

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Stanovení vodorozpustné síry v půdě a hodnocení
výživného stavu S u ozimé řepky a ozimé pšenice**

Diplomová práce

Autor práce: Tomáš Javor

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

© 2014 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "**Stanovení vodorozpustné síry v půdě a hodnocení výživného stavu S u ozimé řepky a ozimé pšenice**" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne: _____

Tomáš Javor

Poděkování

Rád bych touto cestou upřímně poděkoval panu Ing. Jindřichovi Černému, Ph.D. za umožnění zpracování navrženého tématu diplomové práce, za její odborné vedení, velmi vstřícný přístup, cenné připomínky a odborné informace.

Stanovení vodorozpustné síry v půdě a hodnocení výživného stavu S u ozimé řepky a ozimé pšenice

Souhrn

Cílem práce bylo monitorovat a vyhodnotit změny obsahu vodorozpustné síry ($S_{\text{vod.}}$) v půdě a výživný stav ozimé řepky a ozimé pšenice sírou. Úkolem bylo zjistit, zda je síra limitující živinou při tvorbě výnosu a kvality sklizně. Zároveň byla posouzena vypovídací schopnost diagnostických metod pro optimalizaci hnojení sírou.

Monitoring probíhal v letech 2012 a 2013 ve východočeském regionu na území okresů Ústí nad Orlicí, Svitavy a okrajově Chrudim a Rychnov nad Kněžnou. Celkem bylo každý rok monitorováno 14 stanovišť ozimé řepky a 9 stanovišť ozimé pšenice (v roce 2013 bylo 10 stanovišť) v klíčových vývojových obdobích. Stanovení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě a celkové síry v rostlinách ($S_{\text{tot.}}$) bylo detekováno přístrojem ICP-OES.

V průběhu jarní vegetace plodin se vyskytovaly na 60 – 70 % stanovišť velmi malé zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě (3,5 – 10,9 ppm). Vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě o 3,5 – 5,8 ppm byly po celou vegetaci zjišťovány v minimalizačních systémech pěstování plodin ve srovnání s orbou. Obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě během vegetace kolísaly podle úrovně hnojení dusíkatými hnojivy se sírou (síra jako SO_4^{2-}), podle intenzity srážek a intenzity příjmu síry rostlinami.

Výživa rostlin sírou byla ovlivněna průběhem počasí a obsahem $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Nedostatečná výživa porostů sírou byla zjištěna v případech nízké intenzity minerálního hnojení sírou. V celé kolekci stanovišť síra nebyla limitující živinou pro tvorbu výnosu plodin. Výživa plodin sírou byla ve velmi těsné závislosti s výživou dusíkem. Síra byla limitující živinou pouze při současné nedostatečné výživě rostlin dusíkem. Výživa sírou se významně podílela na utilizaci dusíkatých látek v zrně ozimé pšenice pouze v období metání v roce 2013 pro snížené výživné stavy dusíkem.

Použité diagnostické metody podávaly dostatečné informace o výživných stavech rostlin sírou v kontextu se sklizňovým výnosem. Signifikantní byly metody zejména v období butonizace a kvetení řepky a v období sloupkování a metání pšenic. Metody nepodhodnocovaly potřebu síry, naopak hodnotily výživné stavy přísněji, než požadovala výnosová úroveň porostu. Osvědčila se indikace deficitu síry podle optimálního poměru N : S pro danou plodinu.

Klíčová slova: diagnostika, ozimá řepka, ozimá pšenice, síra, vodorozpustná S, výživný stav

Determination of water-extractable sulphur and S status evaluation of winter rape and winter wheat

Summary

The aim of the thesis was to monitor and evaluate changes of content of water-extractable sulphur ($S_{wex.}$) in the soil and also the state of nutrition of winter rape and winter wheat after sulphur fertilization. The task was to find out if sulphur is an essentially limiting plant nutrient of crop yields and its quality. At the same time it was assessed how representative the diagnostic methods of optimizing the sulphur fertilization are.

The monitoring took place between years 2012 and 2013 in the eastern region of the Czech Republic in the territories of Ústí nad Orlicí, Svitavy and marginally in both Chrudim and Rychnov nad Kněžnou. In total there were examined 14 habitats of winter rape and 9 of winter wheat (in 2013 10 territories of winter wheat) in important plant growth stages. The determination of both the content of $S_{wex.}$ in the soil and total amount of sulphur in the plants ($S_{tot.}$) was detected by ICP-OES instrument.

During the period of spring vegetation of both winter rape and wheat there were very limited supplies (3.5 – 10.9 ppm) of $S_{wex.}$ in 60 – 70 % of habitats. Higher contents of $S_{wex.}$ in the soil were detected in minimal till compared to ploughing. The contents of $S_{wex.}$ in the soil fluctuated in response to fertilizing system, where fertilization was performed by nitrogen-sulphur (sulphur as SO_4^{2-}), the level of precipitation and intensity of sulphur uptake by plants.

The sulphur nutrition was influenced by weather conditions and contents of $S_{wex.}$ in the soil. Low intensity of mineral sulphur fertilizing showed insufficient sulphur nutrition. In all habitats sulphur was not an essentially limiting nutrient affecting the crop yields. Sulphur fertilizing was in congruence with nitrogen dose. Sulphur was limiting only in case of deficiency caused by the lack of nitrogen. Sulphur nutrition significantly contributed to nitrogen utilization in case of the grains of winter wheat only in the stage of earing in year 2013 when nitrogen nutrition was reduced.

The diagnostic methods which were used transferred information about sulphur nutrition of plants in context with crop yields. The methods were significant especially in the stages of rape bud stage and flowering and in the stages of wheat shooting and earing. The methods did not underestimate the need of sulphur, they assessed the state of nutrition more strictly to the contrary than what vegetation required in terms of crop yields. An optimal rate of N : S proved to indicate the deficit of sulphur for each of the two plants.

Keywords: diagnosis, winter rape, winter wheat, sulphur, water-extractable sulphur, nutritional status

OBSAH

1 ÚVOD	9
2 CÍL PRÁCE	10
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
3.1 Požadavky sledovaných plodin na prostředí	11
3.2 Výživa a hnojení ozimé řepky a ozimé pšenice	12
3.2.1 Význam a použití organických a statkových hnojiv	13
3.2.2 Charakteristika a použití minerálních hnojiv	14
3.2.3 Význam a použití mimokořenová výživy rostlin	14
3.2.4 Výživa a hnojení dusíkem	15
3.2.5 Výživa a hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem	16
3.2.6 Výživa a hnojení vápníkem	18
3.2.7 Výživa a hnojení sírou	18
3.3 Síra jako živina	19
3.4 Síra v půdě	20
3.4.1 Mineralizace sirných organických látek v půdě	21
3.4.2 Anorganické sloučeniny síry v půdě	23
3.4.3 Vedlejší zdroje síry v půdě	23
3.4.4 Imobilizace síry v půdě	24
3.4.5 Desulfurikace	24
3.4.6 Vyplavování	25
3.5 Síra v rostlině	25
3.5.1 Význam a utilizace síry rostlinami	26
3.5.2 Přijatelné formy síry rostlinami	27
3.5.3 Faktory ovlivňující příjem síry rostlinami	28
3.5.4 Poruchy při nedostatku a nadbytku síry v rostlinách	28
3.6 Diagnostické metody výživy rostlin sírou	29
3.6.1 Analýzy obsahu síry v půdě	30
3.6.2 Analýza síry v rostlinách	31
3.6.3 Diagnostika podmínek výživy rostlin sírou	32
3.6.4 Diagnostika výživného stavu rostlin sírou	34
4 METODIKA	36
4.1 Charakteristika zájmového území kontrolních stanovišť	36
4.2 Hnojení porostů na kontrolních stanovištích	37
4.3 Odběr vzorků půd a rostlin pro laboratorní analýzy	44

4.3.1	Postup při odběru vzorků půdy na obsah vodorozpustné síry v půdě	44
4.3.2	Postup při odběru vzorků nadzemních částí rostlin (NČR)	45
4.4	Chemické analýzy půd a rostlin	45
4.5	Vyhodnocení výsledků	46
4.5.1	Kritéria hodnocení výsledků rozborů obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě	47
4.5.2	Vyhodnocení výživného stavu rostlin ozimé řepky sírou	48
4.5.3	Vyhodnocení výživného stavu rostlin ozimé pšenice sírou	49
5	VÝSLEDKY	50
5.1	Monitoring obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě	50
5.1.1	Monitoring dynamiky obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty ozimé řepky	52
5.1.2	Monitoring dynamiky obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty ozimé pšenice	56
5.1.3	Klasifikace zásobenosti půd $S_{\text{vod.}}$ pod monitorovanými porosty	60
5.1.4	Zásobenost půd $S_{\text{vod.}}$ pod podle stanovištních podmínek	63
5.2	Monitoring výživného stavu rostlin sírou	65
5.2.1	Odběr síry porosty ozimé řepky a ozimé pšenice	65
5.2.2	Monitoring dynamiky výživného stavu ozimé řepky sírou	67
5.2.3	Monitoring dynamiky výživného stavu ozimé pšenice sírou	70
5.2.4	Hodnocení výživného stavu rostlin ozimé řepky sírou	73
5.2.5	Hodnocení výživného stavu rostlin ozimé pšenice sírou	77
5.3	Posouzení diagnostických metod pro optimalizaci hnojení sírou	81
5.3.1	Naplnění optimálního výživného stavu rostlin ozimé řepky	81
5.3.2	Modelové obsahové křivky výnosového potenciálu ozimé pšenice	84
5.4	Vliv obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě na výživný stav rostlin sírou	88
5.4.1	Vliv obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě na výživný stav ozimé řepky	88
5.4.2	Vliv obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě na výživný stav ozimé pšenice	90
5.5	Vztah mezi výživným stavem monitorovaných plodin sírou a dusíkem	92
5.5.1	Vztah mezi výživou ozimé řepky sírou a dusíkem	92
5.5.2	Vztah mezi výživou ozimé pšenice sírou a dusíkem	94
5.6	Vztah mezi výživou rostlin ozimé pšenice sírou a obsahem dusíkatých látek v zrně	96
6	DISKUZE	98
7	ZÁVĚR	111
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	113
9	SEZNAM PŘÍLOH	118

1 ÚVOD

Výživě polních plodin sírou se v nedávné minulosti nevěnovala zvláštní pozornost. Dostatečnou a mnohdy nadbytečnou výživu rostlin sírou zabezpečovaly imisní spady oxidu siřičitého (SO_2) aj., pocházející zejména z intenzivního spalování fosilních paliv (uhlí) v tepelných elektrárnách. V minulosti byla také zemědělci síra více dodávána do půdy, byť i necíleně, balastní složkou minerálních hnojiv (síran amonný, superfosfát aj.) a používáním pesticidů obsahující síru.

Poškozením vegetace v exponovaných horských lokalitách s vysokými spady SO_2 (v přepočtu až 150 kg S/ha za rok) bylo v obecném zájmu společnosti eliminovat tyto škodlivé depozice. V časovém horizontu 20 – 30 let, po tzv. vlně odsíření elektráren, docházelo postupně k výrazné eliminaci suchých a mokrých depozic síry. V roce 2012 činily celkové depozice 45.675 t S (z toho 24.644 t S mokré depozice), což v přepočtu činilo necelých 6 kg S/ha veškeré půdy v ČR. Tyto poklesy depozic v důsledku postupně prohlubují, spolu s převládající nízkým hnojením sírou, její deficit v půdě a posléze ve výživě náročných plodin.

Úroveň síry ve výživě rostlin je v současné době na řadě lokalit České republiky ve středním až hlubokém schodku, který signalizují i typické vizuálními symptomy žloutnutí, profialování a později až bělení mladých vegetativních orgánů. Deficit síry se projevuje hlavně u náročných plodin na síru, kterými je bezesporu řepka, zeleniny a siličnaté rostliny ale také u pěstitelů s vysokými výnosy obilnin (pšenice), cukrovky, brambor a kukuřice.

S vývojem nepříznivé situace obsahu síry v půdě a výživy rostlin sírou k potřebě dosahování vysokých výnosů a kvality produkce, vzniká potřeba včasného odhalení deficitu síry. To zabezpečují spolehlivé diagnostické metody aktuálního výživného stavu půd a rostlin, založené na laboratorních analýzách přijatelných forem síry v půdě a obsahu síry ($S_{\text{tot.}}$) v rostlinách při detekci metodou optické emisní spektrometrie. Pro odhalení aktuálního deficitu síry v půdě se v pokusných podmínkách VÚRV, v.v.i., Praha – Ruzyně, osvědčila metoda stanovení vodorozpustných forem síry ($S_{\text{vod.}}$) při extrakci vzorku zeminy v poměru 1 : 5.

Předložená diplomová práce je příspěvkem do problematiky diagnostiky výživného stavu sírou v porostech ozimé řepky a ozimé pšenice, na základě provedených laboratorních analýz vodorozpustných forem síry v půdě a analýz síry ($S_{\text{tot.}}$) v rostlinách. Rovněž ověřuje vypovídací schopnost používaných diagnostických metod pro optimalizaci hnojení sírou v provozních podmínkách rostlinné výroby východočeského regionu.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je monitorovat a vyhodnotit změny obsahu vodorozpustné síry ($S_{\text{vod.}}$) v půdě a výživný stav sírou v rostlinách ozimé řepky a ozimé pšenice na vybraných kontrolních stanovištích na území východočeského regionu. Zároveň bude posouzena vhodnost použití dostupných výživářsko-výrobních diagnostických metod a kritérií hodnocení výživy sírou pro optimalizaci hnojení sírou.

Hypotéza

Předpokládá se, že síra bude limitující živinou ve výživě ozimé řepky a ozimé pšenice a ovlivní posléze dosažený výnos hlavního produktu (u pšenice ozimé i obsah dusíkatých látek v zrně). Rovněž se předpokládá, že obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě a následně výživa rostlin sírou bude ovlivněna průběhem počasí (ročník) a aplikovanými organickými, statkovými a minerálními hnojivy obsahující síru.

Po vyhodnocení výživného stavu půdy a rostlin se předpokládá, že koncepce dostupných modelových diagnostických metod a ostatních hodnotících kritérií výživy rostlin sírou, podají relevantní údaje o výživném stavu a budou vhodným podkladem pro optimalizaci hnojení sírou.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Literární přehled zahrnuje komplexní problematiku výživy rostlin, s důrazem na výživu sírou. Uvedeny jsou předně požadavky ozimé řepky a ozimé pšenice na půdně-klimatické podmínky, výživu a systém hnojení. Dále jsou uvedeny možné zdroje síry ve výživě plodin, uvedeny jsou procesy transformace síry v půdě, formy příjmu síry a mechanismy utilizace síry v rostlinách. V neposlední řadě jsou popsány diagnostické metody vhodné pro optimalizaci hnojení sírou.

3.1 Požadavky sledovaných plodin na prostředí

Řepka olejná (*Brassica napus* L., var. *napus*) z rodu brukev (*Brassica*) patří do čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*) a jde fylogeneticky o poměrně mladý, fakultativně cizosprašný druh. Má mohutný kulový kořen, kterým dobře přijímá vodu a osvojuje živiny (Vašák et al., 2000). Nejvýhodnější pro růst a vývoj řepky jsou klimatické podmínky odpovídající nadmořským výškám 400 – 650 m, s průměrnou roční teplotou 7 – 9 °C a ročními srážkami 450 – 700 mm. V těchto oblastech je nejvyšší jistota srpnových srážek (70 – 80 mm), a tím rychlé vzejití. Nevhodné jsou lokality s četnými výskyty holomrazů (-20 °C). Půdy pro řepku jsou nejvhodnější hluboké, strukturní, hlinitopísčité až hlinité, biologicky činné, pravidelně hnojené organickými, fosforečnými, draselnými hnojivy a s reakcí neutrální až slabě alkalickou. Nevhodné jsou půdy zamokřené, kde řepka snadno podléhá uhnívání, hrudovité a s vyoranou spodinou, kde špatně vzchází (Baranyk et Fábry, 2007).

Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) patří do čeledi lipnicovité (*Poaceae*) a řadí se mezi nejnáročnější obilniny. Je hlavní plodinou teplejších a sušších oblastí, kde průměrná teplota v jarním až letním období dosahuje 12 – 17 °C a úhrn srážek 250 – 500 mm. Nevyhovující jsou oblasti s teplotou v období hlavního růstu pod 11 °C a vydatnými srážkami převyšující 500 mm. Slabě vyvinutý kořenový systém vyžaduje půdy strukturní, hlubší, hlinité až jilovitohlinité s neutrální až slabě kyselou reakcí a dobře zásobené živinami. Nejvhodnějšími půdami jsou úrodné černozemě na spraších a půdy vododržné hlinité. Nevhodné jsou půdy kyselé, kamenité, extrémně písčité a trvale zamokřené. Pšenice má pomalý jarní vývoj, a tím je náročnější na disponibilní přísun živin a další agrotechnická opatření. Pro tvorbu výnosových prvků v době intenzivního růstu (sloupkování), při tvorbě klasu a zrna je vhodnější chladnější počasí s častými srážkami (Zimolka et al., 2005).

3.2 Výživa a hnojení ozimé řepky a ozimé pšenice

Náročnější na výživu z hlediska produkce 1 t hlavního a odpovídajícího množství vedlejšího produktu je řepka ozimá ve srovnání s ozimou pšenicí (Vaněk et al., 2007). To dokládají v tabulce č. 1 uvedené normativy středního odběru živin pro tvorbu výnosu.

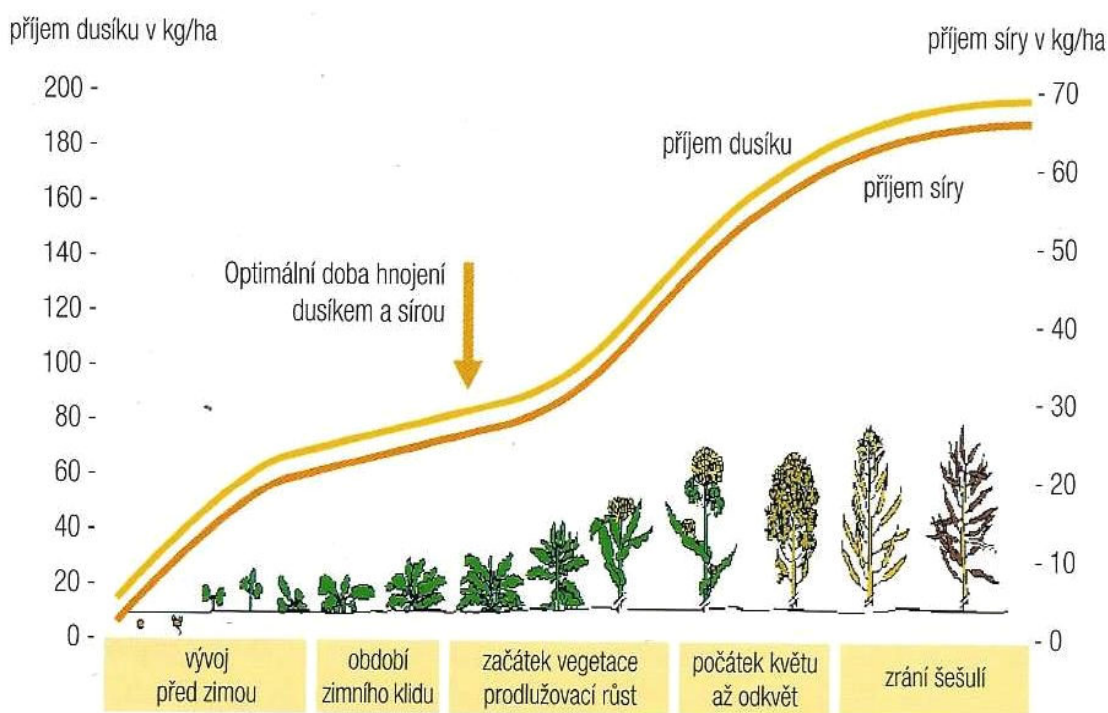
Tab. č. 1: Střední odběr živin na výnos 1 t hlavního produktu a odpovídajícího množství slámy (Zimolka et al., 2005; Vaněk et al., 2007)

Plodina	Odběr živin sklizní (kg/t)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Řepka ozimá	50 - 60	11 - 15	50 - 58	28 - 50	4 - 7	18 - 22
Pšenice ozimá	22 - 26	4,4 - 6,2	16,6 - 21,0	2,8 - 5,7	1,2 - 3,0	4 - 4,3

Dynamika odběru síry rostlinami během vegetace je závislá na aktuální potřebě rostlin (Richter et al., 2010). Zpravidla první období zvýšené potřeby a příjmu síry je v počátku prodlužování řepky nebo u obilnin na počátku sloupkování. Druhé období, a to období nejvyššího příjmu (potřeby) síry rostlinami nastává v plné butonizaci ozimé řepky nebo u obilnin v době metání (Withers et al., 1995; Alpmann et Baranyk, 2006). Průběh příjmu síry během vegetace ozimé řepky ukazuje obrázek č. 1.

Obr. č. 1: Dynamika příjmu dusíku a síry rostlinami ozimé řepky

(Alpmann et Baranyk, 2006)



3.2.1 Význam a použití organických a statkových hnojiv

Organická hnojiva tvoří hlavní složku organické látky rostlinného nebo živočišného původu (sacharidy, celulóza, aminokyseliny, bílkoviny aj.), které nelze z pohledu udržení a zvyšování půdní úrodnosti nahradit jinými látkami. Obsahují také makrobiogenní i mikrobiogenní prvky (Richter et Kubát, 2003). Statková hnojiva jsou organická hnojiva vyráběná přímo v zemědělském podniku (Vaněk et al., 2007). Statková a organická hnojiva pozitivně ovlivňují biologickou činnost půdy, zvyšují stabilitu půdních agregátů a mimo jiné zpřístupňují fosfor v půdě (Žalmanová, 2010).

Hnojení hnojem by mělo být situováno k plodinám s delším vegetační dobou, jako jsou okopaniny, zeleniny, kukuřice, ale i řepka. Optimální roční dávka je 9 t/ha, přičemž v rámci osevního postupu se hnojí pouze pro náročné plodiny, a to představuje hnojení 1x za 3 – 4 roky. U okopanin a kukuřice používáme dávky vyšší 30 – 40 t/ha, u řepky dávky střední 25 – 30 t/ha a po horších předplodinách a na lehčích půdách je účelné aplikovat nižší dávky 20 t/ha i pro obilniny (Richter et Kubát, 2003). Důležité je okamžité zaorání hnoje, neboť se jinak snižuje jeho hnojivá účinnost, po 6 hodinách o 3 – 16 % a po 1 dnu o 6 – 21 % (Vaněk et al., 2007).

V porostech ozimé řepky i ozimé pšenice lze při regeneračním přihnojení dusíkem aplikovat kejdu speciálním aplikátorem s tzv. systémem vlečných hadic. Dávky kejdy se řídí podle obsahu dusíku a draslíku v hnojivu a podle nároků plodin. U obilnin volíme dávku do 30 t/ha a lze celkově takto uhradit až 50 % jejich celkové potřeby dusíku (Neuberg et al., 1990). Rozšiřuje se přihnojení organickým hnojivem digestátem z bioplynových stanic, který kromě ostatních živin obsahuje 4,2 – 4,8 % N a 0,03 – 0,06 % S. Složení statkových hnojiv různého původu uvádí níže tabulka č. 2.

Tab. 2 Průměrné složení statkových hnojiv živočišného a rostlinného původu
(Klír et al., 2007)

Statkové hnojivo	Organické látky (%)	N	P	K	Ca	Mg	S
		kg/t statkového hnojiva					
Hnůj skotu (suš. 23 %)	17,0	5,0	1,4	5,9	3,2	0,9	1,0
Kejda skotu (suš. 7,8 %)	6,0	3,2	0,7	4,0	1,4	0,4	0,4
Kejda prasat (suš. 6,8 %)	5,3	5,0	1,3	1,9	2,4	0,4	0,4
Suchý dr. trus (suš. 50 %)	35,0	19,2	10,6	12,4	28,6	2,7	4,0
Sláma obilnin (pšenice)	80	5,1	1,2	13,9	2,7	1,0	1,5
Sláma luskovin (hrách)	80	15,0	1,5	15,0	5,7	1,8	3,0
Sláma olejnin (řepka)	80	6,6	1,3	19,0	14,5	1,3	2,0
Chrást cukrovky	10	4,0	0,4	4,5	1,9	1,1	0,3
Nať brambor	10	2,8	0,2	4,0	4,1	0,9	0,5

3.2.2 Charakteristika a použití minerálních hnojiv

Při použití minerálních hnojiv je cílem zajistit pěstovaným rostlinám optimální množství živin potřebné pro tvorbu výnosu a zároveň udržet nebo zvýšit půdní úrodnost daného stanoviště (Richter et Hlušek, 2003). Z hlediska půdní úrodnosti je nejvýhodnější kombinace organického hnojení doplněná o vyrovnanou dávku minerálního hnojení (Richter, 1997). Z chemického hlediska jsou minerální (koncentrovaná) hnojiva jednoduché chemické sloučeniny (soli) nebo jejich směsi a jen výjimečně se používají složité (vysokomolekulární) sloučeniny (např. pomalu působící hnojiva) (Richter et Hlušek, 1996).

Ke hnojení sírou během vegetace se používají lehce rozpustná dusíkato-sírná hnojiva (DASA, síran amonný aj.) nebo síran hořečnatý (Kieserit). Při hnojení do půdy se dobře uplatňují postupně rozpustné sloučeniny síry jako je síran vápenatý (sádrovec) nebo elementární (molekulová) síra (Matula, 2007). Hnojiva na bázi elementární síry jsou obvykle granulovány společně s bentonitem, který ve styku s půdní vlhkostí bobtná, čímž způsobí rozpad granulí hnojiva, a tím umožní postupnou mikrobiální oxidaci v půdě sirnými bakteriemi rodu *Thiobacillus* spp., na formu síry (SO_4^{2-}) lehce přijatelnou rostlinami (Yang et al., 2010; Valenta, 2011).

Při hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem uplatňujeme zásadu, že se hnojí půda především podle výsledků agrochemického zkoušení zemědělských půd stanovující vyluhovatelné formy živin metodou Mehlich (Balík, 1993; Vaněk et al., 2007).

3.2.3 Význam a použití mimokořenová výživy rostlin

Mimokořenová neboli listová výživa je speciální opatření, které řeší určité výživové problémy v rámci pěstebních technologií (Mráz, 2009). Listová výživa je způsob hnojení, kterým během vegetace dodáváme rostlinám živiny ve vodném roztoku bezprostředně přes listy a ostatní nadzemní část (Baier et Baierová, 1985). Při příjmu živin listy pronikají ionty a molekuly do rostlin jemnými póry v kutikule, která ve vodě bobtná a stává se propustnější. Nejrychleji jsou z roztoků do buněk listů přijímány malé a nenabitě molekuly a jednomocné kationty (Baier et al., 1988). Rychlost vstupu aplikovaných živin do listu je ovlivněn ovlhčením listu roztokem hnojiva, průnikem kutikulou, buněčnou stěnou epidermis, vstupem do listového apoplastu (buněčné stěny a mezibuněčné prostory), aktivním příjmem do listového symplastu a distribucí uvnitř listu a rostliny. Také se stoupající koncentrací roztoku se snižuje rychlost příjmu molekul vlivem koncentračního gradientu (Trčková et al., 2009). Rychlost absorpce vybraných živin v listu rostliny uvádí tabulka č. 3.

Tab. č. 3: Průměrná doba potřebná k absorpci 50 % z celkového množství aplikované živiny (Trčková et al., 2009)

Živina	Doba absorpce	Velikost hydratovaného obalu
N (jako CONH_2) ₂	1 - 4 hod.	0,44 nm
Mg, Na	2 - 5 hod.	0,45 nm
Ca	4 dny	0,99 nm
P	5 - 10 dní	-
S	7 - 10 dní	-

Zejména se osvědčilo kvalitativního přihnojení dusíkem na list ve formě roztoku močoviny v ozimé pšenici. Aplikovaný dusík rychle prostoupí do metabolických drah rostliny a využívá se při syntéze bílkovin v zrna, začínající po odkvětu pšenice (Baier et al., 1988; Zimolka et al., 2005). Při deficitu síry ve výživě rostlin se osvědčuje použití roztoku hořké soli ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) ve 3 – 5 % koncentraci roztoku. Při dávce 400 l/ha a 5 % koncentraci roztoku se dodá kolem 2 kg S/ha (Matula, 2007). Účinek listové výživy je značně podmíněn aktuálním výživným stavem rostliny (Mráz, 2009).

3.2.4 Výživa a hnojení dusíkem

V rostlinách se dusík (N) nachází v nejdůležitějších dusíkatých látkách, v aminokyselinách, z kterých se tvoří bílkoviny v nukleových kyselinách, v chlorofylu, v mnohých glycodech, v alkaloidech a v jiných látkách (Bergmann et Čumakov, 1977). Účinek dusíku na vegetaci je pronikavý a rostliny reagují na jeho nedostatek či nadbytek velmi citlivě (Vaněk et al., 2007). Nedostatek dusíku, spojený s deficiencí ostatních živin (P, K, Mg, Ca, S), omezuje produkční orgány (Vaněk et al., 2007; 2012), vede rostlinu řepky k redukci počtu větví a později k redukci počtu šesulí a velikosti semen (Baranyk et Fábry, 2007). Nedostatečná výživa dusíkem vede pšenici k redukci odnoží a počtu zrn v klase a později ke snížené syntéze bílkovin v zrna (Zimolka et al., 2005).

Celková dávka dusíku k plodině se vypočte na základě odběrových normativů a podle předpokládaného výnosu při zohlednění ostatních zdrojů dusíku. Vyšší potřeba dusíku se předpokládá na horších stanovištích, kde větší část dusíku imobilizují mikroorganismy v půdě (Balík, 1993).

Porosty ozimé řepky již v období podzimu odebírají 60 do 80 kg N/ha. Pokud se projevují na rostlinách přibližně 3 – 4 týdny po vzejití žluté a červenofialové zabarvení listů je účelné hnojení v dávce 30 – 40 kg N/ha, jestliže byla řepka založena po obilnině se zaorávkou slámy bez vyrovnání poměru C : N. Dále tato dávka by měla být aplikována pokud řepka do

poloviny října nemá vyvinuty 4 listy nebo průměr kořenového krčku je menší než 4 mm (Alpmann et Baranyk, 2006). Hlavní hnojení ozimé řepky přichází časně jaře. Provádí se (1) regenerační přihnojení dusíkem (50 – 60 kg N/ha pro tzv. kořínkovou výživu, následně po cca 7 – 10 dnech (2) regenerační dávka (50 – 60 kg N/ha) pro tzv. srdéčkovou výživu a poté po cca 14 dnech (3) produkční přihnojení dusíkem (50 – 70 kg N/ha). V intenzivních podmínkách (výnosy 4 – 5 t/ha) se provádí (4) přihnojení na počátku květu (zelené až žluté poupě) na posílení výživy bočních větví (20 – 30 kg N/ha) (Bečka et al., 2013).

Porosty ozimé pšenice se hnojí zpravidla na jaře, počínaje regeneračním přihnojení (40 – 50 kg N/ha), následně produkční dávkou na počátku sloupkování (50 – 70 kg N/ha) a na závěr kvalitativní dávka (30 – 50 kg N/ha) v počátku metání nebo poslední korekce těsně po odkvětu (Richter et Hřivna, 2000; Zimolka et al., 2005).

3.2.5 Výživa a hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem

Zpravidla se těmito živinami hnojí půda, poněvadž jsou vázány jílovito-humusovým komplexem či jílovými minerály v půdě (Vaněk et al., 2007). Toho se využívá při vlastním stanovení potřeby hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem, které se řídí podle výsledků agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP) (Balík, 1993). Při hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem se uplatňuje zásada, že se hnojí průměrnými ročními dávkami v rámci osevního postupu (Richter et Hlušek, 1996).

Fosfor je v půdě málo pohyblivý, jeho obsah je v půdním roztoku většinou nízký, vyskytuje se ve formě minerální a organické. V rostlinném organismu dochází při jeho nedostatku ke značným funkčním poruchám, které se projevují nápadnými vnějšími příznaky fialování listů (Bergmann et Čumakov, 1977). Je součástí enzymů, které se spolupodílí v řízení buněčných funkcí (Alpmann et Baranyk, 2006). Zvláště škodlivý pro rostliny je jeho nedostatek v období tvorby generativních orgánů (Vaněk a kol., 2007). Ozimá řepka má vysoké nároky na obsah fosforu (optimálně 85 – 110 mg/kg) v půdě, ale zároveň dokáže dobře využívat fosfor z hůře dostupných forem. Dobrá zásobenost půd fosforem zabezpečuje v rostlině řepky snadnější syntézu mastných kyselin, a tím vyšší olejnatost (Alpmann et Baranyk, 2006). Hnojení pšenice fosforem, je pro horší osvojovací schopnost ve srovnání s řepkou, na méně zásobených půdách nezbytné. Optimální dávka fosforu se stanoví podle normativu na základě znalosti předpokládaného výnosu (na 1 t produkce zrna 5 kg P) a obsahu přístupného fosforu v půdě (Zimolka et al., 2005).

Draslík se v půdách vyskytuje hlavně v primárních a sekundárních křemičitanech (Vaněk a kol., 2007). V rostlinách se v jeho přítomnosti zvyšuje přijímání dusíku a v důsledku

syntéza bílkovin. Draslík podporuje normální průběh přeměny látek, zejména při pronikání vody do buněk čímž ovlivňuje osmotický tlak, a tím i turgor buněk (Bergmann et Čumakov, 1977). Tím, že draslík působí na regulaci příjmu vody kořeny do xylému a působí na otevírání a zavírání průduchů, podporuje odolnost rostlin vůči mrazu (Baranyk et Fábry, 2007). Draslík (K^+) je přítomný ve veškerých aktivně rostoucích pletivech a má tedy úlohu při růstových projevech a dělení buněk (Bergmann et Čumakov, 1977). Řepka ozimá má poměrně vysoké nároky na draslík (1 t semene odebere okolo 55 kg K/ha), proto se přednostně v rámci osevního postupu hnojí draslíkem. Při dobré zásobě (171 – 310 mg/kg) přístupného draslíku ve středně těžké půdě, přísluší dávka 100 kg K/ha, při vyhovující zásobě (106 – 170 mg/kg) přísluší dávka 135 kg K/ha (Baranyk et Fábry, 2007). Pšenice ozimá má střední nároky na draslík, hnojení se provádí obdobně, jako u řepky, s k zásobě přístupných forem v půdě (analýzy metodou Mehlich III) (Zimolka et al., 2005). Mimo výsledku známého obsahu draslíku v půdě a potřeby pro tvorbu předpokládaného výnosu je nutné při stanovení dávek zohlednit zaorávky posklizňových zbytků, které jsou poměrně bohaté na draslík (Vaněk et al., 2007).

Půdy obsahují v průměru 0,4 – 0,6 % hořčíku, na dolomitech až 10 %. Lehké, písčité a rašelinné půdy s nízkým pH vykazují velmi nízký obsah Mg (Vaněk et al., 2007). Hořčík v rostlinách je nevyhnutelnou složkou chlorofylu, aktivuje enzymy a syntézu bílkovin. Má vliv na přemísťování živin, zejména fosforu ze starých listů a stonků do růstových orgánů (Bergmann et Čumakov, 1977). Přístupnost hořčíku výrazně ovlivňuje draslík, který je vůči hořčíku silně antagonistický (Richter et Hlušek, 1996; Vaněk et al., 2007; 2012). Dobrá výživa hořčíkem úzce koreluje s velikostí semen řepky a zrn pšenice, proto je účelné při deficiencích ve druhé polovině vegetace (před květem) aplikovat nejlépe foliárně hořčík (Richter et Hřivna 2000; Trčková et al., 2009). Základní hnojení se provádí také jako u fosforu a draslíku podle obsahu přístupného hořčíku v půdě (Balík, 1993). Řepka ozimá i pšenice ozimá mají střední nároky na výživu hořčíkem. Dávky hořčíku pro výnosovou úroveň obilnin 6 t/ha by měly na střední půdě, v kategoriích vyhovující až vysoký obsah, dosahovat 35 – 10 kg Mg/ha (Vaněk et al., 2007).

Pro hnojení hořčíkem, fosforem a draslíkem se používají hnojiva uvedená v tabulce č. 4, která jsou prověřená svou účinností a běžně dostupná na trhu.

Tab. č. 4: Hnojiva vhodná pro udržení dobré zásoby P, K a Mg v půdě (Richter et Hlušek, 1996; Vaněk et al., 2007)

Fosfor	Období	Draslík	Období	Hořčík	Období
Superfosfáty	VIII.-IX.	Draselná sůl	VIII.-IX.	Kieserit	III.-VI.
Amofos	VIII.-IX.	Síran draselný	VIII.-IX.	Hyperkali	III.-IV.
Hyperfosfáty	VII.-VIII.	Korn Kali, Kamex	VIII.-IX.	Dolom. vápen.	VI.-X.

Pozn.: Období je orientační kalendářní termín vhodný pro aplikaci hnojiv.

3.2.6 Výživa a hnojení vápníkem

Rostliny přijímají vápník převážně pasivně kořenovými špičkami. Úloha vápníku v rostlině spočívá ve stabilizaci buněčných stěn a membrán (Vaněk et al., 2007). Při stanovení dávky vápenatého hnojiva vycházíme z hodnoty pH/KCl nebo pH/CaCl₂, zohledňujeme půdní druh a orientujeme se také podle obsahu přístupného Ca v půdě (Zimolka a kol., 2005). Cílem vápnění je dosáhnout a udržet optimální reakci půd (pH). Vápnění vyžadují především půdy, které nedosahují optimálních hodnot pH (meliorační vápnění), ale pro udržení současného pH (udržovací vápnění) i půdy s optimální hodnotou pH (Balík, 1993).

3.2.7 Výživa a hnojení sírou

Síra je součástí aminokyselin a plnohodnotných bílkovin, podobně jako dusík, ale v porovnání v menším zastoupení. S tím souvisí skutečnost, že rostliny s vysokými nároky na dusík mají vyšší nároky na výživu sírou. Spolupůsobení dusíku a síry vede zejména k efektivní utilizaci dusíku při biosyntéze bílkovin. Optimální poměr síry a dusíku v rostlinách by měl být 1 : 10 - 17, poměr síry a fosforu 1 : 1,5 – 2, a tedy těmito poměry by se měly přizpůsobovat i dávky síry při hnojení (Janzen et Bettany, 1984; Alpmann et Baranyk, 2006). Zároveň mají vyšší nároky na síru rostliny produkující více bílkovin, silic a pryskyřic, tedy řepka a brukvovité zeleniny, dále chmel, jeteloviny, kmín a cibuloviny (Šebánek et al., 1983; Vaněk et al., 2007).

Příjem síry plodinami závisí na jejich potřebě přijímat tuto živinu a na celkové produkci biomasy. U středně náročných plodin (obilniny, trávy) se pohybuje odběr síry sklizní v rozmezí od 20 do 50 kg S/ha (Zelený et Zelená, 1999) u náročných jako je řepka ozimá v rozmezí 70 – 80 kg S/ha. Na úrodných sprašových půdách hnědozemního typu může hybridní odrůda ozimé řepky odebírat až 110 kg S/ha (Matula, 2007).

Hnojení sírou pro významnou mobilitu síranů v půdním profilu je nutné rozlišovat z hlediska období aplikace. Jedná se o (1) hnojení méně rozpustnými sloučeninami síry před setím (zásobně) a (2) hnojení lehce rozpustnými sloučeninami síry během vegetace plodin

(Matula, 2007; Valenta, 2011). Dostupná hnojiva obsahující síru při rozdělení na vhodný termín aplikace síru uvádí níže tabulka č. 5.

Tab. č. 5: Sortiment nejběžnějších hnojiv s obsahem síry a její formy zdrojů

(Matula, 2007; Valenta, 2011)

Hnojivo		Obsah síry (%)	Vhodné období použití
Název (zkratka)	Chemické složení		
Síran amonný (SA)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	22 - 24	Za vegetace
Kieserit (síran hořečnatý) (KIE)	$\text{MgSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	19 - 21	Za vegetace
Síran draselný (SD)	K_2SO_4	16 - 18	Za vegetace
Síran vápenatý (sádra) (SV)	CaSO_4	14 - 18	Před setím
Superfosfát jednoduchý (JSP)	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$	8 - 10	Před setím
DASA	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	13	Za vegetace
ENZIN [®]	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +dikyandiamid DCD a 1,2,4 triazol	13	Před setím, za vegetace
SAM 19 N - 5 (SAM)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{CO}-(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	5	Za vegetace
Ledek amonný se sírou (LAS)	$(\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaSO}_4)$	6	Za vegetace
Hořká sůl (HS)	$(\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O})$	11 - 13	Za vegetace
WIGOR S	Element. S + bentonit (10 %)	85	Před setím, k předplodině

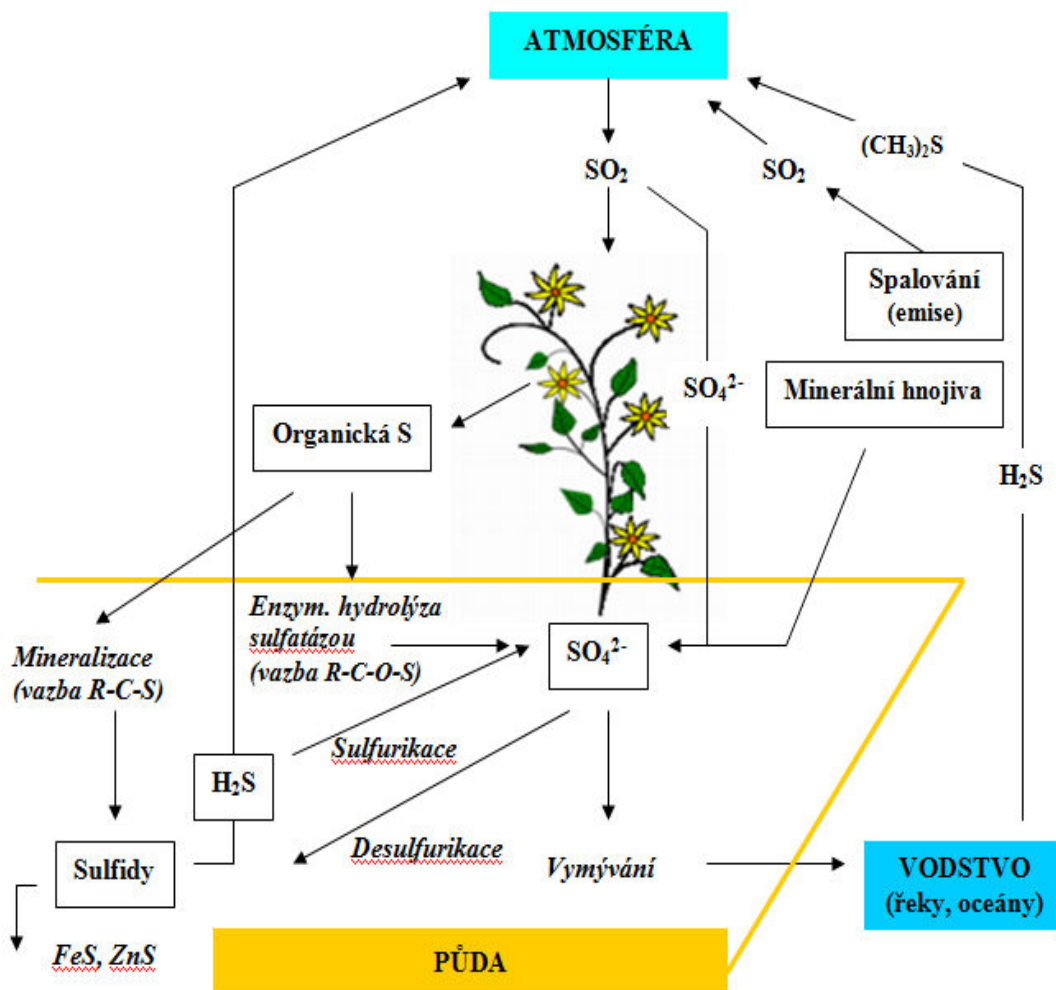
Pozn.: Vhodné období pro použití daného hnojiva je dáno vazbou síry ve sloučenině, a tím možností příjmu rostlinou ve formě SO_4^{2-} . Rychlost zpřístupnění síry pro rostliny z hnojiv je přibližně v tendenci $\text{S} < \text{CaSO}_4 < \text{MgSO}_4 < (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

3.3 Síra jako živina

Síra patří společně s dusíkem, fosforem, draslíkem, vápníkem a hořčíkem mezi makrobiogenní prvky (Vaněk et al., 2007, 2012). Rostlinami je síra ochotně přijímána ve formě nejvyššího oxidu, tj. jako síranový aniont (SO_4^{2-}) (Šebánek et al., 1983). Síran je dále v rostlině řadou redukčních procesů (síran>siřičitan>sulfan) redukován na síru (S), a ta posléze spolu s dusíkem se účastní syntézy plnohodnotných proteinů, základních vitamínů a řady enzymatických kofaktorů (Kertesz et Mirleau, 2004; Matula, 2007). Síra je také důležitá stejně jako dusík pro dostatečnou tvorbu chlorofylu a ovlivňuje příjem fosforu (přijímán jako H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) a dalších důležitých živin (De Bona et Monteiro, 2010). Pohyblivost síry v rostlinách je velmi dobrá, přijatý síran je většinou transportován xylémem do nadzemních orgánů, kde se může hromadit, nebo být využit k syntéze organických sloučenin (Vaněk et al.,

2001). Méně oxidovaná síra (SO_2) nebo redukováaná (H_2S) je pro rostliny hůře přijatelná nebo nepřijatelná a působí při delší expozici toxicky (Šebánek et al., 1983). Přeměna síry v rostlinnou živinu v půdě (SO_4^{2-}) a přeměna síry mezi atmosférou (živina SO_2) rostlinou a půdou a probíhá takto:

Obr. č. 2: Koloběh síry v přírodě (Ivanov, 1981; Tlustoš et al., 2001; Vaněk et al., 2012)



3.4 Síra v půdě

Celkový obsah síry v zemědělských půdách kolísá v širokém rozpětí od 50 do 500 mg S/kg (Vaněk et al., 2012). Profil ornice (0 – 30 cm) nejčastěji dosahuje obsahu celkové síry v rozmezí 85 – 250 mg S/kg. Poměrné zastoupení celkového obsahu síry k obsahu celkového uhlíku vyjádřené poměrem C/S bývá v půdách 78 – 126/0,5 – 1,5 a pro porovnání poměr C/N, který bývá užší, v rozmezí 78 – 126/8 – 13 (Freney et Williams, 1983; Matula, 2007). Převážná část, tzn. 90 – 98 % celkové síry v půdě, je součástí rozmanitých organických sloučenin, tedy v podobě nedostupné pro rostliny (Tisdale et al., 1993; Matula, 2007; Vaněk

et al., 2012). Organická síra půdy je členěna do dvou kategorií, a to zdali je přímo vázaná na uhlíkový skelet organických sloučenin a nebo nepřímo přes kyslík, dusík nebo síru (Freney, 1986; Matula, 2007; Vaněk et al., 2012). Hlavním zdrojem organické síry v půdě jsou kořeny rostlin, posklizňové zbytky organická a statková hnojiva živočišného původu (Vaněk et al., 2007; 2012).

Síra přímo vázaná na uhlík (C-S) ve vyskytuje např. v sirných aminokyselinách (cystein, methionin), merkaptanech (thiolech), disulfidech a sulfonových kyselinách (Freney, 1986). Nepřímo vázaná síra na uhlík (C-O-S, C-N-S, C-S-S) tvoří větší část síry v půdě a je snadněji uvolňována z organických sloučeniny při jejich mineralizaci (Tlustoš et al., 2001; Matula, 2007; Vaněk et al., 2012). Mezi lehce hydrolyzovatelné sloučeniny patří například sirné estery kyselin (estersulfáty), sirné silice (isothiokyanáty) nebo oxidované thioly (merkaptany) disulfidy (diallyldisulfid).

Minerální podíl síry v půdě tvoří sírany, které jsou dobře přijatelné kořeny rostlin (Sýkora et al., 2003; Vaněk et al., 2012). Značné množství síry (síranů) je také vázáno v půdních minerálech (např. sádrovec a pyrit) a jsou často opomíjenými zdroji síry. Jejich koncentrace dosahuje 10 – 100x vyšších hodnot v půdním roztoku, než ve srážkách (Eriksen et al., 1998). Síranový aniont (SO_4^{2-}) je vysoce mobilní v půdní vodě (Matula, 2007).

