

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Vliv aplikace čistírenských kalů na obsah síry v  
půdě a v rostlinách**

diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Jiří Balík, CSc.

Autor: Stanislav Zvonek

**Praha 2009**

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „**Vliv aplikace čistírenských kalů na obsah síry v půdě a v rostlinách**“ vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze, dne 3. dubna 2009

Podpis .....

## **Poděkování:**

Dovoluji si touto cestou poděkovat Prof. Ing. Jiřímu Balíkovi, CSc. za cenné rady a odborné vedení diplomové práce a celému kolektivu katedry za pomoc při analýzách vzorků.

# Autorský referát

Cílem této práce bylo posoudit vliv dlouhodobé aplikace čistírenských kalů na obsah síry v půdě a v rostlinách.

Stabilizované kaly z čistíren odpadních vod obsahují živiny, biologicky aktivní a organické látky vhodné pro zemědělsky využívanou půdu. Hnojení kaly je výhodný způsob zužitkování těchto vedlejších produktů, jsou-li aplikovány cíleně, kontrolovaně a v odpovídajících podmínkách přírodních a výrobních.

Dlouhodobý stacionární pokus byl založen na podzim roku 1996 na pěti stanovištích (Praha–Suchdol, Červený Újezd, Lukavec u Pacova, Humpolec, Hněvčeves) s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami a jeho metodika je popsána v praktické části. Cílem je zhodnocení aplikace čistírenských kalů na obsah síry v zrně a slámě u pšenice ozimé ve srovnání s dalšími variantami hnojení. Přičemž varianta 1 (kontrola) je nehnojená, varianta 2 (kal 1) dávka 30,0 t.ha<sup>-1</sup> odpovídající hladině 330 kg N.ha<sup>-1</sup>, varianta 3 (kal 2) trojitá dávka kalu tj. 990 kg N.ha<sup>-1</sup>, varianta 4 (hnůj 65,94 t.ha<sup>-1</sup>), varianta 5 (N) 140 kg N.ha<sup>-1</sup>, varianta 6 (N+sláma) 140 kg N.ha<sup>-1</sup>. U variant hnojených kalem byl použit kal z ČOV Praha-Trója. Celkový obsah síry v rostlinném materiálu a v organických hnojivech jsme analyzovali na přístroji Leco CNS 2000.

Výsledky pokusu ukazují na skutečnost, že aplikací čistírenských kalů došlo k relativnímu nárůstu obsahu síry v zrně ozimé pšenice. Oproti nehnojené kontrolní variantě 1 došlo u varianty 2 hnojené jednoduchou dávkou kalu k relativnímu navýšení obsahu S v zrně o 7% a u varianty 3, na kterou byla aplikována trojitá dávka kalu o 15%. Z těchto poznatků vyplývá, že při aplikaci trojité dávky kalu došlo k relativnímu navýšení obsahu S pouze o 8% než u jednoduché dávky kalu. Aplikace vyšších dávek kalu pro zvýšení výnosů se proto jeví jako zbytečně riskantní kvůli vyššímu přísunu rizikových prvků. Vliv aplikace čistírenských kalů na celkový obsah síry v půdě nebyl prokázán. Celkové obsahy síry na všech stanovištích byly po dobu experimentu na stejné úrovni.

## **Klíčová slova:**

síra, čistírenský kal, hnůj, ozimá pšenice

## Thesis summary

The aim of this work was to evaluate the influence of a long-term application of sewage sludge on the sulfur content in the soil and plants

Stabilized sludge from waste-water treatment plants contains nutrients, biologically active and organic substances useful for arable soil. Using this sludge for fertilization is seen as an expedient use of side products, if they are used on target, in a controlled way, and in relevant natural and industrial conditions.

