

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Přijatelný obsah síry pro ozimou řepku stanovený ve
výluhu Mehlich 3**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. David Srp, DiS.

**Obor studia: Ochrana a využívání přírodních zdrojů,
AMBKS 2**

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

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Přijatelný obsah síry pro ozimou řepku stanovený ve výluhu Mehlich 3" 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 10. dubna 2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Ondřeji Sedláři, Ph.D. za patřičné vedení diplomové práce. Diplomová práce byla vypracována s podporou projektu TJ01000454 Technologické agentury České republiky.

Přijatelný obsah síry pro ozimou řepku stanovený ve výluhu Mehlich 3

Souhrn. Ačkoli si řepka snadno osvojuje dostupné živiny z půdy, řadí se mezi náročné plodiny. Hlavní přijímanou formou síry pro ozimou řepku je anorganická síra v podobě sulfátů.

Cílem diplomové práce je navrhnout metodiku spolehlivého stanovení přijatelného obsahu síry v půdě za použití běžných extrakčních činidel, z níž by se v praxi vycházelo při určování potřeby hnojení řepky sírou.

Výzkumné hypotézy: Obsah síry v nadzemní biomase ozimé řepky koreluje s obsahem síry ve vodném výluhu a ve výluhu Mehlich 3. Vhodnost metody Mehlich 3 se dá očekávat na půdách s nižším obsahem organické hmoty. Za nižší hodnoty C_{ox} je v půdě vyšší podíl anorganické formy síry, která je využitelná rostlinou, oproti hůře využitelné organické formě. Příjem síry rostlinou je vhodné hodnotit poměrem N/S v nadzemní biomase ozimé řepky. Obsah sušiny v nadzemní biomase ozimé řepky koreluje s obsahem síry ve vodném výluhu a ve výluhu Mehlich 3.

Obsah síry ve výluhu Mehlich 3 koreloval pozitivně s obsahem síry ve vodném výluhu na půdách s obsahem C_{ox} 0,51 - 1,26 % velmi silně a na půdách s obsahem C_{ox} 1,48 – 1,83 % silně. Obsah sušiny v nadzemní biomase negativně koreluje s obsahem síry ve výluhu Mehlich 3 a vodném výluhu velmi slabě na půdách s obsahem C_{ox} 0,51 – 1,26 % a na půdách s obsahem C_{ox} 1,48 – 1,83 % slabě. Poměr N/S v nadzemní biomase negativně koreluje s obsahy síry ve výluhu Mehlich 3 slabě a vodném výluhu středně. Pozitivní středně silná korelace byla zaznamenána mezi obsahem síry v ozimé řepce a obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3. Byla prokázána vhodnost hodnotit příjem síry rostlinou za využití korelace obsahu síry z nadzemní biomasy s obsahem síry ve výluhu Mehlich 3. Tento vztah na půdách s obsahem C_{ox} 0,51 - 1,26 % je silný, ale na půdách s obsahem C_{ox} 1,48 – 1,83 % je slabý.

Klíčová slova: Mehlich 3, N/S, řepka, síra, vodný výluh.

Winter Rape Available Content of Sulphur Determined Using the Mehlich 3 Solution

Summary. Winter rapeseed is able to take available nutrients from soil very easily, however it is still classified as a high demanding crop. For effective intake and utilization, rapeseed needs sulphur to be in an inorganic form of sulphates.

The aim of this thesis is to suggest suitable methods for determining available content of sulphur in a soil by using common extraction chemical agents. This methods can be used for routine analysis to determine the needs of sulphur before fertilization.

Hypothesis: The sulphur content in the shoot biomass of the winter rapeseed correlates with sulphur content in the water infusion and the infusion of Mehlich 3. The efficiency of the method using Mehlich 3 is likely to be expected when analysing soil with lower organic content expressed as a content of oxidizable carbon (C_{ox}). When the C_{ox} value is lower, the ratio of inorganic sulphur is higher, so it becomes more available for the plant. On the contrary, the organic sulphur is less utilizable than inorganic. The sulphur intake can be well evaluated by the N/S ratio in the shoot biomass of the winter rapeseed. The dry matter in the shoot biomass correlate with the sulphur content in the water infusion and in the Mehlich 3 infusion.

The sulphur content in the Mehlich 3 infusion correlated positively with the sulphur content in the water infusion. Very strong correlation was observed when the C_{ox} ranged from 0,51 – 1,26 % and strong correlation when C_{ox} was 1,48 – 1,83 %. The dry matter in the shoot biomass correlated negatively with the sulphur content in the Mehlich 3 infusion and water infusion. A very weak correlation was shown when C_{ox} ranged from 0,51 – 1,26 % and a weak correlation when C_{ox} was 1,48 – 1,83 %. The N/S ratio in the shoot biomass correlated negatively with soil sulphur content - weakly in Mehlich 3 infusion and medium in water infusion. Positive, medium correlation was observed between the shoot sulphur content of the winter rapeseed and sulphur content determined by Mehlich 3 infusion. Evaluation of the sulphur intake by the plant using correlation between the sulphur content and the Mehlich 3 infusion content proved to be effective enough. This relationship is strong when C_{ox} content is 0,51 – 1,26 % and weak if the C_{ox} ranges from 1,48 to 1,83 %.

Key words: Mehlich 3, N/S, rapeseed, sulphur, water infusion.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl a hypotézy	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Řepka	3
3.1.1	Historie pěstování	3
3.1.2	Popis ozimé řepky.....	4
3.2	Výživa a hnojení.....	6
3.2.1	Půdní a klimatické podmínky pěstování řepky	6
3.2.2	Půda	7
3.2.3	Nároky řepky na výživu	7
3.3	Koloběh síry	10
3.3.1	Obsah síry.....	10
3.4	Výživa a hnojení sírou	11
3.4.1	Síra v rostlině.....	12
3.4.2	Síra v půdě.....	13
3.4.3	Deficience sírou.....	15
3.4.4	Hnojení.....	16

3.4.5	Mineralizace a imobilizace síry v půdě	16
3.4.6	Výživný stav rostlin sírou	17
3.4.7	Poměr N/S v nadzemní biomase řepky	19
3.4.8	Víceúčelové půdní testy	20
3.4.8.1	Mehlich 3	21
4	Metodika	22
5	Výsledky	23
6	Diskuze	38
7	Závěr	41
8	Seznam použité literatury	42

1 Úvod

Řepka patří mezi desátou nejvýznamnější plodinu světa a druhou z deseti nejvýznamnějších olejnin ve světové produkci. Ačkoli si řepka snadno osvojuje dostupné živiny z půdy, je na spotřebu živin dvakrát až třikrát náročnější než obiloviny. Síra je desátým nejhojnějším prvkem v biomase. Ozimá řepka potřebuje nejvíce síry pro svou výživu v prvním měsíci jarního růstu. Nárok příjmu rostlinou je 30 – 100 kg síry/ha. Příjem síry rostlinou probíhá časově úměrně s nárůstem sušiny. Pro optimální růst rostliny je potřeba aplikace 15 - 60 kg síry/ha ve formě sulfátů. Síra je potřebná pro efektivní využití dusíku v metabolismu rostliny. Síra je nezbytnou součástí pro syntézu aminokyselin a glukosinolátů.

Kořen přijímá síru nejvíce v anorganické podobě, ale je schopný využít i organickou formu. Síra se přijímá do určité míry pasivním způsobem přes buněčnou stěnu, ale hlavní forma příjmu přes membránu je pomocí nosičů. Přístupnost síry rostlinami je ovlivněna obsahem půdní organické hmoty.

Důležitým parametrem pro posouzení deficitního množství síry v plodině je poměr N/S. Optimální hodnota poměru je 7 až 10, kritická hodnota je nižší než 6. Síra a dusík jsou metabolicky propojeny. Půdní testy poskytují informace pro preventivní korekci výživného stavu půdy a tím poskytnutí optimálního výnosu plodiny. Půdní test Mehlich 3 je úsporný způsob vyhodnocení biologické dostupnosti síry v půdách.

2 Cíl a hypotézy

Cílem diplomové práce je navrhnout metodiku spolehlivého stanovení přijatelného obsahu síry v půdě za použití běžných extrakčních činidel, z níž by se v praxi vycházelo při určování potřeby hnojení řepky sírou.

Výzkumné hypotézy:

- Obsah síry v nadzemní biomase ozimé řepky koreluje s obsahem síry ve vodném výluhu a ve výluhu Mehlich 3.
- Vhodnost metody Mehlich 3 se dá očekávat na půdách s nižším obsahem organické hmoty.
- Za nižší hodnoty C_{ox} je v půdě vyšší podíl anorganické formy síry, která je využitelná rostlinou, oproti hůře využitelné organické formě.
- Příjem síry rostlinou je vhodné hodnotit poměrem N/S v nadzemní biomase ozimé řepky.
- Obsah sušiny v nadzemní biomase ozimé řepky koreluje s obsahem síry ve vodném výluhu a ve výluhu Mehlich 3.

3 Literární rešerše

3.1 Řepka

Řepka olejná je z rodu brukev a patří do čeledi brukvovitých. Do této čeledi dále náleží 170 rodů a celkem asi 2000 druhů. Řepka nemá planého předka. Jedná se o fylogeneticky velmi mladý, značně proměnlivý a vitální druh. Rod brukev se skládá z 50 druhů. Řepka se ve světě pěstuje ve dvou poddruzích a to jako brukev řepka olejka nebo brukev řepka tuřínkolník. Řepka se pěstuje ve dvou formách a to jarní a ozimé (Vašák et al. 2000).

V současné době je v celé oblasti mírného pásma, řadí se mezi deset nejvýznamnějších plodin světa (Vašák et al. 2000) a mezi druhou nejvýznamnější olejninu z deseti ve světové produkci. Jedná se o sójové boby, řepkové semeno, bavlníkové semeno, slunečnicové semeno, podzemnici olejnou, palmová jádra, kopra, sezam, len, skočec (Baranyk et al. 2010). Jarní forma řepky se pěstuje v Indickém subkontinentu, Číně, západní Sibíři, evropské oblasti od řeky Dněpru po Britské ostrovy, v Severní Americe, Argentině, severní Africe, Austrálii. Ozimá forma řepky má menší rozšíření, a to zejména v oblasti střední a západní Evropy (Vašák et al. 2000).

Vlivem šlechtitelského pokroku prošla řepka kvalitativní změnou. Proběhl značný posun ve snížení obsahu nežádoucích látek, jako jsou glukosinoláty (GSL) ve šrotu a dále kyseliny erukové (KE) v oleji (Prugar et al. 2008).

Největším producentem řepkového semene v současnosti jsou státy EU, takzvané EU 27. Následuje je Čína a Kanada (Baranyk et al. 2010).

3.1.1 Historie pěstování

Na našem území se předpokládá pěstování řepky již v 8. – 10. století, jedná se o dobu přílohového hospodářství. Jednalo se však o využití semen plodiny pro výrobu olejů na svícení a mazání nebo pro mydlářství. Potravinářské využití rostliny se zavedlo koncem 18. století v Rakousku-Uhersku, které má kořeny z Nizozemí. V českých zemích se pěstování ujalo v období 1820-1839 (Beranová 1980). Významné rozšíření pěstování řepky na našem území lze datovat do roku 1944 vlivem úpadku živočišné výroby. Od roku 1970 se využívá pěstování výsevem do úzkých řádků. Pokrokem pěstování byl nástup selektivního herbicidu. Od roku 1974 se šíří ozimé formy řepky. V roce 1990 se řepka

uplatňuje i v oblasti energetiky jako energetická plodina. Od roku 2000 se stává nejvýznamnější exportní komoditou rostlinné výroby České republiky (Vašák et al. 2000). Dle Prugara et al. (2008) je osevní plocha pro ozimou řepku na území České Republiky na hranici 300 tisíc hektarů a do roku 2020 dosáhne 400 tisíc hektarů. Liška (2017) zmiňuje, že na území České Republiky byla osevní plocha pro ozimou řepku v období 2017/2018 celkem 394,3 tisíc hektarů a v období 2016/2017 bylo 393 tisíc hektarů.

3.1.2 Popis ozimé řepky

V podmínkách naší krajiny má plodina vegetační období v rozmezí 300 až 340 dnů. Průměr tohoto období se pohybuje mezi 320 až 330 dny. Lze najít vegetační období, které trvá celý kalendářní rok. Toto vegetační období je výjimečné s ohledem na nadmořskou výšku, která musí být vyšší než 600 metrů nad mořem. Řepka vytváří křovitý kořen (Baranyk et al. 2007). Kořen má menší množství vláskových kořínků a směrem vzhůru mohutní jeho tvar (Fábry et al. 1992). Přibližná hodnota kořenů v orniční vrstvě je 80 až 90 %. Zbylá část se nachází v hlubší vrstvě od 22 do 45 cm. Hloubka zakořeňování je v rozmezí od 110 do 175 cm. Ozimá řepka prochází během vegetace dvěma fázemi: v podzimní fázi vytváří listovou růžici, jedná se o fázi vegetativní, v jarní fázi prodlužovací nebo také rychlého růstu, jedná se o fázi generativní. Richter & Hřivna (2001) uvádí, obsah živin v sušině rostlin ozimé řepky podle fáze růstu (tabulka č. 2). Výška lodyhy se pohybuje mezi 120 až 220 cm. Nejčastěji nacházíme lodyhu v délce 140 až 160 cm. Na lodyze vyrůstá v úžlabí lyrovitých listů 6 až 8 větví prvního řádu. Tyto větve se následně dále větví. Plodina má dvouřadé šešule, které zpravidla obsahují 15 až 20 tmavě zbarvených semen. Vyskytují se i čtyřřadé šešule a šešule se 40 až 50 semen (Baranyk et al. 2007). Vašák et al. (2000) uvádí, v jakých vývojových fázích by se měl porost ozimé řepky nacházet z hlediska přezimování (tabulka č. 1). Tradiční řepka má plášť semen černý, ale vyskytují se i druhy řepky s pláštěm žlutozeleným. Ty mají tenčí osemení a obsahují vyšší hodnoty oleje a bílkovin (Dunford 2012). Kvetení probíhá celé v květu a trvá 20 až 25 dnů. Řepka ozimá je typickou dlouhodobní rostlinou, pro jejíž jarovizaci je vhodnější krátký den. Jarovizace u mladých rostlin probíhá 30 až 60 dní v teplotním rozmezí +2 až +8 °C (Baranyk et al. 2007).

Tabulka č. 1 – Vztah vývoje vzrostného vrcholu k přezimování a výnosu semen (Vašák et al. 2000).

Období stanovení	Etapa	Vyhodnocení
před nástupem zimy	1 - 3	opožděný výsev, nízký výnos semen, nejisté přezimování
(prosinec)	4 - 6	dobré přezimování i výnos
	7 - 8	nebezpečí vyzimování, výnosově nejisté
předjaří	3 - 4	výnosově slabý porost, poškození návratem nízkých teplot nepravděpodobné
(10. - 20. března)	6 - 8	dobry výnosový předpoklad, možnost poškození nízkými teplotami -4 až -5 °C
	9 - 10	Dobry výnosový předpoklad, silné nebezpečí poškození nízkými teplotami -4 až -5 °C

Tabulka č. 2 – Obsah živin v sušině rostlin ozimé řepky (Richter & Hřivna 2001).

Fáze růstu	Biomasa sušiny (t/ha)	%					
		N	P	K	Ca	Mg	S
podzim	1,0	4,2	0,39	3,80	2,00	0,20	0,45
jarní regenerace	2,5	4,8	0,48	2,90	1,60	0,18	0,50
butonizace	5,5	4,9	0,50	3,60	1,90	0,18	0,60
kvetení	10,0	4,2	0,46	3,00	1,60	0,15	0,50
nasazení šešulí	18,0	2,0	0,34	2,10	1,50	0,11	0,45
semena - sklizeň	3,0	3,3	0,60	0,82	0,50	0,25	0,25

Podle Zelený & Zelená (2000) se v biomase sušiny nachází síra v rozmezí 0,1 - 0,5 % v závislosti na růstové fázi. Richter & Hřivna (1998) zmiňují, že v době kvetení musí v rostlině být více než 0,3 % síry, aby nedošlo k deficienci síry.

