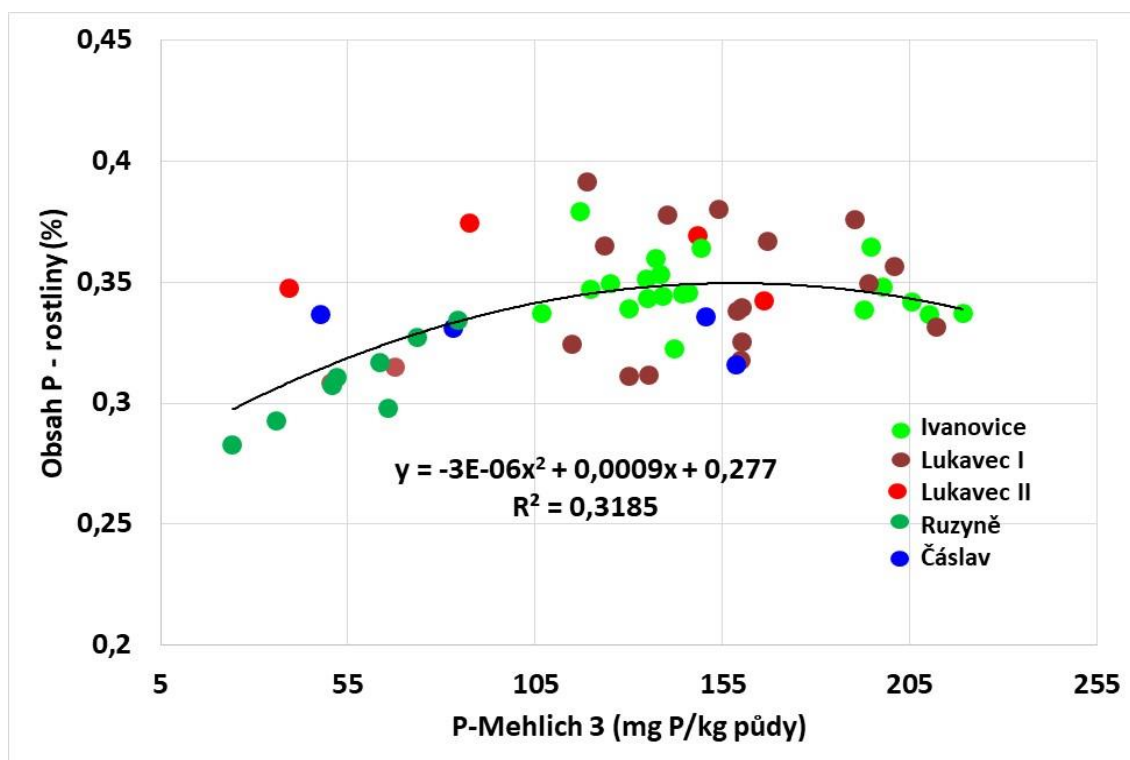
Graf 6: Vztah mezi obsahem fosforu v půdě a dosaženými výnosy zrna ozimé pšenice (BBCH 89) při vyloučení vlivu minerálních dusíkatých hnojiv



Graf 7: Vztah mezi hodnotami pH a obsahem P – Mehlich 3 v půdách z dlouhodobých pokusů



Graf 8: Vztah mezi obsahem P v zrna ozimé pšenice (BBCH 89) a obsahem P v půdě (Mehlich 3) v dlouhodobých pokusech VÚRV, v.v.i.



Z grafu 6 je ve variantách, kde byl vyloučen vliv hnojení minerálním dusíkem, patrný pozitivní trend nárůstu výnosu zrna pšenice ozimé při vyšším obsahu přístupného P. Výjimkou je půda v Praze-Ruzyni s dosaženými vysokými výnosy při relativně nižším obsahu přístupného P v půdě.

Z grafu 7 je patrný trend snižování obsahu fosforu stanoveného metodou Mehlich 3 při vyšších hodnotách pH. Hodnoty fosforu byly samozřejmě ovlivněny i dalšími faktory, jako je půdní typ, použité hnojení, klimatická oblast. Je však zřejmé, že hodnoty pH obsah fosforu stanoveného metodou Mehlich 3 ovlivňují i v půdách, které nelze charakterizovat jako karbonátové.

Nejvyšší obsah P v rostlinách ($< 0,35\%$) byl nalezen nejčastěji mezi 115-165 mg P/kg v půdě (graf 8). Tyto hodnoty byly nejčastěji zjištěny v půdách z Lukavce a z Ivanovic. Vyšší hodnoty P častěji odpovídají celkově vyšším výnosům po hnojení minerálním dusíkem a v případě půd z Ivanovic a Lukavce také pravidelné aplikaci hnoje. Nižší hodnoty fosforu v rostlinách se vztahovaly především k půdám z Prahy – Ruzyně. Podle dosažených výsledků je zřejmé, na rozdíl od ostatních půd dlouhodobých pokusů VÚRV, v.v.i., že vyšší výnos zrna pšenice ozimé nemusí odpovídat nižšímu obsahu fosforu v půdě stanovenému metodou Mehlich 3. Přestože nelze tyto půdy charakterizovat jako karbonátové, je u nich patrné snížení obsahu fosforu v rostlinách v porovnání s ostatními stanovišti. Nižší obsah fosforu v rostlinách však mohl být částečně způsoben také vyšším dosaženým výnosem, nejen nižším obsahem fosforu přístupného pro rostliny.

Metodou Mehlich 3 bylo možné zjistit změny v obsahu fosforu na půdách dlouhodobě hnojených různými dávkami dusíkatých hnojiv. Stejně tak bylo možné zjistit rozdíly v obsahu fosforu mezi jednotlivými stanovišti. Je zřejmé, že především v Praze – Ruzyni obsah P v půdě neovlivnil přímo výnosy pšenice ozimé, přestože na dalších stanovištích bylo možné vysledovat společný trend, a to i v případě, že byl vliv minerálního hnojení dusíkem eliminován. Přes vyšší aplikované dávky fosforu však obsahy P v půdě byly na tomto stanovišti nižší a je zde pravděpodobná imobilizace fosforu.

3.3. Monitoring půd v ČR

Další podklady a výsledky na hodnocení obsahu přístupného fosforu byly získány v rámci provedeného monitoringu zemědělských půd v různých půdně-klimatických oblastech celé České republiky. Z vybraných lokalit byly odebrány vzorky půd a rostlinného materiálu, tak aby byla zastoupena co nejširší škála rozdílného pH půdy a obsahu přístupného fosforu v půdě.

Pro korekci hodnocení obsahu přístupného fosforu na karbonátových půdách byl posuzován a hodnocen soubor 288 vzorků půd s rozdílnými půdními parametry (hodnota pH, obsah přístupného fosforu a vápníku).

U půdních vzorků, které v testovaném souboru půd vykazovaly parametry karbonátových půd (celkem 39), byla po změření obsahu přístupného P v Mehlich 3 provedena úprava podle metodiky ÚKZÚZ na zpřístupnění obsahu fosforu pro rostliny (Zbírál et al, 2016). Podle provedené úpravy vznikl soubor 32 vzorků s přepočtenou (upravenou) hodnotou obsahu přístupného fosforu (pro hodnocení přístupnosti na karbonátových půdách).

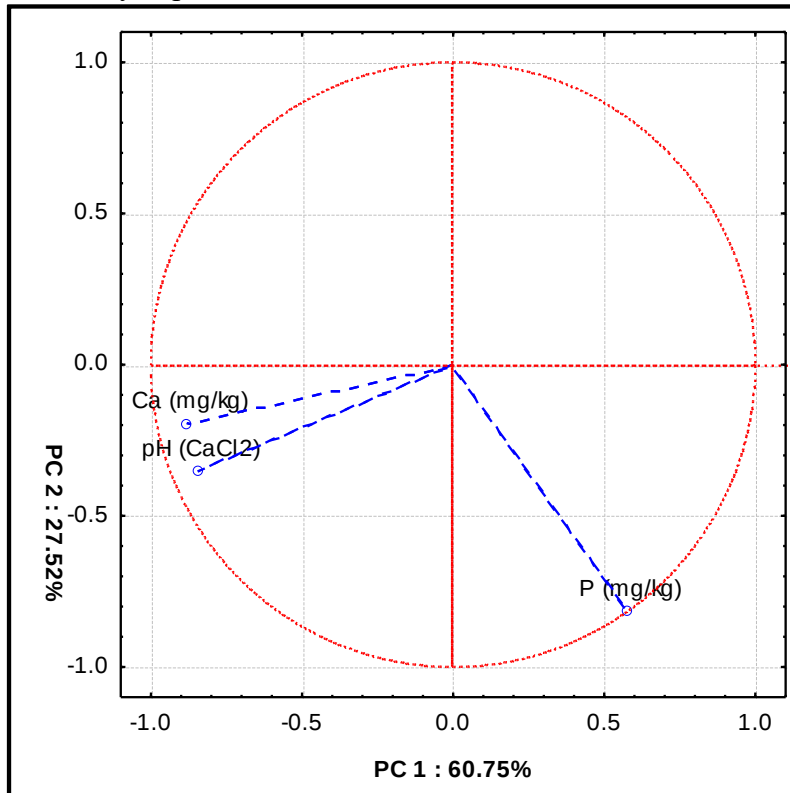
Následně bylo provedeno statistické vyhodnocení celého souboru vzorků, jak s neupravovanými, tak následně upravovanými hodnotami přístupného fosforu (upravovaných samozřejmě jenom u souboru karbonátových půd).

