



národní
úložiště
šedé
literatury

Inovace metod kontroly výživného stavu zemědělských půd fosforem z konsensu produkčního a environmentálního aspektu šetrného využívání přírodních zdrojů

Matula, Jiří
2012

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-155353>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 06.05.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .



Jiří Matula

**Inovace metod kontroly výživného stavu zemědělských
půd fosforem z konsensu produkčního a environmentálního
aspektu šetrného využívání přírodních zdrojů**

METODIKA PRO PRAXI



Výzkumný ústav
rostlinné výroby, v.v.i.

2012

Metodika vznikla za finanční podpory MZe ČR a je výstupem řešení výzkumného projektu QH82281 „Inovace metod kontroly výživného stavu zemědělských půd fosforem z ekologického aspektu šetrného využívání přírodních zdrojů“.

PP2 – Ochranné a šetrné postupy hospodaření
Téma – Interakce mezi vodou, půdou a prostředím

Jiří Matula

**Inovace metod kontroly výživného stavu zemědělských
půd fosforem z konsensu produkčního a
environmentálního aspektu šetrného využívání přírodních
zdrojů**

METODIKA PRO PRAXI

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 2012
ISBN: 978-80-7427-110-6

Inovace metod kontroly výživného stavu zemědělských půd fosforem z konsensu produkčního a environmentálního aspektu šetrného využívání přírodních zdrojů

Metodika řeší kontrolu efektivní zásoby fosforu v půdě z principu nepřekračování maximální a minimální koncentrace rozpustných frakcí fosforu v půdním roztoku, která je nezbytná k zajištění potřebné výše rostlinné produkce na produkčním pozemku. Nepřekračování maxima nezbytně nutné koncentrace rozpustných forem fosforu v půdním roztoku by mělo rovněž minimalizovat potenciální možnost ztrát fosforu z půdy pozemku povrchovým odtokem a podpovrchovým tokem vod. Základem řešení je standardizace metody extrakce půdního roztoku z půdy včetně specifikace analytické koncovky stanovení fosforu a specifikace vhodného rozpětí koncentrace fosforu půdního roztoku. Posledním krokem je informace o regresním vztahu víceúčelových půdních testů (extrakce vodou, acetátem amonným s přidavkem fluoridu amonného a půdního testu Mehlich 3) ve vztahu s koncentrací fosforu v půdním roztoku. Těsnost vztahu mezi půdním testem a koncentrací fosforu v půdním roztoku je využita k re-kalibraci P-hodnot půdních testů z konsensu produkčně environmentálního.

Klíčová slova: fosfor; půdní roztok; půdní testy

The innovation of methods to control phosphorus status of agricultural soils from consensus of agricultural and environmental aspects of frugal using natural resources

Methodology solves efficient phosphorus supply levels of agricultural soils from agricultural and environmental consensus through recognition of maximum and minimal concentration of soluble phosphorus fraction in soil solution which is really needed to keep reasonable crop production of agricultural fields. The limitation and do not crossing of necessary maximum P-concentration in soil solution also helps to minimize possible P-losses by surface runoff and subsurface flow. The basic step of solution is standardized laboratory technique extraction of soil solution from soil sample including also the terminal-analytical P determination. And then the estimation range of convenient P concentration in soil solution. The last step is regression between multi-nutrient soil tests (water extraction, ammonium acetate extraction with addition ammonium fluoride and Mehlich 3 soil test) and P-concentration in soil solution. In the case of close regression is then used for recalibration soil tests from agricultural-environmental consensus.

Keywords: phosphorus; soil solution; soil testing

Dedikace

Metodika vznikla za finanční podpory MZe ČR a je výstupem řešení výzkumného projektu QH82281

Oponenti

doc. Ing. Tomáš Lošák, Ph.D., Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně

Ing. Josef Svoboda, Ph.D., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Metodika je určena zemědělcům, zemědělským laboratorům, zemědělským poradcům

Metodika získala osvědčení o uznání uplatněné certifikované metodiky v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje“ vydané Ministerstvem Zemědělství - Odborem rostlinných komodit pod č.j. 129699/2012-MZE-17221

Ministerstvo zemědělství ČR doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

OBSAH

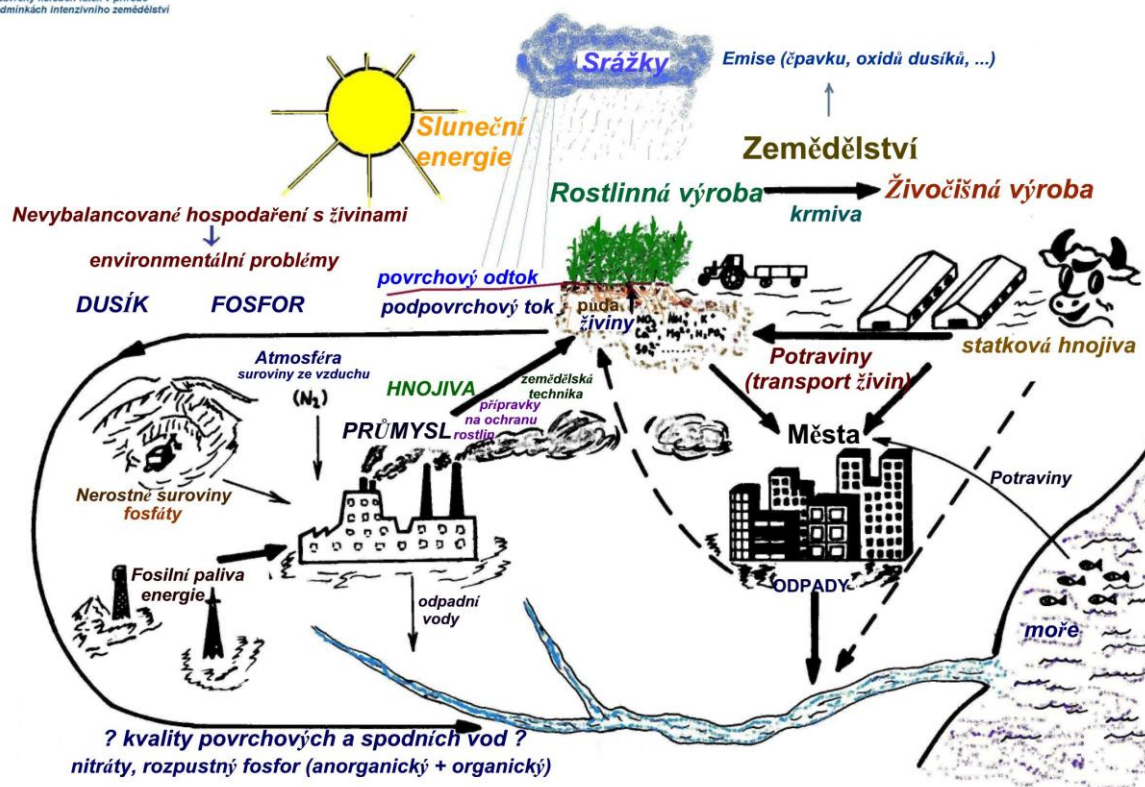
1. Úvod – Obecná část	5
1.1. Sumarizace důvodů nezbytnosti efektivního a šetrného využívání fosforu v současném zemědělství	7
1.2. Návrh řešení problému, cíl metodiky	7
2. Simulace půdního roztoku	10
2.1. Laboratorní metoda extrakce simulovaného půdního roztoku z půdy	10
2.1.1. Procedura přidavku vody a ustalování koncentrační rovnováhy půdního roztoku	10
2.1.2. Procedura extrakce simulovaného půdního roztoku	11
2.1.3. Zastoupení anorganického a organického fosforu v půdním roztoku	14
2.1.3.1. Orné půdy	15
2.1.3.2. Drnový fond	17
3. Stanovení celkového rozpustného fosforu ve vodním extraktu půd	20
3.1. Kolorimetrické stanovení celkového rozpustného fosforu ve vodním extraktu půd	20
3.1.1. Mineralizace vodního extraktu persíranem draselným ($K_2S_2O_8$) v kyselém prostředí	21
3.2. Ověřování souladu výsledků stanovení celkového obsahu P ve vodním výluhu půd kolorimetrií a technikou ICP-AES	22
4. Metody odvození dostatečné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku	24
4.1. Koncept diagnostiky obsahu fosforu v nadzemní hmotě ječmene	25
4.2. Odvození vhodné koncentrace fosforu simulovaného půdního roztoku pomocí konceptu hraniční linie	27
4.2.1. Hraniční linie výnosu	28
4.2.2. Hraniční linie indexu účinnosti živiny	29
4.3. Ověřování výsledků vhodné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku ze studií ve fytotronu v přirozených podmínkách rostlinné výroby	31
4.4. Průzkum kategorizace výživného stavu půd fosforem na základě údajů o vhodné koncentraci fosforu v simulovaném půdním roztoku v přirozených stanovištích zemědělských půd	32
4.4.1. Průzkum výživného stavu půd fosforem v půdách podniků s běžnou rostlinnou produkcí	32
4.4.2. Průzkum výživného stavu půd fosforem v půdách podniku specializovaného na polní zelinářství	33

5. Možnost využití rutinních víceúčelových půdních testů ke kontrole výživného stavu půd fosforem z konsensu produkčně ekologického	35
5.1. Půdní test extrakce vodou	37
5.2. Půdní test extrakce acetátem amonným	39
5.3. Půdní test Mehlich 3	44
6. Stručný popis extrakčních půdních testů	45
6.1. Půdní test extrakce vodou	45
6.2. Půdní test extrakce acetátem amonným	46
6.3. Půdní test Mehlich 3	46
7. Sumarizace parametrů vhodné zásoby fosforu v půdách z konsensu environmentálně produkčního aspektu	46
7.1 Simulovaný půdní roztok	46
7.2 Víceúčelové půdní testy	47
Popis uplatnění metodiky	47
Použitá literatura	48
Publikace, které předcházely metodice	51

1. Úvod – Obecná část

Problematika fosforu se znovu dostala do popředí celospolečenských zájmů hlavně argumentací ekologů. Je pravdou, že fosfor po dusíku je dalším biogenním prvkem s výrazným environmentálním dopadem na kvalitu vod. Fosfor je primární příčinou eutrofizace povrchových vod, (tj. nadměrného rozvoje nežádoucích řas, cyanobakterií, okřehků, ...), jejímž důsledkem je pokles obsahu kyslíků ve vodě, vzrůst nadměrné kumulace a rozklad organických látek včetně tvorby toxických produktů. Dochází tím k poklesu vhodnosti vod pro život a chov ryb, ke znehodnocování vod jako zdrojů pitné a užitkové vody, a rovněž i využití vodních ploch k rekreačním účelům obyvatelstva. Tento aspekt je předmětem zájmů značného množství vědeckých a odborných publikací, takže je vytvářen dojem nadřazenosti tohoto environmentálního aspektu nad základním významem, nezbytností fosforu ve výživě rostlin k zajišťování dostatečné rostlinné produkce, tj. základu produkce potravin a krmiv, pro uspokojivou existenci lidstva, civilizace na Zemi.

Neuzavřený koloběh látek v přírodě
v podmínkách intenzivního zemědělství

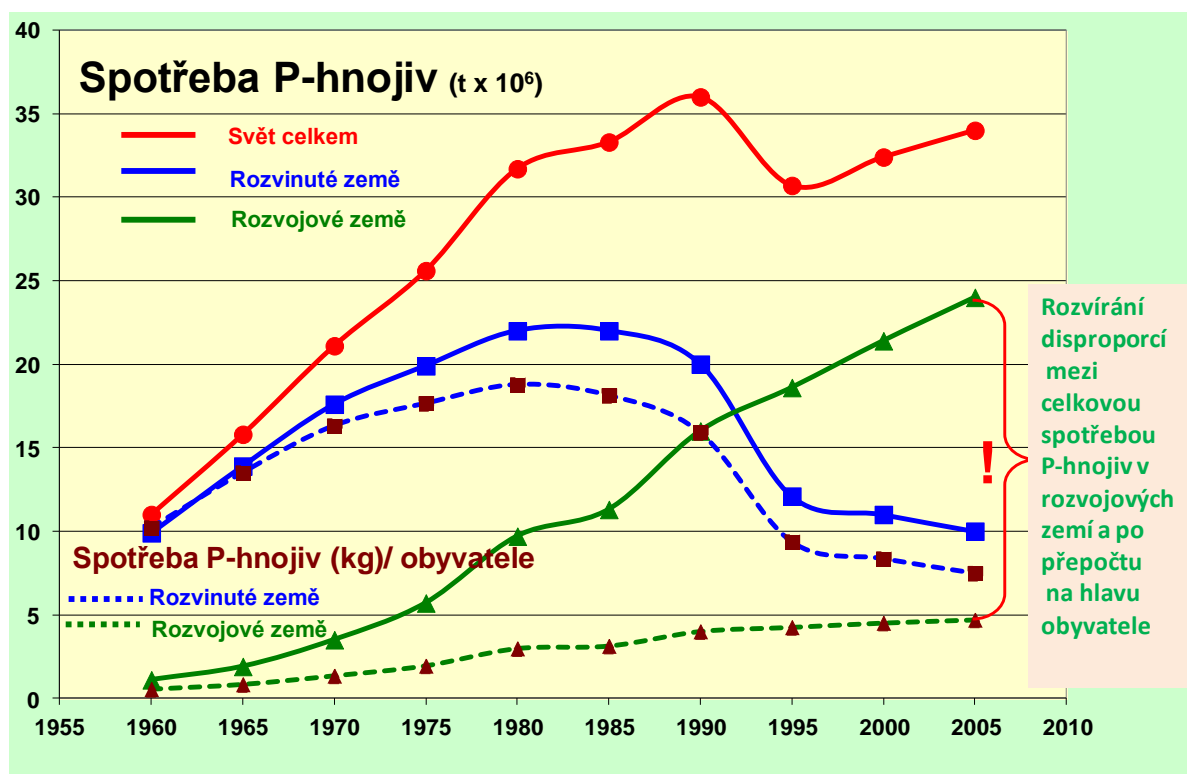


Obr. 1. Neuzavřený koloběh látek v přírodě v podmínkách intenzivního zemědělství

Příčinu současné dominance ekologického aspektu zapříčinila nevyvážená bilance hospodaření se živinami v rozvinutých zemích světa, kde rovněž končila většina světové produkce fosforečných hnojiv. Zde dlouhodobé intenzivní

hnojení půd fosforečnými hnojivy a recyklace fosforu statkovými hnojivy v rozvinutých zemích světa přivedlo situaci, že půdy původně vykazující silnou sorpci fosforu se staly zdrojem jeho úniku do okolního prostředí. Suroviny pro výrobu fosforečných hnojiv (fosfáty) jsou však omezené a dislokovány pouze ve čtyřech zemích světa (Maroko, Rusko, Čína a USA). Na rozdíl proti prakticky neomezenému zdroji dusíku (N_2) ze vzduchu k výrobě N-hnojiv, kde limitujícím faktorem je pouze energetická náročnost výroby N-hnojiv.

Na druhou stranu fosfor je nejběžnější deficitní živinou v půdách rozvojových zemí. I přes trend růstu spotřeby P-hnojiv v rozvojových zemích světa se dále zvyšuje disproporce v přepočtu spotřeby P-hnojiv na jednoho obyvatele rozvojových zemí.



Obr. 2. Vývojové trendy světové spotřeby fosforečných hnojiv

Z historického pohledu fylogeneze se rostliny vždy setkávaly s extrémně nízkou koncentrací fosforu v živném prostředí půdy v relaci k ostatním hlavním živinám. Zde je možno spatřovat příčinu vysoké efektivity osvojení fosforu a jeho fyziologické funkčnosti v rostlině. Na druhou stranu zde nebyl důvod ke vzniku mechanismu regulace, omezování možnosti nadměrného příjmu fosforu. A tím nadbytečná hladina fosforu v rostlině bývá příčinou poruch ve výživě stopovými prvky (Fe, Zn, Cu, Mn). Z výše uvedeného vyplývá i nutnost optimalizace, objektivizace nezbytné horní hladiny labilních forem fosforu v půdě z pohledu pěstovaných plodin.

Problematiku efektivní zásoby P v půdách je třeba řešit z pohledu zemědělské produkce, ochrany životního prostředí a omezenosti P-surovin pro výrobu hnojiv.

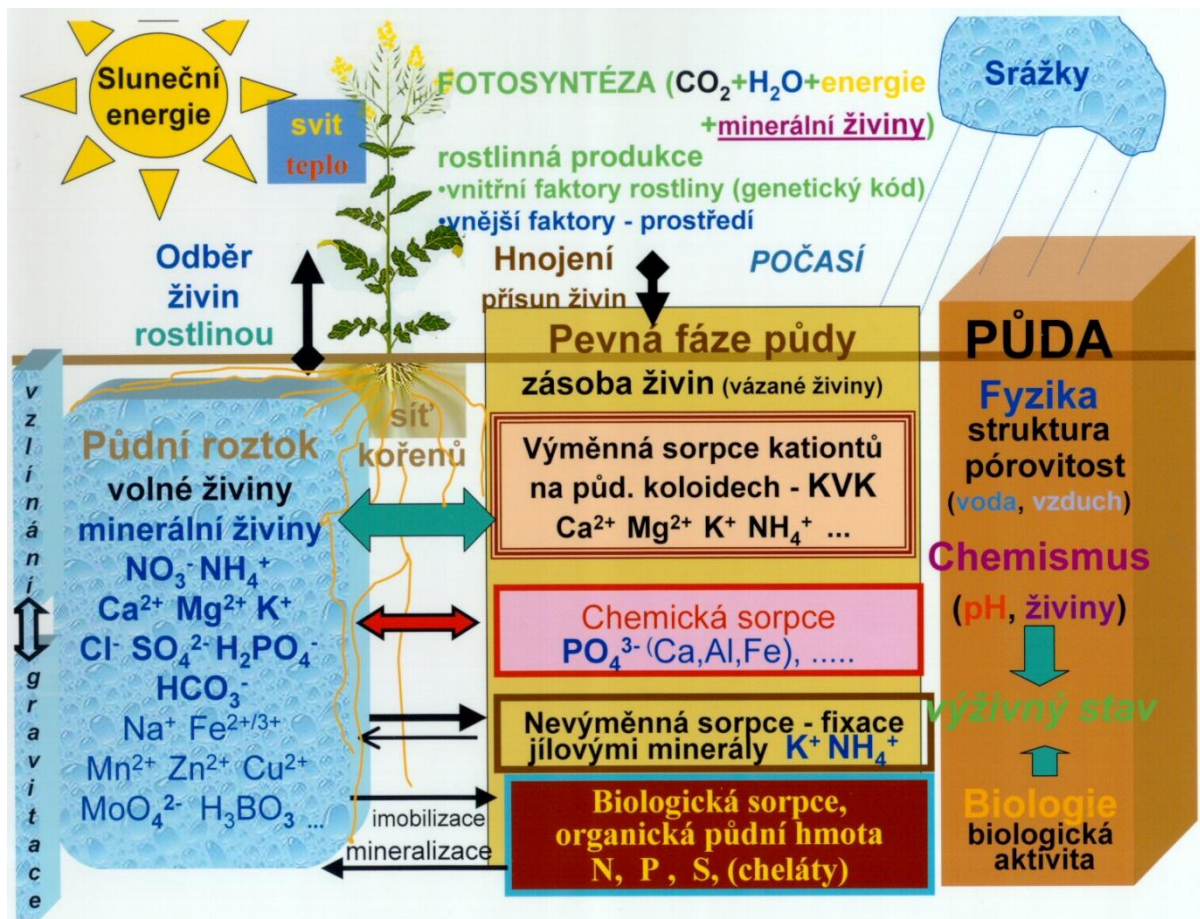
1.1. Sumarizace důvodů nezbytnosti efektivního a šetrného využívání fosforu v současném zemědělství:

- Zajištění dostatečné produkce potravin pro obyvatelstvo Země.
- Minimalizace úniku fosforu ze zemědělských půd do vod.
- Omezenost P-surovin (fosfátů) s dostatečnou koncentrací fosforu, která umožňuje ekonomickou výrobu fosforečných hnojiv.
- Optimalizace labilních forem fosforu v půdě z pohledu pěstovaných plodin.