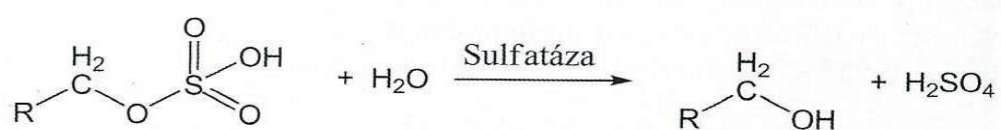
3.4.1 Mineralizace sirných organických látek v půdě

Celková mobilizace síry půdě je nízká, přírůstek síry mineralizací organických sloučenin do zásoby minerálních forem síry dosahují pouze 7 – 10 kg S/ha/rok (Eriksen et al., 1998). Nižší hodnotu uvolnění síry mineralizací zjistil také Matula (2007), který uvádí uvolnění na přirozeně úrodných půdách pouhé 4 kg S/ha během 60 dní jarní vegetace. Také Černý et al. (2012) zjistili nízké využití síry z hnojiv. Na základě použití izotopu ^{34}S stanovili poločas uvolňování síry (v letech) z jednotlivých zdrojů v následujícím pořadí: Síran amonný (0,6) < čistírenské kaly (6,2) < zelené hnojení (10,4) < hnůj (13,1). Výzkumy se shodují, že je výrazně nižší účast půdní organické hmoty na aktuální zásobě dostupné síry, ve srovnání s dusíkem, u kterého se ročně například podle Balíka (1993) může dle stanoviště a režimu hospodaření uvolnit 40 – 100 kg N/ha.

Rozklad sirných sloučenin závisí na vnějších podmínkách a může probíhat buď pouze enzymaticky nebo za účasti mikroorganismů. Enzymatická hydrolýza je nejběžnější při rozkladu sirných esterů, kde je síra nepřímo vázaná na uhlík na tomto procesu se podílí celá řada sulfatáz (např. arylsulfatáza). Mikrobiální mineralizace je nejčastější u přímých vazeb síry na uhlík, tzn. v redukované podobě aminokyselin (Tlustoš et al., 2001).

Nepřímá vázaná síra na organické sloučeniny snadněji podléhá mineralizaci. Jedná se o vazbu na organické sloučeniny v oxidované formě, jako estery s lipidy, polysacharidy i glukosinoláty a považuje se za potencionální zdroj síry ve formě síranů (SO_4^{2-}) pro rostliny. Hydrolytické uvolnění SO_4^{2-} z esterů způsobují enzymy (sulfatázy) různých typů, které jsou vysoce specifické k organickému zbytku molekuly (Vaněk et al., 2012). Proces enzymatické hydrolyzy (mineralizace) organických sloučenin, s estericky vázanou sírou, enzymem sulfatázou znázorňuje obrázek č. 3.

Obr. č. 3: Schéma mineralizace sirných organických sloučenin sulfatázou (síra vázaná v esterické formě C-O-S) (Vaněk et al., 2012)



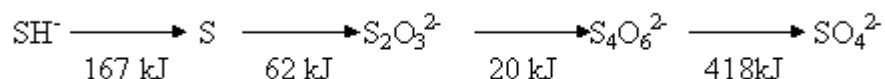
Organické sloučeniny obsahující v struktuře redukovanou síru přímo vázanou na uhlík, již obtížněji mineralizují. Nutná je dostatečná mikrobiální činnost specializovaných mikroorganismů, která je ovlivněna nejen oxidačně redukčními podmínkami v půdě, ale také významně půdní vlhkostí a teplotou. Mineralizace postupně probíhá při teplotě půdy od 4 °C, přičemž nejintenzivnější mineralizace, zvláště již vyšší stupně oxidace (sulfurikace) uvolněného H_2S probíhá při teplotách okolo 40 °C (Weir, 1975). Také Tlustoš et al. (2001) uvádějí nejintenzivnější mineralizaci organické síry z přímých vazeb na uhlík při teplotách okolo 36 °C.

Při mineralizaci síry přímo vázané na uhlík (C-S) se jedná především o rozvázání vazeb síry v aminokyselině cysteinu a methioninu, které jsou součástí komplexů sirných bílkovin. Jejich mineralizace probíhá (1) rozložením složitějších látek na jednodušší (až na aminokyseliny) (2) odštěpením S ve formě sulfanu (H_2S) a (3) jeho postupná sulfurikace (oxidace) na síran (SO_4^{2-}). Proces je principiálně podobný mineralizaci dusíku při které se uvolňuje amoniak (NH_3) při rozkladu organických látek a jeho postupnou oxidací na nitráty (NO_3^-) (Vaněk et al., 2012).

Při mikrobiálním rozkladu bílkovin a jiných látek obsahujících síru vznikají kromě majoritního podílu H_2S také v malém množství merkaptany (SH). V aerobních podmínkách je H_2S ihned oxidován fotosyntetizujícími a chemolitotrofními sirnými bakteriemi (*Beggiabo* aj.) na elementární síru (S), a ta je dalšími sirnými bakteriemi (např. *Thiobacillus*, *Thiotrix*,) postupně oxidována na sírany (SO_4^{2-}) a při tomto procesu uvolněná energie slouží bakteriím k redukci CO_2 (chemoautotrofy) (Tlustoš et al., 2001; Richter, 2007). Schématicky proces

oxidace redukované formy (SH) přes elementární síru (S) až na síran (SO_4^{2-}) lze znázornit takto (Richter, 2007):

Obr. č. 4: Schéma sulfurikace (oxidace) redukované formy síry



Malý podíl síry (1 – 3 %) je také vázán biomasou půdních mikroorganismů. Tato část organických sloučenin je nejdynamičtější v půdě a může se po mineralizaci významně podílet na výživě rostlin sírou (Vaněk et al., 2007; 2012). V závislosti na podmínkách se mineralizací organicky vázané síry půdní biomasou, může uvolnit do prostředí 5 – 49 kg S/ha. Přístupnost síry rostlinám a její dynamika je ovlivněna obsahem půdní organické hmoty a poměrem C : S. Pokud poměr C : S je užší než 200 : 1, dochází k uvolňování síranů do prostředí, v případě širšího poměru obou prvků než 400 : 1 dochází k zastavení a až k úplné imobilizaci (Tlustoš et al., 2001).

3.4.2 Anorganické sloučeniny síry v půdě

Anorganickými sirnými sloučeninami v půdě jsou zejména sírany, které jsou přítomny v půdním roztoku (půdní vodě) a část se také nachází v pevné fázi půdy. Pevnou fázi tvoří hlavně nerozpustné sírany, ale také jsou přítomny síranové koloidy s kladným nábojem, poutající významně sírany v kyselých půdách (Vaněk et al., 2012).

Výměnná sorpce síranů nastává v našich půdách pouze při jejich nízké reakci ($\text{pH} < 4$), a to s obvykle přítomnými hydroxidy železa a hliníku. Podorniční horizonty vykazují větší sorpci síranů, než ornice, protože vykazují nižší pH, (Matula, 2007).

Z dalších anorganických forem jsou potenciálním zdrojem síry sírany adsorbované na povrchu půdních částic a částečně i síra okludovaná v síranech vápenatých a hořečnatých (Černý et al., 2012). Výskyt anorganických sloučenin síry o nižším oxidačním stupni (S^{2-}) v půdě je spojen s anaerobními podmínkami. V těchto podmínkách (zamokřené nebo utužené půdy) dochází mimo jiné k silným redukčním pochodům a běžně se zde vyskytují toxické produkty (Mn^{2+} , Fe^{2+}) (Matula, 2007).

3.4.3 Vedlejší zdroje síry v půdě

Nezemědělským zdroje síry je spalování fosilních paliv (uhlí a těžkých olejů) a tavení rud produkující síru především ve formě oxidu siřičitého (SO_2). V atmosféře je emitovaný SO_2 oxidován na sírany (SO_4^{2-}) a posléze na kyselinu sírovou (H_2SO_4), která vytváří aerosol

ve formě kapiček a různě velkých pevných částic. SO_2 a látky z něho vznikající jsou z atmosféry uvolňovány mokrou a suchou depozicí (Hůnová et al., 2013).

Vstup SO_2 do půdy na území České republiky v roce 1990 činil 1 870 tis. t za rok, což odpovídalo po přepočtu přibližně 120 kg čisté síry na hektar veškeré půdy. V důsledku odsíření elektráren poklesly depozice SO_2 v roce 2008 zhruba na 230 tis. t za rok, tj. přibližně 15 kg S/ha (Kulháněk et al., 2011). V roce 2012 činila mokrá depozice 24 664 t čisté S a suchá depozice 21 011 t čisté S, v součtu tedy 45 675 t čisté S za rok na rozlohu ČR, tzn. necelých 6 kg S/ha (Hůnová et al., 2013).

Dalším vedlejším zdrojem síry jsou také perkolované sírany ze spodních vrstev půdy, kam se transportovaly půdní vodou v promyvném období zimy nebo za vydatnějších srážek. Návrat síranů do orničního horizontu, a tím zpřístupnění pro řadu plodin, nastává převážně vzlínáním půdní vody v kapilárních pórech v období sucha, tj. v období, kdy převládá výpar vody nad zasakováním (Matula, 2007).

3.4.4 Imobilizace síry v půdě

Imobilizace síry je proces biologické sorpce síranů, při které jsou mikrobiální činností transformovány do organický sloučenin v procesu přeměn organické půdní hmoty (Matula, 2007). Proces (redukce) SO_4^{2-} na H_2S a následné zabudování do organických sloučenin nastává působením mikroorganismů při širším poměru C : S v půdě než 400 : 1. Změnu poměru bezprostředně ovlivňuje množství a kvalita do půdy dodávané organické hmoty. K imobilizaci přístupné síry v půdě dochází po zapravení rostlinných zbytků s obsahem síry nižším než 0,13 %. Příkladem může být zaorávka slámy obilnin vykazuje široký poměr C : S, po které se může během krátké doby zvýšit imobilizaci síry a snížit její dostupnost rostlinám (Tlustoš et al., 2001).

Imobilizační trend labilních forem síry v půdě bývá zesilován interakcí s aplikací minerálních dusíkatých hnojiv. Také po samotné aplikaci dusíkatého hnojiva se sírou síranu amonného do půdy se dosahuje imobilizace síranů až do výše 20 % z aplikované dávky síry (Matula, 2007).

3.4.5 Desulfurikace

Desulfurikace je redukční proces, při kterém dochází v půdě k postupné redukci síranu (SO_4^{2-}) na elementární síru (S) a sulfan (H_2S). Jedná se o opačný proces k oxidaci (sulfurikaci) a je způsoben činností desulfurikačních půdních bakterií. Tento rozklad v půdě probíhá v anaerobních podmínkách za účasti bakterií, např. z kmene *Desulfovibrio*,

Escherichia a *Proteus*. Uvedený proces můžeme přirovnat k denitrifikaci dusíku v půdě, kdy je nitrát postupně redukován až na vzdušný dusík (N_2), která probíhá také za omezeného přístupu vzduchu v půdě a zároveň stoupá s teplotou půdy (Richter, 2007).

3.4.6 Vyplavování

V období promyvného režimu půd (hlavně v zimním období) jsou sírany snadno vyplavovány tokem gravitační vody do spodních vrstev. Síranový aniont (SO_4^{2-}) je vysoce mobilní v půdní vodě, neboť je odpuzován od povrchu půdních částic se stejnojmenným (záporným) nábojem (např. $H_2PO_4^-$) (Matula, 2007). Současně s SO_4^{2-} jsou vyplavovány také kationty (Ca^{2+} , Mg^{2+}), na které jsou sírany v půdě vázány (Richter, 2007). Průměrné roční ztráty síranů z profilu ornice dosahují 30 – 80 kg S/ha (Matula, 2007). Sírany jsou méně vyplavovány v půdách s vyšším obsahem jílovitých částic, nebo při aplikaci jílových minerálů spolu se sírou (Černý et al., 2012).

3.5 Síra v rostlině

Síra je přijímána kořeny rostlin převážně ve formě síranového aniontu SO_4^{2-} , a to aktivním způsobem za účasti enzymů. Vlastní příjem síry rostlinami je minimálně ovlivňován dalšími živinami v půdním roztoku i v půdním prostředí (Balík et Tlustoš, 2000; Vaněk et al., 2001; Matula, 2007). Rostliny příjem síranů i asimilaci síry řídí efektivně podle dostupnosti síranu v prostředí i podle aktuálních potřeb rostliny. Síra je transportována hlavně do mladých listů a meristémů (Pavlíková et al., 2011). V nadzemních částech rostlin (i do kořenů) je síra transportována již převážně v organických sloučeninách, a to hlavně v glutationu (Vaněk et al., 2001).

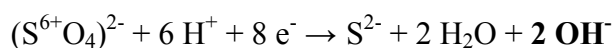
Optimální růst rostlin zabezpečí optimální obsah síry v rozmezí 0,1 až 0,5 % z hmotnosti sušiny. Mezi rostlinami jsou odlišné nároky na síru, což dokumentuje i obsah síry v semenech. Rody rostlin z čeledi *Poaceae* obsahují v semenech síru v rozmezí 0,18 – 0,19 %, *Fabaceae* v rozmezí 0,25 – 0,30 % a rody z čeledi *Brassicaceae* v rozmezí 1,1 – 1,7 % (Kulhánek et al., 2013). Zastoupení síry v aminokyselinách a posléze ve strukturách bílkovin je poměrně stabilní. Lze ho vyjádřit stechiometrickým poměrem 34 – 36 atomů dusíku na 1 atom síry. V hmotnostním přepočtu činí poměr N/S v rostlinách 14,87 – 15,75 (Richter et al., 2001a; Matula, 2007).

3.5.1 Význam a utilizace síry rostlinami

Síra je stavebním prvkem esenciálních aminokyselin, cysteinu a methioninu, které jsou nezbytnou součástí plnohodnotných bílkovin a složkou cukrů (Alpmann et Baranyk, 2006; Matula, 2007). Dále je síra složkou vitamínů (thiaminu, biotinu), a růstových enzymů acetyl CoA a ferredoxinu (Fe-S). Síra se rovněž vyskytuje v sulfooxidech, které tvoří těkavé látky např. cibule, česneku a brukvovitých rostlin (Šebánek et al., 1983; Matula, 2007). V brukvovitých rostlinách je síra obsažena také v glukosinolátech, což jsou sekundární metabolity, ze kterých může být síra částečně reutilizována (Pavlíková et al., 2011).

V kořenech přijatý síran (SO_4^{2-}) je většinou transportován xylémem v minerální formě do nadzemních orgánů, kde se může hromadit, nebo být přímo využíván k syntéze bílkovin. Pouze velmi malý podíl síranu je redukován dříve v plastidech kořenů (Davidian et Kopriva, 2010). Vzestupný transport síranu xylémem je dostatečný, opačným směrem je velmi pomalý. Možnost reutilizace síry ze starších listů v mladších je omezená (Matula, 1977; Matula, 2007).

Asimilace síry rostlinou je charakterizována biochemickou redukcí přijatých sulfátů a syntézou aminokyselin a bílkovin (cysteinu, methioninu). Při transportu síry z listů do zásobních orgánů se nejprve organická forma síry mění na sulfátovou (SO_4^{2-}) formu, jako sulfátová je transportována do zásobních orgánů, tam se rychle přeměňuje v organické formy, a tak je i ukládána (Šebánek et al., 1983; Matula, 2007; Pavlíková et al., 2011). Přeměna sulfátu (síranu) na $-\text{SH}$ skupinu je proces náročný na energii. Vlastní redukce sulfátu v nadzemní části rostlin probíhá v chloroplastech a je výrazně aktivována světlem. Vysoká redukční aktivita probíhá v mladých listech, ve starších výrazně klesá (Pavlíková et al., 2011). Proces redukce kyselého síranu v rostlině je doprovázen alkalickým efektem, obdobně jako utilizace nitrátu. Redukci síranu s doprovodným alkalickým efektem lze znázornit takto (Dijshoorn, 1962):

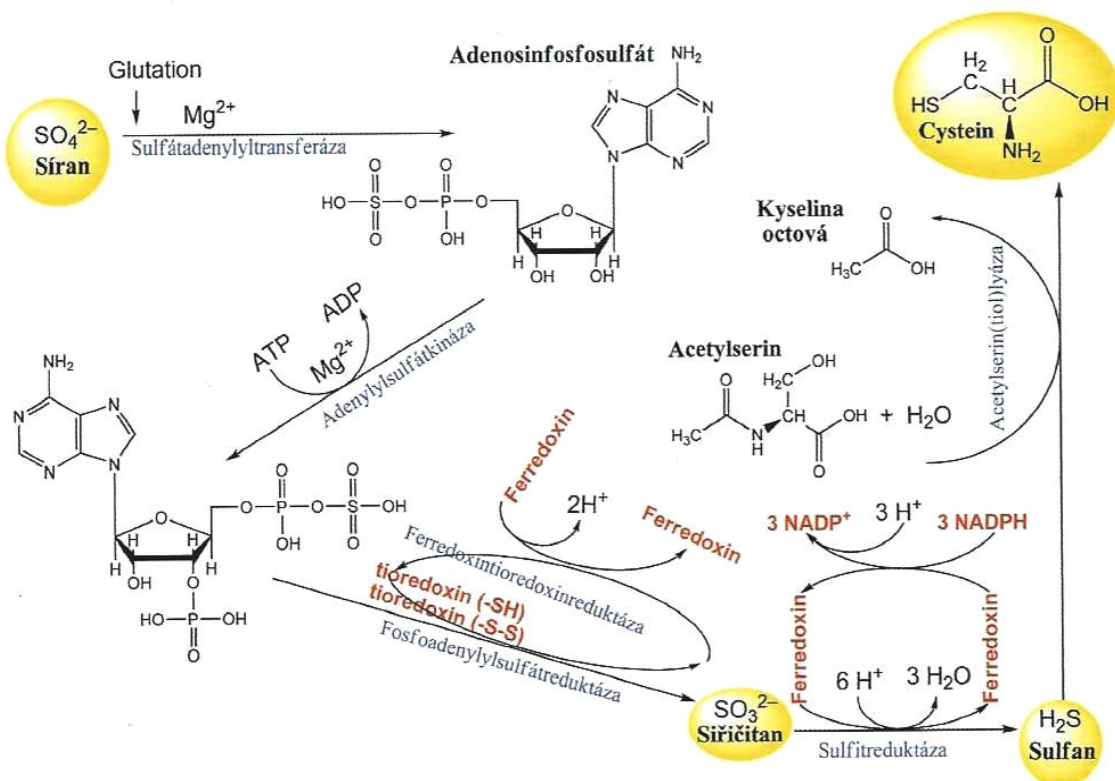


Prvním krokem k využití síranu je jeho aktivace adenosintrifosfátem (ATP). Při této reakci za účasti enzymu ATP-sulfátadenyltransferázy reaguje sulfát s ATP za vzniku adenosinfosfosulfátu (APS) a odštěpení pyrofosfátu (Vaněk et al., 2007). Reakce je katalyzována enzymem ATPsulfurylázou (Pavlíková et al., 2011)

Z adenosinfosfosulfátu (APS) se sulfátová skupina přenesse na nosič (glutation) a váže se na skupinu SH nosiče tak, že je vodík nahrazen sulfonovou skupinou (SO_3H). Za účasti ferredoxinu (Fe-S) je tato skupina dále redukována na skupinu SH, která reaguje s

acetylserinem za vzniku cysteinu. Vzniklý cystein je v rostlinných pletivech první stabilní organickou sloučeninou a dále z něho biosyntézou vzniká methionin, který spolu s cysteinem slouží k tvorbě peptidů, včetně enzymů a koenzymů aktivních složek v rostlinných pletivech (Vaněk et al., 2012). Proces redukce síranu na sulfan a -SH skupinu vstupující do první nejjednodušší sirnaté aminokyseliny cysteinu znázorňuje obrázek č. 5.

Obr. č. 5: Schéma redukce síranu (SO_4^{2-}) na skupinu SH vázanou v aminokyselinách (Vaněk et al., 2012)



3.5.2 Přijatelné formy síry rostlinami

Velmi dobře je rostlinami přijatelný síranový aniont (SO_4^{2-}) z půdy, kam se dostává jednak hnojivy, spadem z ovzduší (po oxidaci SO_3^{2-}) a z půdních zásob (Sýkora et al., 2003; Matula 2007; Vaněk et al., 2012). Kořeny rostlin mohou kromě příjmu SO_4^{2-} přijímat síru ve formě aminokyselin (cysteinu a methioninu), avšak jejich obsah v půdě bývá velmi malý (Šebánek et al., 1983; Matula, 2007). Příjem SO_4^{2-} je nejvyšší při pH okolo 4 a dále se stoupající hodnotou pH se snižuje (Scherer, 2001; Matula, 2007).

Rostliny jsou schopny přímo absorbovat síru i ve formě oxidu siřičitého SO_2 ze vzduchu. Tímto způsobem jsou schopny saturovat jen asi do 30 % celkové potřeby (Balík et Tlustoš, 2000). Za počátek toxické koncentrace síry ve vzduchu se považuje hodnota vyšší 4 mg SO_2 na 1 m^3 , zvláště trvá-li expozice touto koncentrací delší dobu. Oxid siřičitý vstupuje

do listů difuzí přes průduchy a rozpouští se v roztoku buněčných stěn za vzniku kyseliny siřičité (H_2SO_3) (Matula, 1977).

3.5.3 Faktory ovlivňující příjem síry rostlinami

Na příjem živin rostlinami včetně síry působí mnoho faktorů vnějších (ekologických), ale i vnitřních (biologických) a nepůsobí zpravidla individuálně (Matula, 1977). Jedním z faktorů je množství síry v půdní zásobě. Zejména se jedná o množství mobilních síranů (SO_4^{2-}) v půdním roztoku (Sýkora et al., 2003; Matula 2007). Dalším faktorem příjmu síry jsou aplikovaná hnojiva a forma síry v nich obsažená, která může být pomalu rozpustná, působící jednak v roce hnojení, ale i v následném roce. Zvláště se pozvolna uvolňují živiny včetně síry z organických hnojiv (Vostal, 1994).

Ostatní faktory jsou ekologické, neživinné povahy a obvykle působí nejvýrazněji na příjem všech živin včetně síry. Jedná se o povětrnostní vlivy v průběhu vegetace, z nichž nejvyšší účinek má voda, která ovlivňuje rozpustnost živin, a tím i příjem většiny živin. Teplota působí zejména na biologickou činnost půdy což se promítá do vyšší či nižší mineralizační aktivity organické hmoty v půdě. Půdní prostředí působí na příjem živin sorpcí a půdní reakcí (pH půdy) biologická činnost, zrnitost, provzdušněnost. V neposlední řadě na příjem všech živin působí agrotechnika (např. orba vs. minimalizace) a meliorační opatření (Vostal, 1994).

3.5.4 Poruchy při nedostatku a nadbytku síry v rostlinách

V metabolismu rostliny má hlavní funkční úlohu redukováná forma anorganické síry, tedy síra organická. Pro normální vývin rostliny je nutná určitá rezerva anorganické síry v podobě sulfátů (síranů), kterou rostliny dobře soustřeďují ve vakuolách buněk (Matula, 1977; Richter, 2004). Zásoba nemetabolizované síry ve vakuolách v podobě síranů může rostlině postačit na optimální růst a vývin až po dobu 2 – 4 týdnů. Při čerpání síranů z těchto zásob lze usuzovat na počáteční (skrytý) nedostatek síry ve výživě (Hening et Darrell, 1992). Vizuální symptomy S-deficience se v tuto dobu přímo neprojevují (Matula, 1977; Richter, 2004). Pokud je omezen příjem síranů a vyčerpají se zásoby síranů rostlině, klesne obsah síry v rostlině pod kritickou hranici a v důsledku se nejdříve sníží rychlost biosyntézy plnohodnotných bílkovin. Tím dochází ke hromadění volných aminokyselin v rostlině a v důsledku dochází ke snížení produkce rostliny (Matula, 1977). Tento stav zvyšuje v rostlinách také obsah volných dusíkatých látek nebílkovinné povahy, zejména se kumulují nitráty (NO_3^-) (Matula, 2007).

Při poklesu síry pod kritickou hladinu se tedy snižuje hlavně využití dusíku (nepostradatelné součásti bílkovin), což např. u ozimé pšenice v konečných fázích vegetace může vést k výrazně omezené biosyntéze bílkovin, a tedy v důsledku k nižšímu obsahu bílkovin v zrna, což zhoršuje technologické vlastnosti zrna (Zimolka et al., 2005). U plodin z čeledi *Fabaceae* se v důsledku nedostatečného výživy sírou sníží a v hlubokých nebo déle trvajících deficitech úplně zastaví poutání dusíku (N_2) z atmosféry (Richter, 2004).

Při prohlubujícím, déle trvajícím deficitu (4 – 5 týdnů) síry v rostlině se dostavují vizuálně patrné symptomy, podobné deficienci dusíku, ovšem počáteční příznaky se soustřeďují v nejmladších orgánech ve vrcholové části (Vaněk et al., 2007; Matula, 2007). Počátky symptomů nedostatku se projevují u nejmladších listů, které jsou světle zelené až žluté, později mohou mít růžový nádech (Šebánek et al. 1983; Zimolka et al., 2005; Matula, 2007). Při ještě trvalejším nedostatku přechází symptomy na spodní listy. Listy se symptomy deficitu vykazují omezený růst do šířky, a proto se jeví jako úzké a dlouhé (Vaněk et al., 2007).

Nadbytek síry v rostlinách se v současné době v polních podmínkách zpravidla nevyskytuje. Pokud se dostaví nadbytek síry ve výživě rostlin, zejména vlivem vysokého obsahu síranů půdního roztoku (nad 4000 mg SO_4^{2-}/l), dochází především předčasnému opadu listů (Richter, 2007; Vaněk et al., 2012). V minulosti docházelo k poškození rostlin vlivem zvýšené koncentrace SO_2 v ovzduší (od 0,3 mg SO_2/m^3), což se projevovalo od lehkých skvrn na špičkách listů až po úplné vyblednutí listů, kdy posléze celý list postupně odumírá a hyne postupně i rostlina (Richter, 2004).

3.6 Diagnostické metody výživy rostlin sírou

Diagnostiku výživy rostlin dělíme podle jejího účelu a poslání na diagnostiku podmínek výživy rostlin a na diagnostiku výživného stavu (Matula, 1977). Diagnostika podmínek výživy zjišťuje obsah živin a jejich forem v prostředí (především půdě), které rostlina může přijmout a využít, ale posuzuje i vnějšími faktory, které příjem a využití živin ovlivňují (Baier et al., 1988).

Součástí nejspolehlivější diagnostiky výživy jsou laboratorní chemické analýzy půd a rostlin. Chemické analýzy rostlin umožňují korekci výživného stavu sírou a ostatními živinami podle celkového obsahu a vzájemného poměru obsahů jednotlivých živin (Trčková et al., 2009). Při řešení aktuálního deficitu síry (dusíku) v půdě, by měly analýzy podchycovat

pouze tu frakci organické síry (dusíku), která může být snadno převedena na přijatelné formy (Matula, 1977).

3.6.1 Analýzy obsahu síry v půdě

Předcházející fází laboratorních analýz, stanovující obsah síry v půdě, je reprezentativní odběr vzorků půdy, který se provádí z definované hloubky ornice, zpravidla z vrstvy 0 – 30 cm (Baier et al., 1988; Matula, 2007). Pro přesnější specifikaci potřeby hnojení sírou na základě analýzy půdy je doporučována hloubka vzorkování do 60 cm a na hlubokých půdách na spraších do 90 cm (Scherer, 2001).

V laboratoři používaným extrakčním činidlem půdního testu by měla být uvolněna jen ta část organické síry, která se může v krátké době přeměnit na sírany (SO_4^{2-}) a podílet se tak na výživě rostlin (Blake-Kalff, 2000; Matula, 2007). Nejvhodnějším, deklarovaným extrakčním činidlem pro jednoúčelové půdní testy stanovení síry je dihydrogenfosforečnan vápenatý $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ (Matula, 2007). Aktuální obsah síranů a ostatních lehce uvolnitelných forem síry (např. siřičitany SO_3^{2-}), které mohou být rostlinami snadno přijaty, poskytuje vodný výluh v poměru 1 : 5 (Matula, 2007; 2011) nebo v širším poměru 1 : 10 (Kulháněk et al., 2013). Mimo anorganický podíl, uvolňuje extrakce vodou také lehce hydrolyzovatelné organické formy síry (bílkoviny), které tvoří podíl síry, který je v poměrně krátké době přeměněn na dostupné formy (SO_4^{2-}) pro rostliny (Sýkora et al., 2003).

Standardizovaná analytická koncovka stanovení síry v půdě optickou emisní spektrometrií v přístroji ICP-OES s indukčně vázaným plazmatem, poskytuje výsledek o obsahu celkové síry (anorganické i organické) uvolněné příslušným vyluhovadlem při extrakci (Blake-Kalff, 2000; Sýkora et al., 2003; Matula, 2007). Extrakční sílu používaných standardizovaných a zkoušených vyluhovadel, neboli množství uvolněné celkové síry z jemnozemě do roztoku, porovnává následující tabulka č. 6.

Tab. č. 6: Relativní porovnání extrakční síly vyluhovadel ve srovnání s uvolnitelností síry do půdního roztoku (Matula, 2007)

Mehlich III	Mehlich II	KVK-UF	0,01 M CaCl_2	Voda (1 : 5)	0,01 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$	Půdní roztok
5,9	5,3	1,3	0,3	1,2	0,8	1

Se vzrůstající extrakční silou vyluhovadel, klesá dostupnost síry rostlinou. Největší podíl z celkové síry v půdě stanovuje extrakce Mehlich III, a tedy je nejméně vhodný pro diagnostiku aktuálního výživného stavu síry v půdě (Matula, 2007; 2011). Vhodné extrakční

čínidlo půdních analýz, s významným vztahem k biologické dostupnosti síry, je voda o standardní teplotě v poměru 1 : 5 (Sýkora et al., 2003; Matula, 2007; 2011). Dále mají těsný vztah k biologické dostupnosti síry pro rostliny obsahy síry stanovené ve simulovaném půdním roztoku, sinkovým testem se sorpcí na ionexové kapsle PST – 1 a metodou KVK-UF (extrakce $\text{CH}_3\text{COONH}_4$). Slabšími čínidly jsou 0,01 M CaCl_2 a 0,01 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$, u kterých dochází ke srážecím reakcím síranu (SO_4^{2-}) s vápníkem (Ca^{2+}), a to vede k vyloučení sraženiny sádky (CaSO_4) do roztoku (Matula, 2007).

Kulhánek et al. (2013) se shodují ve vypovídací spolehlivosti vodného výluhu půdy pro stanovení obsahu síry v půdě. Uvádějí, jako vhodné, analýzy mobilních síranů v půdě ve vodném výluhu v poměru 1 : 10, spolu s navazující frakcionační analýzou, stanovující adsorbovanou ($S_{\text{ads.}}$) a následně i okludovanou síru ($S_{\text{okl.}}$). Vhodnost rozlišení obsahu síry v půdě analýzou na rozpustnou a adsorbovanou síru uvádí už Tabatabai (1982), zvláště při vyšetřování hlubšího profilu půdy, kde se nachází převážná část síry v adsorbované formě. Kulhánek et al. (2013) dále doporučují pro podrobnější vyhodnocení provést i analýzu HI-redukovatelné síry a na základě získaných hodnot vypočítat i obsah síry vázané v estersulfátech.

Timmermann et al. (1995) uvádějí také významný vztah mezi obsahem síry v půdě a výživným stavem rostlin sírou při extrakce jemnozemě 0,01 M CaCl_2 , který se používá při stanovení minerálního dusíku v půdě ($N_{\text{min.}}$). Navazující diagnostika výživy půd hodnotí poměr obsahů $N_{\text{min.}}$ a $S_{\text{min.}}$ (minerální síry) v půdě a určuje zároveň optimalizaci hnojení dusíkem a sírou v konkrétní plodině.

3.6.2 Analýza síry v rostlinách

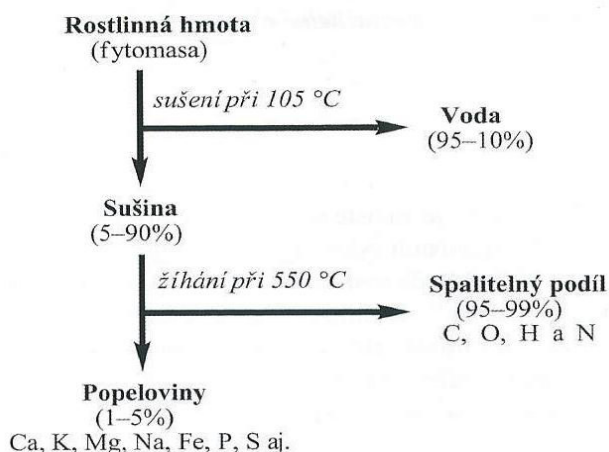
Chemické analýzy rostlin poskytují informace o celkové potřebě síry a ostatních živin, o časových nárocích rostlin na síru a ostatní živiny a o výživném stavu rostlin během vegetace (Matula, 1977; Vaněk et al., 2012). Analýzy rostlin by měly zabezpečit včasnou indikaci skrytého stupně deficitu síry i jiných živin, v co nejranější růstové fázi porostu, aby bylo účelně využito zvolené korekční výživářské opatření (Matula, 2007; 2011). Účelné a lépe vystihující je provést analýzy rostlin v období zvýšených nároků rostlin na výživu (Baier et al., 1988).

U obilnin se doporučuje pro účely stanovení síry analyzovat, buď celé rostliny, nebo v pozdějších fázích růstu pouze praporcové listy (Freney, 1978; Withers et al., 1995). U růstově mohutnějších rostlin, jako je ozimá řepka, podává nejpřesnější informace o aktuálním

výživném stavu rostlin sírou, plně vyvinutý, mladý list ve vrchní části rostliny (Schnug et Haneklaus, 1998; Matula 2007; 2011).

Každá laboratorní analýza pro značný obsah vody v rostlinách (10 – 95 %) začíná homogenizací a sušením vzorku při 65 °C, později při 105 °C. Organická část rostlin (organické sloučeniny) tvoří tzv. spalitelný podíl, který se při žihání rozloží na elementární část (spalí se) a ve formě plynů unikne do prostředí. Sušinu tvoří převážně uhlík (45 % C), kyslík (42 % O), vodík (6 % H), dusík (1,5 % N). Popeloviny zaujímají asi 3 – 5 % sušiny a patří sem bohatěji zastoupené: fosfor (P), draslík (K), vápník (Ca), hořčík (Mg), síra (S), sodík (Na), křemík, (Si) a řada dalších. Na složení rostliny má vliv druh rostliny, stáří rostliny a stanovištní podmínky (Vaněk et al., 2012). Separaci vzorku rostlin při laboratorní analýze uvádí obrázek č. 6.

Obr. č. 6: Schéma pracovního postupu při chemické analýze rostlin
(Vaněk et al., 2012)



3.6.3 Diagnostika podmínek výživy rostlin sírou

S nedostatky síry v půdě se setkáváme zejména v půdách lehkých a středních, s nízkou hladinou spodní vody, vysokým množstvím srážek v zimním období a dále v půdách s nedostatečným organickým hnojením (Baranyk et Fábry, 2007). Minimální obsahy minerálních forem síry ($S_{\min.}$) v půdě s rozdělením podle půdního druhu jsou následující:

Tab. č. 7: Limitní (minimální) obsahy minerální síry v ornici (vodný výluh)
(Balík et al., 2007)

Půdní druh	Lehká	Střední	Těžká
$S_{\min.}$ (mg/kg)	16	13	10

Stanovení obsahu síry v půdě je ovlivněno podílem síry, která je součástí půdní organické hmoty, a tedy její přeměny mohou a v krátké době měnit obsah dostupné síry v půdě pro rostliny, obdobně jako je tomu u dusíku (Ghani et al., 1991; Baranyk et Fábry, 2007). Dalším faktorem průkazného stanovení obsahu síry v půdě je velmi nízká sorpce síranů půdními koloidy při žádaném pH půdy ($> 5,5$) pro růst plodin (Matula, 2007). Z těchto skutečností vyplývají, obdobně jako při stanovení obsahu minerálního dusíku ($N_{min.}$) v půdě, krátkodobé vypovídací schopnosti provedených diagnostických analýz obsahu minerálních forem síry v půdě (Schnug et Haneklaus, 1998). Analýzy obsahu vodorozpustných forem síry v půdě je koncepčně vhodné provádět, zvláště během vegetace, jako analýzy obsahu $N_{min.}$, průběžnou diagnostikou (Timmermann et al. (1995). Kritéria pro hodnocení aktuálního obsahu síry v půdě podle různých extrakčních činidel mohou být následující:

Tab. č. 8: Kritéria pro hodnocení obsahu vodorozpustné síry ($S_{vod.}$) v půdě a potřeba hnojení sírou (Richter et al., 2001b)

Kategorie	Obsah $S_{vod.}$ v zemině (ppm)	Doporučená dávka S (kg/ha)
Nízký (N)	< 20	50
Vyhovující (VH)	21 - 30	35
Střední (S)	31 - 40	25
Vysoký (V)	> 40	0

S vývojem diagnostických metod a používaných extrakčních roztoků při stanovení biologicky přijatelné síry v půdě, se ukazuje jako vhodné, stanovené obsahy síry v půdě kategorizovat podle tzv. S-indexu zásobenosti (Matula, 2007). Tato kategorizace užívá následujícího třídění podle vhodných extrakčních činidel:

Tab. č. 9: Kategorizace zásobenosti půd (0 – 30 cm) lehce přijatelnými formami síry a potřeba hnojení sírou (Matula, 2007; 2011)

KVK-UF Extrakce 0,5 M CH_3COONH_4 S-index	Extrakce vodou (1 : 5) S-index	Kategorizace zásoby síry v půdě (korekční dávka S)
> 25	> 23	Dostatečný obsah = hnojení S není nutné
22 - 25	20 - 23	Malý nedostatek = hnojení S pouze u náročných plodin (20 kg S/ha)
14 - 21	11 - 19	Střední nedostatek = výrazná potřeba hnojení sírou (30 – 40 kg S/ha)
< 14	< 11	Hluboký nedostatek (40 – 60 kg S/ha)

3.6.4 Diagnostika výživného stavu rostlin sírou

Diagnostika výživného stavu rostlin je obvykle založena na stanovení obsahu celkové síry, síranů, podílu síranů v obsahu celkové síry, poměru síry k dusíku a případně se hledají další indikátory fyziologie a biochemie síry v rostlině (Matula, 2007). Hlavní metabolická potřeba síry u obilnin je v období sloupkování až metání (kvetení) (Withers et al., 1995; Richter et al., 2001a) a u řepky je to období prodlužovacího růstu až počátku kvetení (Baranyk et Fábry, 2007). V tomto období je diagnostika výživy sírou nejúčelnější. S posunem diagnostických analýz do pozdějších fází růstu se snižuje možnost účelné korekce výživy (Freney et al., 1978; Matula, 2007). Freney et al. (1978) dále zjistili, že obsah síry v rostlinách pšenice klesá s nárůstem sušiny a u dobře vyživených rostlin, v době mléčné zralosti poklesne v průměru o 0,8 %, oproti stavu v raných fázích růstu. Kritické obsahy síry v rostlinách, které již redukují maximální výnos na stanovišti uvádí tabulka č. 10.

Tab. č. 10: Kategorizace kritických hodnot obsahu celkové síry v listech horního patra vybraných plodin (Schnug et Haneklaus, 1998)

Plodina	Obsah g S/kg sušiny	
	Kritický = při 5 % redukci max. výnosu	Vizuální projevy symptomů deficitů
Řepka	5,5	3,5 - 3
Obilniny	3,2	1,2
Brambor, cukrovka	3	2,1 - 1,7
Bob, hrách	-	1 - 1,2

Optimální obsah celkové síry ($S_{tot.}$) v celých rostlinách ozimé pšenice v období odnožování až počátku sloupkování by měl dosahovat 0,25 – 0,30 % hmotnosti sušiny (Richter et Hřivna, 2000). Kritická hranice obsahu síry v celých rostlinách pšenice počíná při vyšší výnosové úrovni při obsahu 0,20 % S v sušině na počátku kvetení (Withers et al., 1995; McGraft et Zhao, 1996). Zcela kritická, korekčně obtížně napravitelná hranice obsahu S nastává okolo 0,12 % S v sušině celých rostlin na počátku metání. Tato kritická hranice vede k redukci výnosu nejméně o 5 % (Schnug et Haneklaus, 1998), přičemž především dochází k negativnímu ovlivnění kvality zrna, co do obsahu dusíkatých látek (bílkovin) (Zimolka et al., 2005).

Pro ozimou řepku uvádí Matula (2011) optimální obsah $S_{tot.}$ pro zabezpečení vysokého výnosu semene 0,5 % S v sušině celých rostlin na počátku dlouhivého růstu. Naproti tomu Baranyk et Fábry (2007) uvádějí v rostlinách řepky dostatečný obsah v období dlouhivého

růstu alespoň 0,55 % S v sušině, přičemž u maximálních výnosů uvádějí optimální obsah dokonce 0,65 % S v sušině. Také Richter et al. (2001a) uvádějí mírně vyšší požadavky na optimální obsahy S v řepce. Rozdělují optimální obsahy podle růstové fáze, a to v BBCH 31 – 39 alespoň 0,65 % S a ve fázi BBCH 60 – 69 alespoň 0,55 % S v sušině celých rostlin. Zároveň autoři podotýkají udržovat optimální poměr obsahu N/S pod 10. Pinkerton (1998) z Austrálie uvádí kritickou hodnotu v období intenzivního růstu, která již redukuje dosažení maximálního výnosu, obsahu v rozmezí 0,2 – 0,25 % S v sušině rostlin. Naproti tomu v Anglii McGrath et Zhao (1996) uvádějí kritický obsah již 0,38 % S v sušině rostlin řepky na počátku kvetení. Podobný kritický obsah S uvádějí tuzemští autoři Baranyk et Fábry (2007) pro tzv. jednonulové (0) řepky <0,30 % S a pro tzv. dvounulové (00) <0,35 % S v sušině rostlin. Jde o označení cíleně šlechtěné odrůdy na snížený obsah sirných glykosidů brukvovitých (glukosinolátů).

Možností je také diagnostikovat pouze síraný (SO_4^{2-}) v plně vyvinutých listech horního patra, přičemž kritická hodnota obsahu síranů odeznívá při obsahu vyšším, než 0,2 % S ve hmotnosti sušiny na počátku dlouhivého růstu (Matula, 2007; 2011).

Univerzálnější je diagnostika výživy rostlin sírou podle poměru síry k dusíku (N/S), která vychází z předpokladu, že hlavní funkce síry je účast v plnohodnotných bílkovinách, které jsou geneticky uspořádané v organismu. Tímto poměr N/S je stabilizován a měl by být charakteristický pro jednotlivé plodiny (Spencer et Freney, 1980; Matula, 2007). Optimální poměr N/S v sušině rostlin pšenici je 14,1 : 1 (Matula, 2007) a kritický poměr N/S počíná při 17 : 1 (Schnug et Haneklaus, 1998). Obecně větší poměr N/S než 20 : 1 indikuje deficitní výživu plodiny sírou (Spencer et Freney, 1980; Richter et al. 2001a; Matula, 2007). U řepky ozimé je optimální poměr N/S v sušině 10 : 1 a poměr širší než 25 : 1 značí již kritický obsah síry (Richter et al., 2001a).

V Anglii využívají diagnostiku výživy rostlin sírou, založenou více na fyziologicko-biochemických aspektech, které se opírají o funkci síranů v acidobazické regulaci rovnováhy metabolismu. Podstata spočívá v hodnocení poměru peaků malátu a síranu zjištěné iontovou chromatografií. Poměr ≤ 1 indikuje dostatečnou úroveň výživy sírou a poměr > 1 signalizuje deficit (Blake-Kalff et al., 2000).

4 METODIKA

V této stati je popsán postup vedoucí k naplnění cíle diplomové práce. Zejména je uvedena půdně-klimatická charakteristika zájmového území, hnojení porostů sírou a dusíkem, včetně organického hnojení a způsob periodického odběru vzorků půdy a rostlin. Popsány jsou použité analytické metody stanovení vodorozpustné síry v půdě a síry v rostlinách. Rovněž jsou uvedeny použité diagnostické metody pro vyhodnocení výživného stavu půd a rostlin.

4.1 Charakteristika zájmového území kontrolních stanovišť

Zájmové území kontrolních stanovišť s porosty ozimé řepky a ozimé pšenice se rozléhalo na území okresů Ústí nad Orlicí (ÚO), Svitavy (SY) a okrajově na okrese Chrudim (CH) a Rychnov nad Kněžnou (RK). Reliéf terénu byl poměrně členitý stanoviště se nacházely v nadmořské výšce od 289 m do 606 m. Ze zemědělských oblastí se vyskytovaly řepařské, obilnářské a pícninářské výrobních oblasti. Pěstovány byly současné výnosné hybridní a liniové odrůdy ozimých řepek a současný sortiment odrůd ozimých pšenic všech pekařských jakostí (E, A, B a C).

Z geomorfologického hlediska se zájmové území kontrolních stanovišť rozléhalo v provincii Česká vysočina. Toto území se dále člení na Orlickou oblast a Východočeskou tabuli. V Orlické oblasti se nacházejí celky Orlické hory, Podorlická pahorkatina a Zábřežská pahorkatina, ve Východočeské tabuli převážně Svitavská pahorkatina a částečně Orlická tabule (Brabenec et al., 1977).

Z geologického hlediska se převážná část zájmového území nacházela v turonském (křídovém) útvaru členěný na vododržný svrchní turon (jílovce a slínovce, písčité a slídnaté jílovce), střední a spodní turon (slínovce, písčité spongility, pískovce slínité a vápnité). Nižší polohy zájmového území byly lokálně převáty spraší nebo sprašovou hlínou a naopak oblast podhůří Orlických hor se nacházela na různém stupněm metamorfovaných kyselých horninách (migmatity, ortoruly apod.). Rovněž lokálně územím procházela brázda prvohorního permu se svrchní červenou jalovinou.

Klimatické podmínky zájmového území, kde se nacházely kontrolní stanoviště, odpovídaly rozpětí klimatických regionů č. 3 až č. 8:

- klimatický region 3 – teplý mírně vlhký, průměrný roční úhrn srážek 550 – 650 mm s průměrnou roční teplotou 8 – 9 °C, sumou teplot nad 10 °C 2400 – 2800 °C, výskyt suchých vegetačních období od 10 do 60 % a reliéf terénu rovinný až mírně zvlněný,
- klimatický region 8 – mírně chladný vlhký, průměrný roční úhrn srážek více než 700 mm, s průměrnou roční teplotou 5 – 6 °C, suma teplot nad 10 °C je pod 2200 °C, výskyt suchých vegetačních období do 5 % a reliéf terénu horizontálně členitý s vysokou svažitostí.

Půdní podmínky zájmového území byly tvořeny písčitohlinitým až jílovitohlinitým půdním druhem s různým stupněm skeletovitosti. Stanoviště v podhůří Orlických hor se vyznačovaly skeletovitostí, která byla tvořena především kamenitostí (skelet nad 4 cm), než šterkem a nižší mocností ornice (17 – 19 cm). Bližší půdní, klimatickou a výrobní charakteristiku stanovišť a sortiment pěstovaných odrůd v roce 2012 a 2013 uvádí níže přílohy č. 1 až č. 4.

Pro posouzení vlivu povětrnostních podmínek na výživu rostlin sírou byly ke sledovaným porostům přiřazeny nejbližší meteorologické stanice z portfolia provozovaných firmou AGROEKO Žamberk spol. s r.o. Na těchto stanicích byly v roce 2012 a 2013 měřeny teplotní údaje a srážky, které uvádí příloha č. 5 a č. 6.

4.2 Hnojení porostů na kontrolních stanovištích

Porosty sledovaných ozimých plodin byly hnojeny obvyklým způsobem a postupem v zemědělské praxi spolu s optimalizací podle diagnostických metod. Před založením porostů byly zpravidla pro ozimou řepku a na méně úrodných stanovištích pro ozimou pšenici aplikovány organická a statková hnojiva spolu s následným zapravením do půdy. Na stanovištích s nižší zásobou fosforu a draslíku byly nejčastěji před setím aplikovány minerální hnojiva typu NP, NPK nebo PK, která byla v některých případech obohacena o síru. Hlavní korekce výživného stavu sledovaných plodin nastala na jaře, u řepky byla zpravidla časnější, než u pšenice.