Na základě výsledků použitých statistických metod je navrhováno doplnění stávajících kritérií hodnocení obsahu přístupného fosforu v půdách (stanoveného metodou Mehlich 3, s analytickou koncovkou ICP-OES) o doporučené limity hodnocení obsahu přístupného fosforu v půdách karbonátových.

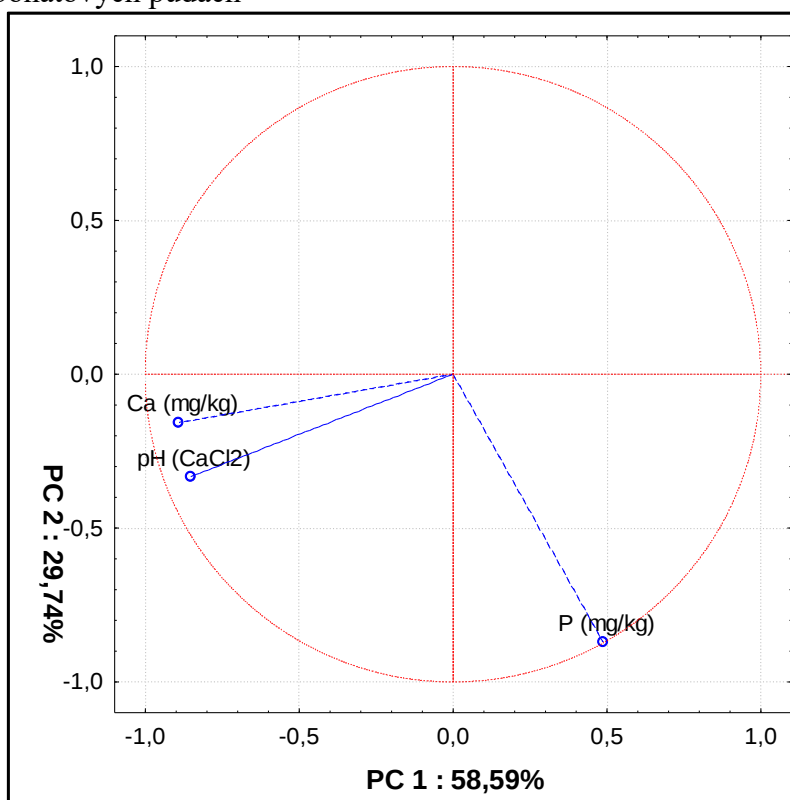
Statistické analýzy včetně grafických výstupů, byly provedeny v programu STATISTICA verze 12.0 (Stat-Soft Inc., Tulsa USA, StatSoft ČR s.r.o. 2014). Pro vícerozměrnou statistickou analýzu naměřených dat byla použita metoda analýzy hlavních komponent (PCA) a analýza shluků (CLU), (Meloun a Militký, 2012). Dále byla data hodnocena regresním modelováním, kdy statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí software QC Expert 3.1 (TriloByte Statistical Software, s.r.o., CZ) na základě vlastní výstavby regresního modelu (Meloun a Militký, 2011).

Vícerozměrná matematicko-statistická analýza (PCA) hlavních komponent, tj. parametrů půdní reakce (pH v CaCl_2), obsahu vápníku (Ca) a obsahu fosforu (P), je vyjádřena v grafech komponentních vah (graf 9a a 9b). Zde porovnáváme vzdálenosti mezi proměnnými - pokud jsou znaky blízko sebe, znamená to, že spolu silně korelují, jsou-li daleko od sebe, pak nekorelují. Váhy informují o vztahu mezi původními znaky (parametry) a hlavními komponentami.

Graf 9a: Graf komponentních vah – s **neupravenými** hodnotami naměřeného fosforu v karbonátových půdách



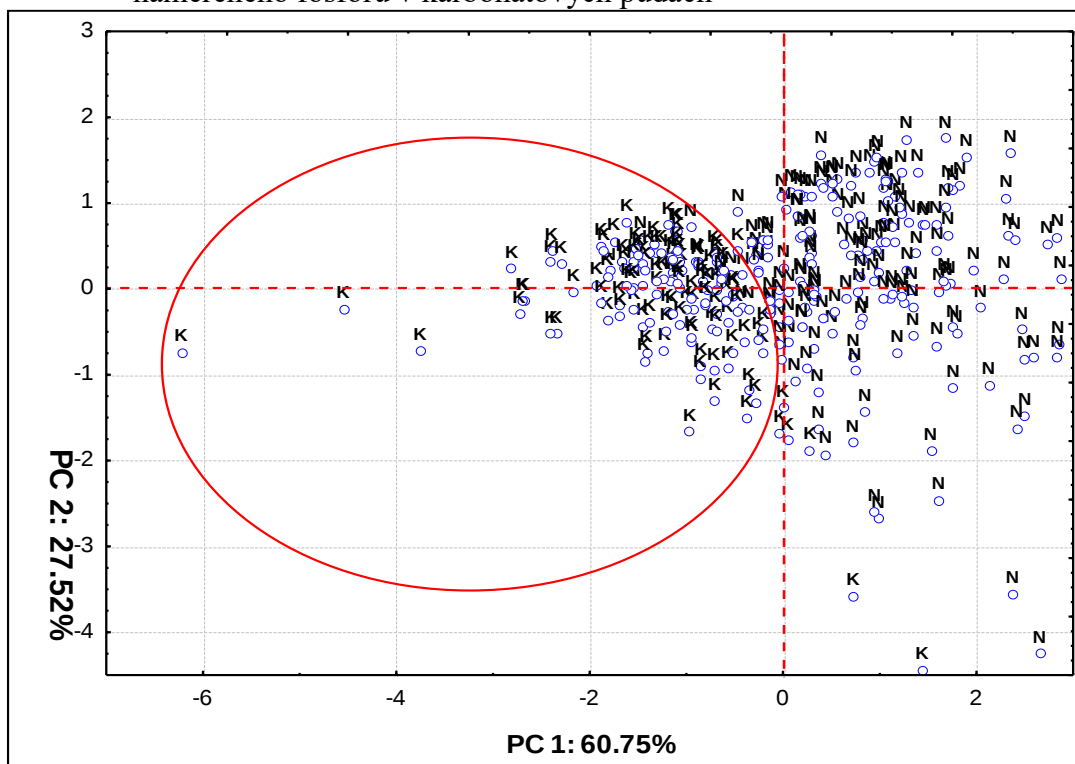
Graf 9b: Graf komponentních vah – s **upravenými** hodnotami naměřeného fosforu na karbonátových půdách



Na grafech komponentních vah (9a a 9b) jsou významné první dvě osy (PC1 a PC2), které dohromady vyčerpávají cca 88 % variability ve sledovaném období 2015 – 2018. Osa PC1 v grafu PC1 x PC2 charakterizuje jednoznačně obsah Ca a půdní reakci /pH/ (záporná korelace), které jdou přímo podél této osy a jsou s ní korelované -0,88 resp. -0,84. Na ose PC2 je záporná korelace s parametrem P (-0,81 resp. -0,88). Statistickým výpočtem se prokázalo a z podobnosti obou grafů je patrné, že neexistuje statisticky průkazný rozdíl mezi hodnocenými soubory dat, tj. souborem vzorků bez provedených úprav naměřeného obsahu fosforu na karbonátových půdách a souborem dat, kde byly původně naměřené hodnoty obsahu přístupného fosforu dále upravovány podle metodiky ÚKZÚZ.