1.2. Návrh řešení problému, cíl metodiky

Základem řešení je skutečnost, že koncentrace živin v půdním roztoku a jejich doplňování má dominantní postavení v systému PŮDA – ROSTLINA. To platí rovněž pro živinu fosfor. Tedy koncentrace rozpustných frakcí fosforu v půdním roztoku by měla dosahovat pouze té hodnoty, která je nezbytná k zajištění potřebné výše rostlinné produkce na produkčním pozemku. Tento přístup by měl být rovněž přijatelným konsensem z environmentálního aspektu.

Ustalování, doplňování a nepřekračování požadované koncentrace fosforu v půdním roztoku z konsensu produkčního a environmentálního aspektu by mělo být kritériem k odvození racionálních způsobů vnosu dávek fosforečných hnojiv do půdy produkčního pozemku. Nepřekračování nezbytně nutné koncentrace rozpustných forem fosforu v půdním roztoku by mělo rovněž minimalizovat potenciální možnost ztrát z půdy pozemku povrchovým odtokem a podpovrchovým tokem vod. Samozřejmě konkrétní možné hodnoty ztrát rozpustných forem fosforu z půdy (půdního roztoku) budou ovlivňovat další faktory (velikost a intenzita srážek, infiltrační charakteristiky půdy pozemku, svažitost pozemku a jeho povrch, pokryvný porost atd.).



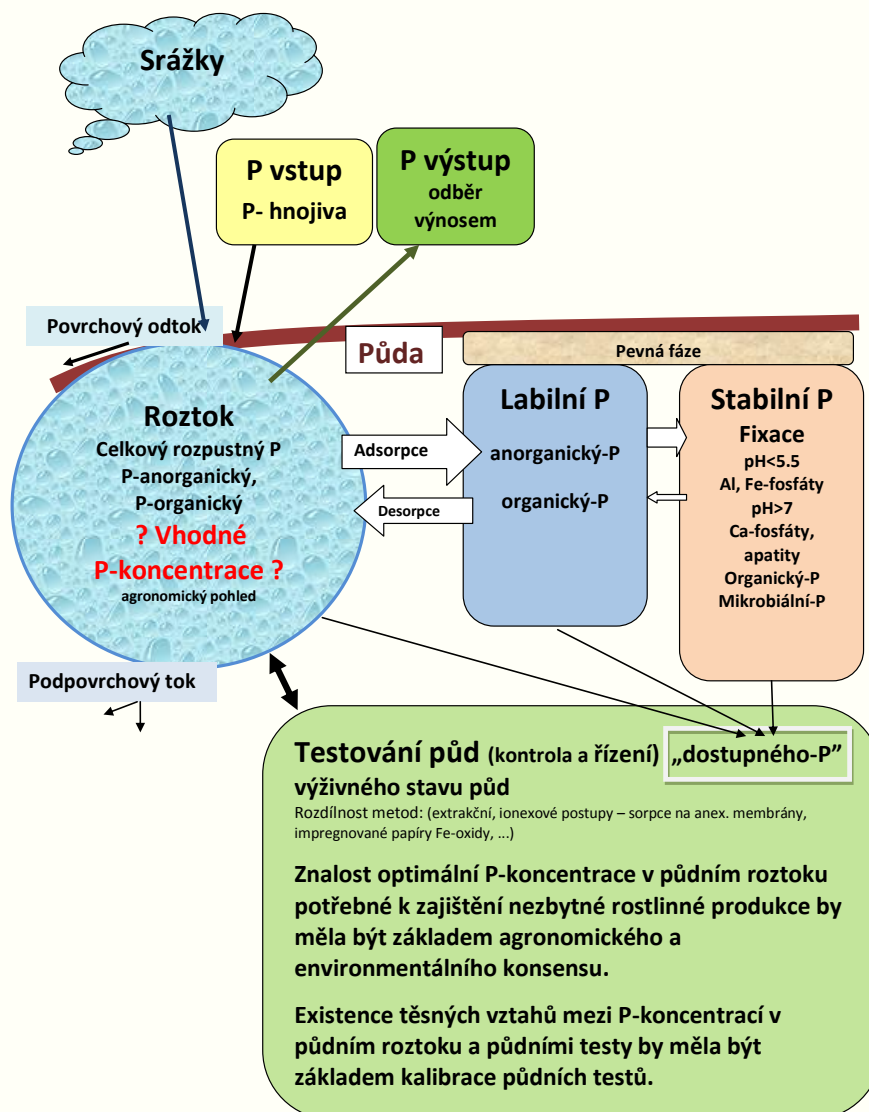
Obr. 3. Schéma vztahů v systému půda-rostlina

Navržený postup řešení problematiky fosforu z produkčního a ekologického aspektu se jeví jako snadný a schůdný. K vlastní realizaci však existuje řada otázek, nedostatečnosti potřebných podkladů.

Základním problémem je údaj vhodné, optimální koncentrace rozpustných forem fosforu v půdním roztoku. Bohužel v soudobé odborné literatuře existuje řada značných nesrovnalostí o optimální, vhodné koncentraci fosforu v půdním roztoku. Jednu z příčin lze spatřovat v metodické obtížnosti a pracnosti extrakce půdního roztoku z půdy. Existuje řada postupů extrakce v polních podmínkách (např. lyzimetrické, sorpční tělíška,...), různé laboratorní postupy (vodní extrakce, vytěšňovací, tlakové extrakce). Použitá metoda však sama o sobě ovlivňuje výsledky zjišťované koncentrace. Dále zde hraje roli analytická koncovka stanovení. Veškeré starší údaje byly zjištěny kolorimetrií redukované fosfomolybdenanové modři, která postihuje anorganický fosfor (tzv. reaktivní fosfor) orthofosforečnanového anionu v extraktu půdy.

Z environmentálního aspektu, je však důležité postihnout celkově rozpustný fosfor, který vedle anorganického fosforu zahrnuje i rozpustné organické frakce fosforu. Celkově rozpustný fosfor je mobilní složkou fosforu, která může být předmětem úniku povrchovým odtokem a podpovrchovým tokem při přebytku srážek nad zádržnou schopnost půdy (vodní kapacitu).

Hodnoty tzv. reaktivního fosforu a celkově rozpustného se mohou značně lišit, zvláště v oblastech nižších koncentrací fosforu v půdním roztoku.



Obr. 4. Schéma chování fosforu v půdě a dominantní postavení koncentrace fosforu v půdním roztoku při řešení problematiky fosforu z konsensu produkčně-environmentálního

Z výše uvedeného, realizace řešení problematiky fosforu z konsensu produkčně environmentálního předpokládá **následný metodický postup**:

1. **Standardizaci metody extrakce půdního roztoku z půdy včetně specifikace analytické koncovky stanovení fosforu**, která postihne rozpustný anorganický fosfor a celkový rozpustný fosfor, v kterém je zahrnut i fosfor organický.
2. **Odvození, odhad vhodné koncentrace fosforu v půdním roztoku**, která je skutečně potřebná k efektivnímu využití v rostlinné produkci.

3. V konci **zjistit vztahy mezi víceúčelovými půdními testy** tzv. agrochemického zkoušení půd **a koncentrací fosforu v půdním roztoku a možnost jejich využitelnosti** (v případě těsných vztahů) **ke zpětné inovaci agronomické kalibrace půdních testů z konsensu produkčně environmentálního.**

2. Simulace půdního roztoku

2.1. Laboratorní metoda extrakce simulovaného půdního roztoku z půdy

Princip:

Předností laboratorního postupu extrakce půdního roztoku je jeho jednoduchost. Je schůdnější a umožňuje tím rozборы větších kolekcí půdních vzorků, obdobně jako u agrochemického testování půd (metod agrochemického zkoušení půd). Metoda je založena na přidavku vody do na vzduchu vyschlé půdy k docílení tzv. nasycené půdní pasty na základě třecí zkoušky. Přídavek vody je dále zvýšen o polovinu zjištěného objemu potřeby vody k docílení nasycené půdní pasty. Nasycení a překročení přídavku nasycení půdy vodou usnadňuje extrakci tzv. simulovaného půdního roztoku. Rovněž koncentrace rozpustných sloučenin se blíží stavu, při kterém dochází k volnému pohybu půdního roztoku. Obsah vody v nasycené půdní pastě je zhruba čtyřnásobný než půda obsahuje při bodu vadnutí a dvojnásobný než při polní vodní kapacitě půdy. Celá procedura sestává ze tří částí: a) přidání vody k suchému vzorku půdy; b) ustalování vláhové a koncentrační rovnováhy v půdním vzorku; c) procedura extrakce simulovaného půdního roztoku z půdního vzorku.

2.1.1. Procedura přídavku vody a ustalování koncentrační rovnováhy půdního roztoku

Jelikož zjištění potřeby přídavku vody k suché půdě třecí zkouškou je fyzicky náročné a zdlouhavé byl tento postup nahrazen výpočtem z experimentálně zjištěného těsného regresního vztahu k hodnotě výměnné kationtové sorpční kapacity půdy (CEC).

Výpočet přídavku vody k 25 g suché půdy:

$$y \text{ (ml vody) / 25 g zeminy} = 0,4616 \times \text{CEC}^{0,552}$$

Postup:

- Do centrifugační 60 ml kyvety s uzavíratelným víčkem se naváží 50 g na vzduchu vyschlé jemnozemě půdního vzorku a povrch zeminy se poklepem upraví do šikmého sklonu povrchu zeminy k hrdlu kyvety, viz obr. 5.



Obr. 5.

- Přidání objemu vody dělenou (25 ml) pipetou, vypočteného podle kalkulačního vzorce $(0,4616 \times \text{CEC}^{0,552}) \times 2 \times 1,5$.



Obr. 6 a 7.

- Po přidání vody k zemině se kyveta uzavře víčkem a nechá stát v laboratoři do druhého dne (přes noc); ustalování vláhové a koncentrační rovnováhy v půdním vzorku.

2.1.2. Procedura extrakce simulovaného půdního roztoku

Příští den jsou kyvety odstředovány ve vysoko rychlostní odstředivce vybavené chladicím zařízením.

- Centrifugace 10 minut při relativní odstředivé síle (g) 12 600 – 12 700 g a teplotě 20°C. Relativní odstředivá síla je závislá na poloměru rotoru odstředivky a počtu otáček, které u vysokorychlostních centrifug s robustním rotorem odpovídají 9 000 otáčkám za minutu, tj. běžnému maximu dovoleného zatížení centrifugy.

$$\text{Relativní odstředivá síla (g)} = 0,00000118 \times r \times N^2;$$

r = poloměr od středu rotoru ke dnu centrifugační kyvety

N = otáčky rotoru (rpm).

- Opatrné, šetrné vyjmutí kyvety z rotoru (bez nárazů), odvíčkování a bezprostřední šetrné odsávání čirého roztoku nad zeminou dělenou pipetou (10 – 20 ml) vybavenou odsávacím balonem.
- Evidence odsátého půdního roztoku a bezprostřední pokračování, doplnění sáním objemu pipety (10 nebo 20 ml) destilovanou vodou k rysce. Údaj odsátého objemu půdního roztoku a doplnění destilovanou vodou na maximum objemu dělené kalibrované pipety je podkladem k získání koeficientu ředění půdního roztoku.
- Vyprázdnění objemu pipety filtrací do vzorkovnice k analytické koncovce stanovení (běžně ICP-AES technikou a kolorimetrií). K filtraci se používají disky filtračních papírů průměru 7 – 9 cm Whatman no. 40 nebo Filtrakt 389. Účelem filtrace je zachycení případných plovoucích organických nečistot.

Příklad pracovního formuláře "simulovaného půdního roztoku"											
Soubor půd: DF 2010											
Pocudura přidavku vody						Pocudura extrakce půdního roztoku					
a ustalování koncentrační rovnováhy půdního roztoku											
						dávkování					
						řazení kyvet		Odsávání			
Hodnota		ml vody	ml přidavku	suma	vody	řazení kyvet	suma	Odsávání	Zisk ml		
Půda	CEC	na pastu	vody	ml přidavku	děl. 25 ml	k centrifugaci	ml přidavku	děl. 20 ml	Zisk ml	Koefficient	
lab.číslo	mmol/kg	50 g zeminy	na 50 g zeminy	vody	čtení	Půda	vody	čtení	půdního	roztoku	ředení
1	136	13,9	6,9	20,8	4,2	52	17,0	13,7	6,3		3,17
2	119	12,9	6,4	19,3	5,7	13	17,3	14,5	5,5		3,64
3	114	12,6	6,3	18,9	6,1	4	17,3	14,2	5,8		3,45
4	97	11,5	5,8	17,3	7,7	18	17,6	14,4	5,6		3,57
5	129	13,5	6,7	20,2	4,8	40	17,9	12,8	7,2		2,78
6	175	16,0	8,0	24,0	1,0	28	18,1	13,1	6,9		2,90
7	160	15,2	7,6	22,8	2,2	51	18,6	13,8	6,2		3,23
8	142	14,2	7,1	21,3	3,7	19	18,6	12,2	7,8		2,56
9	126	13,3	6,7	20,0	5,0	3	18,9	11,1	9,0		2,23
10	149	14,6	7,3	21,9	3,1	39	19,0	13,0	7,0		2,86
11	132	13,7	6,8	20,5	4,5	12	19,0	13,6	6,4		3,13
12	115	12,7	6,3	19,0	6,0	44	19,2	13,1	7,0		2,88
13	97	11,5	5,8	17,3	7,7	17	19,3	12,3	7,7		2,60
14	160	15,2	7,6	22,8	2,2	2	19,3	12,4	7,6		2,63
15	146	14,5	7,2	21,7	3,3	53	19,4	13,7	6,3		3,17
16	147	14,5	7,3	21,8	3,2	50	19,7	13,2	6,8		2,94
17	118	12,8	6,4	19,3	5,7	27	19,7	11,5	8,5		2,35
18	100	11,8	5,9	17,6	7,4	24	19,8	11,7	8,3		2,41
19	111	12,4	6,2	18,6	6,4	9	20,0	11,9	8,1		2,47
20	147	14,5	7,3	21,8	3,2	23	20,0	12,7	7,3		2,74
21	135	13,8	6,9	20,7	4,3	32	20,1	10,4	9,6		2,08
22	129	13,5	6,7	20,2	4,8	5	20,2	9,0	11,0		1,82
23	127	13,4	6,7	20,0	5,0	22	20,2	13,1	6,9		2,90
24	124	13,2	6,6	19,8	5,2	38	20,3	13,0	7,2		2,78
25	164	15,4	7,7	23,1	1,9	48	20,3	11,7	8,3		2,41
26	134	13,8	6,9	20,7	4,3	11	20,5	13,9	6,1		3,28
27	123	13,1	6,6	19,7	5,3	49	20,6	14,2	5,8		3,45
28	105	12,1	6,0	18,1	6,9	26	20,7	13,5	6,5		3,08
29	154	14,9	7,5	22,4	2,6	21	20,7	12,4	7,6		2,63
30	140	14,1	7,1	21,2	3,8	1	20,8	13,2	6,8		2,94
31	136	13,9	6,9	20,8	4,2	31	20,8	11,7	8,4		2,40
32	127	13,4	6,7	20,1	4,9	43	21,0	13,7	6,3		3,17
33	221	18,2	9,1	27,2	-2,2	30	21,2	10,3	9,7		2,06
34	188	16,6	8,3	24,9	0,1	42	21,2	13,3	6,8		2,96
35	185	16,5	8,2	24,7	0,3	8	21,3	11,7	8,3		2,41
36	166	15,5	7,7	23,2	1,8	15	21,7	14,4	5,7		3,54
37	157	15,0	7,5	22,5	2,5	20	21,8	12,7	7,3		2,74
38	130	13,5	6,8	20,3	4,7	16	21,8	12,0	8,1		2,48
39	115	12,6	6,3	19,0	6,0	41	21,9	14,3	5,7		3,51
40	103	11,9	6,0	17,9	7,1	10	21,9	13,7	6,3		3,17
41	148	14,6	7,3	21,9	3,1	29	22,4	10,5	9,5		2,11
42	140	14,1	7,1	21,2	3,8	37	22,5	12,6	7,4		2,70
43	138	14,0	7,0	21,0	4,0	7	22,8	10,9	9,2		2,19
44	117	12,8	6,4	19,2	5,8	14	22,8	11,1	8,9		2,25
45	170	15,7	7,9	23,6	1,4	47	23,1	10,9	9,2		2,19
46	181	16,3	8,1	24,4	0,6	25	23,1	11,7	8,4		2,40
47	164	15,4	7,7	23,1	1,9	36	23,2	11,6	8,4		2,38
48	130	13,5	6,8	20,3	4,7	45	23,6	12,6	7,4		2,70
49	133	13,7	6,9	20,6	4,4	6	24,0	10,8	9,3		2,16
50	122	13,1	6,6	19,7	5,3	54	24,3	11,7	8,5		2,35
51	110	12,4	6,2	18,6	6,4	46	24,4	10,1	9,9		2,02
52	94	11,3	5,7	17,0	8,0	35	24,7	12,0	8,0		2,50
53	120	12,9	6,5	19,4	5,6	34	24,9	10,1	10,0		2,01
54	179	16,2	8,1	24,3	0,7	33	27,2	10,1	9,9		2,02

Obr. 8. Laboratorní dokumentace „simulovaného půdního roztoku“.

2.1.2. Zastoupení anorganického a organického fosforu v půdním roztoku

Veškeré dřívější údaje o koncentraci fosforu v půdním roztoku byly odvozeny ze stanovení fosforu kolorimetrií redukované fosfomolybdenanové modří, která podchycuje pouze orthofosforečnanový anion, tzv. reaktivní fosfor.