Semeno rostliny má různé chemické složení ve svých částech. Osemení je tvořeno z více vrstev a z hmotnosti semene zaujímá od 12 do 16 %. Obsahuje 9 až 16 % oleje, 15 až 18 % bílkovin a vysoký obsah polysacharidů až 34 % přičemž spodní hranice je 31 % jedná se především o surovou vlákninu. Zbylé části semene, dělohy a embrya obsahují

celkem 45 až 47 % oleje, 28 až 30 % bílkovin a 3 % surové vlákniny. Rostlinné lipidy se zejména skládají z triglyceridické frakce od 95 do 98 %. Složení mastných kyselin frakce charakterizuje kvalitu rostlinného oleje. Charakteristickou mastnou kyselinou je eruková, olejová (10 až 25 %), linolová (10 až 20 %), linoleová (7 až 11 %) a eikosanová (5 až 10 %). Zralé řepkové semeno obsahuje nepatrné množství chlorofylu a odpovídající množství pigmentu. Bílkoviny má semeno průměrně 25 %. Jedná se o proteiny bez katalytické funkce a menšího množství proteinů, které tvoří základ orgánů. Semeno obsahuje i proteiny s katalytickou aktivitou. Jedná se o lipázu, lipoxygenázu a tyrozinázu. V semeně řepky se nachází 6 bazických proteinů, 20 slabě alkalických a 20 neutrálních (Fábry et al. 1992).

3.2 Výživa a hnojení

3.2.1 Půdní a klimatické podmínky pěstování řepky

Využití určitých prvků, kterými se hnojí plodina, je přímo závislé na hustotě porostu. Vašák et al. (2000) zmiňuje 60 jedinců na 1 m², ale zato Bečka (2013) uplatňuje pro efektivní využití dávky dusíku hustotu 20 - 40 jedinců na 1 m². Při této hustotě lze využít vyšší dávku dusíku nad 180 kg dusíku/ha. Dobře nahnojená plodina zvyšuje efektivitu i pro další vstupy při pěstování řepky. Jedná se především o listová hnojiva, fungicidy, stimulanty. Důležité pro význam výživy a hnojení je optimální přizpůsobení pěstitelské technologie i odrůdy (Bečka 2013).

Růst kořenů probíhá i během podzimu a zimy. Proto toto období nemůžeme chápat, jako klidové. Mikšík (2000) sledoval během svých pokusů přírůstek kořenů během zimy v průměru o 44 % a zjistil, že je dobré podporovat kořenový systém plodiny. Stav porostu před příchodem zimy je jedním z faktorů pro dosažení vysokého výnosu (Mikšík 2000).

Pro řepku existují dva limitující faktory. Jedná se o dostatek vláhy v letním období a průběh počasí v zimním období. Roční průměrná teplota stanoviště by se měla pohybovat mezi 7 až 9 °C a průměrný úhrn srážek od 450 do 700 mm. Teplota a úhrn srážek mají vliv na množství a kvalitu oleje v semenech (Vašák et al. 2000).

3.2.2 Půda

Nejvhodnější půdou pro pěstování plodiny jsou provzdušněné, hluboké, kapilárně aktivní hlinité, písčitohlinité až hlinitopísčité půdy. Obsah humusu by se měl pohybovat nad 1,5 %. Další podmínkou je dobrá zásoba hořčíku, fosforu, draslíku, boru a neutrální až slabě kyselá půdní reakce. Velmi vysoký obsah draslíku a boru v půdě může být pro řepku škodlivý. Řepka je tolerantní plodinou i k jiným typům půd, ovšem podmínkou je dostatečně hnojená plocha (Vašák et al. 2000).

Půdu pro schopnost stabilního výnosu musíme připravit podle několika faktorů. Již při předplodině počítáme s úpravou pH pomocí vápenatých, draselných a fosforečných hnojiv. Hnojení statkovými hnojivy přímo, ale lepší metodou je k předplodině. Dalším významným faktorem je ponechání organických zbytků z předplodiny nebo opačně odstranění. V těsné návaznosti jsou i fyzikální vlastnosti půdy a průběh počasí v daném roce (Vašák et al. 2000).

Vašák (2000) zmiňuje podmínky pro řepku neutrální až slabě kyselé půdní reakce zato Baranyk et al. (2007) hovoří o neutrální až slabě alkalické půdě. Richter & Hřivna (2001) zmiňuje nejkvalitnější půdu pro ozimou řepku s pH 6 až 7,2. Při kyselejších půdách je dle Baranyka et al. (2007) podmínkou zlepšení poměru vody a vzduchu v půdě a úprava půdní reakce, která se provádí obohacením půdy organickým substrátem. I při zvýšení pěstitelské úrovně a výkonné zemědělské technice se stále řepka nedá pěstovat na extrémně těžké, zamokřené, písčité a skeletové půdě (Vašák et al. 2000).

3.2.3 Nároky řepky na výživu

Rostlina řepky si snadno osvojuje dostupné živiny z půdy. I při srovnání velikosti kořenového systému s jinými plodinami, kde může být rozdíl až jedna polovina. Tento rozdíl je třeba u pšenice, kde řepka zaujímá jen polovinu kořenového systému oproti pšenici. Nejvýznamnější je rozdíl v příjmu živin, zejména v případě fosforu (Baranyk et al. 2007).

Řepka se nároky na živiny pro tvorbu kvalitního výnosu řadí mezi náročné plodiny (Fábry et al. 1992). Baranyk et al. (2007) zmiňuje, že řepka se řadí mezi velmi náročné plodiny na spotřebu živin. Fábry et al. (1992) poukazuje na to, že řepka je dvakrát až třikrát náročnější než obilniny. Ovšem při této náročnosti je schopna určité množství do půdy vracet v podobě posklizňových zbytků (Fábry et al. 1992).

Největší dynamiku odběru živin můžeme připisovat k 60. dni a 180. dni, kdy dochází k nárůstu potřeby hlavních živin. Vašák et al. (2000); Richter & Hřivna (2001); Baranyk et al. (2010) uvádí, nároky řepky na živiny (tabulka č. 3). Hnojení je rozdělené do dvou období a to, jako podzimní hnojení a jarní hnojení (Vašák et al. 2000).

Tabulka č. 3 – Nároky řepky na živiny (Vašák et al. 2000; Richter & Hřivna 2001; Baranyk et al. 2010).

Živina	Potřeba živiny v přepočtu na 1 t výnosu semene (kg)
draslík	40,0 - 57,0
dusík	50,0 - 60,0
vápník	50,0
síra	18,0
fosfor	11,5
hořčík	7,0
mangan	0,170
bór	0,100
molybden	0,005
železo	0,140 - 0,170
zinek	0,060 - 0,080
měď	0,018 - 0,025

Dle Vašáka et al. (2000) je žádoucí zajištění výnosu semen řepky ozimé nad 4 t/ha. Avšak můžeme zmínit ty nejdůležitější vstupy, které se týkají hnojiv. Při setí v zimě se jedná o úrodnost půdy, které docílíme vyhnojením několika prvků, a to 60 kg fosforu, 200 kg draslíku, 20 kg hořčíku na 1 ha. Výživa sírou se provádí ve formě hydrosulfanu a nebo síranu amonného. Výživa dusíkem na podzim se provádí 20 kg dusíku před setím. Na jaře je přihnojováno dávkou 200 až 220 kg dusíku na 1 ha. Tato dávka se aplikuje ve 4 fázích: při regeneraci kořenů, regeneraci listů, začátek prodlužování a fáze žlutého poupěte. Listová výživa prvky: bor, hořčík, síra je prováděná přípravky Campofort B (Hycol, Wuxal), (Vašák et al. 2000).

Hlavním cílem základního hnojení je doplnit zásoby živin v půdě. U dusíku nelze vytvářet dlouhodobou zásobu minerálního dusíku v půdě, aby nedošlo k jeho nežádoucím dopadům. Nežádoucím dopadem se rozumí ztráta dusíku v půdě, nadměrná zátěž životního prostředí zejména vod a atmosféry, překročení fyziologické koncentrace pro rostliny. Následně nežádoucím dopadem může být i narušení rovnováhy mikrobiologických přeměn uhlík-dusík v půdě (Baranyk et al. 2010).

Z organických hnojiv se využívá kejda nebo kvalitní neslamnatý hnůj. Hnůj ovšem ovlivňuje kapilaritu půdy, proto se využívá především kejdy nebo hnoje, ale pouze při hnojení k předplodině. U hnojení chlévským hnojem se počítá s působením 3 až 5 let. Kejda se využívá všech typů. Tedy lze využít kejdu skotu, prasat i drůbeže. Využívá se před setím nebo během vegetace. Při aplikaci kejdy vzhledem k charakteristice povrchové vrstvy listů rostliny nedochází k popálení (Baranyk et al. 2007).

Hnojení dusíkem probíhá před setím jen u chudých půd. U půd, které mají méně než 10 mg N/kg v minerální formě dusíku. Jedná se o sumu NO_3^- a NH_4^+ . V tomto případě se hnojí průmyslovým hnojivem před setím až 30 kg N/ha. Z průmyslových hnojiv se využívá NP-hnojiva. Jedná se o Amofos-fosforečnany amonné, NP hnojiva s bórem, NPK-hnojiva, síran amonný a močovinu. Aplikace dusíku před setím má udržet optimální vývoj listového pokryvu v podzimním růstu. Jedná se o předpoklad k růstu silného kořenového krčku a k následné optimální přípravě k přezimování dané plodiny. Rozvoj listového pokryvu řepky brání i rozvoj plevelů (Baranyk et al. 2010).

Hlavní zásoba dusíku v půdě je součástí organické hmoty. Tato hmota je neustále přeměňována půdní mikroflórou. Biologická mineralizace organické hmoty je významným producentem minerálních forem dusíku. Proto, efektivní aplikace minerálních hnojiv N-hnojiv musí být směřována k saturaci aktuální potřeby rostliny. V úvahu se musí hodnotit

podmínky migrace minerálních forem dusíku do oblasti kořenů, kde je faktorem stav půdní vláhly (Vašák et al. 2000).

Efektivní hnojení hlavními živinami: fosfor, draslík, hořčík, síra je nutné v souladu se znalostí výživného stavu půdy. Nerespektování výživného stavu půdy můžeme ve spojení s jednostranným hnojením dusíku dojít až k devastaci úrodnosti půd. Dusík má vliv na zesilující příjem ostatních živin z půdy danou plodinou (Richter & Hřivna 2001).

3.3 Koloběh síry

V dřívějších fázích vývoje planety zemské sféry byly geochemické pochody. Geochemické procesy měly jednosměrnou povahu. Následně je vystřídaly současné procesy globálního metabolismu. Jedná se o procesy, které představují velký koloběh hmoty v přírodě. Globální látková výměna se chová jako rovnovážný stav. Změny tohoto stavu jsou malé, pomalé a periodického charakteru. Pohyby látek jsou navzájem propojeny a tvoří uzavřené biochemické cykly (Moldan 1983).

3.3.1 Obsah síry

Síra v litosféře, jako sféře hornin, je obsažena v zemské kůře hodnotou hmotnostní koncentrace 0,078 % oproti hodnotě v sedimentech 0,49 %. Je to dáno tím, že v sedimentech jsou obsaženy organické látky a zbytky organismů. Obsah síry se nachází v podobě $\text{SO}_4^{2-} - \text{S}$ i v roztoku při transportu látek řekami do oceánu (Garrels & Mackenzie 1975). Podle Garrels & Mackenzie (1975) se jedná o jednotku $1,3 \cdot 10^{14}$ g/rok. Transport řekami se dle výsledků Garrels & Mackenzie (1975) podílí na transportu látkami v sedimentárním cyklu z 89 %. V půdě se nachází Síra v hodnotě 200 ppm v průměru v České republice a ve světě na hodnotě 850 ppm v průměru. Ve vodních zdrojích je typický obsah SO_4^{2-} pro mořské vody ve zvýšené koncentraci. Ve vodách je koncentrace rozpuštěných látek udávané v mg/l. Pro síru je koncentrace v mořské vodě 880 mg/l oproti tokům 5,6 mg/l (Moldan 1983). Podle Garrelse & Mackenzieho (1975) síra setrvává v oceánu po dobu $2,2 \cdot 10^7$ let. Zato Holland (1978) udává dobu setrvání, jako $7,9 \cdot 10^6$. Moldana (1983) udává, že srážková voda bez započítání prашného spadu obsahuje síru v podobě SO_4^{2-} v koncentraci 1,9 mg/l. V přízemní vrstvě atmosféry se nachází síra v podobě oxidu siřičitého, sirovodíku a síranového iontu. Zdrojem v atmosféře je metamorfóza hornin a vulkanismus. Lidská činnost je významným zdrojem emise SO_2 .

Emise vzniká při spalovacích procesech (Moldan 1983). Kulhánek et al. (2013) zmiňuje změnu vstupu síry přes atmosférickou emisi o 8 krát menší než v roce 1990, a to odpovídá hodnotě 15 kg síry na jeden ha za rok. V České republice se snížil podíl anorganické síry o 50 % za posledních 20 let (Balík et al. 2009).

Nerosty síry obsahují síru ve dvou formách v sulfidické nebo sulfátové. Převládající forma má své zastoupení v původu hornin. Ve vyvěřelých horninách se nachází převážně sulfidická forma a v usazených horninách je převládající naopak sulfátová forma. Sulfátová forma má schopnost se rozpouštět, přenáší se do půdního roztoku a je vyplavována vodním tokem do oceánu (Kulhánek et al. 2013). Podle Šimka (2003) obsahuje síru přes 2000 minerálů. Nejznámějším minerálem, který obsahuje značné množství síry je pyrit, pyrhotin, chalkopyrit, galenit, sfalerit, baryt, anhydrit, sádrovec. Šimek (2005) vyzdvihuje, jako nejdůležitější sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) a anhydrit (CaSO_4).

Síra je desátým nejhojnějším prvkem v biomase. V důsledku snadné transformovatelnosti biogenního charakteru i četnosti plyných forem je síra velmi mobilní prvek. Z atmosféry se sloučeniny síry dostávají do půdy srážkovou činností. Uplatňuje se i suchý spad, jako je absorpce SO_2 . Na zemský povrch dopadá stejné množství síry jako srážkovou činností. U znečištěných oblastí lze předpokládat i více jak pětinasobné množství. Zátěž území České republiky dlouhodobě hromaděnou depozicí sloučenin síry souvisí se spalováním fosilních paliv. Jedná se především o spalování lignitu s vysokým obsahem pyritu. Spalování probíhá v elektrárnách a průmyslových topeništích (Suchara & Sucharová 2000). Podle Holobradé (1985) lze koloběh síry vyjádřit, jako bakteriální redukci a oxidaci. Holobradá (1985) zmiňuje bakterie za anaerobních podmínek, jedná se o *Beggiatoa* a *Thiothrix* a za aerobních podmínek je to *Thiobacillus*. V důsledku dobře vyvinutých enzymových systémů fungující při redukci a oxidaci síry. V rostlinách se nachází enzymové systémy redukcující sulfáty za vzniku organických sloučenin. Živočiškové postrádají schopnost redukce sulfátů na sulfid. (Suchara & Sucharová 2000).

3.4 Výživa a hnojení sírou

Řepka patří mezi náročné plodiny na výživu sírou. Plodina potřebuje nejvíce síru pro svou výživu v prvním měsíci jarního růstu. Nárok příjmu rostlinou je 30 až 40 kg S/ha (Vašák 2000). Dle Baranyka et al. (2007) rostlina na 1 ha odebere od 48 do 64 kg síry. Největší rozpětí popisuje Zelený & Zelená (2000), rostlina odebírá 50 až 100 kg S/ha.

Příjem síry rostlinou probíhá časově úměrně s nárůstem sušiny. Intenzivní příjem je od období dlouhivého růstu až po odkvět. Denně se odčerpává z půdy rostlinami 0,5 až 1 kg síry z 1 ha (Zelený & Zelená 2000).

Síra se v půdě nachází v organické formě až z 98 % (Zelený & Zelená 2000). Dle Eriksen (2009) je obsah organicky vázané síry vyšší než 90 %, to zmiňuje i Solomon et al. (2005). Dle Balíka et al. (2009) je síra v půdě v organické formě z 87,7 - 89,8 %. Hlavní přijímanou formou pro rostliny je anorganická síra v podobě sulfátů. Řepka má zvýšenou enzymatickou aktivitu arylsulfatázy pomocí, které mobilizuje síru i z organických sloučenin (Vašák 2000). Podle Vong et al. (2003) mikrobiální biomasa rhizosféry u řepky vykazuje vyšší aktivitu arylsulfatázy než u obilovin. Metabolizace dusíku a síry v rostlině je těsně propojená (Vašák 2000).

Síra je nezbytnou součástí pro syntézu aminokyselin. Jedná se o cystein, cystin, metionin. A následně je významná pro tvorbu bílkovin. Síru obsahují i rostlinné enzymy. Síra je i součástí glukosinolátů. Za dostatečný obsah v rostlině lze požadovat 0,55 % síry v sušině při fázi růstu (Vašák 2000). Vašák (2000) zmiňuje, že při zjištění deficitu síry během vegetace porostu dochází k znehodnocení investice do hnojení dusíkem a nelze dojít k plné nápravě výnosových ztrát. Deficit síry se projevuje nejdříve na lehkých půdách s nízkou intenzitou organického hnojení (Vašák 2000). Baranyk et al. (2007) deficit síry zmiňuje na lehkých půdách s nízkou hladinou podzemní vody.