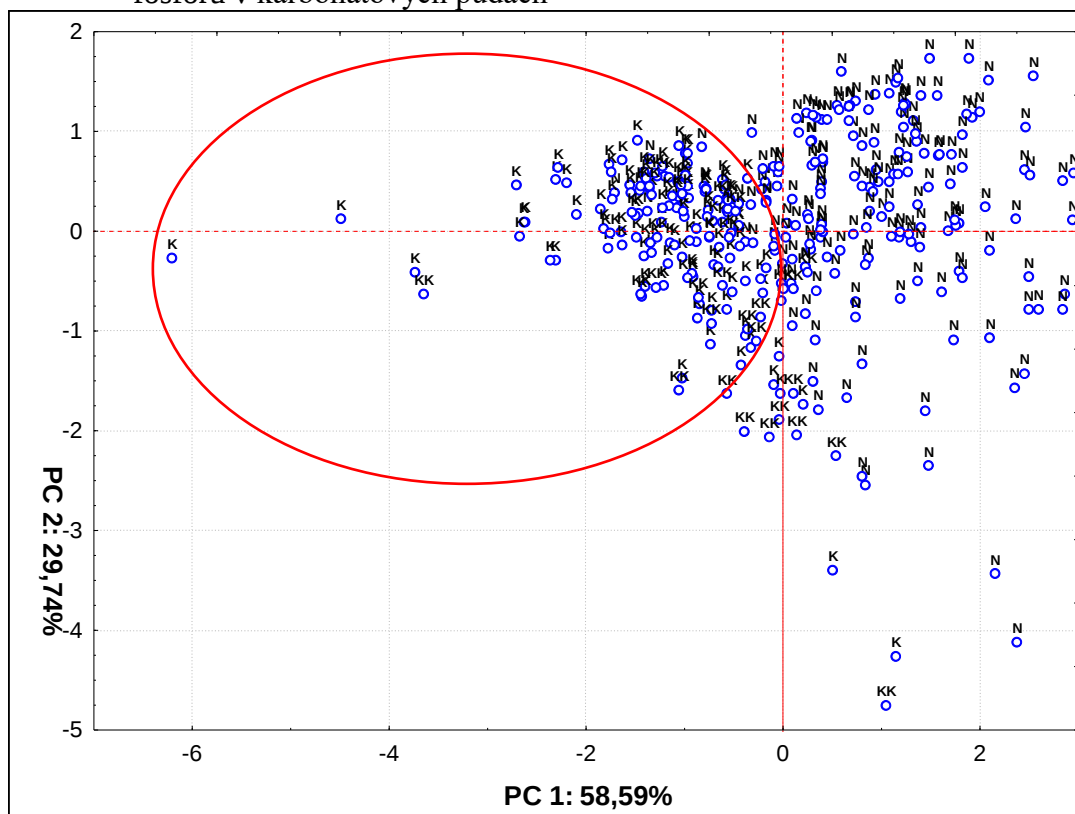
Rozptylové diagramy komponentního skóre (grafy 10a a 10b) zobrazují komponentní skóre čili hodnoty prvních dvou, resp. tří hlavních komponent. Lze nalézt shluky vzájemně podobných objektů a dále objekty odlehlé a silně odlišné od ostatních objektů (objekty blízko sebe si jsou podobné, daleko od sebe jsou si nepodobné). Objekty umístěné zřetelně v jednom shluku jsou si podobné a nepodobné objektům v ostatních shlucích. Jsou-li shluky blízko sebe, znamená to značnou podobnost objektů (Meloun a Militký, 2011). Analýza shluků (CLU) byla použita pro vyšetření podobnosti vícerozměrných objektů (objekty, u nichž je změřeno větší množství proměnných) a klasifikovala objekty do shluků. Nalezené shluky vystihují strukturu dat pouze s ohledem na vybrané znaky. Volba znaků byla provedena na základě teoretických, pojmových a praktických hledisek. Vlastní shluková analýza neobsahuje techniku k rozlišení významných a nevýznamných znaků, ale provede pouze odlišení shluků (Meloun et al. 2012).

Graf 10a: Rozptylový diagram komponentního skóre – s **neupravenými** hodnotami naměřeného fosforu v karbonátových půdách



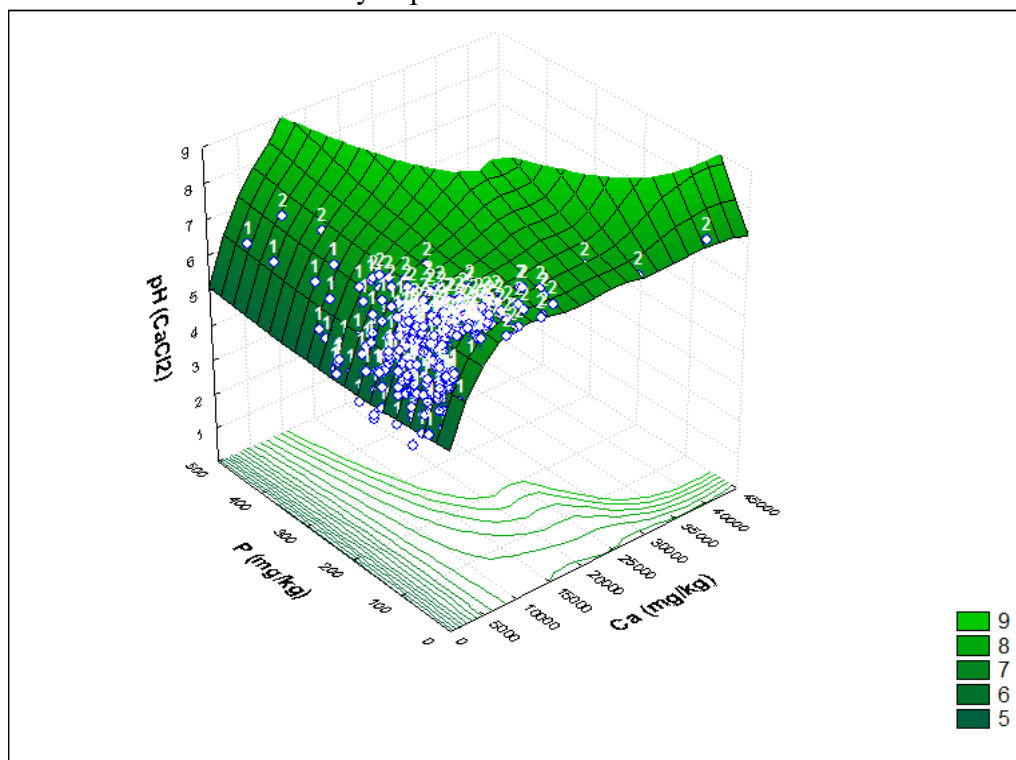
Pozn.: N-nekarbonátové půdy; K-karbonátové půdy

Graf 10b: Rozptylový diagram komponentního skóre – s **upravenými** hodnotami naměřeného fosforu v karbonátových půdách



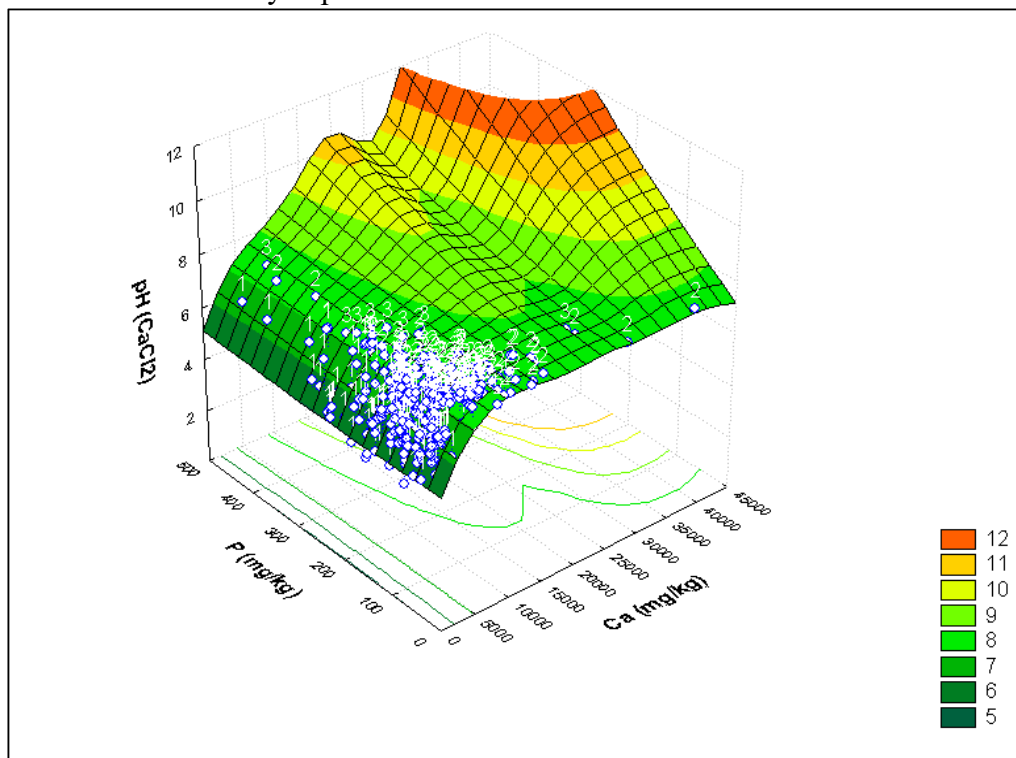
Pozn.: N-nekarbonátové půdy; K-karbonátové půdy