Z environmentálního aspektu jsou však důležité údaje o celkovém rozpustném fosforu z důvodu jeho mobility, možného jeho úniku z půd do odtokových vod. Stanovení celkového rozpustného fosforu kolorimetrií fosfomolybdenanové modří vyžaduje proto před analytickou koncovkou kolorimetrie extrakt podrobit **mineralizačnímu procesu**, aby z rozpustných P-sloučenin, s vazbami P-O-P, C-O-P a C-P, byl uvolněn orthofosforečnanový anion, tj. reaktivní fosfor s fosfomolybdenanovou kolorimetrií. **Nebo, v současnosti stanovení celkového rozpustného fosforu v extraktech přímo umožňují ICP-AES přístroje.**

Rozdíl mezi celkovým rozpustným fosforem a kolorimetrií redukované fosfomolybdenanové modří je považován za fosfor organický.

V našich studiích byla zjištěna proměnlivost podílu organického a anorganického fosforu v simulovaném roztoku v závislosti na hodnotě koncentrace fosforu v půdním roztoku. S poklesem koncentrace rozpustného fosforu vzrůstá podíl zastoupení organického fosforu. A naopak při vyšších hodnotách rozpustného fosforu půdního roztoku dominuje anorganický fosfor. Průměrné hodnoty pro orné půdy a drnový fond v půdním profilu do 20 cm je znázorněn na následných grafech v závislosti na detekci koncentrace fosforu přímou kolorimetrií (bez mineralizace extraktu) a ICP-AES technikou.

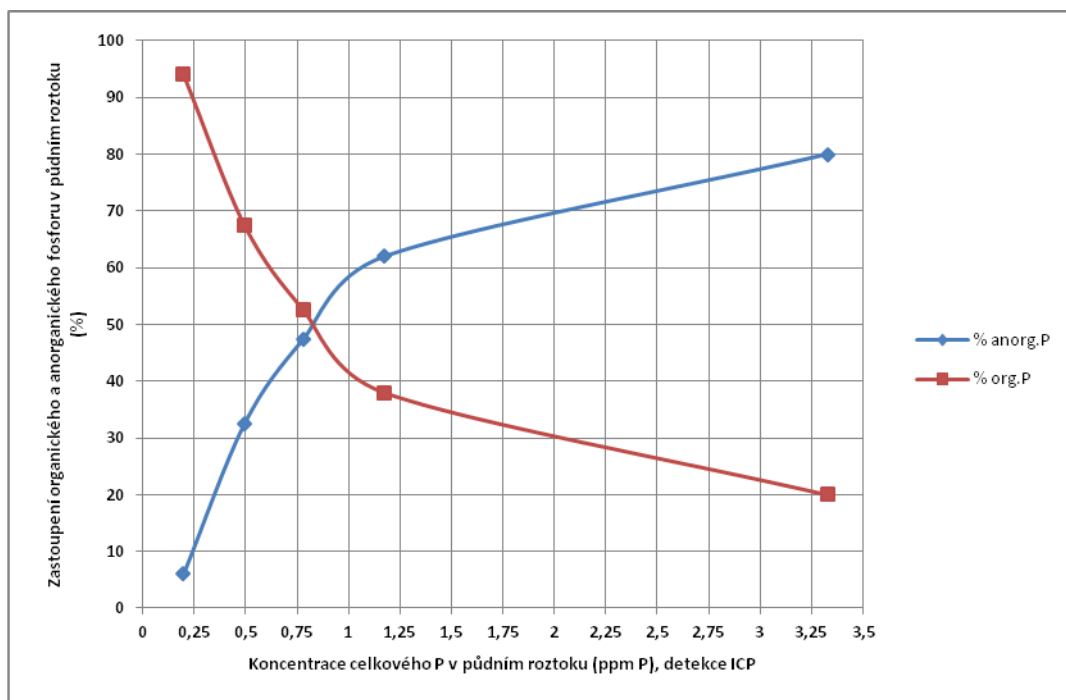
Zastoupení anorganického a organického fosforu půdního roztoku bylo studováno na souboru půd z orných pozemků a drnového fondu.

2.1.3.1. Orné půdy

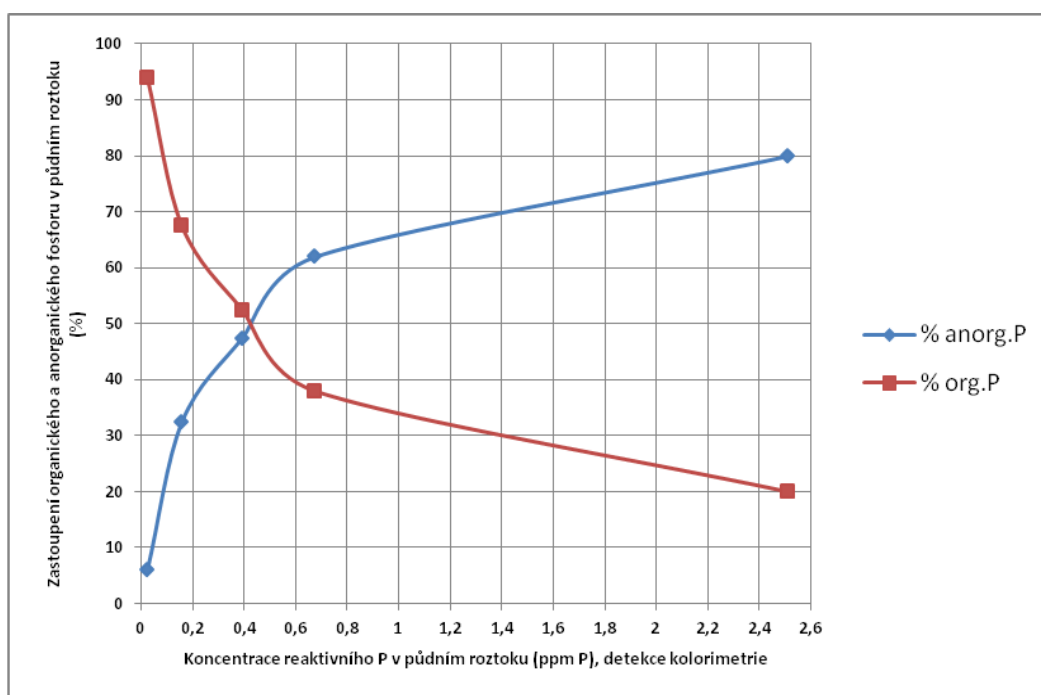
Tab. I. Informace o použitém souboru orných půd (70 lokalit z teritoria ČR; profil 0-20 cm).

Statistické parametry	Základní agrochemické charakteristiky			Fosfor celkový mg P/kg	Simulovaný půdní roztok (mg P/L)	
	pH 0,2M KCl	C _{ox} %	CEC mmol/kg		Detekce kolorimetrie	Detekce ICP-AES
Minimum	3,98	0,72	45,6	355	0,023	0,196
25% Percentile	5,10	1,06	123,3	546	0,157	0,492
Medián	5,63	1,30	141,8	659	0,392	0,780
75% Percentile	6,08	1,49	172,0	780	0,674	1,172
Maximum	7,06	2,92	309,8	2546	2,511	3,326
Průměr	5,62	1,35	151,6	708	0,537	0,973
Koeficient variability	13,13 %	31,71 %	31,55 %	44,95 %	103,19 %	69,75 %
Geometrický průměr	5,57	1,29	144,5	664	0,324	0,796

Průměrný rovnovážný stav stejného zastoupení anorganického a organického fosforu v souboru studovaných půd byl zjištěn při celkové koncentraci fosforu 0,8 ppm P detekované ICP-AES a při detekci koncentrace přímou kolorimetrií 0,4 ppm P. Se vzrůstem koncentrace P půdního roztoku docházelo k poklesu zastoupení organického fosforu, který dosáhl nejnižších hodnot 20% podílu. Recipročně se vzrůstem koncentrace P půdního roztoku vzrůstalo zastoupení anorganického fosforu s maximální hodnotou 80 % podílu. Viz následné grafy, obr. 9 a 10.



Obr. 9. Průměrné zastoupení anorganického a organického fosforu v simulovaném půdním roztoku orných půd v závislosti na stanovení P-koncentrace technikou ICP-AES



Obr. 10. Průměrné zastoupení anorganického a organického fosforu v simulovaném půdním roztoku orných půd v závislosti na stanovení koncentrace P kolorimetrií

2.1.3.2. Drnový fond

Informace o použitém souboru půd z drnového fondu povodí Jizery (od soutoku s Labem až do vyšších poloh sběrného území s maximem 1 200 m nad mořem).

Tab. II. Drnový fond – Pojizeří; 32 lokalit; **profil 0-10 cm.**

Statistické parametry	Základní agrochemické charakteristiky			Fosfor celkový mg P/kg	Simulovaný půdní roztok (mg P/L)	
	pH 0,2M KCl	C_ox %	CEC mmol/kg		Detekce kolorimetrie	Detekce ICP-AES
Minimum	3,05	1,39	133	251	0,000	0,470
25% Percentile	3,91	2,01	149	694	0,029	0,856
Medián	5,22	2,44	173	811	0,116	1,206
75% Percentile	5,84	3,01	227	1184	0,310	1,385
Maximum	6,73	4,94	313	2322	1,985	2,573
Průměr	5,01	2,59	187	972	0,274	1,179
Koeficient variability	22,56 %	30,02 %	25,50 %	48,19 %	151,62 %	40,18 %

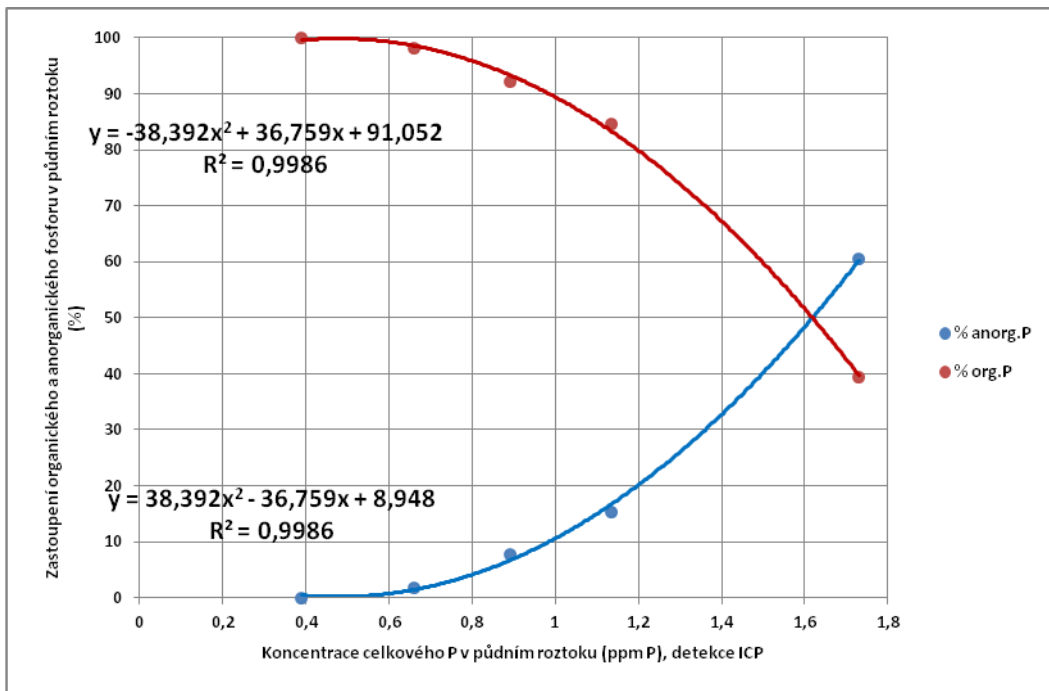
Tab. III. Drnový fond – Pojizeří; 32 lokalit; **profil 10-20 cm**

Statistické parametry	Základní agrochemické charakteristiky			Fosfor celkový mg P/kg	Simulovaný půdní roztok (mg P/L)	
	pH 0,2M KCl	C_ox %	CEC mmol/kg		Detekce kolorimetrie	Detekce ICP-AES
Minimum	3,14	0,80	98	175	0,000	0,214
25% Percentile	3,86	1,28	134	534	0,000	0,401
Medián	5,19	1,49	152	683	0,010	0,570
75% Percentile	5,76	1,80	185	870	0,087	0,971
Maximum	6,93	2,67	274	2416	0,388	1,294
Průměr	5,02	1,57	160	787	0,063	0,665
Koeficient variability	22,76 %	28,28 %	156,3 %	696,6 %	163,7 %	47,12 %

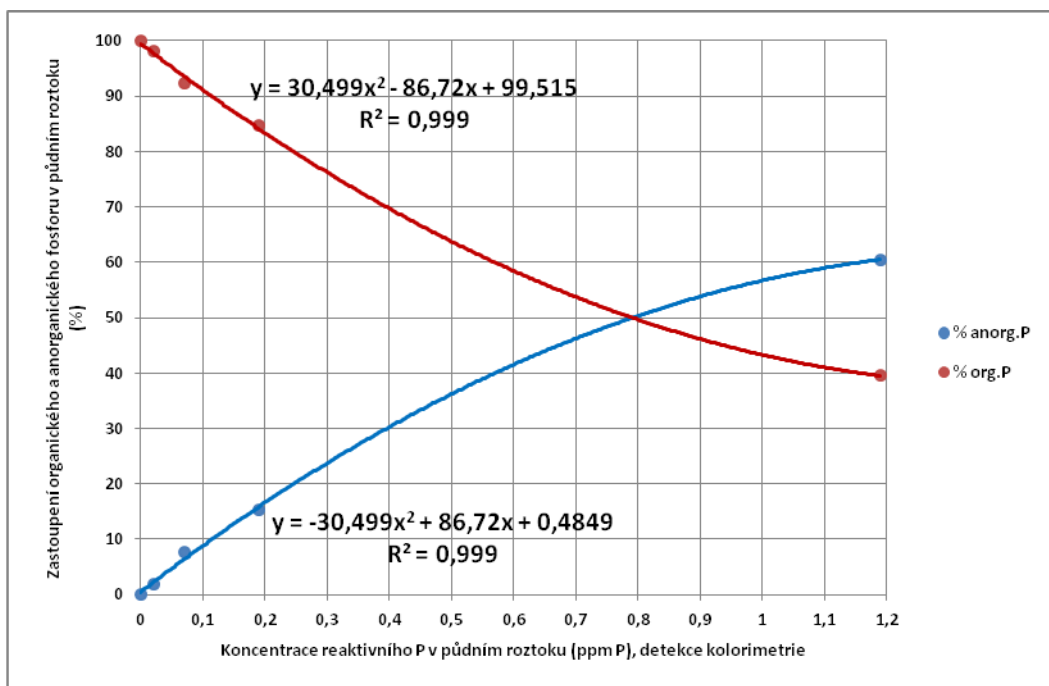
Tab. IV. Drnový fond – Pojizeří; 32 lokalit; **profil 0-20cm.**

Statistické parametry	Základní agrochemické charakteristiky			Fosfor celkový mg P/kg	Simulovaný půdní roztok (mg P/L)	
	pH 0,2M KCl	C _{ox} %	CEC mmol/kg		Detekce kolorimetrie	Detekce ICP-AES
Minimum	3,10	1,14	124	213	0,000	0,390
25% Percentile	3,89	1,73	144	644	0,020	0,660
Medián	5,24	2,04	165	717	0,070	0,890
75% Percentile	5,86	2,26	203	1062	0,190	1,135
Maximum	6,83	3,79	293	2369	1,190	1,730
Průměr	5,014	2,08	174	879	0,169	0,922
Koeficient variability	22,48 %	26,80 %	23,74 %	49,94 %	151,22 %	36,61 %

Ve srovnání s ornými půdami v půdách travních porostů převažuje podíl organického fosforu nad anorganickým až do podstatně vyšších koncentrací fosforu v půdním roztoku. Při stanovení celkového fosforu v půdním roztoku technikou ICP-AES rovnovážný stav byl pozorován při koncentraci půdního roztoku 1,6 ppm P. Při kolorimetrickém stanovení koncentrace P v půdním roztoku, rovnovážné zastoupení podílu organického a anorganického fosforu bylo zjištěno při koncentraci fosforu 0,8 ppm P. Tedy, při stanovení koncentrace 0,8 ppm P kolorimetrií v simulovaném půdním roztoku lze předpokládat ještě stejnou koncentraci organického fosforu. Maximální podíl anorganického fosforu u půd drnového fondu dosahoval nejvýše 60%. Viz následné grafy, obr. 11 a 12.



Obr. 11. Průměrné zastoupení anorganického a organického fosforu v simulovaném půdním roztoku drnového fondu profilu 0-20 cm v závislosti na stanovení koncentrace P technikou ICP-AES



Obr. 12. Průměrné zastoupení anorganického a organického fosforu v simulovaném půdním roztoku drnového fondu profilu 0-20 cm v závislosti na stanovení koncentrace P kolorimetrií

V závěru je možno říci, že **údaje o koncentraci fosforu v půdním roztoku odvozené z přímého kolorimetrického stanovení fosforu mohou být zavádějící z environmentálního aspektu**, tj. možného úniku fosforu do odtokových vod z pozemků, zvláště drnového fondu.

3. Stanovení celkového rozpustného fosforu ve vodním extraktu půd

Z environmentálního aspektu je důležitá informace o celkové koncentraci rozpustných forem fosforu, tj. anorganického a organického, které jsou mobilní složkou v půdě a tím i předmětem možného úniku fosforu z půdy pozemku. Tradičně v extraktech půd bylo a i je využíváno kolorimetrické stanovení fosforu pomocí tzv. redukované fosfomolybdenanové modři, která v podstatě podchycuje pouze anorganický fosfor orthofosforečnanového anionu. V novější terminologii environmentální chemie je tento fosfor označován jako fosfor reaktivní. Kolorimetrie v současné době využívá auto-analyzátorů na principu kontinuálního průtoku (CFA) a průtokových injekčních analyzátorů (FIA), které jsou investičně méně nákladné než přístroje na principu atomové emisní spektrometrie v indukované plasmě (ICP-AES). Stanovení fosforu technikou ICP-AES podchycuje veškeré rozpustné formy fosforu, včetně fosforu organického. Určitou omezeností ICP-AES detekce je nižší citlivost při koncentracích fosforu pod 0,1 mg P/L.

3.1. Kolorimetrické stanovení celkového rozpustného fosforu ve vodním extraktu půd

V případě nevybavenosti laboratoře technikou ICP a potřebou detekce celkového fosforu ve vodním extraktu půd, je třeba před analytickou koncovkou kolorimetrie extrakt podrobit **mineralizačnímu procesu**, aby rozpustný fosfor ze sloučenin s vazbami P-O-P, C-O-P a C-P byl uvolněn orthofosforečnanový anion, tj. reaktivní fosfor s fosfomolybdenanovou kolorimetrií. Existuje řada mineralizačních postupů, které jsou poněkud časově náročné a vyžadující speciální laboratorní vybavení.