3.4.1 Síra v rostlině

Kořeny přijímají síru převážně ve formě aniontu SO_4^{2-} . Kořeny mají i schopnost přijímat síru v podobě aminokyselin, jako je cystein a methionin. Vzestupný transport aniontů sulfátu je dobrý, ale naopak je omezený. Možnost znovu využití síry ze starších listů v mladších je omezenou schopností. Využití přijatého sulfátu předpokládá biochemickou redukci. Následně může být přijatá síra zapojena do organických látek. Zastoupení sulfátů v rostlinách z celkového obsahu síry je od 30 až do 60 %. Ve fázi květu se hodnota pohybuje kolem 80 % a více (Matula 2007). Podle Koprivova & Kopriva (2016) se až 90 % síry ve formě sulfátů nachází ve vakuolách. Síra je v rostlině i součástí řady enzymů. Jedná se o koenzym A, acetyl ATP sulphurylázu. Dále je součástí vitamínů, jako thiaminu a biotinu. Kopriva et al. (2015) dodává, že síra je součástí S-adenosylmethioninu. Podle Zhao et al. (2017) je síra důležitým prvkem pro syntézu chlorofylu, sitosterolu a glutationu. Síra v sulfátech, jako hlavním zdroji síry pro rostlinu,

je šesti-mocná a musí se redukovat na dvou-mocnou. Asimilační redukce sulfátů je spojená s transportem elektronů chloroplastu a tokem aktivovaných elektronů. Asimilace sulfátů se rozděluje na čtyři části. Jedná se o aktivaci sulfátu za tvorby adenosin-5-fosfosulfátu (APS) nebo 3-fosfoadenosin-5-fosfosulfátu (PAPS), přenos aktivovaného sulfátu na vhodný akceptor, redukce vázaného sulfátu na vázaný sulfid a zabudování redukované síry do cysteinu (Holobradá 1985). Cystein je prvním produktem asimilace sulfátů. Cystein je zdrojem redukované síry pro syntézu metioninu a dalších metabolitů, které obsahují redukovanou formu síry. Síra se účastní redukce nitrátů a je nezbytná pro tvorbu chlorofylu a fytohormonů. Sloučeniny obsahující síru mají četné funkce v životním cyklu rostliny. Syntéza těchto látek musí být v rostlině zachována. Meziprodukty sulfátové redukce jsou však pro rostlinu fytotoxické. Proto jejich obsah je rostlinou omezován. Příjem síry a asimilace je vzájemně ovlivněna omezením síry nebo aminokyselinami a oxidačním stresem (Kopriva et al. 2015).

3.4.2 Síra v půdě

Obsah síry v půdě se podle Šimka (2003) pohybuje v rozmezí 85 až 250 mg S/kg. Podle Havla (2001) je obsah síry v rozmezí 56 až 618 mg S/kg. Obsah síry se vyjadřuje i poměrem C:N:S. Hodnoty tohoto poměru jsou 78 až 126:8 až 13:0,5 až 1,5. Ale podle Šimka (2003) je poměr 130:10:1 v zemědělských 90:8:1 a lesních půdách poměr dosahuje až 200:12:1. Organická síra je rozdělena do dvou kategorií. Odlišují se podle své vazby a to přímo vázanou na uhlíkový skelet organických sloučenin nebo nepřímo přes kyslík, dusík a síru. Při biologických transformací v půdě je snáze využitelná nepřímo vázaná síra na uhlík. Vazby mohou být C-O-S, C-N-S nebo C-S-S (Šimek 2003).

Půdní testy poskytují informace pro preventivní korekci výživného stavu půdy a tím poskytnutí optimálního výnosu plodiny. Při využití půdních testů k hodnocení obsahu síry může dojít k nepřesnosti stanovení (Vong et al. 2007). U síry může dojít v krátké době k přeměně a tedy změně stavu zásob dostupných v půdě (Šimek 2003).

Rozlišujeme dvě formy síry v půdě: anorganickou a organickou. V zemědělských půdách z anorganických forem převládají sulfáty rozpuštěné v půdním roztoku. Tyto sulfáty se sorbují a vysrážejí jako vápenaté, hořečnaté a sodné sulfáty. Platí rovnováha mezi sulfáty v půdním roztoku a sulfáty v pevné fázi. Růst koncentrace sulfátů v půdním roztoku může být způsoben vyšší koncentrací fosforečnanů. Ty mají za následek vytěšňování síry z vazebných míst oxidů železa a hliníku. Organické formy se dělí na dvě

velké skupiny. Jedná se o sloučeniny, kde se síra nachází v oxidované formě, a pak na sloučeniny kde se síra nachází v redukovaném stavu (Vaněk et al. 2001). Síra vázaná ve formě sulfátů vazba R – O – S, esterů sulfátů C – O – S, sulfanátu C – N – S a sulfatovaných thioglycidů N – O – S. Anorganická forma síry se kumuluje ve vysokém množství v půdách v suchých oblastech. Při podmínce závlahy se sulfát vyskytuje ve dvou formách. V přemokřených půdách se anorganická síra nachází v podobě pyritů. Jedná se o sulfid železný a sulfid železnatý (Baranyk et al. 2007).

Zdroje síry v zemědělství při hnojení můžeme rozdělit do tří kategorií. N-S hnojiva kam se řadí Hydrosulfan (5,6 % síry a 24 % dusíku), DASA (13 % síry a 26 % dusíku), síran amonný (23 % síry a 20 % dusíku) Baranyk et al. (2007) řadí ještě Agrosam (6 % síry) a SAM (6 % síry). Hořečnatá hnojiva kam řadíme Kieserit (19,5 % síry a 15 % hořčíku) a hořkou sůl (13 % síry a 10 % hořčíku). Třetí kategorií zdrojů síry je sádra s obsahem 18 % síry. Výhodou toho to zdroje je nízká rozpustnost. Tato vlastnost má za následek minimalizaci ztrát vyplavením sulfátů při promyvném režimu půdy. Sádra se nachází i v jednoduchých superfosfátech, kde je obsah síry až 8 % (Vašák et al. 2000). Vhodnost sádry pro zvýšení obsahu síry v půdě a její rekultivaci zmiňuje i Komarnisky et al. (2003).

Další minerální hnojiva obsahující síru uvádí Sýkora (2006). Jedná se o superfosfát jednoduchý (10 % síry), síran draselný (18 % síry), Kamex (4 % síry), Magnesia-kainit (8 až 10 % síry), Kieserit (21 % síry) hořká sůl (13 % síry), hydrosulfan (5,6 % síry), LAS (4 % síry), Lovosan (12 % síry), síran amonný (24 % síry), Agrosam (6 % síry), SAM (6 % síry), DASA (13 % síry), elementární síra, která má čistotu 80 až 90 % síry (Sýkora 2006).

Předností síranu amonného je, že umožňuje hnojení současně dusíkem a sírou. Síra je potřebná pro efektivní využití dusíku v metabolismu rostliny. Hnojivo se nevyužívá na extrémně kyselých půdách, kde by došlo ještě k výraznějšímu okyselení. Kieserit neboli síran hořečnatý je výborným zdrojem síry, a také zdrojem hořčíku, kterého je v našich půdách nedostatek. Směsná N-hnojiva obsahují jako základ močovinu nebo dusičnan amonný s přidavkem síranu amonného nebo draselného. Jedná se o hnojiva DASA, LAS a řadu dalších, které mají jen rozdílné komerční názvy. Hořká sůl je snadno rozpustná a využívá se její roztok o koncentraci do 5 %. Touto koncentrací podpoříme množství síry o 2 kg S/ha. Hořká sůl se vyskytuje pod různými obchodními názvy, jako je EPSO, TP, MICROTOP, EPSOMIT, EPSOM a SALTS (Matula 2007).

Šimek (2003) zmiňuje jako zdroj síry v minulosti pesticidy, jako jsou fungicidy a insekticidy. Nyní jsou nahrazeny organickými sloučeninami.

3.4.3 Deficience sírou

Dle Abrol et al. (2003) sirné sloučeniny podporují systém odezvy na stres rostlin. Nedostatek tohoto prvku se projevuje omezením syntézy bílkovin. Dále dochází ke snížení aktivity enzymů, jako je nitrátreduktáza. Podle Havla (2001) dochází při nedostatku síry ke zvýšení obsahu sacharidů a je inhibována syntéza aminokyselin. Vizually nedostatek síry můžeme pozorovat typickým žloutnutím listů. Toto žloutnutí postupuje od nejmladších až po spodní listy. Podle Richtra & Hřivny (1998) je intenzita projevu závislá na obsahu dusíku. Vizualizace symptomů je nejlevnější a zároveň nenávratný diagnostický prostředek. Vizualní nedostatek síry je zaměnitelný i s dalšími fyziologickými poruchami. Nedostatek síry vede k redukcii počtu a délky větví, velikosti květů a k odpadu květů. V důsledku dlouhodobého nedostatku může dojít k nevyvinutí šišulí, které mají drobná semena nebo jsou bez nich úplně. Schnug & Haneklaus (1998) zmiňují koncentraci s vizualním projevem nedostatku síry hodnotu 3,5 až 3 g S/kg sušiny. Zato Pinkerton (1998) zmiňuje kritickou koncentraci 2 až 2,5 g S/kg sušiny ve fázi listové růžice. A Mc Grath & Zhao (1996) uvádějí kritickou koncentraci v době počátku květu o hodnotě 3,8 g S/kg sušiny. A Richter & Hřivna (1998) udávají projev deficience při poklesu pod hodnotu 0,3 % síry v sušině.

Rostliny s dostatkem dusíku, ale s nedostatkem síry obsahují množství nitrátů, amidů, volného aminodusíku a glycidu. Nedostatek síry má i vliv na množství proteinového dusíku, který se snižuje a zvyšuje se neproteinový (Holobradá 1985).

Podle Komarnisky et al. (2003) je toxicita kadmia na rostlinu ovlivněna množstvím síry. Kadmium snižuje kvalitu rostlin. Projevuje se na snížení velikosti a hmotnosti rostlin. S nedostatkem síry dochází k prohloubení působení kadmia a k výraznému snížení kvality rostlin. Obsah síry snižuje toxicitu kadmia (Komarnisky et al. 2003).

3.4.4 Hnojení

Dle Grant et al. (2012) pro optimální růst rostliny je aplikace 15 - 60 kg S/ha ve formě sulfátů a však podle Karamanos et al. (2007) je optimální pro optimalizovaný růst aplikace 15 - 30 kg S/ha. Pro dlouhodobé zvýšení obsahu síry v půdě je vhodné sádrování. Při hnojení sírou se počítá s hnojením ve třech termínech. Základní hnojení je provedeno dávkou 20 kg S/ha a využívá se síranu amonného, DASA, kieseritu, jednoduchého superfosfátu. Baranyk et al. (2010) dodává k tomuto základnímu hnojení možnost hnojit síranem draselným. Podzimní hnojení se provádí v období konce září do začátku října. Tento termín hnojení využíváme pouze při projevech nedostatku síry. Využíváme kieseritu, hořké soli nebo hnojiv se sírou na bázi listových hnojiv. Jarní hnojení probíhá při nižším obsahu minerální síry v ornici. Využívá se dávky 20 až 40 kg S/ha. Síra se v některých případech aplikuje společně s dusíkem. Využíváme k tomu N-S hnojiva (DASA, Hydrosulfan, Agrosam, SAM). Další možností je nepoužití N-S hnojiv, ale využít dávky 100 kg hnojiva/ha za použití kieseritu nebo hořké soli. Využívá na půdě s nízkým obsahem hořčíku (Baranyk & Zehnálek 2006). Matula (2007) doporučuje při podzimním hnojení využívat sádro pro svou nízkou rozpustnost. Baranyk & Zehnálek (2006) zmiňují hnojení sírou v dávce 40 kg síry, aplikují DASA v odpovídajícím množství na jaře v jedné dávce s kombinací dusíkatého hnojiva.

3.4.5 Mineralizace a imobilizace síry v půdě

Síra, která je vázaná v organických sloučeninách, nemůže být využita rostlinou. Musí dojít k přeměně na volnou sulfátovou formu. Volná sulfátová forma je jediná přístupná forma pro rostliny. Přeměna probíhá enzymaticky nebo za účasti mikroorganismů. Enzymatická hydrolyza probíhá nejběžněji u rozkladu sirných esterů. U síry v redukované formě probíhá mineralizace, příkladem formy jsou aminokyseliny. Mineralizace je složitý proces a probíhá postupně v navazujících krocích. První krok spočívá v hydrolyze bílkovin a uvolněním sirných aminokyselin. Následujícím krokem se uvolňuje sulfan, při přístupu kyslíku se oxiduje na sulfát. Při nepřístupu kyslíku se sulfan oxiduje na elementární síru za přítomnosti sirných bakterií. Mikrobiální mineralizace je ovlivněna půdní vlhkostí a teplotou. Nejintenzivnější mikrobiální mineralizace probíhá při 36 °C (Vaněk et al. 2001).

Rozklad je katalyzován enzymem sulfatasa. Mineralizace je ovlivněna mnoha faktory, které regulují tvorbu a aktivitu sulfatas. Sulfatasy mikrobiálního původu jsou arylsulfatasy a cholinsulfatasy (Šimek 2003).



Při mikrobiálním rozkladu organických zbytků, které obsahují uhlík a síru v poměru vyšším než asi 400:1 se mineralizovaná síra imobilizuje při poměru C:S nižším než asi 200:1 dochází k čisté mineralizaci síry (Šimek 2003).

Mineralizace síry je spojena s počáteční koncentrací síry v půdě více než síry v různých formách ze zbytků rostlin. Ve zbytcích rostlin se síra nachází ve všech svých oxidačních stupních. Dle Blum et al. (2013) je biologická mineralizace dominantní tam, kde jsou rostlinné zbytky bohaté na síru vázanou na uhlík. Dle Nziguheba et al. (2005) mineralizace organické síry společně s imobilizací anorganického sulfátu reguluje cyklus síry v půdě. To se projevuje v dostupnosti síry pro rostliny (Šimek 2003).

3.4.6 Výživný stav rostlin sírou

Dle Matuly (2007) má význam hnojení vodorozpustnou sírou, které vede ke zdárné výživě rostliny. Při adekvátní výživě řepky se zajišťuje i dostatečné množství odebrané síry zpět do půdy v podobě posklizňových zbytků, opadu listů. Takto získaná zásoba síry v půdě zajistí výnos méně náročným plodinám na síru. Přístupnost síry rostlinami je ovlivněna obsahem půdní organické hmoty a poměrem C:S. Pokud je poměr užší než 200:1, dochází k uvolnění sulfátů do vnějšího prostředí. Při poměru širším než 400:1 dochází k imobilizaci přístupné síry (Šimek 2003).

Nejvhodnější informaci o stavu výživy sírou poskytuje plně vyvinutý mladý list, který se nachází ve vrchní části rostliny. Stanovuje se obsah celkové síry, sulfátů, podíl sulfátů k obsahu celkové síře, poměr síry k dusíku (Matula 2007).

Celkový obsah síry má rozporné výsledky. Záleží na metodice měření, zda se jedná o nádobový pokus nebo polní pokus. Obsah síry je značně proměnlivý v různých fázích rostlinného vývoje. V mnoha zdrojích lze získat předpoklad pro vhodnost stanovení sulfátů k vyhodnocení výživného stavu. Ovšem situace síry v rostlině je odlišná než předpoklad. Obsah sulfátů je několikanásobně vyšší. Obsah sulfátů z celkového obsahu síry v rostlině je mezi 30 až 60 %. V určitém stádiu vývoje rostliny obsah sulfátů dosahuje 80 % (Matula 2007).

V příjmu a transportu sulfátů v rostlinách vystupuje do prostředí úzký vztah transportu síry a její metabolismus v buňce. Příjem síry kořeny, jako je xylémový transport, je ovlivněn zpětnou vazbou regulace sorpční kapacity a transportu. Potřeba nadzemních orgánů rostliny určuje rychlost příjmu v kořenech a uvolnění síry do transportního proudu směrem k místům metabolické asimilace. Transport živin z půdy do listů přes kořeny v podobě iontů je polarizovaný tok. Tento tok má několik stupňů. Jedná se o příjem živin buňkami kořene, radiální transport přes kořen, transport v xylému, transport v nadzemních orgánech rostlin (Šimek 2003).