A long-term stationary experiment was founded in 1996 on five locations (Praha–Suchdol, Červený Újezd, Lukavec u Pacova, Humpolec, Hněvčeves) with different soil-climatic conditions and its methodology is described in the practical part of this work. The aim is to assess the application of sewage sludge on the content of sulphur in the grain and straw of winter wheat in comparison to other forms of fertilization. Where the first control is non fertilized soil, the second control (sludge 1) is fertilized with the amount of  $30.0 \text{ t.ha}^{-1}$  equivalent level of  $330 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , the third control (sludge 2) is fertilized by a triple doze with the amount of  $990 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , the fourth control (manure  $65,94 \text{ t.ha}^{-1}$ ), the fifth control (N)  $140 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , the sixth control (N + straw)  $140 \text{ kg N.ha}^{-1}$ . We used for the fertilization sludge from waste-water treatment plant Prague-Troja. The total amount of sulphur in organic material and in organic fertilizers was analysed on apparatus Leco CNS 2000.

Results of this experiment show that application of sewage sludge causes a relative increase of the content of sulphur in the grain of winter wheat. In comparison to the first control with non fertilized soil there was a relative increase by 7% of the content of sulphur in the second control which was fertilized by a single doze of sewage sludge and by 15% of the content of sulphur in the second control which was fertilized by a triple doze of sewage sludge. These findings show that if there is triple doze application of the sludge, there is only an 8% relative increase of the content of sulphur compared to a single doze application of the sludge. Higher doze applications of the sludge used for increasing yields seem to be uselessly risky due to higher content of risky substances. The influence of application of sewage

sludge on the overall content of sulphur in soil was not proved. The overall contents of sulphur on all controls were the same throughout the experiment.

**Key words:**

sulphur, sewage sludge, manure, winter wheat

# Obsah

<b>1</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>10</b>
1.1	SÍRA V PŮDĚ.....	10
1.1.1	Organické sloučeniny síry .....	11
1.1.2	Anorganické sloučeniny síry .....	11
1.1.3	Koloběh síry v půdě .....	12
1.1.4	Ztráty síry z půdy.....	15
1.1.5	Vstup síry do půdy .....	16
1.2	SÍRA V ROSTLINĚ.....	20
1.2.1	Význam síry pro rostliny.....	20
1.2.2	Příjem síry rostlinami.....	21
1.2.3	Transport síry v rostlině .....	22
1.2.4	Asimilace síry .....	23
1.3	ČISTÍRENSKÉ KALY .....	27
1.3.1	Charakteristika kalů z ČOV.....	27
1.3.2	Aplikace kalů z ČOV na zemědělskou půdu .....	29
1.3.3	Legislativa.....	31
<b>2</b>	<b>CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>METODIKA .....</b>	<b>34</b>
3.1	KLIMATICKÉ A PŮDNÍ CHARAKTERISTIKY STANOVIŠŤ .....	34
3.1.1	Červený Újezd .....	34
3.1.2	Hněvčeves.....	35
3.1.3	Humpolec.....	35
3.1.4	Lukavec .....	36
3.1.5	Suchdol.....	36
3.2	SCHÉMA ZALOŽENÍ A HNOJENÍ POKUSU.....	36
3.2.1	Schéma založení a hnojení variant pokusu .....	37
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>38</b>
4.1	VÝNOS ZRNA OZIMÉ PŠENICE.....	38

4.1.1	Suchdol.....	38
4.1.2	Červený Újezd .....	39
4.1.3	Lukavec .....	40
4.1.4	Humpolec.....	41
4.1.5	Hněvčeves.....	42
4.1.6	Vliv ročníku .....	43
4.1.7	Vliv stanoviště.....	43
4.1.8	Vliv hnojení.....	44
4.2	<b>OBSAH SÍRY V ZRNĚ A SLÁMĚ OZIMÉ PŠENICE .....</b>	<b>45</b>
4.2.1	Suchdol.....	45
4.2.2	Červený Újezd .....	46
4.2.3	Lukavec .....	48
4.2.4	Humpolec.....	49
4.2.5	Hněvčeves.....	50
4.2.6	Vliv ročníku .....	52
4.2.7	Vliv stanoviště.....	53
4.2.8	Vliv hnojení.....	53
4.3	<b>ODBĚR SÍRY ZRNEM OZIMÉ PŠENICE .....</b>	<b>54</b>
4.3.1	Suchdol.....	54
4.3.2	Červený Újezd .....	55
4.3.3	Lukavec .....	56
4.3.4	Humpolec.....	57
4.3.5	Hněvčeves.....	58
4.3.6	Vliv ročníku .....	59
4.3.7	Vliv stanoviště.....	60
4.3.8	Vliv hnojení.....	60
<b>5</b>	<b>DISKUZE.....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>73</b>



# 1 Úvod

Stále se zvyšující produkce kalů z čistíren odpadních vod představuje zároveň i rostoucí požadavky na jejich likvidaci, která se tak stává významným ekologickým problémem. Likvidaci čistírenských kalů lze v zásadě provést třemi způsoby: skládkováním, spalováním a aplikací na zemědělskou půdu.

