

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



**Martin Kulháněk, Jiří Balík, Václav Vaněk,
Daniela Pavlíková, Jindřich Černý**

**Využití analýz frakcí minerální síry v půdě
k optimalizaci hnojení**

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

(Osvědčení č.j. 22594/2013-MZE-17221 o uznání certifikované metodiky)

Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.

prof. Ing. Jiří Balík, CSc.

prof. Ing. Václav Vaněk, CSc.

prof. Ing. Daniela Pavlíková, CSc.

Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

**Certifikovaná metodika byla zpracována v rámci
řešení projektu NAZV č. QH 81202.**

Oponenti metodiky:

Prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc. – Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Ing. Michaela Budňáková – Ministerstvo zemědělství ČR

Praha 2013

Obsah

1. Cíle metodiky	3
2. Vlastní popis metodiky	3
3. Srovnání „novosti postupů“	3
4. Popis uplatnění metodiky	3
5. Úvod	4
6. Stanovení frakcí minerální síry a jejich využití pro optimalizaci hnojení.....	5
6.1. Hodnocení změn obsahů síry v dlouhodobých pokusech s využitím stanovení frakcí minerální síry	9
6.1.1. Výsledky	10
6.1.2. Dílčí závěry.....	13
6.2. Sledování obsahů minerálních forem S v půdě po dlouhodobém testování různých systémů hnojení	13
6.2.1. Výsledky	14
6.2.2. Dílčí závěry.....	14
7. Hnojení sírou – výběr hnojiv a možnosti aplikace	15
7.1. Aplikace hnojiv se sírou	15
7.2. Hnojiva obsahující síru	15
7.3. Ověření vlivu aplikace síry hnojivem LAS 24 % N + 6% S na změny obsahů mobilní síry v půdě	17
7.3.1. Výsledky	18
7.3.2. Dílčí závěry.....	19
8. Síra v rostlině.....	20
8.1. Obsahy celkové síry v rostlinách a výnosy (experiment s hnojivem LAS).....	21
8.1.1. Ozimá řepka.....	21
8.1.2. Ozimá pšenice.....	21
8.1.3. Dílčí závěry.....	22
9. Shrnutí výsledků a závěry pro praxi	23
10. Ekonomické přínosy využití analýz minerální síry pro optimalizaci hnojení.....	24
11. Seznam publikací, které předcházely metodice	25
12. Použitá literatura.....	26

1. Cíle metodiky

Cílem metodiky je seznámit zemědělce s možnostmi využití analýz forem síry v půdě k optimalizaci hnojení. Jednotlivá doporučení vycházejí z výsledků řešení projektu NAZV č. QH 81202.

2. Vlastní popis metodiky

Síra se v současné době stává klíčovým prvkem ve výživě rostlin. Proto je nutné věnovat zvýšenou pozornost monitorování obsahů síry v půdě i v rostlině a na základě získaných výsledků i efektivnímu hnojení sírou. Hnojení sírou je optimalizováno na základě informací o vývoji obsahu síry v půdě v období posledních třiceti let a na základě analýz různých frakcí síry v půdě. Současně jsou vyhodnoceny různé varianty hnojení se zaměřením na obsahy přístupných a potenciálně přístupných forem síry v půdě v dlouhodobých přesných polních pokusech. Pozornost je věnována hnojivům obsahujícím síru a podrobněji jsou popsány výsledky z přesných polních pokusů zaměřených na aplikaci dusíku a síry hnojivem LAS (ledek amonný se sírou, 6 % S ve formě CaSO_4).

3. Srovnání „novosti postupů“

Metodika vychází z výsledků řešení projektu NAZV QH 81202, kdy pro stanovení jednotlivých frakcí minerální síry v půdě byla využita metodika převzatá od prof. Scherera z Univerzity v Bonnu. Předností a „novostí“ je ověření výsledků v přesných dlouhodobých polních pokusech a hodnocení změn obsahu S v půdě za období posledních třiceti let.

4. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena zemědělcům a zemědělským poradcům.

5. Úvod

Síra je důležitým makroelementem ve výživě rostlin. V současné době ale dochází k poklesu obsahu síry v půdě. Proto se hnojení sírou stává stále více aktuálním problémem v České republice (Balík *et al.* 2009) i v ostatních evropských zemích (Scherer 2001, Lehmann *et al.* 2008 aj.).

Hlavní příčinou nutnosti hnojení sírou je pokles atmosférických depozic. Vstup SO_2 do půdy v roce 1990 činil 1 870 tis. t/rok. To odpovídá po přepočtu přibližně 120 kg čisté síry na hektar. V důsledku odsíření elektráren došlo k postupnému poklesu vstupů S až do roku 1998, kdy se hodnoty zastavily na zhruba 230 tis. t SO_2 za rok, tj. cca 15 kg S/ha za rok. V letech 2008 a 2009 klesly celkové emise dokonce pod hodnotu 200 tis. t SO_2 za rok. Vstupy síry do půdy prostřednictvím atmosférických emisí jsou tedy 8 krát nižší než před dvaceti lety.

Dalšími příčinami poklesů obsahu síry v půdě je méně časté použití hnojiv obsahujících síru (např. jednoduchý superfosfát) a rovněž častější zařazení plodin náročných na síru do osevních postupů (Scherer, 2001).

V půdě se síra nachází ve formě anorganické a organické. **Anorganická S** je ve většině zemědělských půd zastoupena méně než organicky vázaná S. Zatímco organická S tvoří hlavní zásobu S v půdě, anorganická S je vysoce dynamickou složkou, která je hlavním přístupným zdrojem S pro rostliny a tvoří většinou pouze 10-20 % z celkové S (Tisdale *et al.*, 1993). Anorganická síra je v zemědělských půdách přítomna zpravidla ve formě síranů a v nižších oxidačních stavech sulfidů, polysulfidů, siřičitanů, thiosíranů a elementární S. V dobře provzdušněných půdách je nejběžnější síranová forma. Sírany se v půdách vyskytují jako vodorozpustné soli, sírany adsorbované na půdní koloidy nebo nerozpustné formy síranů (Barber, 1995). Příjem síranů a jejich koncentrace v půdním roztoku je ovlivněna hodnotou pH půdy, chováním půdních koloidů, množstvím oxidů Fe a Al a organickými ligandy.

Organická síra se v půdě nachází v rozmanitých sloučeninách, jako jsou sirné aminokyseliny methionin a cystein, cholinsulfát, sulfolipidy, sulfonové kyseliny a sulfátované polysacharidy. Organická S se dělí do dvou skupin: (1) estericky vázaná síra, která není přímo vázaná na uhlík (např. sulfátové estery C-O-S, sulfamáty C-N-S, sulfátové thioglyceridy N-O-S) a (2) síra přímo vázaná na uhlík (např. v sirných aminokyselinách, merkaptanech, disulfidech a sulfonových kyselinách) (Freney, 1986).

6. Stanovení frakcí minerální síry a jejich využití pro optimalizaci hnojení

Ve spolupráci s týmem prof. Scherera (*Institute of Crop Science and Resource Conservation, Division Plant Nutrition, University of Bonn*) byla v experimentech použita metoda pro stanovení jednotlivých frakcí minerální síry v půdě (síra v půdním roztoku, síra adsorbovaná na povrchu půdních částic a okludovaná síra) a stanoven obsah organické S ve formě estersulfátů.

Uvedená metodika umožňuje **stanovit podíly rostlinám přístupné síry**, dále pak síry adsorbované na povrchu půdních částic a okludované síry. Matula (2007) uvádí, že zejména **obsah rostlinám přístupné síry ve vodném výluhu (1:5) koreluje velmi dobře s obsahem síry v rostlinách**. Další frakce S stanovené dle níže uvedené metodiky jsou významným potenciálním zdrojem síry, a proto je možné výsledky využít jako doplňující informace o zásobenosti pozemku sírou.

Postup frakcionačního stanovení síry v půdě (suchá jemnozem (zrnitost < 2 mm))

Síra extrahovatelná vodou

- Do 50 ml centrifugační kyvety navážit 1 g vzorku,
- přidat 10 ml demineralizované vody,
- krátce silně protřepat,
- 30 minut třepat na třepačce,
- odstředit 10 min při $10000 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$, odlít do kyvety pro měření.