Kořen přijímá síru nejvíce v anorganické podobě jako sulfáty. Je i schopný využít organickou formu v podobě cysteinu a metioninu. Za normálních podmínek v půdě není příjem sulfátů citlivý na pH prostředí. V mechanismu příjmu sulfátů se předpokládá vzájemná konkurence s jinými anionty. Přítomnost NO_3^- v prostředí zvyšuje příjem Na_2SO_4 kořeny, ale přítomnost Cl^- zas příjem sulfátů snižuje. Aktivní mechanismy příjmu sulfátů z vnějšího prostředí působí při nízkých koncentracích, zato při vysokých koncentracích je příjem pasivní (Šimek 2003).

Síra se přijímá do určité míry pasivním způsobem přes buněčnou stěnu, ale hlavní formou příjmu přes membránu je pomocí nosičů. Vytváří se komplex sulfátu se specifickou permeázou. Ta se nachází v cytoplazmatické membráně nebo na jejím povrchu (Kopriva et al. 2015).

Metabolizovaný sulfát se transportuje v rostlinných buňkách pomocí membránových proteinů. Ty se liší v lokalizaci a v afinitě k sulfátům. Ty rozdělujeme do čtyř skupin podle afinity. Sulfátové transportéry s vysokou afinitou, nacházející se v kořenech a slouží při vstupu sulfátu do rostliny. Nízko afinitní transportéry umožňující přenos xylém a cévní tkáň. Transportéry přenášející sulfáty přes plastidové membrány kde dochází k redukci skupiny. Čtvrtou skupinou jsou transportéry sulfátu, které se nacházejí v tonoplastech. Jedná se o biologickou membránu obklopující obsah vakuol. Funkcí je usnadnění exportu uloženého sulfátu z vakuol (Šimek 2003). Kopriva et al. (2015) zmiňuje, že rostlina obsahuje 10 - 16 transportních sloučenin pro síru. Rostliny mohou zabudovávat sulfát do bio-organických molekul po proběhnutí asimilačních cest. První možností je po redukci na sulfid a druhou je v oxidované formě přes sulfátové reakce (Kopriva et al. 2015).

3.4.7 Poměr N/S v nadzemní biomase řepky

Jedná se o poměr, který je specifický pro každou plodinu zvlášť. Jedná se o univerzální kritérium diagnostiky. 36 až 34 atomů dusíku připadá na 1 atom síry. Při převodu na hmotností množství se získá poměr N/S. Jeho hodnotou je poměr 15,77 až 14,87:1. Poměr, který je vyšší než 20 poukazuje na deficitní množství síry v plodině (Matula 2007). Podle Blake-Kalff et al. (2000) může být vysoký poměr způsoben přebytkem dusíku i když síra je v dostačujícím množství. Poměr N/S v půdě přístupný pro rostlinu ozimé řepky je 5:1 (Vaněk et al. 2001) a poměr vhodný pro zajištění optimálního výnosu je podle Grant et al. (2012) 8:1. Jiný poměr udává Havel (2001), který pro optimální výživný stav s maximálním výnosem udává rozpětí 4,5 - 7,1. Scherer (2000) udává poměr 10:1. Poměr N/S při optimálním množství síry nemění hodnotu výnosu ani při zvyšování množství dusíku. Při zvýšení obsahu dusíku v nedostatečném množství síry dochází k negativnímu ovlivnění výnosu. Při dostatku a nadbytku síry podle Zelený & Zelená (2000) dojde ke zvýšení výnosu o více než 300 % (Grant et al. 2012). Dle Mathot et al. (2008) je u trav poměr N/S v rozmezí 14 až 20. U většiny rostlin se poměr N/S pohybuje kolem hodnoty 12. Rozdílnou hodnotu, a to nižší, mívají rostliny *Brassicae* (řepka, zelí, kapusta), (PDA 2011). Během vegetačního období řepky poměr N/S není vyšší než 10. Kritickou hodnotou pro řepku je poměr N/S nižší než 6. Optimální hodnota poměru se pohybuje mezi 7,67 - 9,61 (Šiaudinis 2010). Dle McKenzie (2013) je typická hodnota poměru 7, větší hodnoty než 10 jsou více než optimální. Rozdílnost hodnot poměru je patrná při porovnání pšenice, sóji a řepky. U pšenice je poměr hodnoty 16:1 měřený v zrně, sójový bob má hodnotu 18:1 a semeno řepky má hodnotu 6:1 (Sawyer et al. 2011).

Výrazné prohloubení znalostí aplikace dusíku a síry má vliv na koncentraci glukosinolátu v daném typu řepky ozimé. Síra je faktor omezující kvalitu výnosu. Obsah glukosinolátu reaguje proměnlivě na rychlost aplikace dusíkatých hnojiv. Vyšší obsah síry vede ke zvýšenému obsahu glykosinolátu. Dusík ovlivňuje výtěžnost sušiny, avšak síra neovlivňuje výtěžnost sušiny. Při aplikaci síry se zvyšují výnosy v ostatních složkách rostliny. Nízká vlhkost půdy v letním období vlivem sucha a vyšších teplot zhoršuje absorpci dusíku (Asare & Scarisbrick 1995; Benech-Arnold et al. 2004).

Síra s dusíkem a fosforem jsou důležité pro syntézu bílkovin, vitamínů a dalších kofaktorů. Tyto látky nepřímo ovlivňují efektivitu využití rostlinných živin. Síra a dusík jsou metabolicky propojeny. Nedostatečný obsah síry při metabolických přeměnách dusíku v biomase může zvýšit ztrátu dusíku z kultivovaných půd (Vong et al. 2003).

Podle Grant et al. (2007) Existuje vzájemné působení N:S na množství glukosinolátu v semeni řepky. Velké aplikace dusíku a síry obsah zvyšují, ale pokud je vyšší množství dusíku s nedostatkem síry obsah glukosinolátu je nízký. Dusík a síra se vzájemně ovlivňují (interakce) při vzniku glukosinolátu (Grant et. al. 2007).

3.4.8 Víceúčelové půdní testy

Perspektivní víceúčelové půdní testy jsou Mehlich II a 3, KVK-UF, extrakce CaCl_2 , extrakce vodou simulovaný půdní roztok, sinkový postup sorpce na iontové kapsle PST-1, extrakce $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Extrakce $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ se považuje za nejvhodnější jednoúčelový test ke stanovení dostupné síry v půdě. Zajímavostí je, že extrakční síla vyluhovačla $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ při koncentraci 0,01 M je 0,8 zato Mehlich 3 má extrakční sílu vyluhovačla 5,9 (Matula 2007). Neexistuje spolehlivá korelace mezi extrahovatelnou sírou v půdě a výnosem rostlin (Balík et al. 2009). Stěženi nalezení spolehlivé diagnostiky je nestálost obsahu síry (Blake-Kalff et al. 2000). Podle Balík et al. (2009) obsah síry v nadzemní biomase koreluje s obsahem síry dostupné v době odběru. Podle Vaňka et al. (2001) je využití stanovení podle Mehlicha 3 nevhodné ke stanovení výživného stavu síry v půdě. Toto tvrzení se opírá o skutečnost, že stanovení síry v půdě je bez vztahu s obrazem síry v dané plodině (Matula 2007). Kulhánek et al. (2018) tvrdí, že Mehlich 3 je úsporný způsob vyhodnocení biologické dostupnosti síry v půdách. Obsah síry v ozimé řepce koreluje pozitivně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3. Korelační hodnota je vyšší než 0,350. Obsah síry určený půdním testem Mehlich 3 úzce odpovídá množství biologicky dostupné síry (Kulhánek et al. 2018). Vyšší hodnota oxidovatelného organicky vázaného uhlíku v půdě (C_{ox}) pozitivně koreluje s vyšším obsahem síry v půdě, který je extrahovatelný stanovením Mehlich 3 (Seth et al. (2018).

Složení extrakčního roztoku Mehlich II a Mehlich 3 se liší. Hodnoty složení se udávají v mol/l. Mehlich II obsahuje kyselinu octovou 0,18, NH_4F (fluorid amonný) 0,015, HCl (kyselina chlorovodíková) 0,01, NH_4Cl (chlorid amonný) 0,20. Mehlich 3 obsahuje kyselinu octovou 0,20, NH_4F 0,015, HNO_3 (kyselina dusičná) 0,013, NH_4NO_3 (dusičnan amonný) 0,25, EDTA (kyselina ethylendiamintetraoctová) 0,001 (Trávník et al. 1999).

Metoda KVK-UF využívá se 0,5M octan amonný s fluoridem amonným. Touto metodou lze diagnostikovat živiny: draslík, hořčík, uhlík, mangan, fosfor a po úpravě i síru a bor. Metoda se využívá při diagnostice potřeby vápnění půdy. Principem je vztah

mezi KVK a množstvím vápence (CaCO_3) potřebným na jednotkovou změnu hodnoty pH. Při stanovení síry metodou KVK-UF rozlišujeme čtyři rozmezí hodnot S-indexu. Dle Matuly (2007) > 24 , $21 - 24$, $18 - 21$, < 18 . Toto rozmezí interpretuje množství síry, jako dostatek, malý nedostatek, střední nedostatek a hluboký nedostatek (Matula 2007).

Výhodou metody extrakce vodou spočívají v minimálních nákladech na spotřebované chemikálie. Avšak metoda má nevýhodu v provozní části, kde se obtížně získává čistý filtrát. Metoda nás informuje pouze o intenzitě, ale chybí kapacitní informace. Ty slouží k odvození potřeby hnojení. V současné době se půdního testu využívá při stanovení aktivního výživného stavu půdy fosforem (Matula 2006).

Extrakce $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ turbidimetrickou metodou je rychlá. Využívá se pro stanovení obsahu síry. Tedy dostupného obsahu síry v půdě. Chybnost výsledků je ovšem se vzrůstajícím obsahem organických látek v půdě znatelná. Metoda extrahuje rozpustný SO_4^{2-} a část adsorbovaných SO_4^{2-} (Sarkas & Haldar 2005)

3.4.8.1 Mehlich 3

Jedná se o extrakční metodu vyvinutou v USA. Tato metoda slouží v řadě zemí, jako oficiální půdní test. Mehlich 3 je pro svou jednoduchost vhodná pro běžné laboratorní použití. Metoda Mehlich 3 má navíc potenciál být využita nejen pro obsah základních živin, ale je vhodná pro multielementární stanovení celé řady dalších prvků nacházejících v půdách (Mehlich 1984; Zbiral 2006; Ostatek-Boczynski & Lee-Steere 2012). Původně extrakční roztok byl určen pro kyselé až neutrální půdy avšak je použitelný i pro půdy karbonátové. Vzorky půdy se extrahují kyselým roztokem. Roztok obsahuje fluorid amonný pro zvýšení rozpustnosti forem fosforu. Dusičnan amonný přítomný v roztoku ovlivňuje desorpci prvků: draslík, hořčík, vápník. Kyselá reakce extrakčního činidla je způsobena obsahem kyseliny dusičné a kyselinou octovou. Přítomnost EDTA má za následek uvolnitelnost nutričně významných mikroelementů (Matula 2007).

4 Metodika

Vzorky byly odebrány v letech 2015 až 2017 z polních provozů nacházejících se v okresech Mělník, Rokycany, Nymburk, Litoměřice, Žatec, Hradec králové, Přerov, Ústí nad Orlicí, Rakovník, Mladá Boleslav, Znojmo a Pelhřimov. Jednalo se o regiony s mírně teplými až velmi teplými klimatickými podmínkami. Přesná poloha odběrových míst byla zaměřena navigací GPS.

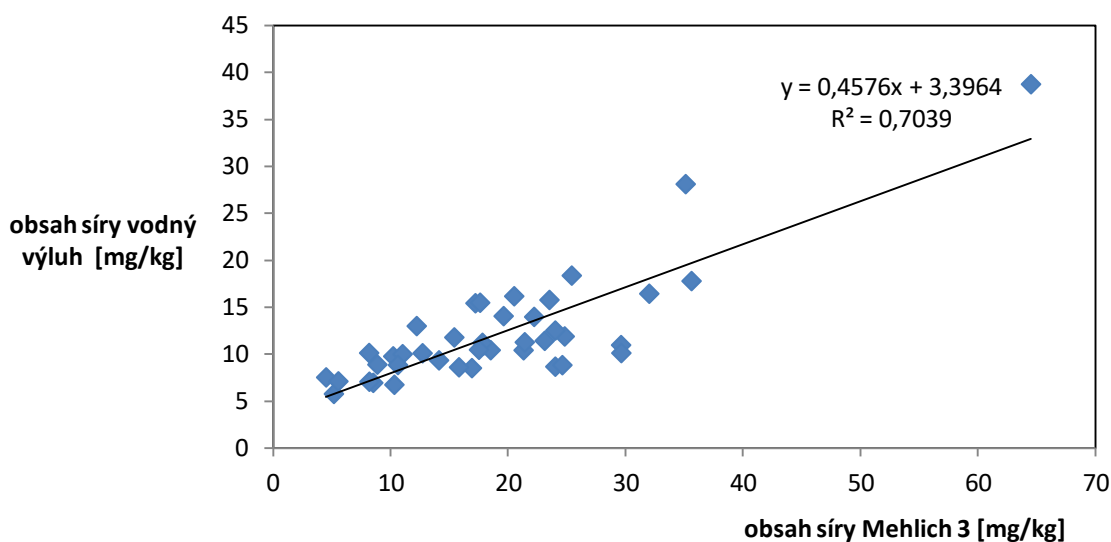
Pro vyhodnocení výsledků bylo využito odběrů nadzemní biomasy na začátku kvetení řepky (BBCH 61), na začátku sloupkování (BBCH 31) a na konci květu ozimé pšenice (BBCH 69). Vzorky půdy byly odebírány do hloubky 30 cm. Obsah živin v orniční vrstvě půdy byl stanoven ve výluhu Mehlich 3 (Mehlich 1984) a ve vodném výluhu při vyluhovacím poměru vždy 1:10 w/v. Odlišná byla doba třepání půdních výluhů: 10 minut v případě činidla Mehlich 3 (Zbíral 2000), 60 minut pro vodný výluh (Kowalenko 2008). Rostlinný materiál určený k analýzám byl homogenizován laboratorním střížným mlýnem SM100 (Retsch, Spolková republika Německo). Rostlinná nadzemní biomasa byla zmineralizována metodou suchého rozkladu (Mader & Čurdová, 1997), pro stanovení celkového obsahu dusíku v rostlinné biomase byl použit rozklad na mokré cestě v prostředí kyseliny sírové (1:20 w/v) katalyzovaný práškovým selenem. Měření bylo provedeno optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji ICP-OES Agilent 720 (Agilent Technologies, USA). Celkový obsah dusíku v nadzemní biomase řepky ozimé byl stanoven metodou podle Kjeldahla na přístroji Vapodest 50s (Gerhardt, Spolková republika Německo). Obsah organického uhlíku v půdě byl stanoven kolorimetricky dle Sims & Haby (1971): k 1 g půdního vzorku bylo přidáno 10 ml dichromanu draselného a 10 ml koncentrované kyseliny sírové a doplněno destilovanou vodou do objemu 100 ml. Stanovení bylo provedeno na přístroji Lambda 25 (Perkin Elmer, USA) při vlnové délce 600 nm.

Výživný stav rostlin byl vyjádřen hmotnostním poměrem obsahů N/S (Blake-Kalff et al. 2000) a dále obsahy síry a obsahy sušiny v nadzemní biomase řepky. Výsledky byly vyhodnocovány pomocí korelací za využití bodového grafu a spojnic trendu v programu Microsoft Office Excel. Ve výsledcích se objevilo pouze hodnocení odběru nadzemní biomasy v období kvetení řepky z důvodu prokazatelnosti výsledků.