Čistírenský kal se jeví jako vhodné hnojivo vzhledem k poklesu produkce statkových hnojiv v důsledku snižování stavu dobytka. Aplikací čistírenských kalů se zpět do půdy vrací organická hmota a živiny pro pěstované rostliny. Srovnáním s klasickými organickými hnojivy je zřejmý především nižší obsah draslíku a vyšší obsah dusíku a fosforu. Zajištění odpovídajícího výživného stavu rostlin je totiž nezbytným předpokladem k dosažení požadovaného výnosu a kvality produkce. Deficience jedné živiny snižuje využití dalších prvků, což se projeví v konečné fázi na úrovni výnosu a jeho ekonomickém zhodnocení.

Je proto důležité sledovat jak se mění celková bilance živin a jejich mobilita v půdě při těchto systémech. Přitom doposud provedené výzkumy se soustřeďují především na N, případně P, K, Mg, ale zcela chybí studie pro S. Zatím co dle Marschnera (1995) je síra v zahraniční literatuře z hlediska funkce a potřeby ve výživě rostlin zařazována ihned za N. U nás se většinou považuje za vedlejší „balastní“ živinu a nezahrnuje se do hlavních živin (Klír, 1997 *cit.* Zelený a Zelená 1996). Přitom síra jako jeden z esenciálních prvků sehrává velmi důležitou roli v metabolismu při syntéze bílkovin.

Celkový pohled na hnojení sírou se během posledních deseti let výrazně změnil. Jelikož v minulosti nebyla tomuto prvku při hnojení věnována velká pozornost z důvodů vysokých atmosférických spadů síry ve formě SO<sub>2</sub> a současně i dostatečným obsahem síry v některých používaných minerálních hnojivech. V současné době při řešení nároků zemědělských plodin na síru již nemůžeme spoléhat na její přísun z atmosférických spadů, protože její množství dodávané touto formou na zemědělskou půdu se za posledních 15 let snížilo přibližně o 90 %, a to zejména odsířením tepelných elektráren či plynofikací měst a obcí. Aktuálně činí průměrná depozice síry za celou ČR 14

kg/ha, přičemž existují regiony, kde není dosahováno ani 5 kg S/ha (např. kraj Vysočina 3,1, resp. Jihomoravský kraj 2,8 kg S/ha).

Kal by se tedy mohl stát i přes určité nebezpečí kontaminace půd, vhodným organickým hnojivem a společně s aplikací hnoje a ostatních statkových hnojiv částečně řešit problém organické hmoty v našich půdách.

## 2 Literární rešerše

### 2.1 Síra v půdě

Síra se v půdě vyskytuje jak v anorganických sloučeninách, tak i v organických vazbách, které mohou představovat hlavní podíl půdních zásob. Poměr uhlíku, dusíku a síry v půdní organické hmotě se pohybuje přibližně v hodnotách 125 :10 : 1,2 (Tesař a Vaněk, 1992).

Poměr mezi obsahem organické a anorganické síry značně kolísá a závisí hlavně na půdním druhu a hloubce. V humidních a semihumidních oblastech mohou půdy obsahovat i nad 95 % celkové síry v organických sloučeninách. Z anorganických sloučenin síry se v půdách nachází sulfáty, sulfidy, polysulfidy, sulfity, thiosulfity a elementární síra. V dobře provzdušněných půdách se většina anorganické síry vyskytuje v síranové formě a obsah redukovaných sloučenin síry nepřevyšuje 1% (Tabatabai, 1982). V aridních oblastech se mohou v půdách nahromadit vysoká množství solí jako  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (Mengel and Kirkby, 1978).