Stanovení adsorbované síry

- K sedimentu z předchozí extrakce přilít 10 ml $0,032 \text{ mol/l NaH}_2\text{PO}_4$,
- krátce silně protřepat tak, aby půda nezůstala usazená na dně kyvety,
- 30 minut třepat na třepačce,
- odstředit 10 min při $10000 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$, odlít do kyvety pro měření.

Síra okludovaná s karbonáty

- K sedimentu z předchozí extrakce přilít 20 ml 1 mol/l HCl ,
- krátce silně protřepat tak, aby půda nezůstala usazená na dně kyvety (*pokud je v půdě vysoký obsah uhličitánů, je třeba jehlou udělat otvor do víčka, aby plyn mohl unikat*),
- 60 minut třepat na třepačce,
- odstředit 10 min při $10000 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$, odlít do kyvety pro měření.

Všechny získané extrakty jsou následně měřeny optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES).

Stanovení HI-redukovatelné síry (S ve formě estersulfátů)

Další možností doplňkových analýz je stanovení HI-redukované síry, která úzce koresponduje s obsahem síry vázané v estersulfátech. Pro stanovení HI-redukovatelné síry byla použita sestava JN-Apparat vyvinutá na univerzitě v Bonnu. Princip je založen na reakci vzorku se směsí HI, H_3PO_2 a HCOOH za stálého přístupu plynného dusíku. Uvolněná plynná HI-redukovatelná síra ve formě H_2S je následně jímána do roztoku 0,1 mol/l NaOH a získaný vzorek měřen na ICP-OES.

Postup při stanovení HI-redukovatelné síry

Příprava roztoku HI pro extrakci

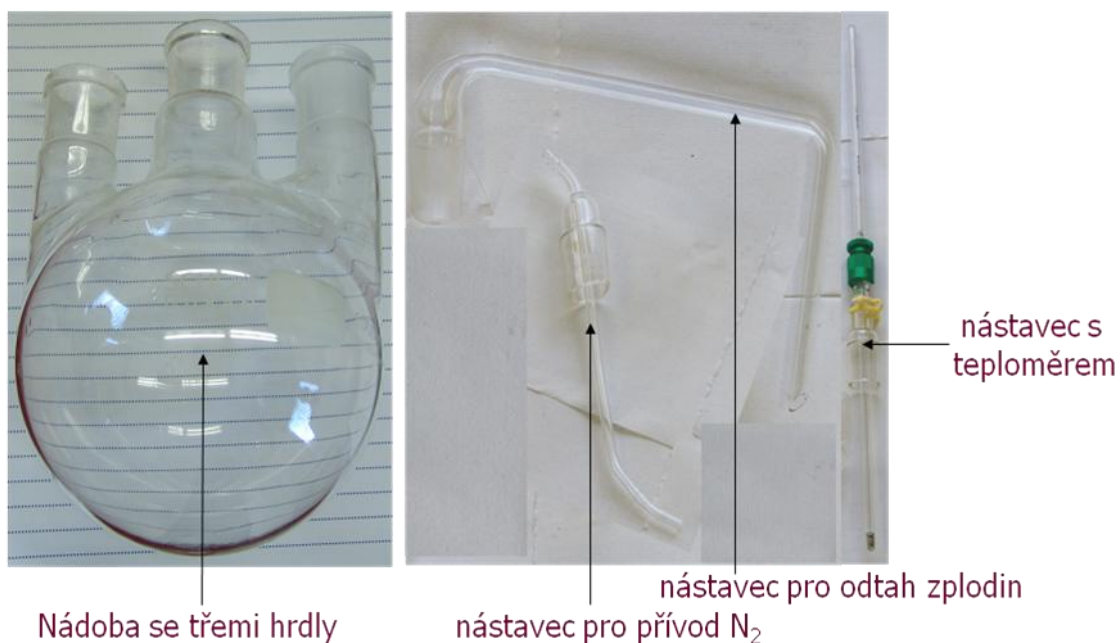
- Do 2 l tříhrdlé nádoby (obr. 1) postupně nalít HI (45 %), H_3PO_2 (50 %), HCOH (88 %) v poměru 4:1:2 (nejlépe 400:100:200 ml nebo 500:125:250 ml),
- poté umístit příslušné nástavce (obr. 2, teploměr na střední otvor),
- vše ponořit do olejové lázně, ohřát na 115 °C (nesmí překročit 120 °C) po dobu 10 minut,
- při ohřívání musí do roztoku kyselin zvolna proudit plynný dusík,
- po 10 minutách ohřívání nádobu vyjmout a nechat ve tmě vychladnout,
- roztok je při skladování v chladu a temnu použitelný max. 2 týdny.

Pro extrakci se navažuje 0,5 g suché zeminy o zrnitosti menší než 2 mm. Zemina je navažována do zábrusové zkumavky z varného skla pomocí složeného papírku, který je poté zasunut na dno zkumavky tak, aby vzorek nezůstal na stěnách.

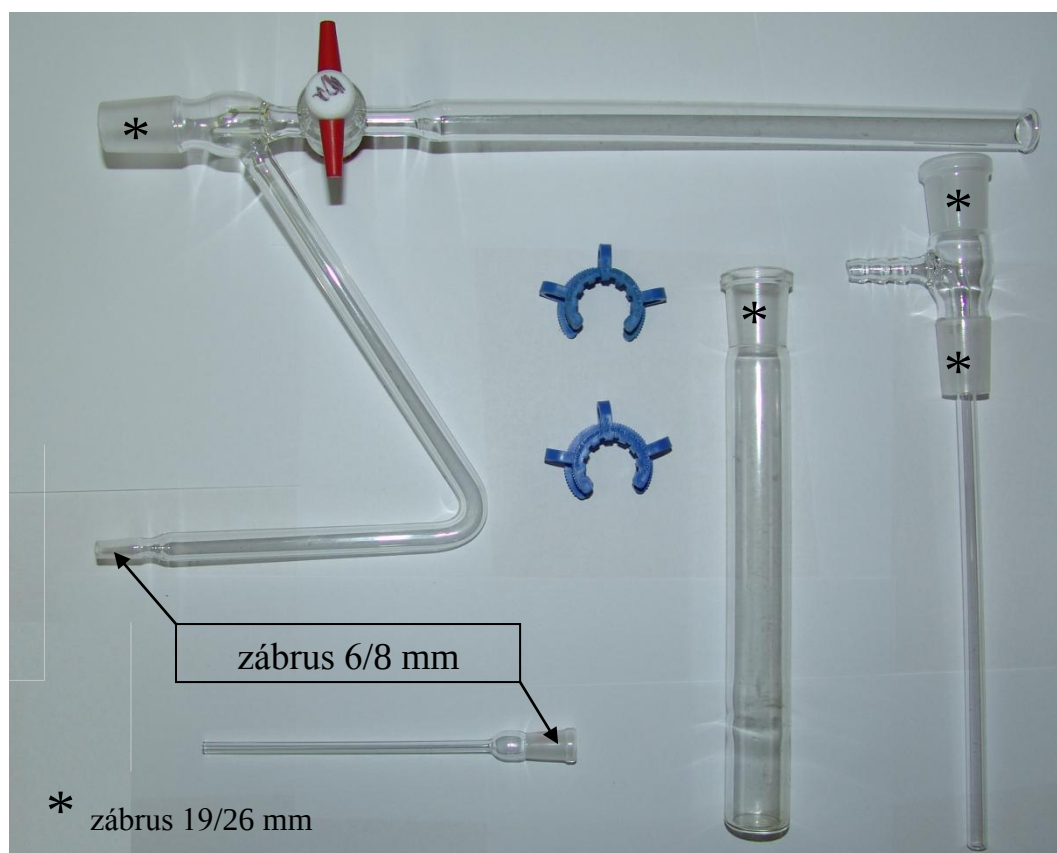
Postup při extrakci vzorku

- Upevnit celou aparaturu (obr. 3 a 5) s naváženým vzorkem do stojanu (obr. 4),
- nalít do zásobníku roztok HI (viz výše),
- vývod ponořit do kyvety s roztokem 10 ml 0,05 mol/l NaOH a 0,1 ml H_2O_2 (H_2O_2 přilít těsně před ponořením vývodu),
- otevřít ventil, a tím zvolna přilít roztok HI,
- uzavřít ventil,
- ponořit aparaturu do olejové lázně (140 °C),
- připojit hadičku s přívodem N_2 (už zapnutým), rychlost bublin cca 1 za 0,5 s,
- nechat v lázni 60 minut,
- k extraktu přilít opět 0,1 ml H_2O_2 , kyvetu odebrat, uzavřít a měřit na ICP-OES.