5 Výsledky

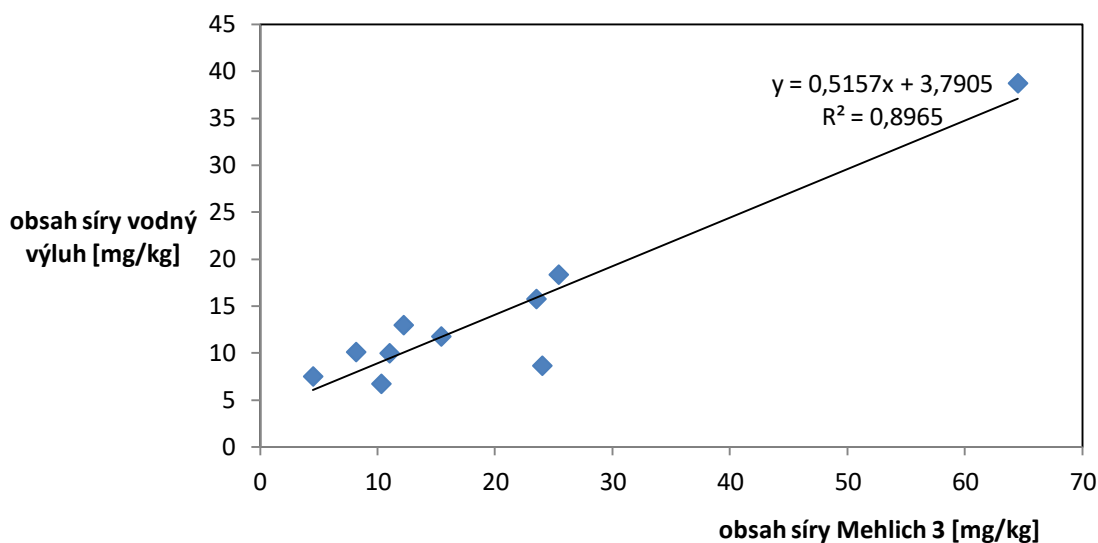
Z grafu č. 1 vyplývá, že obsah síry ve výluhu Mehlich 3 koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,7039$ tedy $r = +0,8390$, korelační hodnota je velmi silná. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 64,50 mg/kg ve výluhu Mehlich 3 se v grafu č. 1 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 1 – korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a obsahu síry ve vodném výluhu.



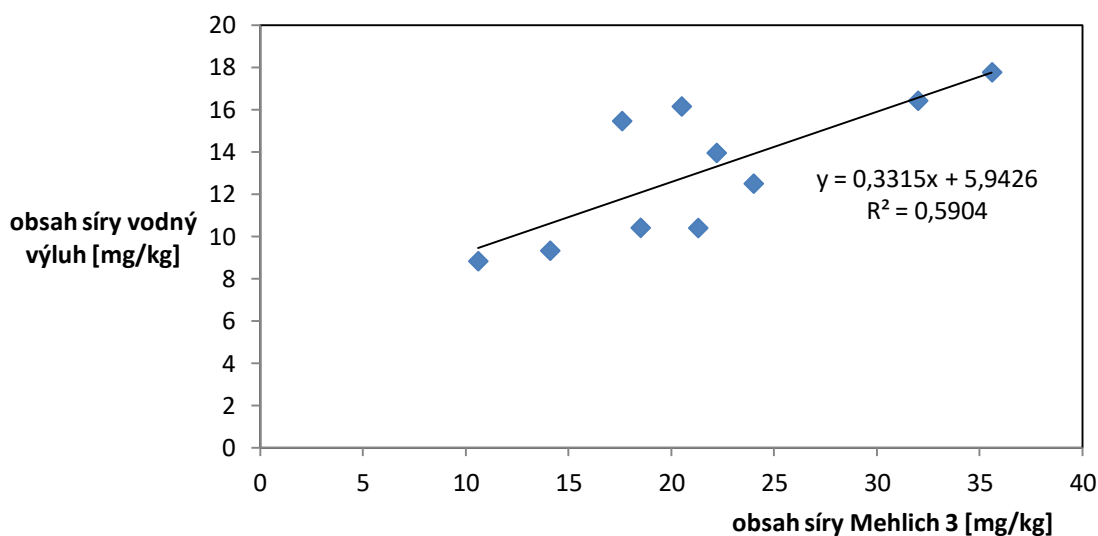
Z grafu č. 2 vyplývá, že obsah síry ve výluhu Mehlich 3 koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu při C_{ox} 0,51 - 1,26 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,8965$ tedy $r = +0,9468$, korelační hodnota je velmi silná. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 64,50 mg/kg ve výluhu Mehlich 3 se v grafu č. 2 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 2 – korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a obsahu síry ve vodném výluhu za podmínky C_{ox} 0,51 - 1,26 %.



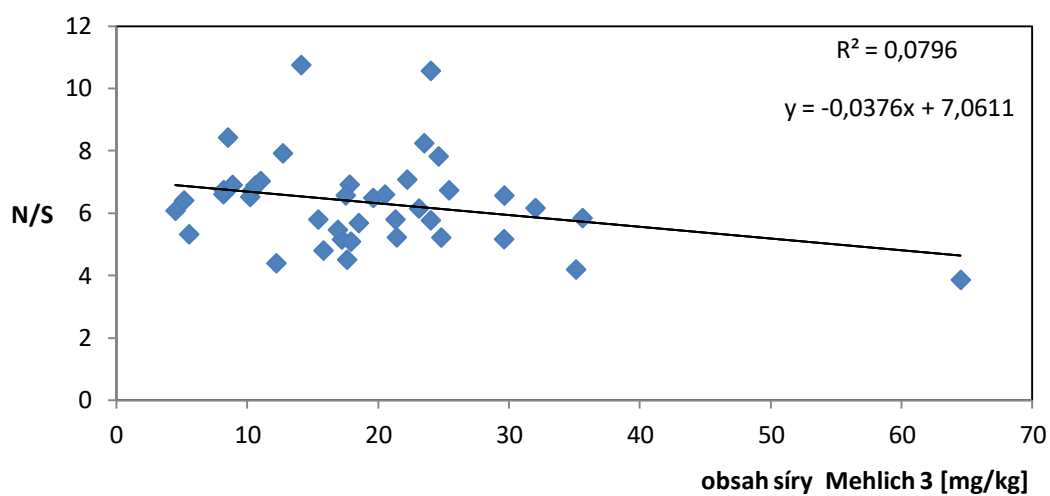
Z grafu č. 3 vyplývá, že obsah síry ve výluhu Mehlich 3 koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu při C_{ox} 1,48 - 1,83 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,5904$ tedy $r = +0,7684$, korelační hodnota je silná.

Graf č. 3 - korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a obsahu síry ve vodném výluhu za podmínky C_{ox} 1,48 - 1,83 %.



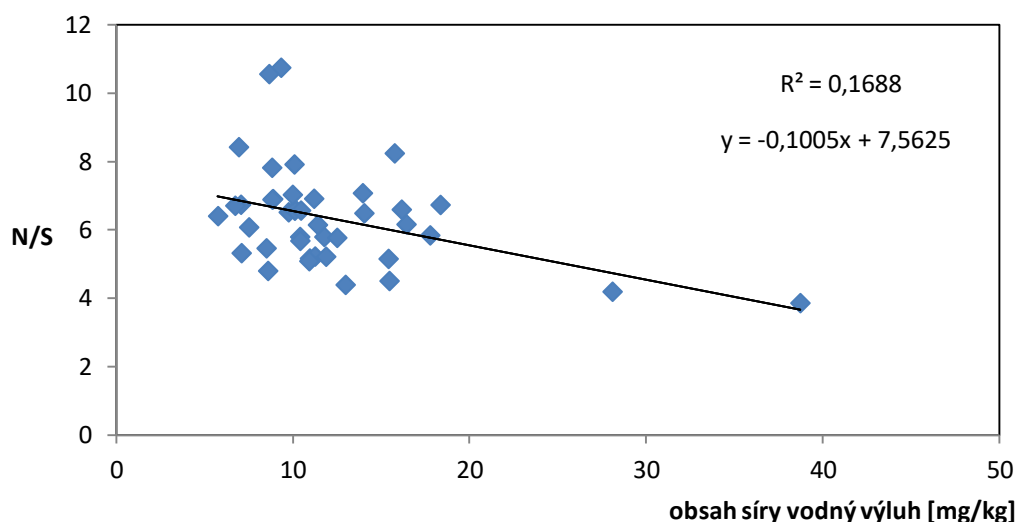
Z grafu č. 4 vyplývá, že poměr N/S v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,0796$ tedy $r = -0,2821$, korelační hodnota je slabá. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 64,50 mg/kg se v grafu č. 1 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 4 – korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a poměru N/S.



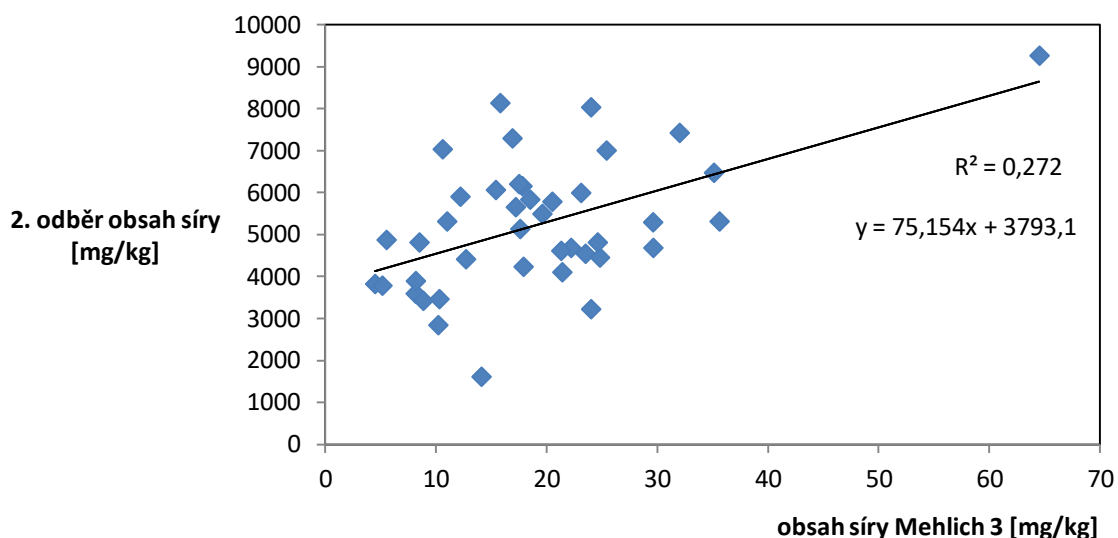
Z grafu č. 5 vyplývá, že poměr N/S v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,1688$ tedy $r = -0,4109$, korelační hodnota je střední. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 38,71 mg/kg se v grafu č. 2 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 5 – korelace obsahu síry ve vodném výluhu a poměru N/S.



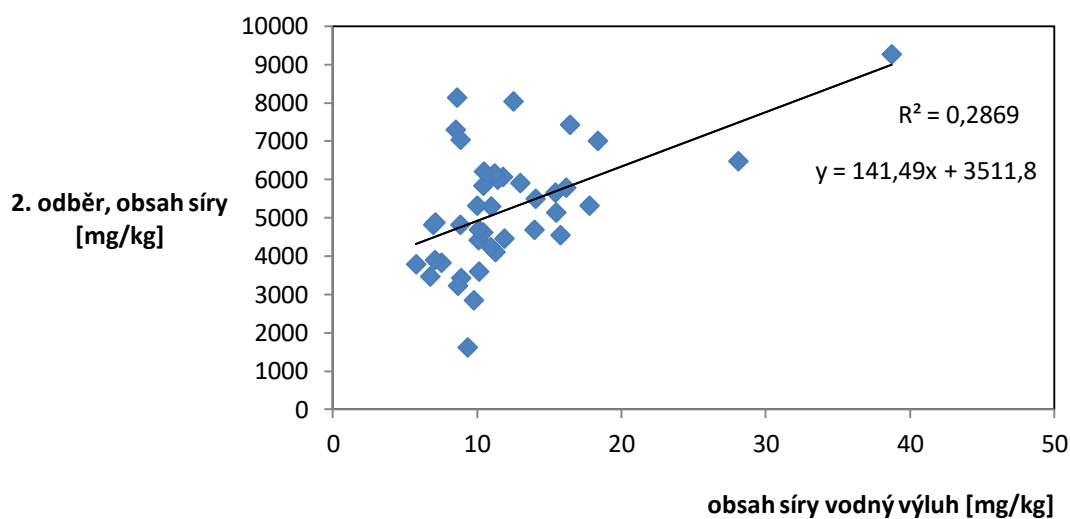
Z grafu č. 6 vyplývá, že obsah síry v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,272$ tedy $r = +0,5215$, korelační hodnota je střední. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 64,50 mg/kg se v grafu č. 3 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 6 – korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a obsahu síry v nadzemní biomase řepky ve fázi kvetení.



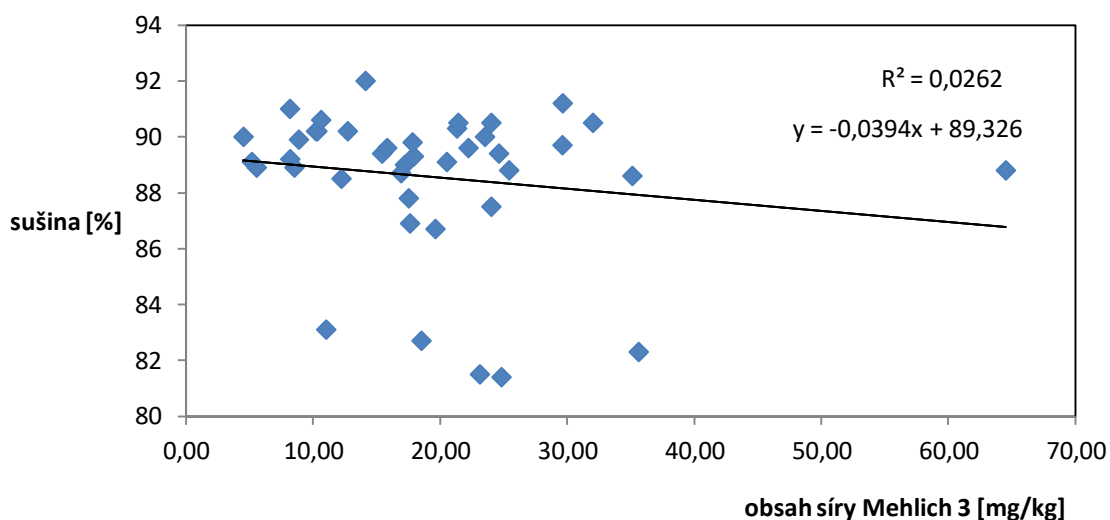
Z grafu č. 7 vyplývá, že obsah síry v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,2869$ tedy $r = +0,5356$, korelační hodnota je střední. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 38,71 mg/kg se v grafu č. 4 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 7 – korelace obsahu síry ve vodném výluhu a obsahu síry v nadzemní biomase řepky ve fázi kvetení.



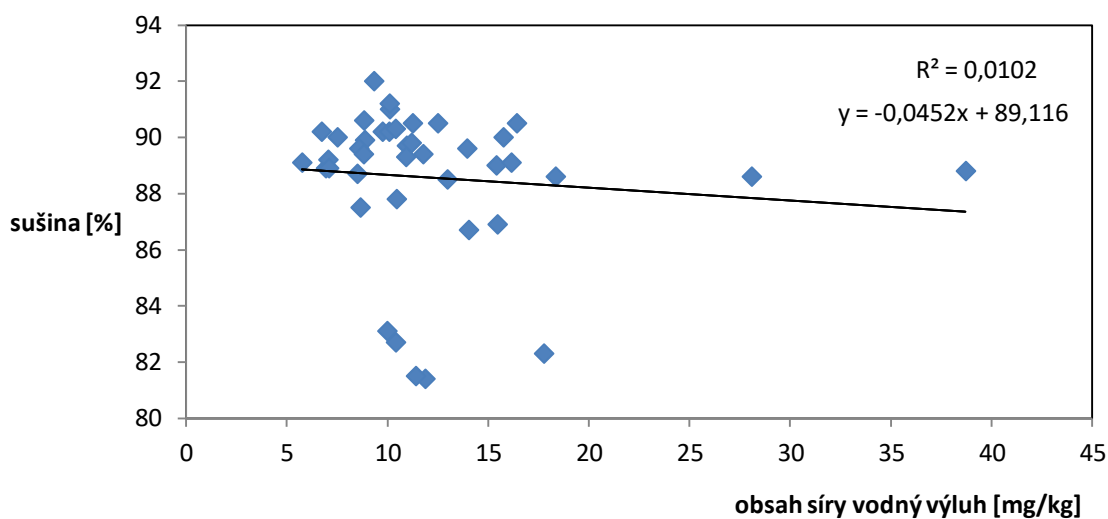
Z grafu č. 8 vyplývá, že obsah sušiny v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,0262$ tedy $r = -0,1618$, korelační hodnota je velmi slabá. Odlehlé hodnoty vzorků se v grafu č. 5 ponechaly z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 8 – korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a sušiny v kvetení řepky.