Z výše uvedených důvodů jsme vyvinuli a ověřovali zjednodušený, méně pracný postup mineralizace v kyselém prostředí persíranem draselným, který by byl vhodný k rutinním analýzám. Vyvinutý postup mineralizace je zvláště vyhovující pro extrakty půd vodou (1:5; w/v).

3.1.1 Mineralizace vodního extraktu persíranem draselným ($K_2S_2O_8$) v kyselém prostředí

Pracovní postup:

- Pipetace (30) – 50 ml roztoku vzorku do kalibrovaných 100 ml baněk např. typu HACH.



Obr. 13. Mineralizační odměrná baňka firmy Hach

- Přidání 0,6 g persíranu draselného odměrkou.
- Přidání 3 ml 2M H_2SO_4 . (Příprava roztoku 2M H_2SO_4 : do 80 ml destilované vody v Erlenmayerově baňce se opatrně po stěně přidá 10 ml koncentrované kyseliny sírové).
- Promíchání obsahu baňky a umístění na topnou desku.

- Zahřívání obsahu mineralizačních baněk při teplotě 125°C po dobu 90 minut.



Obr. 14. Mineralizace vzorků vodního extraktu půd na topné desce

- Po sejmutí baněk z topné desky vytemperování obsahu a doplnění destilovanou vodou k rysce.
- Filtrace obsahu baněk (Whatman no. 40, nebo Filtrak 389) do vzorkovnic pro potřeby kolorimetrické koncovky.

3.2. Ověřování souladu výsledků stanovení celkového obsahu P ve vodním výluhu půd (1:5, w/v) kolorimetrií a technikou ICP-AES

Ověřování proběhlo na souboru 79 vzorků půd ornice ze zemědělsky obhospodařovaných pozemků. Daný soubor půd se vyznačoval značnou variabilitou základních agrochemických charakteristik, viz tab. V.

Tab. V. Sloupcová statistika agrochemických charakteristik souboru 79 půd.

Statistické parametry	Oxidovatelná organická hmota (% C)	Hodnota CEC mmol(+)/kg	Hodnota pH 0,2 M KCl
Minimum	0,85	59	3,55
25% Percentile	1,60	128	5,24
Medián	1,96	137	5,67
75% Percentile	2,52	153	6,28
Maximum	5,13	305	7,21
Průměr	2,17	144	5,74
Koeficient variability (%)	38,22	27,50	12,96

Tab. VI. Sloupcová statistika stanoveného fosforu ve vodním extraktu 79 půd v závislosti na detekci kolorimetrií a ICP-AES přímo ve vodním extraktu a po jeho mineralizaci persíranem draselným v kyselém prostředí.

Statistické parametry	Obsah fosforu v půdách (mg P/kg)			
	Přímé měření ve vodním extraktu půd		Měření po kyselé mineralizaci K ₂ S ₂ O ₈ extraktu půd	
	Kolorimetrie	ICP-AES	Kolorimetrie	ICP-AES
Minimum	0,25	1,12	1,10	0,94
25% Percentile	2,00	5,09	4,90	4,97
Medián	4,70	8,03	8,10	8,21
75% Percentile	12,95	17,17	16,95	15,35
Maximum	77,65	98,60	90,55	100,4
Průměr	10,74	15,28	15,02	15,50
% variability	144	124	122	129

Tab. VII. Výsledky párového *t*-testu, (počet párů 79).

Statistické parametry	Přímá P-detekce, kolorimetrie versus ICP-AES	Přímá P-detekce ICP-AES versus kolorimetrie mineralizátu	Přímá P-detekce ICP-AES versus ICP-AES mineralizátu
P hodnota	P<0,0001	0,1085	0,2869
Významnost rozdílů	***	nevýznamné	nevýznamné
Liší se průměry hodnot?	Ano	Ne	Ne
Průměr rozdílů	-4,540	-0,2654	-0,2143
95% interval jistoty	-5,464 to -3,617	-0,592 to 0,061	-0,613 to 0,184
Korelační koeficient (r)	0,9928	0,9976	0,9973

V přímé detekci celkového rozpustného fosforu ve vodním extraktu technikou ICP-AES a kolorimetrií po kyselé mineralizaci persíranem draselným nebyly zjištěny žádné významné rozdíly, jsou prakticky totožné, zastupitelné.

4. Metody odvození dostatečné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku

Studie vztahů mezi koncentrací fosforu půdního roztoku a reakcí rostlin za kontrolovaných podmínek vegetace testovacích rostlin ve fytotronu je nejspolehlivější cestou získání představy o vhodnosti, dostatečnosti koncentrace fosforu půdního roztoku. Na rozdíl oproti studiím v polních podmínkách je zde možnost zapojení do studia rozsáhlého souboru půd o rozdílných agrochemických charakteristikách. Další významnou předností je jednotnost, standardnost vegetačních podmínek kultivace testovací plodiny. Výsledky experimentů mají proto univerzálnější hodnotu, jsou rychlejší a ekonomicky schůdnější. Do určité míry je zde otázkou volba testovací plodiny. Na základě našich dlouhodobých prakticko-metodických zkušeností používáme jarní ječmen. Hlavní jeho předností je rychlost a rovnoměrnost klíčení, vzcházení a počátečního růstu. Doba vegetace testovací plodiny na rozsáhlých souborech rozdílných půd z důvodu maloobjemových vegetačních nádobek (100-200 g zeminy) nemůže být delší než jeden měsíc, aby se předešlo zkreslování výsledku kultivace testovací plodiny objemovým, prostorovým stresem rozvoje kořenů. Z obilnin se s ječmenem v krátkodobých testech nejlépe pracuje, při manipulaci s nabobtnalými semeny je nejméně zranitelný. Ječmen reprezentuje rostlinu s průměrnou a nižší osvojovací schopností živin. Protipólem ječmene z našich plodin je řepka, která vykazuje značné osvojovací schopnosti zvláště v případě fosforu. Řepka ve srovnání s ostatními plodinami je vybavena vysokou schopností osvojovat si fosfor z půdy. Není pro ni problém poskytovat vysoké výnosy i při deficitní hladině pro ostatní plodiny. Pro potřeby krátkodobých vegetačních experimentů je však nevhodná.

K vyhodnocování vegetačních experimentů lze používat tři přístupy:

- a) Koncept diagnostiky obsahu fosforu v nadzemní hmotě ječmene.
- b) Kombinace konceptu hraniční linie (“Boundary Line“) s výnosem, tvorbou sušiny nadzemní hmoty ječmene.
- c) Kombinace konceptu hraniční linie s indexem účinnosti fosforu ($I\dot{U}_P$), který je podílem obsahu fosforu v rostlině ke tvorbě výnosu. ($I\dot{U}_P = \text{výnos}/\text{obsahem fosforu}$).

4.1. Koncept diagnostiky obsahu fosforu v nadzemní hmotě ječmene

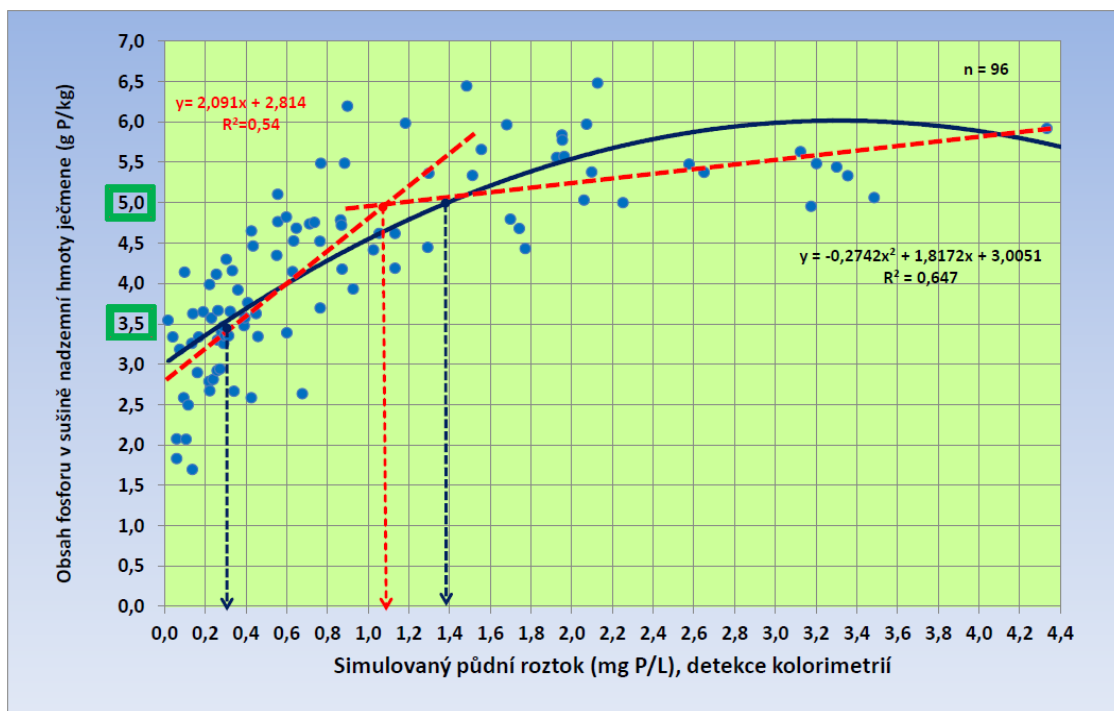
Za spodní hranici byl zvolen obsah 3,5 g P/kg sušiny a za strop – maximum dostatečnosti 5 g P/kg sušiny. K odvození dostatečné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku byl použit soubor 96 půd s rozdílnými agrochemickými charakteristikami.

Tab. VIII. Informace o použitém souboru orných půd (96 lokalit ČR; profil 0-20 cm).

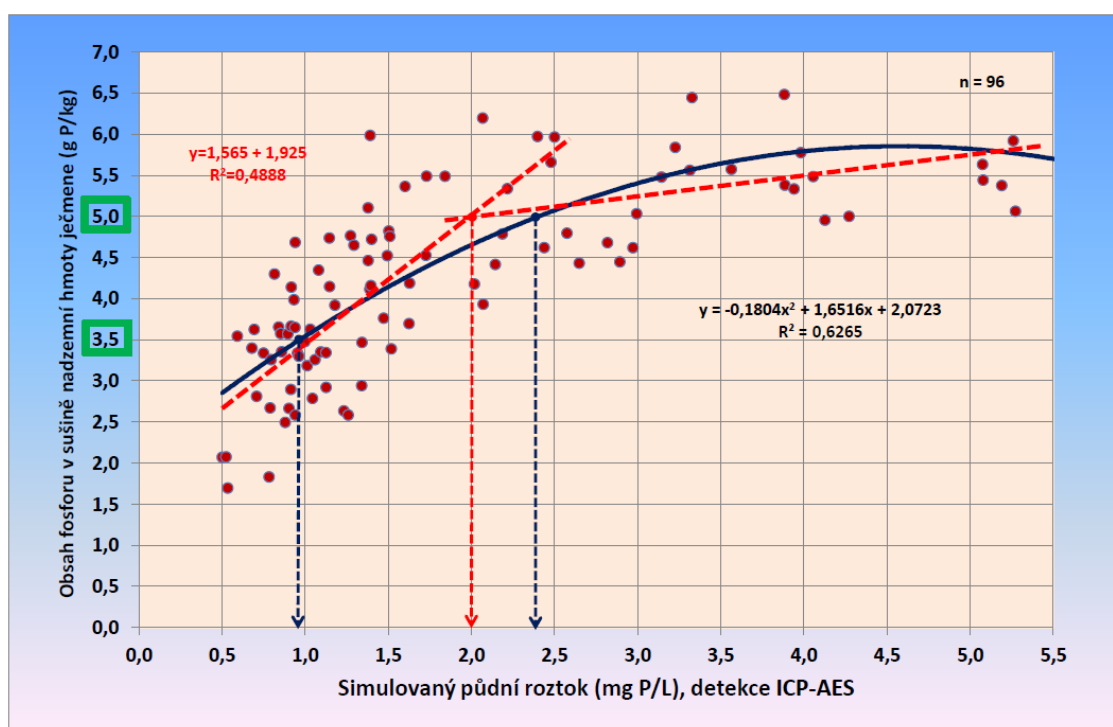
Statistické parametry	Základní agrochemické charakteristiky			Sušina nadzemní hmoty ječmene (g P/kg)	Simulovaný půdní roztok (mg P/L)	
	pH 0,2 M KCl	C _{ox} %	CEC mmol/kg		Detekce kolorimetrie	Detekce ICP-AES
Minimum	4,48	0,85	41	1,70	0,016	0,500
25% Percentile	5,29	1,61	117	3,37	0,267	0,940
Medián	5,70	1,97	135	4,33	0,615	1,389
75% Percentile	6,28	2,46	151	5,22	1,534	2,537
Maximum	7,21	5,13	305	7,30	4,747	6,096
Průměr	5,80	2,18	138	4,27	1,010	1,923

Odvození vhodné koncentrace simulovaného půdního roztoku v závislosti na diagnostice fosforu v testovací rostlině je znázorněno na grafech (obr. 15 a 16) pro detekci půdního roztoku kolorimetrií a pro detekci půdního roztoku ICP-AES technikou. Byly použity dva regresní vztahy, přístupy: druhého polynomu a lineárního v kombinaci s plató rovinou. Detekované hodnoty vhodné koncentrace P v půdním roztoku danými přístupy se liší v oblasti vyšší koncentrace P půdního roztoku. Regrese druhého polynomu potřebnost koncentrace P v půdním roztoku nadhodnocuje.

Lineární přístup v kombinaci s plató rovinou se jeví jako vhodnější, realističtější neboť lépe podchycuje počáteční strmý vzrůst obsahu fosforu v rostlině v závislosti na vzrůstající koncentraci fosforu půdního roztoku, po kterém následuje stagnace indikující „hladinu nasycení“ rostliny fosforem. Z tohoto pohledu lineární kalibrace vztahu se jeví „jako správnější“. Průsečík dvou lineárních linií signalizuje jakýsi bod zlomu, pokles zvyšování obsahu P v rostlině s růstem koncentrace P půdního roztoku.



Obr. 15. Vztah mezi koncentrací fosforu simulovaného půdního roztoku stanoveného kolorimetrií a obsahem fosforu v testovací rostlině



Obr. 16. Vztah mezi koncentrací fosforu simulovaného půdního roztoku stanoveného ICP-AES a obsahem fosforu v testovací rostlině

Tab. IX. Sumarizace výsledků vhodné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku odvozených z vegetačních experimentů ve fytotronu konceptem diagnostiky fosforu v testovací rostlině.

Koncept diagnostiky obsahu fosforu v rostlině	Vhodná koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku (mg P/L)		
	Spodní	Horní	
		Lineární přístup	Regrese 2polynomu
Kolorimetrie	0,3	1,1	1,4
ICP-AES	0,9	2	2,4

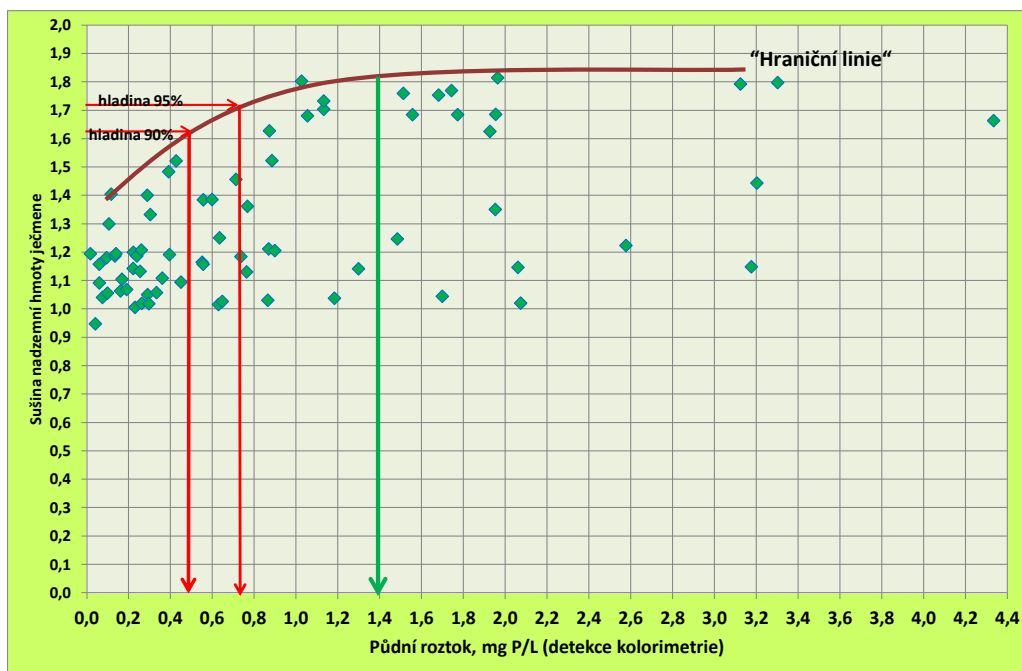
4.2. Odvození vhodné koncentrace fosforu simulovaného půdního roztoku pomocí konceptu hraniční linie

Koncept hraniční linie zavedl Webb (1972) pro vyhodnocování biologických dat experimentů. Vychází z toho, že odezva rostliny například výnosem je výsledkem mnoha vegetačních faktorů. Nejvyšší hodnoty odezvy indikují optimální poměry kombinace faktorů. Při sledování jednoho faktoru, v našem případě reakce rostliny na koncentrace fosforu v půdním roztoku, maximum hraniční linie bodového pole závislosti bude indikovat optimální hodnotu koncentrace fosforu v půdním roztoku. Viz grafy (obr. 17 až 20), které jsou výsledkem studií 72 půd.