Obr. 1 a 2: Tříhrdlá baňka a nástavce pro přípravu kyseliny



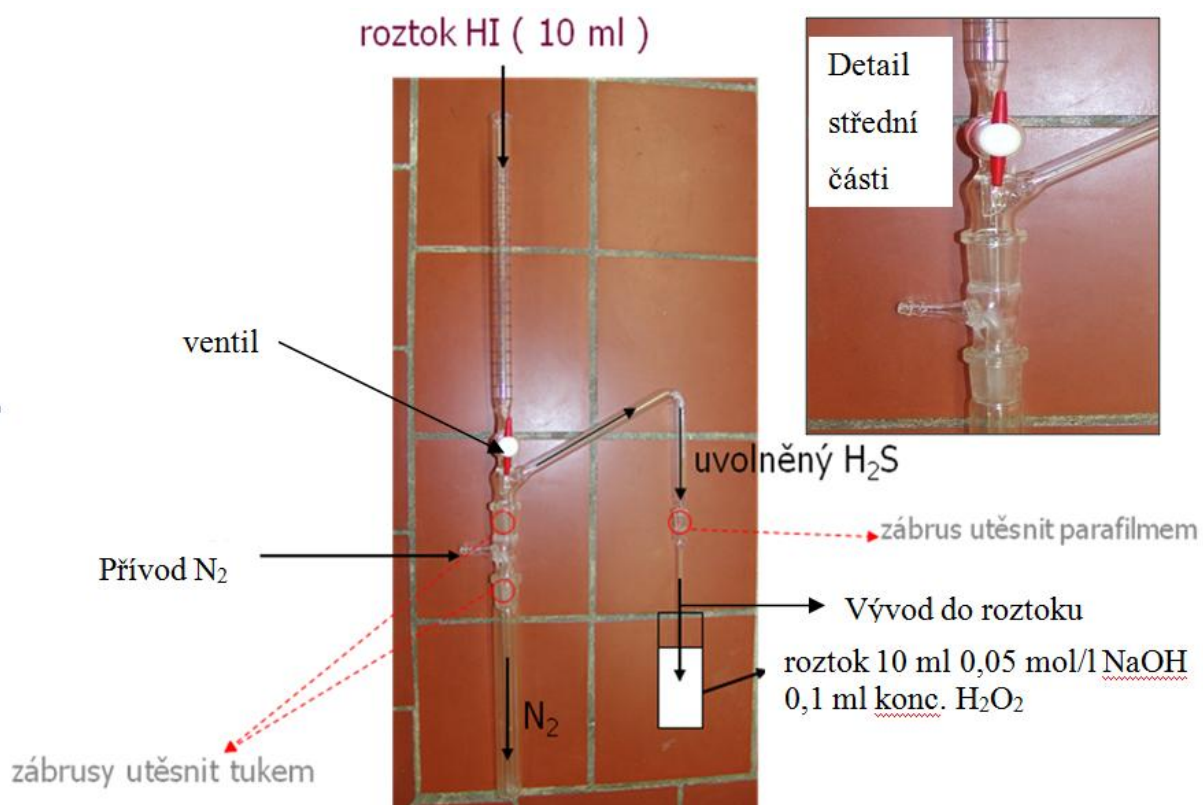
Obr. 3: Jednotlivé díly aparatury



Obr. 4: Kompletní sestava 4 JN Apparátů při extrakci



Obr. 5: Aparatury pro stanovení HI-redukovatelné síry



6.1. Hodnocení změn obsahů síry v dlouhodobých pokusech s využitím stanovení frakcí minerální síry

Z hlediska správného hnojení sírou je důležité mít přehled o obsazích především mobilní síry v půdě. Ty se za posledních 20 let významně změnily. Dynamiku změn je možné nejlépe pozorovat v půdách z dlouhodobých polních pokusů, kde jsou po celou dobu trvání aplikovány stejné dávky síry.

Pro charakteristiku situace v České republice byly zvoleny půdy z dlouhodobých přesných polních pokusů ÚKZÚZ. Klimatická charakteristika jednotlivých stanovišť je uvedena v tabulce 1. Pro analýzy byly vybrány půdy ze 3 variant hnojení: i) kontrolní nehnojená varianta, ii) varianta hnojená 40 t hnoje/ha k okopaninám v osevním sledu (tj. 1× za 4 roky) a iii) varianta hnojená NPK v minerální formě + hnůj k okopaninám ve stejné dávce stejně jako u varianty ii). Přesné roční dávky živin jsou uvedeny v tabulce 2. U hnojených variant bylo provedeno i vápnění s ohledem na výsledky agrochemického zkoušení půd.

Tab. 1: Charakteristika pokusných míst ÚKZÚZ

stanoviště (zkratka okresu)	rok založení	nadmoř. výška (m)	průměrné roční		půdní typ	půdní druh
			srážky (mm)	teplota (°C)		
Horažďovice (KT)	1978	472	573	7,4	KM	hp
Chrastava (LI)	1977	345	798	7,1	HM	hp
Jaroměřice (TR)	1975	425	535	7,5	HM	h
Krásné Údolí (KV)	1977	645	605	6,1	KM	ph
Libějovice (ST)	1974	460	606	7,6	HM	ph
Lípa (HB)	1974	505	632	7,7	KM	ph
Sedlec (PY)	1972	300	581	8,4	ČM	h
Pusté Jakartice (OP)	1979	290	650	8,0	HM	h
Uherský Ostroh (UH)	1972	196	551	9,2	HM	h
Žatec (LN)	1972	247	451	8,3	ČM	hj

Tab. 2: Systém hnojení polního pokusu ÚKZÚZ (množ. dodaných živin v kg/ha/rok)

var.	varianta hnojení	N	P	K	S
1	kontrola	0	0	0	0
2	hnůj (k okopaninám)	25	8	35	8
3	NPK (+ hnůj k okopaninám)	58 (+25)	34 (+8)	59 (+35)	91 (+8)

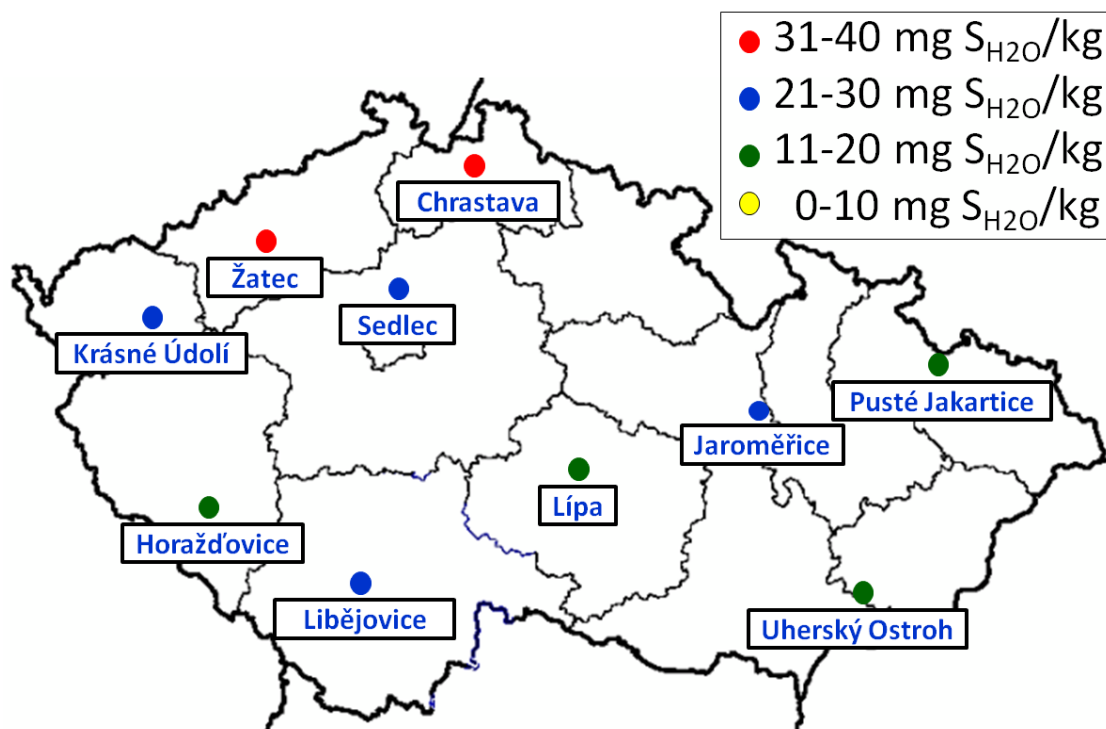
K analýzám půd byla využita frakcionační metoda a metoda pro stanovení HI-redukovatelné síry – obě metody jsou podrobně popsány v předchozí části. Dále byl stanoven obsah celkové síry použitím mikrovlnného rozkladu a na základě informací o celkovém podílu S a minerální S vypočten i obsah organické síry.