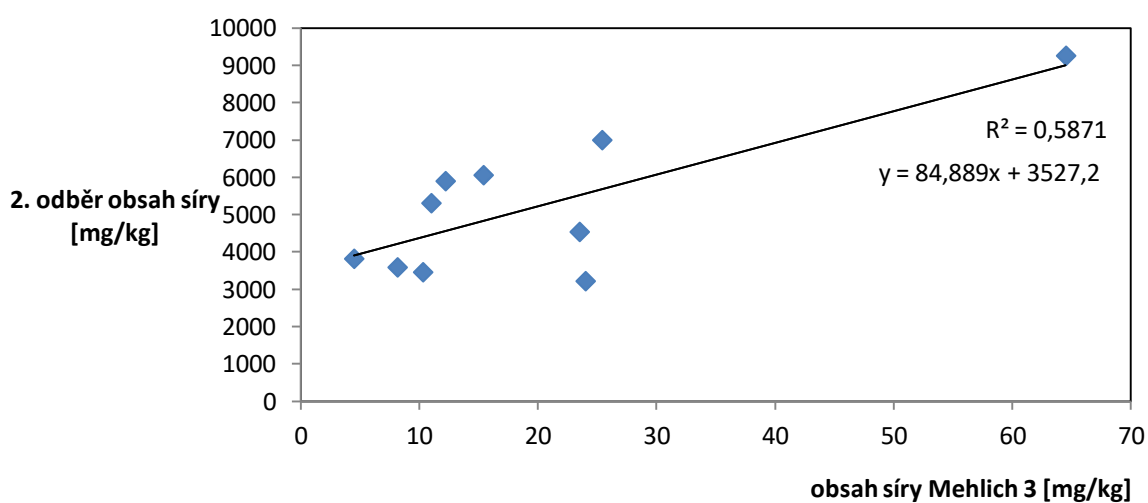
Z grafu č. 9 vyplývá, že obsah sušiny v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,0102$ tedy $r = -0,101$, korelační hodnota je velmi slabá. Odlehlé hodnoty vzorků se v grafu č. 6 ponechaly z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 9 - korelace obsahu síry ve vodném výluhu a sušiny v kvetení řepky.



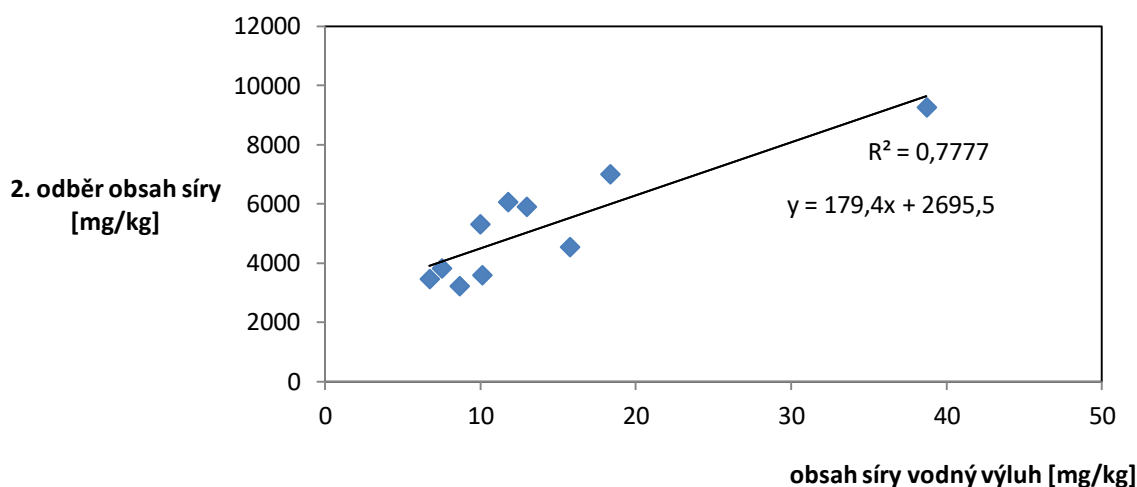
Z grafu č. 10 vyplývá, že obsah síry v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3 při C_{ox} 0,51 - 1,26 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,5871$ tedy $r = +0,7221$, korelační hodnota je silná. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 64,5 mg/kg se v grafu č. 7 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 10 – korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a obsahu síry v kvetení řepky za podmínky C_{ox} 0,51 - 1,26 %.



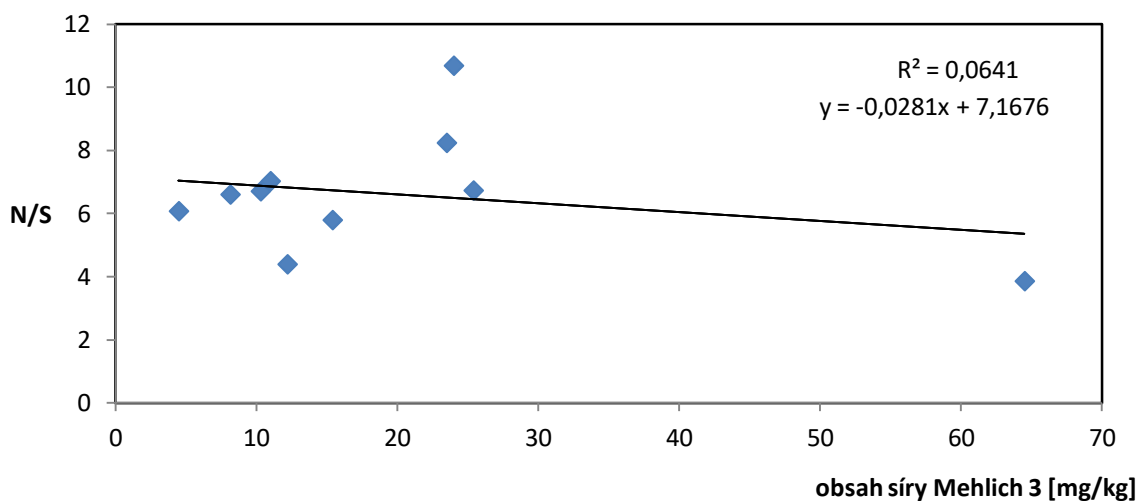
Z grafu č. 11 vyplývá, že obsah síry v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu při C_{ox} 0,51 - 1,26 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,7777$ tedy $r = +0,8819$, korelační hodnota je velmi silná. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 38,71 mg/kg se v grafu č. 8 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 11 – korelace obsahu síry ve vodném výluhu a obsahu síry v kvetení řepky za podmínky C_{ox} 0,51 - 1,26 %.



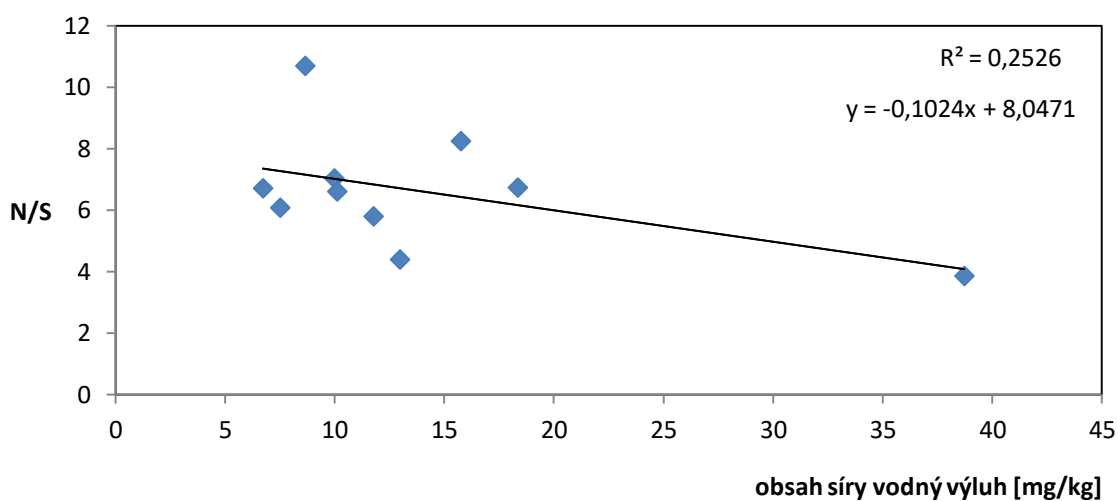
Z grafu č. 12 vyplývá, že poměr N/S v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3 při C_{ox} 0,51 - 1,26 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,0641$ tedy $r = -0,2532$, korelační hodnota je slabá. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 64,50 mg/kg se v grafu č. 9 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 12 – korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a poměru N/S za podmínky C_{ox} 0,51 - 1,26 %.



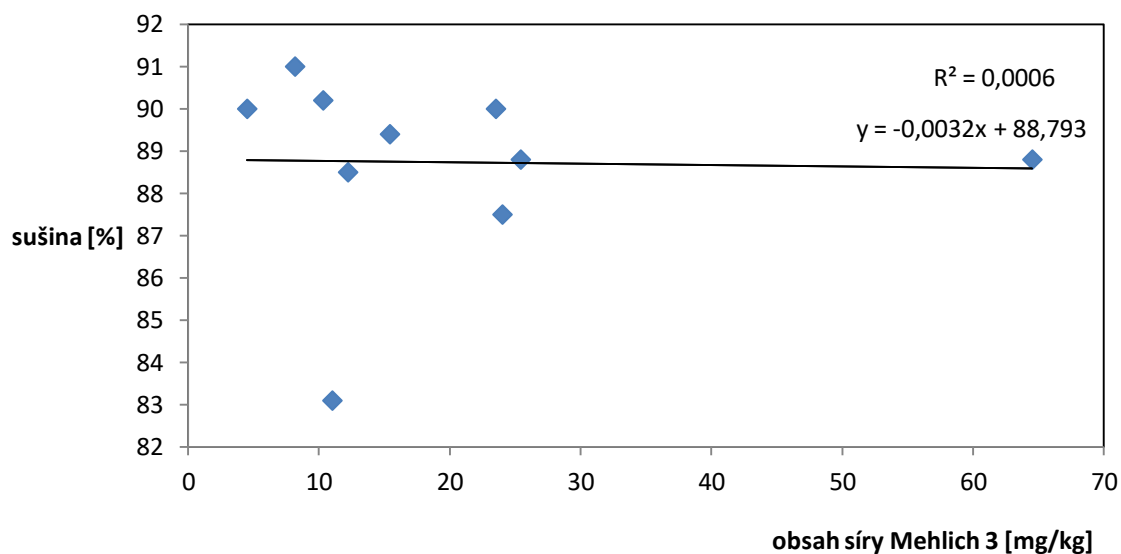
Z grafu č. 13 vyplývá, že poměr N/S v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu při C_{ox} 0,51 - 1,26 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,2526$ tedy $r = -0,5026$, korelační hodnota je střední. Odlehlá hodnota vzorku s obsahem síry 38,71 mg/kg se v grafu č. 10 ponechala z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 13 - korelace obsahu síry ve vodném výluhu a poměru N/S za podmínky C_{ox} 0,51 - 1,26 %.



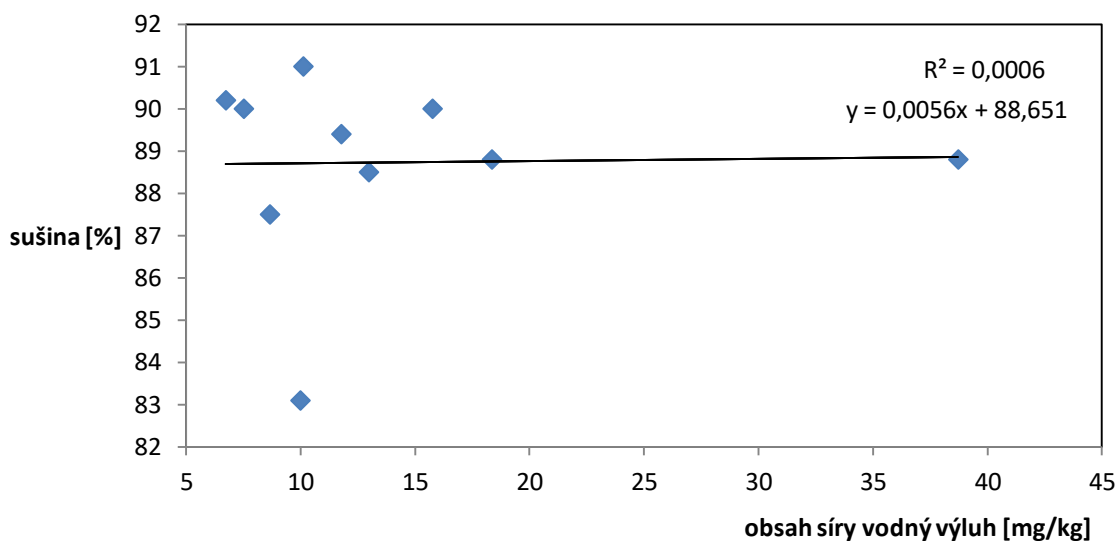
Z grafu č. 14 vyplývá, že obsah sušiny v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3 při C_{ox} 0,51 - 1,26 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,0006$ tedy $r = -0,0245$, korelační hodnota je velmi slabá. Odlehlé hodnoty vzorků se v grafu č. 11 ponechaly z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu

Graf č. 14 - korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a sušiny za podmínky C_{ox} 0,51 - 1,26 %.



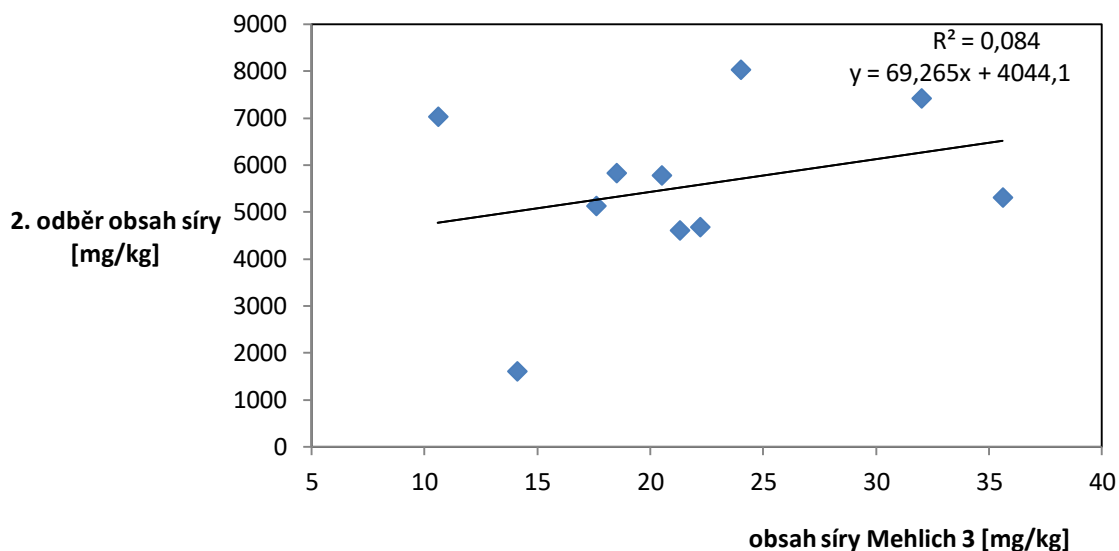
Z grafu č. 15 vyplývá, že obsah sušiny v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu při C_{ox} 0,51 - 1,26 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,0006$ tedy $r = +0,0245$, korelační hodnota je velmi slabá. Odlehlé hodnoty vzorků se v grafu č. 12 ponechaly z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 15 - korelace obsahu síry ve vodném výluhu a sušiny za podmínky C_{ox} 0,51 - 1,26 %.



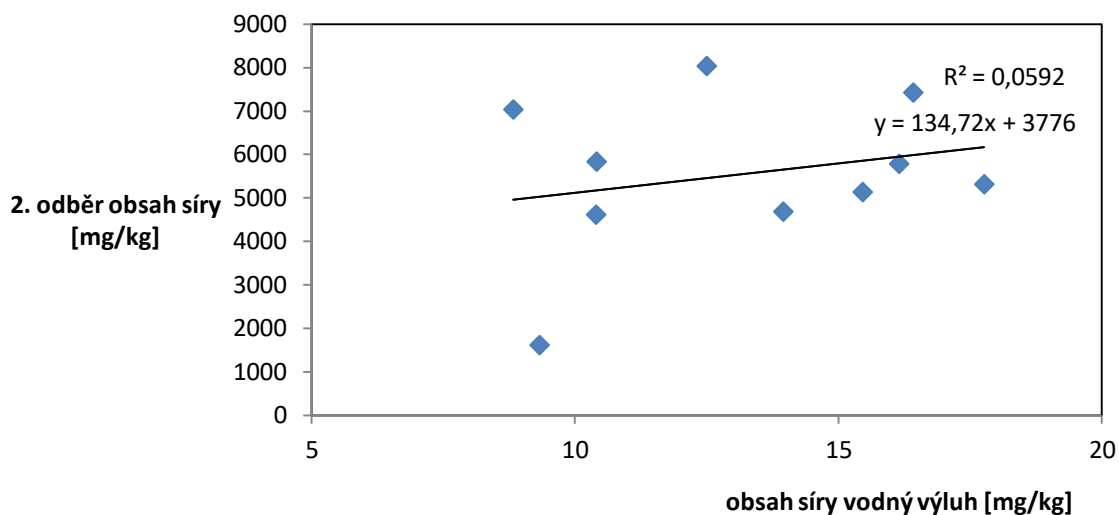
Z grafu č. 16 vyplývá, že obsah síry v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3 při C_{ox} 1,48 - 1,83 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,084$ tedy $r = +0,2898$, korelační hodnota je slabá.