Po plném obnovení růstu kořínků a regeneraci nadzemní části rostlin následovala u řepky první dávka síry spolu s další dávkou dusíku. První aplikace síry byla uskutečněna zpravidla v dusíkatých hnojivech se sírou (N-S) hnojivech obsahující lehce dostupnou síru ve formě síranů (SO_4^{2-}) v rozpětí růstových fází BBCH 23 – 31 (4. větev zjištělná až 1. internodium zjištělné). Druhá vývojově klíčová dávka síry, také v N-S hnojivech, byla aplikována v růstové fázi BBCH 51 – 57 (květní poupata viditelná ze shora „zelené poupě“ až

jednotlivá uzavřená květní poupata viditelná). Dusík byl k porostům řepek aplikován 3 – 4x během vegetace, počínaje časnou regenerační aplikací (40 – 50 kg N/ha), po 7 – 14 dnech druhou regenerační (50 – 60 kg N/ha), po dalších 7 – 14 třetí produkční dávkou dusíku (50 – 70 kg N/ha) a v intenzivních podmínkách následovala 4. dávka N (20 – 40 kg N/ha) na počátku květu.

Porosty ozimých pšeníc byly sírou poprvé přihnojeny v obdobných růstových fázích jako ozimá řepka, tzn. v rozpětí růstových fází BBCH 23 – 31. V nižších polohách u dobře přezimovaných porostů byla první dávka síry aplikována časněji v 3. vyvinuté odnoži (BBCH 23). Ve středních a vyšších polohách následovalo hnojení vývojově později v období počátku sloupkování (BBCH 30) končilo v období hmatatelného prvního kolénka (BBCH 31). Druhá dávka síry následovala ve všech polohách na počátku metání (BBCH 51) až do konce metání (BBCH 59). Dusík byl aplikován 2 – 3x během vegetace, tzn. regeneračně (30 – 40 kg N/ha), produkčně (50 – 60 kg N/ha), kvalitativně (30 – 40 kg N/ha). V roce 2013 byly aplikovány pro sušší průběh počasí vyšší dávky dusíku ještě v metání a následně i ve formě roztoků močoviny před a po odkvětu za účelem zlepšení pekařské kvality zrna.

Při řešení schodku síry ve výživě rostlin, zjištěného z laboratorních analýz, následovala převážně korekce výživy foliární aplikací roztoku hořké soli ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) do 5 % koncentrace. Dodané množství síry roztokem hořké soli dosahovalo malých dávek (do 6 kg S/ha).

Tabulky č. 11 a č. 15 uvádí management posklizňových zbytků předplodiny, organické a minerální hnojení sledovaných porostů ozimých řepek a ozimých pšeníc v jednotlivých letech. Celková dávka síry k porostu byla stanovena součtem jednotlivých, snadno identifikovatelných dávek síry z minerálních hnojiv. Síra využitelná z posklizňových zbytků, organického a statkového hnojení nebyla do celkového přívodu síry zahrnuta. Využitelnost síry ze statkových hnojiv jen velmi zřídka převyšuje 7 – 10 kg S/ha/rok (Eriksen et al., 1998) a normativy využitelnosti síry jsou stále předmětem výzkumů. Z organických hnojiv byl uplatňován odpadní produkt výroby bioplynu digestát zpravidla v neseparované formě. Vstupní surovinou digestátu byly zpravidla kejda skotu nebo prasat a kukuřičná siláž. Obsah síry ($S_{\text{tot.}}$) v digestátech se pohyboval v rozmezí 0,03 – 0,06 % v a obsah dusíku ($N_{\text{tot.}}$) se pohyboval v rozmezí 0,4 – 0,5 % v čerstvé hmotě.

Tab. č. 11: Předplodina a hnojení porostů ozimých řepek sírou a dusíkem na kontrolních stanovištích v roce 2012

Stanoviště	Předplodi na	Ponechání slámy	Organické a statkové hnojení (t/ha)		Minerální a organické hnojení během vegetace (kg S/ha)						Celkem (kg S/ha)	Celkem (kg N/ha)
					Období		Fenofáze		Fenofáze			
			Před setím		Podzim		BBCH 23 - 31		BBCH 51 - 57			
			Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka		
Lukavice ÚO	Vojtěška	-	Hnůj skotu	35	-	-	DASA 26-13	26	-	-	26	195
Lukavice RK	Pšenice oz.	Ne	Hnůj skotu	37	-	-	DASA 26-13	13	-	-	13	200
Č. Libchavy	Ječmen oz.	Ano	Kejda skotu	12	-	-	DASA 26-13	33	-	-	33	210
Výprachtice	Jetelotráva	-	Hnůj skotu	35	-	-	DASA 26-13	20	-	-	20	190
Mistrovice	Pšenice oz.	Ne	Hnůj skotu	40	-	-	DASA 26-13	26	-	-	26	190
Nekoř	Jetelotráva	-	Kejda skotu	11	-	-	DASA 26-13	33	-	-	33	205
Horní Lipka	Ječmen jar.	Ne	Hnůj skotu	40	-	-	DASA 26-13	39	-	-	39	218
Opatovec	Ječmen oz.	Ne	-	-	-	-	Síran amonný	20	-	-	20	204
Dl. Třebová	Ječmen oz.	Ne	Digestát kejdy prasat	12	-	-	Polifoska 8-24-24-9S	23	-	-	23	217
Třebařov	Ječmen jar.	Ne	-	-	-	-	SAM 19-5	10	Hořká sůl	5	15	200
Sloupnice	Pšenice oz.	Ano	Kejda prasat	13	-	-	DASA 26-13	39	Hořká sůl	6	45	220
Čistá 620	Pšenice ozimá	Ano	-	-	SAM 240	12	-	-	Yara Sulfan 24-6S	18	30	220
Čistá MS	Pšenice ozimá	Ano	-	-	SAM 240	12	-	-	Yara Sulfan 24-6S	18	30	220
Vlkov	Ječmen jar.	Ne	Drůbeží trus	10	-	-	DASA 26-13	26	Hořká sůl	5	31	220

Tab. č. 12: Předplodina a hnojení porostů ozimých řepek sírou a dusíkem na kontrolních stanovištích v roce 2013

Stanoviště	Předplodina	Ponechání slámy	Organické a statkové hnojení (t/ha)		Minerální hnojení (kg S/ha)		Minerální a organické hnojení během vegetace (kg S/ha)				Celkem (kg S/ha)	Celkem (kg N/ha)
							Fenofáze		Fenofáze			
			Před setím		Před setím		BBCH 23 - 31		BBCH 51 - 57			
			Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka		
D. Dobrouč	Pšenice oz.	Ne	Digestát kejdy skotu	22	-	-	Saletrosan 26- 13	23	-	-	23	275
Trstěnice	Ječmen jar.	Ne	Digestát kejdy skotu	20	Polidap 18-46-6S	7	Sulfan 21-10	25	Sulfan 21-10	25	59	230
							Digestát kejdy skotu 20 t/ha	-	Hořká sůl	2,2		
Horní Lipka	Ječmen jar.	Ne	-	-	-	-	-	-	DASAMAG 9 % S	27	27	298
Nekoř	Jetel luční	-	-	-	-	-	-	-	DASA 26-13	20	20	265
Kunvald	Jetelotráva	-	Hnůj skotu	45	Polidap 18-46-6S	12	DASA 26-13	26	-	-	38	228
Líšnice	Ječmen jar.	Ne	Hnůj skotu	28	NPK-9S	18	-	-	-	-	18	220
Lukavice RK	Ječmen oz.	Ano	Digestát kejdy skotu	16	-	-	DASA 26-13	20	Fortestim alfa	0,4	20	188
Opatovec	Ječmen oz.	Ne	Kejda skotu	15	-	-	Yara Sulfan 24-6S	18	Yara Vita Thiotrac	0,9	19	210
									Yara Vita Brassitrel	0,4		
Dl. Třebová	Pšenice oz.	Ne	Digestát kejdy prasat	18	-	-	DASA 26-13	29	-	-	29	230

Tab. č. 13: Předplodina a hnojení porostů ozimých řepek sírou a dusíkem na kontrolních stanovištích v roce 2013 – pokračování

Stanoviště	Předplodina	Ponechání slámy	Organické a statkové hnojení (t/ha)		Minerální hnojení (kg S/ha)		Minerální a organické hnojení během vegetace (kg S/ha)				Celkem (kg S/ha)	Celkem (kg N/ha)
							Fenofáze		Fenofáze			
			Před setím		Před setím		BBCH 23 - 31		BBCH 51 - 57			
			Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka		
Čistá 632	Ječmen jarní	Ano	-	-	Polidap 18-46-6S	6	-	-	Síran amonný	35	35	194
Čistá PF	Ječmen jarní	Ano	Drůbeží trus	10	-	-	-	-	Síran amonný	30	30	220
Bučina	Ječmen jarní	Ano	-	-	-	-	Síran amonný	40	Síran amonný	40	80	230
Sloupnice	Pšenice ozimá	Ano	Digestát kejdy prasat	22	NPK-5S	9	DASA 26-13	39	Hořká sůl	3,9	52	227
Vlkov	Ječmen jarní	Ne	Hnůj z drůbeží podestýlky a hnůj skotu (1 : 2)	25	-	-	Síran amonný	24	-	-	24	230

Tab. č. 14: Předplodina a hnojení porostů ozimých pšeníc sírou a dusíkem na kontrolních stanovištích v roce 2012

Stanoviště	Předplodina	Ponechání slámy	Organické a statkové hnojení (t/ha)		Minerální hnojení (kg S/ha)		Minerální a organické hnojení během vegetace (kg S/ha)				Celkem (kg S/ha)	Celkem (kg N/ha)
							Fenofáze		Fenofáze			
			Před setím		Před setím		BBCH 23 - 31		BBCH 51 - 59			
			Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka		
Čistá 690	Řepka oz.	Ano	-	-	-	-	Síran amonný	22	Yara Sulfan 26-13S	23	45	219
Litomyšl	Ječmen jar.	Ne	Digestát kejdy skotu	25	SH 23-12-10S	20	Digestát kejdy skotu 20 t/ha	-	-	-	20	155
Opatovec	Řepka oz.	Ano	-	-	-	-	SH 23-12-6S	6	Hořká sůl	4	10	180
Jenišovice	Kukuřice siláž	-	Kejda prasat	22	-	-	-	-	Hořká sůl	2	2	219
D. Újezd	Jetel luční	-	Hnůj skotu	45	-	-	-	-	Hořká sůl	5	5	110
Řepníky	Řepka oz.	Ano	-	-	-	-	Síran amonný	24	Hořká sůl	5	29	153
Vlkov	Řepka oz.	Ano	Hnůj skotu	30	-	-	-	-	DASA 26-13	13	13	143
Sloupnice	Jetel luční	Ano	Hnůj skotu	25	-	-	DASA 26-13	33	Hořká sůl	1,5	35	193
Slatina u VM	Řepka oz.	Ano	-	-	-	-	DASA 26-13	26	Hořká sůl	2	28	175

Tab. č. 15: Předplodina a hnojení porostů ozimých pšeníc sírou a dusíkem na kontrolních stanovištích v roce 2013

Stanoviště	Předplodina	Ponechání slámy	Organické a statkové hnojení (t/ha)		Minerální hnojení (kg S/ha)		Minerální a organické hnojení během vegetace (kg S/ha)				Celkem (kg S/ha)	Celkem (kg N/ha)
							Fenofáze		Fenofáze			
			Před setím		Před setím		BBCH 23 - 31		BBCH 51 - 59			
			Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka	Hnojivo	Dávka		
Leština	Řepka oz.	Ano	-	-	-	-	YaraBela Sulfan 24-6	12	Polidap 18-46-6S	6	18	154
Opatovec	Řepka oz.	Ano	-	-	-	-	YaraMila NP 26-14+2S	4	-	-	4	186
Třebařov	Řepka oz.	Ano	-	-	-	-	-	-	-	-	0	168
Přestavlky	Pšenice oz.	Ne	Digestát kejdy skotu	15	Agromix 5S	6	-	-	-	-	6	127
Řepníky	Řepka oz.	Ano	-	-	Polidap 18-46-6S	6	Síran amonný	19	-	-	25	211
Čistá 620	Řepka oz.	Ano	-	-	-	-	Síran amonný	23	-	-	23	186
Čistá 644	Řepka oz.	Ano	-	-	-	-	Síran amonný	23	-	-	23	162
Litomyšl	Kukuřice siláž	-	Digestát kejdy skotu	16	-	-	Digestát kejdy skotu 20 t/ha	-	Hořká sůl	6,5	7	218
Sloupnice	Jetel luční	-	-	-	NPK-5S	9	DASA 26-13	33	Hořká sůl	1,6	44	193
Vlkov	Řepka oz.	Ano	Hnůj z drůbeží podestýlky a hnůj skotu (1 : 2)	25	-	-	-	-	Hořká sůl	1,2	1	190

4.3 Odběr vzorků půdy a rostlin pro laboratorní analýzy

Při odběru vzorků půdy pro stanovení vodorozpustné síry ($S_{\text{vod.}}$) bylo postupováno podle vyhlášky č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků. Uchování a transport vzorků do laboratoře byl proveden podle Baiera et al. (1988) a podle nejnovějších poznatků ze sdělení Růžka (2012). Při odběru vzorků nadzemních částí rostlin, za účelem zjištění obsahu síry v celých rostlinách, bylo postupováno podle ověřené metodiky Baiera et al. (1988). Rovněž byl v období sklizně proveden sběr dat o kvantitě a kvalitě sklizně.

4.3.1 Postup při odběru vzorků půdy na obsah vodorozpustné síry v půdě ($S_{\text{vod.}}$)

Při odběru vzorku byla dodržována zásada reprezentativnosti vzorku půdy, která se docílila odběrem sondovací tyčí s minimálně 30 dílčími vpichy, to představuje odběr přibližně 200 – 300 g surové zeminy z definované hloubky ornice, obvykle 0 – 30 cm. Před vlastním odběrem bylo dbáno na odstranění posklizňových zbytků na povrchu půdy. Vzorek půdy byl odebrán do těsně uzavíratelných igelitových sáčků, které byly označeny (stanoviště, plodina) a dále na doporučení Růžka (2012) byl ze sáčku vytěsněn vzduch a následně vzduchotěsně uzavřen. Směr vlastní odběru byl veden kolmo až úhlopříčně pojezdu zemědělské techniky při ošetřování porostu (např. hnojení) a po převažujícím zastoupení genetického půdního typu a stupni skeletovitosti. Individuálně bylo na stanovištích nutné posuzovat další nespecifické nepříznivé vlivy na reprezentativnost vzorku, např. erozní smyv, blízkost polního složiště hnoje, časový odstup 3 – 4 týdny od posledního minerálního a organického hnojení porostu, časový odstup okolo 3 dnů od vydatnějších srážek apod.). Vzorek půdy byl při transportu do laboratoře uchováván v přenosném chladicím boxu při teplotě +2 až +4 °C.

Odběr vzorků zemin na obsah $S_{\text{vod.}}$ byl u řepky ozimé prováděn standardně 2x za vegetaci v období růstové fáze BBCH 23 – 25 (přízemní růžice, 2 vedlejší větve zjištělné) a ve fázi BBCH 51 (květní poupata viditelná ze shora „zelené poupě“). Na některých stanovištích byl odebrán vzorek půdy navíc ve fázi BBCH 62 – 65 (asi 20 % květů na hlavním stonku otevřeno, květní osa dokončuje prodlužování až plné kvetení, asi 50 % květů na hlavních stonku otevřených, první korunní plátky již opadávají). U ozimé pšenice byl první vzorek půdy na obsah $S_{\text{vod.}}$ odebrán v růstové fázi BBCH 30 – 31 (počátek sloupkování, klas je vzdálen od odnožovacího uzlu min. 1 cm až 1. kolénko hmatatelné) a druhý odběr následoval ve fázi BBCH 50 – 51 (počátek metání až špička klasu vystupuje z pochvy nebo ji proráží bočně). Na stanovištích s žádoucí vysokou potravinářskou jakostí byly odebrány

vzorky půdy na obsah $S_{\text{vod.}}$ také později ve fázi BBCH 61 (počátek květu, první prašníky viditelné).

4.3.2 Postup při odběru vzorků nadzemních částí rostlin (NČR)

Metoda odběru nadzemních částí vzorků ozimé řepky a ozimé pšenice vycházela především z návodů uvedených v původní literatuře Baiera et al. (1988). Jednalo se tedy o odběr vzorků rostlin jako celé nadzemní části, tj. celých rostlin bez kořenů spolu se spočítáním počtu rostlin ve vzorku (pro stanovení sušiny 100, respektive 1 rostliny) a očištěním vzorku od zeminy a jiných nežádoucích příměsí.

Odběr vzorků celých rostlin řepky ozimé byl prováděn celkem 3x za vegetaci. Odběry rostlin se překrývaly s dvěma odběry vzorků půd na obsah $S_{\text{vod.}}$. První odběr byl proveden v přizemní růžici až na počátku prodlužování BBCH 23 – 31 (33), druhý odběr v plné butonizaci (BBCH 51 – 57) a poslední odběr cca za 1 – 2 týdny uprostřed kvetení až v plném kvetení (BBCH 62 – 65). Odběry vzorků nadzemních částí rostlin ozimé pšenice byly prováděny v průběhu vegetace celkem 2x, a to ve stejném období (BBCH 30 – 31 a BBCH 50 – 51) jako odběr vzorků půdy na obsah $S_{\text{vod.}}$

Analýzy síry v rostlinách řepky započaly ve sledovaných letech okolo 5.4. a ukončeny byly okolo 10.5., analýzy pšenice ozimé započaly okolo 20.4. a ukončeny byly kolem 20.5.

4.4 Chemické analýzy půd a rostlin

Pro zajištění chemické analýzy vzorků půdy a rostlin bylo využito smluvní zemědělské akreditované laboratoře firmy EKO-LAB Žamberk s.r.o. (akreditovaná ČIA pod reg. č. 1254).

Stanovení obsahu vodorozpustným forem síry ($S_{\text{vod.}}$) v půdě bylo podle poznatků Matuly (2007; 2011) ve výluhu vodou v poměru 1 : 5. To představovalo na 10 g zhomogenizované zeminy přidavek 50 ml destilované vody o pokojové teplotě (20 °C). Takto připravený výluh byl podroben třepání po dobu 1 h a po jejím uplynutí následovala další 1 h odstředování za účelem finální přípravy pro stanovení (zlepšení průtoku analyzátozem). Vlastní stanovení síry ve vodném extraktu bylo provedeno optickým emisním spektrometrem IRIS Intrepid II XSP, výrobce Thermo Elemental, Parkway, USA s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES).

Stanovení celkové síry ($S_{\text{tot.}}$) bylo v nadzemních částech rostlin provedeno podle akreditované metodiky SOP 536 A (ČSN EN 13804, ČSN EN 14082). To představovalo homogenizaci, usušení rostlinného vzorku při 65 °C, mletí a následný rozklad části vzorku na

mokrě cestě s mikrovlnným ohřevem v uzavřeném tlakovém systému. Druhá část namletého vzorku byla podrobena sušení při 105 °C do konstantní hmotnosti, za účelem stanovení sušiny. Sušina rostlin byla přepočtena na sušinu 1 rostliny. Vlastní stanovení celkové síry ve vzorku po mineralizaci (rozkladu) bylo provedeno ve výluhu standardním extrakčním činidlem lučavkou královskou (směs HNO_3 a HCl) v přístroji ICP-OES. Součástí analýzy vzorku NČR bylo také stanovení obsahu dusíku ($\text{N}_{\text{tot.}}$) podle metodiky firmy LECO, tzn. mineralizace vzorku modifikovanou metodou podle Dümase s detekcí v IR cele.

4.5 Vyhodnocení výsledků

Stanovené obsahy vodorozpustné síry ($\text{S}_{\text{vod.}}$) v půdě a obsahy celkové síry ($\text{S}_{\text{tot.}}$) v rostlinách byly vyhodnocovány ověřenými diagnostickými metodami (Matula, 2007; 2011). Zároveň byla graficky znázorněna dynamika změn $\text{S}_{\text{vod.}}$ v půdě pod sledovanými porosty ozimé řepky a ozimé pšenice v rozhodujících vývojových obdobích o tvorbě výnosu.

Dynamika výživného stavu ozimé řepky a ozimé pšenice byla rovněž znázorněna graficky podle nárůstu sušiny 1 rostliny během vegetace. Obsahy síry v rostlinách ozimé řepky byly dále vyhodnoceny diagnostickými metodami podle naplnění optima výživného stavu v dané růstové fázi. Výživný stav ozimé pšenice byl vyhodnocován podle modelových obsahových křivek pro různé hladiny výnosu v závislosti na nárůstu sušiny. Optimální obsahy síry v sušině rostlin ozimé řepky a ozimé pšenice byly převzaty od poradenské firmy AGROEKO Žamberk spol. s r.o., které slouží jako pracovní hypotéza při optimalizaci hnojení sírou. Koncepce použité diagnostické metody hodnocení obsahu živin v rostlinách podle nárůstu sušiny se zakládá na diagnostické návodech výživy rostlin Baiera et al. (1988).

Výsledky laboratorních analýz byly dále tabelovány, přičemž byly ke každému stanovišti přiřazovány stanovené obsahy síry v půdě a rostlinách a návazně zjištěná data o managementu posklizňových zbytků předplodiny, přímého organického, statkového a minerálního hnojení sírou a dusíkem, za účelem posouzení vlivu hnojení sírou na výživný stav půdy a rostlin sírou v dané růstové fázi. Potřeba síry pro růst a vývoj ozimé řepky a ozimé pšenice v souladu s dosažením odpovídajícího výnosu byla hodnocena podle odběru síry jednotlivými porosty na daném stanovišti. Odběr síry porosty byl porovnán s odběrem dusíku pro posouzení vzájemných interakcí.

Vypovídací schopnost použitých diagnostických metod byla hodnocena metodou experimentálně statistických výpočtů korelace a regrese pomocí software Microsoft Excel 2003. Rovněž byly využity analýzy hypotéz softwarem STATISTICA 12.0.

V neposlední řadě byl posouzen vliv průběhu počasí na obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě a výživný stav rostlin sírou.

4.5.1 Kritéria hodnocení výsledků rozborů obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě

Stanovené obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě byly následně hodnoceny podle níže uvedených diagnostických kritérií. Použité diagnostické kritérium označované S-index stanovil Matula (2007; 2011) ve víceletém kalibračním výzkumu analytické metody stanovující $S_{\text{vod.}}$ ve vzorku zeminy extrakcí vlažnou vodou v poměru 1 : 5. Metoda byla ověřována na rozsáhlém počtu vzorků půdy ze všech regionů České republiky. Interpretační kritérium S-index bylo pro vyhodnocení provedených analýz přepočteno pro účely zjištění skutečného obsahu $S_{\text{vod.}}$ v profilu ornice. Přepočet byl proveden podle Matulou (2011) uváděného vzorce pro výpočet S-indexu, tzn. laboratorně stanovený obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě (ppm) se vynásobí relativní atomovou hmotností síry ($A_r = 32,07$) a tento násobek se dále vynásobí příslušnými koeficienty přepočtu ($0,0167 + 9,167$). Přepočet S-indexu například na vlastní kategorizaci extrémně malé zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě (viz tabulka č. 16), vyjádřenou absolutní hodnotou v mg $S_{\text{vod.}}$ /kg zeminy (ppm), byl proveden tímto matematickým postupem výpočtu: $11 - 9,167 / 0,0167 / 32,07 = 3,4$ ppm $S_{\text{vod.}}$. Vypočtená absolutní hodnota obsahu $S_{\text{vod.}}$ na základě S-indexu byla dále rozdělena do stupňovaných kategorií obsahu síry (mg $S_{\text{vod.}}$ /kg, respektive ppm) charakterizující příslušnou zásobu přijatelné síry v půdě. Podobný princip kategorizace uvádějí také Baier et al. (1988) pro hodnocení obsahu minerálního dusíku ($N_{\text{min.}}$) v půdě.

Tab. č. 16: Kritéria hodnocení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě a kategorizace zásobenosti půd (0 – 30 cm) na základě transformace kritéria S-index

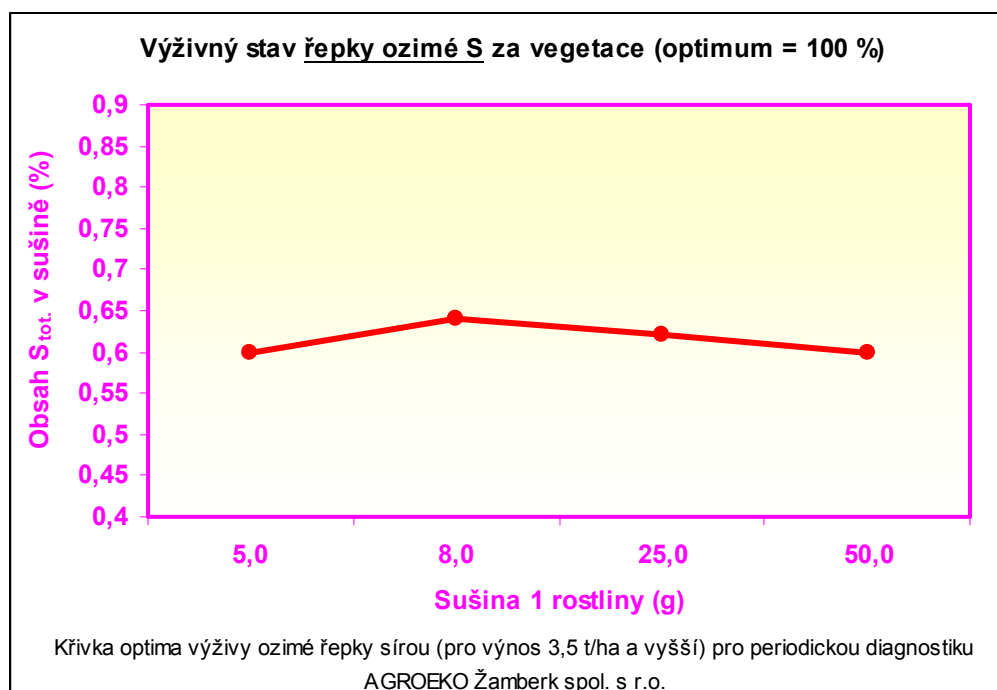
Extrakce vodou (1 : 5) S-index	mmol S/kg	Hodnocení	Obsah S (ppm)	Kategorie obsahu S (ppm)	Zásoba (zkratka)
11	110	Hluboký nedostatek	3,4	0 – 3,4	Extrémně malá (EM)
15	349	Střední nedostatek	10,9	3,5 – 10,9	Velmi malá (VM)
20	649	Malý nedostatek	20,2	11,0 – 19,9	Malá (M)
23	828	Dostatečný obsah	25,8	20,0 – 25,9	Střední (S)
25	948		29,6	26,0 – 29,9	Dobrá (D)
				>30	Velmi dobrá (VD)

Pozn.: Pro hodnocení stanoveného obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě byly uváděny diagnostické kategorizace zásoby formou zkratk (EM, VM, M, S, D a VD).

4.5.2 Vyhodnocení výživného stavu rostlin ozimé řepky sírou

Obsah celkové síry ($S_{tot.}$) v sušině rostlin ozimé řepky byl během vegetace hodnocen podle naplnění optimálních obsahů ve jednotlivých růstových fázích, tzn. zohledněna byla dynamika obsahu síry s nárůstem sušiny rostlin. Diagnostická optima obsahu síry při odpovídající sušině rostlin byly převzaty z německého (Schnug et Haneklaus, 1998) a českého šetření (Matula 2007; 2011) a dále byly doplněny o korekci regionálního šetření společnosti AGROEKO Žamberk spol. s r.o. Křivka optimálního obsahu síry ve výživě rostlin ozimé řepky vypovídá o potřebě výživy rostlin pro dosažení maximálního (neredukovaného) výnosu na daném stanovišti. Křivku optima (100 %) výživného stavu ozimé řepky sírou uvádí obrázek č. 7, ve kterém je na ose x vynesena sušina rostlin v logaritmickém měřítku (sušina rostlin stoupá podle Baiera et al. (1988) v geometrickém měřítku) a na ose y je vynesena obsah celkové síry ($S_{tot.}$) v sušině rostliny v aritmetickém měřítku. Výsledky analýz byly vneseny do grafu a dále bylo určeno naplnění optimálního obsahu ve růstové fázi. Výnos semene při optimálním obsahu síry v sušině rostlin předpokládá diagnostický model na úrovni 3,5 t/ha a vyšší. Jednotlivé body křivky v obrázku č. 7 zobrazují (zleva) optimální obsah síry v sušině rostlin v období přizemní růžice (BBCH 23 – 25), v počátku prodlužování (BBCH 31), v butonizaci (BBCH 51 – 57) a v době kvetení řepky (BBCH 62 – 65).

Obr. č. 7: Křivka optima obsahů síry v sušině celých rostlin ozimé řepky

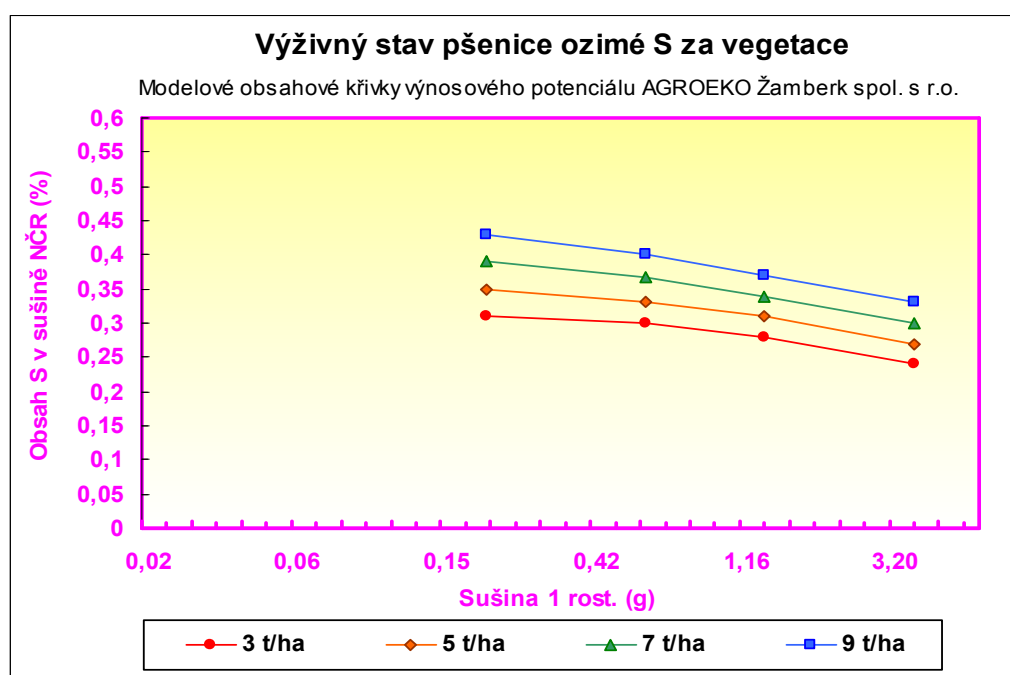


Zdroj: Archiv originálu poradenské společnosti AGROEKO Žamberk spol. s r.o.

4.5.3 Vyhodnocení výživného stavu rostlin ozimé pšenice sírou

Diagnostika výživného stavu rostlin ozimé pšenice byla provedena podle níže uvedeného diagramu, respektující změnu obsahu síry v sušině s nárůstem sušiny rostlin. Diagram znázorňuje modelové křivky obsahu síry v sušině nadzemních částí celých rostlin pro danou výnosovou úroveň. Optimální obsahy síry v sušině rostlin ozimé pšenice vycházejí ze souboru německých poznatků (Schnug et Haneklaus, 1998), anglického šetření Witherse et al. (1995), českého šetření Richtera a Hřivny (2000) a doplněny byly o korekci regionálního šetření společnosti AGROEKO Žamberk spol. s r.o. Modelové obsahové křivky slouží jako pracovní hypotéza poradenské firmy AGROEKO Žamberk spol. s r.o a navazuje na koncepci ověřených diagnostických metod Baiera et al. (1988) sestavených pro základní živiny, vyjma síry. Diagram modelových obsahových křivek pro různé výnosové hladiny ozimé pšenice uvádí obrázek č. 8, ve kterém je sušina rostlin vyjádřena na ose x v logaritmickém měřítku (Baier et al., 1988) a obsah celkové síry ($S_{tot.}$) na ose y v aritmetickém měřítku.

Obr. č. 8: Modelové obsahové křivky síry podle výnosového potenciálu



Zdroj: Archiv originálu poradenské společnosti AGROEKO Žamberk spol. s r.o.

Pozn.: Diagnostika výživy rostlin podle koncepce ověřených diagnostických metod Baiera et al. (1988).

5 VÝSLEDKY

Tato část práce zahrnuje výsledky měření, získané v rámci monitoringu obsahu vodorozpustných forem síry ($S_{\text{vod.}}$) v půdě a monitoringu výživného stavu rostlin ozimé řepky a ozimé pšenice sírou na kontrolních stanovištích v letech 2012 a 2013. Hodnocení monitoringu bylo zaměřeno na zjištění vlivů počasí (ročníku), úrovně hnojení, typu hnojiva na obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Vyhodnocena byla také vliv obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě na výživný stav rostlin sírou. Rovněž byla posouzena vypovídací schopnost diagnostických metod v kontextu s dosaženým výnosem hlavního produktu.

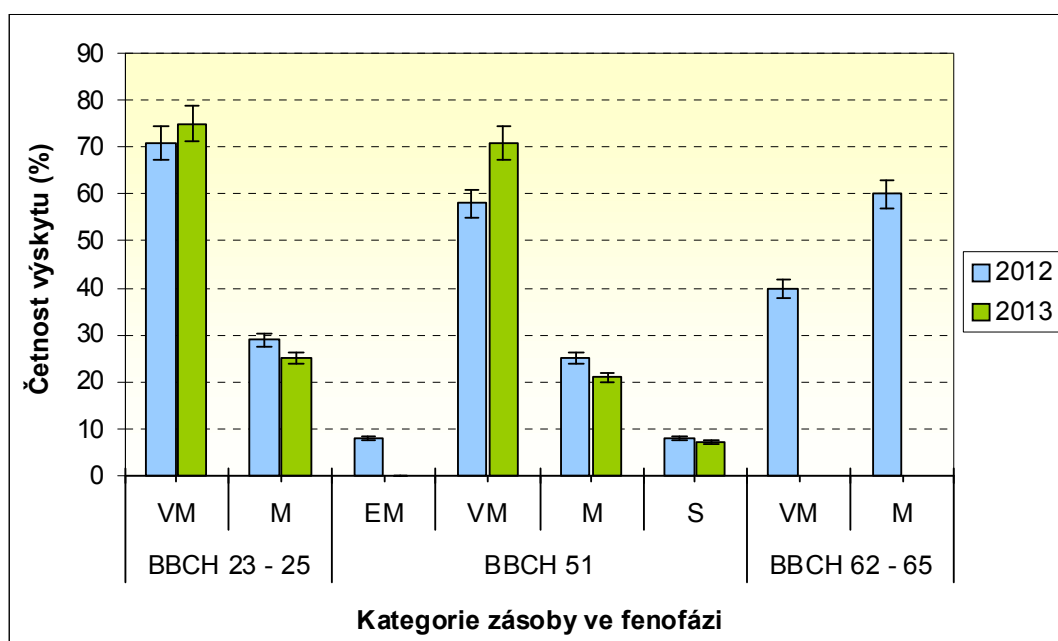
5.1 Monitoring obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě

V rámci provedeného monitoringu $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty ozimých řepok (viz graf č. 1), v celkovém počtu 14 stanovišť každý rok, byly zjištěny na počátku jarní vegetace (BBCH 23 – 25) v obou rocích především velmi malé zásoby ($VM = 3,5 - 10,9$ ppm) $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Kategorizace zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě odpovídá hodnocení v tabulce č. 16. Výskyt velmi malých zásob byl přibližně na 70 % sledovaných stanovišť. Následně se v tuto dobu vyskytly malé zásoby ($M = 11 - 19,9$ ppm), které v obou rocích zaujímaly v průměru 25 % sledovaných ploch. V období butonizace řepok (BBCH 51) se dále i přes vliv minerálního přihnojení porostů sírou majoritně vyskytovaly velmi malé zásoby, v roce 2012 na 58 % v roce 2013 dokonce na 71 % sledovaných ploch. Malé zásoby se vyskytly podobně jako v období jarní vegetace na přibližně 20 %. Na 8 % celkového počtu stanovišť v roce 2012 se vyskytly také extrémně malé ($EM = 0 - 3,4$ ppm) zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě. V opačném případě se přibližně na 8 % ploch vyskytly v obou letech vyšší, tzn. střední zásoby ($S = 20 - 25,9$ ppm) $S_{\text{vod.}}$ v půdě. V roce 2012 byly také vzorkovány půdy na obsah $S_{\text{vod.}}$ v době květu (BBCH 62 – 65) řepok, kde se vyskytly na 40 % velmi malé a na 60 % vyšší malé zásoby.

Pod porosty ozimých pšenic (viz graf č. 2) byl započatý monitoring později, než v řepce, a to po plném zregenerování porostů na počátku sloupkování (BBCH 30 – 31). Porosty byly regeneračně hnojeny dusíkatými hnojivy typu LAD, LAV apod. (bez obsahu síry). Celkem bylo v roce 2012 monitorována 9 a v roce 2013 10 stanovišť. V období počátku sloupkování se vyskytly výraznější rozdíly v zastoupení zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě, než tomu bylo v řepce. V roce 2012 se vyskytly velmi malé zásoby na necelých 38 % celkového počtu stanovišť a v roce 2013 to bylo dokonce na 90 % stanovišť. Velmi malé zásoby v roce 2012 byly v celkovém počtu stanovišť potlačovány 50 % výskytem vyšších, malých zásob. Dále se v tuto dobu, bez

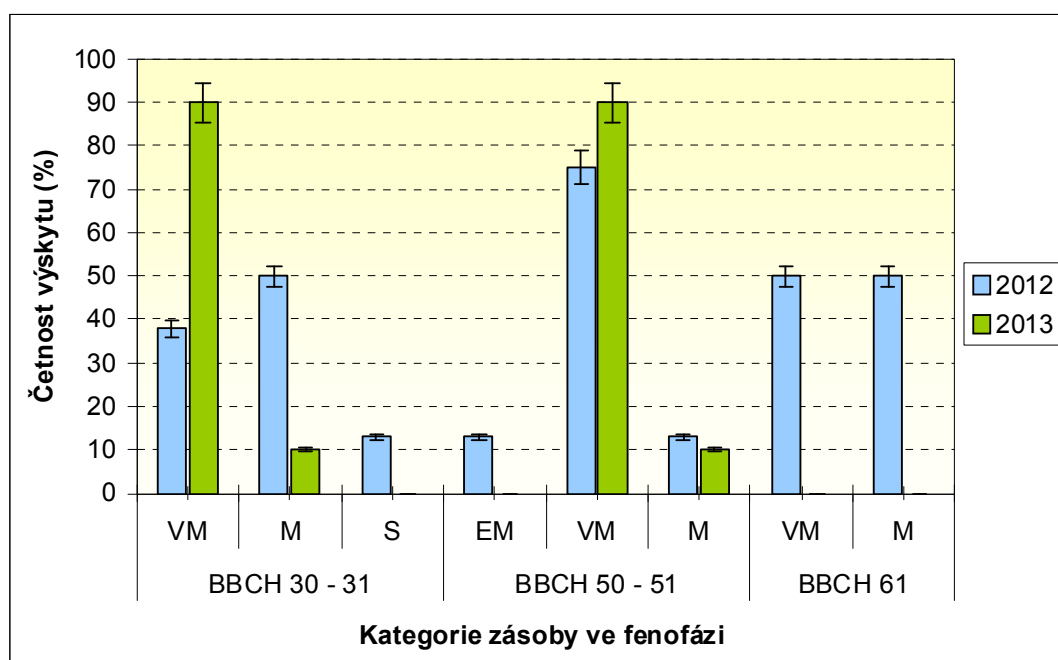
vlivu minerálního přihnojení, vyskytly na 13 % stanovišť dokonce střední zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Ty byly nacházeny na stanovištích v zástavbách průmyslových zón. V roce 2013 se střední zásoby nevyskytly. V době metání (BBCH 50 – 51) byly především zjišťovány velmi malé zásoby, v roce 2012 na přibližně 75 %, v roce 2013 dokonce na 90 % stanovišť. Vyskytly se také extrémně nízké zásoby v roce 2012, a to na 12 % stanovišť. Malé zásoby se vyskytly v obou letech sledování na okolo 10 % stanovišť. V roce 2012 byly odebrány také později vzorky půd jako u řepky. U pšenice ozimé se v období počátku květu (BBCH 61) vyskytovaly shodně na 50 % sledovaných stanovišť velmi malé a malé zásoby.

Graf č. 1: Zásobenost půd $S_{\text{vod.}}$ pod porosty ozimé řepky (n = 14)



Pozn.: Kategorizace zásob $S_{\text{vod.}}$ v půdě odpovídá systému hodnocení (zkratkám) uvedeného v tabulce č. 16.

Graf č. 2: Zásobenost půd $S_{\text{vod.}}$ pod porosty ozimé pšenice (2012 n = 9, 2013 n = 10)



Pozn.: Kategorizace zásob $S_{\text{vod.}}$ v půdě odpovídá systému hodnocení (zkratkám) uvedeného v tabulce č. 16.

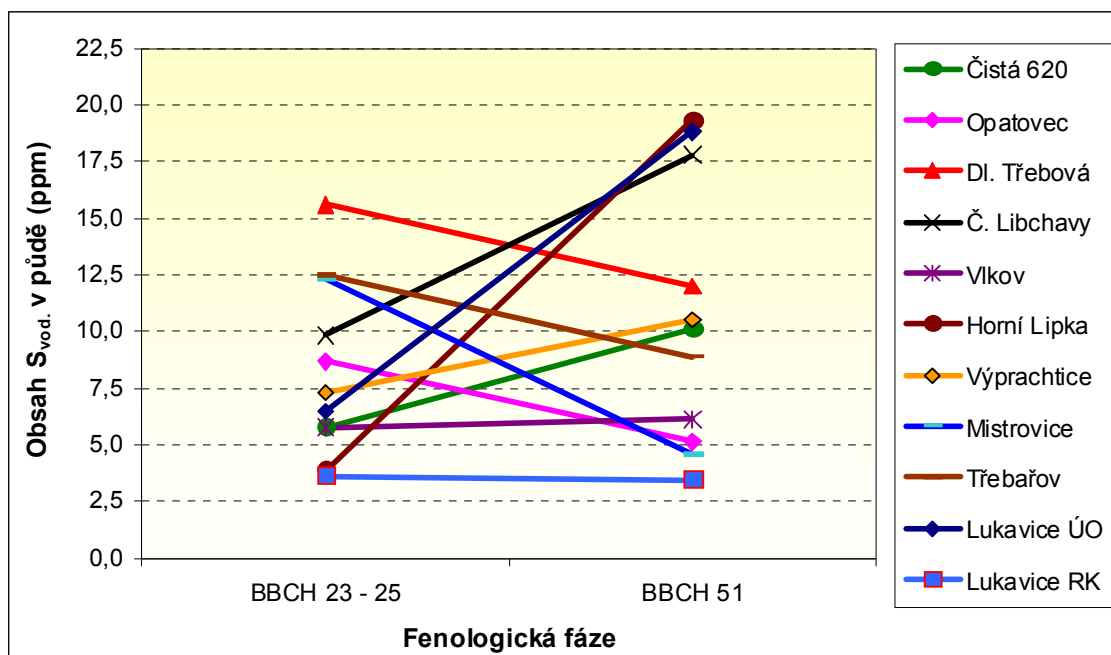
5.1.1 Monitoring dynamiky obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty ozimé řepky

Výsledky monitoringu obsahu vodorozpustných forem síry v půdě ($S_{\text{vod.}}$) poukázaly na odlišné obsahy v půdě jednak na počátku vegetace, tak i následně v průběhu vegetace ozimé řepky. Počáteční obsahy (BBCH 23 – 25) $S_{\text{vod.}}$ v půdě, tzn. po odeznění zimy a před regeneračním hnojením minerálními hnojivy se sírou, byly na jednotlivých stanovištích rozdílné, zejména podle úrovně a typu organického hnojení na podzim a podle nárůstu sušiny biomasy porostů. Dynamika obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě se měnila během vegetace ozimé řepky zejména podle úrovně minerálního hnojení sírou a podle intenzity odběru síry porostem.

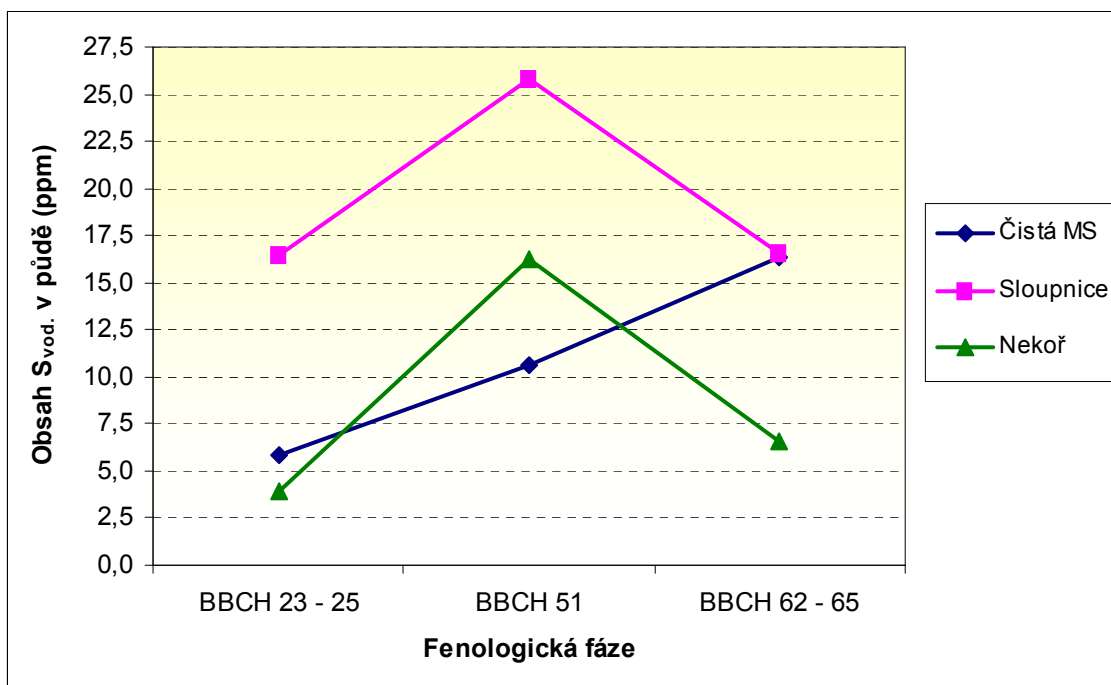
V roce 2012 bylo celkem monitorováno 14 stanovišť ozimé řepky v období od 10.4. do 30.4. (14.5.) a zjištěnou dynamiku obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty uvádí graf č. 3 a č. 4. Z grafů je patrné, že stanoviště Dlouhá Třebová, Třebařov, Mistrovice a České Libchavy vykazovaly vyšší obsahy síry (nad 10 ppm $S_{\text{vod.}}$) po zimě (před regeneračním hnojením), ve srovnání s ostatními stanovišti. Na těchto lokalitách bylo uplatněno s výjimkou Třebařova hnojení organickými hnojivy na podzim (digestát, kejda nebo hnůj skotu). Nejnížší obsahy $S_{\text{vod.}}$ před regeneračním hnojením byly zjištěny po organickém hnojení hnojem (37 – 40 t/ha) v těžších půdách v Lukavici u RK a ve vyšší poloze stanoviště Horní Lipka. Po hnojení dusíkatým hnojivem se sírou DASA 26-13 v dávce 13 – 33 kg S/ha byl zjištěn nárůst obsahu

$S_{\text{vod.}}$ v půdě v Horní Lipce, Lukavici ÚO, Českých Libchavách, Výprachticích a v Čisté 620. Na stanovišti v Mistrovicích došlo po hnojení DASA 26-13 ve fázi BBCH 23 – 31 již ve fázi BBCH 51 k poklesu obsahu $S_{\text{vod.}}$ pro intenzivní odběr síry porostem. Obdobná klesající tendence obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě, vlivem odběru síry porostem, nastala po hnojení kapalnými hnojivem SAM 19-5 v Třebořově v dávce 10 kg S/ha, po hnojení Polifoskou v Dlouhé Třebové v dávce 23 kg S/ha a po hnojení granulovaným síranem amonným v Opatovci v dávce 20 kg S/ha. Hnojení hnojivem Yara Sulfan 24-6S v dávce 18 kg S/ha bylo uplatněno na obou stanovištích v Čisté (hon č. 620 a MS) a na obou zvyšovalo obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě, zejména v grafu č. 2, je patrný nárůst ještě později ve fázi počátku kvetení řepky (i po intenzivním odběru). Na těchto stanovištích bylo zároveň použito minerální kapalně dusíkaté hnojivo se sírou SAM 240 (12 kg S/ha) na podzim v době přízemní růžice. Vyšší obsah $S_{\text{vod.}}$ po tomto hnojení nebyl již v předjaří patrný. V grafu č. 2 jsou uvedeny další rozšířené analýzy obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě v době počátku až plného květu řepky (BBCH 62 – 65). Jak již bylo uvedeno výše v Čisté MS stoupal obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě po hnojení 18 kg S/ha ve fázi BBCH 51 – 57 v dusíkato-sírném hnojivu Yara Sulfan 24-6S ještě ve fázi květu řepky. Stanoviště ve Sloupnici bylo před setím hnojeno kejdou prasat (13 t/ha) a vykazovalo před regeneračním hnojením nejvyšší obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě (16,5 ppm) a následně po hnojení 39 kg S/ha v hnojivu DASA 26-13 dosahovalo obsahu 25,8 ppm $S_{\text{vod.}}$ v půdě v butonizaci (BBCH 51). Pokles obsahu $S_{\text{vod.}}$ (na 16,6 ppm) je patrný z důvodu odběru síry porostem až ve fázi květu řepky. Nejvíce deficitní bylo stanoviště v Nekoři, kde zjara byl obsah pouhých 3,9 ppm $S_{\text{vod.}}$ v půdě, který následně stoupal po hnojení 33 kg S/ha ve fázi BBCH 23 – 31 v hnojivu DASA 26-13 až na 16,2 ppm v době butonizace (BBCH 51). Pokles obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě byl patrný obdobně jako ve Sloupnici až v době květu řepky (6,6 ppm $S_{\text{vod.}}$).