6.1.1. Výsledky

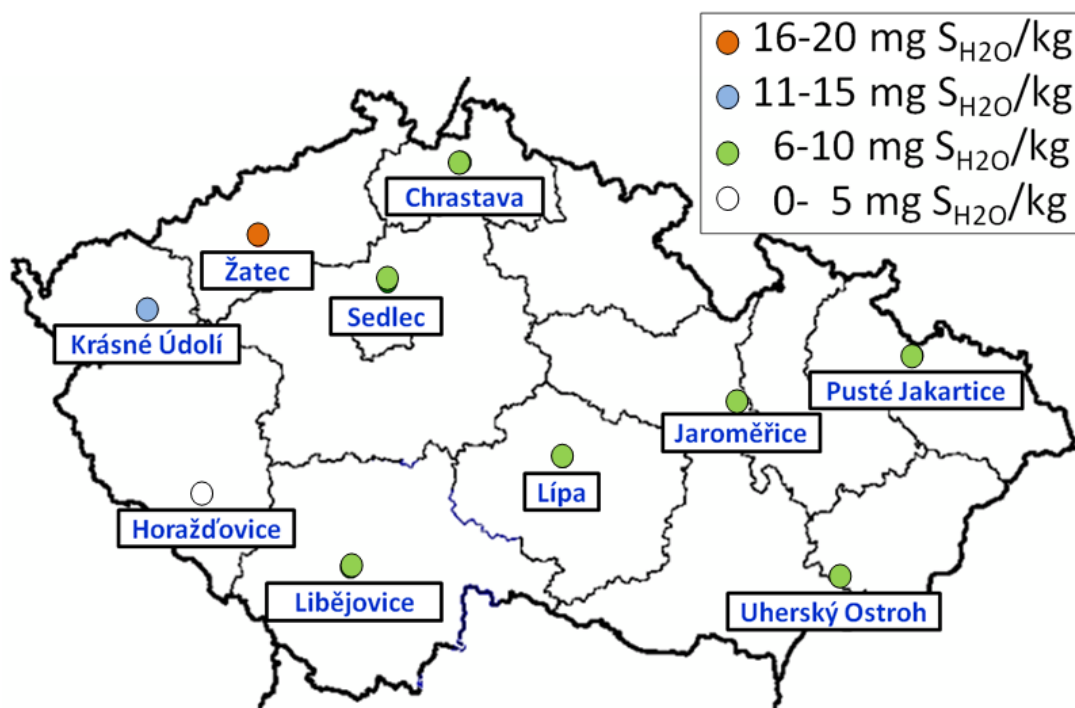
Z hlediska výživy rostlin sírou v praxi je nejdůležitější mít přehled o její rostlinám přístupné frakci v půdě, tj. o síranech stanovitelných ve vodném výluhu. Jako doplňkové analýzy pak mohou posloužit i další již dříve popsání extrakce. Na obrázcích 6 a 7 jsou znázorněny obsahy síry v půdě stanovené ve vodném výluhu v letech 1981 a 2007 na nehnojených variantách dlouhodobých přesných polních pokusů ÚKZÚZ. Zatímco v roce 1981 hodnoty běžně dosahovaly 20 mg S/kg; v roce 2007 byly stanoveny 2× nižší obsahy. Je tedy zřejmé, že v uplynulém období došlo k výraznému poklesu obsahu rostlinám přístupné síry v půdě. Hnojení sírou je tedy stále aktuálnější problémem.

Je zde rovněž patrné ovlivnění zásobenosti sírou atmosférickými depozicemi. V oblasti severních Čech, kde dříve docházelo ke zvýšeným emisím především z důvodu neodsířených tepelných elektráren, jsou stále patrné zvýšené obsahy rostlinám přístupné síry v půdě.

Obr. 6: Obsah síry extrahované vodným výluhem – rok 1981

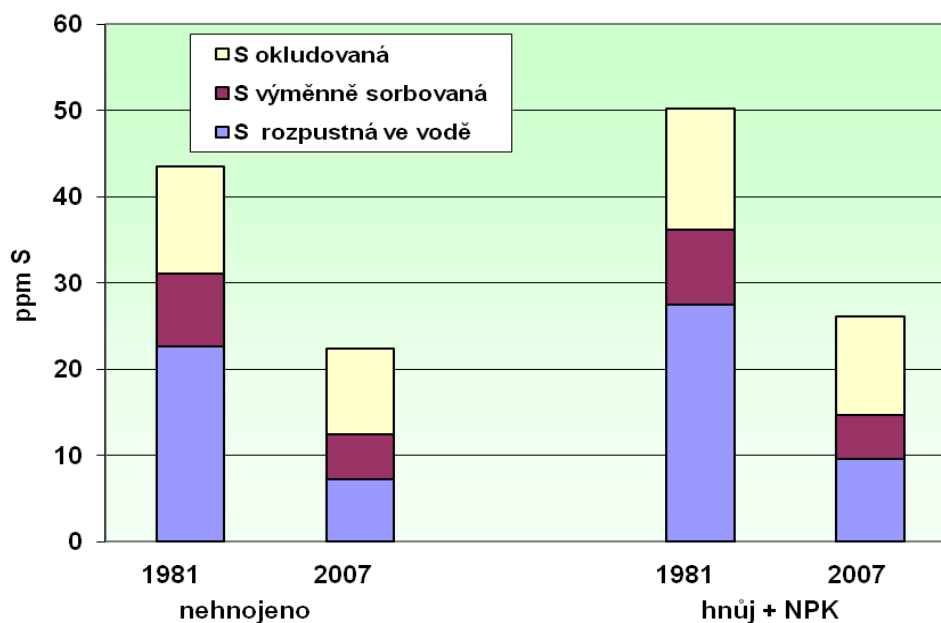


Obr. 7: Obsah síry extrahované vodným výluhem – rok 2007



V tabulce 3 a 4 jsou dále uvedeny obsahy síry získané postupnou frakcionací půdních vzorků z let 1981 a 2007 u různých variant hnojení. Podíly minerálních frakcí síry v půdě a jejich změny z r. 1981 na r. 2007 jsou pro větší přehlednost uvedeny rovněž v grafu 1. Obsahy vodorozpustné síry (S_{H_2O}), výměnně sorbované (S_{ads}) a okludované síry (S_{okl}) byly získány dle adaptované metodiky (Morche, 2008) uvedené v kapitole 6. Obsah organické síry (S_{org}) byl vypočten z rozdílu celkové síry (S_{tot}) a sumy minerální síry (S^*).