Graf 11a: 3D zobrazení prezentovaných dat – s **neupravenými** hodnotami naměřeného fosforu v karbonátových půdách



Pozn.: 1-nekarbonátové půdy; 2-karbonátové půdy

Graf 11b: 3D zobrazení prezentovaných dat – s **upravenými** hodnotami naměřeného fosforu v karbonátových půdách



Pozn.: 1-nekarbonátové půdy; 2-karbonátové půdy

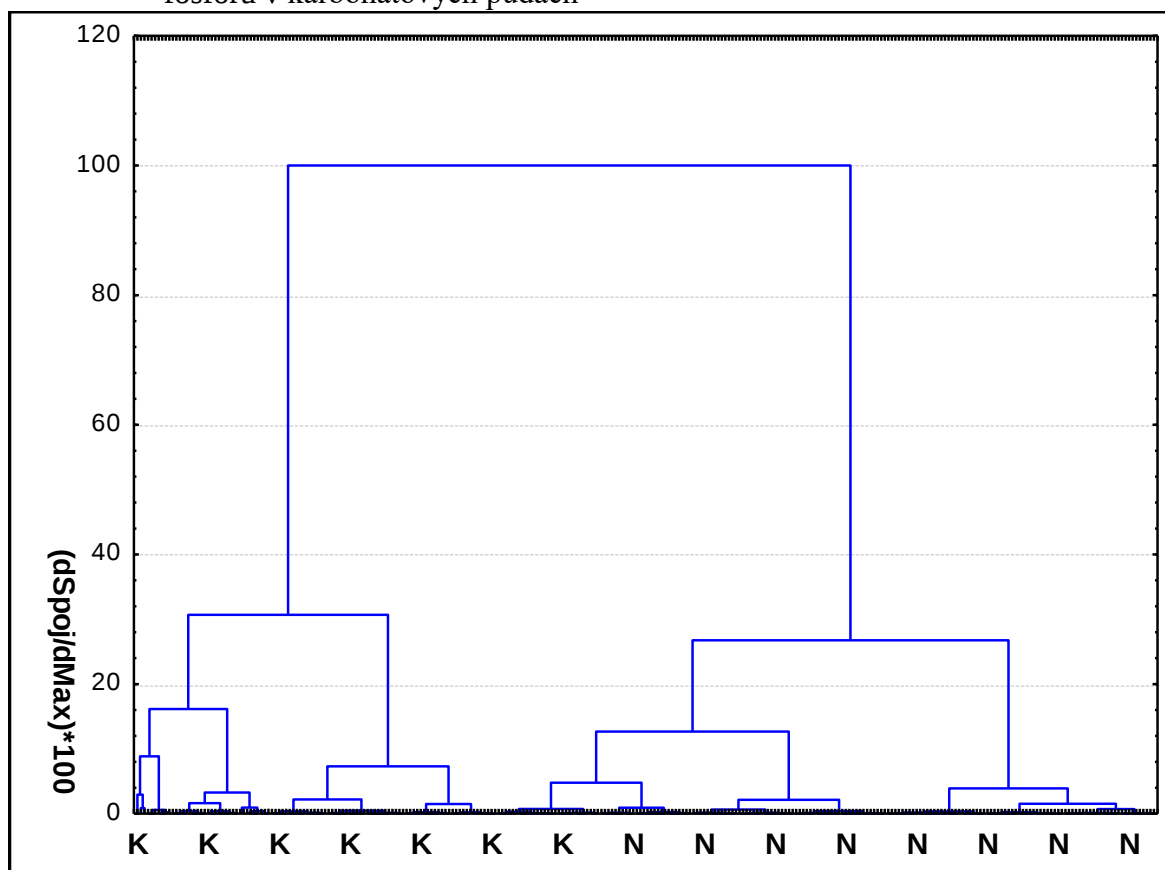
V rozptylových diagramech komponentního skóre (grafy 10a a 10b) jsou podél osy PC1 rozdělené jednoznačně varianty (lokality) podle pH a obsahu Ca (karbonátové a nekarbonátové půdy – viz. poznámka). Dále je z rozptylových grafů patrné, že obsah P na karbonátových půdách (pH větší než 7,3 a obsah Ca větší než 3500 mg.kg⁻¹) je ve většině případů nižší než na nekarbonátových (malý rozptyl bodů kolem x osy 0).

3D grafy (grafy 11a a 11b), slouží pro názorné zobrazení (zjednodušení) prezentovaných dat ve vícerozměrném prostoru (v tomto případě 3D).

Také zde se neprokázal statistický rozdíl mezi hodnocenými soubory dat, tj. souborem vzorků bez provedených úprav naměřeného obsahu fosforu na karbonátových půdách a souborem dat, kde byly původně naměřené hodnoty obsahu přístupného fosforu dále upravovány podle metodiky ÚKZÚZ.

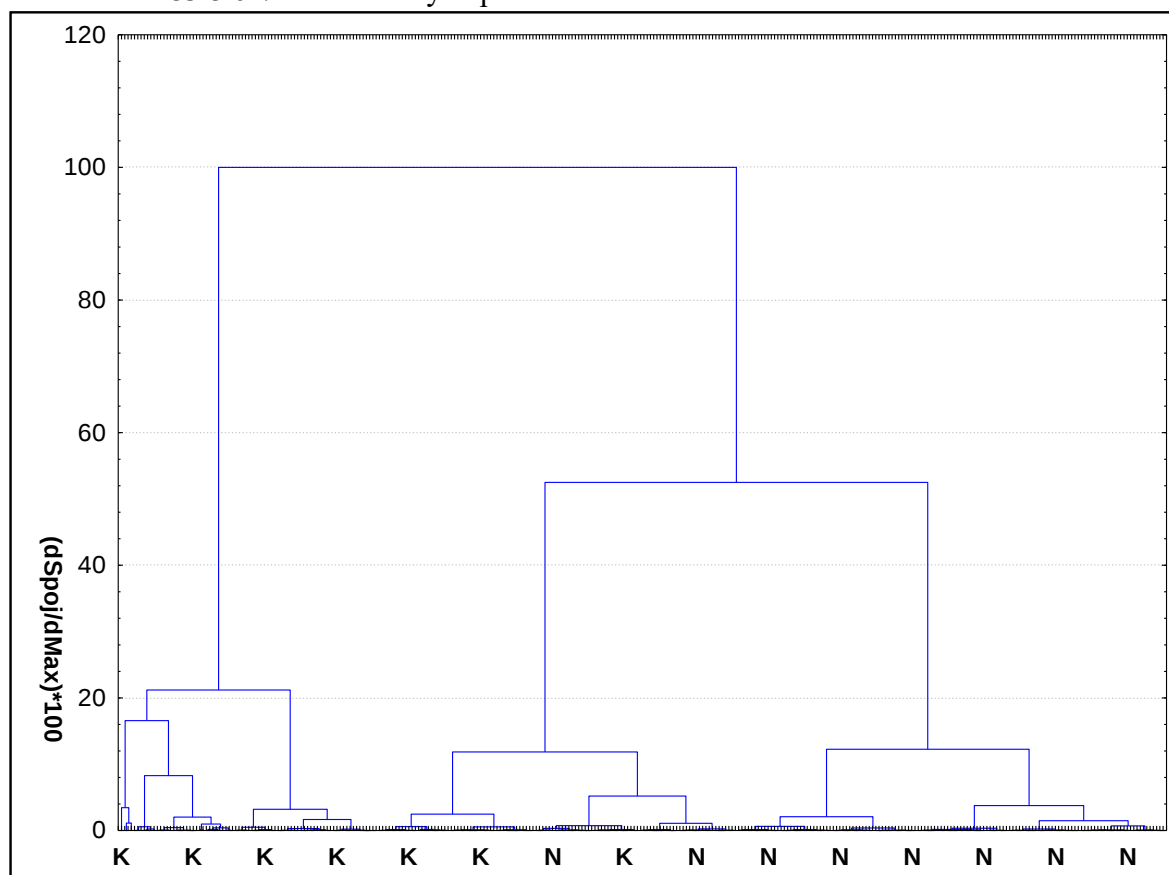
Tyto výsledky dále potvrzují dendrogramy provedené analýzou shluků pomocí Wardovy metody viz. grafy 12a a 12b.