Graf č. 3: Dynamika obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě (0 – 30 cm) během vegetace ozimé řepky v roce 2012

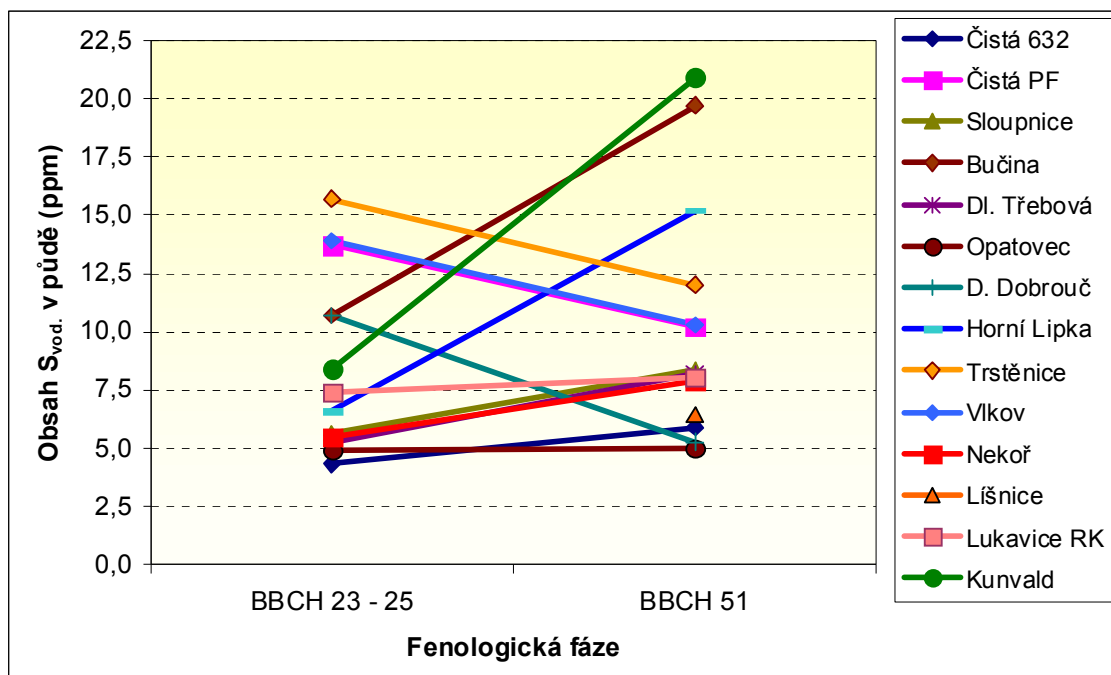


Graf č. 4: Dynamika obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě (0 – 30 cm) během vegetace ozimé řepky v roce 2012



Monitoring obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě v roce 2013 byl zastoupen také 14 stanovišti ozimé řepky s realizací od 11.3. do 29.4., přičemž s přestávkou od 18.3. do 2.4., kdy se navrátila zima se souvislou sněhovou pokrývkou. Zjištěné obsahy a dynamiku obsahů $S_{\text{vod.}}$ během vegetace znázorňuje graf č. 5. Obdobně jako v roce 2012 počáteční obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě jsou na jednotlivých stanovištích rozdílné. Vyšší obsahy, které převyšovaly 10 ppm $S_{\text{vod.}}$ byly zjištěny po hnojení organickými hnojivy, konkrétně digestátem v Trstěnicích (20 t/ha) a Dolní Dobrouči (22 t/ha) a drůbežím trusem v Čisté PF (10 t/ha) a drůbeží podestýlkou ve Vlkově (25 t/ha). Nejvyšší obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě zjara byl v Trstěnicích, kde bylo ještě hnojeno (po digestátu) před setím hnojivem Polidap 18-46-6S, které dodalo 6 kg S/ha. V Bučině byl zjištěn také vyšší obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě, ale přímé organické nebo minerální hnojení nebylo před setím nebo podzim uplatněno. Půdy v tomto podniku jsou pravidelně a intenzivně zásobovány živinami v rámci celého osevního sledu (uplatněno bylo hnojení sírou k předplodině jarnímu ječmeni). Dále před regeneračním hnojením sírou byly zjištěny již nižší obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Nejnižší obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě byly zjištěny v Čisté 632, Opatovci, Nekoři a Sloupnici. Na těchto stanovištích se provedené hnojení organickými hnojivy neuplatnilo ve vyšším obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě. V roce 2013 nastoupilo po odeznění déle trvající zimy (návrat zimy v druhé a třetí dekádě března) rychlé oteplení ve druhé dekádě dubna, porosty tak začaly intenzivně odebírat živiny z půdy včetně síry. To bylo hlavním důsledkem převážného poklesu obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty řepky, i přes hnojení sírou v dávkách v rozpětí 23 – 40 kg S/ha. Na stanovišti v Opatovci pro rychlý nárůst sušiny rostlin nedošlo téměř k výkyvu v obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě, aplikovaná síra (18 kg S/ha) byla bezprostředně v butonizaci odčerpána a po sledovanou vegetaci se konstatně udržoval obsah v půdě okolo 5 ppm. Tendence podobně tomu bylo v Čisté 632, Lukavici RK. Mírný nárůst $S_{\text{vod.}}$ byl patrný po hnojení DASA 26-13 (20 kg S/ha) krátce před odběrem vzorků půdy v Nekoři a ve Sloupnici. Jedenkrát byl proveden odběr vzorku půdy v Líšnici, kde bylo hnojeno 18 kg S/ha v hnojivu NPK-9S spolu s hnojem skotu před setím řepky. To se neprojevilo ve vyšším obsahu $S_{\text{vod.}}$ na jaře v butonizaci řepky. Výrazné navýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě (z 8,4 ppm na 20,9 ppm) v období butonizace (BBCH 51) vykazalo stanoviště v Kunvaldě, pro svou vyšší polohu, a tedy pozdější obnovení vegetace a mineralizace organických látek v půdě, zejména zaoraného hnoje skotu před setím, spolu s 6 kg S/ha v hnojivu Polidap 18-46-6S. Podobně z důvodu pozdějšího odeznění zimy, došlo ke kumulaci $S_{\text{vod.}}$ v půdě z časně aplikovaných minerálních hnojiv v Horní Lipce, zejména po regeneračním hnojení hnojivem DASAMAG s přísunem 27 kg S/ha. V Bučině došlo ke zvýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě (z 10,7 ppm na 19,7 ppm) ve fázi BBCH 51 po celkově vyšší dávce síry v granulovaném síranu amonném (2x po 40 kg S/ha).

Graf č. 5: Dynamika obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě (0 – 30 cm) během vegetace ozimé řepky v roce 2013



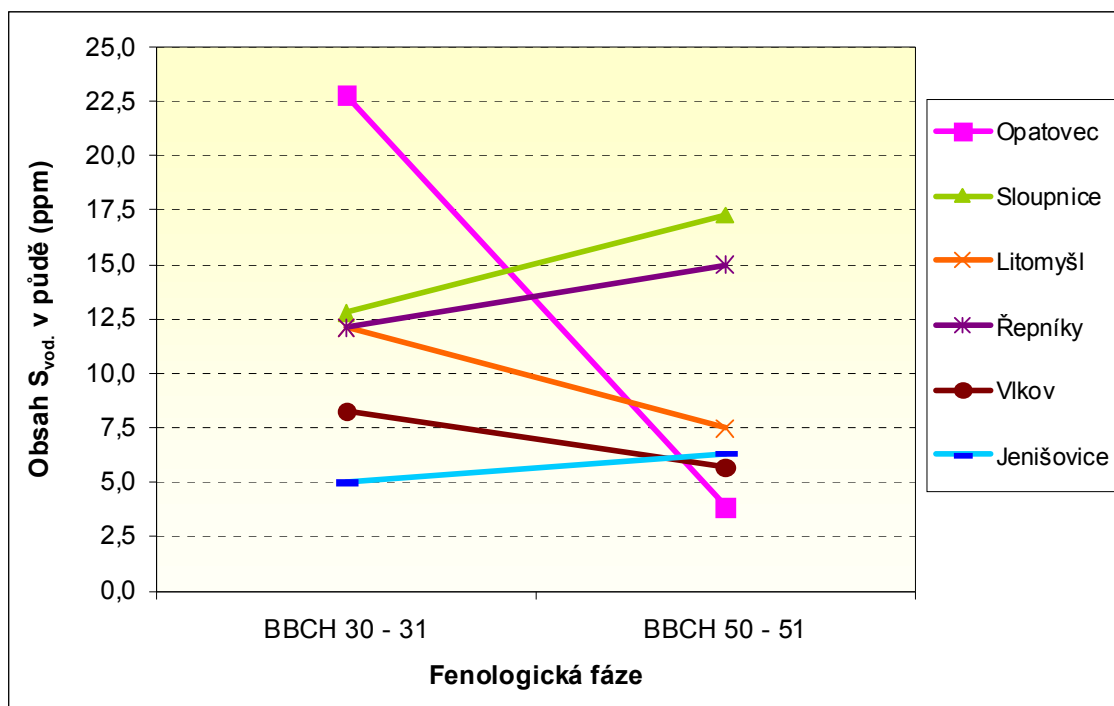
5.1.2 Monitoring dynamiky obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty ozimé pšenice

Podobný monitoring jako u ozimé řepky byl proveden v porostech ozimé pšenice. Obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty pšenice byl rovněž rozdílný a dynamika během vegetace byla ovlivňována přísunem síry z aplikovaných hnojiv během vegetace.

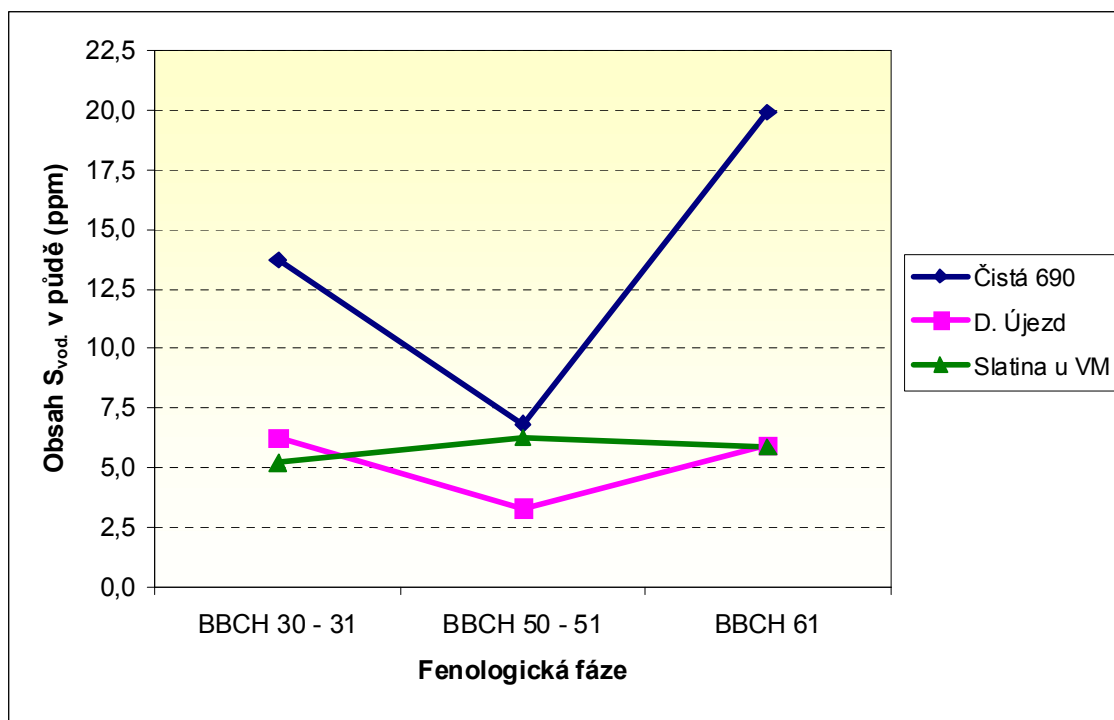
V roce 2012 bylo zahrnuto do monitoringu 9 stanovišť s realizací odběru vzorků od 12.4. do 18.5. (4.6.) podle vývoje porostů. Dynamiku znázorňuje graf č. 6 a rozšířené analýzy graf č. 7. Naměřené obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě byly na počátku jarní vegetace rozdílné, obdobně jako u řepky podle úrovně organického hnojení. U pšenice se dále ukazuje vliv předplodiny, po řepce ozimé (u které se zpravidla zaorává sláma) byly zjištěny kategorie vyšších zásob. Odběry vzorků půdy byly prováděny těsně před hnojením sírou v období počátku sloupkování, tzn. tvorby prvního kolénka (BBCH 30 – 31). Nejvyšší obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě byl zjištěn v tomto období v Opatovci (22,8 ppm), kde byla předplodinou řepka ozimá a nebylo zde uplatněno žádné hnojení sírou na podzim. Pozemek se nacházel v bezprostřední blízkosti průmyslového areálu na předměstí Svitav. Dále vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ než 10 ppm byly zjištěny po předplodině řepce v Řepníkách, Čisté 690, po ječmenu jarním a hnojení digestátem (25 t/ha) a 10 kg S/ha ve směsném minerálním hnojivu před setím v Litomyšli a po zaorávce jetele spolu s aplikací hnoje skotu (25 t/ha) ve Sloupnici. Ve Vlkově byla předplodinou také řepka ozimá a navíc byl na strniště aplikován hnůj skotu (30 t/ha). Tato kombinace hnojení ale nevykázala zvýšené

obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Také kombinace zaorávky obrotu jetele a hnoje skotu (45 t/ha) v Dolním Újezdě nevykazovala v jarním období zvýšené uvolnění síry mineralizací, potažmo zvýšené obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Nejnižší obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě (5,0 ppm) vykazovalo stanoviště v Jenišovicích, kde byl porost ozimé pšenice založen po kukuřici sklízené na siláž a před setím byla aplikována kejda prasat (22 t/ha). Zároveň stanoviště ve Slatině u VM vykazovalo také po řepce ozimé poměrně nízký obsah $S_{\text{vod.}}$ (5,2 ppm), poněvadž porost se nacházel v teplejší oblasti a byl v tuto dobu hustě zapojený. Velmi výrazný pokles obsahu $S_{\text{vod.}}$ v počátku metání pšenic (BBCH 50 – 51) byl zjištěn v Opatovci, zde pokles dosahoval 18,9 ppm $S_{\text{vod.}}$ (cca 76 kg S/ha). Dále pokles obsahu $S_{\text{vod.}}$ v metání byl zjištěn po aplikaci digestátu (20 t/ha) v porostu vlečnými hadicemi v Litomyšli a po nehnojení sírou ve sloupkování pšenice ve Vlkově. Naopak zvýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě po hnojení minerálními hnojivy se sírou byly zjištěny po aplikaci DASA 26-13 ve Sloupnici (33 kg S/ha) a síranu amonného v Řepníkách (24 kg S/ha). Zvýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě bylo také zjištěno po hnojení kejdou prasat (22 t/ha) na podzim a nehnojení minerálními hnojivy na jaře do půdy v Jenišovicích. Výrazné zvýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ (z 6,8 ppm na 19,9 ppm) nastalo v době květu pšenic (BBCH 61) v Čisté 690 po hnojení 22 kg S/ha v síranu amonném a 23 kg S/ha v hnojivu Yara Sulfan 26-13S. V Dolním Újezdě nebylo minerálně hnojeno sírou do půdy a došlo k poklesu $S_{\text{vod.}}$ v půdě v době metání (BBCH 51), ale v době kvetení pšenic (BBCH 61) se obsah navýšil (z 3,3 ppm na 6,0 ppm) mineralizací organických látek (na podzim aplikován hnůj skotu v dávce 45 t/ha) v půdě. Téměř konstantní dynamika $S_{\text{vod.}}$ v půdě byla zjištěna ve Slatině u VM, kde porost pšenice byl založen po řepce a v období prvního kolénka (BBCH 31) byl hnojen sírou v dusíkatém hnojivu se sírou DASA 26-13 v dávce 26 kg S/ha. Tato dávka byla porostem rané pšenice poměrně rychle přijata, do navýšení $S_{\text{vod.}}$ v půdě ve fázi BBCH 51 se aplikace téměř nepromítla.

Graf č. 6: Dynamika obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě (0 – 30 cm) během vegetace ozimé pšenice v roce 2012

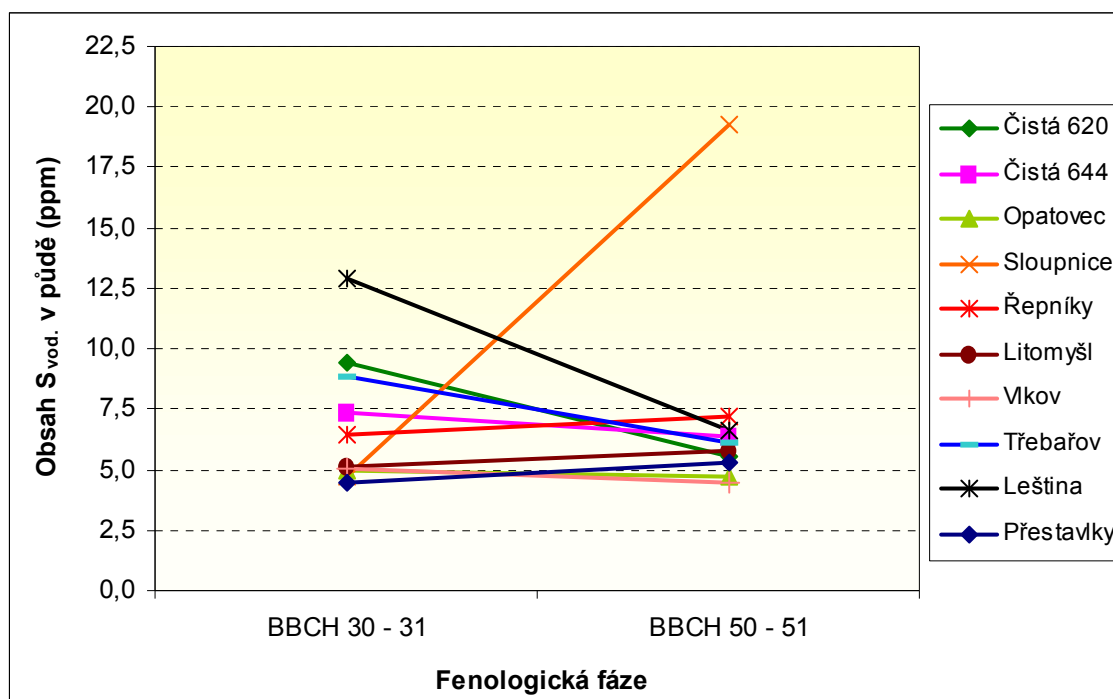


Graf č. 7: Dynamika obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě (0 – 30 cm) během vegetace ozimé pšenice v roce 2012



Také v roce 2013 byl proveden monitoring obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty ozimých pšenic (viz graf č. 8). Celkem bylo zahrnuto 10 stanovišť a vlastní odběr vzorků byl proveden od 29.4. do 10.6., tzn. s více jak 14 denním zpožděním, oproti roku 2012, a to vlivem návratu zimy v druhé dekádě března. Na počátku později příchozího jara byly zjištěny vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě především po předplodině řepce ozimé, u které byla zaorána sláma. Tak tomu bylo na stanovišti v Leštině, Čisté 620, Třebařově, Čisté 644 a v Řepníkách. Organické hnojení porostů před setím, tzn. v Litomyšli digestátem (16 t/ha), v Přestavlkách digestátem (15 t/ha) a ve Vlkově hnojem z drůbeží podestýlky se nepodílelo na zvýšených obsazích $S_{\text{vod.}}$. Naopak byly v těchto případech zjištěny nejnížší obsahy v době sloupkování pšenic. V lehčích půdách v Přestavlkách byl aplikován také Agromix s přísunem 6 kg S/ha, přesto spolu s digestátem nebyly na jaře zjištěny zvýšené obsahy $S_{\text{vod.}}$. Podobně byla před setím hnojena pšenice ve Sloupnici hnojivem NPK-5S s dávkou 9 kg S/ha, která se také nepromítla na jaře do vyšších hladin obsahů $S_{\text{vod.}}$ v půdě. V době metání pšenic (27.5. – 10.6.) byly měřeny na nejbližších meteorologických stanicích intenzivní atmosférické srážky, které dosahovaly v první dekádě května 190 % normálu, ve druhé dekádě 105 % normálu, ve třetí dekádě 127 % normálu a v první dekádě června 170 % normálu. Veškeré porosty byly sírou hnojeny do půdy zejména v době po prvním odběru vzorku půdy ve fázi BBCH 31 (29.4. – 13.5.). Aplikovaná hnojiva se sírou v dávkách od 4 do 33 kg S/ha se nadále nepodílela v metání (BBCH 50 – 51) na udržení nebo zvýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Porosty pšenic čerpaly síru z půdy méně (převládalo výrazné zředování síry v sušině rostlin), než tomu bylo v roce 2012. Zároveň je grafu č. 8 patrný pokles síry v půdě, vyjma stanoviště ve Sloupnici, a to bylo ovlivněno intenzivními srážkami v době aplikací nebo po aplikaci minerálních hnojiv. Ztráta $S_{\text{vod.}}$ v půdě byla částečně způsobena splavením hnojiv, ale především vyplavením aplikované síry z ornice ve formě velice mobilních síranů (SO_4^{2-}) do podorničních horizontů. Ve Sloupnici došlo k opačné tendenci, tzn. k výraznému nárůstu obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě po aplikaci 33 kg S/ha ve hnojivu DASA 26-13 na závěr deštivého období. Posun aplikace z důvodu deštivého počasí na pozdější termín, se výrazně promítl do zvýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě a posléze také do udržení vysoké úrovně výživného stavu rostlin sírou.

Graf č. 8: Dynamika obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě (0 – 30 cm) během vegetace ozimé pšenice v roce 2013



5.1.3 Klasifikace zásobenosti půd $S_{\text{vod.}}$ pod monitorovanými porosty

Stanovené obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě byly dále tabelárně souhrnně zpracovány. Tabulka č. 17 uvádí průměrné obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě v dané růstové fázi ozimé řepky. Je patrné, že obsahy na počátku jarní vegetace (BBCH 23 – 25) vykazovaly velmi malé zásoby s meziročním rozdílem obsahu méně jak 3 %. Hodnocení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě včetně označujících zkratk uvádí tabulka č. 16. V průměru za oba roky měly k porosty řepky k dispozici v půdě na počátku obnovení jarní vegetace 8,5 ppm (cca 34 kg S/ha) snadno přijatelných forem síry. Průměrné obsahy $S_{\text{vod.}}$ v obou letech kolísaly na jednotlivých stanovištích v rozmezí 3,6 – 16,5 ppm $S_{\text{vod.}}$ tzn. v hladinách velmi malých až malých zásob. V době butonizace řepky (BBCH 51) byly obsahy v roce 2012 na úrovni spodní meze malé zásoby a v roce 2013 na úrovni horní meze malé zásoby. Po přihnojení minerálními hnojivy se sírou dosahovaly v tuto dobu obsahy v průměru 11,2 ppm $S_{\text{vod.}}$ (cca 45 kg S/ha), přičemž v roce 2012 byly obsahy vyšší na úrovni 12,1 ppm (malá zásoba). V roce 2013 byly obsahy o 18 % nižší, než v roce 2012 a pohybovaly se v kategorii velmi malých zásob. V průměru obou roků kolísaly dle úrovně hnojení sírou obsahy $S_{\text{vod.}}$ v širokém rozpětí 3,5 – 25,8 ppm. V roce 2012 byly odebrány také kontrolní vzorky půdy v pozdějších fázích růstu, a to v květu (BBCH 62 – 65). V průměru byly zásoby na úrovni malé zásoby (13,2 ppm $S_{\text{vod.}}$) a na jednotlivých

stanovištích kolísaly v rozpětí 6,6 – 16,6 ppm (cca 26 – 66 kg S/ha). Dle hodnot variačního koeficientu je patrné, že obsahy na jednotlivých stanovištích a v jednotlivých letech a růstových fázích sledování byly značně proměnlivé (CV = 43 – 53 %). Obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě bezprostředně ovlivňovalo hnojení sírou zejména minerálními hnojivy během vegetace a aktuální intenzita příjmu síry rostlinami.

Tab. č. 17: Zásobenost půd $S_{\text{vod.}}$ (0 – 30 cm) pod porosty ozimé řepky

Období	Ukazatel	Obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě (ppm) ve fenofázi					
		BBCH 23 - 25	Zásoba	BBCH 51	Zásoba	BBCH 62 - 65	Zásoba
2012	$\bar{x}$	8,42	VM	12,09	M	13,19	M
	med x	6,87	VM	10,55	VM	16,40	M
	min.	3,62	VM	3,46	VM	6,57	VM
	max.	16,50	M	25,80	S	16,60	M
2013	$\bar{x}$	8,67	VM	10,24	VM	-	-
	med x	7,40	VM	8,25	VM	-	-
	min.	4,33	VM	4,97	VM	-	-
	max.	15,70	M	20,90	S	-	-
Celkem	$\bar{x}$	8,54	VM	11,16	M	13,19	M
	med x	7,29	VM	10,15	VM	16,40	M
	s ±	4,03	-	5,86	-	5,73	-
	CV ± (%)	47	-	53	-	43	-
	min.	3,62	VM	3,46	VM	6,57	VM
	max.	16,50	M	25,80	S	16,60	M

Porosty ozimých pšenic (viz tabulka č. 18) vykazovaly v půdě v období počátku sloupkování (BBCH 30 – 31) meziročně výraznější rozdíly v průměrném obsahu $S_{\text{vod.}}$. V roce 2012 dosahovaly obsahy v průměru malých zásob (11,6 ppm $S_{\text{vod.}}$). V roce 2013 dosahovaly průměrné obsahy pouhých 6,9 ppm a byly tak o 32 % nižší. V průměru obou let se pohybovaly obsahy $S_{\text{vod.}}$ na úrovni 9 ppm (cca 36 kg S/ha), tzn. v relaci velmi malých zásob. V období metání (BBCH 50 – 51) byly zjištěny nižší zásoby, než na počátku sloupkování. Porosty byly v tomto mezidobí ve většině případů hnojeny minerálními hnojivy se sírou, to navýšilo dočasně obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě, ale posléze značnou část zásoby disponibilní síry v půdě porosty odebraly, pro tvorbu sušiny nadzemní biomasy (viz níže graf č. 8). V průměru obou let byla zjištěna velmi vyrovnaná hodnota obsahu $S_{\text{vod.}}$ pod porosty pšenic na úrovni 7,1 ppm (cca 28 kg S/ha). Jinak tomu bylo ale na jednotlivých stanovištích, zvláště v roce 2012, klesaly hodnoty obsahu $S_{\text{vod.}}$ do extrémně malých zásob (3,3 ppm = cca 13 kg S/ha) a stoupaly do úrovně horních mezí malých zásob (17,3 ppm = cca 69 kg S/ha). V roce 2013 byl pokles obsahu nižší. Nejnižší obsah byl zjištěn necelých 5 ppm (20 kg S/ha) a naopak nejvyšší

dosahoval 20,9 ppm (84 kg S/ha), tzn. střední zásoby. Vliv přihnojení sírou zpravidla v dusíkatých hnojivech se sírou na aktuální obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě byl patrný. Dále variabilitu obsahu $S_{\text{vod.}}$ v metání ovlivňoval průběh počasí, zejména vyšší srážkové úhrny, na některých stanovištích v roce 2013, na přelomu května a června vedly k poklesu obsahů. Také odrůda a s ní spojená intenzita odběru síry byla faktorem ovlivňující aktuální zásobu $S_{\text{vod.}}$ v ornici. Rozšířené odběry vzorků v roce 2012 v období počátku květu (BBCH 61) pšenic poukázaly zvýšené obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě. V průměru se pohybovaly na úrovni malé zásoby, a to činilo 11,7 ppm $S_{\text{vod.}}$. Byla zde ale patrná značná proměnlivost obsahu $S_{\text{vod.}}$, která se pohybovala v rozpětí 5,9 – 19,9 ppm (cca 24 – 80 kg S/ha). V souhrnu variabilita obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě v souboru vyšetřovaných porostů ozimých pšenic dosahovala značné nevyrovnanosti jako pod porosty ozimých řepk. Hodnota variačního koeficientu dosahuje se pohybovala se v rozpětí 52 – 60 %.

Tab. č. 18: Zásobenost půd $S_{\text{vod.}}$ (0 – 30 cm) pod porosty ozimé pšenice

Období	Ukazatel	Obsah $S_{\text{vod.}}$ ve fenofázi (ppm)					
		BBCH 30 - 31	Zásoba	BBCH 50 - 51	Zásoba	BBCH 61	Zásoba
2012	$\bar{x}$	11,63	M	7,13	VM	11,68	M
	med x	12,10	M	6,31	VM	10,48	VM
	min.	5,00	VM	3,31	EM	5,86	VM
	max.	22,80	S	17,30	M	19,90	M
2013	$\bar{x}$	6,93	VM	7,13	VM	-	-
	med x	5,79	VM	5,96	VM	-	-
	min.	4,49	VM	4,46	VM	-	-
	max.	12,90	M	19,30	M	-	-
Celkem	$\bar{x}$	9,02	VM	7,13	VM	11,68	M
	med x	7,84	VM	6,18	VM	10,48	VM
	s ±	4,73	-	4,22	-	6,96	-
	CV ± (%)	52	-	59	-	60	-
	min.	4,49	VM	3,31	EM	5,86	VM
	max.	22,80	S	19,30	M	19,90	M

5.1.4 Zásobenost půd $S_{\text{vod.}}$ podle stanovištních podmínek

V tabulce č. 19 je uvedena souhrnná analýza zjištěných průměrných obsahů $S_{\text{vod.}}$ v půdě podle různých stanovištních podmínek v monitorovaných růstových fázích ozimé řepky. V období květu řepky (BBCH 62 – 65) nebyly provedeny podobnější statistické analýzy, protože se jednalo o sporadická měření pouze v roce 2012. Zjištěné průměrné obsahy byly porovnávány v rámci skupiny jednotlivých ukazatelů a rozdíly vyhodnocovány pomocí metody dvouvýběrového t-testu pro nezávislé vzorky. Průměrné obsahy v letech 2012 a 2013 nevykazovaly statisticky průkazné rozdíly v monitorovaných fázích růstu. Podobně obsahy $S_{\text{vod.}}$ podle půdního druhu (S = středně těžká půda, T = těžká půda) nevykazovaly průkazné difference. Vliv zpracování půdy, respektive technologie pěstování vykazoval v období butonizace řepky (BBCH 51) statisticky průkazné rozdíly. Minimalizační technologie (bez orby) vykazovala vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ (13,7 ppm = malá zásoba) než klasická technologie s použitím orby (velmi malé zásoby). Vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ byly zjištěny také v období přizemní růžice řepky (BBCH 23 – 25), ale rozdíl nebyl statisticky průkazný. Podobně tomu bylo v období květu řepky (BBCH 62 – 65). Vliv předplodiny nebyl v žádném monitorovaném období průkazný, vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ se ukazovaly minoritně období butonizace po zaorávkách jetelovin. Vliv půdní reakce na vyšší obsah $S_{\text{vod.}}$ nebyl prokázán, ale vyšší obsahy byly pozorovány při vyšším pH než 6. Organické hnojení nevykazovalo průkazné navýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě, oproti stanovištím bez použití organického hnojení.

Pod porosty ozimých pšenic (viz tabulka č. 20) byly v roce 2012 nacházeny statisticky průkazně vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ (malé zásoby) v období sloupkování (BBCH 30 – 31). Vliv ročníku, respektive průběhu počasí na obsah $S_{\text{vod.}}$ v polovině dubna byl průkazný. V zimě roku 2012 činily srážkové úhrny leden – březen 180 mm, kdežto v roce 2013 pouze 140 mm. V období metání pšenic (BBCH 50 – 51) byly v obou letech zjištěny shodné průměrné obsahy 7,13 ppm, zde se vliv ročníku neprojevil. Půdní druh podobně jako u ozimé řepky vykazoval statisticky průkazné difference mezi středně těžkou a těžkou půdou. Technologie zpracování půdy vykazovala statisticky průkazné rozdíly v obsazích $S_{\text{vod.}}$ v půdě období sloupkování. Průkazně vyšší obsahy (10,7 ppm) byly pod pšenicemi založených v systému bez orby, podobně jako u ozimých řepky později v butonizaci. Vyšší obsahy, ale bez průkazných diferencí, byly také zjištěny v období metání a při sporadickém měření v období květu (BBCH 61) v roce 2012. Vliv předplodiny ozimé pšenice byl nejvíce pronikavý na obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Statisticky průkazně vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě v období sloupkování pšenic (BBCH 30 – 31) byly po zaorávce řepkové slámy (10,2 ppm). Opačná tendence nastala v období

metání, kdy při založení po jiných předplodinách (jeteloviny, obilniny) byly zjišťovány průkazně vyšší obsahy (9,3 ppm), než po slámě ozimé řepky (5,8 ppm). Vliv půdní reakce nebyl na obsah $S_{\text{vod.}}$ pronikavý, podobně jako u ozimé řepky. Organické hnojení zvyšovalo obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě, ale bez průkazného rozdílu od nehnojených stanovišť.

Tab. č. 19: Zásobenost půd $S_{\text{vod.}}$ (0 – 30 cm) pod porosty ozimé řepky dle podmínek

Ukazatel		Průměrný obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě ve fenofázi (ppm)					
		BBCH 23 - 25	Zásoba	BBCH 51	Zásoba	BBCH 62 - 65	Zásoba
Rok	2012	8,42	VM	11,62	M	13,87	M
	2013	8,67	VM	10,24	VM	-	-
Půdní druh	S	8,02	VM	10,36	VM	13,87	M
	T	10,03	VM	12,28	M	-	-
Zpracování půdy	Minimalizace	9,62	VM	13,73 *	M	16,50	M
	Orba	8,00	VM	9,37 *	VM	12,12	M
Předplodina	Obilnina	9,05	VM	9,95	VM	17,43	M
	Jetelovina	6,30	VM	15,96	M	8,54	VM
Půdní reakce (pH/CaCl ₂)	< 6,0	7,58	VM	10,18	VM	12,12	M
	> 6,0	9,94	VM	11,69	M	16,50	M
Organické hnojení (podzim)	s hnojením	8,98	VM	11,07	M	13,24	M
	bez hnojení	7,49	VM	10,43	VM	16,40	M

Pozn.: * uvádí statisticky průkazné difference ukazatelů ($\alpha = 0,05$).

Tab. č. 20: Zásobenost půd $S_{\text{vod.}}$ (0 – 30 cm) pod porosty ozimé pšenice dle podmínek

Ukazatel		Průměrný obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě ve fenofázi (ppm)					
		BBCH 30 - 31	Zásoba	BBCH 50 - 51	Zásoba	BBCH 61	Zásoba
Rok	2012	11,63 *	M	7,13	VM	11,68	M
	2013	6,93 *	VM	7,13	VM	-	-
Půdní druh	S	9,33	VM	7,50	VM	12,93	M
	T	8,40	VM	6,39	VM	10,43	VM
Zpracování půdy	Minimalizace	10,74 *	VM	8,60	VM	19,90	M
	Orba	7,30 *	VM	5,66	VM	8,94	VM
Předplodina	Řepka ozimá	10,17 *	VM	5,78 *	VM	13,59	M
	Ostatní	7,21 *	VM	9,26 *	VM	-	-
Půdní reakce (pH/CaCl ₂)	< 5,9	9,91	VM	7,96	VM	-	-
	> 5,9	8,68	VM	6,81	VM	11,68	M
Organické hnojení (podzim)	s hnojením	7,39	VM	6,96	VM	5,96	VM
	bez hnojení	10,33	VM	7,27	VM	13,59	M

Pozn.: * uvádí statisticky průkazné difference ukazatelů ($\alpha = 0,05$).

5.2 Monitoring výživného stavu rostlin sírou

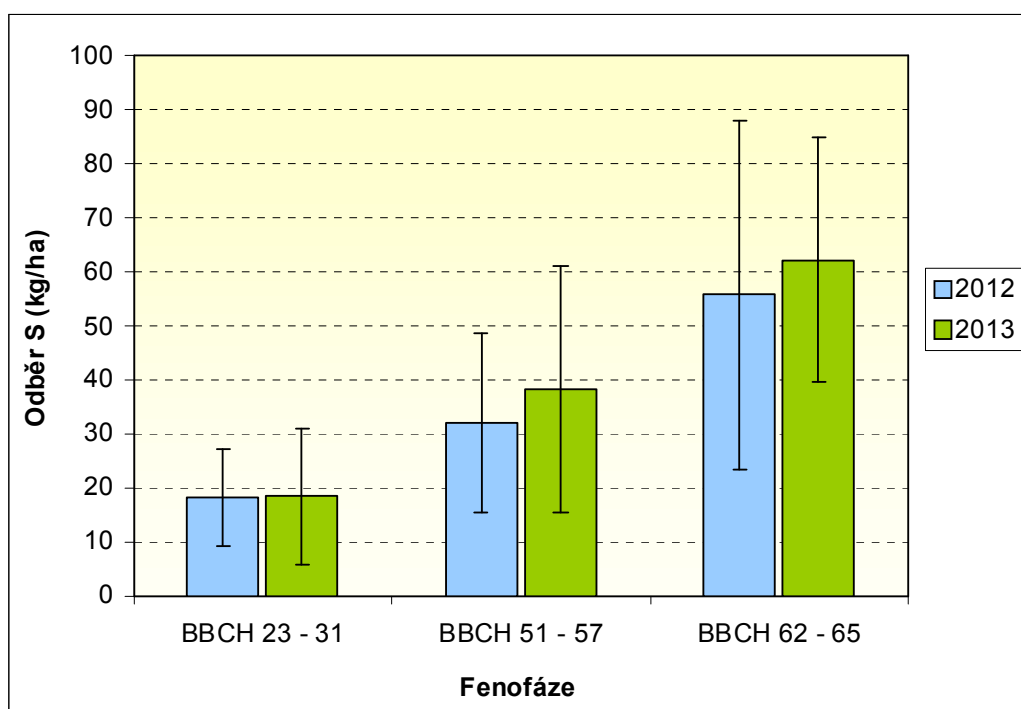
Výživný stav rostlin byl stanoven na základě analýzy obsahu celkové síry ($S_{\text{tot.}}$) v sušině rostlin v příslušné růstové fázi a tento obsah byl promítnut do nárůstu hmotnosti sušiny 1 rostliny. Při meziročním porovnání monitoringu panovaly příznivější podmínky pro výživou rostlin sírou v roce 2013. To dokládají níže graficky znázorněné odběry síry porosty v dané fázi růstu a křivky dynamiky výživného stavu.

5.2.1 Odběr síry porosty ozimé řepky a ozimé pšenice

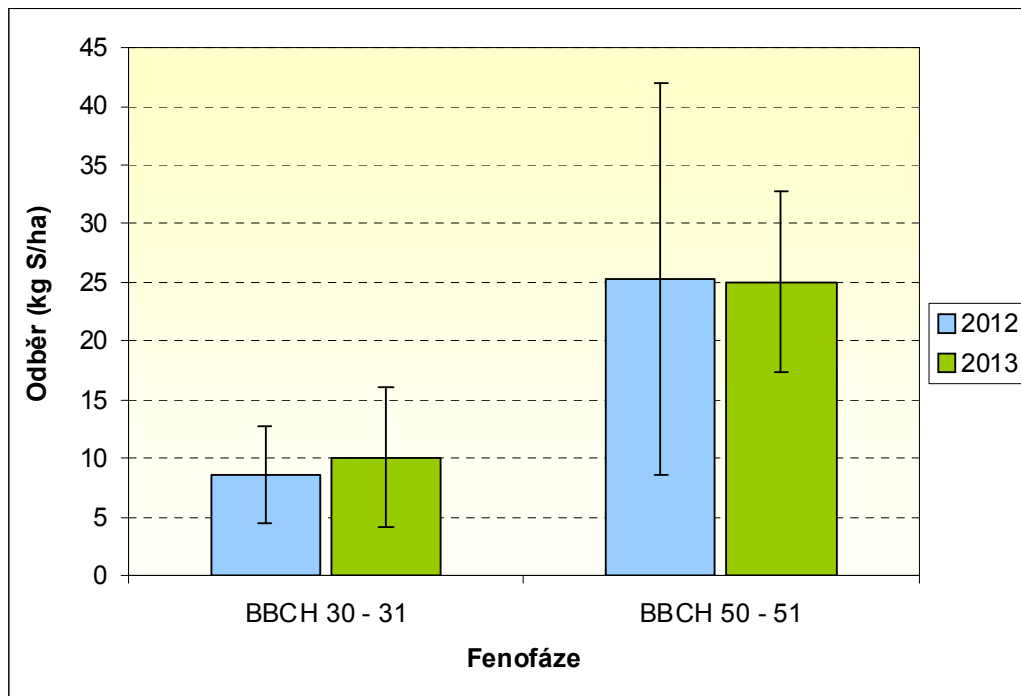
Porosty ozimé řepky přijímaly přístupné formy síry z půdy po celou vegetaci (viz graf č. 9). V průměru bylo porosty přijato shodně obou rocích na počátku jarní vegetace (BBCH 23 – 31) 18 kg S z plochy 1 ha. Minimální odběr v této fázi byl zaznamenán 6 kg S/ha v půdách s malou zásobou $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Naopak maximální odběr síry 55 kg S/ha, a to na půdách s vyšší zásobou $S_{\text{vod.}}$ v půdě po intenzivním minerálním hnojení sírou. Nárůst přijatého množství síry porostem je patrný v období butonizace (BBCH 51 – 57), kdy porosty v roce 2012 odebraly 32 kg S/ha a v roce 2013 to bylo ještě o 6 kg S/ha více. Minimální odběr síry v této fázi byl v roce zjištěn v roce 2012, a to pouhých 13 kg S/ha. Naopak v roce 2013 byl zjištěn příjem 97 kg S/ha u porostu intenzivně hnojeného sírou během vegetace. Na závěr monitoringu v době kvetení řepky byl zjištěn odběr síry v roce 2012 v průměru 56 kg S/ha a v roce 2013 dokonce 62 kg S/ha. Větší variabilitu odebraného množství síry vykazoval rok 2012, kde odběr kolísal v rozmezí 35 – 105 kg S/ha podle úrovně zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě a potažmo hnojení sírou. V roce 2013 se pohyboval odběr síry v rozmezí 43 – 93 kg S/ha.

Průměrný odběr síry ozimou pšenicí uvádí graf č. 10 ve dvou sledovaných fázích růstu a je patrné, že byl meziročně velmi vyrovnaný. V průměru porosty v počátku sloupkování odebraly 9 kg S/ha v roce 2012 a 10 kg S/ha v roce 2013. V roce 2012 kolísal v tomto období odběr mezi 4 – 16 kg S/ha a v roce 2013 kolísal v intervalu mezi 5 – 24 kg S/ha. S nárůstem sušiny rostlin porosty odebraly v období metání v obou rocích shodně 25 kg S/ha. Vyrovnanější příjem síry v rámci jednotlivých stanovišť vykazoval rok 2013, kde se pohyboval odběr mezi 17 – 43 kg S/ha. Poměrně široce variabilní byl odběr síry v roce 2012, kdy porosty odebraly 13 – 60 kg S/ha podle úrovně zásobení půdy $S_{\text{vod.}}$ a listové výživy rostlin sírou.