Graf 1: Poměry minerálních frakcí v půdě v letech 1981 a 2007 (Vaněk *et al.* 2012)



Tab. 3: Obsah různých frakcí síry, rok 1981

varianta	S_{H_2O}	S_{ads}	S_{okl}	S^*	S_{org}	S_{tot}
	mg S/kg					
Kontrola	22,6	8,50	12,4	43,5	177	221
Hnůj	21,4	8,10	11,9	41,4	175	216
NPK + hnůj	27,4	8,70	14,1	50,1	185	235

Tab. 4: Obsah různých frakcí síry, rok 2007

varianta	S_{H_2O}	S_{ads}	S_{okl}	S^*	S_{org}	S_{tot}
	mg S/kg					
Kontrola	7,20	5,20	9,90	22,3	182	204
Hnůj	7,10	4,60	9,80	21,4	189	210
NPK + hnůj	9,50	5,10	11,5	27,0	192	219

$$S^* = \Sigma S_{H_2O} + S_{NaH_2PO_4} + S_{HCl}$$

Tab. 5: Poměr různých frakcí síry (v %) k celkovému obsahu S v půdě

varianta	rok 1981					
	S_{H_2O}	S_{ads}	S_{HCl}	S^*	S_{org}	S_{tot}
Kontrola	10,2	3,9	5,6	19,7	80,3	100
Hnůj	9,90	3,7	5,5	19,2	80,9	100
NPK + hnůj	11,7	3,7	6,0	21,3	78,7	100
	rok 2007					
	S_{H_2O}	S_{ads}	S_{HCl}	S^*	S_{org}	S_{tot}
Kontrola	3,5	2,5	4,9	10,9	89,1	100
Hnůj	3,4	2,2	4,6	10,2	89,8	100
NPK + hnůj	4,3	2,3	5,3	12,3	87,7	100

$$S^* = \Sigma S_{H_2O} + S_{NaH_2PO_4} + S_{HCl}$$

Tab. 6: Hodnoty korelačních koeficientů mezi celkovým obsahem síry a různými frakcemi S v půdě

	1981				2007			
	S_{H_2O}	$S_{NaH_2PO_4}$	S_{HCl}	S_{org}	S_{H_2O}	$S_{NaH_2PO_4}$	S_{HCl}	S_{org}
Korelace s S_{tot}	0,811	0,685	0,622	0,987	0,720	0,558	0,373	0,993
hladina významnosti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

V obou souborech byly vysoké korelace nalezeny u vodorozpustné frakce, což také nepřímě potvrzuje vhodnost použití tohoto extraktantu pro optimalizaci hnojení sírou. Vysoké hodnoty u S_{org} byly ovlivněny způsobem jejího stanovení – tj. odpočtem z S_{tot} .

6.1.2. Dílčí závěry

- Od roku 1981 do roku 2007 došlo k poklesu obsahů všech frakcí minerální síry v půdě. Hnojení sírou se z tohoto důvodu stává stále aktuálnější problémem.
- Ani každoroční dávka 99 kg S/ha ve formě jednoduchého superfosfátu a hnoje (91 + 8 kg S/ha) nezabránila poklesu minerálních frakcí síry v půdě z roku 1981 na rok 2007.
- Obsahy do 8 mg S/kg stanovené ve vodném výluhu považovat za nízké.
- Vysoké korelace vodorozpustné frakce S a celkového obsahu síry potvrzují vhodnost použití vodného výluhu pro optimalizaci hnojení sírou.
- Adsorbovaná a okludovaná forma síry v půdě patří rovněž mezi potenciální zdroje přístupné S, a to zejména u náročných plodin (např. brukvovité).
- Použitá metoda frakcionace minerální síry je vhodnou metodou pro specializované laboratoře.
- Pro většinu území ČR je třeba stálý přísun síry ve formě minerálních hnojiv zejména k náročným plodinám.

6.2. Sledování obsahů minerálních forem S v půdě po dlouhodobém testování různých systémů hnojení

Pro hodnocení obsahů síry po dlouhodobém hnojení byly využity vzorky z dlouhodobých přesných polních pokusů založených v roce 1997 na stanovištích Humpolec, Hněvčeves a Lukavec. Na parcelkách jsou pěstovány v tříhonném osevním sledu tyto plodiny: brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen. Pro účely hodnocení byly využity vzorky z roku 2008, kdy byl dokončen čtvrtý tříletý cyklus osevního postupu. Půdně-klimatické charakteristiky pokusu jsou uvedeny v tabulce 7 a schéma v tabulce 8.

Organickými hnojivy je hnojeno pouze k první plodině v osevním sledu, proto u brambor je sledováno přímé působení aplikace těchto hnojiv, u ozimé pšenice a jarního ječmene působení následné.

Tab. 7: Charakteristika pokusných míst

stanoviště (zkratka okresu)	nadmořská výška (m)	průměrné roční		půdní typ	půdní druh
		srážky (mm)	teplota (°C)		
Hněvčeves (HK)	265	573	8,2	HM	jh
Humpolec (PE)	525	665	7,0	KM	ph
Lukavec (PE)	610	666	7,7	KM	ph

Tab. 8: Systém hnojení polního pokusu ČZU a VÚRV (dávky živin na ha)

varianta	brambory	ozimá pšenice	jarní ječmen
kal	330 kg N (93 kg S)	0	0
hnůj 1	330 kg N (140 kg S)	0	0
N*	120 kg N	140 kg N	70 kg N

* Dusík byl dodán v minerální formě (Ledek amonný s vápencem – 27,5 % N)

6.2.1. Výsledky

Ačkoliv se jednalo o stanoviště s různými půdně klimatickými podmínkami, trendy ve změnách obsahů sledovaných frakcí síry byly vždy podobné. V tabulce 9 jsou proto uvedeny průměrné obsahy ze stanovišť Humpolec, Lukavec a Hněvčeves.

Tab. 9: Obsah různých frakcí síry – průměr ze tří stanovišť (mg S/kg)

Forma S	Varianta	S _{H2O}	S _{ads}	S _{okl}
S _{H2O}	kal	16,6	9,6	10,5
	hnůj	14,5	9,0	9,9
	N	11,7	8,7	9,3

6.2.2. Dílčí závěry

- Chlévský hnůj i čistírenské kaly jsou vhodným zdrojem síry. Jejich soustavné používání se projevuje ve zvýšení mobilních frakcí v půdě, především však v nárůstu vodorozpustného obsahu.

7. Hnojení sírou – výběr hnojiv a možnosti aplikace

7.1. Aplikace hnojiv se sírou

Síra je aplikována zpravidla do půdy. Může však být aplikována i foliárně. Foliárně aplikovaná síranová forma síry se do listů dostává velmi rychle. Síraný jsou však následně z velké části zachycovány ve vakuolách a jsou z menší části využívány na tvorbu výnosu. K listové aplikaci je možné využít například hořkou sůl. Lepších výsledků je však dosahováno s listově aplikovanou elementární sírou. To lze nejpravděpodobněji vysvětlit tím, že před samotnou adsorpcí listy musí být tato forma nejdříve oxidována na síraný. Postupná přeměna elementární síry na síraný je pozvolný proces, a proto tak dochází k plynulejšímu zásobení listů síraný. Nedochází tedy k přílišné kumulaci síranů v cytosolu a jejich následné kumulaci ve vakuolách.

7.2. Hnojiva obsahující síru

V současnosti je na trhu nabízeno velké množství hnojiv obsahujících síru. Síra se v těchto hnojivech obvykle vyskytuje jako síran, elementární síra nebo sulfid. Mezi celosvětově nejčastěji používaná hnojiva patří síran amonný, síran draselný, síran hořečnatý, sádrovec, elementární síra. Efektivita využití síry ze síranových hnojiv je zhruba na stejné úrovni bez ohledu na rozpustnost daného hnojiva ve vodě.

Elementární síra je v současné době intenzivně testována jako perspektivní vysoce koncentrované minerální hnojivo, doporučované především pro hnojení sírou na alkalických půdách. Udává se, že při aplikaci tohoto hnojiva dochází ke snížení pH půdy, a tím uvolnění vápníku vázaného ve fosforečnanech, a tedy i zpřístupnění P pro rostliny. Další výhodou používání elementární síry je její pozvolná oxidace, a tím i minimalizace rizik spojených s vyplavováním SO_4^{2-} iontů do spodních vrstev půdy. Čím je částice elementární síry v půdě menší, tím rychleji dochází k její oxidaci. Rychlost oxidace však záleží i na dalších faktorech, jako je např. mikrobiální aktivita sírných bakterií, úroveň kontaktu hnojiva s půdou, pH a stupeň aerace půdy. Nezanedbatelnou výhodou elementární síry jsou menší náklady na manipulaci a transport vycházející z vysoké koncentrace síry v tomto hnojivu.

Síran amonný (SA) je N-S hnojivo, které obsahuje kromě 21 % dusíku také 24 % síry. Význam přímé aplikace SA vzrostly s jeho granulací a možností jeho současné aplikace s dalšími granulovanými jednosložkovými hnojivy. Granulačním pojivem je přídavek 14 %

ledku vápenatého. Granulovaný síran amonný pak obsahuje 1,4 % nitrátového dusíku a kolem 2,5 % vápníku, což má příznivý vliv na počáteční růstové fáze, popř. na výměnnou půdní reakci.