Graf 12a: Dendrogram objektů půdních vlastností (pH CaCl₂, obsah Ca a P) zdrojové matice dat zpracovaný Wardovou metodou – s **neupravenými** hodnotami naměřeného fosforu v karbonátových půdách



Pozn.: N - nekarbonátové půdy, K - karbonátové půdy

Graf 12b: Dendrogram objektů půdních vlastností (pH CaCl_2 , obsah Ca a P) zdrojové matice dat zpracovaný Wardovou metodou – s **upravenými** hodnotami naměřeného fosforu v karbonátových půdách



Výsledky u obou grafů jednoznačně potvrzují návrh na rozdělení půd na základě parametrů pH, obsahu Ca a P na nekarbonátové a karbonátové půdy. Dále i nově navrženou úpravu kritérií obsahu P pro karbonátové půdy (snížení navržených kritérií o cca 10 - 35 mg.kg^{-1}) – tabulka 1.

Podle dosažených výsledků se jeví použití přepočtové rovnice úpravy přístupnosti fosforu na karbonátových půdách jako zbytečné. Mnohem účelnější a jednodušší se zdá být použití samostatných kritérií hodnocení obsahu přístupného fosforu pro půdy nekarbonátové a zvláště pro půdy karbonátové. Zatím se jedná pouze o doporučené hodnocení, které by bylo žádoucí dále ověřit na větším souboru dat.

Tabulka 1: Kritéria hodnocení obsahu přístupného fosforu (orná půda), stanoveného metodou Mehlich 3 (analytická koncovka ICP-OES) s doporučenými limity pro karbonátové půdy

Obsah	FOSFOR (mg.kg^{-1})	
	ostatní (nekarbonátové) půdy	karbonátové půdy
nízký	do 50	do 40
vyhovující	51 – 80	41 – 70
dobrý	81 – 115	71 – 105
vysoký	116 – 185	106 – 150
velmi vysoký	nad 185	nad 150

3.4. Využitelnost P_{indexu} pro stanovení optimální dávky fosforu

Pro optimalizaci hnojení fosforem je možno rovněž využít tzv. P-indexů. Tyto lze chápat z několika úhlů pohledu. Jednou z možností jsou indexy vyjadřující vztah mezi obsahem fosforu v půdě s obsahy železa a hliníku, jež mají dominantní podíl na jeho sorpci. Pro toto hodnocení se užívá metoda stanovení Fe, Al a P ve šťavelanu amonném (Schwertmann, 1964). Někteří autoři pro toto stanovení s úspěchem využili i metodu Mehlich 3 (např. Szara et al., 2018).

Další možností jsou indexy vyjadřující vztah mezi obsahem P v rostlinách a obsahem N v rostlinách – tzv. index PNI (phosphorus nutrition index), který vyjadřuje příjem fosforu rostlinami s ohledem na zředovací efekt během růstu rostlin (Bélanger et al. 2015). Největší předností PNI indexu je jeho snadná interpretace: nabývá-li PNI index hodnot nižších než 1, pak je fosfor deficitní živinou, přesahuje-li naopak hodnotu 1, pak rostliny přijímají nadbytek fosforu. PNI index lze navíc s úspěchem využít pro hodnocení výživného stavu pšenice zinkem (Sedlár et al. 2018).

Některé typy indexů zahrnují i vzájemné interakce mezi fosforem a dalšími prvky, z nichž významnými jsou zejména dusík nebo zinek.

3.4.1. Metodika pokusů zaměřených na sledování P_{indexu}

Za účelem sledování P-indexů byla ve spolupráci s ÚKZÚZ zvolena stanoviště převážně s karbonátovými půdami, kde byl proveden odběr půdních a rostlinných vzorků. Přehled BPEJ vybraných stanovišť je uveden v tabulce 2. Celkem se jednalo o 150 stanovišť (z toho 85 s karbonátovými půdami a 65 s nekarbonátovými jako kontrola). Některé vzorky byly odebrány z pozemků se stejnou BPEJ. Z důvodu větší přehlednosti tabulky 2. jsou zde tyto kódy uvedeny jen jednou.

Vzorky rostlin a půdy byly odebírány z půdních bloků zahrnutých do pravidelných odběrů pro Agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZZP), a to v letech 2015 - 2017. Na zájmových odběrových plochách byla pěstována v roce odběru pšenice ozimá, řepka ozimá nebo kukuřice. Cílem bylo získat vzorky z široké škály půdních druhů a typů.

Na vytipované ploše byl odebírán půdní vzorek (0-30 cm) a současně pěstované plodiny - pšenice ozimá, řepka ozimá a kukuřice v níže uvedených vegetačních fázích. Půdní vzorky byly odebírány vždy pouze v první odebírané vegetační fázi.

Vegetační fáze odebraných rostlinných vzorků byly následující:

Pšenice ozimá

- BBCH 29-30 (tj. ve fázi konec odnožování – počátek sloupkování)
- BBCH 65-69 (tj. ve fázi konec kvetení)

Řepka ozimá

- BBCH 30-32 (tj. ve fázi počátku dlouhivého růstu)
- BBCH 49-51 (tj. ve fázi počátku kvetení)

Kukuřice

- BBCH 16-18 (tj. při přibližné výšce rostlin 40 cm)

Vzorky půd byly vždy usušeny a přesety přes síto o velikosti ok 5 mm. Část byla použita pro založení vegetačních testů a část prosetá přes 2 mm síto (jemnozem) byla využita pro další analýzy. Rostliny byly rovněž usušeny a zhomogenizovány. Půdní výluhy Mehlich 3 (včetně stanovení S) a stanovení obsahů vybraných prvků v rostlinách byly realizovány Národní referenční laboratoří ÚKZÚZ v Brně.

Tabulka 2: Seznam BPEJ lokalit odběru vzorků

č.	BPEJ	č.	BPEJ	č.	BPEJ
1	0.01.00	25	2.08.10	49	3.10.10
2	0.01.10	26	2.10.00	50	3.11.00
3	0.05.01	27	2.13.00	51	3.13.00
4	0.06.10	28	2.16.02	52	3.14.00
5	0.08.00	29	2.17.00	53	3.19.01
6	0.22.10	30	2.19.01	54	3.19.11
7	1.00.00	31	2.21.10	55	3.19.14
8	1.01.00	32	2.22.10	56	3.20.01
9	1.01.10	33	2.23.13	57	3.20.02
10	1.04.01	34	2.25.00	58	3.20.11
11	1.05.01	35	2.31.11	59	3.21.10
12	1.05.11	36	2.63.00	60	3.22.12
13	1.06.00	37	3.01.00	61	3.30.11
14	1.06.02	38	3.02.00	62	3.42.00
15	1.07.00	39	3.02.10	63	3.45.01
16	1.10.00	40	3.03.00	64	3.52.01
17	1.20.01	41	3.05.01	65	3.60.00
18	1.22.12	42	3.05.11	66	3.61.00
19	1.22.13	43	3.06.00	67	4.19.14
20	1.28.04	44	3.06.02	68	4.20.11
21	1.37.16	45	3.07.00	69	5.08.10
22	1.56.00	46	3.07.10	70	5.10.00
23	1.61.00	47	3.08.40	71	5.58.00
24	2.05.01	48	3.10.00	72	8.10.00