Graf č. 9: Odběr síry ozimou řepkou v monitorovaných fázích růstu



Graf č. 10: Odběr síry ozimou pšenicí v monitorovaných fázích růstu



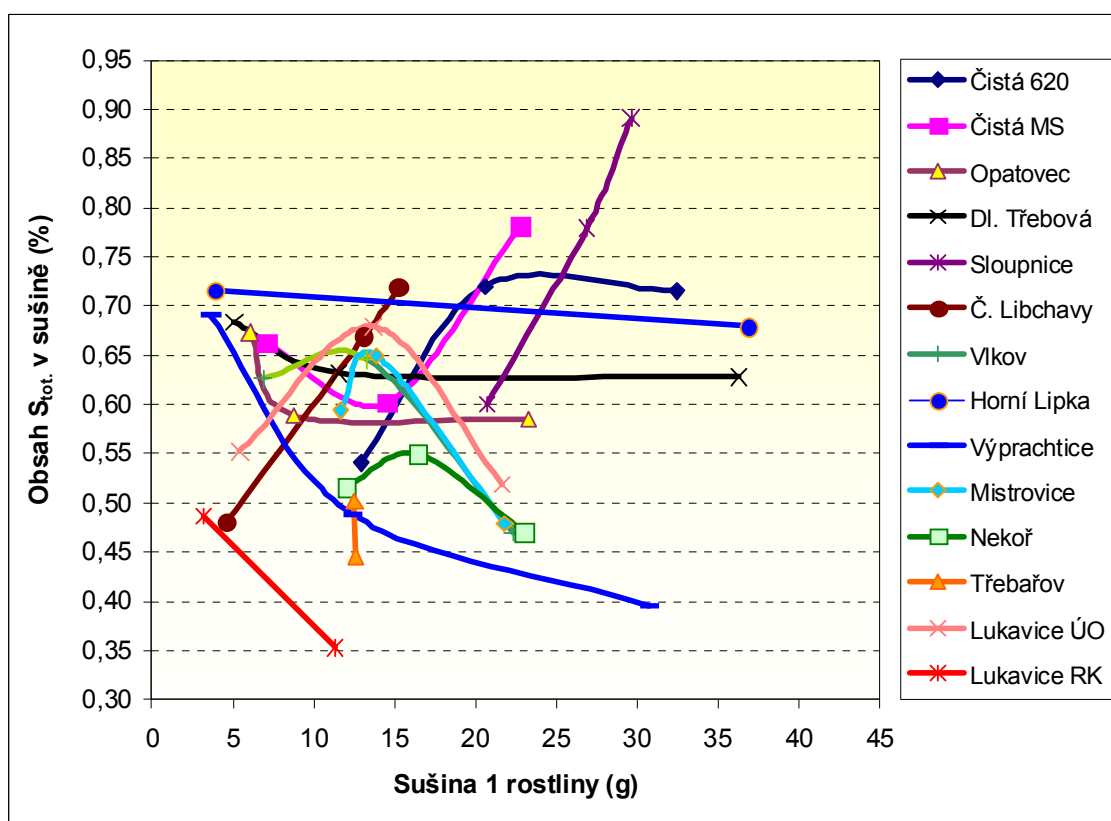
5.2.2 Monitoring dynamiky výživného stavu ozimé řepky sírou

V grafu č. 11 je znázorněna dynamika výživného stavu ozimé řepky na kontrolních stanovištích během vegetace roku 2012. Bylo monitorováno celkem 14 stanovišť ve třech růstových fázích, tzn. v růstové fázi BBCH 23 – 31, BBCH 51 – 57 a BBCH 62 – 65. Termínově odběr vzorků odpovídal rozpětí 10.4. – 14.5. Z grafu je patrné, že dynamika obsahu síry v sušině rostlin je během vegetace proměnlivá, zpravidla klesala s nárůstem sušiny. Výjimkou byly stanoviště, kde stoupal ve sledovaných obdobích obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě po přihnojení sírou v minerálních hnojivech v dávce 18 – 39 kg S/ha. Na těchto stanovištích se zvyšoval výživný stav sírou nad optimální hodnotu, která je okolo 0,6 % S v sušině. Jednalo se o stanoviště ve Sloupnici (0,89 % S), v Čisté MS (0,78 % S) a v Českých Libchavách (0,72 % S). Na ostatních stanovištích byl patrný zředňovací efekt, tzn. obsah síry klesal s nárůstem sušiny rostlin. Nejvýznamnější pokles výživného stavu řepky sírou byl zaznamenán ve Výprachticích, kde z obsahu 0,68 % S v sušině rostlin na počátku prodlužování poklesl obsah i přes provedené hnojení sírou v hnojivu DASA 26-13 (20 kg S/ha) v době květu na deficitní úroveň 0,38 % S. Další významný pokles výživného stavu sírou byl na sírou na deficitní půdě v Lukavici RK, kde obsah síry v době počátku květu klesl na 0,35 % S. Zde bylo hnojeno pouze 13 kg S/ha v době počátku prodlužovacího růstu řepky. Dále se hůře vyvíjel výživný stav v Třebařově, kde obsah síry v sušině rostlin v době počátku květu klesla na z 0,5 na 0,45 % S. Toto stanoviště bylo také hnojeno v počátku prodlužování dávkou 10 kg S/ha v kapalném hnojivu SAM. Na vylepšení výživného stavu se nepodílela ani krátce před odběrem vzorků provedená listová aplikace roztoku hořké soli (5 kg S/ha). Pokles výživného stavu byl také na velmi těžké půdě v Lukavici ÚO, kde po přihnojení v prodlužování (26 kg S/ha) stoupal obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Porost v době odběru vzorků ovlivňoval průsušek a bylo patrné i vadnutí rostlin přes polední sluneční záření. Podobně klesal výživný stav také ve Vlkově, kde byla i před přihnojení 26 kg S/ha v DASA 26-13 velmi malá zásoba $S_{\text{vod.}}$ v půdě po celou vegetaci. V Mistrovicích bylo uplatněno hnojení také v dávce 26 kg S/ha, ale po lokálních srážkách z bouřek v první dekádě května (150 % normálu) klesal obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě a posléze i výživný stav rostlin na obsah 0,48 % S v sušině na počátku květu. Těmito lokálními srážkami bylo ovlivněno také výše zmíněné stanoviště ve Výprachticích. Podobně také klesl výživný stav rostlin řepky sírou v Nekoři, kde po dávce 33 kg S/ha v počátku prodlužování klesl v době květu hluboko obsah $S_{\text{vod.}}$ (6,57 ppm) a následně i výživný stav klesl z 0,55 % S na 0,47 % S. Intenzivní srážkové úhrny měly vliv na snížení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě, což vedlo také se snížení výživných stavů

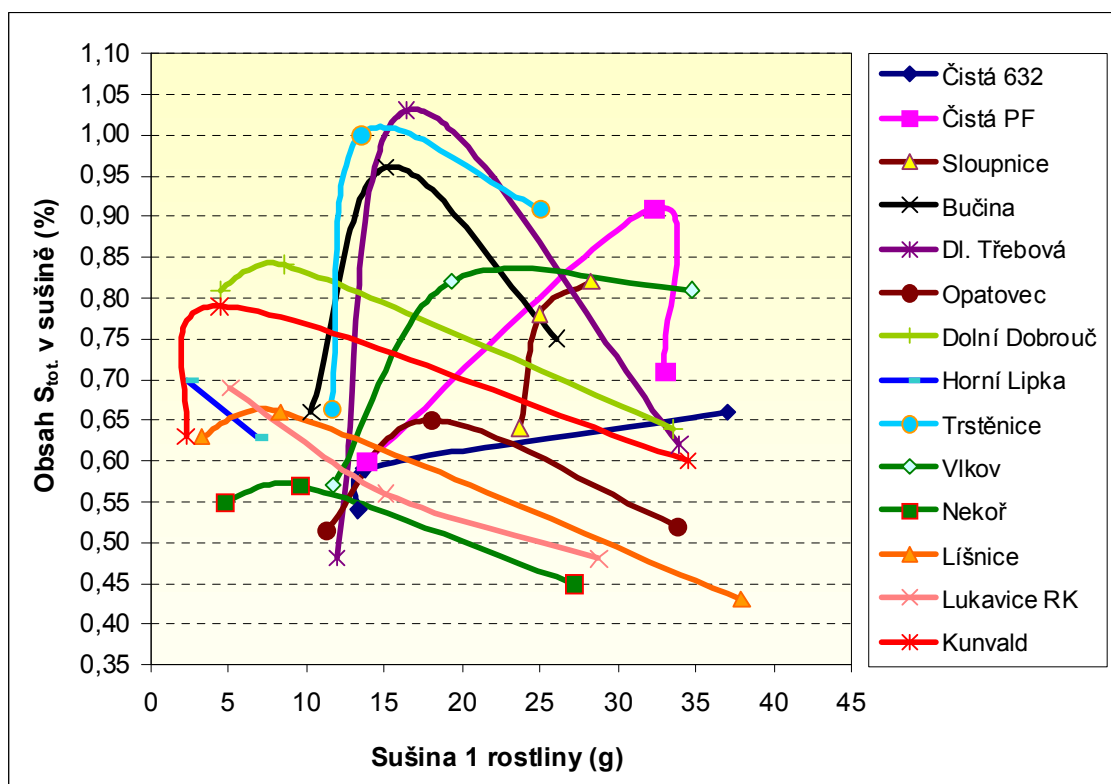
rostlin sírou. Vyšší výživný stav si udržovaly po celou vegetaci vzdálené stanoviště v teplejší oblasti, tzn. v Opatovci a Dlouhé Třebové. Zde pokles obsahu síry v sušině rostlin byl přiměřený nárůstu sušiny rostlin a porosty byly přihnojeny 20 – 23 kg S/ha v počátku prodlužování. V nejchladnější oblasti monitoringu na stanovišti v Horní Lipce (606 m. n. m.) se udržoval po hnojení 39 kg S/ha v DASA 26-13 v polovině prodlužovacího růstu vyšší výživný stav řepky sírou až do doby květu. Porost byl v závěru období květu bujně narostlý na což poukazuje vysoká hmotnost sušiny 1 rostliny (36,9 g) v době květu.

Průběh dynamiky výživného stavu řepky sírou mezi 2.4. – 6.5. roku 2013 znázorňuje graf č. 12, který vystihuje také jako v roce 2012 kolekci 14 stanovišť. V grafu je patrné, že výživný stav rostlin byl v období butonizace (BBCH 51) lepší, než v roce 2012. To bylo dáno vyšším počtem minerálně hnojených stanovišť v době prodlužování až počátku butonizace. Nejvyšší nárůst výživného stavu byl zjištěn na stanovišti Dlouhá Třebová, kde obsah síry v sušině stoupal po regeneračním přihnojení 29 kg S/ha v DASA 26-13 z hladiny 0,48 % S na 1,03 % S v butonizaci a následně v květu pokles na 0,62 % S. Vliv minerálního hnojení sírou během vegetace se projevil nejdynamičtěji. Podobně s dynamika vyvíjela v Trstěnicích, kde hodnota obsahu síry v rostlinách dosahovala 1,0 % v sušině. Na tomto stanovišti bylo celkem aplikováno 59 kg S/ha, což se projevilo nejvyšším obsahem síry (0,91 % S) v rostlinách v době květu z celého portfolia stanovišť. Nejvíce bylo hnojeno sírou na stanovišti v Bučině, kde byl ve dvou dávkách aplikován granulovaný síran amonný (80 kg S/ha), a to se projevilo po první dávce 40 kg S/ha na počátku prodlužování, nárůstem výživného stavu v butonizaci (0,9 % S). Posléze však došlo po druhé přihnojení 40 kg S/ha k poklesu $S_{\text{vod.}}$ v půdě a v kontextu toho klesal i výživný stav rostlin. Tento klesající trend byl způsoben na všech stanovištích, s výjimkou Sloupnice a Čisté 632, intenzivními srážkami v první a druhé dekádě května, kdy byly odebírány vzorky rostlin. Srážkové úhrny dosahovaly na lokálních meteostanicích v součtu první a druhé dekády května 146 % normálu. V tuto dobu klesaly na některých stanovištích také obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě, které ovlivňovala tato srážková činnost. Výjimkou byl vzestup výživného stavu ve Sloupnici, kde bylo přihnojeno 39 kg S/ha a dále byl porost po deštích ošetřen roztokem hořké soli (6 kg S/ha). Podobně výjimečně stoupal výživný stav v Čisté 632, kde bylo přihnojeno v počátku butonizace 35 kg S/ha v granulovaném síranu amonném. Naopak nejvyšší pokles výživného stavu v době květu, byl pro nehnojení sírou během jarní vegetace na stanovišti v Líšnici. Porost byl hnojen pouze před setím 18 kg S/ha.

Graf č. 11: Dynamika výživného stavu rostlin ozimé řepky sítou během vegetace 2012



Graf č. 12: Dynamika výživného stavu rostlin ozimé řepky sítou během vegetace 2013



5.2.3 Monitoring dynamiky výživného stavu ozimé pšenice sírou

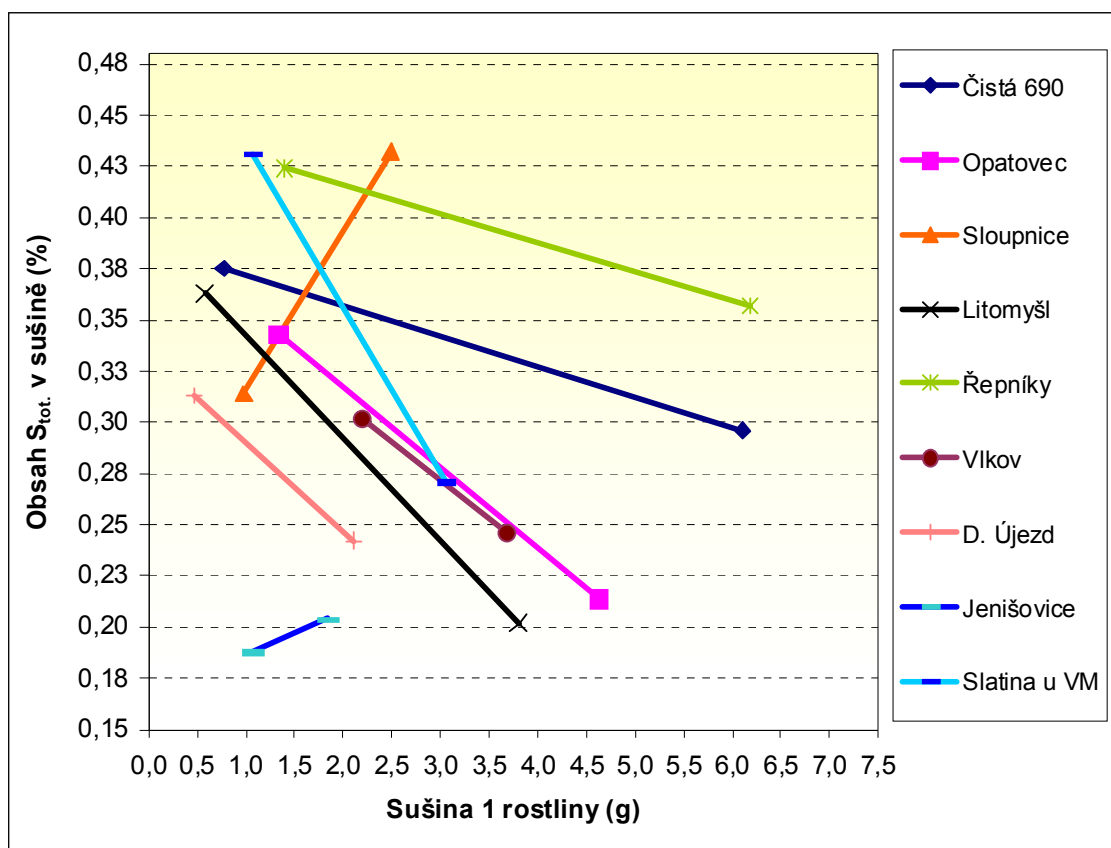
V rámci provedených odběrů vzorků celých rostlin ozimé pšenice v růstové fázi BBCH 30 – 31 (počátek sloupkování až sloupkování) a BBCH 50 – 51 (počátek metání až metání) je patrný v obou letech sledování pokles obsahu síry v sušině rostlin. Je zde patrný vyšší zředovací efekt síry s nárůstem sušiny biomasy rostlin, než u ozimé řepky, kde byly odebírány vzorky rostlin častěji, a to ve třech obdobích. Změny výživného stavu pšenice sírou mezi období počátku sloupkování a počátku metání byly ovlivňovány zejména zásobou disponibilních forem síry v půdě a schopností rostlin přijímat živiny v periodických nepříznivých podmínkách (přísušky, chladno, přemokření apod.) během vegetace.

V grafu č. 13 je znázorněna dynamika výživného stavu ozimé pšenice sírou v roce 2012 a je zde patrný výrazný nárůst obsahu síry v sušině na počátku metání pouze na stanovišti ve Sloupnici. Zároveň v tuto dobu byly naměřeny na tomto stanovišti po přihnojení dusíkatým hnojivem se sírou DASA v dávce 33 kg S/ha ve sloupkování také zvyšující se zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě (17,3 ppm). Dále se ukazuje zvýšení výživného stavu u později setého porostu v Jenišovicích, který vykazoval nejnižší sušinu rostlin ze všech sledovaných. Vliv na zvýšení výživného stavu měla v tuto dobu krátce provedená (2 dny) listová aplikace roztoku hořké soli s dávkou 2 kg S/ha. I přes provedené korekční opatření pro deficitní půdu (5 – 7,5 ppm $S_{\text{vod.}}$) na síru dosahovaly v Jenišovicích hodnoty obsahu síry v rostlinách podprůměrných hodnot (0,21 %). Zvýšení výživného stavu bylo také podpořeno mírně zvyšující se zásobou $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Na ostatních stanovištích je patrný opačný trend, a to pokles výživného stavu sírou v období metání. Nejnižší pokles výživného stavu s nárůstem sušiny rostlin byl zjištěn v Čisté 690 a v Řepníkách, kde bylo ve sloupkování minerálně hnojeno sírou do půdy v síranu amonném (22 – 24 kg S/ha). Ve sloupkování minerálními hnojivy málo hnojené porosty sírou vykazovaly výrazný pokles výživného stavu sírou, nehlubší propad (na 0,20 %) byl v Litomyšli po přihnojení digestátem (20 t/ha) systémem vlečných hadic. Pokles na 0,22 % S v sušině byl také zjištěn v Opatovci po aplikaci směsného hnojiva s přívodem necelých 6 kg S/ha. Dále pokles výživného stavu byl na stanovištích nehnojených sírou ve sloupkování, jako byl Dolní Újezd, Jenišovice a Vlkov. Na druhé straně na těžší půdě ve Slatině u VM bylo přihnojeno ve sloupkování 26 kg S/ha ve hnojivu DASA 26-13 a přesto došlo k dynamicky nevýraznějšímu poklesu výživného stavu ze všech stanovišť. V tuto dobu, kdy byly vzorky odebírány podle úrovně vývoje porostů mezi 14. – 28.5., dosahovaly atmosférické srážky na lokálních meteorologických stanicích pouze 23 % normálu. To se projevilo dočasně omezeným příjmem síry na všech stanovištích a hlavně na těžší půdě ve

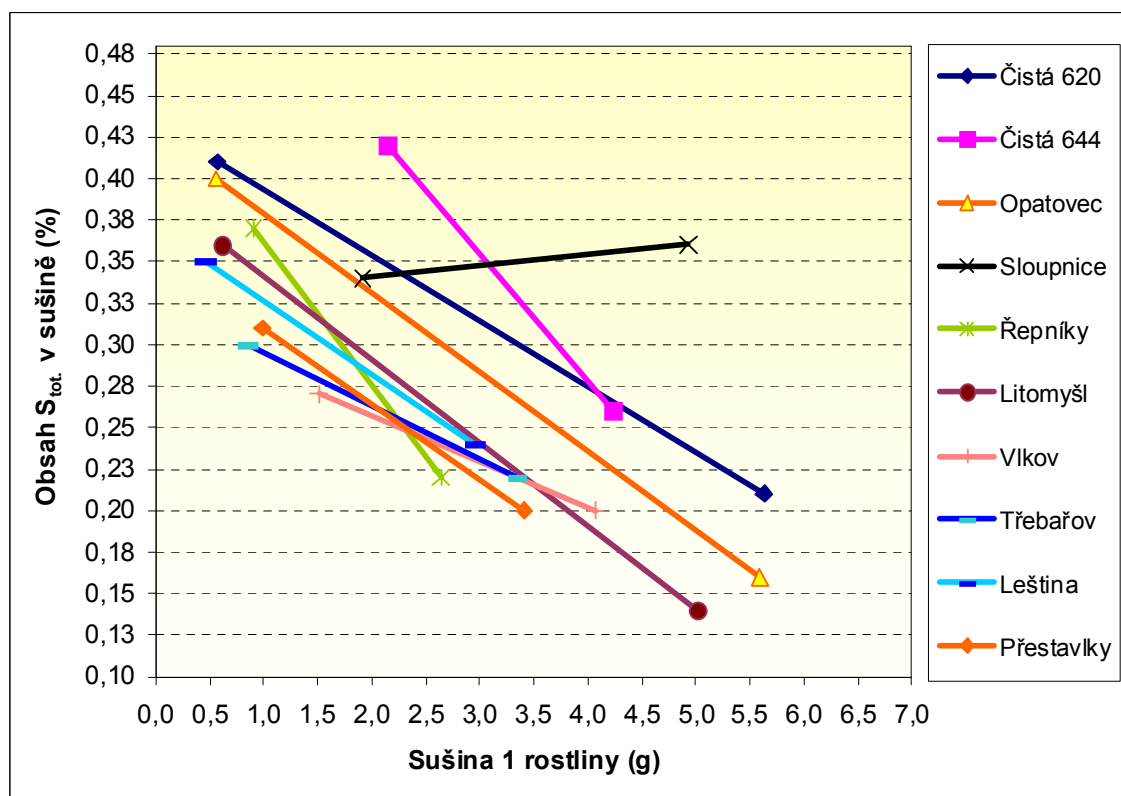
Slatině u VM. Jako nápravná opatření zjištěných hlubokých schodků výživného stavu pšenice byly zahájeny v době metání a počátku květu aplikace roztoků hořké soli s dodávkou síry 1,5 – 4 kg S/ha. Vliv tohoto hnojařského opatření nebyl dále pro pokročilou růstovou fázi laboratorně ověřován.

V roce 2013 udržoval (viz graf č. 14) vyšší úroveň výživného stavu po celou vegetaci, pouze porost pšenice založený po zapojeném porostu jetele ve Sloupnici, kde byl porost minerálně hnojen na podzim 5 kg S/ha a ve sloupkování 33 kg S/ha ve hnojivu DASA. To mělo vliv na udržení vzestupné tendence obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě až na střední zásobu (19,3 ppm). Na ostatních stanovištích ale opačně tendenčně shodně klesaly v době metání obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě až do velmi malých zásob (3,5 – 10,9 ppm). V tomto období ovlivňovaly celé území atmosférické srážky, které v období odběru vzorků rostlin mezi 27.5. – 10.6. dosahovaly místy 171 % normálu a průměrné denní teploty se pohybovaly o 3,3 °C pod normálem. Rostliny měly teplotně nepříznivé podmínky pro biochemické procesy spojené s příjmem živin a intenzivní srážková činnost snižovala zásobu disponibilní síry v půdě. Nejhlubší pokles výživného stavu rostlin na silně deficitní obsah (0,14 % S) byl zjištěn jako v roce 2012 po přihnojení digestátem v Litomyšli. Dále rapidně poklesl z obsahu 0,40 % S ve sloupkování na 0,16 % S v metání v sušině rostlin výživný stav v Opatovci po přihnojení sírou v dávce pouhých 4 kg S/ha ve sloupkování do půdy v směsném hnojivu. Pozoruhodně také dostatečně přihnojené porosty sírou, a to granulovaným síranem amonným v závěru sloupkování v dávce 19 – 23 kg S/ha na stanovišti Čistá 620, Čistá 644 a v Řepníkách poklesly s výživným stavem (také v kontextu s poklesem obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě) hluboko pod optimální výživný stav 0,3 % S v sušině celých rostlin pšenice. V roce 2013 se intenzivní srážky v době metání (27.5. – 10.6.) ozimých pšenice negativně podílely na obsahu disponibilní (vodorozpustné) síry v půdě, a to bylo ve velmi úzkém vztahu s výrazně klesajícími výživnými stavy i na stanovištích s odpovídajícími dávkami potřebě síry ozimé pšenice (22 – 40 kg S/ha). Poklesy výživných stavů byly krátce po před květem na některých stanovištích upravovány aplikacemi roztoků hořké soli v dávkách 1,2 – 6,5 kg S/ha. Laboratorně nebyly tyto stanoviště po provedeném přihnojení pro pokročilou fázi růstu analyzovány, obdobně jako v roce 2012.

Graf č. 13: Dynamika výživného stavu rostlin ozimé pšenice sírou během vegetace 2012



Graf č. 14: Dynamika výživného stavu rostlin ozimé pšenice sírou během vegetace 2013



5.2.4 Hodnocení výživného stavu rostlin ozimé řepky sírou

Zhodnocení výživného stavu rostlin ozimé řepky sírou uvádí pro rok 2012 tabulka č. 21 a pro rok 2013 tabulka č. 22. Pro vyhodnocení výživného stavu byly zvoleny diagnostická kritéria optimálního obsahu S v sušině celých rostlin v dané růstové fázi. Laboratorně stanovené hodnoty obsahů síry (jako $S_{\text{tot.}}$) v sušině rostlin byly přepočteny na relativní úroveň naplnění optimálního obsahu ($100\% = \text{optimální obsah v dané růstové fázi}$). Dále byl hodnocen výživný stav sírou podle výživného stavu rostlin dusíkem, tzn. podle poměru N : S v sušině rostlin. Hodnocení výživného stavu podle diagnostických kritérií je přímým obrazem dynamiky výživného stavu rostlin.

V roce 2012 se pohyboval průměrný výživný stav rostlin ozimé řepky v počátku jarní vegetace (BBCH 23 – 31) na úrovni 93 % optimálního obsahu (0,64 % S). Bylo zjištěno, že z celkového počtu 14 stanovišť se pohyboval výživný stav v 5 případech nad optimálním obsahem v rozmezí 104 – 112 %. Naopak pod úroveň optimálního obsahu síry v sušině rostlin bylo v době přizemní růžice až počátku prodlužovacího růstu zjištěno 9 stanovišť, a to v rozmezí 75 – 98 % optima. Výživný stav sírou byl také sledován v harmonickém poměru k výživě rostlin dusíkem. V průměru všech stanovišť byl poměr N : S v sušině rostlin na úrovni 7,7 : 1. V rámci jednotlivých stanovišť byl zjištěn poměrně malý rozdíl v poměru N : S na úrovni 3,3 : 1. V období butonizace řepek (BBCH 51 – 57) dosahovaly v průměru obsahy síry v sušině rostlin 97 % diagnostického optima 0,62 % S. Nad úroveň diagnostického optima se vyskytlo 7 stanovišť a dosahovaly naplněné optima v rozmezí 102 – 116 %. Naopak optimální obsah síry nebyl dosažen na 6 stanovištích, obsahy síry klesaly po optimum v širokém rozmezí 57 – 97 %. Průměrný poměr N : S ve fázi butonizace byl více harmonický ve srovnání s období přizemní růžice a pohyboval se na úrovni 7 : 1. Poměr byl N : S byl zúžen zejména vlivem přihnojení minerálními hnojivy se sírou, což je patrné výše v grafu č. 11 dynamiky výživného stavu sírou. V období počátku květu a kvetení (BBCH 62 – 65) bylo na 12 monitorovacích stanovištích zjištěno průměrné naplnění optima obsahu síry v rostlinách (0,60 % S) na úrovni 102 %. Nad hranicí stanoveného optima se pohybovala polovina sledovaných stanovišť v rozmezí 105 – 149 % optima. Druhá polovina stanovišť se pohybovala pod optimem v širokém rozmezí 66 – 98 %. Diagnostikovaný poměr N : S byl v období kvetení zjištěn na úrovni 6,3 : 1, což bylo o 0,7 méně než v období butonizace a o 1,4 méně než v období přizemní růžice a počátku prodlužování. Z doplňkových výsledků obsahu dusíku v rostlinách je patrné, že poměr N : S se vyvíjel podle úrovně minerálního přihnojení porostů sírou. Poměr N : S byl širší na stanovištích s jednostranným nebo

převažujícím hnojením dusíkem (Lukavice RK, Výprachtice a Třebořov). Naopak tomu bylo na stanovištích po hnojení dusíkatými hnojivy se sírou, nejčastěji DASA 26-13 nebo síran amonný v granulované formě (Sloupnice, Čistá MS, Mistrovice a Čistá 620).

V dalším roce monitoringu 2013 byl v průměru naplněn optimální obsah síry v době přizemní růžice až počátku prodlužování (BBCH 23 – 31) o 4 % více, než v roce 2012, a to na 97 %. Nad hranicí optima se pohybovalo celkem 5 stanovišť v rozmezí 103 – 127 % z celkového počtu 14 monitorovaných. Pod úroveň požadovaného optimálního obsahu síry (0,62 % S) v rostlinách se vyskytovalo 8 stanovišť v rozmezí 75 – 98 %. Poměr N : S byl vzhledem k vyšší úrovni dusíku v rostlinách širší, než v roce 2012 a dosahoval 8,6 : 1. Porosty v průměru vykazovaly o 5,26 % N, což bylo o 0,75 % více než v roce 2012. Nejvyšší disharmonie výživy rostlin dusíkem a sírou byla na stanovišti v Nekoři, zde poměr N : S dosahoval 10,2 : 1. Hnojení sírou na tomto stanovišti bylo na nízké úrovni (20 kg S/ha) a uplatněno bylo v pozdějším období růstu. V období butonizace (BBCH 51 – 57) dosahovalo v průměru naplnění optimálního obsahu síry 124 %, což bylo o 27 % více, než v roce 2012. To dokládají také výše v grafu č. 12 křivky dynamiky výživného stavu, ve kterých nárůst byl ovlivněn především minerálním hnojením dusíkatými hnojivy se sírou. Nad hranicí optimálního obsahu (0,62 % S) se pohybovala 11 stanovišť (78 % celkového počtu), a to ve velmi širokém rozmezí 102 – 166 %. Zcela rekordního obsahu v celém monitoringu bylo zjištěno v Dlouhé Třebové, kde obsah síry (166 % optima) v sušině vystoupal v období butonizace na úroveň 1,03 %. Po hranici optima byly pouze 3 stanoviště a pohybovaly vcelku vyrovnaně v rozmezí 90 – 95 % optima. Poměr N : S byl v době butonizace více harmonizován zejména minerálním hnojením sírou a poklesl z hodnoty 8,6 : 1 v období přizemní růžice o 1,6 na 7 : 1. Nejširší poměr N : S na úrovni 10,2 : 1 přetrvával v Nekoři. V období kvetení (BBCH 62 – 65) dosahovaly v průměru porosty 108 % naplnění optima obsahu síry (0,60 % S) v této růstové fázi. Stanoviště v Kunvaldě vykazovalo jako jediné optimální úroveň výživy sírou (100 % optima). Nad optimálním obsahem síry se pohybovalo 8 stanovišť z celkového počtu 13 monitorovaných. Pohybovaly se na optimem v širokém rozmezí 103 – 152 % podle úrovně hnojení sírou během vegetace. Pod hranicí optima se vyskytly 4 stanoviště, a to v rozmezí 72 – 87 %. Poměr N : S se také, jako v roce 2012, v době kvetení harmonizoval a klesl na úroveň 6,6 : 1. Z výsledků je patrné, že harmonizace výživného stavu rostlin dusíkem a sírou souvisela s úrovní hnojení a nárůstem sušiny rostlin.

Tab. č. 21: Hodnocení výživného stavu ozimé řepky během vegetace roku 2012

Stanoviště	Počet rostlin (ks/m ²)	BBCH 23 - 31				BBCH 51 - 57				BBCH 62 - 65			
		Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Naplnění optima (%)	Poměr N : S	Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Naplnění optima (%)	Poměr N : S	Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Naplnění optima (%)	Poměr N : S
Čistá 620	35	12,94	0,54	85	9,4	20,60	0,72	116	6,0	32,43	0,72	119	5,9
Čistá MS	35	7,07	0,66	104	7,7	14,53	0,60	97	7,9	22,77	0,78	130	5,2
Opatovec	62	6,07	0,67	105	6,5	8,75	0,59	95	6,6	23,28	0,59	98	7,0
Dl. Třebová	42	5,09	0,68	107	6,4	11,57	0,63	102	7,5	36,27	0,63	105	5,4
Sloupnice	32	20,72	0,60	94	7,5	26,88	0,78	126	5,0	29,63	0,89	149	5,0
Č. Libchavy	42	4,62	0,48	75	8,3	13,11	0,67	108	5,8	15,23	0,72	120	6,1
Vlkov	51	6,88	0,63	98	7,1	13,34	0,65	104	7,0	22,30	0,47	78	9,2
Horní Lipka	42	3,89	0,72	112	7,5	-	-	-	-	36,87	0,68	113	6,1
Výprachtice	38	3,60	0,69	108	7,2	12,36	0,49	79	7,6	30,70	0,40	66	7,7
Mistrovice	40	11,68	0,59	93	6,1	13,86	0,65	105	5,9	21,82	0,48	80	5,5
Nekoř	32	12,00	0,52	81	9,0	16,45	0,55	89	6,1	23,00	0,47	78	6,3
Třebařov	24	12,50	0,50	78	7,4	12,60	0,45	72	8,3	-	-	-	-
Lukavice ÚO	39	5,43	0,55	86	8,9	13,68	0,68	110	6,2	21,65	0,52	87	6,1
Lukavice RK	40	3,22	0,49	76	8,1	11,34	0,35	57	10,8	-	-	-	-
Ā	40	8,27	0,59	93	7,7	14,54	0,60	97	7,0	26,33	0,61	102	6,3
med x	40	6,48	0,60	93	7,5	13,34	0,63	102	6,6	23,14	0,61	101	6,1
s ±	9	5,01	0,08	13	1,0	4,64	0,12	19	1,5	6,69	0,15	25	1,2
min.	24	3,22	0,48	75	6,1	8,75	0,35	57	5,0	15,23	0,40	66	5,0
max.	62	20,72	0,72	112	9,4	26,88	0,78	126	10,8	36,87	0,89	149	9,2

Tab. č. 22: Hodnocení výživného stavu ozimé řepky během vegetace roku 2013

Stanoviště	Počet rostlin (ks/m ²)	BBCH 23 - 31				BBCH 51 - 57				BBCH 62 - 65			
		Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Naplnění optima (%)	Poměr N : S	Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Naplnění optima (%)	Poměr N : S	Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Naplnění optima (%)	Poměr N : S
Čistá 632	32	13,34	0,54	84	9,2	13,72	0,59	95	8,3	37,03	0,66	110	6,2
Čistá PF	33	13,86	0,60	94	9,8	32,28	0,91	147	5,8	33,00	0,71	118	5,7
Sloupnice	36	23,72	0,64	100	9,1	25,00	0,78	126	6,7	28,30	0,82	137	5,1
Bučina	35	10,32	0,66	103	8,0	15,12	0,96	155	5,0	26,10	0,75	125	5,5
Dl. Třebová	23	12,00	0,48	75	9,2	16,43	1,03	166	5,1	33,97	0,62	103	6,5
Opatovec	38	11,28	0,52	80	9,4	17,98	0,65	105	8,2	33,80	0,52	87	7,9
Dol. Dobrouč	27	4,45	0,81	127	7,3	8,62	0,84	135	5,5	33,57	0,64	107	7,0
Hor. Lipka	45	2,29	0,70	109	7,5	6,74	0,63	102	8,5	-	-	-	-
Trstěnice	30	11,58	0,66	104	7,5	13,48	1,00	161	4,4	24,97	0,91	152	5,4
Vlkov	25	11,74	0,57	89	9,2	19,34	0,82	132	7,5	34,77	0,81	135	6,8
Nekoř	35	4,74	0,55	86	10,2	9,58	0,57	92	10,2	27,20	0,45	75	8,2
Líšnice	38	3,26	0,63	98	8,0	8,30	0,66	106	8,1	37,93	0,43	72	8,0
Lukavice RK	38	5,13	0,69	108	7,3	15,10	0,56	90	7,5	28,77	0,48	80	7,7
Kunvald	45	2,28	0,63	98	8,5	4,44	0,79	127	6,6	34,50	0,60	100	6,3
$\bar{x}$	34	9,29	0,62	97	8,6	14,72	0,77	124	7,0	31,84	0,65	108	6,6
med x	35	10,80	0,63	98	8,8	14,41	0,79	127	7,1	33,57	0,64	107	6,5
s ±	7	5,98	0,09	13	1,0	7,47	0,16	26	1,6	4,24	0,15	25	1,1
min.	23	2,28	0,48	75	7,3	4,44	0,56	90	4,4	24,97	0,43	72	5,1
max.	45	23,72	0,81	127	10,2	32,28	1,03	166	10,2	37,93	0,91	152	8,2

5.2.5 Hodnocení výživného stavu rostlin ozimé pšenice sírou

Vyhodnocení výživného stavu ozimé pšenice sírou podle modelových diagnostických metod poskytující prognózu výnosové úrovně, uvádí pro rok 2012 tabulka č. 23 a pro rok 2013 tabulka č. 24. Výživný stav pšenic byl hodnocen podle ideogramu křivek modelových výnosů při daném obsahu síry při dané sušině rostlin. Modelové křivky výnosů vyhodnocují křivky dynamiky výživného stavu uvedené v grafech č. 13 – 14.

V roce 2012 byl výživný ozimých pšenic na průměrné úrovni modelového výnosu 6,4 t zrna z plochy 1 ha. Stanoviště Dolní Újezd, Jenišovice a Slatina u VM patří mezi lokality s průměrnou výrobní hladinou obilovin 6 t/ha. Výživný stav rostlin sírou v období sloupkování (BBCH 30 – 31) dosahoval požadované hodnoty 6 t/ha pouze ve Slatině u VM, kde tato hodnota optimální hodnoty byla překročena o 4,1 t/ha. Na stanovišti v Dolním Újezdě bylo dosaženo výživného stavu odpovídající výnosové hladině 3,2 t/ha a těžké půdě v Jenišovicích dokonce pouhých 1,9 t/ha. Deficitu síry ve výživě odpovídal na těchto stanovištích také široký N : S, který v Dolním Újezdě dosahoval hodnoty 12,5 : 1 a v značně deficitním porostu v Jenišovicích 18,6 : 1. Dusík zde byl ve výrazném nadbytku a na druhé straně síra v hlubokém schodku. Ostatní stanoviště Čistá 690, Opatovec, Sloupnice, Litomyšl, Řepníky a Vlkov vykazují dlouhodobě výnosovou hladinu obilovin okolo 7,5 t/ha. Tomuto výnosu odpovídal, či ho převyšoval výživný stav sírou pouze na dvou stanovištích (Čistá 690 a Řepníky). Stanoviště Opatovec vykazovaly výživu na 7 t/ha, Litomyšl na 6,2 t/ha, Vlkov na 5,4 t/ha a nejnižšího výnosu by dosáhl podle výživy sírou porost ve Sloupnici 5,1 t/ha. Úroveň výživného byla ovlivněna zejména úrovní obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě. V porovnání ozimých pšenic s ozimými řepkami byl poměr N : S v roce 2012 u pšenic o 5,1 vyšší. Poměr N : S v pšenicích kolísal v rozpětí 9,1 – 18,6 : 1 a zejména byl ovlivněn aktuální hladinou výživy porostů dusíkem po dusíkatém hnojení. V období metání pšenic (BBCH 50 – 51) byly průměrné výživné stavy zjištěny na úrovni 5,1 t/ha při poměru N : S 10,2 : 1. Z výsledků je patrné, že pouze na 2 stanovištích byly dostatečné výživné stavy pro danou lokalitu, a to po přihnojení sírou ve Sloupnici a v Řepníkách. Na ostatních stanovištích klesaly hladiny modelových výnosů podle výživy rostlin sírou pod optimální hranici 7,5 t/ha, v případě Dolního Újezdu, Jenišovic a Slatiny u VM pod optimální hranici 6 t/ha. Limitující výživné stavy pro hladinu výnosu 7,5 t/ha sírou byly především v Litomyšli (29 % optima), Opatovci (33 % optima) a Vlkově (64 % optima). Pro hladinu výnosu 6 t/ha přetrvával z období sloupkování, pro nízkou úroveň hnojení sírou, nejhlubší schodek v Jenišovicích (32 % optima). Dále hluboký schodek

vykazovalo stanoviště v Dolním Újezdě (45 % optima) a střední schodek byl ve Slatině u VM (87 % optima).

V roce 2013 bylo sledováno celkem 10 stanovišť ozimé pšenice, které v průměru vykazovaly v období sloupkování (BBCH 30 – 31) výživný stav sírou na úrovni modelového výnosu 6,8 t/ha. Tento výživný stav byl o 6 % vyšší, než v roce 2012. Stanoviště s dlouhodobě dosahovanou hladinou výnosu 6 t/ha v Třebařově vykazovalo výživný stav pro optimální výnos z 55 %. V Přestavlkách byl výživný stav sírou na úrovni 82 % pro optimální výnos 6 t/ha. Pouze na stanovišti v Leštině dosahoval výživný stav sírou optimálního modelového výnosu (113 % optima). Ostatní monitorované stanoviště dlouhodobě vykazují výnosy 7,5 t/ha. Výživa ozimé pšenice sírou na požadovanou výnosovou úroveň byla v pohnojení sírou během vegetace dosažena v Čisté 644 (135 % optima), Čisté 620 (120 % optima) a v Opatovci (124 % optima). Ve Sloupnici porost pšenice vykazoval výživný stav téměř v optimu (99 %) požadovaného modelového výnosu. Ostatní stanoviště ze skupiny stanovišť pro optimální hladinu výnosu 7,5 t/ha vykazovaly již nižší výživné stavy. V Řepníkách dosahoval výživný stav pšenice sírou z 96 % na modelový výnos v Litomyšli z 92 % a nejdeficitnější byla výživa sírou ve Vlkově, kde porost dosahoval pouhých 37 % modelového výnosu. Diagnostikovaný poměr N : S poukazoval na širší poměr na úrovni 13 : 1, což bylo a to bylo o 0,2 více, než v roce 2012. V období metání (BBCH 50 – 51) vykazovaly výživné stavy pšenic výrazný pokles v průměru o 47 %, oproti období sloupkování. V porovnání s rokem 2012, kdy dosahovaly výživné stavy průměrné úrovně 5,1 t/ha, byly výživné stavy v roce 2013 o 38 % nižší. Optimálního výživného stavu pšenic sírou pro hladinu výnosu 6 t/ha dosahovalo stanoviště v Přestavlkách z 33 %, v Třebařově z 37 % a v Leštině z 52 %. Vyšší požadované optimální hladiny výnosu 7,5 t/ha bylo dosaženo pouze na intenzivně sírou hnojeném stanovišti (44 kg S/ha) ve Sloupnici (117 % optima). Ostatní z kolekce modelových výnosů 7,5 t/ha dosahovaly optima výživného stavu v rozmezí 23 – 72 %. Nejnižší výživný stav odpovídající úrovni 1,7 t/ha modelového výnosu byl na stanovišti v Litomyšli, kde nebylo během vegetace sírou minerálně hnojeno. Je patrné, že aplikace organického hnojiva digestátu v době sloupkování se nepodílela na zvýšení výživného stavu sírou. Podobná úroveň výživného stavu byla v Opatovci, kde výživný stav dosahoval snížené úrovně 1,8 t/ha modelového výnosu pro nízkou dávku síry v minerálním směsném hnojivu v době sloupkování (4 kg S/ha). Také dávky síry v rozmezí 12 kg – 23 kg S/ha v době sloupkování se nepodílely na dosažení optimálního výživného stavu na úrovni 7,5 t/ha.

Tab. č. 23: Hodnocení výživného stavu ozimé pšenice během vegetace roku 2012

Stanoviště	Počet rostlin BBCH 31 (ks/m ²)	Počet klasů BBCH 51 (ks/m ²)	BBCH 30 - 31				BBCH 50 - 51			
			Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Modelový výnos (t/ha)	Poměr N : S	Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Modelový výnos (t/ha)	Poměr N : S
Čistá 690	262	760	0,77	0,38	7,9	11,5	6,11	0,30	7,1	8,5
Opatovec	260	650	1,33	0,34	7,0	12,3	4,62	0,21	2,5	9,9
Sloupnice	160	528	0,98	0,31	5,1	13,6	2,49	0,43	10,2	5,8
Litomyšl	239	478	0,58	0,36	6,2	11,7	3,80	0,20	2,2	11,5
Řepníky	270	756	1,39	0,42	10,5	9,1	6,18	0,36	9,1	6,7
Vlkov	192	499	2,19	0,30	5,4	12,5	3,68	0,25	4,8	9,8
D. Újezd	250	675	0,47	0,31	3,2	12,8	2,11	0,24	2,7	16,1
Jenišovice	450	540	1,07	0,19	1,9	18,6	1,84	0,20	1,9	10,5
Slatina u VM	152	441	1,07	0,43	10,1	13,3	3,05	0,27	5,2	13,2
$\bar{x}$	248	592	1,09	0,34	6,4	12,8	3,76	0,27	5,1	10,2
med x	250	540	1,07	0,34	6,2	12,5	3,68	0,25	4,8	9,9
s ±	88	121	0,51	0,07	2,9	2,5	1,61	0,08	3,1	3,2
min.	152	441	0,47	0,19	1,9	9,1	1,84	0,20	1,9	5,8
max.	450	760	2,19	0,43	10,5	18,6	6,18	0,43	10,2	16,1

Tab. č. 24: Hodnocení výživného stavu ozimé pšenice během vegetace roku 2013

Stanoviště	Počet rostlin BBCH 31 (ks/m ²)	Počet klasů BBCH 51 (ks/m ²)	BBCH 30 - 31				BBCH 50 - 51			
			Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Modelový výnos (t/ha)	Poměr N : S	Sušina 1 rostl. (g)	Obsah S (%)	Modelový výnos (t/ha)	Poměr N : S
Čistá 620	276	828	0,57	0,41	9,0	12,2	5,63	0,21	2,7	12,2
Čistá 644	270	918	2,14	0,42	10,1	12,4	4,23	0,26	5,4	12,4
Opatovec	240	576	0,56	0,40	9,3	12,0	5,59	0,16	1,8	14,1
Sloupnice	240	720	1,92	0,34	7,4	12,6	4,93	0,36	8,8	8,0
Řepníky	290	638	0,91	0,37	7,2	12,9	2,64	0,22	2,5	10,5
Litomyšl	295	915	0,61	0,36	6,9	14,0	5,01	0,14	1,7	15,7
Vlkov	269	753	1,51	0,27	2,8	12,9	4,07	0,20	2,2	12,2
Třebařov	294	823	0,85	0,30	3,3	14,7	3,34	0,22	2,2	12,1
Leština	300	720	0,45	0,35	6,8	12,4	2,95	0,24	3,1	9,5
Přestavlky	320	896	0,99	0,31	4,9	13,9	3,41	0,20	2,0	13,1
$\bar{x}$	279	779	1,05	0,35	6,8	13,0	4,18	0,22	3,2	12,0
med x	283	788	0,88	0,36	7,1	12,7	4,15	0,22	2,4	12,2
s ±	26	118	0,60	0,05	2,5	0,9	1,08	0,06	2,2	2,2
min.	240	576	0,45	0,27	2,8	12,0	2,64	0,14	1,7	8,0
max.	320	918	2,14	0,42	10,1	14,7	5,63	0,36	8,8	15,7

5.3 Posouzení diagnostických metod pro optimalizaci hnojení sírou

V této stati byla ověřena vypovídací schopnost využitých diagnostických metod výživy rostlin. U ozimé řepky byla ve vztahu k dosaženému výnosu semene hodnocena diagnostická metoda založená na určení naplnění optimálního obsahu síry v dané růstové fázi. U ozimé pšenice byl skutečně dosažený výnos zrna korelován s modelovým výnosem zjištěného z prognostického modelu optimálních obsahových křivek síry v sušině rostlin pro různé hladiny výnosu.

5.3.1 Naplnění optimálního výživného stavu rostlin ozimé řepky

Ověření vypovídací schopnosti využití diagnostické metody výživy rostlin ozimé řepky sírou znázorňují grafy č. 15 – 17. Metoda, respektive naplnění optimálního obsahu síry v dané růstové fázi, je ověřována v kontextu se skutečně dosaženým výnosem semene v době sklizně.

V grafu č. 15 je patrné, že vztah nabývá statisticky významné závislosti ve druhé polovině vegetace, tzn. v období butonizace (BBCH 50 – 51) a rovněž v období kvetení (BBCH 62 – 65). Naopak statisticky neprůkazný byl vztah na počátku jarní vegetace v období přizemní růžice až počátku prodlužování (BBCH 23 – 31). V tuto dobu se ukazuje vzestupná tendence ve vztahu do přibližně 90 % naplnění optima a poté nabývá vztah postupní degrese. V období butonizace řepky je průběh statisticky významné závislosti ($r = 0,56$) téměř regresní křivkou, ale z pohledu plošného rozprostření korelačního pole je patrné poměrně široké rozložení. To bylo ovlivněno značně proměnlivou výnosovou úrovní porostů, která kolísala v rozpětí 1,8 – 4,6 t/ha a rovněž odpovídajícím kolísáním výživných úrovní. Porosty, které vykazovaly v tomto období butonizace výživné stavy sírou do 80 % optima dosahovaly nižších výnosů v rozmezí 1,8 – 2,8 t/ha. Na druhé straně porosty s výživným stavem 90 % optima a vyšší dosahovaly vyjma jednoho případu (Lukavice ÚO – krupobitím poškozený porost) výnosu od 3,4 do 4,6 t/ha. V období květu řepky byla zjištěna těsnější statisticky významná závislost ($r = 0,63$), než v období butonizace. V tuto dobu je patrná regrese přibližně do 110 % optimálního obsahu v květu. Výživné stavy překračující tuto mez nabývají postupné degrese s dosaženým výnosem zrna. Rozprostření korelačního pole v období květu až na 4 výjimky poměrně těsné k regresní polynomické křivce.