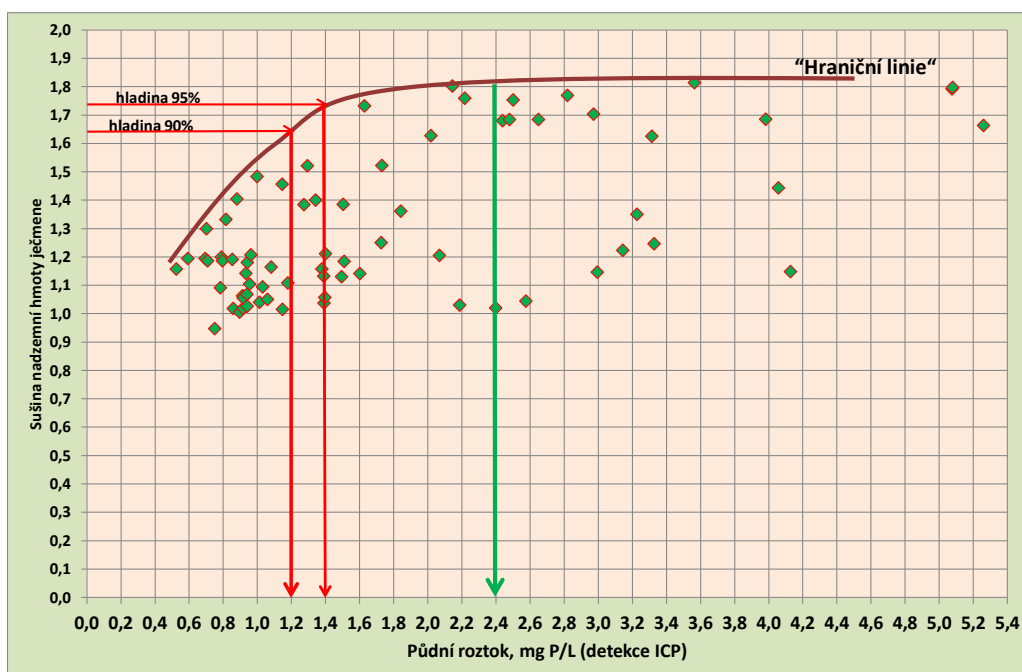
Tab. X. Informace o použitém souboru orných půd (72 lokalit ČR; profil 0-20 cm).

Statistické parametry	Základní agrochemické charakteristiky			Sušina nadzemní hmoty ječmene (g P/kg)	Simulovaný půdní roztok (mg P/L)	
	pH 0,2M KCl	C_ox %	CEC mmol/kg		Detekce kolorimetrie	Detekce ICP-AES
Minimum	3,55	0,85	59	1,83	0,016	0,258
25% Percentile	5,27	1,60	128	3,56	0,246	0,935
Medián	5,70	1,97	139	4,48	0,632	1,389
75% Percentile	6,28	2,46	154	5,35	1,498	2,458
Maximum	7,21	5,13	305	6,45	4,333	5,259
Průměr	5,77	2,15	146	4,37	0,946	1,801

4.2.1. Hraniční linie výnosu



Obr. 17. Odvození vhodné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku pro jeho detekci kolorimetrií konceptem hraniční linie výnosu

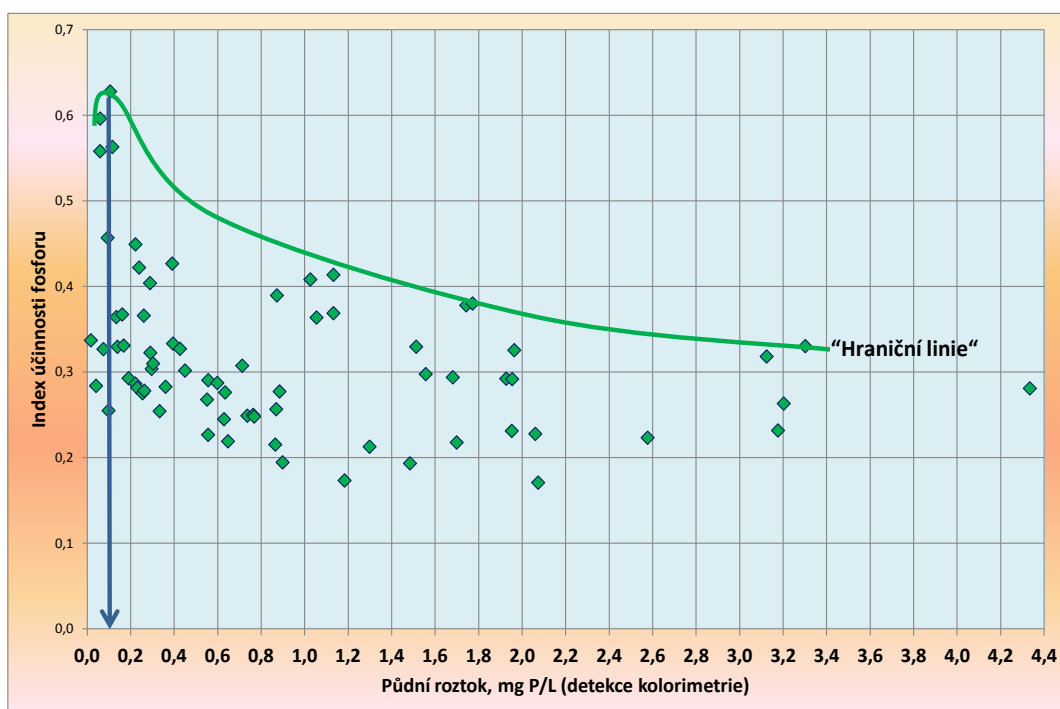


Obr. 18. Odvození vhodné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku pro jeho detekci ICP-AES konceptem hraniční linie výnosu

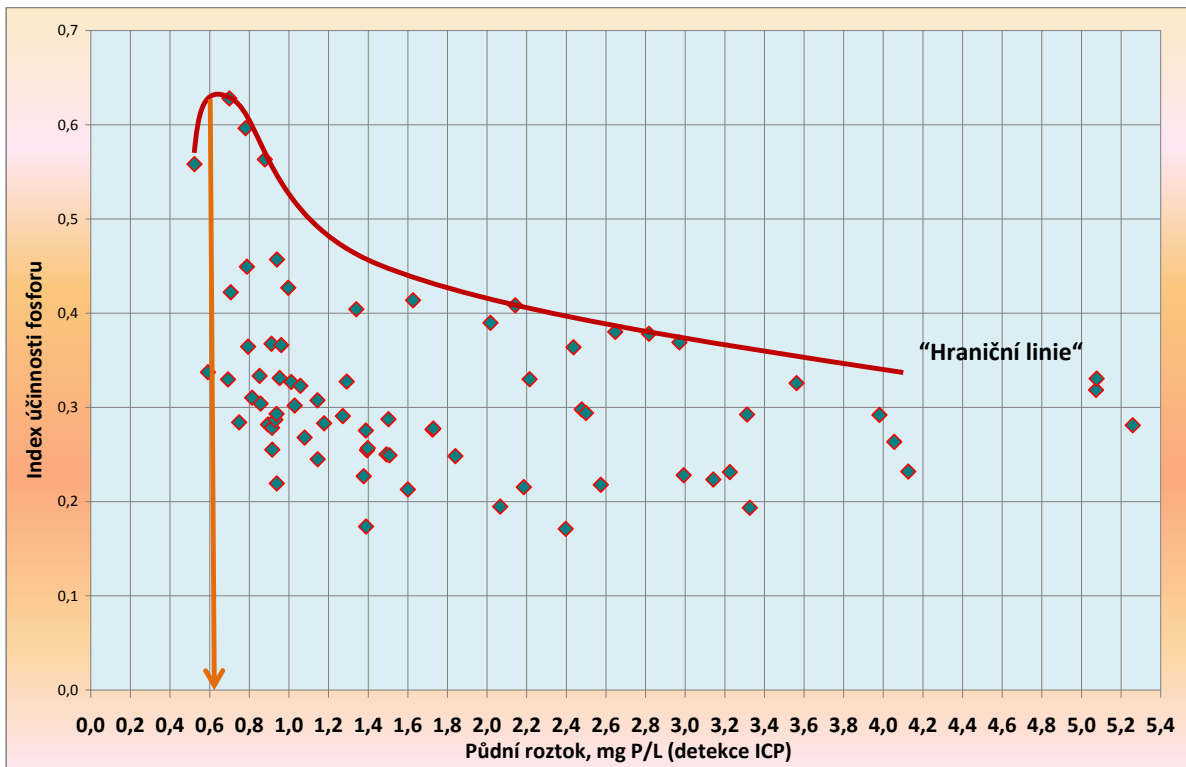
Problémem tohoto přístupu sledování odezvy tvorby sušiny ječmene je definovat maximum z důvodu jeho plochosti. Od maxima je dále odvozována tzv. kritická hodnota, která je vztahována k 95% nebo 90% hodnoty maxima.

4.2.2. Hraniční linie indexu účinnosti živiny

Z výše uvedeného důvodu obtížnosti plochosti maxima výnosu ke kalibraci hodnot půdního testu, v našem případě koncentrace P půdního roztoku, korigujeme výnosovou odezvu rostliny tzv. Indexem účinnosti živiny ($IÚ = \text{výnos} / \text{relativním obsahem živiny v sušině výnosu}$). Předností tohoto přístupu je ostře definované maximum hraniční linie, kdy dochází k nejefektivnějšímu využití živiny k tvorbě výnosu. Dosažené výsledky jsou uvedeny v grafech (obr. 19 a 20). Takto definovanou koncentraci fosforu v půdním roztoku lze považovat z agronomického pohledu za spodní hranici fosforu v půdním roztoku.



Obr. 19. Odvození vhodné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku pro jeho detekci kolorimetrií konceptem hraniční linie indexu účinnosti fosforu



Obr. 20. Odvození vhodné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku pro jeho detekci ICP-AES konceptem hraniční linie indexu účinnosti fosforu

Tab. XI. Sumarizace výsledků vhodné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku odvozených z vegetačních experimentů ve fytotronu konceptem hraniční linie.

Koncept hraniční linie	Vhodná koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku (mg P/L)			
	Index účinnosti fosforu na výnosu	Výnos		
		Kritická 90% maxima	Kritická 95% maxima	Maximum výnosu
Kolorimetrie	0,1	0,5	0,75	1,4
ICP-AES	0,6	1,2	1,4	2,4

Z agronomického pohledu optimalizace zátěže produkčních zemědělských půd labilním fosforem lze předpokládat dostatečnou koncentraci fosforu v simulovaném půdním roztoku v rozmezí 0,3-1,1 ppm P při detekci rozpustného reaktivního fosforu kolorimetrií; a v rozmezí celkového rozpustného fosforu 0,9-2 ppm P stanoveného ICP-AES technikou.

4.3. Ověřování výsledků vhodné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku ze studií ve fytotronu v přirozených podmínkách rostlinné výroby

Průzkum proběhl na 70-ti náhodně zvolených pozemcích s porosty pšenice z teritoria ČR. (Výjimečně na porostech ječmenů a v horších podmínkách, zvláště vyšších poloh, na porostech triticales.) Byly odebrány reprezentativní vzorky zemin ornice a nadzemní hmoty rostlin bezprostředně z bodů odběru půdních vzorků. Odebrané vzorky rostlin se nacházely ve fenofázi konce odnožování až počátku sloupkování. Vybrané údaje o monitorovacích bodech jsou uvedeny v následné tabulce, tab. XII.

Tab. XII. Charakteristiky ornice ověřovaných pozemků (70 lokalit ČR; profil 0-20 cm).

Statistické parametry	GPS nadmořská výška (m)	Základní agrochemické charakteristiky			Obsah P v sušině nadzemní hmoty obilnin (g P/kg)	Simulovaný půdní roztok (mg P/L)	
		pH 0,2M KCl	C _{ox} %	CEC mmol/kg		Detekce kolorimetrie	Detekce ICP-AES
Minimum	190	3,98	0,72	46	2,15	0,023	0,196
25% Percentile	253	5,10	1,06	123	2,69	0,157	0,482
Medián	376	5,63	1,30	142	3,44	0,392	0,780
75% Percentile	502	6,08	1,49	172	4,13	0,674	1,172
Maximum	594	7,06	2,92	310	7,22	2,511	3,326
Průměr	378	5,62	1,35	152	3,55	0,537	0,973

Dostatečná úroveň obsahu fosforu v rostlinách odpovídala následným koncentracím fosforu v simulovaném půdním roztoku:

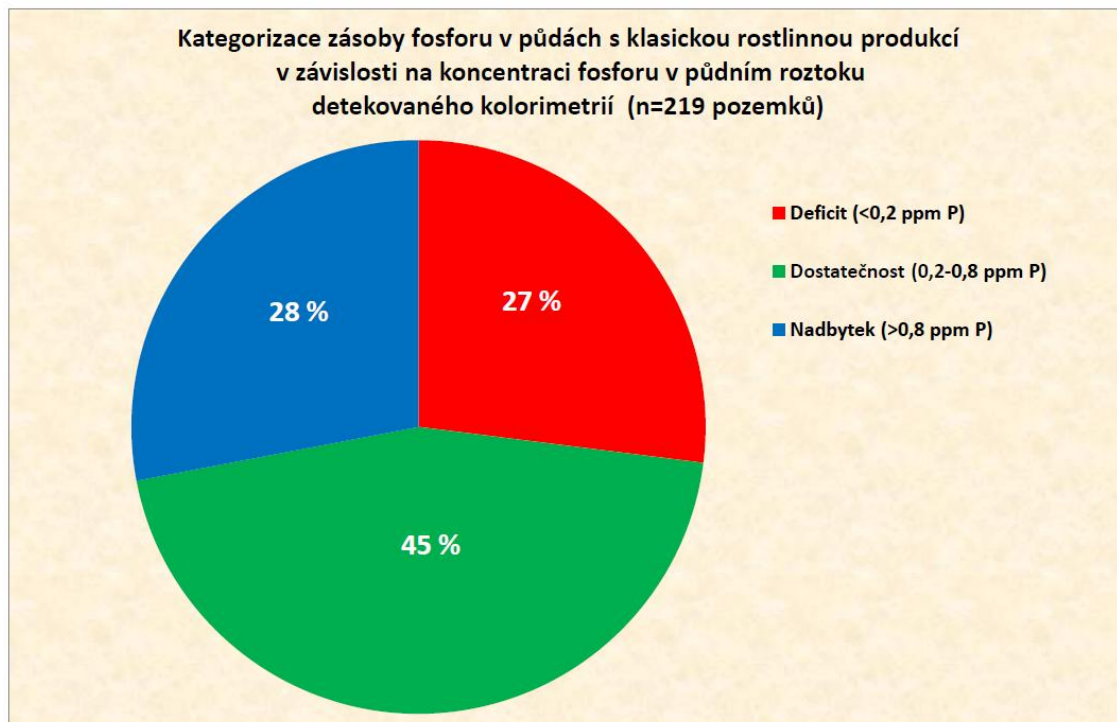
Tab. XIII. Výsledky ověřování vhodné koncentrace v simulovaném půdním roztoku v polních podmínkách.

Způsob detekce fosforu	Rozpětí vhodné koncentrace (mg P/L)
Kolorimetrie	0,2 – 0,8
ICP-AES	0,5 – 1,4

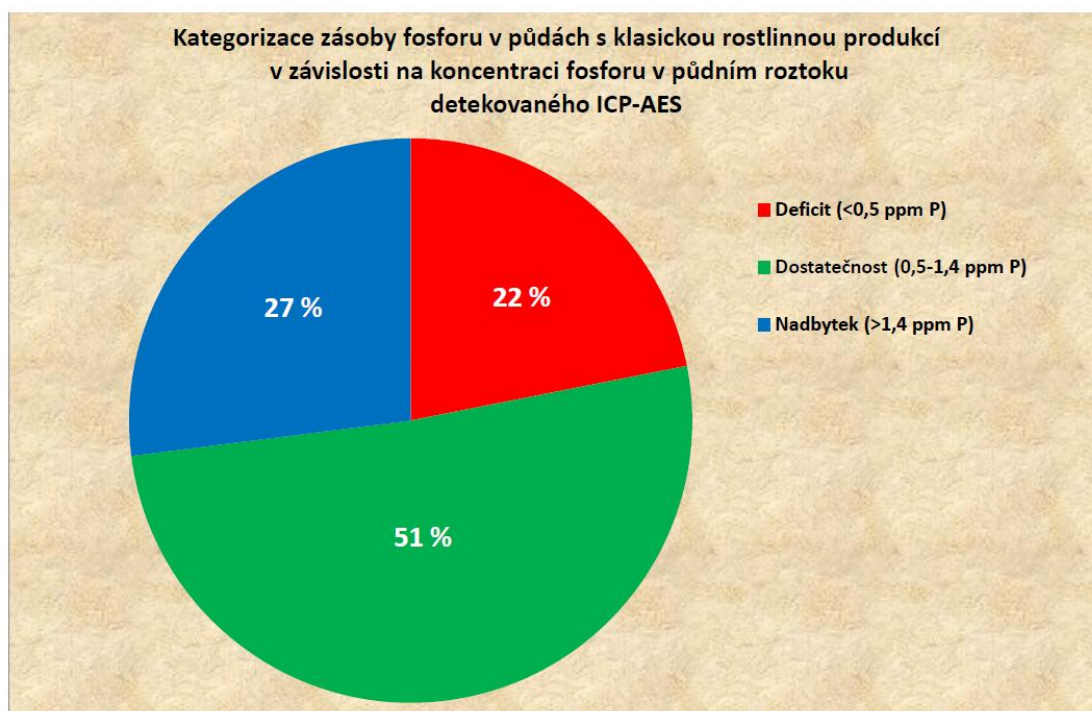
Údaje z reálných polních podmínek jsou v dobrém souladu s výsledky studií regresních vztahů mezi simulovaným půdním roztokem a reakcí testovací rostliny z experimentů ve fytotronu. Jeví se, že v přirozených podmínkách koncentrace P v simulovaném půdním roztoku by mohla být i v nepatrně nižších hodnotách, k zajištění dostatečné rostlinné produkce obilnin.