Obsah síry ve většině zemědělských půd kolísá v širokém rozsahu od 20 do 2000 mg S/kg půdy. Nejnižší obsahy síry byly zjištěny na písčítých půdách Anglie a Austrálie, kde se pohybovaly mezi 20 – 30 mg S/kg půdy. Naopak extrémně vysoké obsahy síry v rozmezí mezi 3 – 5 % byly stanoveny ve vysušených poldrech v Holandsku. V běžných půdách mírného pásma se pohybují celkové obsahy síry v intervalu 50 - 500 mg/kg (Tlustoš a kol., 2001). Celkový obsah síry v ornici půd ČR se pohybuje nejčastěji v rozmezí 85- 250 mg S/kg (Matula, 1999; Matula 2007).

### **2.1.1 Organické sloučeniny síry**

Tabatabai (1982) uvádí, že až 95% veškeré síry v půdě je vázáno organicky, takže pro rostliny přístupná forma síry tvoří pouze nepatrnou část jejího celkového množství v půdě.

Organická síra se v půdě nachází v rozmanitých sloučeninách, jako jsou sirmé aminokyseliny methionin a cystein, cholinsulfát, sulfolipidy, sulfonové kyseliny a sulfátované polysacharidy (Freney, 1986). Organické sloučeniny síry v půdě se dělí do dvou základních skupin. Do první skupiny patří sloučeniny, ve kterých je síra v oxidované formě jako donor šesti elektronů a je vázaná ve formě síranových esterů. Ve druhé skupině sloučenin je naopak atom síry v redukovaném stavu a je akceptorem dvou elektronů od svých vazebných partnerů. Estery síry tvoří zpravidla větší část organických sloučenin, jsou nositeli snadno dostupné síry a jejich množství se zvyšuje s rostoucí koncentrací síranů v půdním roztoku. Síra v redukované formě je vázána především na uhlík a hlavními představiteli těchto sloučenin jsou aminokyseliny obsahující síry jako metionin a cystein. Množství těchto sloučenin je méně závislé na změnách koncentrace síranů v půdním roztoku a těsněji závisí na změnách půdní mikrobiální biomasy. Poměrně malá část organicky vázané síry je vázána přímo v mikrobiální biomase (1-3%) (Tlustoš a kol., 2001).

Matula (2007) uvádí stručnější členění organických sloučenin síry v půdě a to jestli je přímo vázána na uhlíkový skelet organických sloučenin a nebo nepřímo přes kyslík, dusík a nebo síru. A dodává, že nepřímo vázaná síra na uhlík (C-O-S, C-N-S, C-S-S), je snadněji zapojovaná do biologických transformací v půdě.

### **2.1.2 Anorganické sloučeniny síry**

Anorganické sloučeniny síry se na celkovém obsahu síry v půdě podílejí 10-60 %. V závislosti na redoxních podmínkách se v nich síra vyskytuje v různých oxidačních stupních od -2 (sulfidy), 0 (elementární síra), +2 (thiosírany), +4 (siřičitany) až po +6 (sírany) (Eriksen et al., 1998).

Z anorganických forem převládají v zemědělských půdách sírany, které

jsou jednak rozpuštěny v půdním roztoku, dále sorbovány a vysráženy jako vápenaté, hořečnaté, popřípadě i sodné sírany. Sírany v půdním roztoku jsou sorbovány na oxidy železa a hliníku dvěma základními mechanismy. V prvním případě dochází k výměně síranových iontů za hydroxylové na povrchu minerálů a v druhém případě dochází k tvorbě hydrou síranových komplexů na oxidech hliníku. K výměnné aniontové sorpci dochází i na povrchu jílových minerálů, zejména kaolinitu a kladně nabitých organických radikálů. Výměnná sorpce je závislá na pH prostředí a je významná především v kyselých půdách. Vápnění kyselých půd vede následně k uvolňování síranů do půdního roztoku. Sírany jsou též vytěšňovány z vazebných míst fosforečnany. Proto jak úprava pH, tak i aplikace fosforečných hnojiv mohou vést k růstu koncentrace síranů v půdním roztoku (Tlustoš a kol., 2001).

Množství síranů v půdě se mění během roku v závislosti na intenzitě mineralizace organických látek, mikrobiální aktivitě, atmosférických spadech, míře hnojení, vyplavování, odběru rostlinami. V zimním a jarním období se projevuje snížení obsahu síranů v půdách v důsledku omezené mineralizace vlivem nižších teplot a vyšší míry vyplavování (Ghani et al., *cit.* Eriksen et al., 1998).