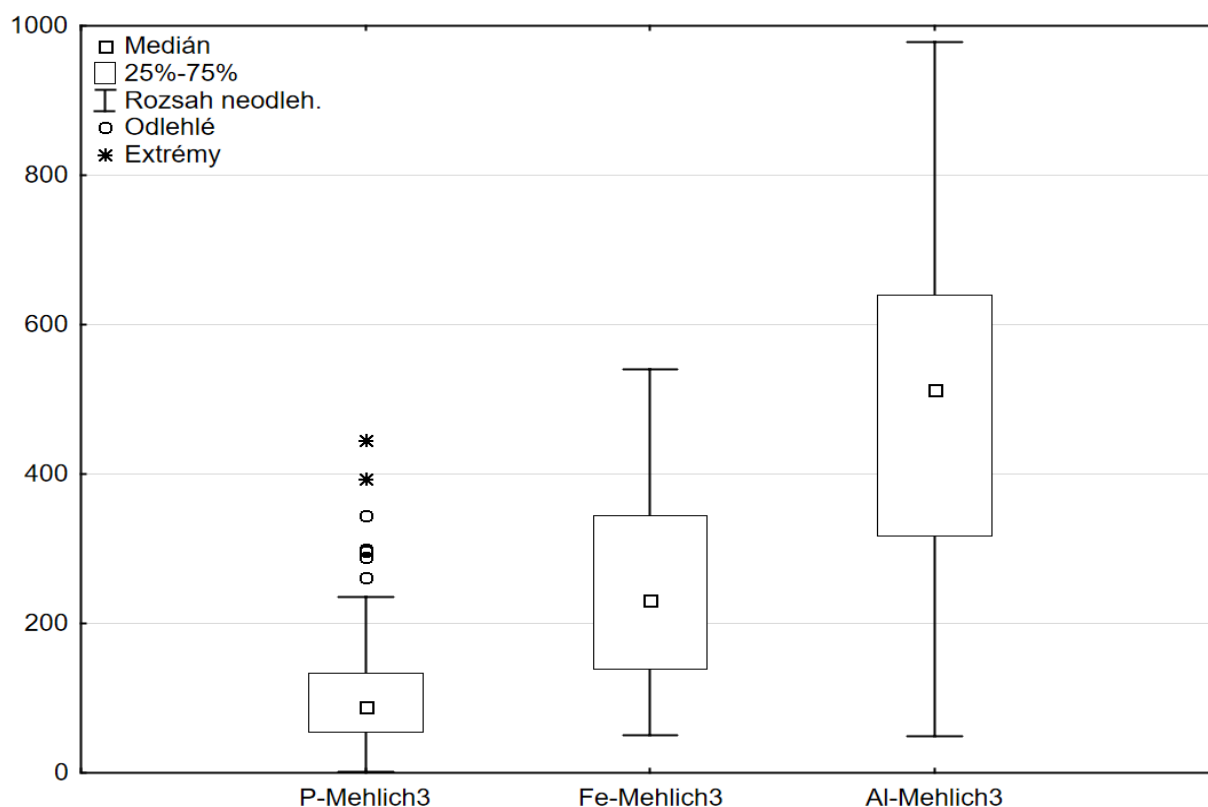
3.4.2. P_{index} založený na vztahu obsahů P, Fe a Al v půdě

Jak již bylo výše uvedeno, fosfor je v půdě sorbován přítomným železem a hliníkem. Na karbonátových půdách je často sorbován i ve formě fosforečnanů (hydrogenfosforečnanů) vápenatých. Pomocí jednoduchého indexu je možno vyjádřit míru sorpce P na Fe a Al sloučeniny v půdě:

$$P_{index} = (\text{obsah } P \text{ (mg/kg)}/30,97)/((\text{obsah } Al \text{ (mg/kg)}/26,98) + (\text{obsah } Fe \text{ (mg/kg)}/55,84))$$

Vzhledem k tomu, že vliv rostlin na vztahy P, Fe a Al v půdě není z hlediska tohoto P-indexu významný, byl pro výpočet využit celý soubor odebraných vzorků. Popisné charakteristiky obsahů Fe, Al a P jsou znázorněny v grafu 13.

Graf 13: Popisné charakteristiky obsahů P, Fe a Al v půdě (vše v mg/kg)



Výsledky vypočtených $P_{\text{indexů}}$ jsou uvedeny v tabulce 3. Je zřejmé, že mezi karbonátovými i nekarbonátovými půdami se prakticky nevyskytovaly rozdíly. Hodnoty průměru i mediánu se pohybovaly okolo 0,11. Nejvyšší dosažená hodnota činila 0,92.

Tabulka 3: Vypočtené P_{indexy} rozdělené dle karbonátových a nekarbonátových půd

P-index	Celý soubor (n=150)	Karbonátové p. (n=85)	Nekarbonátové p. (n=65)
Průměr	0,14	0,15	0,13
Medián	0,12	0,12	0,11
Minimum	0,01	0,01	0,03
Maximum	0,92	0,92	0,43

Z nízkých hodnot dosažených $P_{\text{indexů}}$ (okolo 0,1) vyplývá, že zásoba přístupného fosforu je v půdách velmi nízká, protože velká část P má možnost být poutána na železo a hliník. To bylo zjištěno i pro karbonátové půdy, kde je navíc fosfor více sorbován do vápenatých sloučenin. To vše potvrzuje předchozí výsledky, že aplikace přístupného P do půdy nebo jeho mobilizace ze sorbovaných forem jsou stále nezbytnější předpoklady pro dosažení výnosu i kvality produkce.

3.4.3. P_{index} založený na vztahu obsahu P v půdě a obsahu P v rostlině a interakcích se zinkem na karbonátových půdách

V tabulce 4 jsou uvedeny vybrané korelace sledování ve vegetačních pokusech s jarní pšenicí

Tabulka 4: Korelační matice výsledků vegetačních pokusů s jarní pšenicí (dvouleté výsledky)

r	P-M3 půda	Zn-M3 půda	P v rostlině	PNI	P:Zn M3 půda	P:Zn rostlina
P-M3 půda	1.00	0.42	0.18	0.48	0.69	0.39
Zn-M3 půda	0.42	1.00	0.20	0.20	-0.27	-0.26
P v rostlině	0.18	0.20	1.00	0.88	-0.04	0.24
PNI	0.48	0.20	0.88	1.00	0.28	0.46
P:Zn M3 půda	0.69	-0.27	-0.04	0.28	1.00	0.63
P:Zn rostlina	0.39	-0.26	0.24	0.46	0.63	1.00

Vyšší obsah přijatelného fosforu v půdě snižuje obsah zinku v zrnu obilnin (Nikolic et al. 2016), přičemž nedostatečný příjem zinku v potravě představuje vážné a velmi rozšířené zdravotní riziko, zejména pak ve vegetariánské stravě (Kristensen et al. 2006). Pro vyvíjející se zrno je důležitý dostatečný obsah zinku ve vegetativních orgánech rostlin (Kutman et al. 2012). Z těchto důvodů byl obsah zinku v rostlinách hodnocen poměrem P:Zn v nadzemní biomase pšenice. Jak příjem fosforu, tak příjem zinku rostlinami je navíc omezen alkalickou půdní reakcí (Kizilgoz 2016). Příjem fosforu a současně zinku byl tedy sledován na karbonátových půdách u jarní pšenice ve vegetačních pokusech v letech 2015 a 2016 a u ozimé pšenice v polních provozech v letech 2015 - 2017.

Z tabulky 4 vyplývá, že poměr P:Zn v rostlině koreloval silněji s poměrem P:Zn přijatelných živin (Mehlich 3) v půdě v porovnání se samotným obsahem přijatelného Zn (Mehlich 3) v půdě. Poměr P:Zn v nadzemní biomase 130:1 odpovídal hodnotám PNI indexu 0,90 a 0,92 na začátku sloupkování (BBCH 31) a během kvetení ozimé pšenice pěstované v polních provozech. Tyto hodnoty PNI indexu ukazují, že fosfor není za takových podmínek deficitní živinou. Poměr P:Zn v rostlinách ozimé pšenice 130:1 odpovídal na karbonátových půdách poměru P:Zn v půdě stanovenému ve výluhu Mehlich 3 9,3:1 na začátku sloupkování a 14,3:1 během kvetení.

4. Zásady hnojení fosforem, resp. fosforečnými hnojivy, včetně optimalizace hnojení na karbonátových půdách

Využitelnost fosforu rostlinami z aplikovaných fosforečných hnojiv je poměrně nízká. Fecenko a Ložek (2000) uvádí využitelnost v prvním roce po aplikaci 10 – 15% fosforu v sušších podmínkách a 15 – 20 % fosforu ve vlhčích oblastech. Efektivita fosforečných hnojiv se navíc snižuje při aplikaci malých dávek – fosfor aplikovaný v malých dávkách se velmi ochotně sorbuje (váže) na nerozpustné fosforečnany – dosycuje se sice půdní prostředí, ale pro rostliny zůstává přístupná pouze velmi malá část z aplikovaného fosforu. Vaněk et al. (2007, 2012) doporučuje na většině půd hnojit fosforem až na tři roky.

Zvýšení využití fosforu z aplikovaných fosforečných hnojiv lze docílit aplikací pod patu anebo pásovou aplikací.