4.4. Průzkum kategorizace výživného stavu půd fosforem na základě údajů o vhodné koncentraci fosforu v simulovaném půdním roztoku v přirozených stanovištích zemědělských půd

4.4.1. Průzkum výživného stavu půd fosforem v půdách podniků s běžnou rostlinnou produkcí

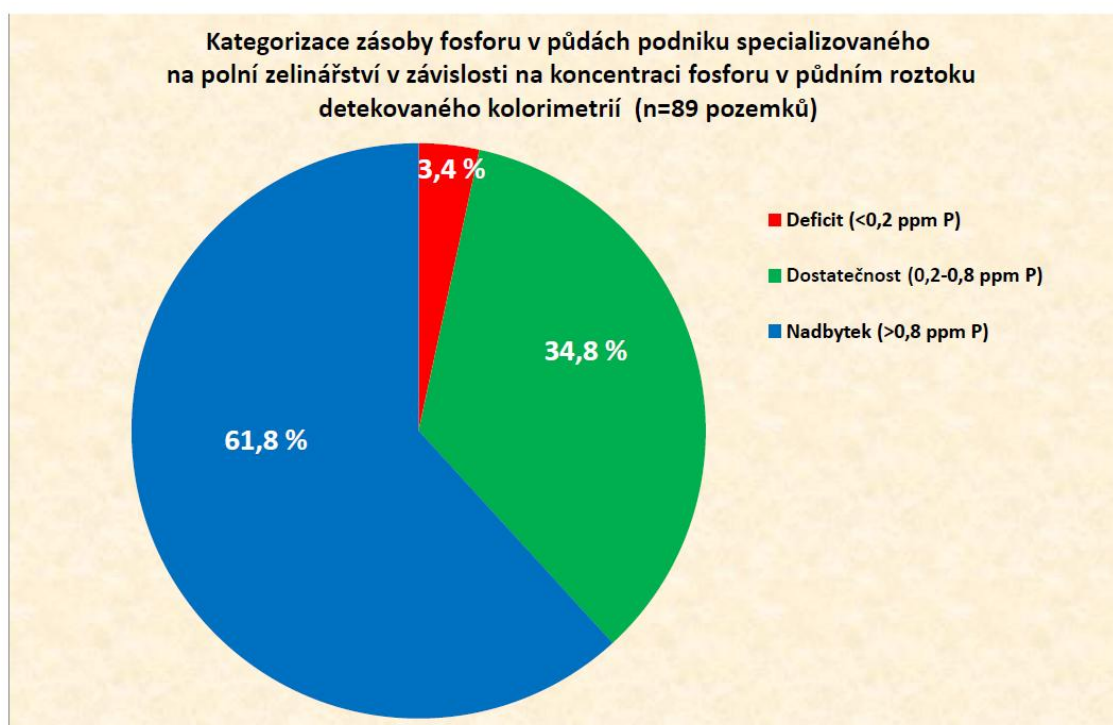


Obr. 21. Výsledky průzkumu kategorizace zásoby fosforu v půdách podniků s běžnou rostlinnou výrobou z konsensu produkčně-environmentálního při detekci fosforu v simulovaném půdním roztoku kolorimetrií

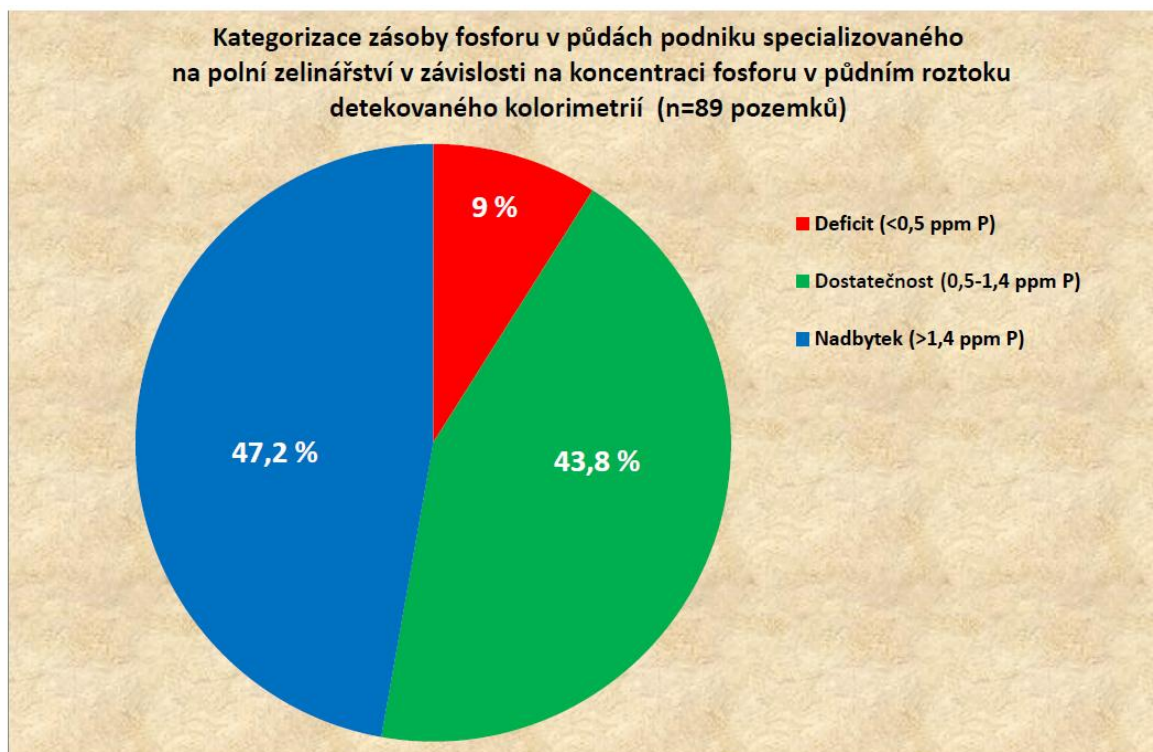


Obr. 22. Výsledky průzkumu kategorizace zásoby fosforu v půdách podniků s běžnou rostlinnou výrobou z konsensu produkčně-environmentálního při detekci fosforu v simulovaném půdním roztoku technikou ICP-AES

4.4.2. Průzkum výživného stavu půd fosforem v půdách podniku specializovaného na polní zelinářství



Obr. 23. Výsledky průzkumu kategorizace zásoby fosforu v půdách podniku specializovaného na polní zelinářství z konsensu produkčně-environmentálního při detekci fosforu v simulovaném půdním roztoku kolorimetrií



Obr. 24. Výsledky průzkumu kategorizace zásoby fosforu v půdách podniku specializovaného na polní zelinářství z konsensu produkčně-environmentálního při detekci fosforu v simulovaném půdním roztoku technikou ICP-AES

Mezi půdami z pozemků zemědělských podniků zabývajících se běžnou rostlinnou výrobou a specializovaných na polní produkci zelenin byly zjištěny výrazné rozdíly v kategoriích zásoby labilního fosforu. Výsledky dokumentují intenzivnější hnojení v zelinařicím podniku, kde kategorie nadbytečné zásoby fosforu v půdách z ekologicko-produkčního aspektu zaujímala kolem padesáti procent a minimu zastoupení P-deficitních půd pod 10%. Do určité míry vysoký podíl půd s nadměrnou zásobou fosforu v zelinařicím podniku může být v důsledku pěstování plodin s nižší osvojovací schopností (cibule, česnek, brambory, fazol, rajče ...).

Získané výsledky průzkumu optimalizace zásoby fosforu v zemědělských půdách z potřebného konsensu produkčně-environmentálního dokládají **potřebu inovace kalibrace výživného stavu půd fosforem**. Omezování kategorie nadměrné zásoby fosforu snižuje potenciální možnost zvýšeného úniku rozpustných forem fosforu ze zemědělských půd do odtokových vod. Takto získané úspory P-hnojiv je možno na druhou stranu využívat ke zvyšování výživného stavu deficitních půd fosforem. Inovovaná kategorizace z produkčně-ekologického aspektu, která bude informovat o zbytečném překračování hladin labilního fosforu a naopak o deficitu by měla být základem šetrného hospodaření s P-hnojivem v rostlinné výrobě. Stabilizace nižší hladiny fosforu v zemědělských půdách, která snižuje možnost úniku rozpustného fosforu mimo produkční pozemek, je možno kompenzovat při pěstování plodin s nižší

osvojovací schopností fosforu technikou lokální aplikace nižších startovacích dávek P-hnojiv do blízkosti semenného lůžka.

5. Možnost využití rutinních víceúčelových půdních testů ke kontrole výživného stavu půd fosforem z konsensu produkčně ekologického

Předpokladem využití rutinního testování půd ke kontrole a udržování zásoby fosforu v zemědělských půdách, která nebude převyšovat zásobu P k zajištění nezbytné rostlinné produkce, je dobrý soulad s ustalováním koncentrace rozpustných forem fosforu v půdním roztoku. Za tohoto předpokladu by bylo možno využívat metodu extrakce simulovaného půdního roztoku k re-kalibraci rutinních půdních testů z konsensu produkčně ekologického, aby v případě toku půdního roztoku vyvolaného srážkovou vodou byla minimalizována možnost úniku fosforu z produkčních ploch do odtokových vod.

Základní studie vztahů mezi koncentrací fosforu v extraktech víceúčelových půdních testů (extrakce vodou, extrakce octanem amonným s přidavkem fluoridu amonného a extrakcí Mehlich 3) a koncentrací fosforu v simulovaném půdním roztoku proběhly na souboru 90 půd, které vykazovaly značnou pestrost základních agrochemických charakteristik, viz tab. XIV.

Tab. XIV. Základní informace o experimentálním souboru orných půd.

Statistické parametry	Oxidovatelná organická hmota (%C)	Hodnota CEC mmol+/kg	pH 0,2 M KCl
Minimum	0,24	47	3,86
25% percentile	0,78	104	5,52
Medián	1,16	180	6,45
75% percentile	1,42	215	7,26
Maximum	3,00	340	7,70
Průměr	1,13	168	6,29
Koeficient variability (%)	42,3	40,7	16,2
Geometrický průměr	1,02	151	6,2

Koncentrace fosforu v extraktech půd byla stanovena kolorimetrií, pomocí tzv. redukované fosfomolybdenanové modři, která postihuje hlavně anorganický fosfor orthofosforečnanu a detekcí ICP-AES, která postihuje celkový rozpustný fosfor. Zjištěné údaje jsou uvedeny v tabulkách, tab. XV a XVI.

Tab. XV. Informace o parametrech koncentrace fosforu stanovených kolorimetrií v experimentálním souboru orných půd.

Statistické parametry	Půdní test (mg P/kg)			Simulovaný půdní roztok (mg P/L)
	Mehlich 3	NH ₄ -acetát	Voda (1:5)	
Minimum	29	1,9	0,9	0,099
25% percentile	93	8,4	3,25	0,481
Medián	128	13,3	5,6	0,981
75% percentile	209	30,0	10,7	2,358
Maximum	446	89,0	30,4	17,640
Průměr	158	21,9	7,6	2,300
Koeficient variability (%)	63	92	76	143
Geometrický průměr	130	15,5	5,7	1,147

Tab. XVI. Informace o parametrech koncentrace fosforu stanovených ICP-AES v experimentálním souboru orných půd.

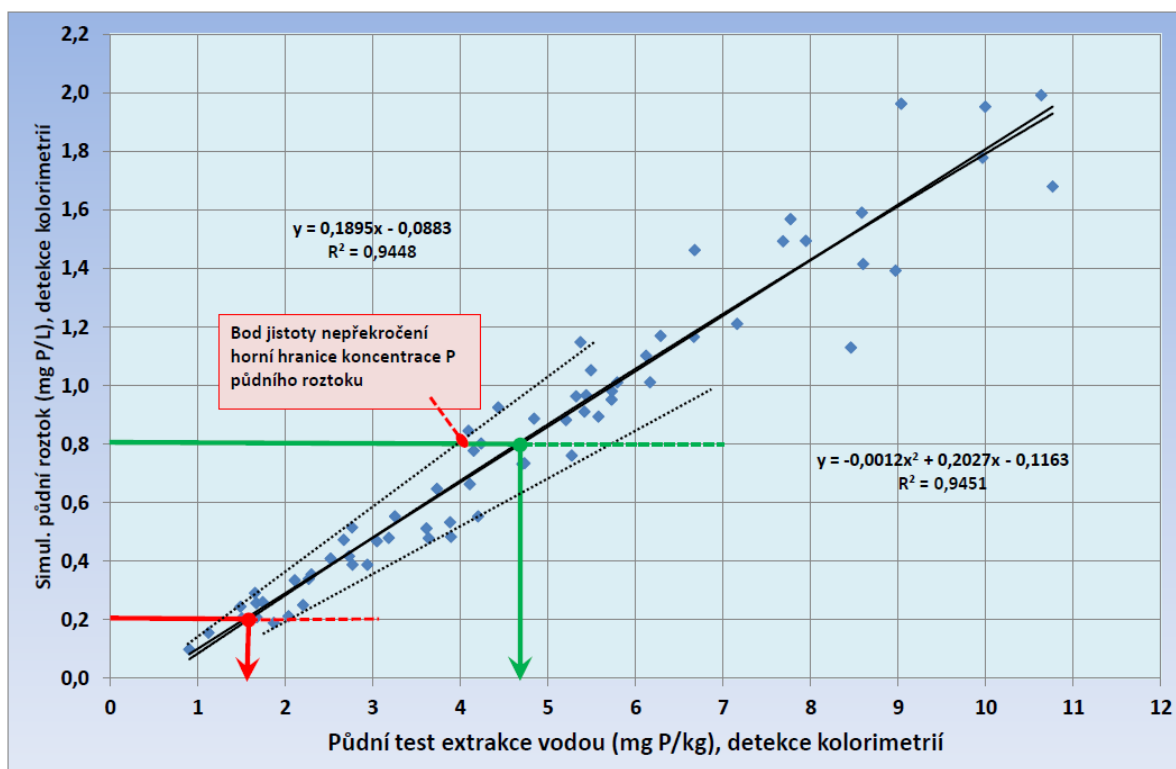
Statistické parametry	Půdní test (mg P/kg)			Simulovaný půdní roztok (mg P/L)
	Mehlich 3	NH ₄ -acetát	Voda (1:5)	
Minimum	30	3,6	2,1	0,390
25% percentile	100	9,1	5,5	0,768
Medián	134	13,8	7,7	1,310
75% percentile	217	30,2	13,1	2,738
Maximum	475	89,5	33,1	18,570
Průměr	169	22,7	9,8	2,652
Koeficient variability (%)	64	88	62	128
Geometrický průměr	139	16,7	8,2	1,585

Na základě předchozích studií vztahu koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku a odezvou rostlin za účelem zjištění potřebné koncentrace fosforu v půdním roztoku pro rostliny v přirozených podmínkách bylo použito následné rozpětí dostatečné koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku:

- pro detekci kolorimetrií **0,2 – 0,8 mg P/L,**
- pro ICP-AES detekci **0,5 – 1,4 mg P/L.**

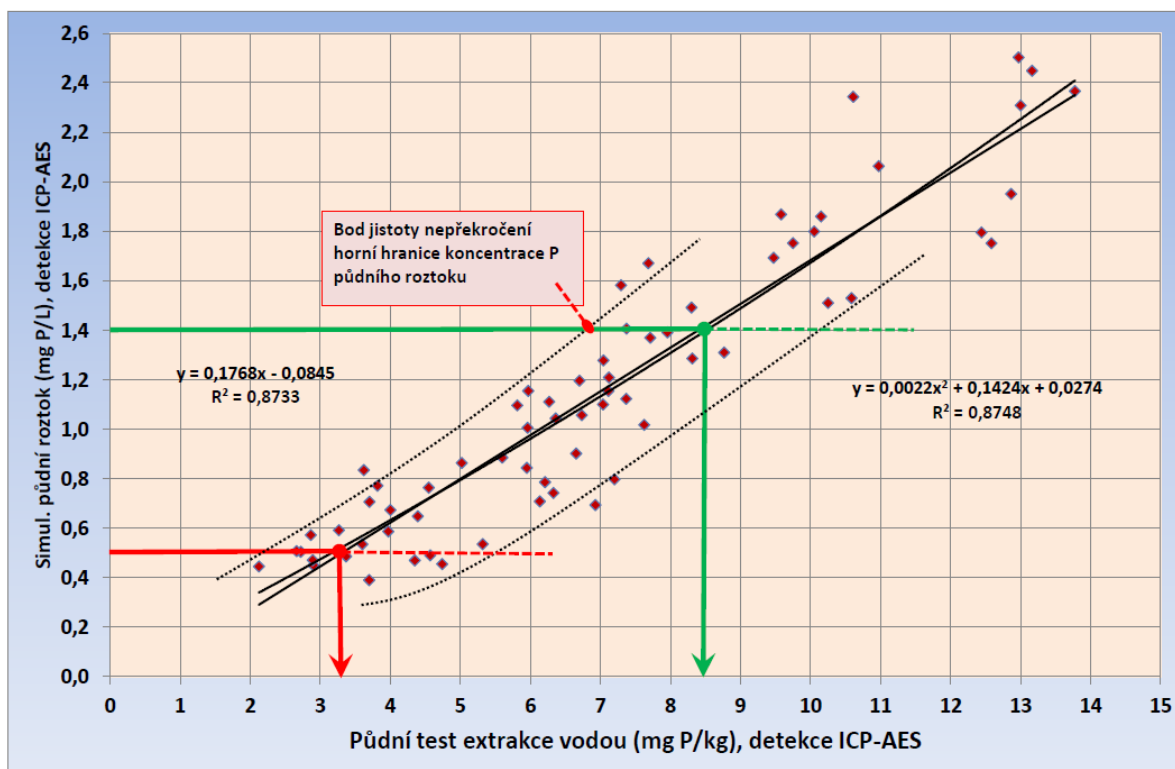
Nejtěsnější vztah mezi koncentrací fosforu v simulovaném půdním roztoku a půdním testem byl zjištěn pro půdní test extrakce půd vodou (1:5; w/v), méně těsný pro extrakci půd acetátem amonným s přidávkou fluoridu amonného a velmi slabý pro půdní test Mehlich 3. V následném textu budou zjištěné vztahy graficky dokumentovány.

5.1. Půdní test extrakce vodou



Obr. 25. Vztah mezi půdním testem extrakce vodou a koncentrací fosforu v simulovaném půdním roztoku pro detekci fosforu kolorimetří

Při posuzování dostatečnosti zásoby fosforu v půdách půdním testem extrakcí vodou a detekcí fosforu v extraktu kolorimetří redukované fosfomolybdenanové modří by se průměrné hodnoty půdního testu měly pohybovat od **minima 1,6 mg P/kg** do **maxima 4,7 mg P/kg půdy**. Z pohledu jistoty nepřekročení maximální koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku 0,8 ppm P by horní hranice půdního testu neměla převyšovat **4 mg P/kg**.