### **2.1.3 Koloběh síry v půdě**

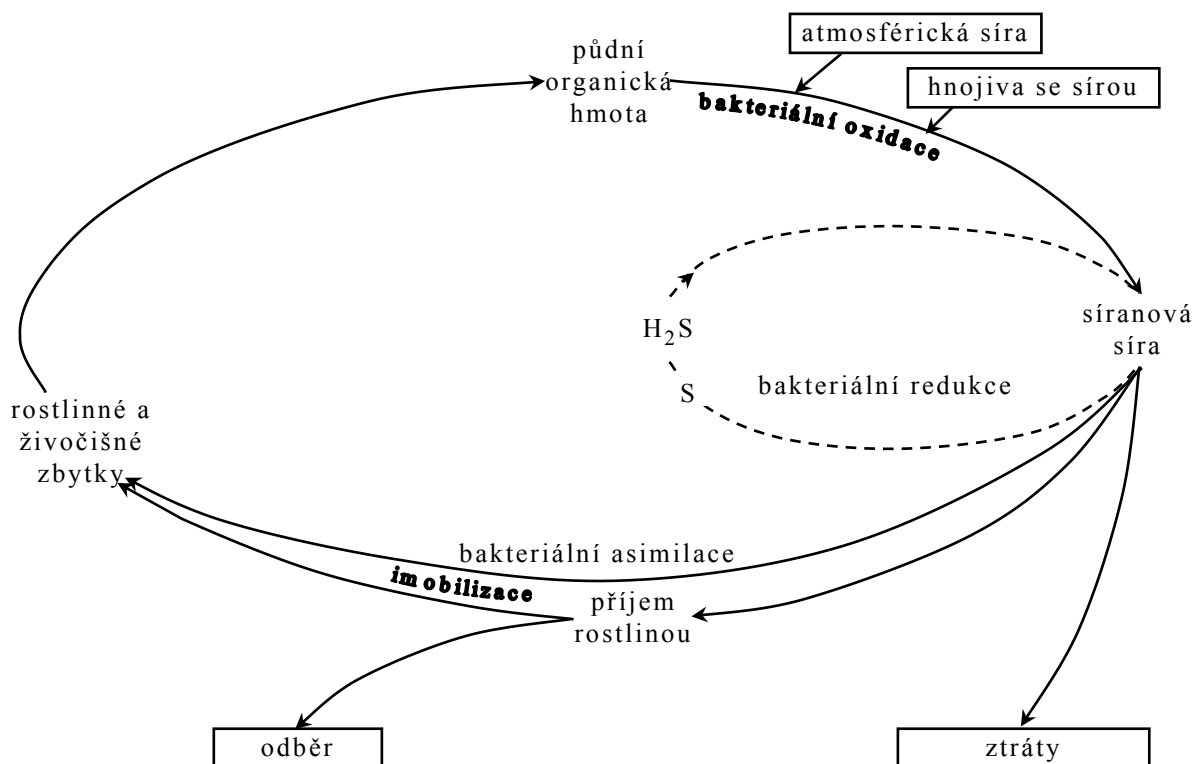
Přeměna síry v půdě se rozděluje na čtyři základní fáze: oxidace, redukce, zabudování síry do organických sloučenin a mineralizace organických sloučenin síry. O průběhu těchto procesů rozhodují podmínky prostředí, zejména dostatek nebo nedostatek O<sub>2</sub>, půdní reakce a obsah energetických substrátů zabezpečujících přeměny síry v půdě.

Rostlinné a živočišné bílkoviny v půdě rozkládají aerobní a anaerobní bakterie, aktinomycety a houby na aminokyseliny. Při rozkladu sirných aminokyselin se uvolňuje sirovodík. V anaerobních podmínkách zamokřených půd se může H<sub>2</sub>S hromadit a potom působit toxicky na rostliny i půdní mikroorganismy. V aerobních podmínkách se H<sub>2</sub>S postupně oxiduje na sírany. Přeměny síry v půdě (viz. obrázek 1) se uskutečňují sulfurikací, desulfurikací a imobilizací síry (Tandon, 1991; Fecenko, 2000).