Graf č. 16 – korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a obsahu síry v kvetení řepky za podmínky C_{ox} 1,48 - 1,83 %.



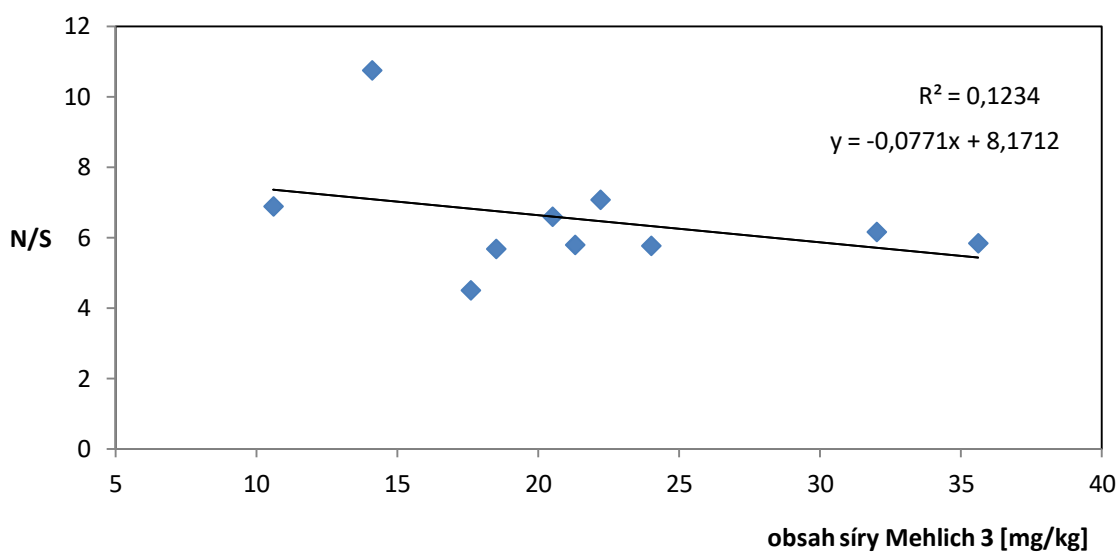
Z grafu č. 17 vyplývá, že obsah síry v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval pozitivně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu při C_{ox} 1,48 - 1,83 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,0592$ tedy $r = +0,2433$, korelační hodnota je slabá.

Graf č. 17 – korelace obsahu síry ve vodném výluhu a obsahu síry v kvetení řepky za podmínky C_{ox} 1,48 – 1,83 %.



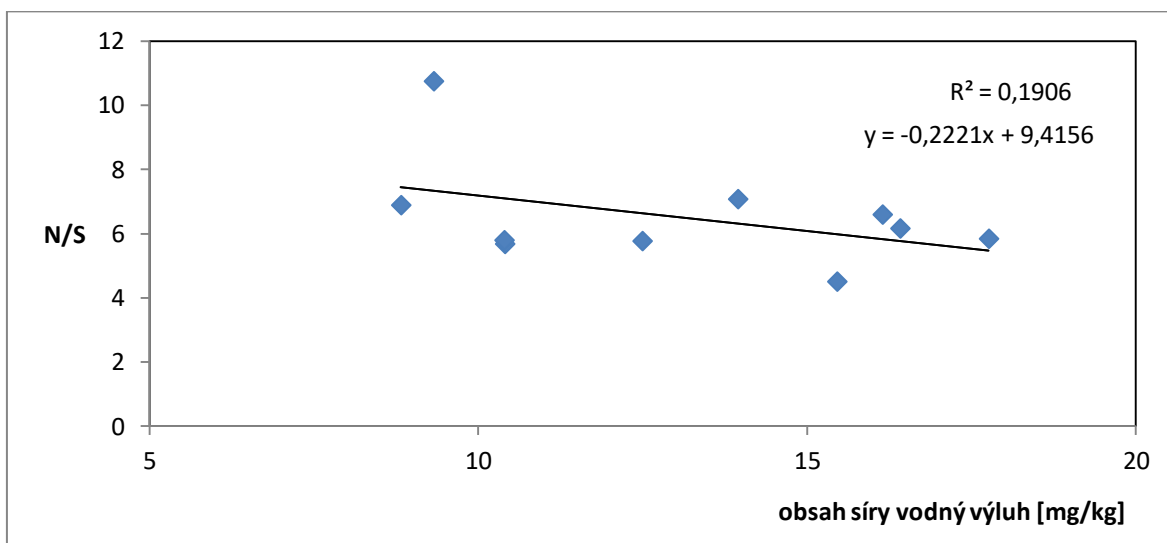
Z grafu č. 18 vyplývá, že poměr N/S v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3 při C_{ox} 1,48 - 1,83 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,1234$ tedy $r = -0,3513$, korelační hodnota je slabá.

Graf č. 18 – korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a poměru N/S za podmínky C_{ox} 1,48 - 1,83 %.



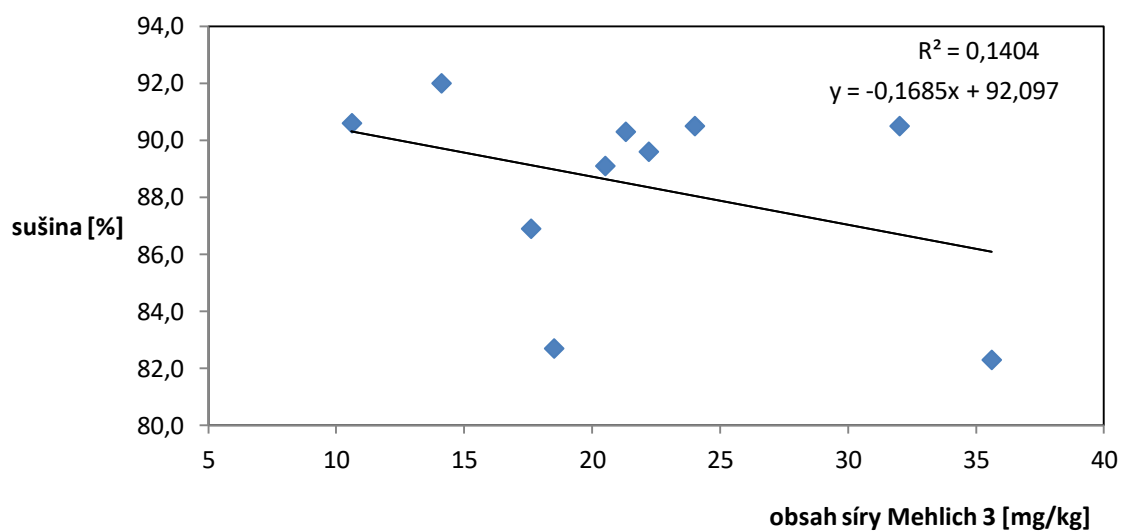
Z grafu č. 19 vyplývá, že poměr N/S v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu při C_{ox} 1,48 - 1,83 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,1906$ tedy $r = -0,4366$, korelační hodnota je střední.

Graf č. 19 - korelace obsahu síry ve vodném výluhu a poměru N/S za podmínky C_{ox} 1,48 - 1,83 %.



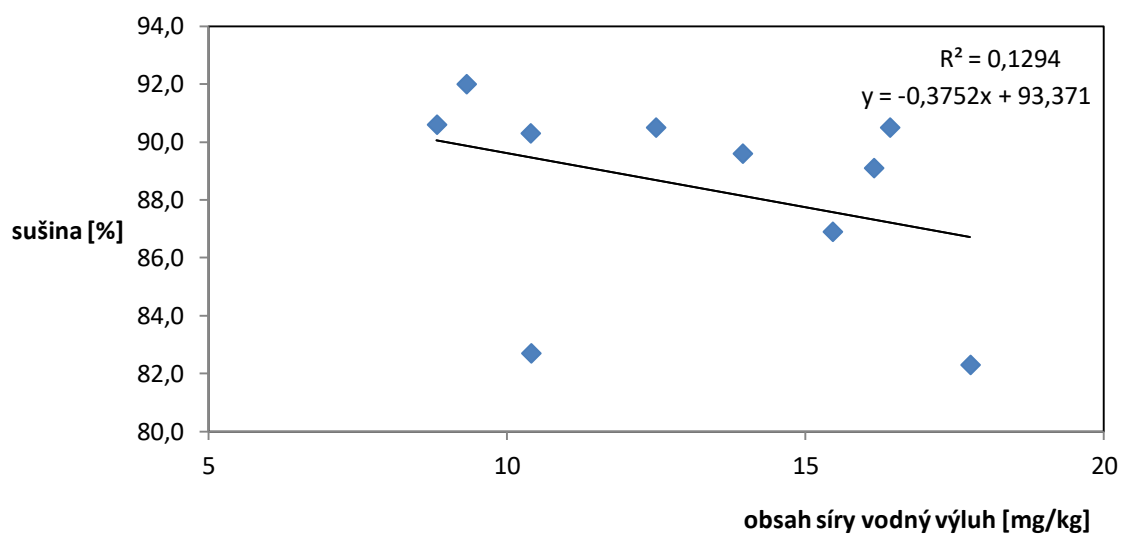
Z grafu č. 20 vyplývá, že obsah sušiny v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3 při C_{ox} 1,48 - 1,83 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,1404$ tedy $r = -0,3747$, korelační hodnota je slabá. Odlehlé hodnoty vzorků se v grafu č. 17 ponechaly z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 20 - korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a sušiny za podmínky C_{ox} 1,48 - 1,83 %.



Z grafu č. 21 vyplývá, že obsah sušiny v nadzemní biomase ozimé řepky koreloval negativně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu při C_{ox} 1,48 - 1,83 %. Koeficient korelace je vypočítaný z $R^2 = 0,1294$ tedy $r = -0,3597$, korelační hodnota je slabá. Odlehlé hodnoty vzorků se v grafu č. 18 ponechaly z důvodu neovlivnění koeficientu korelace a jejího typu.

Graf č. 21 - korelace obsahu síry ve vodném výluhu a sušiny za podmínky C_{ox} 1,48 - 1,83 %.



6 Diskuze

Obsah síry ve výluhu Mehlich 3 koreluje pozitivně s obsahem síry stanoveným ve vodném výluhu. Korelační hodnota je pro celou škálu vzorků velmi silná, pro vzorky pohybující se v rozmezí C_{ox} 0,51 - 1,26 % je korelační hodnota velmi silná zato pro vzorky pohybující se v rozmezí C_{ox} 1,48 - 1,83 % je korelační hodnota silná. Podle Šimka (2003) se anorganická forma síry převážně vyskytuje v půdě ve formě sulfátů rozpuštěných v půdním roztoku. Vaněk et al. (2001) poukazuje, že síra vázaná v organických sloučeninách nemůže být využita rostlinou a musí dojít k přeměně na volnou sulfátovou formu, protože kořen rostlin přijímá síru nejvíce v anorganické formě jako sulfát (Šimek 2003). Na základě těchto poznatků došlo k rozdělení celkové škály našich vzorků na dva stejně rozsáhlé soubory s různým obsahem organické hmoty vyjádřené obsahem oxidovatelného uhlíku (C_{ox}): na vzorky s nižším obsahem C_{ox} (0,51 - 1,26 %) a vyšším obsahem C_{ox} (1,48 - 1,83 %) v půdě. Tímto rozdělením dochází k silnější korelaci obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a vodném výluhu se zkoumanými parametry (obsah síry, poměr N/S, obsah sušiny).

Při pozorování výsledků srovnání obsahů síry ve výluhách s poměrem N/S nepřináší očekávané výsledky. Korelace jsou negativního průběhu s korelačními hodnotami pro výluh Mehlich 3 slabá a pro vodný výluh střední.

Velmi málo rozdílné korelační hodnoty vychází u korelací obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a vodném výluhu s obsahem síry v nadzemní biomase. Lze přijmout, že porovnání výluhu Mehlich 3 a vodného výluhu s obsahem síry v nadzemní biomase při kvetení řepky je ve shodě. Tento vztah je středně silný, pokud ho vyjádříme pro půdy s širokým rozptylem obsahu C_{ox} . Při nižším obsahu C_{ox} v půdě (0,51 – 1,26 %) je korelace mezi obsahem síry v nadzemní biomase s obsahem síry v půdě Mehlich 3 silná a pro vodný výluh je velmi silná. Při vyšším obsahu C_{ox} v půdě (1,48 – 1,83 %) je korelace mezi obsahem síry v nadzemní biomase s obsahem síry v půdě (výluh Mehlich 3 i vodný výluh) slabá.

Při vyhodnocení korelací obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a vodném výluhu s obsahem sušiny v nadzemní biomase je patrná negativní korelace. Porovnání výluhů se sušinou za podmínky celé škály vzorků je velmi slabá korelační hodnota pro výluh Mehlich 3 a vodný výluh. Dle Farahbakhsh, et al. (2006) obsah síry v půdě neovlivňuje obsah sušiny v nadzemní biomase řepky, ale podle Bose et al. (2009) obsah síry v půdě silně koreluje

s obsahem sušiny v semenech a slámě řepky. Výsledky vztahů obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a vodném výluhu s obsahem sušiny v nadzemní biomase jsou porovnatelné. Obě korelační hodnoty vychází velmi slabě při nižším obsahu C_{ox} v půdě. Pro výluh Mehlich 3 je vztah negativní oproti pozitivnímu u vodného výluhu. Při vyšším obsahu C_{ox} je vztah obsahu sušiny v nadzemní biomase a výluhů (Mehlich 3 a vodný výluh) slabý.

Byl zjištěn prokazatelný vztah mezi obsahem síry v nadzemní biomase řepky v době kvetení a obsahem síry v půdě stanoveném jak ve výluhu Mehlich 3, tak ve vodném výluhu. V obou případech je patrná pozitivní korelace za podmínek, že obsah C_{ox} se pohybuje v rozmezí 0,51 - 1,26 %. Vztah mezi obsahem síry v nadzemní biomase a obsahem půdní síry ve výluhu Mehlich 3 je silný. Ve vodném výluhu je korelace mezi obsahem půdní síry a obsahem síry v nadzemní biomase řepky velmi silná. Při těchto podmínkách korelace při porovnávání vztahu výluhu Mehlich 3 a obsahu síry v kvetení řepky vychází výsledek nejlépe ze všech porovnatelných. Balík et al. (2009) potvrzuje korelaci mezi obsahem síry v nadzemní biomase a obsahem síry dostupné v době odběru.

Při vyšším obsahu C_{ox} v půdě je menší závislost obsahu síry v nadzemní biomase a obsahu síry v půdě stanoveného ve výluhu Mehlich 3 nebo vodném výluhu. Ve většině případech se jedná o slabou korelaci. Výjimkou je závislost obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 na poměru N/S v nadzemní biomase a závislost obsahu síry ve vodném výluhu na poměru N/S v nadzemní biomase. Zde je nepatrný rozdíl v interpretaci výsledků. Z vyjádření korelace obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 a vodném výluhu k poměru N/S v nadzemní biomase vyplývá, že korelace v obou případech je negativní. Korelační hodnota je slabá pro vztah mezi obsahem síry ve výluhu Mehlich 3 a poměrem N/S v nadzemní biomase, ale pro vztah mezi obsahem síry ve vodném výluhu a poměrem N/S v nadzemní biomase je střední.

Příjem síry rostlinou je výhodnější hodnotit obsahem síry za podmínek, že vzorky půdy jsou v široké škále obsahu C_{ox} . Stejný výsledek pro obsah síry vychází i u vzorků půdy s nižším obsahem C_{ox} v rozmezí 0,51 - 1,26 %. Příjem síry rostlinou není vhodné hodnotit poměrem N/S u vzorků půdy s nižším obsahem C_{ox} 0,51 - 1,26 %. Při hodnocení příjmu síry rostlinou poměrem N/S u půd s vyšším obsahem C_{ox} 1,48 - 1,83 % dochází k negativní korelaci se střední korelační hodnotou s obsahem síry ve vodném výluhu.