Obr. 26. Vztah mezi půdním testem extrakce vodou a koncentrací fosforu v simulovaném půdním roztoku pro detekci fosforu ICP-AES

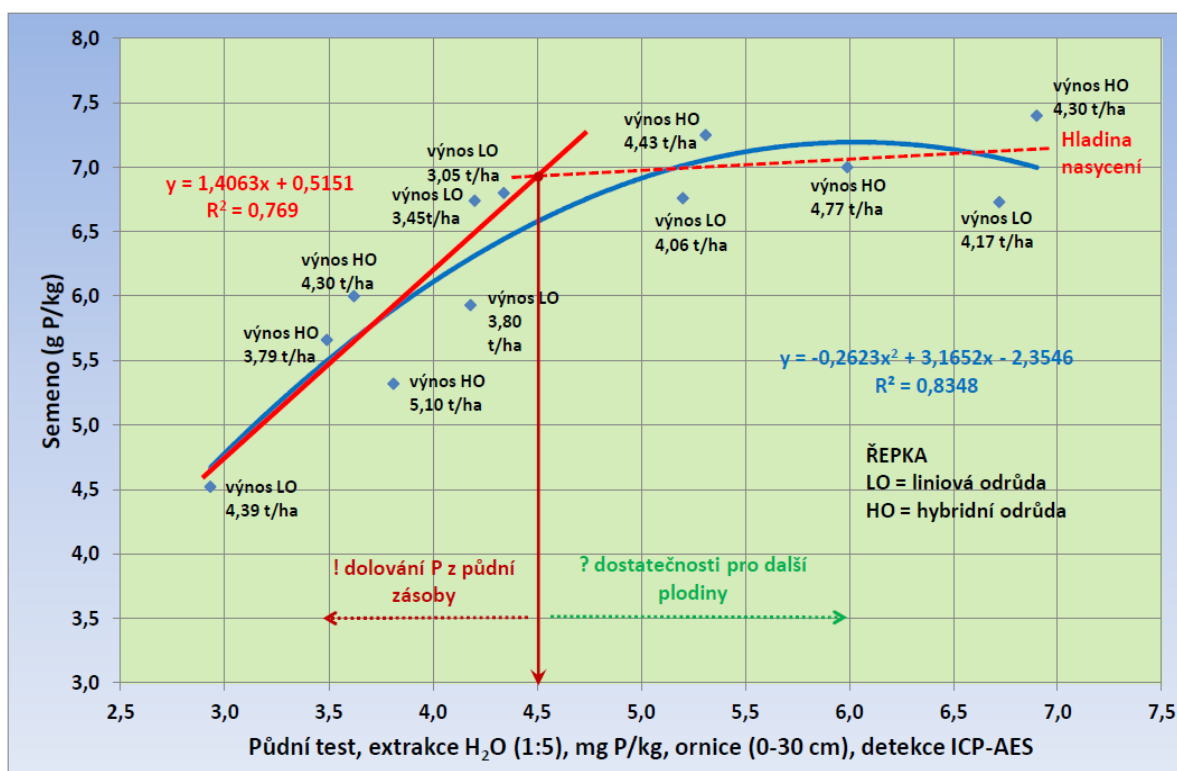
Při posuzování dostatečnosti zásoby fosforu v půdách půdním testem extrakcí vodou a detekcí fosforu v extraktu technikou ICP-AES by se průměrné hodnoty půdního testu měly pohybovat od **minima 3,2 mg P/kg** do **maxima 8,4 mg P/kg půdy**. Těsnost vztahů mezi koncentrací P v simulovaném půdním roztoku a půdním testem extrakcí vodou při ICP-AES detekci byla méně těsná než při kolorimetrii, kolerační pole bylo o něco širší. Z pohledu jistoty nepřekračování maximální koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku 1,4 ppm P by horní hranice půdního testu neměla převyšovat **7 mg P/kg**.

V osvojovací schopnosti zemědělských plodin jsou značné rozdíly. Mezi plodiny s nízkou schopností patří cibule, česnek, rajče, brambory i kukuřice. Na druhou stranu extrémní osvojovací schopnost vykazuje řepka olejka, která je schopna dosahovat dobrých výnosů i při nízké zásobě labilního fosforu v půdě. Na následném grafu jsou sumarizovány výsledky poloprovozních pokusů s řepkou z rozdílných lokalit ČR se záměrem kalibrace půdního testu extrakce vodou z produkčního aspektu, kde byl zvolen obsah P v semenu. Obsah fosforu v semenu řepky odráží průběh výživných podmínek fosforem během celé vegetace.

Optimum zásoby P v půdě půdním testem extrakcí vodou bylo identifikováno průsečíkem strmé linie vzrůstu P v semenu a hladinou stagnace „nasyčení“. Otázkou je zde, zdali hodnota **4,5 mg P/kg** půdního testu extrakce vodou při detekci fosforu ICP-AES bude dostatečná i pro ostatní plodiny.

Většina osvojeného fosforu řepkou je z více jak 80 % uložena v semenu, a tím je výnosem semene transportována sklizní z pozemku. Půda je ochuzovaná o dostupné formy fosforu. V případě, když se výživnému stavu půd nevěnuje patřičná pozornost, řepka je plodinou, která má schopnost snižovat zásobu fosforu v půdě až do deficitní oblasti pro ostatní plodiny.

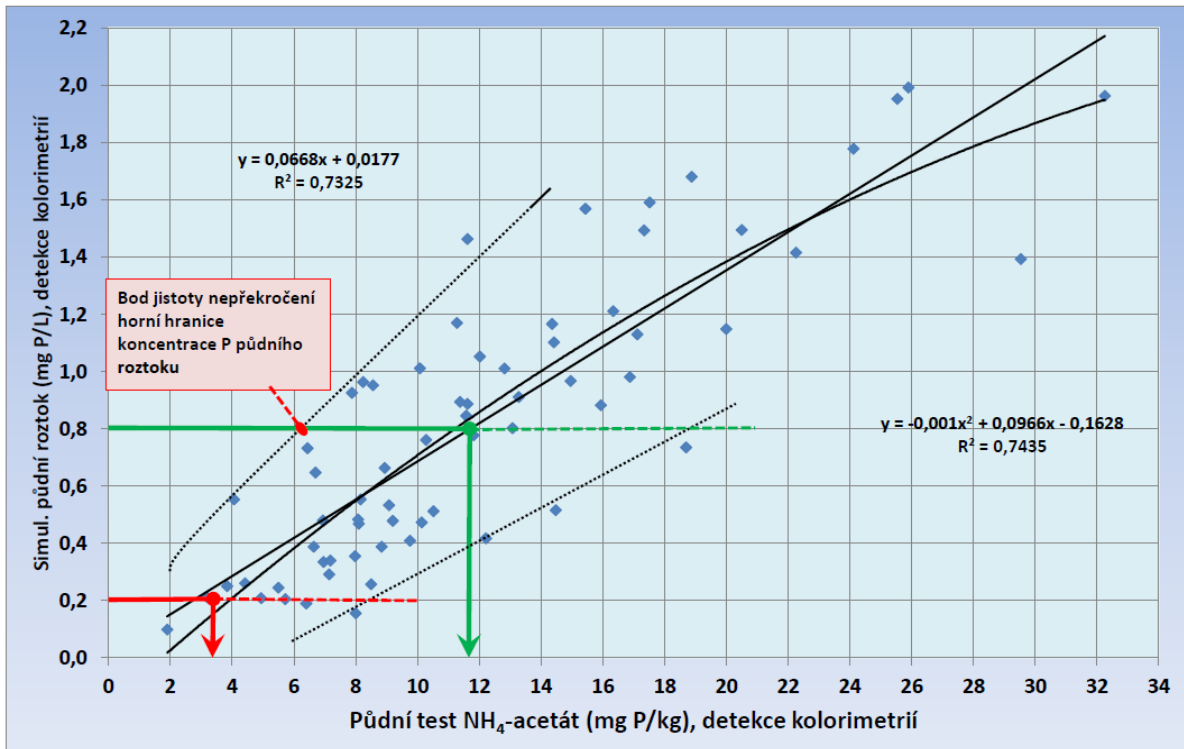
Z konsensu environmentálního a produkčního aspektu vyloučení možnosti překračování maximální koncentrace v simulovaném půdním roztoku (1,4 ppm P) je hodnota jistoty **7 mg P/kg** půdního testu extrakce vodou a detekce ICP-AES (viz předchozí graf, obr. 26). Lze předpokládat, že by tato hodnota měla být dostačující k zajištění řádné výživy i ostatních plodin.



Obr. 27. Kalibrace půdního testu extrakce vodou na základě výsledků polních pokusů s řepkou ozimou.

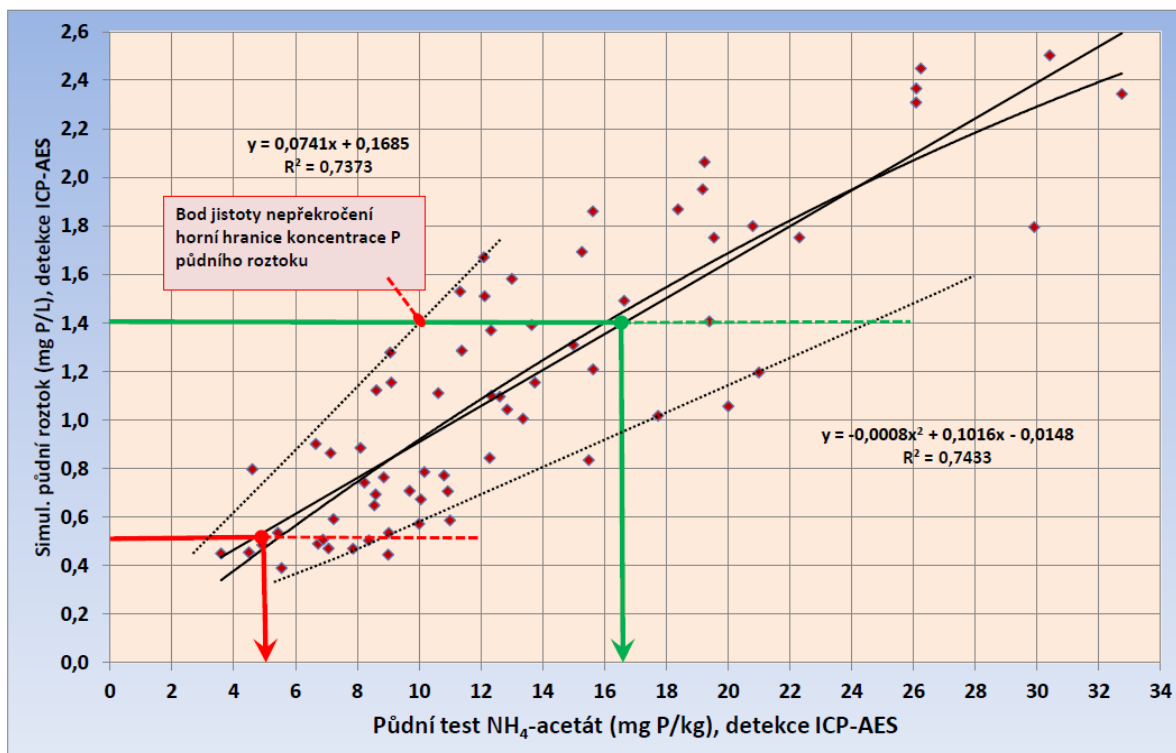
6.2. Půdní test extrakce acetátem amonným s přidavkem NH₄F

Při posuzování dostatečnosti zásoby fosforu v půdách půdním testem extrakcí acetátem amonným a detekcí fosforu v extraktu kolorimetrií redukované fosfomolybdenanové modří by se průměrné hodnoty půdního testu měly pohybovat od **minima 3,5 mg P/kg** do **maxima 12 mg P/kg** půdy. Z pohledu jistoty nepřekračování maximální koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku 0,8 ppm P by horní hranice půdního testu neměla převyšovat **6 mg P/kg**.



Obr. 28. Vztah mezi koncentrací fosforu v simulovaném půdním roztoku a půdním testem NH_4 -acetátem při detekci fosforu kolorimetrií.

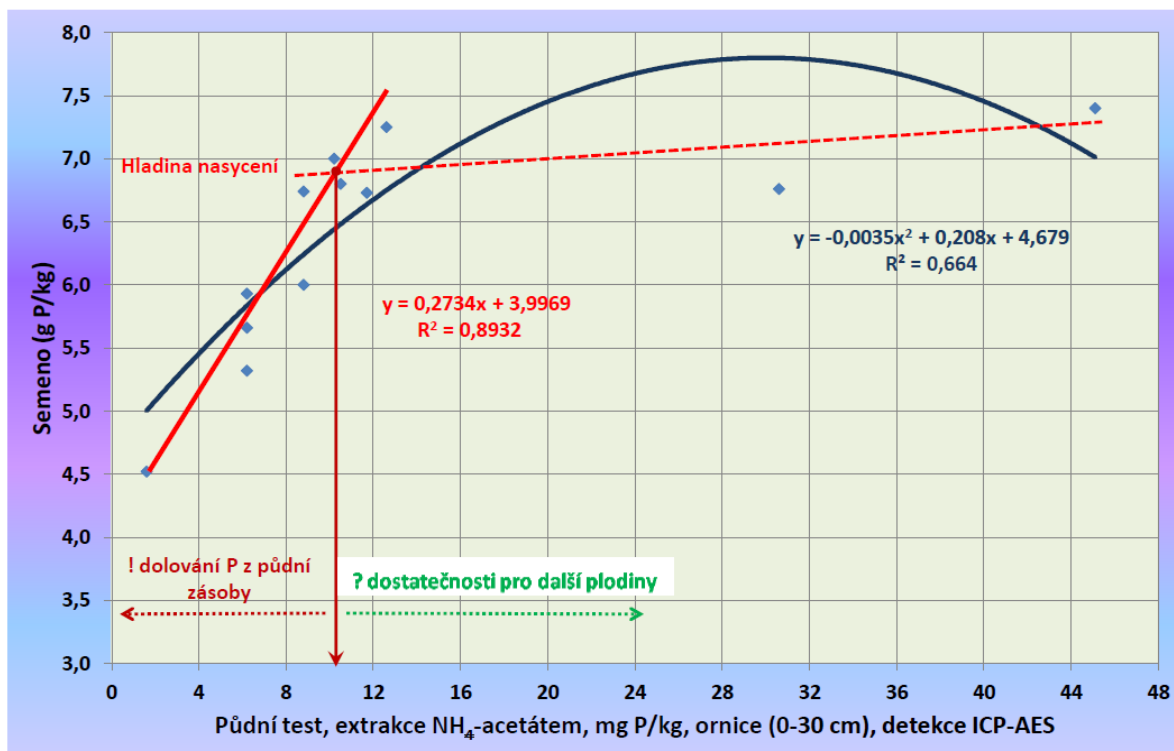
Při posuzování dostatečnosti zásoby fosforu v půdách půdním testem extrakcí acetátem amonným a detekcí fosforu v extraktu technikou ICP-AES by se průměrné hodnoty půdního testu měly pohybovat od **minima 5 mg P/kg** do **maxima 16,5 mg P/kg půdy**. Z pohledu jistoty nepřekračování maximální koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku 1,4 ppm P by horní hranice půdního testu neměla převyšovat **10 mg P/kg**.



Obr. 29. Vztah mezi koncentrací fosforu v simulovaném půdním roztoku a půdním testem NH_4 -acetátem při detekci fosforu ICP-AES.

Na grafu (obr. 30) jsou sumarizovány výsledky z poloprovozních pokusů s ozimou řepkou ke kalibraci půdního testu extrakce acetátem amonným.

Z produkčního hlediska zajištění dostatečné výživy fosforem řepky olejky, odvozené ze strmého lineárního vzrůstu obsahu fosforu v semenu v závislosti na stoupající P-hodnotě půdního testu, v kombinaci s hladinou „nasyčení“ tj. bez odezvy zvyšování obsahu fosforu v semenu na vzrůstající P-hodnotě půdního testu. Plně dostačující hodnota půdního testu acetátem amonným se pohybuje kolem **10 mg P/kg** půdy. Opět je zde otázka dostatečnosti této hodnoty zásoby P v půdě pro ostatní plodiny.



Obr. 30. Kalibrace půdního testu NH_4 -acetátem na základě výsledků polních pokusů s řepkou ozimou.

Snímek porostu kukuřice s typickými příznaky deficitní výživy fosforem byl pořízen v oblasti intenzivního pěstování řepky bez pozornosti doplňování zvýšeného transportu fosforu sklizní semenem řepky. Hodnota půdního testu extrakce půdy acetátem amonným daného pozemku se pohybovala kolem 12 mg P/kg půdy, která je plně dostatečná pro řepku, ale ne již pro kukuřici s nižší osvojovací schopností fosforu.

Z ekologického pohledu, udržování nižších hodnot labilního fosforu v půdě se snižuje možnost úniku fosforu do odtokových vod při intenzivních srážkách.

Při pěstování plodin s nižšími osvojovacími schopnostmi se nabízí technologie lokální aplikace P-hnojiv do oblasti blízkosti pod semenným lůžkem, která zajistí dostatečnou úroveň výživy fosforem v krizovém období počáteční nedostatečně rozvinuté kořenové sítě a následně stimuluje vitalitu porostu a jeho dobrou výnosovou odezvu i v podmínkách nižších hodnot labilního fosforu v celém objemu ornice.