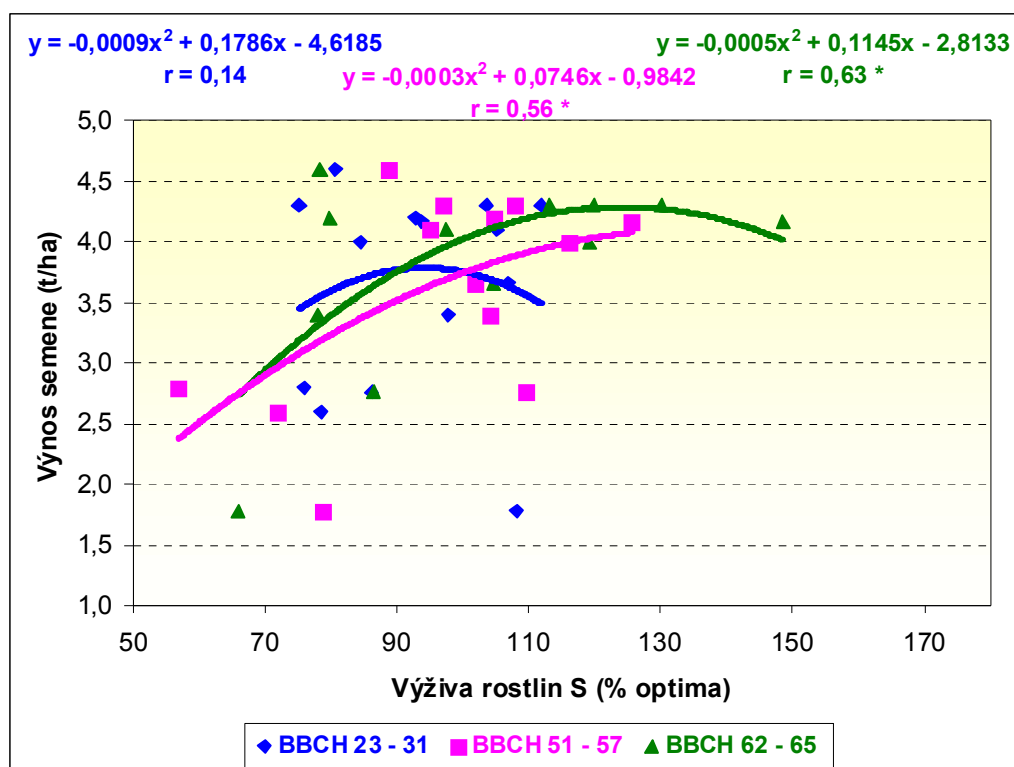
Dále v grafu č. 16 je patrné, že nebylo v roce 2013 dosaženo v žádné monitorované růstové fázi statisticky průkazné závislosti. Hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu byly pod hladinou významnosti. V období přizemní růžice až prodlužování (BBCH 23 – 31) je

patrná výrazná degrese s poměrně širokým rozptřením korelačního pole a tzn. se zvyšujícím se výživným stavem rostlin klesal dosažený výnos semene. V období butonizace řepky (BBCH 51 – 57) je patrná regrese s poměrně širokým rozptřením korelačního pole. V době květu řepky (BBCH 62 – 65) nabývá vztah vzestupné tendence přibližně do 130 % optima výživného stavu. Nad tuto mez se ukazuje již sestupná tendence ve vztahu, a tím klesá využití síry na tvorbě výnosu semene. V tomto roce bylo v souhrnu dosaženo vyšších výnosů semene při nižší úrovni výživy rostlin sírou. Zároveň se vyskytly vysoké výživné stavy (nad 150 % optima) a tomu odpovídající nižší výnos semene (3,5 t/ha). Průměrný sklizňový výnos dosahoval 4,2 t/ha, což bylo o 0,6 t/ha více, než v roce 2012.

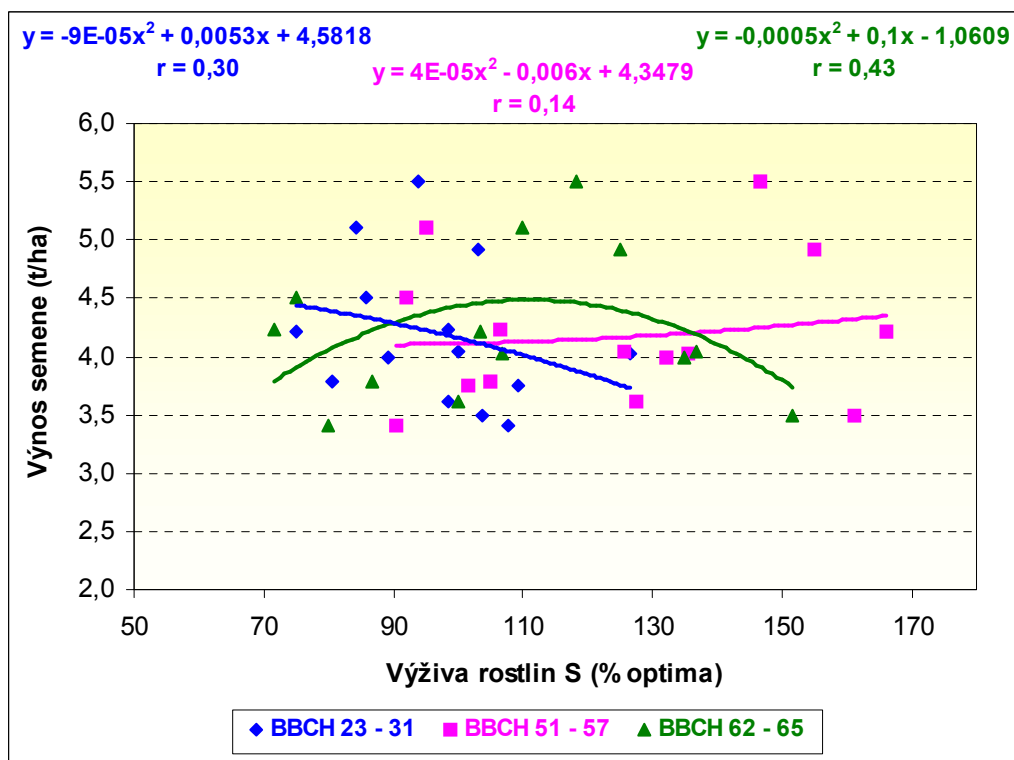
Souhrnnou analýzu uvádí graf č. 17, ve kterém je patrná v průměru let 2012 a 2013 statisticky významná závislost v období butonizace řepky (BBCH 51 – 57) a rovněž později v období kvetení (BBCH 62 – 65). Na počátku jarní vegetace (BBCH 23 – 31) je patrná v průběhu vztahu degrese, který byla silnější v roce 2013. V období butonizace řepky dosahovala statisticky významná závislost ($r = 0,53$) mírné degrese, která byla patrná přibližně od naplnění více jak 130 % optima výživy řepky sírou. V období květu řepky (BBCH 62 – 65) bylo dosaženo statisticky významné závislosti ($r = 0,52$). Tento vztah nabývá kladné tendence přibližně do 110 % optima, poté vztah přechází do degrese. Oba zjištěné statisticky významné vztahy jsou dokonce statisticky vysoce významné, tzn. na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. Na druhé straně je nutné přihlídnout, že rozptření souborů korelačního pole kolem křivek funkce regrese ve všech třech monitorovaných obdobích je poměrně široké, zejména podle odlišných dosažených výnosů.

Vypovídací síla použité diagnostické metody naplnění optimálních obsahů síry v sušině rostlin v dané růstové fázi byla potvrzena, zejména statisticky průkazně vypovídá o dosažených výnosech semene ve druhé polovině vegetace v růstové fázi BBCH 51 – 57 a v BBCH 62 – 65 (viz graf č. 17). Vyšší výživné stavy ozimé řepky sírou (nad 150 % optima) se nepodílely hlavně v roce 2013 již odpovídající měrou na dosažení vyššího výnosu. Z výsledků je rovněž patrné, že použitá diagnostická metoda vypovídala o předpokladu vysokého výnosu po určitou mez, zpravidla efektivní bylo rozmezí okolo 110 – 120 % optimálního obsahu. Vypovídací schopnost metody ovlivňovala v neposlední řadě harmonie výživy rostlin ostatními živinami.

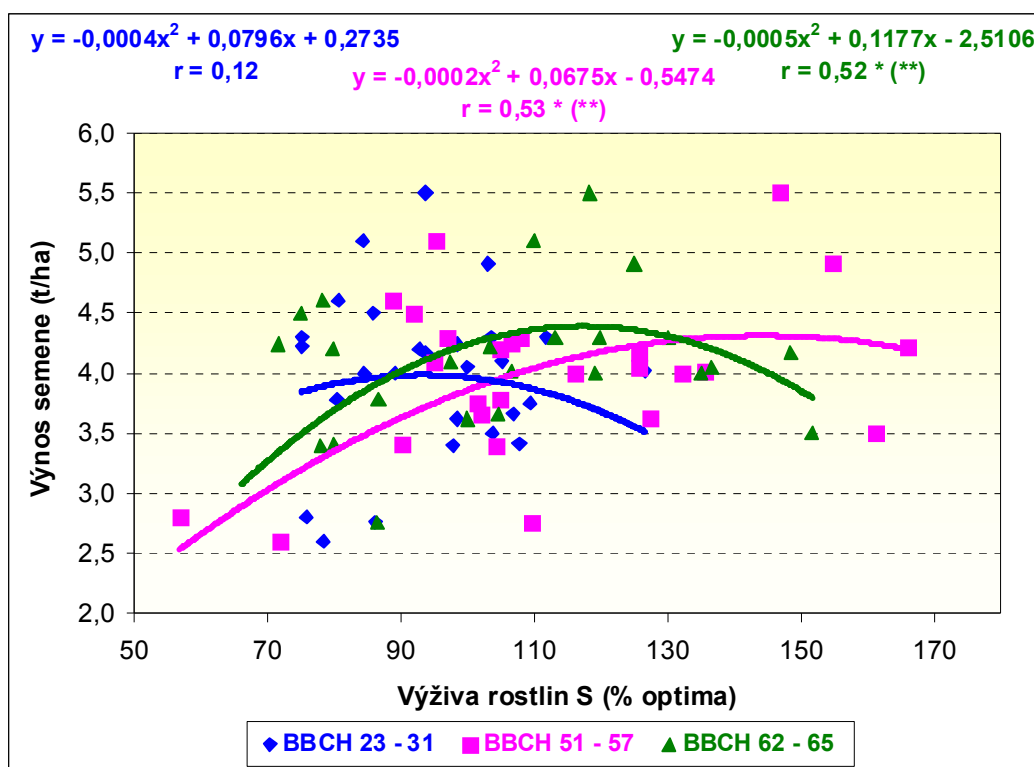
Graf č. 15: Vztah mezi výživným stavem rostlin sírou a výnosem semene ozimé řepky v roce 2012 (n = 14, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



Graf č. 16: Vztah mezi výživným stavem rostlin sírou a výnosem semene ozimé řepky v roce 2013 (n = 14, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



Graf č. 17: Vztah mezi výživným stavem rostlin sírou a výnosem semene ozimé řepky v souhrnu let 2012 a 2013 (n = 28, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



5.3.2 Modelové obsahové křivky výnosového potenciálu ozimé pšenice

Pro vyhodnocení výživného stavu ozimých pšenic sírou byl použit model optimálního obsahu síry pro různé hladiny výnosu. Tento prognostický model byl dále ověřen pomocí výpočtu korelací se skutečně dosaženým výnosem zrna ve sklizni. Vztah mezi předpokládaným výnosem zrna podle úrovně výživy rostlin sírou a skutečně dosaženým výnosem znázorňuje graf č. 18 – 20.

V roce 2012 (viz graf č. 18) byly korelační analýzou zjištěny statisticky významné závislosti mezi modelovým výnosem a skutečně dosaženým výnosem. V období sloupkování pšenic (BBCH 30 – 31) byla závislost statisticky (vysoce) významná ($r = 0,75$) a v období metání (BBCH 50 – 51) byl vztah ještě více těsnější ($r = 0,87$) statisticky (vysoce) významný. Rozprostření korelačního pole okolo regresních křivek je poměrně těsné, ukazují se ustálené trendy jednotlivých bodů (stanovišť). Zjištěné závislosti poukazují na průkaznou vypovídací schopnost diagnostické metody.

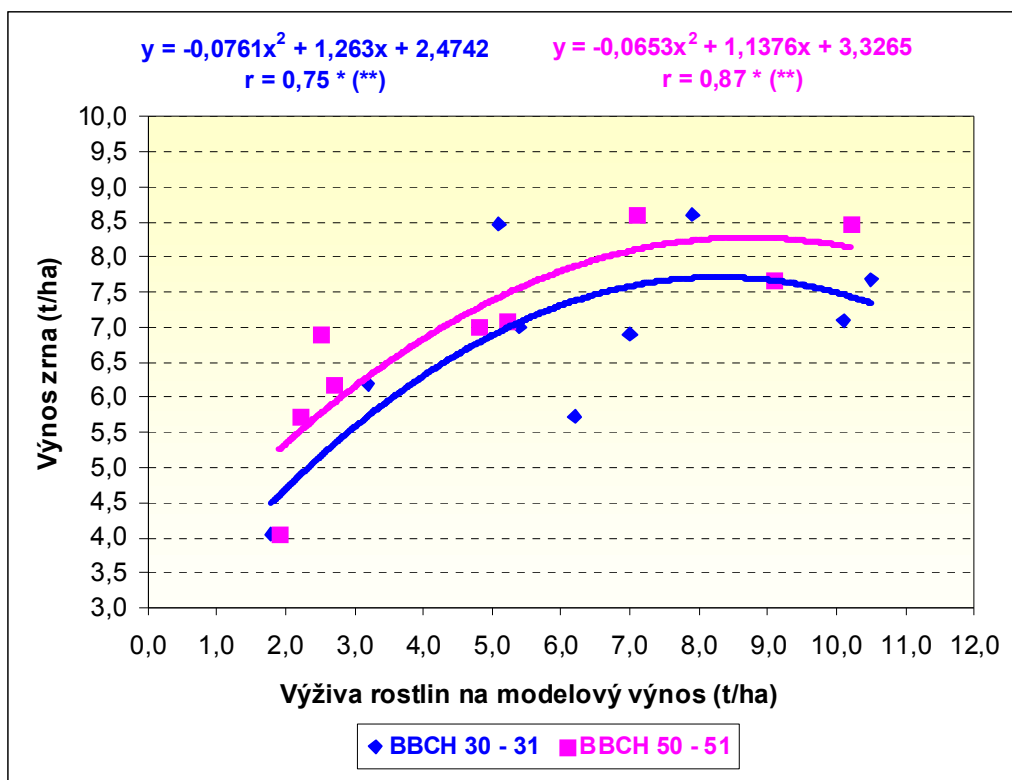
Závislost v roce 2013 je znázorněna v grafu č. 19. V tomto grafu je patrné, že vykazuje vztah statisticky (vysoce) významnou závislost ($r = 0,89$) v období sloupkování (BBCH 30 – 31). Modelový výnos zde korespondoval s dosaženým výnosem. Naopak tomu bylo v

období metání pšeníc (BBCH 50 – 51), kdy vztah dosahoval statisticky neprůkazné závislosti. Tento vztah vykazuje degresní průběh, který byl značnou měrou zatížený jedním případem vysokého výživného stavu a nižšího skutečného výnosu (stanoviště Sloupnice). V roce 2013 bylo v období metání pšeníc srážkově nadnormální období, docházelo k úbytkům obsahu S_{vod} v půdě vyplavením a síra byla limitující živou v půdě. Porosty ve většině případů dosahovaly vysokých výnosů (6 – 9,3 t/ha) při nízké úrovni výživy sírou v rozmezí 1,7 – 3,1 t/ha modelového výnosu.

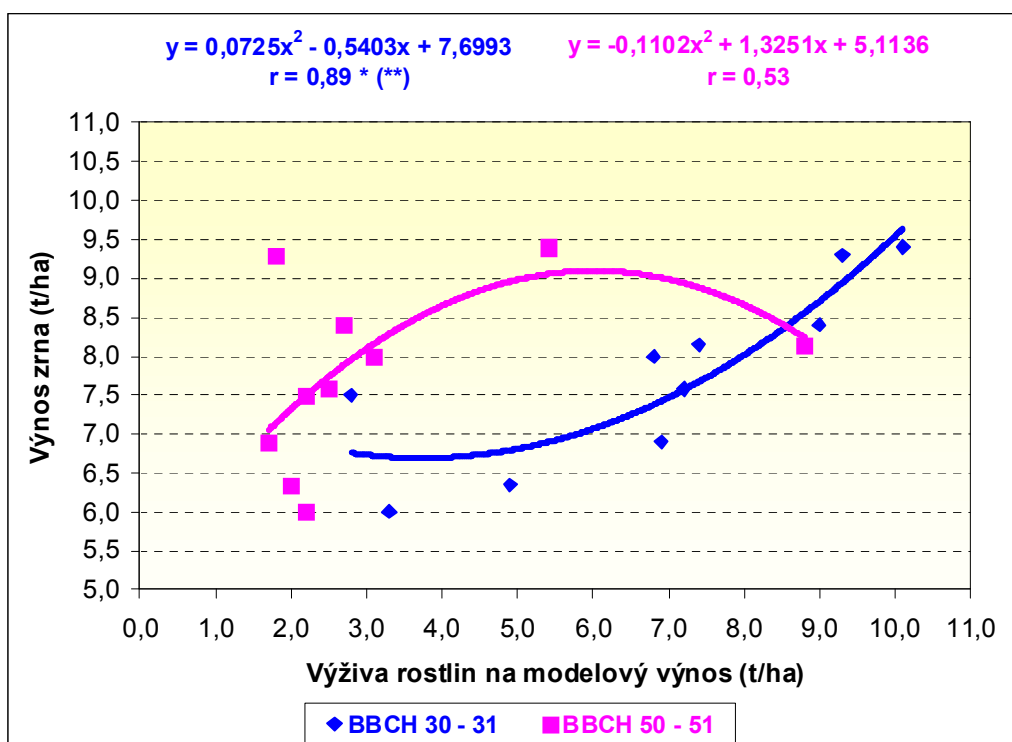
V souhrnu dvou let šetření 2012 a 2013 (viz graf č. 20) vypovídací síla diagnostické metody ve vztahu ke skutečně dosaženému výnosu nabývala v obou monitorovaných fázích růstu statisticky významné závislosti. Těsnější byla závislost v časnější fázi diagnostiky výživy rostlin ve sloupkování (BBCH 30 – 31), zde dosahuje statisticky (vysoce) významné závislosti ($r = 0,70$). Průběh vztahu byl mírně degresní a rozprostření bodů korelačního pole poměrně těsné. V období metání pšeníc (BBCH 50 – 51) dosahoval šetřený vztah statisticky významné závislosti ($r = 0,48$). Průběh tohoto vztahu byl mírně degresní a zároveň ukazuje se, že deprese zvláště nastávala od hladiny výživného stavu nad 8,5 t/ha. Korelační pole v době metání bylo široce rozprostřené zejména v hladinách modelových výnosů od 1,5 do 3 t/ha. Na druhé straně tři případy výživných stavů sírou byly v hladinách 8,5 – 10,5 t/ha modelového výnosu neposkytly tyto výnosy a byla zde patrná deprese vztahu.

Podobně jako diagnostická metoda u ozimé řepky má metoda modelových výnosů v souhrnu statisticky průkaznou vypovídací schopnost. Rozdílem je období, kdy výstup diagnostické metody více odpovídá skutečnému výnosu. U řepky lépe koreluje druhá polovina vegetace (BBCH 51 – 57 a BBCH 62 – 65) a u ozimé pšenice naopak časnější období sloupkování (BBCH 30 – 31). Prognóza modelových výnosů selhala v kontextu se skutečným výnosem hlavně v roce 2013 v době metání (BBCH 50 – 51) při nízkých výživných stavech ozimých pšeníc (1,5 – 3 t/ha) a zároveň při vysokých výživných stavech sírou nad 8,5 t/ha.

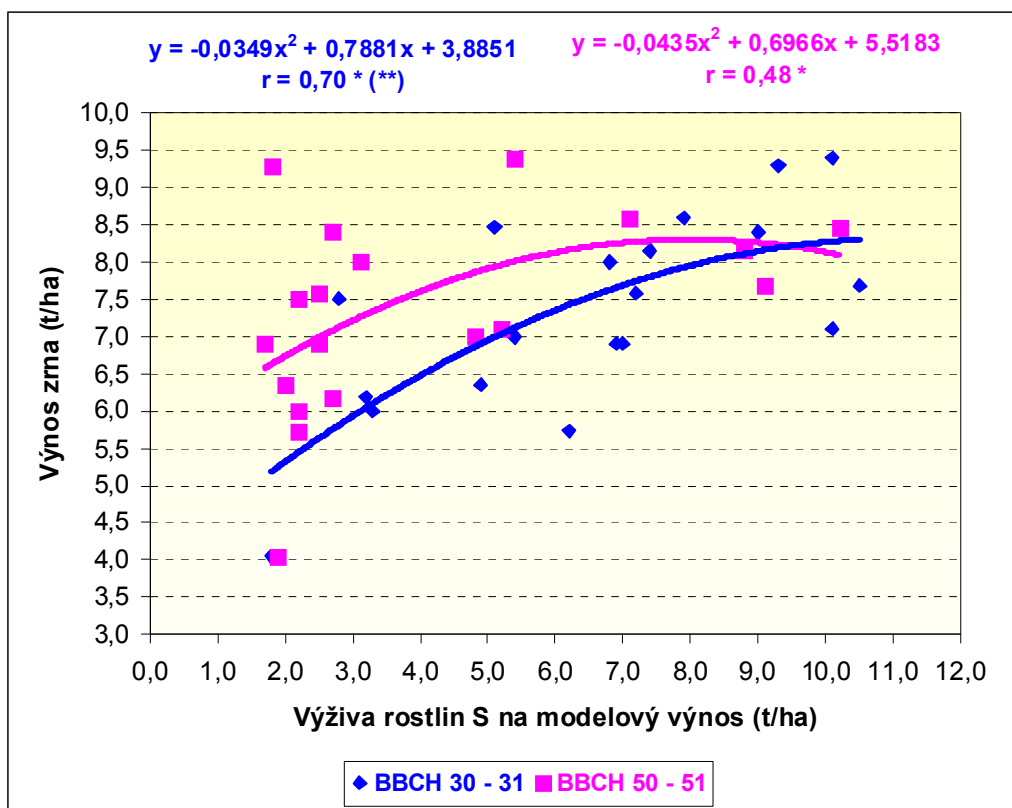
Graf č. 18: Vztah mezi výživným stavem rostlin sírou a výnosem zrna ozimé pšenice v roce 2012 (n = 9, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



Graf č. 19: Vztah mezi výživným stavem rostlin sírou a výnosem zrna ozimé pšenice v roce 2013 (n = 10, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



Graf č. 20: Vztah mezi výživným stavem rostlin sírou a výnosem zrna ozimé pšenice v souhrnu let 2012 a 2013 (n = 19, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



5.4 Vliv obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě na výživný stav rostlin sírou

Po ověření vypovídací schopnosti diagnostických metod, hodnotící výživný stav rostlin, byla šetřena závislost mezi obsahem vodorozpustné síry ($S_{\text{vod.}}$) v půdě a úrovni výživy monitorovaných plodin sírou.

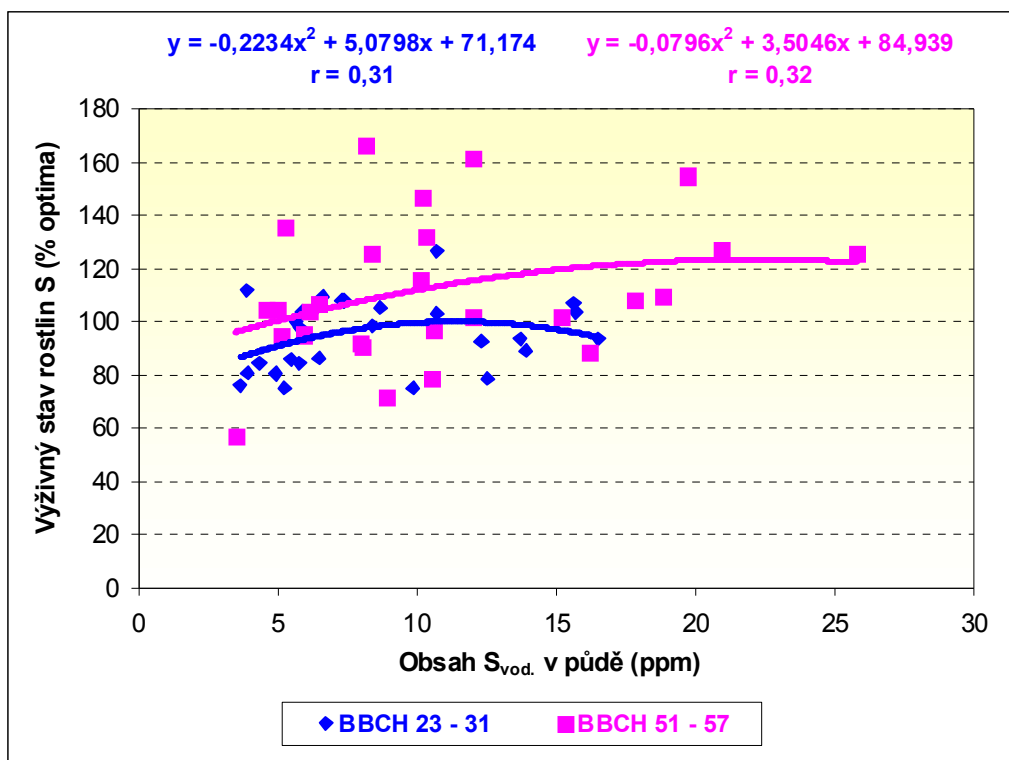
5.4.1 Vliv obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě na výživný stav ozimé řepky

Vliv obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě na úroveň výživného stavu ozimé řepky sírou byl ověřován vztahem mezi obsahem $S_{\text{vod.}}$ v půdě a naplněním optimálního výživného stavu rostlin sírou. Tento vztah za souhrn sledování v roce 2012 a 2013 znázorňuje graf č. 21. V grafu je patrné, že v monitorovaných fázích růstu, tzn. v období přizemní růžice až počátku prodlužování (BBCH 23 – 31) a v období butonizace (BBCH 51 – 57), nenabývá vztah statisticky průkazné závislosti. Vztah nabývá v růstové fázi BBCH 23 – 31 celkově hodnot degrese, která zejména nastává při obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě vyšším než 10 ppm. Obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě v rozmezí 3 – 10 ppm byly nejčastější a poskytovaly výživu v rozmezí 76 – 110 % optima. V období butonizace je korelační pole poměrně široce rozprostřené a nabývá vztah mírné degrese, která byla ovlivněna především vyšším obsahem $S_{\text{vod.}}$ na stanovištích s malou až střední zásobou v půdě. Dále se ukazuje, že obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě do 15 ppm poskytovaly nejvyšší výživné stavy rostlin sírou (nad 120 % optima).

Další šetření vztahu mezi obsahem $S_{\text{vod.}}$ v půdě a výživným stavem rostlin uvádí tabulka č. 25. V tabulce je patrné, že šetřený vztah nenabývá statisticky průkazné závislosti v roce 2012 v růstové fázi BBCH 23 – 31 a dále v roce 2013 v růstové fázi BBCH 51 – 57. Naopak tomu bylo v růstové fázi BBCH 51 – 57 v roce 2012, kdy vztah nabývá statisticky významné závislosti ($r = 0,57$). Se zvyšujícím se obsahem $S_{\text{vod.}}$ v půdě se průkazně zvyšovala úroveň výživného stavu ozimých řepok sírou. Podobně je tomu v roce 2013 kdy byla v růstové fázi BBCH 23 – 31 zjištěna statisticky významná ($\alpha = 0,05$) až vysoce ($\alpha = 0,01$) významná závislosti ($r = 0,68$). Detailněji však bylo patrné, že kladná závislost v tomto vztahu nabývala do obsahu 10 ppm. Obsahy vyšší než 10 ppm nabývaly s úrovní výživy rostlin sírou hodnot degrese (4 stanoviště z celkových 13).

V souhrnu byl šetřený vztah velmi proměnlivý. Síla závislosti mezi obsahem $S_{\text{vod.}}$ a výživným stavem ozimých řepok sírou byla ovlivněna zejména aktuálními podmínkami v době odběru vzorků pro příjem síry rostlinami. Rostliny ozimé řepky dokázaly využívat efektivněji extrémně malé (do 3,4 ppm) až velmi malé (3,5 – 10,9 ppm) zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě, než malé (11 – 19,9 ppm), střední (20 – 25,9 ppm) či vyšší zásoby.

Graf č. 21: Vztah mezi obsahem $S_{\text{vod.}}$ v půdě (0 – 30 cm) a výživným stavem rostlin ozimé řepky sírou v souhrnu roku 2012 a 2013 ($n = 27$, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



Tab. č. 25: Vztah mezi obsahem $S_{\text{vod.}}$ v půdě a výživným stavem ozimé řepky v jednotlivých letech

Rok	Fenofáze	n	Rovnice polynomicke regrese	Pearsonův koeficient korelace
2012	BBCH 23 - 31	14	$y = 0,045x^2 - 0,6568x + 94,49$	$r = 0,09$
	BBCH 51 - 57	14	$y = 0,0326x^2 + 0,7226x + 82,87$	$r = 0,57^*$
2013	BBCH 23 - 31	13	$y = -0,7246x^2 + 15,452x + 27,332$	$r = 0,68^* (**)$
	BBCH 51 - 57	14	$y = -0,2435x^2 + 7,9741x + 74,009$	$r = 0,39$

Pozn.: Statistické šetření na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$).

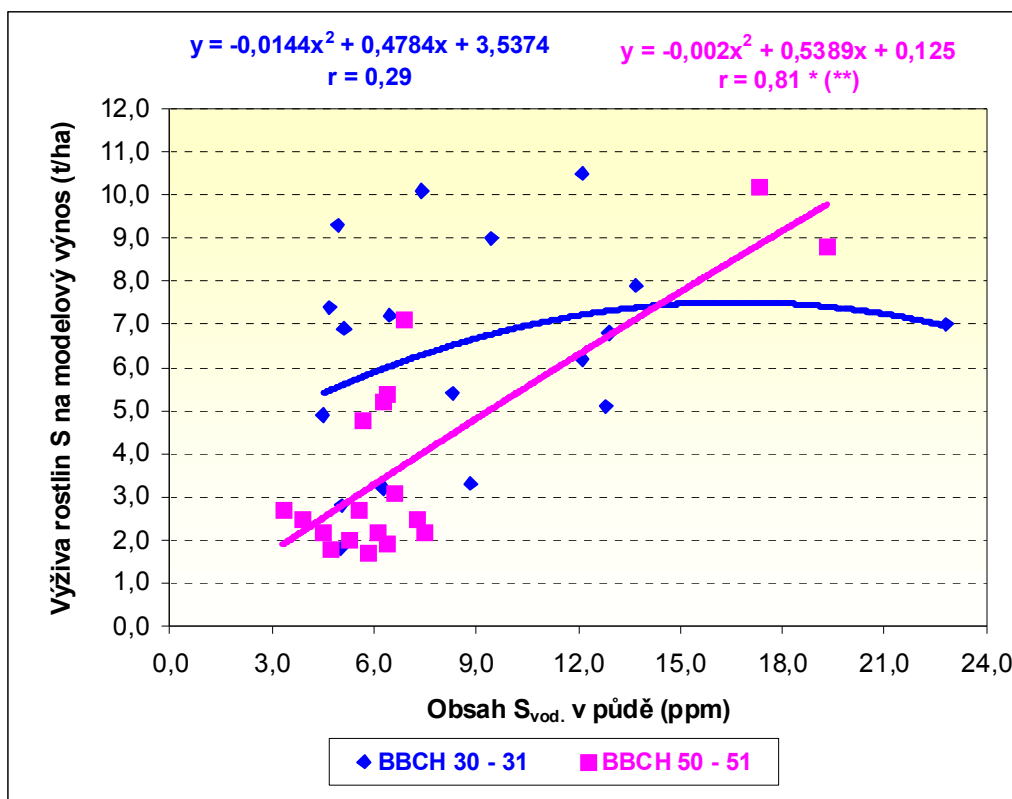
5.4.2 Vliv obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě na výživný stav ozimé pšenice

Podobně jako u ozimé řepky byla u ozimé pšenice hodnocena závislost mezi obsahem $S_{\text{vod.}}$ v půdě a výživným stavem rostlin. Výživný stav rostlin byl hodnocen podle obsahu síry v sušině rostlin pro daný modelový výnos. Souhrn šetření uvádí graf č. 22, ve kterém je patrná v období sloupkování pšenic (BBCH 30 – 31) statisticky neprůkazná závislost. Ukazuje se, že závislost nabývá vzestupné tendence až do obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě okolo 14 ppm. Posléze vlivem vyššího obsahu $S_{\text{vod.}}$ na stanovišti v Opatovci (22,8 ppm) nabývá vztah hodnot degrese. Při pominutí tohoto extrému je vztah slabě závislý a bez statisticky průkazné závislosti. Jiná situace byla v období metání pšenic (BBCH 50 – 51), kdy šetřený vztah dosahoval statisticky významné závislosti, popřípadě statisticky vysoce významné závislosti ($r = 0,81$). Z grafu je dále patrné, že v období metání se převážně vyskytovaly výživné stavy pšenic sítou v nízkých hladinách výnosů v rozmezí 1,5 – 3 t/ha. Regresní křivka poměrně široce rozptýleného korelačního pole byla ovlivněna především stanovišti ve Sloupnici, které vykazovaly v obou monitorovaných letech střední zásoby $S_{\text{vod.}}$ (20 – 25,9 ppm). Při pominutí těchto extrémů nabývá vztah dále statisticky významné závislosti.

Další dílčí šetření uvádí tabulka č. 26, ve které je patrné, že vztah nabývá statisticky průkazné závislosti s výjimkou roku 2013 v období sloupkování (BBCH 30 – 31), kdy vztah vykazuje slabou závislost. V tomto případě byly výživné stavy rostlin značně v korelačním poli rozprostřené a v relacích velmi malých (3,5 – 10,9 ppm) zásob $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Naopak nejvyšší statisticky významná závislost s typickým regresním průběhem byla zjištěna v růstové fázi BBCH 50 – 51 v roce 2013 ($r = 0,85$). V ostatních statisticky průkazných sledováních byly patrné známky mírné degrese ve vztahu, která nastávala zejména od obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě okolo 15 ppm.

V souhrnu je patrné, že podobně jako v případě ozimé řepky, vyšetřovaných vztah je velice proměnlivý podle aktuálních příznivých podmínek pro příjem síry rostlinami. V případě ozimých pšenic je patrná kladná korelace při obsahu přibližně do 15 ppm (u ozimé řepky to bylo do přibližně 10 ppm). Ozimé pšenice efektivně využívaly vyšší obsahy (velmi malé až malé zásoby) $S_{\text{vod.}}$ v půdě, než ozimé řepky.

Graf č. 22: Vztah mezi obsahem $S_{\text{vod.}}$ v půdě (0 – 30 cm) a výživným stavem rostlin ozimé pšenice sírou v souhrnu roku 2012 a 2013 ($n = 19$, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



Tab. č. 26: Vztah mezi obsahem $S_{\text{vod.}}$ v půdě a výživným stavem ozimé pšenice v jednotlivých letech

Rok	Fenofáze	n	Rovnice regrese	Pearsonův koeficient korelace
2012	BBCH 30 - 31	8	$y = -0,0493x^2 + 1,6612x - 5,2306$	$r = 0,82 *$
	BBCH 50 - 51	9	$y = 0,0085x^2 + 0,3689x + 1,4062$	$r = 0,85 * (**)$
2013	BBCH 30 - 31	10	$y = -0,0565x^2 + 1,0275x + 2,7481$	$r = 0,19$
	BBCH 50 - 51	10	$y = -0,0057x^2 + 0,5998x - 0,6496$	$r = 0,89 * (**)$

Pozn.: Statistické šetření na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$).

5.5 Vztah mezi výživným stavem monitorovaných plodin sírou a dusíkem

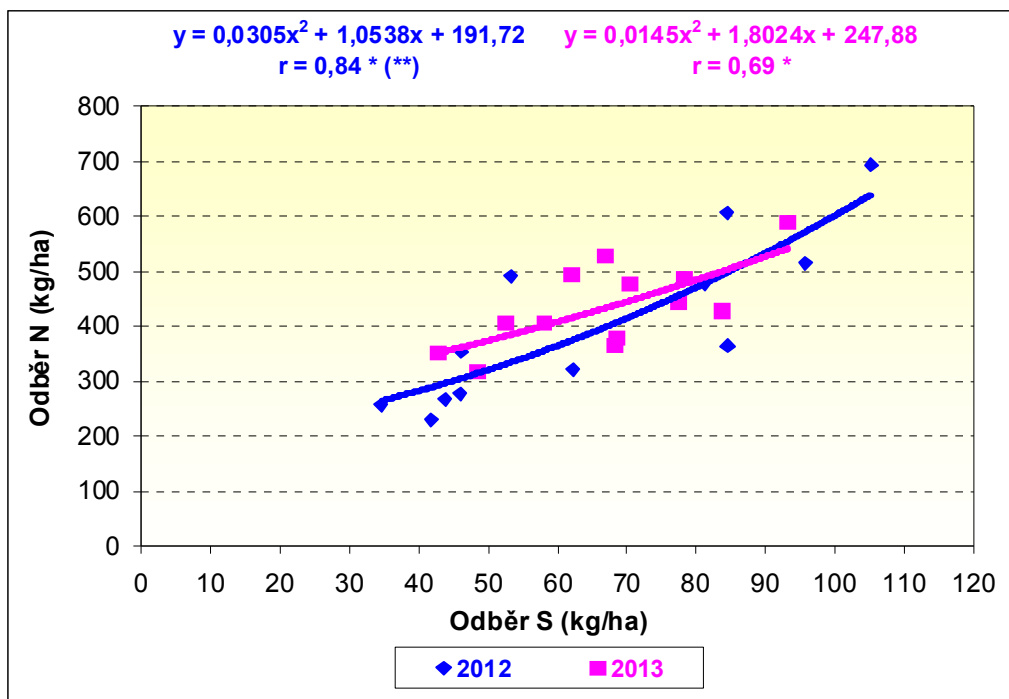
V rámci provedeného šetření výživného stavu rostlin sírou byly provedeny současně laboratorní analýzy stanovující obsah N_{tot} v rostlinách. Výsledky analýz byly přepočteny na odebrané množství síry a dusíku porosty ozimých řepok a pšenic ve sledovaných růstových fázích. Zjištěná závislost mezi odběrem síry a dusíku rostlinami poukazuje na vzájemnou utilizaci v biochemických procesech.

5.5.1 Vztah mezi výživou ozimé řepky sírou a dusíkem

Graf č. 23 znázorňuje korelační pole vztahu odebraného množství síry a příslušné odebrané množství dusíku v období květu řepok (BBCH 62 – 65). Korelační pole bylo proloženo regresní polynomičnou křivkou druhé stupně v roce 2012 a 2013. Z této analýzy je patrné, že jednotlivá měření v obou letech jsou poměrně těsná k jednotlivých křivkám. V roce 2012 byla korelační analýzou zjištěna statisticky významná kladná závislost ($r = 0,84$) mezi odebraným množstvím síry a odebraným množstvím dusíku. Tento vyšetřovaný vztah dosahoval dokonce statisticky vysoce významné závislosti (na hladině $\alpha = 0,01$). V roce 2013 byla závislost méně těsná, ale nabývala statisticky významné závislosti ($r = 0,69$). Podobné rozprostření korelačního pole a výsledky regresní analýzy dosahovala také šetření v jednotlivých růstových fázích ozimých řepok. Tyto výsledky pro zjednodušení uvádí tabulka č. 27, ve které je patrné, že vztah vykazuje ve všech případech statisticky významné závislosti s hodnotou korelačního koeficientu v rozmezí $r = 0,92 - 0,99$. Nejtěsnější síla závislosti $r = 0,99$ byla zjištěna v roce 2013 v období přizemní růžice až počátku prodlužování (BBCH 23 – 31). Rostliny v tuto dobu čerpaly v průměru na 1 kg S až 7,6 kg N/ha. Naopak mírně slabší závislost, ale se statistickou významností ($r = 0,93$) byla zjištěna v obou letech v období butonizace (BBCH 51 – 57). V tomto období rostliny odebraly převážnou část aplikované síry z minerálního hnojení během vegetace, které bylo aplikované v době počátku prodlužování řepky. V průměru v tuto dobu odebraly na 1 kg S okolo 6,6 kg N/ha.

V souhrnu bylo v roce 2012 zjištěno, že v období posledního monitoringu výživného stavu, tzn. v období květu řepok (BBCH 62 – 65) připadalo na 1 kg odebrané S v průměru 6,2 kg odebraného množství N. V roce 2013 byla utilizace dusíku v rostlinách mírně vyšší, kdy na 1 kg odebrané S z plochy 1 ha v průměru bylo odebráno 6,5 kg N/ha.

Graf č. 23: Vztah mezi odběrem síry a dusíku rostlinami ozimé řepky v období květu
(BBCH 62 – 65, 2012: n = 12, 2013: n = 13, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



Tab. č. 27: Vztah mezi výživou rostlin ozimé řepky sírou a dusíkem (dílčí šetření)

Období	Fenofáze	n	Rovnice polynomicke regrese	Pearsonův korelační koeficient
2012	BBCH 23 - 31	14	$y = 0,0015x^2 + 7,076x + 8,1673$	$r = 0,95 * (**)$
	BBCH 51 - 57	13	$y = -0,027x^2 + 6,1617x + 50,131$	$r = 0,93 * (**)$
2013	BBCH 23 - 31	14	$y = 0,0033x^2 + 9,0896x - 7,5779$	$r = 0,99 * (**)$
	BBCH 51 - 57	14	$y = 0,0035x^2 + 5,1014x + 50,667$	$r = 0,93 * (**)$
Celkem	BBCH 23 - 31	28	$y = 0,0367x^2 + 6,6265x + 11,774$	$r = 0,97 * (**)$
	BBCH 51 - 57	27	$y = 0,0104x^2 + 4,0823x + 73,393$	$r = 0,92 * (**)$

Pozn.: Statistické šetření na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$).

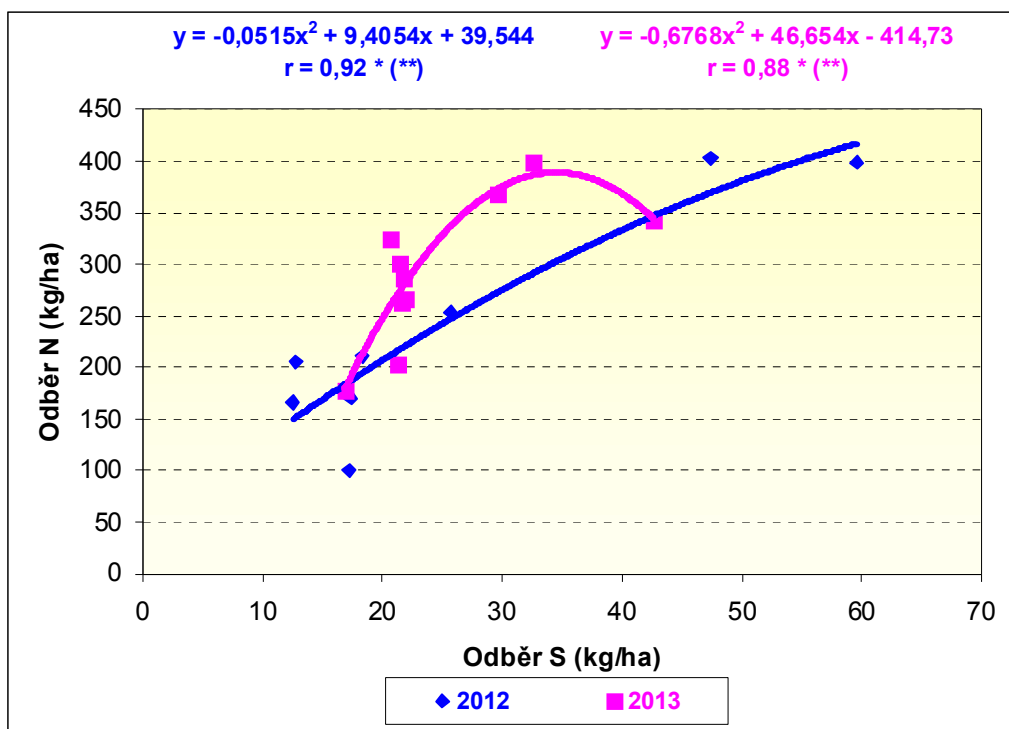
5.5.2 Vztah mezi výživou ozimé pšenice sírou a dusíkem

Poslední monitoring výživného stavu a závislosti utilizace síry a dusíku v rostlinách byl proveden v době metání pšenic, který znázorňuje graf č. 24. Ve srovnání s ozimou řepkou nabývá vztah křivek v hodnotách mírné degrese. V roce 2012 jsou jednotlivá stanoviště poměrně těsně rozptýleny u křivky mírné degrese se statisticky významnou závislostí ($r = 0,92$). Vztah nabývá závislosti také při hladině $\alpha = 0,01$. V průměru na 1 kg odebrané S odebíraly porosty 9,3 kg N/ha. Z korelačního pole je patrné, že výrazně vyšší odběry síry (47 – 60 kg S/ha) a úměrně nejvyšší odběry dusíku (399 – 403 kg N/ha) byly zjištěny na dvou stanovištích (Řepníky a Čistá 690). Tyto porosty byly hustě zapojené a po hnojení sírou za vegetace vykazovaly odpovídající výživné stavy. Na druhé straně řidší porost na stanovišti ve Slatině u VM vykazoval poměrně nízký odběr síry (13 kg S/ha) v metání a tomu odpovídal i odběr dusíku 93 kg N/ha. V roce 2013 je patrná ve vyšetřovaném vztah výraznější degrese, která byla způsobena zejména stanovištěm ve Sloupnici, kde bylo intenzivně hnojeno sírou (44 kg S/ha). Vyšší úroveň hnojení sírou se ve Sloupnici projevila na utilizaci dusíku nižší měrou, než tomu bylo na ostatních stanovištích s hnojením v rozmezí 1 – 25 kg S/ha. Při pominutí tohoto extrému nabývá vztah v roce 2013 statisticky významné závislosti ($r = 0,88$). S rostoucím odběrem síry stoupal odběr dusíku rostlinami ozimé pšenice a v průměru se utilizovalo při odběru 1 kg S 11,7 kg N/ha.

Dále byl vztah mezi výživou ozimé pšenice sírou a dusíkem vyšetřován v jednotlivých fázích růstu, kdy byly odebírány vzorky rostlin. Šetřené vztahy uvádí tabulka č. 28, ve které je patrné, že veškeré vztahy jsou statisticky významné ($r = 0,86 - 0,93$). Výjimkou tendence průběhu závislosti bylo pouze šetření v roce 2012 v období sloupkování (BBCH 30 – 31), kdy je patrná nejvyšší degrese vztahu. Ta byla způsobena zejména třemi stanovišti (Řepníky, Opatovec a Vlkov), kde výrazně husté porosty pšenice odebíraly dusík z přihnojení, na úkor síry, kterou v tuto dobu nebylo hnojeno nebo dávka nepřekračovala 20 kg S/ha.

V průměru v období 2012 a 2013 posledního monitoringu výživy pšenic sírou v metání (BBCH 50 – 51) dosahoval vztah statisticky významné závislosti ($r = 0,86$) a v průměru na 1 kg odebrané S bylo porosty odebráno 10,6 kg N/ha, což bylo o 4,3 kg N/ha více, než vegetačně později u ozimé řepky v době květu (BBCH 62 – 65).

Graf č. 24: Vztah mezi odběrem síry a dusíku rostlinami ozimé pšenice v období metání (BBCH 50 – 51, 2012: n = 9, 2013: n = 10, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



Tab. č. 28: Vztah mezi výživou rostlin ozimé pšenice sírou a dusíkem (dílní šetření)

Období	Fenofáze	n	Rovnice polynomické regrese	Pearsonův korelační koeficient
2012	BBCH 30 - 31	9	$y = -1,2744x^2 + 34,043x - 71,982$	$r = 0,93 * (**)$
2013	BBCH 30 - 31	10	$y = -0,0794x^2 + 14,518x - 5,5312$	$r = 0,99 * (**)$
Celkem	BBCH 30 - 31	19	$y = -0,0186x^2 + 12,022x + 8,7643$	$r = 0,95 * (**)$
	BBCH 50 - 51	19	$y = -0,1872x^2 + 18,695x - 60,666$	$r = 0,86 * (**)$

Pozn.: Statistické šetření na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$).