Pro zvýšení účinnosti dodávaného fosforu a jeho využitelnosti rostlinami je především nutné upravit půdní reakci, tak aby se pohybovala ideálně v rozpětí 6,0 – 7,0. Úpravu hodnoty pH půdy vápněním je však nutné provádět v dostatečném časovém předstihu před aplikací fosforečných hnojiv.

V každém případě je nutné tuhá fosforečná hnojiva zapracovat (pro malou vertikální pohyblivost fosforu) do celého orničního profilu.

Půdní prostředí je rozhodující pro volbu hnojiva. Na kyselejších půdách se lépe uplatňují granulované formy hnojiv typu superfosfátů anebo se mohou používat ve vodě nerozpustná fosforečná hnojiva – fosfáty. Pro půdy neutrální až zásadité jsou vhodné všechny druhy superfosfátů.

Nejvhodnější termín hnojení fosforečnými hnojivy je koncem léta nebo na podzim, kdy lze hnojiva zpracováním půdy dobře zapracovat do orničního profilu (výjimkou jsou periody sucha zhoršující zpracovatelnost půdy).

Na zásaditých (karbonátových) půdách je nutné zohlednit fakt, že obsah fosforu stanovený extrakční metodou Mehlich 3 nemusí odpovídat jeho skutečnému reálnému obsahu v půdě a obecně platná kritéria hodnocení pro všechny půdy jej mohou více, či méně na karbonátových půdách podhodnocovat.

Z výsledků dlouhodobých pokusů na lokalitách s karbonátovými půdami nebyly pozorovány žádné poruchy v růstu a vývoji rostlin způsobené nedostatkem fosforu, z čehož vyplývá, že fosfor v půdě je, a že pěstované rostliny jsou schopné jej přijmout a využít, i přes rozbořem půdy (Mehlich 3) udávanou nízkou hodnotu.

Pro úpravu (optimalizaci) dávky fosforečných hnojiv aplikovaných na karbonátových půdách tato metodika doporučuje nejprve zohlednit obsah přístupného fosforu v půdě a jeho rozčlenění do kategorií zásobenosti podle tabulky č. 1 (fosfor v mg.kg^{-1} – karbonátové půdy) a poté teprve stanovit dávku fosforu na základě odběrových normativů dané pěstované plodiny.

III. Srovnání „novosti postupů“ oproti původní metodice, případně jejich zdůvodnění, pokud se bude jednat o novou metodiku (§ 2, odst. 1, písm. b) a písm. c) zákona č. 130/2002 Sb.).

Používání extrakční metody Mehlich 3 je v současné době upraveno vyhláškou č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů. Metoda Mehlich 3 se standardně používá pro stanovení obsahu základních (makro) živin v půdě včetně kritérií hodnocení obsahu přístupného fosforu, draslíku a hořčíku v různých druzích pozemků a druzích půd. Pro fosfor jsou nově navrhovány obsahy pro půdy karbonátové (nový sloupec) vedle původních hodnot pro půdy nekarbonátové.

IV. Popis uplatnění schválené metodiky

Certifikovaná metodika je určena zejména pro orgány státní správy a bude uplatněna především v ÚKZÚZ, který je oprávněným orgánem pro organizaci a provádění agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice. Metodika má však potenciál být využita také různými zemědělskými oblastními laboratořemi a výzkumnými ústavu a dalšími pracovišti, které budou stanovovat obsah přístupného fosforu metodou Mehlich 3. Současně bude sloužit zemědělským subjektům pro sledování zásoby živin (včetně fosforu na karbonátových půdách) na vlastních pozemcích a pro rozhodování o potřebě a optimalizaci hnojení.

V. Ekonomické aspekty

Náklady na zavedení postupů budou spočívat především v práci členů řešitelského týmu projektu č. QJ1530171, který připravil podklady pro novelizaci vyhlášky č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů. Ještě před novelizací této legislativní normy budou navrhovaná kritéria uvedena v dodatku metodického pokynu ÚKZÚZ č. 9/SZV „Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2017 - 2022“.

Vlastním využitím metody Mehlich 3 již další náklady nevznikají, protože je již nyní standardně používána v laboratořích.

Aktualizací kritérií hodnocení obsahu přístupného fosforu v půdě s ohledem na půdy karbonátové, při použití metody Mehlich 3 dojde k napravení situace, kdy tato metoda nestanovuje reálný obsah přístupného fosforu v půdě a v mnoha případech více, či méně podhodnocuje jeho skutečné množství dostupné pro výživu rostlin. To v některých případech vede konečné uživatele (zemědělské podniky) ke stanovování zbytečně vysokých dávek fosforečných hnojiv.

Vyčíslení potenciálního finančního efektu, tj. úspory na používaných fosforečných hnojivech je obtížně definovatelné (i s ohledem na současnou velmi nízkou úroveň fosforečného hnojení v ČR). Avšak s ohledem na skutečnost, že karbonátové půdy představují cca 10% výměry orné půdy, což je cca 296 000 ha (<https://www.czso.cz/csu/czso/ceska-republika-od-roku-1989-v-cislech-2017-8jcopi31rm#09>; ČSÚ, 2018) je úspora při případné zbytečné aplikaci nadměrných dávek fosforečných hnojiv na tuto výměru naprosto evidentní, a to jak z pohledu ekonomického, tak i environmentálního.

VI. Seznam použité související literatury

- Bélangier, G., Ziadi, N., Pageau, D., Grant, C., Högnäsbacka, M., Virkajärvi, P., Hu, Z.Y., Lu, J., Lafond, J., Nyiraneza, J. (2015): A model of critical phosphorus concentration in the shoot biomass of wheat. *Agronomy Journal*, 107: 963–970.
- Černý, J., Kulhánek, M., Balík, J., Sedlář, O. (2018): Zásady hojení mikroelementy. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha: 63-70.
- Fecenko, J., Ložek, O. (2000): Výživa a hnojení polních plodin, ISBN 80-7137-777-5: 442 s.,
- Vaněk, V., et al.: (2007): Výživa polních a zahradních plodin, ISBN 976-80-86726-25-0: 167 s.
- Dohnal, R. (2014): Svět není připraven na vyčerpání zásob fosforu; časopis Odpady, duben 2014
- Káš, M., Mühlbachová, G. (2014): Vliv organicko-minerálního hnojení na výnos ozimé pšenice v dlouhodobém polním pokusu v různých půdně-klimatických podmínkách. *Úroda*, 62 (12 věd.př.): 351-354.
- Kizilgoz, I. (2016): Effects of increasing soil calcium application on growth and uptake of calcium, phosphorus, zinc and boron in durum wheat (*Triticum durum* L.). *Oxidation Communications*, 39: 258–265.
- Kristensen, M.B., Hels, O., Morberg, C.M., Marving, J., Bügel, S., Tetens, I. (2006): Total zinc absorption in young women, but not fractional zinc absorption, differs between vegetarian and meat-based diets with equal phytic acid content. *British Journal of Nutrition*, 95: 963–967.
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P.: Bilancování rostlinných živin. Uplatněná metodika pro praxi. Vydal VÚRV, v.v.i. ISBN: 978-80-87011-17-1, 2007.
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P.: Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Uplatněná metodika pro praxi. Vydal VÚRV, v.v.i. ISBN: 978-80-87011-61-4, 2008
- Kulhánek, M., Černý J., Balík J., Sedlář, O. (2018): Úloha železa, manganu, mědi a zinku ve výživě rostlin. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 23-32.
- Kunzová, E. (2009): Výživa rostlin a hnojení fosforem. Uplatněná metodika pro praxi, VÚRV, v.v.i. . ISBN 978-80-7427-015-4: 24 str.
- Kutman, U.B., Kutman, B.Y., Ceylan Y., Ova E.A., Cakmak I. (2012): Contributions of root uptake and remobilization to grain zinc accumulation in wheat depending on post-anthesis zinc availability and nitrogen nutrition. *Plant and Soil*, 361: 177–187.
- Meloun, M., Militký, J. (2011): Statistical Data Analysis, A Practical Guide with 1250 Exercises and Answer key on CD. Woodhead Publishing India, New Delhi.
- Meloun, M., Militký, J., Hill, M. (2012): Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech. Praha, Academia: 760 s.
- Mühlbachová, G., Čermák, P., Vavera, R., Káš, M., Pechová, M., Hlušek, J., Lošák, T. & Lampartová, I. (2016): Změny v mobilitě fosforu a síry v půdě při stupňovaných dávkách hnojení v nádobovém pokusu. *Úroda*, 64(12 věd.př.): 381-384.