Ostatní dusíkatá hnojiva se sírou – jejich základ zpravidla tvoří dusičnan amonný, obsahují přídavek síranu amonného nebo vápenatého, např. DASA obsahující 13 % síry v síranu amonném, nebo LAS se 6 % síry v síranu vápenatém (Matula, 2007). V praxi hojně používaným hnojivem je roztok síranu amonného s močovinou (SAM), který obsahuje 24 % N a 6-8 % S.

Síran draselný (SD) – hnojivo obsahující kromě 42 % draslíku přibližně 17 % síry je rovněž hnojivo vhodné pro doplnění síry do půdy. Zároveň je možné ho využít k doplnění draslíku k plodinám nesnášejícím chlór z draselných solí, kamexu či kainitu. Dostupný je běžně v práškové, nebo i granulované formě.

Kieserit obsahuje 14-15 % Mg a 18 % S. Jedná se o velmi dobrý zdroj síry a hořčíku. Obsahuje síru ve formě síranu hořečnatého, a proto je vhodný pro většinu půd České republiky, kde je běžný i nedostatek hořčíku. Jedná se o hnojivo velmi vhodné do půd středních až těžších s vyšším pH a s nízkou zásobou hořčíku a dobrou zásobou draslíku.

Hořká sůl je hnojivo vlastnostmi podobné kieseritu, obsahuje 10 % Mg a kolem 12 % S. Jelikož se jedná o heptahydrát síranu hořečnatého, je toto hnojivo snadno rozpustné a je tedy možné ho použít k foliární aplikaci.

Jednoduchý superfosfát (JSP) byl dříve hojně používaným hnojivem obsahujícím kromě přibližně 8 % fosforu i stejný podíl síry (8-12 %). Ta je zde obsažena v hůře přístupné formě síranu vápenatého.

Síran vápenatý (sádra) obsahuje kolem 17 % síry. Jedná se však o síru poměrně špatně dostupnou rostlinám. Dá se tedy z hlediska síry považovat za hnojivo spíše dlouhodobě působící

Pomalů působící hnojiva

Snaha omezit negativní dopady klasických, zejména dusíkatých hnojiv, na životní prostředí a zároveň eliminovat ekonomické ztráty vedla k vývoji hnojiv s takzvaným dlouhodobým účinkem. První skupinu tvoří takzvaná hnojiva s pomalým uvolňováním (**SRF – Slow Release Fertilizers**). Do této kategorie hnojiv patří i elementární síra a pomalu rozpustná granulovaná hnojiva obsahující síru jako jednu ze svých složek (např. granulát směsi močoviny a síry).

Druhou skupinu hnojiv s pozvolným působením představují typická granulovaná hnojiva obalená vrstvou materiálu, která brání přístupu vody k vlastnímu hnojivu a zpomaluje tak jeho

rozpouštění a transport uvolněných živin do okolního prostředí. Volbou obalového materiálu a jeho tloušťky lze tento proces do určité míry řídit, proto jsou tyto produkty označovány jako hnojiva s řízeným uvolňováním živin (**CRF – Controlled Release Fertilizers**). K nejstarším a doposud nejrozšířenějším průmyslově využívaným obalovým materiálům patří právě elementární síra.

7.3. Ověření vlivu aplikace síry hnojivem LAS 24 % N + 6% S na změny obsahu mobilní síry v půdě

Pokus zaměřený na aplikaci dusíku spolu se sírou v hůře přístupné formě síranu vápenatého byl založen na stanovištích Humpolec, Hněvčeves a Uhříněves. Půdně klimatické charakteristiky těchto stanovišť jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10: Půdně klimatická charakteristika pokusných míst

stanoviště (zkratka okresu)	nadmoř. výška (m)	průměrné roční		půdní typ	půdní druh
		srážky (mm)	teplota (°C)		
Hněvčeves (HK)	265	573	8,2	HM	jh
Humpolec (PE)	525	665	7,0	KM	ph
Uhříněves (Praha)	295	575	8,3	HM	jh

Hlavním cílem pokusu bylo testování vlivu stupňovaného hnojení sírou v hnojivu LAS (24 % N, 6 % S ve formě CaSO_4) na obsah mobilní síry v půdě, celkové S v rostlinách a výnosy řepky ozimé a pšenice ozimé. Schéma pokusů je uvedeno v tabulkách 11 a 12. První dávka hnojiv byla u obou plodin aplikována vždy na jaře (fáze regeneračního hnojení). Druhá a třetí dávka u řepky následovala ve fázích BBCH 30-32 a BBCH 50-52. U pšenice byly dávky hnojiv aplikovány ve fázi regenerace a pak ve fázích BBCH 30-32 a BBCH 57-59.

V průběhu pokusů byly pravidelně odebrány vzorky rostlin a půdy. Odebrané půdní vzorky byly zhomogenizovány a následně analyzovány vodným výluhem (1:10) na obsah minerální síry. U rostlinných vzorků byl po usušení proveden mikrovlnný rozklad. Získané výluhy byly vždy měřeny přístrojem ICP-OES.

Tab. 11: Schéma hnojení řepky ozimé

varianta	rozdělení dávek síry	LAS		množství N z LAV (kg N/ha)	rozdělení dávek N (kg N/ha)		celkem (kg N/ha)
		kg S/ha	kg N/ha		1.	2.	
1	0 +0 +0	0	0	200	100	100	200
2	12,5 +0 +0	12,5	50	150	100	100	200
3	25 +0 +0	25	100	100	100	100	200
4	25 +25 +0	50	200	0	100	100	200

Tab. 12: Schéma hnojení pšenice ozimé

varianta	rozdělení dávek síry	LAS		množství N z LAV (kg N/ha)	rozdělení dávek N (kg N/ha)			celkem (kg N/ha)
		kg S/ha	kg N/ha		1.	2.	3.	
1	0 +0 +0	0	0	200	80	80	40	200
2	10 +0 +0	10	40	160	80	80	40	200
3	20 +0 +0	20	80	120	80	80	40	200
4	20 +20 +0	40	160	40	80	80	40	200

7.3.1. Výsledky

Během pokusu byly průběžně monitorovány změny obsahů mobilní síry v půdě. Krátce před obdobím jarní regenerace byly analyzovány vzorky ornice a podorničí za účelem zjištění obsahu mobilní síry v půdě před zahájením pokusu. Obsahy S se poměrně výrazně lišily v závislosti na ročníku, a zřejmě tedy i na termínu odběru. Zatímco se průměrné obsahy síry v ornici v letech 2008 a 2010 pohybovaly v úzkém rozmezí mezi 2 a 3 mg/kg, v roce 2009 činila průměrná hodnota přibližně 7 mg S/kg. Rozdíly mezi stanovišti nebyly statisticky průkazné.

Obsahy síry v půdě po aplikaci hnojiv vykazovaly v rámci sledovaných ročníků i stanovišť podobné trendy, a proto jsou v tabulce 13 uvedeny pouze průměrné obsahy S. Jak je zřejmé, hnojení sírou ve formě CaSO_4 zpravidla pozitivně ovlivnilo obsah mobilní síry v půdě. Mezi jednotlivými stanovišti se přitom nevyskytovaly výrazné rozdíly. V experimentu nebyly zaznamenány výrazné změny v obsahu mobilní síry v půdě mezi odběry v jednotlivých vegetačních periodách. Pouze v odběrech po sklizni došlo zpravidla k mírnému zvýšení obsahů mobilní S v půdě. To bylo pravděpodobně způsobeno částečným uvolněním síry z rostlinných zbytků. Při provedení podrobnější statistické analýzy bylo zjištěno, že rozdíly mezi variantami nebyly zpravidla statisticky průkazné.