5.6 Vztah mezi výživou rostlin ozimé pšenice sírou a obsahem dusíkatých látek v zrně

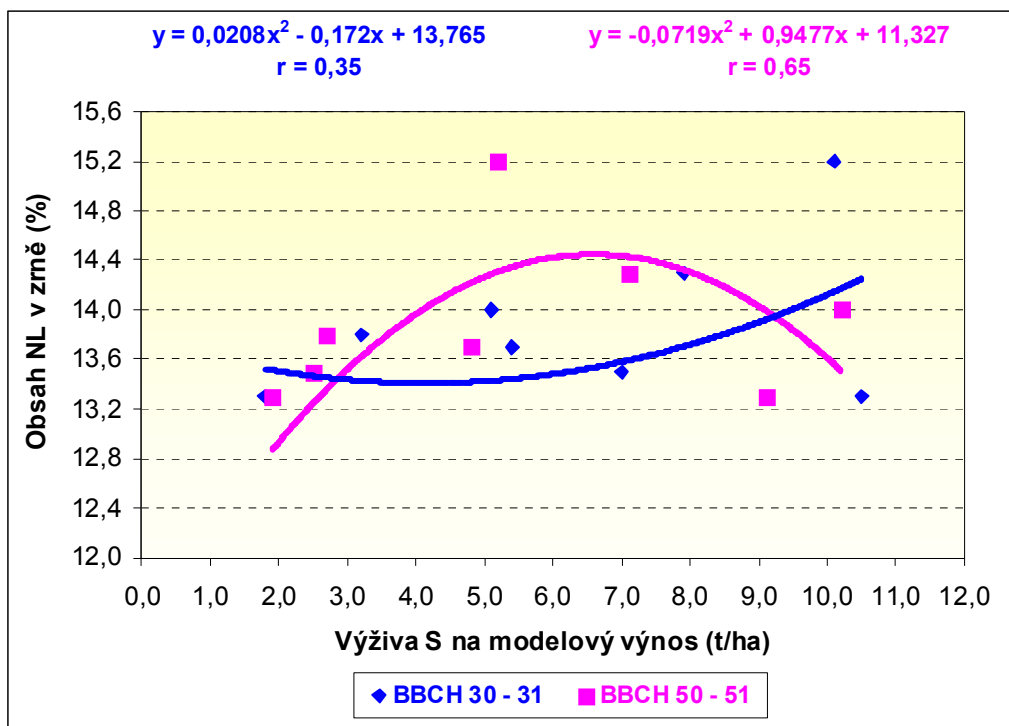
Posledním vyšetřovaným vztahem bylo ověření, zda se výživa rostlin sírou podílí průkazně na ukládání dusíkatých látek (NL) v zrně ozimé pšenice. V předchozím odstavci byly korelační analýzou zjištěny průkazné závislosti mezi úrovní výživy ozimé pšenice sírou a kvantitou utilizace dusíku. Níže grafy č. 25 – 26 znázorňují průběh závislosti mezi úrovní výživy pšenice sírou a obsahem (akumulací) dusíkatých látek v zrně.

V roce 2012 (graf č. 25) je patrné, že v období sloupkování pšenic (BBCH 30 – 31) je patrná střední, ale statisticky neprůkazná závislost ($r = 0,35$). Tendence vztahu má vzestupný charakter. Zároveň rozprostření jednotlivých stanovišť v korelačním poli je poměrně široké a ukazují se značné extrémy. V období metání pšenic (BBCH 50 – 51) je ve vyšetřovaném vztahu patrná vzestupná tendence do výživného stavu sírou okolo 6 t/ha modelového výnosu. Od hranice úrovně výživy sírou přibližně 7 t/ha modelového výnosu je patrná degrese, zejména nekoreluje kladně výživa sírou s obsahem NL v zrně v rozmezí 9 – 11 t/ha modelového výnosu. Výživa rostlin pšenice sírou v období sloupkování a metání neměla průkazný vliv na akumulaci NL v zrně v době sklizňové zralosti.

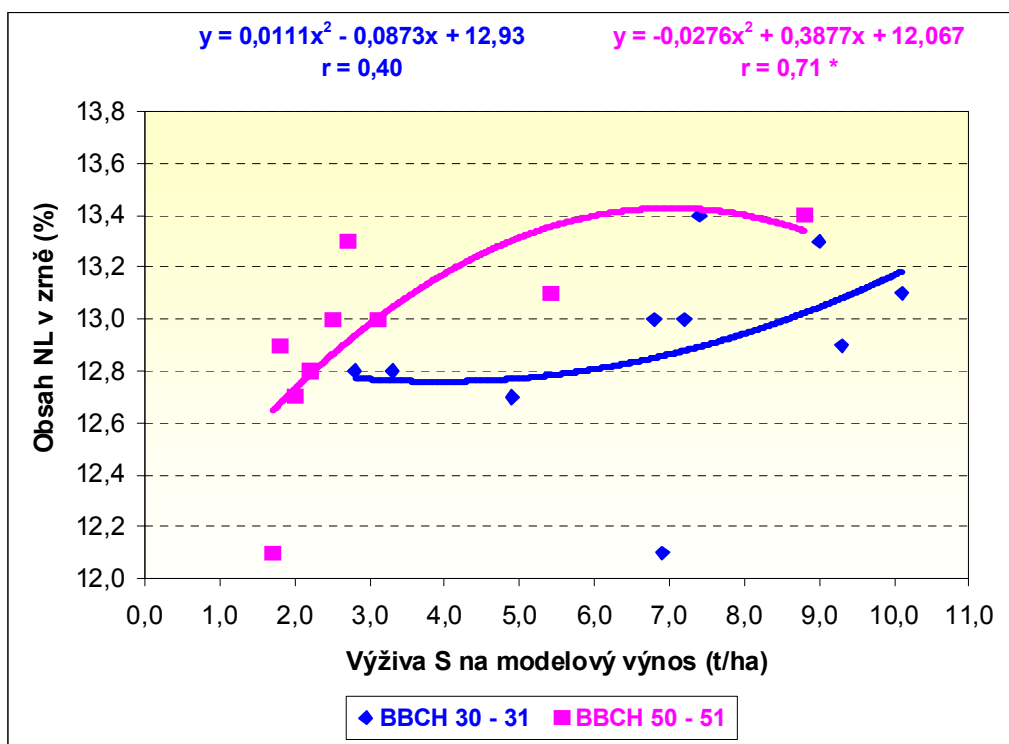
Graf č. 26 znázorňuje průběh vyšetřované závislosti v roce 2013. V období sloupkování pšenic (BBCH 30 – 31) je podobně jako v roce 2012 patrná středně silná statisticky neprůkazná závislost ($r = 0,40$). Tento vztah mezi výživou sírou a obsahem NL v zrně ale ukazuje vzestupnou tendenci. Zejména výživné stavy nad 9 t/ha modelového výnosu se podílely na vyšších hladinách obsahu NL v zrně, než zpracovateli zrna požadovaných 12,5 %. V období metání (BBCH 50 -51) nastala v roce 2013 zcela jiná tendence závislosti, než v době metání v roce 2012. V roce 2013 byla zjištěna statisticky významná závislost ($r = 0,71$) mezi výživným stavem ozimé pšenice sírou a obsahem NL v zrně v době sklizňové zralosti. Rozprostření korelačního pole je až na jeden extrém (stanoviště Litomyšl s obsahem pouhých 12,1 % NL a výživou sírou na 1,7 t/ha), poměrně vyrovnané. Nejvyšší obsah NL (13,4 %) byl zjištěn na sírou intenzivně hnojeném stanovišti ve Sloupnici s výživným stavem okolo 9 t/ha modelového výnosu.

V souhrnu se statisticky neprůkazně úroveň výživy ozimé pšenice sírou v době sloupkování (BBCH 30 – 31) podílela na výsledném obsahu NL v zrně v době sklizňové zralosti. Podobně tomu bylo v roce 2012 v době metání (BBCH 50 – 51). Naopak v roce 2013 se statisticky průkazně podílela úroveň výživy sírou na obsahu NL v zrně, i když dosahovaly průměrné obsahy 12,9 %, což bylo o 0,8 % méně, než v roce 2012.

Graf č. 25: Vztah mezi výživným stavem rostlin ozimé pšenice sírou a obsahem dusíkatých látek (NL) v zrně v roce 2012 (n = 9, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



Graf č. 26: Vztah mezi výživným stavem rostlin ozimé pšenice sírou a obsahem dusíkatých látek (NL) v zrně v roce 2013 (n = 9 – 10, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$)



6 DISKUZE

V rámci monitoringu obsahu vodorozpustné síry ($S_{\text{vod.}}$) v půdě byly během vegetace ozimých řepok a ozimých pšenic zjištěny zejména velmi malé zásoby (3,5 – 10,9 ppm). Tato zásoba byla u řepok zastoupena v růstové fázi BBCH 23 – 25 v obou letech sledování z více jak 70 %. Dále pod porosty řepok tato zásoba přetrvávala na více jak 60 % stanovišť do období butonizace. U ozimých pšenic v roce 2012 se vyskytovaly zásoby v prvním monitorovaném období počátku sloupkování (BBCH 30 – 31) na hladině malé zásoby (11 – 19,9 ppm). V roce 2013 se v růstové fázi BBCH 30 – 31 vyskytovaly na 90 % stanovišť převážně velmi malé zásoby. V obou letech sledování se vyskytovaly na více jak 70 % monitorovaných stanovišť v období metání (BBCH 50 – 51) velmi malé zásoby $S_{\text{vod.}}$. Zjištěné zastoupení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě koresponduje s výsledky Matuly (2007), který uvádí nejvyšší (35 %) zastoupení velmi malých zásob v rámci 5 letého monitoringu v půdách v České republice. Vyšší přirozené obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě (nad 20 ppm), tzn. bez hnojení na počátku jarní vegetace, byly zjištěny v jednom případě poblíž zástavby průmyslového areálu (Opatovec). Zde se pravděpodobně projeví na obsahu $S_{\text{vod.}}$ vyšší lokální atmosférické depozice SO_2 , které v rámci průměru České republiky dosahovaly v roce 2012 podle Hůnové et al. (2013) velmi nízké hodnoty 6 kg S/ha.

Průměrné obsahy $S_{\text{vod.}}$ pod porosty ozimých řepok dosahovaly 8,5 ppm v období přízemní růžice až počátku prodlužování (BBCH 23 – 25), v období butonizace (BBCH 51) 11,2 ppm a v roce 2012 v období květu 13,2 ppm. Pod porosty ozimých pšenice v době sloupkování (BBCH 30 – 31) byly zásoby $S_{\text{vod.}}$ v průměru 9 ppm a v době metání (BBCH 50 – 51) v průměru 7,1 ppm. Veškeré průměrné obsahy (vyjma řepky v BBCH 51 = malá zásoba) se nacházely v kategorii velmi malé zásoby (3,5 – 10,9 ppm) při kategorizaci podle transformovaných kritérií Matuly (2007, 2011). Této kategorii zásoby odpovídá potřeba hnojení půdy v dávce 30 – 40 kg S/ha. Podle dalšího tuzemského hodnocení Richtera et al. (2001b) se nacházejí veškeré průměrné obsahy v kategorii nízké zásoby (< 20 ppm) a tomu odpovídá potřeba hnojení 50 kg S/ha. Je patrné, že diagnostická kritéria hodnotí obsahy $S_{\text{vod.}}$ odlišně, a tomu odpovídá i odlišná dávka síry. Pravděpodobně dané kritérium je specifické pro danou oblast. Matula (2007, 2011) prováděl výzkum téměř po celé ČR, kdežto Richter et al. (2001b) pokusy prováděli hlavně v sušších oblastech Brněnska, ve kterých se obecně vyskytuje vyšší koncentrace síranů a ostatních živin v půdním roztoku. Tím doporučují vyšší optimální hladiny síry v půdě ve srovnání s celorepublikovým šetřením Matuly (2007, 2011). Z tohoto důvodu se domnívám, že je účelné kritéria obsahů $S_{\text{vod.}}$ v půdě uplatňovat v

diagnostické praxi podle půdně-klimatických podmínek, ve kterých byly stanoveny dlouhodobějším monitoringem.

Na základě provedeného dvouletého monitoringu obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě pod porosty ozimé řepky (28 porostů) a ozimé pšenice (19 porostů) na území východočeského regionu, lze odvodit potřebné, respektive minimální obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě (0 – 30 cm) v dané růstové fázi. Doporučuji pro ozimou řepku ve hladinách výnosu nad 3,5 t/ha včetně v období jarní regenerace (BBCH 23 – 31) udržovat minimální obsah 9 ppm $S_{\text{vod.}}$ a v období butonizace (BBCH 51 – 57) 11,7 ppm $S_{\text{vod.}}$ Pod porosty ozimé pšenice s výnosovou hladinou nad 7 t/ha včetně, doporučuji udržovat minimální obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě ve sloupkování (BBCH 30 – 31) a dále až do doby v metání (BBCH 50 – 51) v rozmezí 8 – 9 ppm. Zároveň se ukazuje, při výnosových hladinách ozimé pšenice nižších 6 t/ha nízká potřeba hnojení sírou, obvykle u těchto porostů dostačovala pro výnos přirozená zásoba $S_{\text{vod.}}$ v půdě (okolo 5 – 6 ppm). Také Withers et al. (1995), Matula (2007, 2011) a Balík et al. (2007) řadí ozimou pšenici mezi středně náročné plodiny na síru a hnojení sírou doporučují při vyšších hladinách výnosů.

Stanovené obsahy $S_{\text{vod.}}$ byly především ovlivněny intenzitou minerálního hnojení sírou během vegetace, které zpravidla bylo prováděno dusíkatými hnojivy se sírou typu DASA 26-13 (13 % S), síran amonný granulovaný (22 – 23 % S) aj. Významný podíl minerálního hnojení sírou na obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě uvádějí také dosavadní německé a české výzkumné práce (Schnug et Haneklaus, 1998; Matula, 2007, 2011). Dále obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě byly ovlivněny během vegetace intenzitou odběru porosty a v některých případech se ukazoval přísun síranového aniontu (SO_4^{2-}) z mineralizace organické hmoty v půdě. Vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě (10 – 15 ppm) byly v období jarní regenerace řepky (BBCH 23 – 25) zjištěny po podzimním hnojení statkovými a organickými hnojivy, zejména po digestátu z bioplynových stanic a po hnojení kejdou. Přestože bylo dodáno těmito hnojivy okolo 1 – 2 kg S/ha byly obsahy $S_{\text{vod.}}$ mírně vyšší a porosty již zjara mohly lépe využívat vyšší zásoby síry k výživě. Hnůj skotu se podílel na počátku jarní vegetace různou měrou, zpravidla mírně vyšší obsahy byly v teplejších oblastech a v roce 2013 po teplejším podzimu roku 2012. Pravděpodobně mineralizace sirných sloučenin z půdní organické hmoty nastupovala později v období květu nebo v době tvorby šesulí řepky nebo se mineralizace významně nedostavila. V souhrnu výsledky převážně potvrzují nízkou významnost přísunu síry do půdního roztoku mineralizací organické půdní hmoty, kterou zjistili také Eriksen et al. (1998), a to v rozmezí do 7 – 10 kg S/ha/rok. Později také Scherer (2001) zjistil ještě nižší úroveň mineralizace organických sloučenin síry v půdě do 4 kg S/ha/rok. K podobným závěrům dospěl také Matula (2007), který uvádí v našich půdách značný imobilizační trend labilní síry (organické

části), který je zesilován aplikací dusíkatých hnojiv. Tento trend byl pozorován i ve vlastním měření, kde na stanovištích bez hnojení sírou nebo s nízkou dávkou (do 15 kg S/ha) a intenzivním hnojením pouze dusíkem (100 – 180 kg N/ha) byly po celou vegetaci velmi malé zásoby (3,5 – 10,9 ppm) bez významné dynamiky změn během vegetace. Průkazně příznivě ze statkových hnojiv se projevila pouze zaorávka řepkové slámy, která zvyšovala obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě v průměru o 3 ppm (o 30 %) po celou vegetaci následně pěstované pšenice. Sláma řepky obsahuje podle Klíra et al. (2007) v průměru 2 kg S v 1 tuně, tzn. při zaorávce 4 t slámy se může uvolnit až 8 kg S/ha. Příznivý vliv zaorávky řepkové slámy na výživu následně pěstované pšenice sírou zjistil také Matula (2007). Také Balík et al. (2007) uvádějí významný přísun síry pro následující plodinu po řepce, a to až ve výši návratnosti síry 70 – 78 kg S/ha, v případě že byl z pole sklizen pouze hlavní produkt. Porosty takto založené mohly využívat vyšší zásoby již od počátku období hlavní potřeby síry, které začíná podle Richtera et al. (2000) na počátku metání.

Dále se ve sledovaných fázích růstu projevilo průkazně na vyšších obsazích jak u ozimé pšenice tak u ozimé řepky po založení porostů bez orby (minimalizace) ve srovnání s orbou. V průměru byly obsahy po celou monitorovanou vegetaci bez použití orby vyšší o 25 % u ozimé řepky a o 40 % u ozimé pšenice. Pravděpodobně v těchto půdních podmínkách bez orby (méně hřebenitý půdní profil) mohlo docházet k perkolaci přes zimu vyplavených síranů v kapilárních pórech zpět do orniční vrstvy, a tím k obohacování obsahu $S_{\text{vod.}}$ v ornici. Tento poznatek přísunu síranů v sušším období jarní vegetace uvádí také Růžek (2012). Také Matula (2007) zjistil významný zpětný transport vyplavených síranů ze spodních vrstev půdy do ornice v sušším období. Vliv půdní reakce na lehce přijatelný obsah síry v půdě nebyl prokázán, a to koresponduje s výsledky Matuly (2007), který uvádí sníženou mobilitu síranů, vlivem výměnné sorpce, pouze v půdách kyselých, tzn. s pH nižším než 4,0.

Průběh počasí (ročník) měl vliv na obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě především z hlediska množství úhrnu srážek. Intenzivní srážkové úhrny snižovaly obsahy $S_{\text{vod.}}$ v půdě a například na jaře roku 2013 byly pod ozimými pšenicemi o 40 % nižší (6,9 ppm). Nejvíce se projevil negativně vliv extrémních srážek v roce 2013 v době metání ozimých pšenic (BBCH 50 – 51), kdy v první dekádě května spadlo na nejbližších meteorologických stanicích 190 % normálu, ve druhé dekádě 105 % normálu, ve třetí dekádě 127 % normálu a v první dekádě června 170 % normálu. Veškeré porosty byly sírou hnojeny do půdy zejména krátce po prvním odběru vzorku půdy ve fázi BBCH 31 (29.4. – 13.5.). Aplikovaná hnojiva se sírou v dávkách od 4 do 33 kg S/ha se nadále nepodílela v metání (BBCH 50 – 51) na udržení nebo zvýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě. Docházelo zřejmě k intenzivnímu vyplavování velice mobilních síranů (SO_4^{2-}) z

profilu ornice do spodních vrstev půdy nebo hlouběji do podzemních vod. Vysokou mobilitu síranů v půdním roztoku a v půdním profilu popisují také Matula (2007) a Richter (2007), který navíc uvádí spolu se sírany i významné vyplavení některých kationtů (Ca^{2+} , Mg^{2+}). V České republice podle Matuly (2007) a Richtera (2007) dosahuje vyplavení síranů z orničního horizontu 30 – 80 kg S/ha/rok. Pro tyto případy doporučuje Scherer (2001) a Růžek (2012) hlubší vzorkování půdy na obsah $S_{\text{vod.}}$ za účelem zjištění potencionálně kapilárním vztlakem navratitelného množství síranů do ornice (ke kořenovému systému). Hlubší vzorkování půd pro stanovení obsahu $S_{\text{vod.}}$ za účelem optimalizace hnojení sírou, než je profil ornice, je však pracné a nevypovídající o snadno přijatelné zásobě pro kořenový systém většiny plodin, zvláště v období první poloviny vegetace. Hlubší vzorkování, než je profil ornice (0 – 30 cm), je také podle Matuly (2007) pro aktuální diagnostiku bez užitné hodnoty.

Z tohoto hlediska rizika možného vyplavení síranů bylo doporučováno na monitorovaných stanovištích minerální hnojení sírou během jarní vegetace. Na některých stanovištích bylo přes tuto skutečnost provedeno hnojení minerálními hnojivy se sírou (hnojivy SAM 240, NPK-S aj.) před setím nebo na podzim, což bylo ve všech případech bez efektu na vyšší zásobě $S_{\text{vod.}}$ v půdě a vyšším výživném stavu rostlin na počátku jarní vegetace. Zřejmě porosty na podzim část síry odebraly (asi okolo 20 kg S/ha) ale spíše se předpokládalo vyplavení síranů, zvláště na lehčích a středně těžkých skeletovitých půdách.

Výživný stav monitorovaných plodin byl hodnocen na základě laboratorní analýzy celkového obsahu síry ($S_{\text{tot.}}$) v celých rostlinách (nadzemních částech). Ozimá řepka byla hodnocena podle naplnění optimálního obsahu v dané růstové fázi, které využívá poradenská firma AGROEKO Žamberk spol. s r.o. jako pracovní hypotézu. Pramen těchto optimálních obsahů je sumarizací výzkumných prací (Schnug et Haneklaus, 1998; Matula, 2007; 2011), který byl dále korigován v minulosti dosahovanými obsahy v zájmovém území východočeského regionu. Pro období vytvořené přízemní růžice až do počátku prodlužování (BBCH 23 – 31) byl hodnocen optimální obsah 0,64 % S, v době butonizace (BBCH 51 – 57) 0,62 % S a v době kvetení (BBCH 62 – 65) 0,60 % S v sušině celých rostlin. V roce 2012 byl v průměru naplněn obsah optima v růstové fázi BBCH 23 – 31 z 93 %, v růstové fázi BBCH 51 – 57 z 97 % a v růstové fázi BBCH 62 – 65 % ze 102 %. Výživný stav ozimé řepky sírou byl na vyšší úrovni v roce 2013, ve fázi BBCH 23 – 31 naplňoval optimální obsah z 97 %, ve fázi BBCH 50 – 51 ze 124 % a v období květu ze 108 %. V roce 2013 byl patrný pozdější nástup jarní vegetace pro návrat zimy okolo 20. března. Následný příchod jara okolo 2. dubna obnovil vegetaci a aplikovaná hnojiva v prvních přihnojeních před návratem zimy již zřejmě příznivě působily na lepší výživu rostlin ve srovnání s počátkem jara roku 2012. Lepší

výživné stavy rostlin v roce 2013 byly ovlivněny převážně minerálním hnojením, ve kterém se nejlépe uplatňovalo hnojivo DASA 26-13, síran amonný granulovaný a granulovaná hnojiva typu Sulfan. Tuto skutečnost uvádějí hlavně grafy dynamiky obsahu síry v sušině rostlin, kdy nejvyšší zvýšení obsahu síry v sušině rostlin bylo zpravidla po přihnojení řepky v prodlužovacím růstu do období butonizace (BBCH 50 – 51). Hlavní úlohu minerálního hnojení sírou ve výživě rostlin zjistil také Matula (2007, 2011) či dříve Richter et al. (2001a).

V roce 2012 klesaly obsahy síry v sušině rostlin v období butonizace pro převážně rychlý nárůst sušiny rostlin ve srážkově bohaté první dekádě května. V tuto dobu se dostavil zřed'ovací proces, tzn. s rychlým nárůstem sušiny (nadzemní hmoty) nestačily rostliny přijímat kořeny odpovídající množství síry i ostatních živin z půdy. Tento tzv. „zřed'ovací efekt“ koresponduje také s prací Baiera et al. (1988), kteří tento proces uvádějí jako přirozený při diagnostice celých rostlin pro většinu živin ze skupiny makroprvků. Výrazné poklesy výživného stavu ozimé řepky byly v roce 2012 na stanovišti v Lukavici u RK, ve Výprachticích a v Třebořově. Na těchto stanovištích klesaly obsahy v době butonizace nebo v květu pod optimální hodnotu 0,50 % S, kterou doporučuje například Matula (2007, 2011). Porost na stanovišti v Lukavice u RK vykazoval dokonce obsah 0,35 % S, což bylo podle autorů McGrath et Zhao (1996) o 0,3 % S pod hranicí kritického obsahu síry (0,38 % S). Zjištěné nižší výživné stavy korespondovaly s nízkou úrovní hnojení sírou během vegetace (10 – 20 kg S/ha) a s velmi malou zásobou vodorozpustné síry v půdě. Naopak tomu bylo v roce 2013, kdy se vyskytly v butonizaci velmi vysoké výživné stavy řepky sírou, a to na stanovišti v Dlouhé Třebové, v Trstěnicích, v Bučině, v Čisté PF, kde obsahy v sušině rostlin v období butonizace (BBCH 50 – 51) převyšovaly 0,9 % S (145 % optima). V Trstěnicích dosahoval obsah 1 % S (161 % optima) a v Dlouhé Třebové dokonce 1,03 % S (166 % optima) v sušině rostlin. Příznaky nadbytku síry, v podobě vadnutí a předčasného opadu listů, které uvádějí Richter, (2007), Vaněk et al. (2012), zde nebyly pro zřejmě krátkodobý trend pozorovány. Společné pro oba porosty bylo hnojení digestátem před setím (18 – 20 t/ha) a hnojení dusíkatými hnojivy se sírou v dávce 25 – 29 kg S/ha. Podobně jako u zjištěného navýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě po hnojení digestátem ze zemědělských bioplynových stanic se ukazuje velmi příznivě vliv hnojení digestátem na výživný stav. Pozoruhodné je, že při dávce digestátu 20 t/ha se dodá při průměrném obsahu síry 0,05 % S pouhý 1 kg S/ha. Lze se domnívat, že digestát nepůsobí jako zdroj síry, ale působí spíše synergicky v procesu mineralizace půdní organické hmoty nebo při resorpci živin pro těsný vztah mezi dusíkem a sírou. Digestát obsahuje okolo 4,5 kg N/t, což při dávce 20 t/ha představuje dávku 90 kg N/ha

a z toho přívod využitelného dusíku dosahoval okolo 60 kg N/ha. Toto využitelné množství dusíku mohlo iniciovat zvýšený příjem síry z půdy.

Výživný stav ozimé pšenice byl hodnocen podle koncepce diagnostických metod Baiera et al. (1988), tzn. obsahy síry v sušině celých rostlin byly vyhodnoceny podle obsahových křivek výnosového potenciálu. Optimální obsahy byly dosaženy z anglického šetření (Withers et al. (1995), německých prací (Schnug et Haneklaus, 1998) a českého šetření Richtera et Hřivny (2000) a korigovány podle lokálních půdně-klimatických podmínek východočeského regionu společností AGROEKO Žamberk. V období sloupkování pšenic (BBCH 30 – 31) bylo v roce 2012 dosaženo v průměru výživného stavu odpovídající modelovému výnosu 6,4 t/ha a v období metání (BBCH 50 – 51) úrovni 5,1 t/ha. V roce 2013 byly výživné stavy ve sloupkování vyšší, dosahovaly v průměru 6,8 t/ha, ale po nepříznivém, srážkově bohatém období na přelomu května a června klesaly výrazně zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě a poté i výživné stavy rostlin sírou na průměrnou úroveň pouhých 3,2 t/ha. V tuto dobu metání byly zjištěny kritické obsahy síry v rostlinách (0,2 % S a nižší), které uvádí například Withers et al., 1995; McGraft et Zhao, 1996. Kritický obsah byl v Litomyšli (0,14 % S), v Opatovci (0,16 % S), ve Vlkově (0,20 % S), v Přestavlkách (0,20 % S), a to činilo 40 % sledovaných stanovišť. Porosty byly posléze hnojeny roztoky hořké soli, jako zdrojem síry, protože po vydatných srážkách končících v první dekádě června nastal od poloviny června suchý ráz počasí a příjem živin včetně síry z půdy byl omezený. Z grafů dynamiky obsahu síry v sušině rostlin je patrný v obou letech 2012 a 2013 poměrně výrazný zřed'ovací efekt síry v rostlinách mezi monitorovaným obdobím sloupkování a metání. Výrazný zřed'ovací efekt síry u ozimé pšenice zjistil již Freney et al. (1978). Zvláště výživné stavy pšenice klesaly v kontextu s poklesem obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě, který byl ovlivněn zřejmě komplexem faktorů: Nehnojení sírou, nízkými dávkami minerálních hnojiv se sírou a vyplavením síranů z ornice v roce 2013 po vydatných deštích v období těsně před metáním (přelom května a června), kdy vzniká podle Richtera et Hřivny (2000), Richtera et al. (2001a) u pšenice hlavní metabolická potřeba síry. Lze se domnívat, že metodické postupy hnojení pšenice sírou, které na monitorovaných podnicích byly zavedeny neodpovídají z hlediska vývojového období potřebám plodiny. Ukazuje se jako vhodné posunout hnojení dusíkatými hnojivy se sírou, které zpravidla obsahují síru v podobě mobilních síranů (SO_4^{2-}), do období těsně před metáním, místo prováděného hlavního hnojení sírou v období sloupkování. V souhrnu byly výživné stavy v růstové fázi BBCH 30 – 31 v roce 2012 na 33 % stanovišť a v roce 2013 na 40 % stanovišť dostatečné a v ostatních případech byla síra deficitní v rostlinách. V období metání pšenic (BBCH 50 – 51) splňovalo v roce 2012 pouze 22 % a v roce 2013 pouze 10 % stanovišť

optimální modelové výnosy. Na ostatní většině stanovišť byla síra podle křivek výnosového potenciálu deficitní pro běžně dosahované výnosy (v rozmezí 6 – 7,5 t/ha podle lokalit).

Výživný stav byl také u ozimé řepky a ozimé pšenice hodnocen podle harmonického poměru N : S. Ozimé řepky vykazovaly v průměru let 2012 a 2013 ve fázi BBCH 23 – 31 poměr N : S ve výši 8,2 : 1, ve fázi BBCH 50 – 51 ve výši 7,0 : 1 a ve fázi BBCH 62 – 65 ve výši 6,5 : 1. Zjištěné hodnoty poměru N : S byly optimální v každé růstové fázi, protože podle šetření Richtera et al., (2001a) by v průběhu vegetace řepky neměl harmonický poměr N : S v sušině rostlin překročit 10 : 1. Disharmonie mezi výživou dusíkem a sírou začíná při poměru vyšší než 15 : 1. Také Matula (2007) uvádí poměr N : S nižší než 10 : 1 jako bezproblémový a poměr širší než 20 : 1 jako indikační mez deficitu síry v rostlinách. Indikace deficitního porostu řepky podle poměru N : S byla patrná v roce 2012 Lukavici u RK, kde poměr dosahoval 10,8 : 1 v období butonizace. Dále podle optimálního poměru N : S se ukázal v roce 2013 deficitní na síru porost v Nekoři v období přizemní růžice až počátku prodlužování (10,2 : 1) který přetrvával v deficitu až do období butonizace (10,2 : 1). Je pravděpodobné, že širší poměr N : S, a tedy indikace deficitní síry ve výživě rostlin, je odrazem nízké intenzity hnojení sírou nebo v případě Nekoře pozdějším hnojením sírou ve druhé polovině butonizace.

U ozimé pšenice dosahoval poměr N : S v sušině rostlin v obou letech 2012 a 2013 v růstové fázi BBCH 30 – 31 hodnoty 12,9 : 1 a v růstové fázi BBCH 50 – 51 hodnoty 11,1 : 1. Zjištěné poměry N : S byly na hranici optimálního stavu, který by měl být podle Matuly (2007) 14,1 : 1. Nejširší poměr byl zjištěn ve sloupkování (BBCH 30 – 31) v roce 2013, kdy dosahoval 13 : 1. V tuto dobu byla výživa rostlin dusíkem na poměrně vysoké úrovni (4,6 % N v sušině) a naznačoval se tak schodek síry pro tuto příslušnou úroveň výživy dusíkem. V kritickém období metání v roce 2013 při deficitu síry vlivem vydatných srážek se poměr N : S nejvíce stabilizoval (10,2 : 1) a z toho vyplývá, že také výživa dusíkem stagnovala a postupně klesala. Indikace deficitního porostu ozimé pšenice podle optimálního poměru N : S byla nejvíce patrná v roce 2012 v Jenišovicích (18,6 : 1) v době sloupkování a v Dolním Újezdě (16,1 : 1) v době metání. V roce 2013 se vyskytly dvě stanoviště s poměrem N : S 14,1 : 1 a vyšším, a to v Opatovci (14,1 : 1) a v Litomyšli (15,7 : 1). Stanoviště v Litomyšli vykazovalo hraniční poměr 14,0 : 1 již dříve v období sloupkování. Na těchto stanovištích bylo hnojeno převážně dusíkem a síra byla aplikována pouze formou listových hnojiv (roztoky hořké soli) v období metání až počátku kvetení. V Litomyšli bylo také přihnojeno za vegetace digestátem, ale vliv přínosu nebo podpory příjmu síry byl zřejmě podle přetrvávajícího deficitu v rostlinách zanedbatelný. Také jednostranné minerální hnojení

dušíkem (například v ledcích amonných s vápencem) rozšiřovalo poměr N : S nad optimální hranici.

Posouzení vypovídací schopnosti využitých diagnostických metod výživy rostlin bylo provedeno pomocí regresní a korelační analýzy, ve které byl šetřen vztah mezi výživným stavem a skutečně dosaženým výnosem hlavního produktu v době sklizně. U ozimých řepok byly výživný stav sírou korelován v období růstové fáze BBCH 23 – 31 s dosaženým sklizňovým výnosem semene. V tomto vztahu nebyly zjištěny jednak v roce 2012, tak v roce 2013 statisticky průkazné závislosti. Výživné stavy nekořespondovaly s dosaženým výnosem, pravděpodobně pro časný období odběru vzorků (počátek dubna) ve vztahu s obdobím sklizně (červenec – srpen). Je také možné, že rostliny pro malý nárůst sušiny v tomto období vykazují nízkou úložnou kapacitu (opad listů), a tím nízkou vypovídací schopnost o výživném stavu. Na tuto skutečnost poukazují již také Baier et al. (1988), kteří nedoporučují hodnocení výživného stavu rostlin podle výnosového potenciálu při nízké sušině rostlin, například v době regenerace ozimů. Degrese ve vztahu byla patrná zejména v roce 2013, kdy výživný stav v celém korelačním poli nekořespondoval s dosaženým výnosem. Dále byl výživný stav určený diagnostickou metodou naplnění optimálního obsahu síry v sušině rostlin ověřován v růstové fázi BBCH 51 – 57. Meziročně byly v tomto období zjištěny odlišné závislosti, v roce 2012 byly vztah statisticky významný ($r = 0,56$) a v roce 2013 dosahoval pouze slabé závislosti. V roce 2012 byla závislost těsná především v rozmezí 70 – 110 % naplnění optimálního obsahu v růstové fázi BBCH 51 – 57 (0,62 % S). Naopak slabá závislost v roce 2013 byla zřejmě způsobena zjištěnými vysokými výživnými stavy na úrovni 150 – 170 % optima. Vysoké výživné stav se nepodílely na dosažení vysokého výnosu. Tento poznatek uvádí také Matula (2007), který zjistil, že při vysokých výživných stavech rostlin sírou (stanovení jako S_{tot} . V sušině) je zastoupena síra značným podílem v nemetabolizované podobě (v síranech). To mimo jiné vede ke kumulaci neproduktivních síranů v pletivech rostlin (Schnug et Haneklaus, 1998). Dále byl vztah korelován v období květu řepok (BBCH 62 – 65) a výsledek testu byl podobný s předchozím obdobím butonizace. Bylo zřejmé, že v roce 2012 výživné stavy řepok sírou v období květu byly určeny diagnostickou metodou statisticky průkazně ($r = 0,63$) ve vztahu k dosaženému výnosu semene. Tento vztah byl podrobněji patrný zejména v rozmezí 70 – 110 % optimálního obsahu síry v době květu. V roce 2013 nebyla zjištěna statisticky průkazná závislost v tomto vztahu, ale naznačovala se kladná závislost do obsahu 110 % optima. V souhrnu dvou let byly zjištěny statisticky průkazné závislosti v období butonizace (BBCH 51 – 57) a v období květu (BBCH 62 – 65). V období butonizace byla zjištěna statisticky vysoce významná závislost ($r = 0,53$) a podobně

tomu bylo také v období květu (BBCH 62 – 65). Výsledek šetření v těchto fázích růstu je podobný zřejmě pro kratší odstup vzorkování rostlin, který zpravidla byl 1 – 2 týdny.

V souhrnu bylo ve dvou letech ověřování diagnostických metod zjištěno, že sklizňový výnos byl v průkazné závislosti při obsahu síry v době květu řepky v rozmezí 0,42 – 0,66 % S v sušině celých rostlin (70 – 110 % optima). Tento interval odpovídal průměrnému obsahu 0,54 % S, což bylo o 0,6 % méně, než zvolenou metodou doporučovaný optimální obsah 0,6 % S. Jako dostatečný obsah síry v sušině v rozmezí 0,5 – 0,55 % S zjistili také Matula (2007) a Baranyk et Fábry (2007). Naopak německé práce uvádějí, že obsah síry 0,55 % S v sušině rostlin řepky je kritický po celou vegetaci, tzn. vede k redukci maximálního výnosu o 5 % (Schnug et Haneklaus, 1998). S optimálním obsahem 0,6 % S v sušině rostlin v době květu, které doporučuje zvolená diagnostická metoda využívaná společností AGROEKO Žamberk, se ztotožňuje práce Richtera et al. (2001a), který doporučuje obsah 0,65 % S v dlouživém růstu a 0,6 % v době květu. Po celou vegetaci byl v monitorovaných obdobích doporučován ve fázi BBCH 23 – 31 obsah 0,64 % S, ve fázi BBCH 51 – 57 obsah 0,62 % S a ve fázi BBCH 62 – 65 obsah 0,6 % S v sušině. Na základě provedeného šetření doporučuji upravit optimální obsahy v rostlinách řepky ve vztahu k dosaženému průměrnému výnosu 4 t/ha. Pro růstovou fázi BBCH 23 – 31 se ukazuje optimální (průměrný) obsah na úrovni 0,56 % S (88 % optima), pro růstovou fázi BBCH 51 – 57 obsah 0,60 % S (97 % optima) a pro růstovou fázi BBCH 62 – 65 obsah 0,55 % S (92 % optima). Dále je nutné zmínit, že použitá diagnostická metoda nepodhodnocovala výživné stavy rostlin a výživa řepky sírou nebyla tedy limitující vzhledem k výnosu, v některých případech byla spíše nadhodnocována, což mohlo do jisté míry vést k neproduktivnímu využití síry z minerálních hnojiv.

Výživný stav ozimé pšenice byl hodnocen diagnostickou metodou z koncepce Baiera et al. (1988) založené na prognóze sklizňového výnosu podle obsahových křivek síry v sušině rostlin pro různé hladiny výnosu. Z šetření je patrné, že v roce 2012 a 2013 byly ve vztahu modelového výnosu (určeného podle obsahu síry v sušině rostlin) a skutečně dosaženého výnosu ve sklizni dosaženy statisticky průkazné závislosti. Výživný stav ozimé pšenice průkazně odpovídal hladinám dosažených sklizňových výnosů. V monitorovaném období počátku sloupkování (BBCH 30 – 31) byly zjištěny statistiky vysoce významné závislosti (2012 $r = 0,75$, 2013 $r = 0,89$). V roce 2012 byla také pomocí metody korelační analýzy zjištěna statisticky vysoce významná závislost ($r = 0,87$) v období počátku metání (BBCH 50 – 51). Také v tomto již sklizni bližšímu termínu korespondovaly stanovené modelové výnosy podle úrovně výživy sírou se skutečně dosaženým výnosem. V roce 2013 nastala ve vztahu patřičná degrese v období metání a vztah ve výsledku nevykazoval průkaznou

závislost. Toto šetření bylo ovlivněno převážně průběhem počasí, kdy v době metání pšenice (27.5. – 10.6.) byly měřeny na nejbližších meteorologických stanicích intenzivní srážkové úhrny. Vztah byl také negativně zatížen šetření na stanovišti ve Sloupnici, kde byl zjištěn vysoký výživný stav (9 t/ha) po intenzivním přihnojení sírou, přičemž skutečný výnos dosáhl 8,2 t/ha. Při nezahrnutí stanoviště ve Sloupnici do šetření, ale také nenabýval vztah statisticky průkazné závislosti, vliv počasí byl významnější. Výživné stavy rostlin v tuto dobu klesaly hluboko pod modelovou úroveň (1,7 – 3,1 t/ha) zejména pro pravděpodobné vyplavení přijatelných forem síry z půdy v podobě mobilních síranů. V souhrnu dvou let šetření diagnostická metoda výživného stavu ozimé pšenice podle naplnění potenciálu výnosové úrovně vykazovala statisticky významné závislosti s dosaženým výnosem zrna. V době sloupkování (BBCH 30 – 31) vykazuje metoda statisticky vysoce významné závislosti k dosaženému sklizňovému výnosu ($r = 0,70$). Skutečně dosažený výnos korespondoval v přímé závislosti s výživným stavem sírou v rozmezí přibližně 3,5 – 10,5 t/ha modelového výnosu. Nízké výživné stavy pod 3,5 t/ha modelového výnosu poukazovaly na deficitní porosty. Dále asi o 14 – 21 dní později v období metání pšenice (BBCH 50 – 51) byla v souhrnu dvou let zjištěna statisticky významná závislost ($r = 0,48$). V tuto dobu se vyskytovaly z 61 % výživné stavy v rozmezí 1,7 – 3,5 t/ha, přičemž skutečně dosažené výnosy dosahovaly na úroveň 4 – 9,2 t/ha. Tato skutečnost byla značnou měrou ovlivněna průběhem počasí v roce 2013, kde se vyskytly nadprůměrné srážky v období metání. Druhou část (39 %) tvořily výživné stavy, které více odpovídaly dosaženým výnosům.

Z výsledků je patrné, že porosty ozimé pšenice, přes limitující výživu sírou určenou diagnostickou metodou modelových výnosů (1,7 – 3,5 t/ha), poskytovaly poměrně vysoké výnosy 5,5 – 9,5 t/ha. Výživa sírou tak nebyla z hlediska dosažení výnosu limitující, pravděpodobně po období metání (do doby dozrávání) se výživné stavy sírou zlepšily. Dále je možné, že výživa dusíkem, která byla zpravidla na dobré úrovni, byla hlavním živinovým faktorem tvorby výnosu, a to mohlo částečně „zastupovat“ deficitní síru, na kterou ozimá pšenice podle Richtera et Hřivny (2000) a Matuly (2007) není až tak náročná ve srovnání s ozimou řepkou. V období sloupkování ozimé pšenice dosahovaly průměrné obsahy síry 0,34 % S v roce 2012 a 0,35 % S v roce 2013. Dále v období metání v roce 2012 klesly obsahy na 0,27 % S a ve srážkově bohatším roce 2013 na 0,22 % S v sušině celých rostlin. Tento trend zředování síry v sušině rostlin ozimé pšenice popisuje také Freney et al. (1978), který uvádí průměrný pokles o 0,8 % S v době mléčné zralosti, oproti raným fázím růstu. Richter et Hřivna (2000) uvádějí minimální obsah 0,25 – 0,3 % S v době sloupkování pšenice. Dále Withers et al. (1995) a McGraft et Zhao (1996) označují jako kritický obsah při vyšší

výnosové úrovni v době kvetení 0,20 % S. V době sloupkování se vyskytly za oba roky sledování nižší obsahy jako 0,25 % S v 5 % případů a v době metání se vyskytly kritické obsahy 0,20 % S a nižší ve 32 % případech. V porovnání s těmito kritérii diagnostická metoda používaná společností AGROEKO Žamberk jako pracovní hypotéza předpokládá převážně dosažení nižších výnosů. Je však u více jak 60 % porostů patrné, že vlivem dalších faktorů, zejména výživou dusíkem docházelo k dosažení výnosů o 2,8 – 4,8x vyšších, než uvádí obsahová křivka síry v sušině pro daný modelový výnos.

Diagnostickou metodu hodnocení obsahu síry v rostlinách pšenice doporučuji upravit, respektive snížit její přísnost hodnocení, vzhledem k dosahovaným výnosům. Rovněž doporučuji úpravu kritérií pro zjištěnou skutečnost, že výživa rostlin pšenice sírou v období sloupkování a metání sírou neměla v souhrnu dvou let statisticky průkazný vliv na akumulaci dusíkatých látek (NL) v zrně v době sklizňové zralosti, ačkoliv síra je jejich nepostradatelnou složkou. To je v rozporu s šetřením Richtera et Hřivny (2000), Richtera (2001a), Zimolky et al. (2005), Hřivny (2012), kteří zjistili v parcelkových pokusech významné uplatnění síry na obsahu NL v zrně pšenice při odpovídající výživě dusíkem. Průkazná závislost ($r = 0,71$) mezi výživou rostlin sírou a obsahem NL v zrně byla zjištěna pouze v metání roku 2013, kdy pro vysoké srážkové úhrny byla výživa sírou na hluboce snížené úrovni a zároveň dočasně poklesla i výživa dusíkem. Ukazuje se tedy, že síra, když byla na snížené úrovni se uplatnila na obsahu NL v zrně při snížené výživě dusíkem. Doporučuji konkrétně pro nejnižší modelovou úroveň 3 t/ha (kritická hodnota) zvolit pro období sloupkování obsah, který uvádí Richter et Hřivna (2000), tzn. 0,25 % S a pro období metání zvolit kritickou hodnotu, kterou uvádí Withers et al. (1995) a McGraft et Zhao (1996) v době kvetení 0,20 % S, případně lze ponížít podle německého šetření až na 0,12 % S (Schnug et Haneklaus, 1998). Tato kritická hranice způsobuje snížení maximálního výnosu, který na stanovištích dosahoval 6 – 10 t/ha. Další modelové úrovně výnosů doporučuji ekvivalentně doplnit podle kritické křivky.

Hodnocený vztah obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě a výživného stavu ozimé řepky sírou vykazoval proměnlivý trend závislosti. V souhrnu roku 2012 a 2013 nebyly zjištěny v monitorované fázi BBCH 23 – 31 a BBCH 51 – 57 statisticky průkazné závislosti. Tendence vztahu ale poukazovala na kladný, vzestupný trend ve fázi BBCH 23 – 31 přibližně do obsahu $S_{\text{vod.}}$ 10 ppm a ve pozdější fázi BBCH 51 – 57 přibližně do obsahu 15 ppm. Podobněji bylo patrné, že statisticky průkazné závislosti šetřeného vztahu bylo zjištěno ve fázi BBCH 23 – 31 v roce 2013 a ve fázi BBCH 51 – 57 v roce 2012. Na průkaznosti vztahu se podílela aktuální zásoba síry v půdě a dále aktuální povětrnostní podmínky. Výživný stav ozimé pšenice sírou nevykazoval ve vztahu k obsahu $S_{\text{vod.}}$ statisticky průkaznou závislost pouze v období

sloupkování (BBCH 30 – 31), zejména vlivem roku 2013. V tuto dobu převládaly vyšší výživné stavy rostlin (6 – 10 t/ha) při nižší zásobě síry v půdě (4,5 – 9,5 ppm). Zvyšující se obsah $S_{\text{vod.}}$ se v tuto dobu průkazně nepodílel na vyšším výživném stavu ozimé pšenice. Opačný trend byl zjištěn v období sloupkování v roce 2012 a v obou letech v době metání (BBCH 50 – 51). Se stoupající zásobou $S_{\text{vod.}}$ v půdě se zvyšoval průkazně obsah síry v rostlinách, respektive modelový výnos. Bylo ale zřejmé, že korelační pole byla značně rozprostřená a na výsledek průkazné závislosti měly vliv v minoritě zastoupené intenzivně hnojené stanoviště sírou (vyšší obsahy $S_{\text{vod.}}$ ve Sloupnici).

Analýza $S_{\text{vod.}}$ v půdě (voda a zemina v poměru 1 : 5) se ukazuje jako vhodná metoda s tendenčně vzestupným či významným vztahem k biologické dostupnosti síry. To potvrzují také práce Sýkory et al. (2003), Matuly, (2007, 2011) a Kulhánka et al. (2013). Z provedeného šetření je dále zřejmé, že ozimá pšenice byla schopna efektivně využívat vyšší obsahy síry v půdě, ve srovnání s ozimou řepkou, která využívala převážně nižší obsahy. Zde se ukazuje pravděpodobně vliv odlišné osvojovací schopnosti rostlin daná odlišnou strukturou a hloubkou kořenového systému. Ozimá řepka mohla mimo orniční část využívat zejména v druhé polovině vegetace síru z hlubších vrstev půdy, tedy mimo diagnostikovanou oblast.