**Půdní test
extrakce půdy
acetátem amonným
11,8 mg P/kg (ICP-AES)**

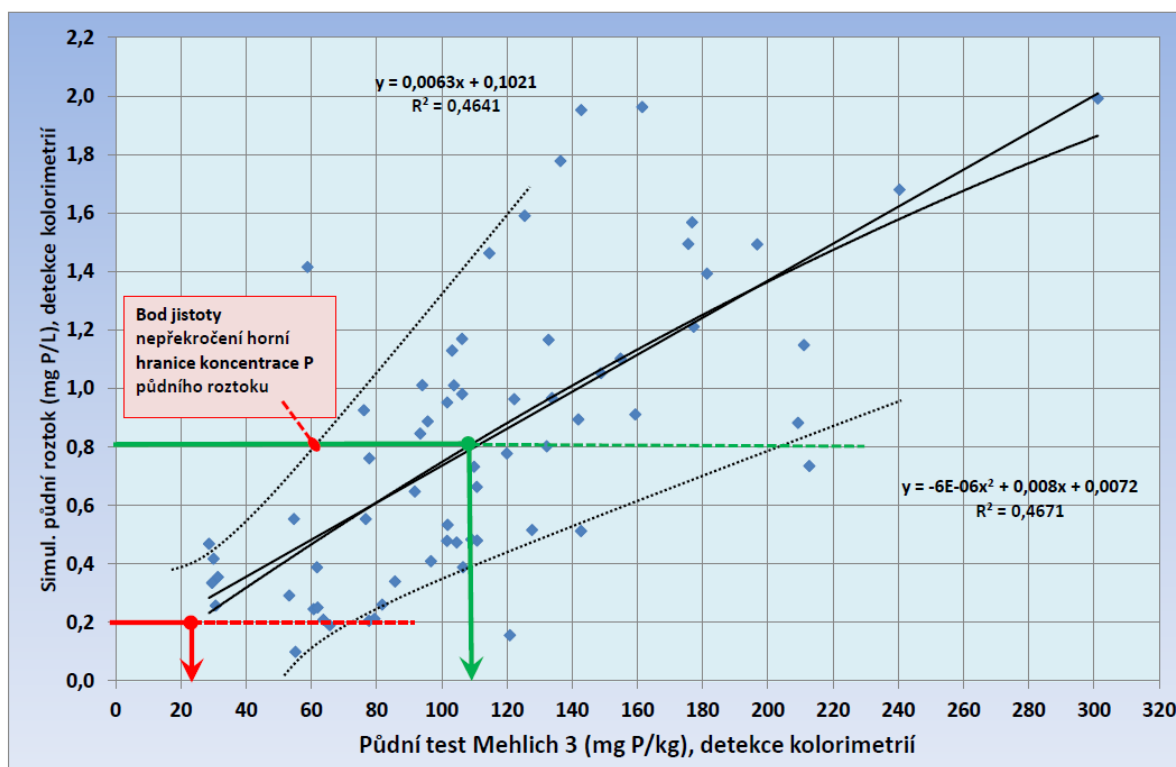
**Čepele listů:
1,55 g P/kg sušiny**

Obr. 31. Porost kukuřice s vizuálními symptomy deficitu výživy fosforem

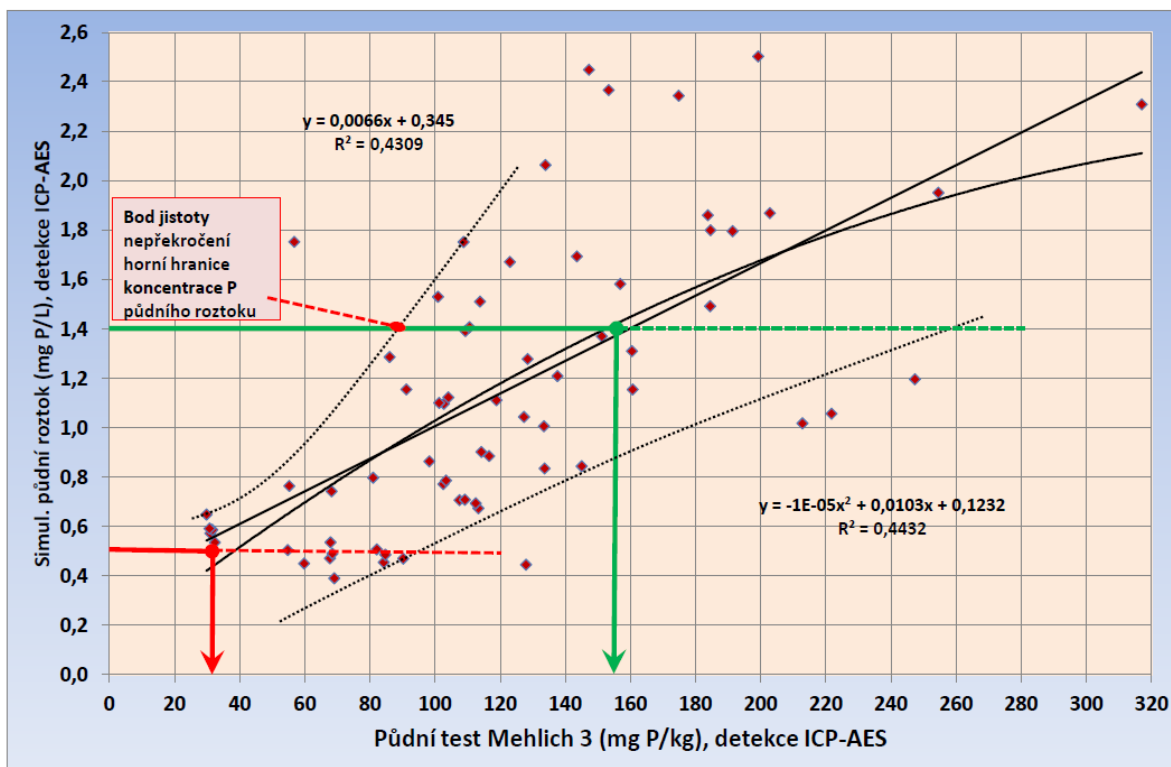
6.3. Půdní test Mehlich 3

Kolerační pole závislosti koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku a P-hodnot půdního testu Mehlich 3 je extrémně široké s nízkým trendem závislosti, což prakticky vylučuje možnost univerzálního využití P-hodnot půdního testu Mehlich 3 z ekologického aspektu minimalizace možnosti případného úniku fosforu z pozemku s odtokovou vodou. Re-kalibrace P-hodnot půdního testu Mehlich 3 z environmentálního aspektu vyžaduje proto individuální přístup na základě studia vztahů mezi půdním testem a ustalováním koncentrace P v simulovaném půdním roztoku v konkrétních půdních podmínkách, agrochemických charakteristikách půd.

Obecně v důsledku širokého rozpětí lze odvodit, na základě našeho studia pestrého souboru o extrémně rozdílných základních agrochemických charakteristikách půd (které je však běžné v rámci ČR), pouze bod jistoty nepřekročení environmentální horní hranice koncentrace fosforu v půdním roztoku. **V případě detekce fosforu kolorimetrií by neměl překračovat hodnotu 60 mg P/kg a v případě detekce fosforu ICP-AES 90 mg P/kg.**



Obr. 32. Vztah mezi koncentrací fosforu v simulovaném půdním roztoku a půdním testem Mehlich 3 při detekci fosforu kolorimetrií



Obr. 33. Vztah mezi koncentrací fosforu v simulovaném půdním roztoku a půdním testem Mehlich 3 při detekci fosforu ICP-AES

6. Stručný popis extrakčních půdních testů

6.1. Půdní test extrakce vodou

- Navážka 20g jemnozeme (na vzduchu vyschlé zeminy, proseté přes 2 mm síto) do extrakční plastové nádoby s uzávěrem o objemu 200 ml.
- Přídavek 100 ml destilované vody.
- Třepání 1 hodina.
- Slití extraktu do centrifugační kyvety.
- Centrifugace 5 minut při relativní odstředivé síle (g) 12 600 – 12 700 g a teplotě 20°C. (Relativní odstředivá síla je závislá na poloměru rotoru odstředivky a počtu otáček, které u vysokorychlostních centrifug s robustním rotorem odpovídají 9 000 otáčkám za minutu, tj. běžnému maximu dovoleného zatížení centrifugy).
- Filtrace přes promyté suché filtry (Whatman no. 40 nebo Filtrakt 389) k zachycení případných plovoucích organických nečistot.
- Bezodkladná detekce koncentrace fosforu v extraktu (kolorimetrií, ICP-AES technikou).

6.2. Půdní test extrakce acetátem amonným

- Extrakční roztok - 0,5 M roztok octanu amonného (38,4 g/1000 ml H₂O) s přídavkem fluoridu amonného (0,56 g/1000 ml); upravit pH na hodnotu 7, podle potřeby kyselinou octovou nebo čpavkovou vodou.
- Navážka 5g jemnozeme (na vzduchu vyschlé zeminy, proseté přes 2 mm síto) do 150 ml plastové kádinky.
- Přelití 100 ml extrakčního roztoku, zamíchá se, překryje se víčkem a nechá stát přes noc.
- Poté se obsah kádinky intenzivně 4x promíchá skleněnou tyčinkou, minimálně v pěti minutových intervalech. Poslední promíchání těsně před filtrací.
- Filtrace přes promyté suché filtry (Whatman no. 40 nebo Filtrakt 389). Obsah kádinky se postupně převádí do nálevky s filtračním papírem střední porosity.
- Bezodkladná detekce koncentrace fosforu ve filtrátu extraktu (kolorimetrií, ICP-AES technikou).

6.3. Půdní test Mehlich 3

- Navážka 10g jemnozeme (na vzduchu vyschlé zeminy, proseté přes 2 mm síto) do extrakční plastové nádoby s uzávěrem o objemu 200 ml.
- Přídavek 100 ml extrakčního činidla Mehlich 3.
- Třepání 10 minut.
- Filtrace přes promyté suché filtry (Whatman no. 40 nebo Filtrakt 389).
- Bezodkladná detekce koncentrace fosforu ve filtrátu extraktu (kolorimetrií, ICP-AES technikou).

7. Sumarizace parametrů vhodné zásoby fosforu v půdách z konsensu environmentálně produkčního aspektu

7.1. Simulovaný půdní roztok

Tab. XVII. Parametry odvozené z experimentů ve fytotronu

Koncept diagnostiky obsahu fosforu v rostlině	Vhodná koncentrace fosforu v simulovaném půdním roztoku (mg P/L)		
	Spodní	Horní	
		Lineární přístup	Regrese 2polynomu
Kolorimetrie	0,3	1,1	1,4
ICP-AES	0,9	2	2,4

Tab. XVIII. Parametry odvozené z polních podmínek

Způsob detekce fosforu	Rozpětí vhodné koncentrace (mg P/L)
Kolorimetrie	0,2 – 0,8
ICP-AES	0,5 – 1,4

7.2. Víceúčelové půdní testy

Tab. XIX. Produkčně environmentální P-parametry půdních testů

Půdní test	Způsob detekce fosforu	Průměrné hodnoty půdních testů (mg P/kg)		Bod jistoty půdního testu nepřekročení horní hranice koncentrace P simul. půdního roztoku (mg P/kg)
Extrakce vodou (1:5, w/v)	kolorimetrie	1,6	4,7	4
	ICP-AES	3,2	8,4	7
Extrakce NH ₄ -acetátem	kolorimetrie	3,5	12	6
	ICP-AES	5	16,5	10
Extrakce Mehlich 3	kolorimetrie	?	?	60
	ICP-AES	?	?	90

Popis uplatnění metodiky

Posláním metodiky je inovace metodických postupů k realizaci šetrného využívání přírodních zdrojů fosforu z půd a hnojiv, jejichž zdroje na Zemi jsou z globálního aspektu dlouhodobé prosperity lidstva – civilizace značně omezeny. Metodika řeší problematiku kontroly a řízení efektivního užití fosforu v agrárním sektoru s cílem vyloučit nadbytečnou ekologickou zátěž vytvářenou agrárním sektorem.

Specifikuje kritéria horní hranice zásoby zemědělských půd fosforem potřebné k zajištění nezbytné rostlinné produkce z environmentálního aspektu, která sníží nežádoucí kontaminaci vodních zdrojů. Řeší rovněž dolní hranice zásobenosti půd fosforem, aby nedocházelo k degradaci produkční schopnosti půdy. Nadměrný přívod rozpustných forem fosforu do povrchových vod je podstatnou příčinou jejich eutrofizace, tj. znehodnocování vod pro život a chov ryb, využívání vod jako zdrojů pitné a užitkové vody, a rovněž i využití vodních ploch k rekreačním účelům obyvatelstva.

Přes dlouholetou historii hnojení zemědělských půd fosforem v agronomických kriteriích hodnocení výživného stavu půd existuje nedostatečná argumentace, experimentální podklady k definování nezbytnosti horních hranic zásobenosti našich půd fosforem i ze základního hlediska výše a kvality rostlinné produkce, a její efektivity. Metodika přispívá k odstranění daného nedostatku.

Účelem metodiky je sladit agronomický aspekt s environmentálním tak, aby odtoková voda ze zemědělských pozemků neobsahovala nadbytečné koncentrace vodorozpustného fosforu, který by snižoval užitnou hodnotu krajiny pro člověka, a přitom, aby bylo dosaženo i potřebné rostlinné produkce.

Jedná se o metodický prostředek kontroly a řízení výživného stavu půd fosforem, který bude směřovat k minimalizaci zátěže životního prostředí (vod a půd) kulturní krajiny nadměrným fosforem ze zemědělské činnosti - hnojení půd. Umožní lepší efektivity využívání fosforu z půdní zásoby a hnojiv v rostlinné produkci a stanovuje limity ochrany půdy před degradací její produkční schopnosti.

Dosažené výsledky jsou využitelné v agronomické a vodohospodářské sféře.

Použitá literatura

Baldwin D.S. (1998): Reactive “organic” phosphorus revisited. *Water Research*, 32 (8): 2265-2270.

Bergmann W., Neubert P. (1976): *Pflanzendiagnose und pflanzenanalyse*. VEB Gustav Fisher Verlag Jena.

Dahnke W.C., Olson R.A. (1990): Soil test correlation, calibration, and recommendation. In: *Soil testing and plant analysis* (ed. R.L. Westerman), Number 3 in the Soil Science Society of America Book Series, Madison, Wisconsin, USA: 45-71.

Delgado A., Scalenghe R. (2008): Aspects of phosphorus transfer from soils in Europe. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2008, 171: 552–575.

Denison R.F., Kiers E.T. (2005): Sustainable crop nutrition: constraints and opportunities. In: *Broadley M.R., White P.J. (eds) Plant Nutritional genomics*, Oxford, Blackwell, 2005: 242-286.

Fixen P.E. (2005): Decision support systems in integrated crop nutrient management. In: *Proceedings 569, The International Fertilizer Society*, York, UK.

- Haygarth P.M., Hepworth L., Jarvis S.C. (1998): Forms of phosphorus in hydrological pathway from soil under grazed pasture. *European J. Soil Sci.* 49: 65-72.
- Hussain A., Murtaza G., Ghafoor A., Mehdi S.M. Sabir M. (2010): Assessment of phosphorus requirements of wheat on different textured alluvial soils through Freundlich type equations. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 41: 2413-2431.
- Isherwood K.F. (2003): Fertiliser consumption and production: Long term world prospects. *Proceeding 507, The International Fertiliser Society, York, UK.*
- Jones J.B., Jr., Wolf B., Mills H.A. (1991): *Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, Georgia, USA.*
- Kowalenko C.G., Babuin D. (2007): Interference problems with phosphoantimonymolybdenum colorimetric measurement of phosphorus in soil and plant materials. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 1299-1316.
- Matula J. (1996): Determination of potassium, magnesium, phosphorus, manganese and cation exchange capacity for fertilizer recommendations used by Czech Union of Rapeseed Growers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27: 1679–1691.
- Matula J. (2009): Possible phosphorus losses from the top layer of agricultural soils by rainfall simulations in relation to multinutrient soil tests. *Plant, Soil and Environment*, 55: 511–518.
- Matula J. (2010): Differences in available phosphorus evaluated by soil tests in relation to detection by colorimetric and ICP-AES techniques. *Plant, Soil and Environment*, 56: 297–304.
- Matula J. (2011): Determination of dissolved reactive and dissolved total phosphorus in water extracts of soils. *Plant, Soil and Environment*, 57: 1–6.
- Matula J., Sychová M., Drmotová A. (2000): The effect of nitrogen fertilizers on pool of labile forms of sulphur and nitrogen in soil. *Rostlinná Výroba*, 46: 29–35.
- Matula J. (2011): Relationship between phosphorus concentration in soil solution and phosphorus in shoots of barley. *Plant, Soil and Environment*, 57, (7): 307-314.
- Matula J. (2011): Approach to control phosphorus levels in soils from agricultural and environmental aspects. *Proceedings of International Conference Soil, Plant and Food Interactions*, 6-8 September 2011, Brno, ISBN 978-807375-534-8: 291-309.
- Mengel K., Kirkby E.A. (1982): *Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern, Switzerland.*
- Reid W.V. et al (2005): *Millennium Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Universita Karlova v Praze, ISBN: 80-239-6300-7.
- Reid W.V., Scholas R. (2005): *Millennium Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington D.C.

- Russell E.J. (1948): *British agricultural research: Rothamsted*. Longmans, Green and Co., London, New York, Toronto.
- Sanchez P.A. (1976): *Properties and management of soils in the tropics*. John Wiley and Sons, New York, London, Sydney, Toronto.
- Schwab A.O. (2000): *The soil solution*. In: *Hand book of soil science* (ed. M.E. Sumner), CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: B-85-B-122.
- Sharpley A.N., Daniel T.C., Sims J.T., Pote D.H. (1996): Determining environmentally sound soil phosphorus levels. *J. Soil Water Conserv.*, 51: 160-166.
- Sharpley A.N., Kleinman P., McDowell R. (2001): Innovative management of agricultural phosphorus to protect soil and water resources. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32 (7-8): 1071-1100.
- Sharpley A.N., McDowell R.W., Kleinman P.J.A. (2004): Amounts, forms and solubility of phosphorus in soils receiving manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68: 2048-2057.
- Sharpley A.N., Smith S.J., Jones O.R., Berg W.A., Coleman G.A. (1992): Transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *Journal of Environmental Quality*, 21 (1): 30-35.
- Sims J.R., Haby V.A. (1971): Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Science*, 112: 137-141.
- Sims T. (2000): *Soil fertility evaluation*. In: *Hand book of soil science* (ed. M.E. Sumner), CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: D-113-D-1153.
- Skalar (1992): *Soil and plant analysis. Skalar methods*. Breda, The Netherlands.
- Skogley E.O. (1994): Reinventing soil testing for the future. In: *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations*. SSSA Special Publication, No. 40. Madison.
- Soil and Plant Analysis Council (SPAC), Inc. (1999): *Soil Analysis Handbook of Reference Methods*. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.
- Tisdale S.L., Nelson W.L. (1975): *Soil Fertility and Fertilizers*. 3rd edition. Collier Macmillan Publication, London, New York.
- Webb R.A. (1972): Use of the boundry line in the analysis of biological data. *Journal of Horticultural Science*, 47: 309-319
- White P.J., Brown P.H. (2010): Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* 105: 1073-1080.
- Worsfold P.J., Gimbert L.J., Mankasingh U., Omaka O.N., Hanrahan G., Gardolinski P.C.F.C., Haygarth P.M., Turner B.L., Keith-Roach M.J., McKelvie I.D. (2005): Sampling, sample treatment and quality assurance issues for the determination of phosphorus species in natural waters and soils. *Talanta*, 66: 273-293.
- Zbírál J. (2002): *Analýza půd I, jednotné pracovní postupy*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.

Publikace, které předcházely metodice

- Matula J. (2008): Význam základního hnojení, problémy ve výživě řepky. Sborník 20.21.11.2008 Hluk, SPZO, ISBN 978-80-87065-03-07: 132-139.
- Matula J. (2009): Význam základného hnojenia a diagnostiky výživného stavu pôdy pri výžive repky olejky, 1.časť. naše pole, odborný mesačník pre pestovateľov rastlín, 2/2009: 22–24.
- Matula J. (2009): Význam základného hnojenia a diagnostiky výživného stavu pôdy pri výžive repky olejky, 2.časť. naše pole, odborný mesačník pre pestovateľov rastlín, 3/2009: 22–23.
- Matula J. (2009): Aktuálnost efektivní zásoby fosforu v půdách. Úroda, odborný časopis pro rostlinnou produkci, 12/2009: 62–65.
- Matula J. (2009): Possible phosphorus losses from the top layer of agricultural soils by rainfall simulations in relation to multinutrient soil tests. *Plant, Soil and Environment*, 55: 511–518.
- Matula J. (2010): Differences in available phosphorus evaluated by soil tests in relation to detection by colorimetric and ICP-AES techniques. *Plant, Soil and Environment*, 56: 297–304.
- Matula J. (2011): Determination of dissolved reactive and dissolved total phosphorus in water extracts of soils. *Plant, Soil and Environment*, 57: 1–6.
- Matula J.(2011): Relationship between phosphorus concentration in soil solution and phosphorus in shoots of barley. *Plant, Soil and Environment*, 57, (7): 307-314.
- Matula J.(2011): Approach to control phosphorus levels in soils from agricultural and environmental aspects. *Proceedings of International Conference Soil, Plant and Food Interactions*, 6-8 September 2011, Brno, ISBN 978-807375-534-8: 291-309.

Autor: **doc. Ing. Jiří Matula, CSc.**
Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Drnovská 507, 161 06 Praha 6 - Ruzyně

Název: Inovace metod kontroly výživného stavu
zemědělských půd fosforem z konsensu
produkčního a environmentálního aspektu
šetrného využívání přírodních zdrojů

Vydal: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Sazba, tisk: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Náklad: 250 ks

Kontakt na autora: matula@vurv.cz; matula.jiri@email.cz

Vyšlo v roce 2012

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 2012
ISBN: 978-80-7427-110-6



Vydal Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2012