Tab. 13: Průměrné obsahy vodorozpustné síry v ornici, porost řepky

var.	BBCH 30-32	BBCH 50-52
	mg S/kg (dávka S v kg/ha*)	
1	5,6 (0)	4,7 (0)
2	8,5 (12,5)	9,0 (12,5)
3	8,8 (25)	9,2 (25)
4	8,9 (25)	13,2 (50)

* aktuální celková dávka S v dané fázi

Tab. 14: Průměrné obsahy vodorozpustné síry v ornici, porost pšenice

var.	BBCH 30-32	BBCH 37-39	BBCH 49-51
	mg S/kg (dávka S v kg/ha*)		
1	5,4 (0)	6,6 (0)	5,1 (0)
2	7,0 (10)	6,8 (10)	6,8 (10)
3	8,6 (20)	9,1 (20)	6,2 (20)
4	7,3 (20)	13,1 (40)	10,6 (40)

* aktuální celková dávka S v dané vegetační fázi

7.3.2. Dílčí závěry

- Aplikace hnojiva LAS (24 % N, 6 % S), kde je síra obsažena ve formě síranu vápenatého, pozitivně ovlivnila obsahy mobilních síranů v půdě. Proto je možné toto hnojivo ozimou řepku i pšenici doporučit.

8. Síra v rostlině

Požadavek na obsahy síry pro optimální růst rostlin se pohybuje mezi 0,1 až 0,5 % z hmotnosti sušiny rostlin. Pro rody ze skupin rostlin se nárok zvyšuje v pořadí *Poaceae* < *Fabaceae* < *Brassicaceae* a toto se také odráží v odpovídajících rozdílech v obsahu síry v jejich semenech: *Poaceae* 0,18 – 0,19 %, *Fabaceae* 0,25 – 0,3 % a *Brassicaceae* 1,1 – 1,7 %.

Rostliny přijímají síru z půdy převážně jako síranový anion. Vlastní příjem je poměrně málo ovlivňován ostatními ionty v půdním roztoku i půdními vlastnostmi (Balík *et* Tlustoš, 2000). Příjem SO_4^{2-} je nejvyšší při pH 4,0 a snižuje se při stoupající hodnotě pH (Leggett *et* Epstein, 1956). Rozhodující je obsah síranového anionu v půdě, kam se dostává jednak hnojivy, spadem z ovzduší (po oxidaci SO_3^{2-}) a z půdních zásob. Síra se v půdě postupně uvolňuje z méně rozpustných sloučenin, včetně organických a je oxidována až na sírany, které jsou hlavním zdrojem síry pro rostliny (Vaněk *et al.*, 2007).

Rostliny jsou schopny využívat i SO_2 z ovzduší. Tímto způsobem jsou schopny saturovat jen část své potřeby (asi do 30 % celkové potřeby) (Balík *et* Tlustoš, 2000).

Odběr síry plodinami závisí na jejich schopnosti přijímat tuto živinu a na celkové produkci biomasy. Údaje o odběru síry zemědělskými plodinami se proto značně liší, většinou se však pohybují v rozmezí od 20 do 50 kg S/ha (Zelený *et* Zelená, 1999).

Nedostatek síry se projevuje nejprve omezením syntézy bílkovin, včetně enzymů, a tím i snížením aktivity významných enzymových dějů, jako je např. redukce nitrátů. Tím, že je snížena syntéza bílkovin, se hromadí v rostlinách nízkomolekulární organické sloučeniny dusíku a nitráty. Značně je omezena tvorba chlorofylu, a tím metabolitů (sacharózy, škrobu, bílkovin a oleje), zvláště u náročných rostlin na síru, takže se výrazně snižuje kvalita produkce. Známé je omezení fixace vzdušného dusíku při nedostatku síry (je výrazně snížena aktivita nitrogenázy) (Vaněk *et al.*, 2001).

Vaněk *et al.* (2007) dále uvádějí, že typicky vizuálním příznakem nedostatku síry na rostlinách je žloutnutí listů, které začíná od nejmladších listů a při trvalejším nedostatku přechází i na spodní listy. Projev nedostatku síry je podobný jako při nedostatku dusíku, ovšem počáteční příznaky jsou vždy soustředěny na vrcholové části. Zvláště listy jsou nejprve světle zelené, později žloutnou a mnohdy mají růžový nádech. Mají omezený růst do šířky, a proto se jeví jako úzké a dlouhé. Celkově špatně rostou, jsou slabé, nízké a svým habitem připomínají strádající rostlinu.

8.1. Obsahy celkové síry v rostlinách a výnosy (experiment s hnojivem LAS)

8.1.1. Ozimá řepka

V tabulce 15 jsou uvedeny změny výnosu semene ozimé řepky dosažené v experimentu s hnojivem LAS (viz kapitola 7.3.). Výnosy semene se pohybovaly v rozmezí 3-4 t/ha. Pokus nebyl realizován pouze na stanovišti Uhříněves v roce 2010, kdy došlo ke špatnému přezimování porostu.

Při srovnání jednotlivých variant hnojení bylo zjištěno, že nejvyšší výnosy vykazovaly téměř vždy varianty hnojené 50 kg S/ha, tedy nejvyšší dávkou S. Nejnižších výnosů bylo naopak dosaženo na kontrolní, sírou nehnojené variantě. Z tabulky je tedy patrné, že se stoupající dávkou síry do půdy stoupaly zpravidla i výnosy semene ozimé řepky.

Tab. 15: Změny výnosu semene ozimé řepky oproti kontrole – 100 %

Stanoviště	dávka S (kg/ha)	průměr 2008-2010
Hněvčeves	12,5	+5,3 %
	25	+5,0 %
	50	+11,3 %
Humpolec	12,5	+18,7 %
	25	+13,3 %
	50	+25 %
Uhříněves	12,5	0 %
	25	0 %
	50	+8,5 %

Další součástí experimentu bylo sledování obsahu celkové síry v rostlinách ozimé řepky, a tím i posouzení faktu, zda se s dodáním vyššího množství síry ve formě CaSO_4 do půdy zvýší i obsah S v rostlinném materiálu. Za tímto účelem byl měřen obsah síry v celé nadzemní hmotě i v nejmladších, nejméně z 80 % vyvinutých listech.

Z dosažených výsledků vyplývá, že se hnojení sírou na obsahu S v nadzemní hmotě rostlin výrazně neprojevilo. Průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami nebyly prakticky pozorovány.

8.1.2. Ozimá pšenice

V tabulce 16 jsou uvedeny výnosy ozimé pšenice hnojené dle metodiky z kapitoly 7.3. dávkami od 0 do 40 kg S/ha. Rozdíly ve výnosech zde nejsou tak patrné jako v předchozím experimentu s řepkou ozimou. Nejnižší výnosy byly zjištěny zpravidla na kontrolní, sírou

nehnojené variantě, nejvyšší zpravidla u varianty hnojené 40 kg S/ha. Rozdíly mezi variantami však nebyly statisticky průkazné. Průměrné výnosy byly ve všech ročnících podobné.

Tab. 16: Změny výnosu zrna ozimé pšenice oproti kontrole – 100 %

Stanoviště	dávka S (kg/ha)	průměr 2008-2010
Hněvčeves	10	+2,0 %
	20	+1,3 %
	40	+2,0 %
Humpolec	10	+1,7 %
	20	+2,3 %
	40	+4,3 %

K doplnění informací o efektivitě hnojení sírou byl průběžně sledován i výživný stav porostu charakterizovaný procentem celkové síry v nadzemní hmotě i v nejmladších listech.

Podobně jako u ozimé řepky se ani zde nevyskytovaly průkazné rozdíly mezi sledovanými variantami, ani nelze usuzovat na vzestupné tendence obsahu S v nadzemní hmotě nebo v listech se stoupající dávkou síry v hnojivu. Byly však pozorovány určité rozdíly v obsahu síry v závislosti na vegetačních fázích.

8.1.3. Dílčí závěry

- Aplikace síry hnojivem LAS se pozitivně projevila na výnosech ozimé řepky i ozimé pšenice.
- Na obsahu síry v nadzemní hmotě rostlin se hnojení prakticky neprojevilo.

9. Shrnutí výsledků a závěry pro praxi

V horizontu posledních třiceti let došlo k výraznému poklesu obsahu minerálních forem síry v půdě, a to o více než 50 %. To se týká především síry v půdním roztoku, která je rozhodující formou pro příjem rostlinami. Proto se v porostech plodin náročných na síru stále častěji projevují nedostatky tohoto prvku a hnojení sírou se stává stále aktuálnějším problémem.