V neposlední řadě byla hodnocena závislost mezi výživou rostlin dusíkem a sírou. Tento ukazatel se doplňkově využívá při diagnostice výživy. Z šetřeného vztahu v porostech ozimé řepky a ozimé pšenice je patrné, že závislost odběru dusíku a síry rostlinami byla statisticky (velmi) vysoce významná ($r = 0,69 - 0,99$). To vypovídá o skutečnosti, že s vyšším výživným stavem rostlin sírou se zvyšuje příjem dusíku rostlinami, což zjistil také Richter (2001a, 2004), Matula (2007, 2011), Hřivna (2012). Richter (2001a, 2004) zjistil, že každý 1 kg síry který limituje růst a vývoj rostlin, vede ke ztrátám 4 – 15 kg dusíku. Matula (2007, 2011) poukazuje při nedostatečné výživě sírou na kumulaci nitrátů (NO_3^-) v rostlinách, což vede ke snížené utilizaci dusíku. Z provedeného šetření v roce 2012 a 2013 vyplývá, že na 1 kg přijaté síry zároveň průměrný porost ozimé řepky přijal 7,6 – 8,2 kg dusíku v době květu. U porostu ozimé pšenice na 1 kg síry připadal příjem 10,9 – 12,7 kg dusíku v době metání. Je zřejmé, že meziroční intervaly vzájemného příjmu síry a dusíku v monitorovaných plodinách odpovídají rozmezí 4 – 15 kg dusíku na 1 kg síry uváděné Richterem (2001a, 2004). Kvantifikovaný příjem síry ozimou řepkou v období květu (BBCH 62 – 65) na monitorovaných stanovištích dosahoval v průměru 59 kg S/ha (35 – 105 kg S/ha). Porosty ozimé pšenice v průměru v období metání (BBCH 50 – 51) odebíraly 25 kg S/ha (13 – 60 kg S/ha). Maximální odběr síry byl u hybridních odrůd řepky na intenzivně sírou a dusíkem hnojených stanovištích, což koresponduje s šetřením Matuly (2007, 2011).

Doporučuji zemědělské praxi využívat komplexu výživářsko-výrobních diagnostických metod pro optimalizaci hnojení sírou a uplatňovat periodický monitoring, například metodou kontrolních stanovišť. Diagnostika výživy rostlin sírou stanovuje efektivní potřebnou dávku síry, určí optimální termín aplikace, a tím zvyšuje efektivitu a ekonomiku hnojení sírou a v případě použití dusíkatých hnojiv se sírou také vyšší efektivitu hnojení dusíkem. Při obvyklých cenách laboratorních analýz v ozimé řepce (2x půda a 3x rostliny) představuje diagnostika výživy sírou přímé náklady 1500 – 2000 Kč, což při uceleném pozemku o výměře 50 ha představuje náklady v rozmezí 30 – 40 Kč/ha. U ozimé pšenice při koncepci analýz 2x půda a 2x rostliny se náklady na diagnostiku pohybují v rozmezí 1200 – 1700 Kč, což představuje při 100 ha pozemku přímé náklady 12 – 17 Kč/ha. Cena síry na trhu s hnojivy se v granulovaném síranu amonném pohybuje okolo 28 Kč/kg S. To znamená, že například při pěstování 50 ha řepky počíná návratnost nákladů na diagnostiku výživy (30 – 40 Kč/ha) již při ušetření 1,1 – 1,4 kg S/ha tímto optimalizačním opatřením. U ozimé pšenice diagnostika výživy sírou je návratná již při ušetřené dávce 0,4 – 0,6 kg S/ha. Ekonomika diagnostických metod se ukazuje jako velice efektivní a s poměrně rychlou návratností, zejména v podobě ušetřené dávky síry, která se ukazuje optimální u ozimé řepky v rozmezí 20 – 40 kg S/ha a u ozimé pšenice při výnosu 7 t/ha a vyšší v rozmezí 20 – 30 kg S/ha.

Z ekologického hlediska diagnostika obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě eliminuje neefektivní hnojení sírou v půdách s vyšší zásobou $S_{\text{vod.}}$, které byly lokálně nacházeny po intenzivním organickém hnojení nebo na stanovištích poblíž zástaveb, zde pravděpodobně vlivem zvýšených imisí SO_2 . Určení zásoby $S_{\text{vod.}}$ v půdě před hnojením eliminuje možnost vyplavování síranů do spodních vod, které podle Matuly (2007) způsobují nežádoucí tzv. síranovou tvrdost pitných vod. Nedostatečná výživa rostlin sírou snižuje využití dusíku, a tím může v rostlinách stoupat nemetabolizovaný podíl nitrátů (NO_3^-), které jsou v rostlinných produktech škodlivé.

Doporučuji pro významný vztah k biologické dostupnosti síry využívat analýzy obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě (voda 1 : 5) s detekcí přístrojem ICP-OES. Analýzy nadzemních částí rostlin na obsah celkové síry ($S_{\text{tot.}}$) doporučuji provádět u celých rostlin (bez kořenů), pro vyšší vypovídací schopnost a možnost korekce výživy sírou podle úložné kapacity rostlin (sinku). Analýzy síry v rostlinách doplnit o analýzu dusíku pro stanovení harmonického poměru. Rovněž doporučuji odběr vzorků půd a rostlin pro účely optimalizace hnojení sírou provádět u řepky ozimé v období prodlužování až butonizace a u ozimé pšenice v období sloupkování až metání, tzn. v předstihu růstových fází hlavní metabolické potřeby síry. Výzkumu doporučuji pokračovat ve validaci diagnostických metod výživy rostlin sírou v kontextu s výnosem a kvalitou rostlinné produkce.

7 ZÁVĚR

Z provedeného dvouletého monitoringu síry ve výživě ozimé řepky a ozimé pšenice v provozních podmínkách východočeského regionu vyplývá:

Obsahy vodorozpustné síry ($S_{\text{vod.}}$) v půdě se pohybovaly na 60 – 70 % stanovišť po dobu vegetace ozimé řepky a ozimé pšenice v hladinách velmi malé zásoby (3,5 – 10,9 ppm):

- dynamika obsahu $S_{\text{vod.}}$ během vegetace byla ovlivněna minerálním hnojením dusíkatými hnojivy se sírou (síra jako SO_4^{2-}) v dávce 25 – 40 kg S/ha a intenzitou příjmu síry rostlinami,
- organické hnojení nemělo vliv na zvýšení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě během vegetace plodin. Výjimkou byla zaorávka řepkové slámy, která mineralizací zvyšovala v průměru o 3 ppm obsahy $S_{\text{vod.}}$ pod porosty ozimé pšenice v období sloupkování. Příznivě na obsah $S_{\text{vod.}}$ působilo v porostech řepky podzimní hnojení digestátem,
- půdy zpracovávané minimalizačními technologiemi (bez orby) vykazovaly o 3,5 ppm vyšší obsah $S_{\text{vod.}}$ pod řepkami a o 5,8 ppm pod pšenicemi ve srovnání s technologií orby,
- průběh počasí, zejména intenzivní květnové atmosférické srážky (100 – 140 mm), snižovaly u ozimé pšenice obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě (o 0,2 – 6,3 ppm) a poté výživný stav rostlin sírou o 0,6 – 6,3 t/ha výnosového potenciálu v období metání v roce 2013,
- pro výnos ozimé řepky nad 3,5 t/ha včetně postačoval obsah $S_{\text{vod.}}$ v půdě 9 ppm v období přízemní růžice až počátku prodlužování a 12 ppm v období butonizace. Pod porosty ozimé pšenice s výnosovou hladinou nad 7 t/ha včetně a obsahem dusíkatých látek v zrne nad 12,5 % postačovalo za vegetace udržovat 8 – 9 ppm $S_{\text{vod.}}$.

Výživa ozimé řepky a ozimé pšenice sírou nebyla limitující pro tvorbu odpovídajícího výnosu. V případech zjištěné nedostatečné výživy plodin sírou, nebyla přesto síra limitující, pro adekvátní výživu dusíkem nebo pro krátkodobý stav snížení výživného stavu vyvolaný extrémní počasí (přísušek a nadměrné srážky). Výživa rostlin dusíkem a sírou byla ve velmi těsné závislosti a síra byla limitující pouze v případech spolupůsobení s nedostatečnou výživou dusíkem nebo s ostatními vegetačními faktory:

- se stoupajícím odběrem síry porosty stoupala velmi významně utilizace dusíku v rostlinách. V průměru porosty ozimé řepky na přijatý 1 kg S přijímaly 7,6 – 8,2 kg dusíku v době květu a porosty ozimé pšenice 10,9 – 12,7 kg dusíku v době metání,
- výrazně limitující výživa sírou a dusíkem pro výnos 4 t/ha nastala u ozimé řepky při obsahu okolo 3,7 % N a 0,45 % S v sušině celých rostlin období butonizace. U ozimé

pšenice byla výživa sírou nedostatečná při obsahu 0,14 % S a současně při sníženém obsahu dusíku 2,2 % v době metání,

- výživný stav ozimé řepky pro výnos 4 t/ha se pohyboval podle hodnocení optimálního obsahu v růstové fázi BBCH 23 – 31 na 95 % optima, v BBCH 51 – 57 na 111 % optima a ve fázi BBCH 62 – 65 na 105 % optima. Ozimá řepka vykazovala nízký trend zředovací efektu obsahu síry s nárůstem sušiny, který odpovídal v monitorovaných obdobích dynamice $0,61 > 0,69 > 0,63$ % S,
- výživný stav ozimé pšenice pro výnos 7 t/ha se pohyboval podle diagnostické metody modelových výnosů ve růstové fázi BBCH 30 – 31 na úrovni 6,6 t/ha a ve fázi BBCH 50 – 51 na úrovni 4,2 t/ha. Ozimá pšenice vykazovala značný zředovací efekt síry mezi sloupkováním a metáním, který dosahoval 0,07 – 0,13 % S v sušině,
- výživa sírou se kladně podílela na akumulaci dusíkatých látek (NL) v zrně pšenice. Průkazně příznivě se výživa sírou podílela na tvorbě NL pouze při limitujících hladinách výživy rostlin dusíkem a sírou (3,2 t/ha modelového výnosu) v období metání roku 2013.

Použité diagnostické metody pro optimalizaci hnojení sírou nepodhodnocovaly výživu sírou a podaly dostatečné informace o výživném stavu v kontextu s dosaženým sklizňovým výnosem. Nejvíce signifikantní byly metody hodnocení výživného stavu k empirickému výnosu v období butonizace a květu ozimých řepok a u ozimých pšenic v období sloupkování a metání:

- pro dosažení výnosu semene 4 t/ha postačoval v růstové fázi BBCH 23 – 31 obsah 0,56 % S (88 % optima), v BBCH 51 – 57 obsah 0,60 % S (97 % optima) a v růstové fázi BBCH 62 – 65 obsah 0,55 % S (92 % optima). Zároveň deficitní porost řepky sírou (výnos 2,8 t/ha) spolehlivě indikoval doporučený poměr N : S do 10 : 1,
- u ozimé pšenice informovaly obsahové křivky výnosového potenciálu o 2,8 – 4,8x nižší výnosové úrovni, než byl empirický výnos. To bylo ovlivněno adekvátní výživou dusíkem, protože pšenice při kritických obsazích síry (0,16 – 0,20 % S) přesto dosahovala vysokých výnosů. Při dobré výživě dusíkem (4,3 % N ve sloupkování a 2,3 % N v metání) postačoval pro tvorbu výnosu 7 t/ha a vyšší obsah ve sloupkování 0,30 – 0,35 % S a v období metání 0,20 – 0,25 % S v sušině celých rostlin. Jako kritický obsah síry pro dosažení výnosu a min. 12,5 % NL v zrně lze označit 0,14 % S. Při disharmonii výživy rostlin dusíkem a sírou (N : S vyšší než 14 : 1) se vyskytovaly především nižší obsahy NL v zrně (12,1 – 12,9 %).

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Alpmann, L., Baranyk, P. (eds.). 2006. Řepka – plodina s budoucností. BASF. Landwirtschaftsverlag GmbH. Münster. 180 s.
- Baier, J., Baierová, V. 1985. Abeceda výživy rostlin a hnojení. SZN. Praha. 360 s.
- Baier, J., Smetánková, M., Baierová, V. 1988. Diagnostika výživy rostlin. IVV MZVŽ ČSR. Praha. 284 s.
- Balík, J. 1993. Základy výživy rostlin. IVVZMZe ČR. Praha. 36 s. ISBN: 80-7105-056-3.
- Balík, J. (ed.). 2007. Principy výživy a hnojení ozimé řepky. Power Print. Praha.
- Baranyk, P., Fábry, A. (eds.). 2007. Řepka – pěstování – využití – ekonomika. 1. vydání. Profi Press. Praha. 203 s. ISBN 978-80-86726-26-7.
- Blake-Kalff, M. A., Hawkesford, M. J., Zhao, F. J., McGrath S. P. 2000. Diagnosing sulfur deficienty in field-grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant and Soil. 225. 95-107.
- Bečka, D. (ed.). 2013. Řepka ozimá – inovace pěstitelské technologie. Certifikovaná metodika. ČZU. Praha. 44 s. ISBN 978-80-213-2382-7.
- Bergmann, W., Čumakov, A. 1977. Klúč na určovanie porúch vo výžive rastlín. Příroda Bratislava – VEB G. Fischer Verlag. Jena. 296 s.
- Brabenec, J. (ed.). 1977. Příroda Orlických hor a Podorlicka. Okresní muzeum Rychnov nad Kněžnou s Krajským muzeem Hradec Králové, SZN. Praha. 660 s.
- Černý, J., Kulháněk, M., Vašák, F., Shejbalová, Š. Nově o změnách obsahu síry v půdě [online]. Agroweb. Praha. 2012. (cit. 2013-11-18). Dostupné z: <http://old.agroweb.cz/Nove-o-zmenach-obsahu-siry-v-pude_s1674x59863.html>.
- Eriksen, J., Murphy, M. D., Schnug, E. 1998. The soil sulphur cycle. In: Sulphur in Agroecosystems (ed. E. Schnug). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London. 39-73.
- Freney, J.R., Spencer, K., Jones, M.B., 1978. The diagnosis of sulfur deficiency in wheat. Australian Journal of Agricultural Research. 29. 727–738.
- Freney, J.R., Williams, C.H. 1983. The Sulfur Cycle i Soil. In: Ivanov, M.V., Freney. J.R. (eds.). 1983. The Global Biochemical Sulphur Cycle. Comittee on Problems of the Environment (SCOPE). 129-201.
- Freney, J.R., 1986. Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils. In: Tabatabai, M. A., (ed.). Sulfur in Agriculture. Agronomy Monograph. 27. ASA-CSSA-SSSA. Madison.

- Dijkshoorn, W. 1962. Metabolit Regulation of the Alkaline Effect of Nitrate Utilization in Plants. *Nature*. 194. 165-167.
- Davidian, J.C., Kopriva, S. 2010. Regulation of Sulfate Uptake and Assimilation - the Same or Not the Same? *Molekular Plant*. Shanghai. Oxford University Press. 3. 314.
- De Bona, F.D., Monteiro, F.A., 2010. Nitrogen and sulfur fertilization and dynamics in a Brazilian Entisol under pasture. *Soil Science Society of America Journal*. 74. 1248–1258.
- Ghani, A., McLaren, R.G., Swift, R.S., 1991. Sulphur mineralisation in some New Zealand soils. *Biology and Fertility of Soils*. 11. 68–74.
- Hening, H. Darrell., S. 1992. Nitrogen and Sulfur Interaction Influences Net Photosynthesis and Vegetative Growth of Pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117. (1). 59-64.
- Hřivna, L. Výživa a hnojení porostů pšenice ozimé a kvalita produkce [on-line]. Šlechtitelské listy. 2012. Družstvo vlastníků odrůd. (cit. 2014-01-11). Dostupné z: <http://www.druvod.cz/files/aktuality/vyziva_a_hnojeni_porostu_psenice_ozime_a_kvalita_produkce.pdf>.
- Ivanov, M.V. 1981. The Global Biogeochemical Sulphur Cycle. Some Perspectives of the Major Biogeochemical Cycles. Gene E. Likens. *SCOPE*. 61-78.
- Janzen, H.H., Bettany, J.R. 1984. Sulfur nutrition of rapeseed: I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. *Soil Science Society of America Journal*. 48.100-107.
- Kulhánek, M., Balík, J., Černý, J. 2011. Změny obsahu a forem síry v půdách. In: Racionální použití hnojiv. Sborník ze 17. mezinárodní konference. ČZU. Praha. 27-31.
- Kulhánek, M., Balík, J., Vaněk, V., Pavlíková, D., Černý, J. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení. Certifikovaná metodika. ČZU. Praha. 26 s. ISBN: 978-80-213-2376-6.
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. 2007. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. VÚRV. Praha. 37 s. ISBN 978-80-87011-14-0.
- Matula, J. 1977. Výživa rostlin. 1. vydání. IVVMZVŽ ČSR. Praha. 181 s.
- Matula, J. 2001. Diagnostika výživného stavu síry v rostlinách. In: Racionální použití hnojiv. Sborník ze 7. mezinárodní konference. ČZU. Praha. 43-48. ISBN 80-213-0839-7.
- Matula, J. 2007. Výživa a hnojení sírou. VÚRV v ÚZPI. Praha. 39 s. ISBN 978-80-87011-15-7.

- Matula, J. 2011. Diagnostika výživného stavu rostlin sírou. In: Racionální použití hnojiv. Sborník ze 17. mezinárodní konference. ČZU. Praha. 48-57. ISBN 978-80-213-2224-0.
- McGrath, S. P., Zhao F.J. 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). Journal of Agricultural Science. 126. 53-62.
- Mráz, J. 2009. Listová výživa dokáže řešit problémy. Úroda. 57 (3). 80-81.
- Neuberg, J. (ed.). 1990. Komplexní metodika výživy rostlin. ÚVTIZ. Praha. 327 s.
- Schnug E., Haneklaus, S. 1998. Diagnosis of sulphur nutrition. In: Sulphur in Agroecosystems (ed. E. Schnug). Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Boston, London. 1-38.
- Scherer H. W. 2001. Sulphur in crop production – invited paper. European Journal of Agronomy. 14. 81-111.
- Spencer, K., Freney, J.R. 1980. Assessing the sulfur status of field grown wheat by plant analysis. Agronomy Journal. 72. 469–472.
- Sýkora, K., Balík, J., Kulháněk, M., Zitková, M. 2003. Vliv aplikace N-S hnojiv na výnos biomasy ozimé řepky a obsah mobilní síry v půdě. In: Výživa rostlin v trvale udržitelném zemědělství. Sborník referátů z mezinárodní konference. MZLU. Brno. 84-87. ISBN 80-7157-664-6.
- Pinkerton A. 1998. Critical sulphur concentrations in oilseed rape (*Brassica napus*) in relation to nitrogen supply and to plant age. Australian Journal of Experimental Agriculture. 38 (5). 511-522.
- Valenta, J. 2011. Sortiment hnojiv se sírou a její zdroje. In: Racionální použití hnojiv. Sborník ze 17. mezinárodní konference. ČZU. Praha. 48-57. ISBN 978-80-213-2224-0.
- Vaněk, V., Kolář, L., Štípek, K., Jakl, M. 2001. Úloha síry v rostlinách a její potřeba. In: Racionální použití hnojiv. Sborník ze 7. mezinárodní konference. ČZU. Praha. 27-34. ISBN 80-213-0839-7.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2002. Výživa a hnojení polních a zahradních plodin. 3. vydání. Vydavatelství Ing. Martin Sedláček. Praha. 132 s. ISBN 80-902413-7-9
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press. Praha. 176 s. ISBN: 976-80-86726-25-0.

- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. Výživa zahradních rostlin. 1. vydání. Academia. Praha. 570 s. ISBN 978-80-200-2147-2.
- Vašák, J. (ed.). 2000. Řepka. Agrospoj. Praha. 321 s.
- Weir, R. G. 1975. The oxidation of elemental sulfur and sulphides in soils. In: McLachlan K. D. (ed.). 1975. Sulfur in Australian Agriculture. Sydney Universit Press. Sydney. s. 40–49.
- Zimolka, J. (ed.). 2005. Pšenice, pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press. Praha. 179 s. ISBN: 80-86726-09-6.
- Hůnová, I., Hesoun, R., Kurfürst, P., Ostatnická, J., Stoklasová, P. Atmosférická depozice na území České republiky [on-line]. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 2013. (cit. 2013-11-10). Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr12cz/tab/t32.html>.
- Šebánek, J. (ed.). 1983. Fyziologie rostlin. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 560 s.
- Tabatabai, M.A. 1982. Sulfur. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.). Methods of soil analysis. Agronomy Monograph. 9. ASA and SSSA. Madison. 501–583.
- Timmermann, F., Kluge, R., Pflieger, A. 1995. Schwefel-Düngebedarfsermittlung anhand des N:S (min.) -Verhältnisses im Boden. VDLUFA-Schriftenreihe. 40. 303–306.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D., Havlin, J.L. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5th edition. Macmillan Publishing Company. New York. 634 s.
- Trčková, M., Raimanová, I., Svoboda, P. 2009. Listová výživa obilnin. VÚRV. Praha. 39 s. ISBN: 978-80-7427-030-7.
- Pavlíková, D., Vaněk, V., Pavlík, M., Kolář, L. 2011. Úloha síry v rostlinách a její potřeba pro rostliny. In: Racionální použití hnojiv. Sborník ze 17. mezinárodní konference. ČZU. Praha. 48-57. ISBN 978-80-213-2224-0.
- Richter, R., Hlušek, J. 1996. Průmyslová hnojiva, jejich vlastnosti a použití. IVVZMz ČR. Praha. 50 s. ISBN: 80-7105-121-7.
- Richter, R. 1997. Půdní úrodnost. IVVV MZe ČR. Praha. 36 s.
- Richter, R., Hřivna, L. 2000. Kvalitativní přihnojení ozimů. Agromagazín. 1 (6). s. 35-36. ISSN 1212-6667.
- Richter, R., Hřivna, L., Ryant, P., Šottníková, V. 2001a. Vliv síry na výnos a kvalitu zemědělských plodin. In: Racionální použití hnojiv. Sborník ze 7. mezinárodní konference. ČZU. Praha. 62-69. ISBN 80-213-0839-7.
- Richter, R., Hřivna, L., Cerkal, R. 2001b. Výživa a hnojení ozimé řepky. Brno. MZLU v Brně a SPZO Praha, 44 s.

- Richter, R., Hlušek, J. 2003. Půdní úrodnost. ÚZaPI. Praha. 44 s.
- Richter, R., Kubát, J. 2003. Organická hnojiva, jejich výroba a použití. ÚZPI. Praha. 56 s.
- Richter, R. Symptomy nedostatku a nadbytku síry [on-line]. Ústav agrochemie a výživy rostlin. MZLU. Brno. 2004. (cit. 2013-11-15). Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/ssymptomy.htm.
- Richter, R. Síra v půdě [on-line]. Ústav agrochemie a výživy rostlin. MZLU. Brno. 2007. (cit. 2013-11-18). Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_s.htm.
- Richter, R., Hřivna, L., Ryant, P., Hruža, M. 2010. Optimální výživný stav rostlin řepky je základem vysoké a kvalitní produkce. In: Sborník z konference Prosperující olejnice. s. 40-44.
- Vostal, J. 1994. Základy výživy a hnojení hlavních plodin. Agrofert. Praha. 94 s.
- Withers, P.J.A., Tytherleigh, A.R.J., O'Donnel F.M. 1995. Effect of sulfur fertilizers on the braun yield and sulphur kontent of cereals. Journal of Agricultural Science. 125. 317-324.
- Yang, Zhi-Hui., Stöven, K., Haneklaus, S., Singh, B.R., Schnug, E. 2010. Elemental Sulfur Oxidation by *Thiobacillus* spp. And Aerobic Heterotrophic Sulfur-Oxidizing Bacteria. Pedosphere. 20 (1). s. 71-70. ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P.
- Žalmanová, A. Analýza statkových a organických hnojiv [online]. ÚKZÚZ. 2010 (cit. 2011-11-29). Dostupné z: <http://www.ukzuz.cz/.../161872-7-Analyza+statkovych+a+organickych+hnojiv.pdf>.

Normy a zákony

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, v platném znění.

Ústní sdělení

Růžek, P. 2012. Dynamika N_{min} a S_{vod} v půdě v letech 2010 až 2011. Ruzyňský den výživy a agrotechniky. VÚRV Praha. 28. února 2012.

9 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť s porosty ozimé řepky monitorované v roce 2012
- Příloha č. 2: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť s porosty ozimé řepky monitorované v roce 2013
- Příloha č. 3: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť s porosty ozimé pšenice monitorované v roce 2012
- Příloha č. 4: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť s porosty ozimé pšenice monitorované v roce 2013
- Příloha č. 5: Průběh teploty a úhrn srážek podle jednotlivých měsíců v období srpen 2011 až srpen 2012
- Příloha č. 6: Průběh teploty a úhrn srážek podle jednotlivých měsíců v období září 2012 až srpen 2013
- Příloha č. 7: Fenologická stupnice ozimé řepky a ozimé pšenice (obilnin)

Příloha č. 1: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť s porosty ozimé řepky monitorované v roce 2012

Intenzita výroby	Stanoviště	Výměra (ha)	Nadm. výška (m)	Výrobní oblast/ podoblast	BPEJ (kód)	Půdní druh dle Nováka	pH/ CaCl ₂	Systém zpracování půdy	Odrůda		Meteostanice (nejbližší)
									Název	Typ	
Vyšší	Čistá 620	77,00	485	R5	52501	Písčitohlinitá	5,8	Minimalizace	Hornet	H	Svatý Jiří
	Čistá MS	38,00	450	R4	51400	Písčitohlinitá	6,4	minimalizace	Rohan	H	Svatý Jiří
	Opatovec	37,51	402	O1	74400	Písčitohlinitá	6,2	Orba	DK Exquisite	H	Svatý Jiří
	Dl. Třebová	24,00	386	O2	71400	Hlinitá	6,0	Orba	PR46W26	H	Žamberk
	Sloupnice	41,15	389	O1	51400	Písčitohlinitá	6,4	Minimalizace	PR46W26	H	Svatý Jiří
Střední	Č. Libchavy	23,20	412	O3	74310	Písčitohlinitá	5,9	Orba	PR46W26	H	Žamberk
	Vlkov	61,00	439	R4	51400	Písčitohlinitá	5,0	Orba	Ladoga	L	Svatý Jiří
	Horní Lipka	13,76	606	P1	83421	Písčitohlinitá	5,5	Orba	Buzz	L	Dolní Lipka
	Výprachtice	41,00	561	P1	83441	Písčitohlinitá	5,5	Orba	Goya	L	Žamberk
	Mistrovice	18,50	510	P1	83501	Písčitohlinitá	5,2	Orba	LG Dobrava	H	Žamberk
	Nekoř	18,16	555	O4	83441	Písčitohlinitá	5,7	Orba	PR45D03	H	Žamberk
Nižší	Třebařov	23,70	386	O3	54713	Hlinitá	5,7	Orba	Rohan	H	Svatý Jiří
	Lukavice ÚO	23,87	389	O4	75411	Jílovitohlinitá	6,1	Orba	LG Dobrava	H	Žamberk
	Lukavice RK	11,90	349	O3	72504	Písčitohlinitá	5,8	Orba	Goya	L	Žamberk

Pozn.: H = hybridní odrůda , L = liniová odrůda

Příloha č. 2: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť s porosty ozimé řepky monitorované v roce 2013

Intenzita výroby	Stanoviště	Výměra (ha)	Nadm. výška (m)	Výrobní oblast/ podoblast	BPEJ (kód)	Půdní druh dle Nováka	pH/ CaCl ₂	Systém zpracování půdy	Odrůda		Meteostanice (nejbližší)
									Název	Typ	
Vyšší	Čistá 632	57,90	419	R4	51400	Písčitohlinitá	5,7	Minimalizace	PX 104	H	Svatý Jiří
	Čistá PF	37,54	396	R4	51400	Písčitohlinitá	6,2	Minimalizace	PX 104	H	Svatý Jiří
	Sloupnice	9,74	380	O1	51400	Hlinitá	6,1	Minimalizace	DK Exquisite	H	Svatý Jiří
	Bučina	20,54	330	R1	31400	Hlinitá	6,8	Minimalizace	DK Exquisite	H	Svatý Jiří
	Dl. Třebová	33,00	448	O2	71401	Písčitohlinitá	5,8	Orba	DK Exquisite	H	Žamberk
	Opatovec	38,74	466	O1	51400	Písčitohlinitá	6,2	Orba	DK Exquisite	H	Žamberk
Střední	D. Dobrouč	28,50	407	O3	73041	Hlinitopísčitá	5,9	Orba	PR46W26	H	Žamberk
	Horní Lipka	7,71	594	P1	83421	Písčitohlinitá	5,5	Orba	Buzz	L	Dolní Lipka
	Trstěnice	31,43	507	R4	72504	Písčitohlinitá	5,8	Minimalizace	Artoga	H	Žamberk
	Vlkov	60,88	377	R3	51400	Hlinitá	6,5	Orba	Rohan	H	Svatý Jiří
Nižší	Nekoř	29,41	515	O4	85021	Jílovitohlinitá	5,7	Orba	PR45D03	H	Žamberk
	Líšnice	18,91	475	O4	83524	Písčitohlinitá	6,0	Orba	Ladoga	L	Žamberk
	Lukavice RK	14,76	357	O3	72514	Písčitohlinitá	6,7	Orba	PR45D03	H	Žamberk
	Kunvald	35,52	535	P1	83716	Písčitohlinitá	5,8	Minimalizace	Ontario	L	Žamberk

Pozn.: H = hybridní odrůda , L = liniová odrůda

Příloha č. 3: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť s porosty ozimé pšenice monitorované v roce 2012

Intenzita výroby	Stanoviště	Výměra (ha)	Nadm. výška (m)	Výrobní oblast/ podoblast	BPEJ (kód)	Půdní druh dle Nováka	pH/ CaCl ₂	Systém zpracování půdy	Odrůda		Meteostanice (nejbližší)
									Název	Jakost	
Vyšší	Čistá 690	39,00	505	R4	72501	Písčitohlinitá	6,1	Minimalizace	Akteur	E	Svatý Jiří
	Opatovec	14,59	456	O1	71400	Písčitohlinitá	5,5	Minimalizace	Ludwig	E	Svatý Jiří
	Sloupnice	37,07	394	O2	51100	Písčitohlinitá	6,1	Minimalizace	Genius	E	Svatý Jiří
Střední	Litomyšl	37,44	487	R3	72511	Písčitohlinitá	5,2	Minimalizace	Meritto	B	Svatý Jiří
	Řepníky	33,50	425	R5	51904	Hlinitá	6,4	Orba	Chevaliér	E	Svatý Jiří
	Vlkov	37,63	394	R4	51100	Písčitohlinitá	6,1	Orba	Bohemia	A	Svatý Jiří
Nižší	D. Újezd	101,00	456	R4	51400	Písčitohlinitá	5,9	Orba	Genius	E	Svatý Jiří
	Jenišovice	54,90	289	R2	33711	Jílovitohlinitá	6,4	Orba	Bohemia	A	Svatý Jiří
	Slatina u VM	13,14	320	O1	51100	Hlinitá	6,4	Orba	Bohemia	A	Svatý Jiří

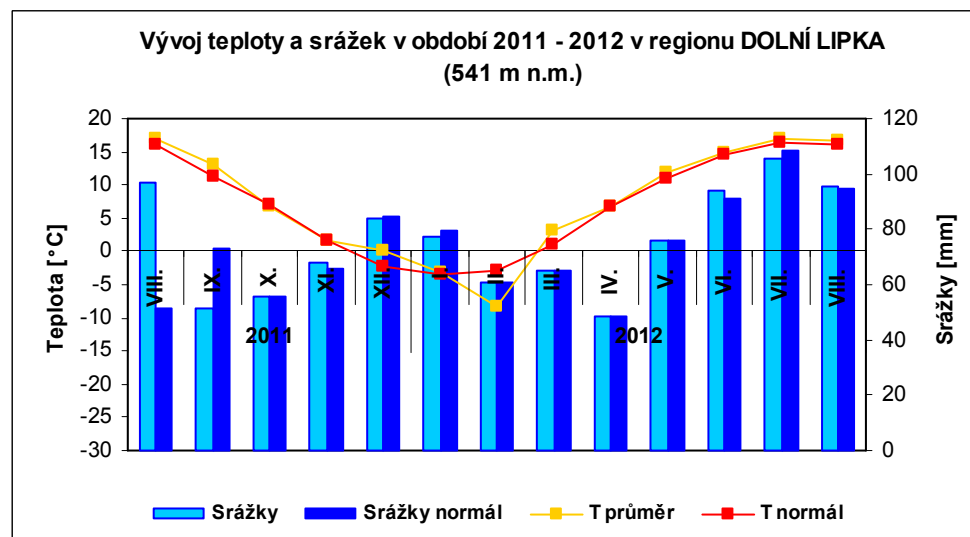
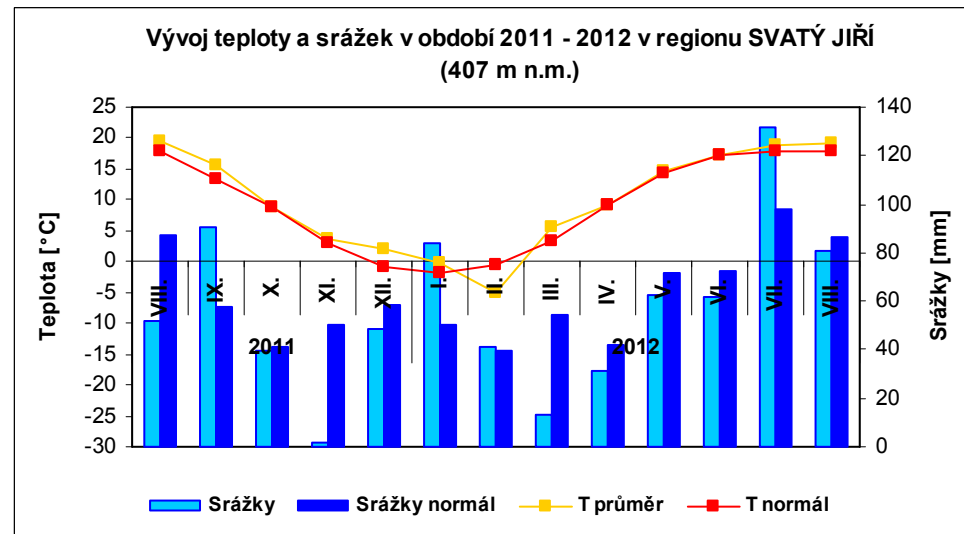
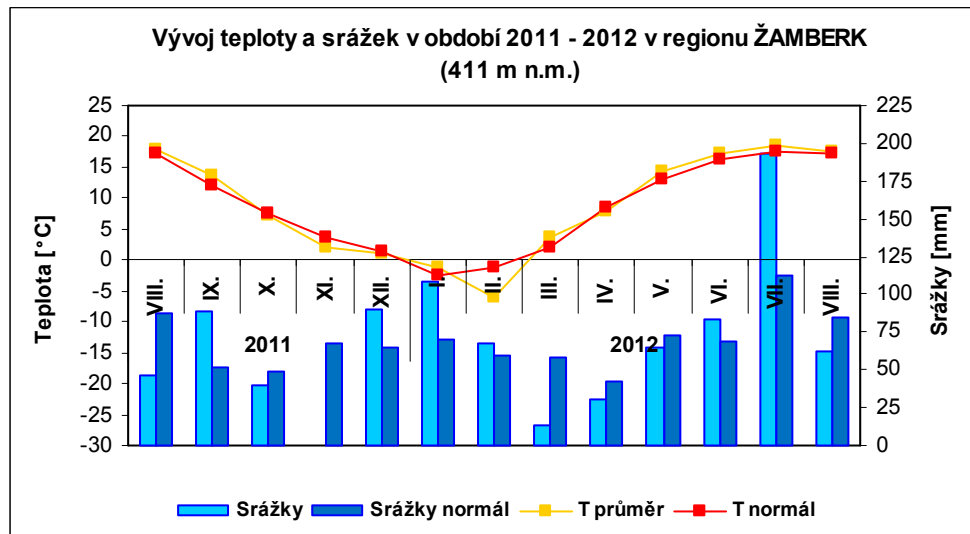
Pozn.: Kategorizace pekařské jakosti zrna pšenice: E = elitní (dříve: velmi dobré, zlepšující), A = kvalitní (dříve: dobré, samostatně zpracovatelné), B = chlebová (dříve: doplňkové, zpracovatelné ve směsi), C = nevhodná (nevhodné pro výrobu kynutých těst).

Příloha č. 4: Půdně-klimatická charakteristika kontrolních stanovišť s porosty ozimé pšenice monitorované v roce 2013

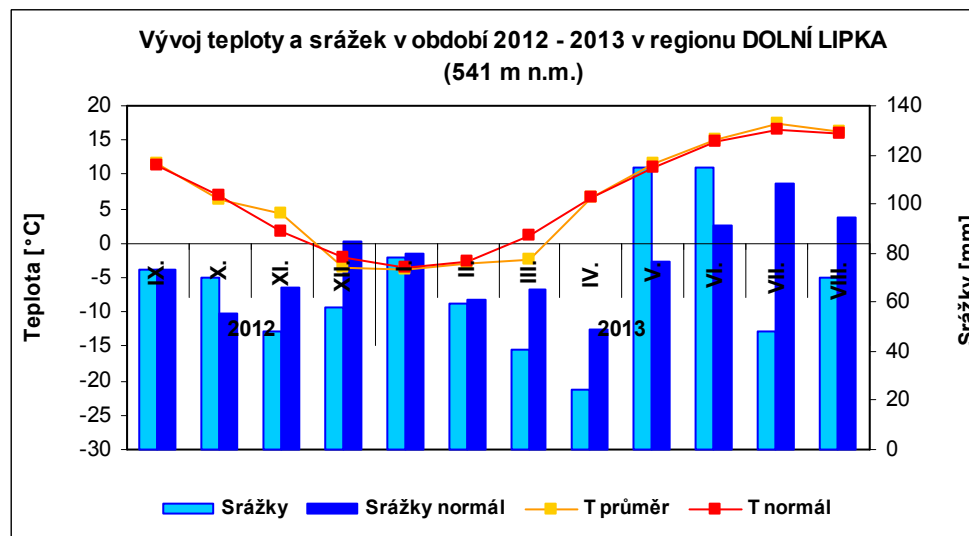
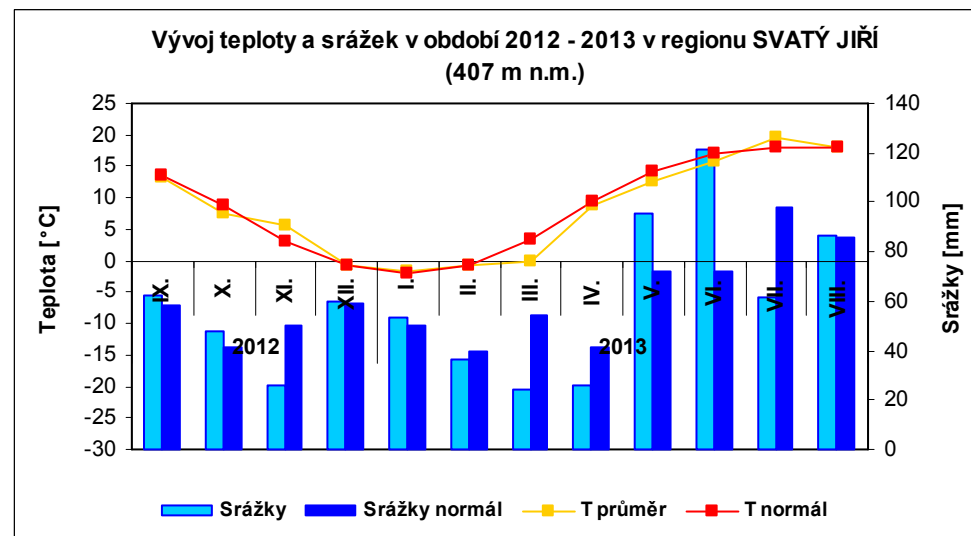
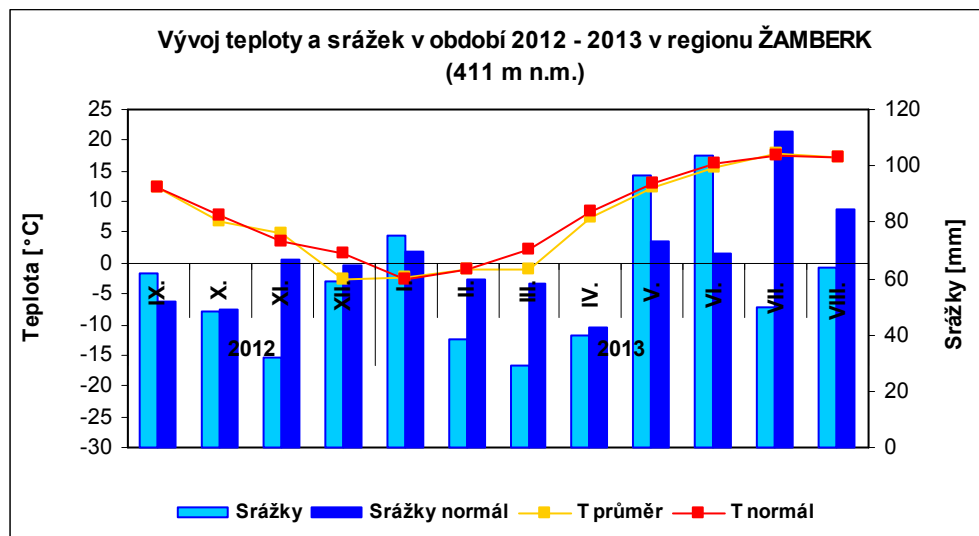
Intenzita výroby	Stanoviště	Výměra (ha)	Nadm. výška (m)	Výrobní oblast/ podoblast	BPEJ (kód)	Půdní druh dle Nováka	pH/ CaCl ₂	Systém zpracování půdy	Odrůda		Meteostanice (nejbližší)
									Název	Jakost	
Vyšší	Čistá 620	77,06	469	R5	52501	Písčitohlinitá	5,9	Minimalizace	Etela	C	Svatý Jiří
	Čistá 644	46,62	388	R4	54300	Písčitohlinitá	6,3	Minimalizace	Avenue	B	Svatý Jiří
	Opatovec	47,38	448	R4	55201	Písčitohlinitá	5,7	Minimalizace	JB Asano	A	Svatý Jiří
	Sloupnice	29,58	440	O2	72501	Písčitohlinitá	5,7	Minimalizace	Bodyček	A	Svatý Jiří
Střední	Řepníky	58,18	411	R5	51900	Hlinitá	6,6	Orba	Chevaliér	E	Svatý Jiří
	Litomyšl	13,52	309	R4	35800	Hlinitá	7,4	Orba	Seladon	B	Svatý Jiří
	Vlkov	100,89	439	R4	51400	Písčitohlinitá	5,3	Orba	Akteur	E	Svatý Jiří
Nižší	Třebařov	56,27	374	O1	75401	Jílovitohlinitá	5,9	Minimalizace	Bohemia	A	Svatý Jiří
	Leština	60,24	477	O3	52511	Hlinitá	6,3	Orba	Briliant	A	Svatý Jiří
	Přestavlky	41,62	336	O2	51400	Písčitohlinitá	6,2	Orba	Biscay	C	Žamberk

Pozn.: Kategorizace pekařské jakosti zrna pšenice: E = elitní (dříve: velmi dobré, zlepšující), A = kvalitní (dříve: dobré, samostatně zpracovatelné), B = chlebová (dříve: doplňkové, zpracovatelné ve směsi), C = nevhodná (nevhodné pro výrobu kynutých těst).

Příloha č. 5: Průběh teploty a úhrn srážek podle jednotlivých měsíců v období srpen 2011 až srpen 2012



Příloha č. 6: Průběh teploty a úhrn srážek podle jednotlivých měsíců v období září 2012 až srpen 2013



Příloha č. 7: Fenologická stupnice ozimé řepky a ozimé pšenice (obilnin)

Fenologická stupnice řepky olejné (BBCH)	Fenologická stupnice růstu obilnin (BBCH)
Klíčení 00 suché semeno 01 začátek bobtnání (absorpce vody) 03 konec bobtnání 05 klíční kořen vystoupil ze semene 07 hypokotyl s děložními listy protrhl osemení 08 hypokotyl s dělož. listy prorůstá k povrchu půdy Vzcházení 09 děložní listy pronikají nad povrch půdy 10 děložní listy plně vyvinuty 11 1. pravý list vyvinutý 12 2. pravý list vyvinutý 13 3. pravý list vyvinutý 14 4. pravý list vyvinutý 15 5. pravý list vyvinutý 19 9 a více listů vyvinuto 20 žádné výhony 21 počátek tvorby bočních výhonů, první boční výhon ● 23 3 boční výhony (větve) vytvořeny P 25 5 bočních výhonů (větví) vytvořeno P 29 konec vývoje bočních výhonů: 9 a více bočních větví Prodlužování (dlouhý růst) 30 počátek prodlužovacího růstu, žádná internodia (listová růžice) ● 31 1. internodium viditelné 33 3. internodium viditelné 35 5. internodium viditelné 39 9 a více internodií viditelných Butonizace 50 hlavní květenství již viditelné, těsně obklopené nejvyššími listy ● 51 hlavní květenství viditelné shora uprostřed nejvyšších listů P 52 hlavní květenství volné, stejné výše jako horní listy 53 květenství převyšuje horní listy 55 na hlavním květenství se oddělily jednotlivé květy (uzavřené) ● 57 jednotlivé květy sekundárních květenství viditelné (uzavřené) 59 první korunní plátky viditelné, květy ještě zavřené Kvetení 60 prvé otevřené květy 61 asi 10 % květů na hlavním stonku otevřeno, květní osa se prodlužuje ● 62 asi 20 % květů na hlavním stonku kvete 63 asi 30 % květů na hlavním stonku kvete ● 65 plné kvetení: asi 50 % květů na hlavním stonku otevřených, první korunní plátky již opadávají 67 dokvétání: velké množství korunních plátků opadlo 69 konec kvetení 71 asi 10 % šesulí dosáhlo druhově. resp. odrůdově specifické velikosti 73 asi 30 % šesulí dosáhlo druhově. resp. odrůdově specifické velikosti 79 téměř veškeré šesule dosáhly druhově, resp. odrůdově specifické velikosti Dále: Zrání šesulí, Odumírání rostlin	Klíčení 00 suchá obilka 01 začátek bobtnání (absorpce vody) 03 nabobtnaná obilka 05 viditelný primární kořen 07 objevení koleoptile 09 list právě u vršku koleoptile Vzcházení 10 . list vyrostlý z koleoptile 11 1. list vyvinutý 12 2. list vyvinutý 13 3. list vyvinutý 14 4. list vyvinutý 15 5. list vyvinutý 16 6. list vyvinutý 17 7. list vyvinutý 18 8. list vyvinutý 19 9. nebo více listů vyvinutých Odkořování 20 pouze hlavní stéblo 21 hlavní stéblo + 1 odnož 22 hlavní stéblo + 2 odnože 23 hlavní stéblo + 3 odnože 24 hlavní stéblo + 4 odnože 25 hlavní stéblo + 5 odnoží 26 hlavní stéblo + 6 odnoží 27 hlavní stéblo + 7 odnoží 28 hlavní stéblo + 8 odnoží 29 hlavní stéblo a 9 nebo více odnoží Sloupkování ● 30 Vzpřímení neprav. stébla, veg. vrchol o 1 cm P ● 31 1. kolénko hmatatelné P 32 2. kolénko hmatatelné 33 3. kolénko hmatatelné 34 4. kolénko hmatatelné 35 5. kolénko hmatatelné 36 6. kolénko hmatatelné 37 objevení posledního listu 39 objevení jazýčku posledního listu Naduření listové pochvy 41 objevení se pochvy posledního listu 43 začátek naduřování pochvy posledního listu 45 naduřelá pochva posledního listu 47 rozevřená pochva posledního listu 49 objevení osin Metání 51 První klásky klasu viditelné P 53 klasu vymetána 55 ½ klasu vymetána 57 ¾ klasu vymetány 59 celý klas vymetán Kvetení 61 začátek kvetení 65 plné kvetení 69 konec kvetení Dále: Mléčná zralost, Vosková zralost, Zrání

Pozn.: Stupnice uvedena pouze pro hlavní vývojové období, kdy je prováděna diagnostika výživy. Červeně vyznačené růstové fáze uvádějí rozpětí vhodných období odběru vzorků celých rostlin pro zjištění aktuálního výživného stavu. P = vhodné období pro odběr vzorků zemin pro stanovení obsahu $S_{\text{vod.}}$ v půdě ve vodném výluhu v poměru 1 : 5.