- Nikolic, M., Nikolic, N., Kostic, L., Pavlovic, J., Bosnic, P., Stevic, N., Savic, J., Hristov, 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.
- Rasmussen, P. E., Douglas, C. L. jr., Collins, H. P., Albrecht, S. L. (1998): Long-term cropping system effects on mineralization nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 1829–1837
- Sanchez, Ch. A. (2007): Phosphorus, in AV Barker, DJ Pilbeam (eds), *Handbook of Plant Nutrition*, Taylor and Francis, Boca Raton: 51–90 str.
- Schwertmann, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 105: 194 - 202.
- Smatanová, M., Komprsová, I., Sušil, A. (2017): Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2009 - 2014. ÚKZÚZ Brno. ISBN 978-80-7401-147-4: 112 str.
- Szara, E., Sosulski, T., Szymańska, M., Szyszkowska, K. (2018): Usefulness of Mehlich-3 test in the monitoring of phosphorus dispersion from Polish arable soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190: 298-304.
- Mehlich, A. (1984): Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1409–1416.
- Ostatek-Boczynski, Z.A., Lee-Steere, P. (2012): Evaluation of Mehlich 3 a universal nutrient extractant for Australian sugarcane soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43: 623–630.
- Sedlář, O., Balík, J., Kulháněk, M., Suran, P., Matěchová, M. (2018): Hodnocení výživného stavu fosforem u pšenice pěstované na karbonátových půdách. *Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha*, 105-108.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš P., (2007): *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press, s.r.o., Praha: ISBN 976-80-86726-25-0, 176 str.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš P., Valtera J. (2012): *Výživa zahradních rostlin*. Academia, Praha: 568 str.
- Vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů
- Zbíral, J., Čižmarová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M., Vilamová, V., Srnková, J., Žalmanová, A. (2016): *Jednotné pracovní postupy. Analýza půd I.*, 4. vydání – Brno 2016

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

- Čermák, P., Mühlbachová G., Káš M., Marková K., Pechová M. 2018: Changes of phosphorus availability in soils under different nitrogen fertilization levels in a long-term field experiment. In: Proceedings of the 40 years of research on nitrogen organizing partners 20th Nitrogen Workshop “Coupling C - N - P - S cycles. June 25-27, 2018 Rennes, France, Couvent des Jacobins Conference Centre: 340-341
- Čermák, P., Mühlbachová, G., Lošák, T., Hlušek, J. (2017): Soil testing system - basic tool for rational nutrient management in agriculture. In 2nd International and 14th National Congress of Soil Science Society of Serbia. 2. vyd. Novi Sad: Novi Sad, Faculty of Agriculture, 2017, s. 1. ISBN 978-86-7520-410-7.
- Čermák, P., Přenosilová, V., Mühlbachová, G., Lošák, T. & Hlušek, J. 2017. Testing of soil properties - basic tool for rational nutrient management in agriculture. *Agriculture & Food*, 5: 339-345.
- Černý, J., Kulháněk, M., Balík, J., Sedlář, O. (2018): Zásady hojení mikroelementy. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 63-70.
- Káš, M., Mühlbachová, G., Kusá, H. & Pechová, M. 2016. Soil phosphorus and potassium availability in long-term field experiments with organic and mineral fertilization. *Plant, Soil and Environment*, 62(12): 558-565.
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. (2007): Bilancování rostlinných živin. Uplatněná metodika pro praxi. Vydal VÚRV, v.v.i. ISBN: 978-80-87011-17-1.
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. (2008): Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Uplatněná metodika pro praxi. Vydal VÚRV, v.v.i. ISBN: 978-80-87011-61-4.
- Kulháněk, M., Černý, J., Balík, J., Sedlář, O. (2018): Úloha železa, manganu, mědi a zinku ve výživě rostlin. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 23-32.
- Kunzová, E. (2009): Výživa rostlin a hnojení fosforem. Uplatněná metodika pro praxi, VÚRV, v.v.i. . ISBN 978-80-7427-015-4: 24 str.
- Lošák, T., Hlušek, J., Lampartová, I., Elbl, J., Mühlbachová, G., Čermák, P., Antonkiewicz, J. (2016): Changes in the content of soil phosphorus after its application into chernozem and haplic luvisol and the effect on yields of barley biomass. *Acta Universitatis agriculturae et silviculturae Mendelianae Brunensis*, sv. 64, č. 5, s. 1603-1608. ISSN 1211-8516.
- Lošák, T., Hlušek, J., Elbl, J., Čermák, P., Mühlbachová, G. (2017): Změny obsahu živin v půdě a úroveň výnosu sušiny biomasy jarního ječmene v závislosti na půdním typu a dávce živin. In *Živiny a rizikové prvky v půdě*. 1. vyd. Praha: VÚRV, v.v.i. Praha-Ruzyně, 2017, s. 27.
- Lošák, T., Hlušek, J., Elbl, J., Čermák, P., Mühlbachová, G., Varga, L. (2018): Changes in the soil phosphorus content after triple superphosphate application into alkaline chernozem and the effect on yields of barley biomass. In 10th International Soil Science Congress on “Environment and Soil Resources Conservation”. 1. vyd. Almaty, Kazakhstan: Soil Science Society of Kazakhstan and Federation of Eurasian Soil Science Societies., 2018, s. 106-109.
- Lošák, T., Hlušek, J., Lampartová, I., Pospíšilová, L., Čermák, P., Mühlbachová, G., Varga, L., Árvay, J., Lazarević, B. (2018): Phosphorus fertilization as a component of growing technology of barley. In Proceedings of the 46th International Symposium Actual Tasks on Agricultural Engineering. Záhřeb: University of Zagreb (Sveučiliste u Zagrebu), 2018, s. 543--550. ISSN 1848-4425.

- Mühlbachová, G., Čermák, P., Vavera, R., Káš, M., Pechová, M., Hlušek, J., Lošák, T., Lampartová, I. (2016): Změny v mobilitě fosforu a síry v půdě při stupňovaných dávkách hnojení v nádobovém pokusu. *Úroda*. 2016. sv. 64, č. 12, ISSN 0139-6013: s. 381-384.
- Mühlbachová, G., Čermák, P., Vavera, R., Káš, M., Pechová, M., Hlušek, J., Lošák, T. & Lampartová, I. 2017. Phosphorus mobility and spring barley yields at increasing doses of fertilization in a pot experiment. In: Carstensen, A., Laursen, K. & Schjoerring, J. (eds.). XVIII International Plant Nutrition Colloquium with Boron and Manganese Satellite Meetings . University of Copenhagen, University of Copenhagen. pp. 649-650.
- Mühlbachová, G., Čermák, P., Vavera, R., Lošák, T. & Hlušek, J. (2016): The effect of phosphorus applications on changes in the soil content of P and yields of barley biomass. *Agriculture & Food*, 4: 564-570.
- Mühlbachová, G., Čermák, P., Vavera, R., Káš, M., Pechová, M., Marková, K., Hlušek, J., Lošák, T. (2018): Phosphorus availability and spring barley yields under graded P-doses in a pot experiment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66: 111-118
- Sedlář, O., Balík, J., Kulhánek, M., Černý, J., Kos, M. (2018): Mehlich 3 extractant used for evaluation of wheat available phosphorus and zinc in calcareous soils. *Plant, Soil and Environment*, 64: 53-57.
- Sedlář, O., Balík, J., Kulhánek, M., Suran, P., Matěchová, M. (2018): Hodnocení výživného stavu fosforem u pšenice pěstované na karbonátových půdách. *Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha*, 105-108.
- Zbíral, J. (2016): Determination of plant-available micronutrients by the Mehlich 3 soil extractant – a proposal of critical values. *Plant, Soil and Environment*, 62:527-531
- Zbíral, J., Čižmarová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M., Vilamová, V., Srnková, J., Žalmanová, A. (2016): *Jednotné pracovní postupy. Analýza půd I*, 4. vydání – Brno 2016

Autoři: Dr. Ing. Pavel Čermák
Ing. Gabriela Mühlbachová, Ph.D.
Ing. Martin Káš, Ph.D.
Ing. Miroslava Pechová
Prof. Ing. Tomáš Lošák, Ph.D.
Prof. Ing. Jaroslav Hlušek, CSc.
Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.
Ing. Ondřej Sedlář, Ph.D.
Prof. Ing. Dr.h.c. Jiří Balík, CSc.

Fotografie: Ing. Martin Káš, Ph.D.

Název: **Metodický postup pro optimalizaci hnojení fosforem na zemědělských půdách,
včetně půd karbonátových**

Oponenti: Ing. Michaela Budňáková
doc. Ing. Radim Vácha, Ph.D.

Kontakty: pavel.cermak@vurv.cz
muehlbachova@vurv.cz



(foto: Káš M.)

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2018