Koloběh síry a její uplatnění v rostlinách je často přirovnáván k dusíku

(v půdách oxidace a v rostlinách redukce). U síry je však výrazný rozdíl v tom, že síra organických sloučenin může být v rostlinách reoxidována na síran (Vaněk a kol., 2001).

**Obrázek 1:** Koloběh S v půdě (Tandon, 1991).



### 2.1.3.1 Oxidace

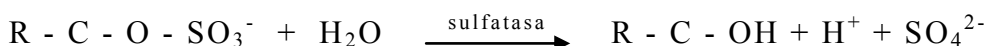
Oxidaci  $H_2S$  a elementární síry v půdě, tzv. sulfurikaci, provádějí fotosyntetizující a chemolitotrofní bakterie. Oxidace se odehrává buď bezbarvými sirnými bakteriemi (v půdě rod *Thiobacillus*, v bahně rody *Beggiatoa*, *Thiotrix*, *Thiospirillum*, *Thiophysa*) anebo anaerobně fotosyntetizujícími purpurovými nebo zelenými sirnými bakteriemi (čeleď *Thiorhodaceae*, *Chlorobacteraceae*). Hlavními zástupci bakterií účastnících se redukčních pochodů s produkcí  $H_2S$ , nazývajících se desulfurikace, jsou bakterie rodu *Desulfovibrio* (Mengel and Kirkby, 1978).

### 2.1.3.2 Redukce

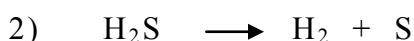
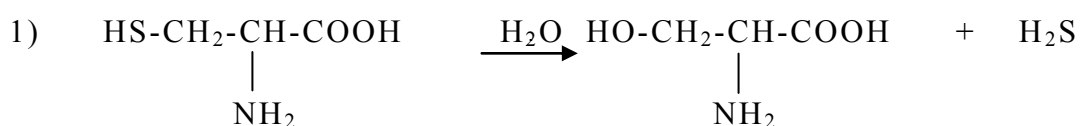
Redukce síranů je proces, který je uskutečňován především anaerobními bakteriemi. V našich dobře provzdušněných půdách má tento proces nevýznamnou roli (Schlegel, 1992).

### 2.1.3.3 Mineralizace a imobilizace síry v půdě

Síra vázaná v organických sloučeninách nemůže být využívána rostlinami a proto musí být nejprve přeměněna na volnou síranovou formu, která je jediná přístupná rostlinám. Vzhledem k pestrosti vazeb síry existuje celá řada cest jak ji z organických sloučenin uvolnit a oxidovat na síran. Rozklad sirných sloučenin závisí na vnějších podmínkách a může probíhat buď pouze enzymaticky nebo za účasti mikroorganismů. Zatímco enzymatická hydrolýza je nejběžnější při rozkladu sirných esterů a podílí se na ní celá řada sulfatas, mikrobiální mineralizace je nejčastější u vazeb síry v redukované podobě aminokyselin. Estery síry podléhají velmi rychlým změnám a jsou považovány za zdroj přístupné síry rostlinám. Podle typu S esteru se na jeho rozkladu podílejí odlišné enzymy nejméně tří typů sulfatas s vysokou specifitou k organickému zbytku molekuly. Mineralizace probíhá podle následujícího schématu:



Mineralizace redukováných organických sloučenin síry je složitější a probíhá v několika krocích. Prvním je zpravidla hydrolýza bílkovin a uvolnění sirných aminokyselin. V dalším kroku dochází k uvolnění sulfanu, který je v aerobních podmínkách oxidován na síran, v případě anaerobního prostředí dochází k oxidaci sulfanu na elementární síru pomocí sirných bakterií.





Mikrobiální mineralizace je ovlivněna nejen oxidačně redukčními podmínkami, které jsou v úzké korelaci s půdní vlhkostí, ale i teplotou. K nejintenzivnější mineralizaci organické síry dochází při teplotách okolo 35°C. Půdní mikrobiální biomasa je definována jako živá součást půdní organické hmoty. Síra v mikrobiální biomase v zemědělských půdách zahrnuje asi 2-3% z celkové S (Schoenau and Germida, 1992).