Podle McKenzie (2013) je optimální poměr N/S v nadzemní biomase řepky 7 v období jarní vegetace. Blake-Kalff et al. (2000) uvádí poměr N/S u nadzemní biomasy řepky 7,8 v období kvetení řepky. Z výsledků vychází, že pro poměr N/S 7,8 vychází obsah síry stanovený ve výluhu Mehlich 3 -19,6516 mg/kg a ve vodném výluhu -2,3632 mg/kg za

podmínky celé škály vzorků půdy. Obsah síry při podmínce obsahu C_{ox} 0,51 - 1,26 % vychází ve výluhu Mehlich 3 -22,5053 mg/kg a ve vodném výluhu 2,4131 mg/kg při poměru N/S 7,8. Obsah síry při podmínce obsahu C_{ox} 1,48 - 1,83 % vychází ve výluhu Mehlich 3 4,8145 mg/kg a ve vodném výluhu 7,2742 mg/kg při poměru N/S 7,8. Z výše uvedeného vyplývá, že parametr poměr N/S není vhodný pro hodnocení příjmu síry ozimou řepkou ve vztahu k obsahu síry stanovené v činidle Mehlich 3 i ve vodném výluhu.

Podle Matuly a Pechové (2002) je minimální obsah síry v nadzemní biomase ozimé řepky 5000 mg/kg. Hodnota je stanovena pro období dlouhivého růstu pro zachování optimálního výnosu řepky ozimé. Z výsledků vychází, že pro obsah síry 5000 mg/kg v nadzemní biomase vychází obsah síry stanovený ve výluhu Mehlich 3 16,0590 mg/kg a ve vodném výluhu 10,5181 mg/kg za podmínky celé škály vzorků půdy. Obsah síry při podmínce obsahu C_{ox} 0,51 - 1,26 % vychází ve výluhu Mehlich 3 17,3497 mg/kg a ve vodném výluhu 12,8484 mg/kg pro obsah síry 5000 mg/kg v nadzemní biomase. Obsah síry při podmínce obsahu C_{ox} 1,48 - 1,83 % vychází ve výluhu Mehlich 3 13,8439 mg/kg a ve vodném výluhu 9,0855 mg/kg při obsahu síry 5000 mg/kg v nadzemní biomase. Výsledky jsou zkrácené z důvodu nezjištěné hodnoty obsahu síry v období kvetení řepky. Hodnoty jsou známy pro list a semeno ozimé řepky.

Vaněk et al. (2001) zmiňuje, že využití stanovení podle Mehlich 3 je nevhodné ke stanovení výživného stavu síry v půdě. To potvrzuje Matula (2007), který uvádí, že stanovení síry v půdě je bez vztahu s obsahem síry v dané plodině. To je v rozporu s Kulhánkem et al. (2018), který zmiňuje pozitivní korelaci obsahu síry v ozimé řepce s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3. Námi zjištěné výsledky potvrzují pozitivní korelaci již zjištěnou a upřesňují korelační hodnotu $r = 0,5215$ z korelační hodnoty $> 0,350$ tvrzenou Kulhánkem et al. (2018). Výsledky předpokládají široký rozsah půd s různou hodnotou oxidovatelného organicky vázaného uhlíku v půdě (C_{ox}). Seth et al. (2018) tvrdí, že vyšší obsah C_{ox} pozitivně koreluje s vyšším obsahem síry v půdě, který je extrahovatelný stanovením Mehlich 3. Výsledky prokazují pozitivní korelaci obsahu síry v ozimé řepce s obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3 při podmínce za vyšší hodnoty obsahu C_{ox} v rozsahu 1,48 - 1,83 %, ale korelační hodnota je slabá. Pozitivní korelace se silnou korelační hodnotou je při podmínce nižší hodnoty obsahu C_{ox} v rozsahu 0,51 - 1,26 %. Mehlich 3 by proto mohl být využitý při stanovení obsahu síry v nadzemní biomase ozimé řepky z půd v rozmezí obsahu C_{ox} 0,51 - 1,26 %.

7 Závěr

Na základě výsledků lze vyvodit tento závěr:

- Obsah síry ve výluhu Mehlich 3 koreloval pozitivně s obsahem síry ve vodném výluhu na půdách s obsahem C_{ox} 0,51 - 1,26 % velmi silně a na půdách s obsahem C_{ox} 1,48 – 1,83 % silně.
- Obsah sušiny v nadzemní biomase negativně koreluje s obsahem síry ve výluhu Mehlich 3 a vodném výluhu velmi slabě na půdách s obsahem C_{ox} 0,51 – 1,26 % a na půdách s obsahem C_{ox} 1,48 – 1,83 % slabě.
- Poměr N/S v nadzemní biomase negativně koreluje s obsahy síry ve výluhu Mehlich 3 slabě a vodném výluhu středně.
- Pozitivní středně silná korelace, byla zaznamenána mezi obsahem síry v ozimé řepce a obsahem síry stanoveným ve výluhu Mehlich 3.
- Byla prokázána vhodnost hodnotit příjem síry rostlinou za využití korelace obsahu síry z nadzemní biomasy s obsahem síry ve výluhu Mehlich 3. Tento vztah na půdách s obsahem C_{ox} 0,51 - 1,26 % je silný, ale na půdách s obsahem C_{ox} 1,48 – 1,83 % je slabý.
- Byla tedy potvrzena hypotéza korelace obsahu síry v nadzemní biomase ozimé řepky s obsahem síry ve vodném výluhu a ve výluhu Mehlich 3, tímto byla potvrzena vhodnost metody Mehlich 3 na půdách s nižším obsahem organické hmoty.
- Byla potvrzena hypotéza o vyšším podílu anorganické síry v půdě za nižší hodnoty C_{ox} , neboť více přijatelné půdní síry bylo stanoveno za podmínek nižšího obsahu organického uhlíku v půdě.
- Byla vyvrácena hypotéza o vhodnosti hodnocení příjmu síry rostlinou poměrem N/S v nadzemní biomase ozimé řepky.
- Byla vyvrácena hypotéza korelace obsahu sušiny v nadzemní biomase ozimé řepky s obsahem síry ve vodném výluhu a ve výluhu Mehlich 3.

8 Seznam použité literatury

- Abrol YP, Ahmad A, et al. 2003. Sulphur in Plants. Kluwer Academic Press, Boston.
- Asare E, Scarisbrick DH. 1995. Rate of nitrogen and sulphur fertilization on yield, yield components and seed quality of oilseed rape (*Brassica napus L.*) Field Crops Research **44**: 41-46.
- Balík J, Kulhánek M, Černý J, Száková J, Pavlíková D, Čermák P. 2009. Differences in soil sulfur fractions due to limitation of atmospheric deposition. Plant, Soil and Environment. **55(8)**: 344-352.
- Baranyk P, Zehnálek P. 2006. Výsledky maloparcelních odrůdových pokusů s intenzivní agrotechnikou. Pages 170-171 in Hluk **23**. Vyhodnocovací seminář Systém výroby řepky a Systém výroby slunečnice. SPZO, Praha.
- Baranyk P, Fábry A, et al. 2007. Řepka – pěstování – využití – ekonomika. Nakladatelství Profi Press, s.r.o., Praha.
- Baranyk P, et al. 2010. Olejniny. Vydavatelství Profi Press s.r.o., Praha.
- Bečka D. 2013. Řepka ozimá – inovace pěstitelské technologie. ČZU v Praze, Praha.
- Benech-Arnold RL, Sánchez RA, et al. 2004. Handbook of Seed Physiology – Applications to Agriculture. Food Products Press and The Haworth Reference Press, Inc., NY.
- Beranová M. 1980. Zemědělství starých Slovanů. Academia, ČSAV Praha.
- Blake-Kalff MMA, Hawkesford MJ, Zhao FJ, McGrath SP. 2000. Diagnosing sulfur deficiency in field-grown oilseed rape (*Brassica napus L.*) and wheat (*Triticum aestivum L.*) Plant and Soil **225**: 95-107.

Blum SCh, Lehmann J, Solomon D, Cairns EF, Alleoni LRF. 2013. Sulfur forms in organic substrates affecting S mineralization in soil. *Geoderma* **200-201**: 156-164.

Bose N, Naik SK, Das DK. 2009. Evaluation of nitrosulf and elemental sulphur on growth and yield of rapeseed (*Brassica campestris L.*) in India. *Agronomy and Soil Science* **55(1)**: 79-90.

Dunford NT. 2012. *Food and Industrial Bioproducts and Bioprocessing*. Wiley-Blackwell, A John Wiley and Sons, Ltd, Publication, USA.

Eriksen J. 2009. Soil sulfur cycling in temperate agricultural systems. *Advances in Agronomy* **102**: 55-89.

Farahbakhsh H, Pakgohar N, Karimi A. Effects of Nitrogen and Sulphur Fertilizers on Yield, Yield Components and Oil Content of Oilseed Rape (*Brassica napus L.*). *Asian Journal of Plant Sciences* **5(1)**: 112-115.

Fábry A, et al. 1992. *Olejniny*. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.

Garrels RM, Mackenzie FT, Hunt C. 1975. *Chemical cycles and the global environment*. W. Kaufmann, Los Altos (California).

Grant CA, Mahli SS, Karamanos RE. 2012. Sulfur management for rapeseed. *Field Crops Research* **128**: 119-128.

Havel J. 2001. Využití mořidel, fyziologicky aktivních látek a hnojení sírou ke zlepšení výkonnosti a zdravotního stavu řepky ozimé. Oseva Pro s.r.o., o.z. Výzkumný ústav olejnin Opava, Opava.

Holland HD. 1978. *The chemistry of the atmosphere and oceans*. John Wiley and Sons, New York.

Holobradá M. 1985. *Príjem a asimilácia síry v rastlinách*. Veda, vydavateľstvo slovenskej akadémie vied, Bratislava.

Karamanos RE, Goth TB, Flaten DN, 2007. Nitrogen and sulphur fertilizer management for growing canola on sulphur sufficient soils. *Canadian Journal of Plant Science*. **87**: 201-210.

Komarnisky LA, Christopherson RJ, Basu TK. 2003. Sulfur: Its Clinical and Toxicologic Aspects. *Nutrition* **19** (1): 64-61.

Kopriva, S. Calderwood, A. Weckopp, S. C. Koprivova, A. 2015. Plant sulfur and Big Data. *Plant Science* **241**: 1-10.

Koprivova A, Kopriva S. 2016. Sulfur metabolism and its manipulation in crops. *Journal of Genetics and Genomics* **43**: 623-629.

Kowalenko CG. 2008. Extraction times and analysis methods influence soil test measurements of phosphorus and sulphur. *Canadian Journal of Soil Science* **88**: 733-747.

Kulhánek M, Balík J, Vaněk V, Pavlíková D, Černý J. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení – Certifikovaná metoda. ČZU v Praze, Praha.

Kulhánek M, Černý J, Balík J, Sedlář O, Suran P. 2018. Potential of Mehlich 3 method for extracting plant available sulfur in the Czech agricultural soils. *Plant, Soil and Environment*. **64**(9): 455-462.

Liška M. 2017. Situační a výhledová zpráva olejnin. Ministerstvo zemědělství, Praha.

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

Mathot M, Thélier-Huché L, Lambert R. 2008. Sulphur and nitrogen content as sulphur deficient indicator for grasses. *European Journal of Agronomy* **30**: 172-176.

Matula J. 2006. Výživný stav půd a optimalizace hnojení. Pages 120-126. Volf M. Systém výroby řepky, systém výroby slunečnice. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin SPZO s.r.o. a Dolňácko a.s. HLUK, Praha.

Matula J. 2007. Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Matula J. 2007. Výživa a hnojení sírou. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.

McKenzie RH. 2013. Sulphur Fertilizer Application in Crop Production. Alberta **542**.

Mc Grath SP, Zhao FJ. 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). Journal Agricultural Science **126**: 53-62.

Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis **15**: 1409-1416.

Mikšík V. 2000. Výživa a hnojení řepky ozimé dusíkem. ČZU v Praze, Praha.

Moldan B. 1983. Koloběh hmoty v přírodě. Academia, Praha.

Nziguheba G, Smolders E, Merckx R, 2005. Sulphur immobilization and availability in soils assessed using isotope dilution. Soil Biology and Biochemistry **37**: 635-644.

Ostatek-Boczynski ZA, Lee-Steere P. 2012. Evaluation of Mehlich 3 a universal nutrient extractant for Australian sugarcane soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis **43**: 623-630.

PDA. 2011. Balanced nutrition shown by nitrogen : sulphur ratios. PDA Potash News, UK.

Pinkerton A. 1998. Critical sulfur concentrations in oilseed rape (*Brassica napus*) in relation to nitrogen supply and to plant age. Australian Journal of Experimental Agriculture **38** (5): 81-111.

Prugar J, et al. 2008. Kvalita rostlinných produktů na pøahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a.s. Praha, Praha.

Richter R, Hřivna L. 1998. Úloha síry při pěstování ozimé řepky. Úroda – půda a úroda, Časopis pro rostlinnou produkci **XXXXVI (9)**: 16-17.

Richter R, Hřivna L. 2001. Výživa a hnojení ozimé řepky. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin, Praha.

Sarkas D, Haldar A. 2005. Physical and Chemical Methods in Soil Analysis – Fundamental Concepts of Analytical Chemistry and Instrumental Techniques. New Age International (P) Limited, Publishers.

Sawyer J, Lang B, Barker D. 2011. Sulfur fertilization response in Iowa corn production. Better Crops **95**: 6-7.

Seth A, Sarkas D, Masto RE, Batabyal K, Saha S, Murmu S, Das R, Padhan D, Mandal B. 2018. Critical limit of Mehlich 3 extractable phosphorous, potassium, sulfur, boron, and zinc in soils for nutrition of rice (*Oryza sativa L.*). Journal of Soil Science and Plant Nutrition **18(2)**: 512-523.

Scherer HW. 2000. Sulphur in crop production – invited paper. European Journal of Agronomy **14**: 81-111.

Schnug E, Haneklaus S. 1998. Diagnosis of sulphur nutrition. In Sulphur in Agroecosystems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

Sims JR, Haby VA. 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. Soil Science **112**: 137-141.

Solomon D, Lehmann J, Lobe I, Martínéz CE, Tveitnes S, Du Preez CC. 2005. Sulphur speciation and biogeochemical cycling in long-term arable cropping of subtropical soils: evidence from wet-chemical reduction and S K-edge XANES spectroscopy. European Journal of Soil Science **56**: 621-634.

Suchara I, Sucharová J. 2000. Distribution of long-term accumulated atmospheric deposition loads of metal and sulphur compounds in the Czech Republic determined through forest floor humus analyses. Acta Průhoniana, Průhonice.

Sýkora K. 2006. Utilizace dusíku a síry rostlinami ozimé řepky a kvalita produkce po aplikaci N – S hnojiv [Doktorská dizertační práce]. ČZU v Praze, Praha.

Šiaudinis G. 2010. The effect of nitrogen and sulphur fertilisation on the elemental composition and seed quality of spring oilseed rape. *Žemdirbystė=Agriculture* **4**: 47-56.

Šimek M. 2003. Základy nauky o půdě – 3. Biologické procesy a cykly prvků. Biologická fakulta JU, České Budějovice.

Šimek M. 2005. Základy nauky o půdě – 1. Neživé složky půdy. Biologická fakulta JU, České Budějovice.

Trávník K, Zbiral J, Němec P. 1999. Agrochemické zkoušení zemědělských půd – Mehlich 3. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, Brno.

Vaněk V, Kolář L, et al. 2001. Racionální použití hnojiv – zaměřené na problematiku síry v rostlinné výrobě. ČZU v Praze, Praha.

Vašák J, et al. 2000. Řepka. Ing. František Savov – AGROSPOJ, Praha.

Vong PCh, Dedourge O, Lasserre-Joulin F, Guckert A. 2003. Immobilized-S, microbial biomass-S and soil arylsulfatase activity in the rhizosphere soil of rape and barley as affected by labile substrate C and N additions. *Soil Biology and Biochemistry* **35**: 1651-1661.

Vong PCh, Nguyen Ch, Guckert A. 2007. Fertilizer sulphur uptake and transformation in soil as affected by plant species and soil type. *European Journal of Agronomy* **27**: 35-43.

Zbiral J. 2000. Determination of phosphorus in calcareous soils by Mehlich 3, Mehlich 2, CAL, and Egner extractants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **31**: 3037–3048.

Zbiral J. 2006. Effect of Grinding on Soil Extraction by Aqua Regia, 2 M Nitric Acid, and Mehlich 3. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **37**:15-20.

Zelený F, Zelená E. 2000. Potřeba síry k výživě ozimé řepky. *Agro magazín* **1(1)**: 31-32.

Zhao B, Nan X, Xu H, Zhang T, Ma F. 2017. Sulfate sorption on rape (*Brassica campestris* L.) straw biochar, loess soil and a biochar-soil mixture. *Journal of Environmental Management* **201**: 309-314.