Pro optimalizaci hnojení sírou je důležité získat přehled o různých frakcích síry v půdě i v rostlině. **K základním analýzám patří stanovení síry ve vodném výluhu, které udává přehled o mobilních síranech v půdě.** Na toto stanovení je možné navázat ve frakcionační analýze stanovením adsorbované a následně i okludované síry. Pro podrobnější vyhodnocení je možné provést i analýzu HI-redukovatelné síry a na základě získaných hodnot vypočítat i obsah síry vázané v estersulfátech. Tato analýza je však již finančně i časově náročná.

Hodnoty obsahu síry v půdě stanovené vodným výluhem do 8 mg S/kg lze považovat za nízké. Naopak vzhledem k tomu, že pro rostlinu nejsou toxické ani hodnoty přesahující stovky mg/kg mobilní síry v půdě, je výskyt nadbytku síry v rostlině v aktuálních podmínkách ČR nepravděpodobný.

K odstranění nedostatku síry je v současné době k dispozici celá škála hnojiv. **Částečně je možné ztráty síry eliminovat i použitím organických hnojiv, jako jsou hnůj, čistírenské kaly, rostlinné zbytky aj.** Uvedené výsledky ukazují, že z hlediska obsahů minerálních forem síry v půdě je lepší aplikovat chlévský hnůj, popřípadě i čistírenské kaly. Dlouhodobá aplikace NPK nebo samotného dusíku v minerální formě bez přídavku síry vedla ke snížení obsahu minerální, zejména vodorozpustné síry v půdě pod úroveň kontrolní nehnojené varianty. Proto jsou tyto systémy hnojení z dlouhodobého hlediska nevhodné. Důležitější je vyrovnaná výživa rostlin s ohledem na všechny živiny.

Aplikace samotných organických hnojiv nestačí k eliminaci ztrát S z půdy, a proto je v současné době nutné přikročit k aplikaci síry v **minerálních hnojivech**. Aplikace hnojiva se sírou ve formě CaSO_4 (LAS) se pozitivně projevila na zvýšení obsahu mobilní S v půdě i na výnosech ozimé řepky i pšenice. Se stoupající dávkou síry do půdy byly zpravidla zaznamenány i vzestupné trendy ve výnosech ozimé řepky i ozimé pšenice. Nejvyšších výnosů u řepky bylo dosaženo při dávce 50 kg S/ha a pšenice při dávce 40 kg/ha.

10. Ekonomické přínosy využití analýz minerální síry pro optimalizaci hnojení

Jak bylo uvedeno výše, za posledních třicet let došlo k výraznému poklesu obsahu minerálních forem síry v půdě, a to o více než 50 %. Síra se tedy v současné době stává klíčovým prvkem ve výživě rostlin. Využití analýz síry v půdě pro optimalizaci hnojení má řadu ekonomických přínosů:

- 1) Optimalizace hnojení sírou povede ke zvýšení výnosů především plodin náročných na tento prvek, jako je např. řepka ozimá. Při současné rozloze pěstované řepky lze očekávat přínos až v desítkách milionů Kč.
- 2) Důsledkem optimálního hnojení S je i zvýšení kvality pěstované produkce. V zeleninách dochází vlivem hnojení S ke zvýšení obsahu antikarcinogenních látek (glukosinolátů). Pravidelná konzumace zeleniny může vést k poklesu výskytu rakovinných nádorů, dochází tedy následně i k pozitivnímu ovlivnění zdraví obyvatelstva. Ekonomickým přínos je snížení nákladů ve zdravotnictví.
- 3) Hnojení sírou zvyšuje obranyschopnost rostliny. Lze předpokládat i částečné snížení spotřeby pesticidů. Tento pokles představuje nejen přínos ekonomický, ale i ekologický.

11. Seznam publikací, které předcházely metodice

Publikace s IF

Balík J., Kulhánek M., Černý J., Száková J., Pavlíková D., Čermák P. (2009): Differences in soil sulfur fractions due to limitation of atmospheric deposition. *Plant Soil Environ.*, 55(8): 344-352.

Kulhánek M., Balík J., Černý J., Vaněk V. (2009): Evaluation of phosphorus mobility in soil using different extraction methods *Plant Soil Environ.*, 55(5): 181-186.

Kulhánek M., Černý J., Balík J., Vaněk V., Sedlář O. (2011): Influence of the nitrogen-sulfur fertilizing on the content of different sulfur fractions in soil. *Plant Soil Environ.*, 57(12): 553-558.

Vaněk V., Balík J., Šilha J., Černý J. (2008): Spatial variability of total soil nitrogen and sulphur content at two conventionally managed fields. *Plant Soil Environ.*, 54(10): 413-419.

Recenzované publikace

Balík J., Tlustoš P., Wisniowka-Kielian B., Černý J. (2009): Sulphur and copper content in oilseed rape plants after the application of ammonium nitrate-sulphate. *Chemia i inżynieria ekologiczna*, 16(5-6): 515-522.

Kulhánek M., Balík J., Černý J., Peklová L., Sedlář O. (2013): Winter wheat fertilizing using nitrogen sulfur fertilizer. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v *tisku*.

Odborné publikace

Černý J. (2012): Nově o změnách obsahu síry v půdě. *Zemědělec*, 17: 14-16.

Kulhánek M., Černý J., Sedlář O., Peklová L. (2010): Aplikace hnojiva Lovofert v ozimé pšenici. *Úroda – odborný časopis pro rostlinnou produkci*, 9: 11-15.

Kulhánek M., Černý J., Balík J., Vašák F., Shejbalová Š. (2012): Bilance síry v půdách na základě využití výsledků z dlouhodobých pokusů. *Agrochémia*, XVI: 8-12.

12. Použitá literatura

- Balík J., Kulháněk M., Černý J., Száková J., Pavlíková D., Čermák P., 2009:** Differences in soil sulfur fractions due to limitation of atmospheric deposition. *Plant, Soil and Environment*, 55: 344-352.
- Balík J., Tlustoš P., 2000:** Hnojení ozimé řepky sírou. *Květy olejnin*, 4: 2-3.
- Freney J.R., 1986:** Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils. In: Tabatabai, M. A., (Ed.). *Sulfur in Agriculture*. Agronomy Monograph No. 27. ASA-CSSA-SSSA, Madison.
- Leggett J.E., Epstein E., 1956:** Kinetics of sulfate adsorption by barley roots. *Plant Physiology*, 31: 222-226.
- Lehmann J., Solomon D., Zhao F.J., McGrath S., 2008:** Atmospheric SO₂ emissions since the late 1800s change organic sulfur forms in humic substance extracts of soils. *Environmental Science & Technology*, 42: 3550-3555.
- Matula J., 2007:** *Výživa a hnojení sírou: metodika pro praxi*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Morche L., 2008:** *S-fluxes and spatial alterations of inorganic and organic sulphur fractions in soil as well as their accumulation and depletion in the rhizosphere of agricultural crops by partial use of the radioisotope ³⁵S*. Dissertation, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Scherer H.W., 2001:** Sulphur in crop production – invited paper. *European Journal of Agronomy*, 14: 81-111.
- Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D., Havlin U., 1993:** *Soil Fertility and Fertilizers*. Prentice Hall, New Persey.
- Vaněk V., Balík J., Černý J., Pavlík M., Pavlíková D., Tlustoš P., Valtera J., 2012:** *Výživa zahradních rostlin*. Academia, Praha, 570 s.
- Vaněk V., Balík J., Pavlíková D., Tlustoš P., 2007:** *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press, Praha, 167 s.
- Vaněk V., Kolář L., Štípek K., Jakl M., 2001:** Úloha síry v rostlinách a její potřeba. Sborník ze 7. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv, AF ČZU v Praze: 27-34.
- Zelený F., Zelená E., 1999:** Změna v bilanci síry v rostlinné výrobě České republiky. *Úroda*, 3: 23-25.

Název:	Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení (certifikovaná metodika)
Vydala:	Česká zemědělská univerzita v Praze
Autoři:	Ing. Martin Kulhánek, Ph.D. prof. Ing. Jiří Balík, CSc. prof. Ing. Václav Vaněk, CSc. prof. Ing. Daniela Pavlíková, CSc. Ing. Jindřich Černý, Ph.D.
Oponenti:	Ing. Michaela Budňáková Prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.
Tisk:	Powerprint, Praha
Náklad:	50 výtisků
Počet stran:	26
Rok vydání:	2013
Vydání:	první
Doporučená cena:	neprodejné
ISBN:	978-80-213-2376-6