V závislosti na podmínkách se mineralizací organicky vázané síry může uvolnit do prostředí od 5 do 49 kg S.ha<sup>-1</sup>. Přístupnost síry rostlinám a její dynamika je ovlivněna obsahem půdní organické hmoty a poměrem C:S. V případě, že poměr C:S je užší než 200:1, dochází k uvolňování síranů do vnějšího prostředí. V případě širšího poměru obou prvků než 400:1 dochází naopak k imobilizaci přístupné síry. (Tlustoš a kol., 2001).

Imobilizace síranů do organických forem může probíhat velice rychle. Je řízena mikrobiální aktivitou a je značně ovlivněna druhem substrátu. Přídavek organických uhlíkatých látek jako glukózy a rostlinných zbytků, značně zvyšuje inkorporaci síranů do organických sloučenin. Imobilizace síry pozitivně koreluje s poměrem C:S v substrátu. Zaorávka slámy obilnin, které mají široký poměr C:S, může tedy během krátké doby zvýšit imobilizaci síry a snížit její dostupnost rostlinám (Wu et al., 1993).

Tlustoš a kol. (2001) blíže uvádí, že u poměru C:S užším než 200:1, dochází k uvolňování síranů do vnějšího prostředí a v případě širšího poměru obou prvků než 400:1 dochází naopak k imobilizaci přístupné síry. A k imobilizaci přístupné S v půdě dochází i po zapravení rostlinných zbytků s obsahem síry nižším než 0,13%.

#### **2.1.4 Ztráty síry z půdy**

Zelený a Zelená (1996) uvádí jako hlavní příčinu ztrát síry z ornice vymýváním síranu. Ke značným ztrátám může docházet i vymýváním různých ve vodě rozpustných organických sloučenin obsahujících síru. Na intenzitu vymývání působí řada faktorů, jako jsou druh půdy a její vododržnost,



klimatické a povětrnostní podmínky, intenzita pěstování plodin a celý systém hospodaření na půdě. Nedostatek síry u rostlin se vyskytuje hlavně na lehkých písčitých půdách a v oblastech s dostatkem srážek, kde jsou mobilní síranové ionty rychle vymývány.

Matula (2007) popisuje síranový aniont ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) jako vysoce mobilní v půdní vodě, neboť je odpuzován od povrchu půdních částic se stejnojmenným (záporným) nábojem. Kdy jsou v období promyvného režimu půd sírany snadno vyplavovány tokem gravitační vody do spodních vrstev.

Roční ztráty vyplavením se podle odhadů pohybují od 1 – 60 kg/ha (Eriksen et al., 1998), jsou však zdokumentovány i případy ztrát síranů vyplavením z ornice v hodnotách až 30 – 80 kg S/ha/rok (Matula, 2007).

Ke snížení obsahu síry v půdě dochází i jejím odběrem pěstovanými plodinami. Náročnost na síru, vyjádřena odběrem nadzemní hmotou rostlin, se pohybuje mezi 10 až 90 kg/ha síry (Matula, 1999).

### **2.1.5 Vstup síry do půdy**

Do půdy se síra dostává hnojivy statkovými i minerálními, z ovzduší spadem ve formě srážek, ale i přímým kontaktem  $\text{SO}_2$  s povrchem půdy (Vaněk a kol., 2001). Tlustoš a kol., (2001) však dodávají, že se celkový pohled na hnojení sírou během posledních deseti let výrazně změnil. I přesto, že obsah síry v rostlinách se pohybuje na úrovni fosforu, nebyla v minulosti tomuto prvku při hnojení věnována velká pozornost. Hlavními důvody byly vysoké atmosférické spady síry i dostatečný obsah síry v některých používaných hnojivech (Tlustoš a kol., 2001).

#### **2.1.5.1 Atmosferické depozice**

K důležitým a téměř jediným zdrojům síry patřily v posledních desetiletích sírné atmosférické depozice. Síra dopadala na zemský povrch suchou depozicí jako  $\text{SO}_2$  nebo mokrou depozicí jako  $\text{SO}_4^{2-}$  rozpuštěný ve srážkové vodě (Olsen *cit.* Eriksen et al., 1998).

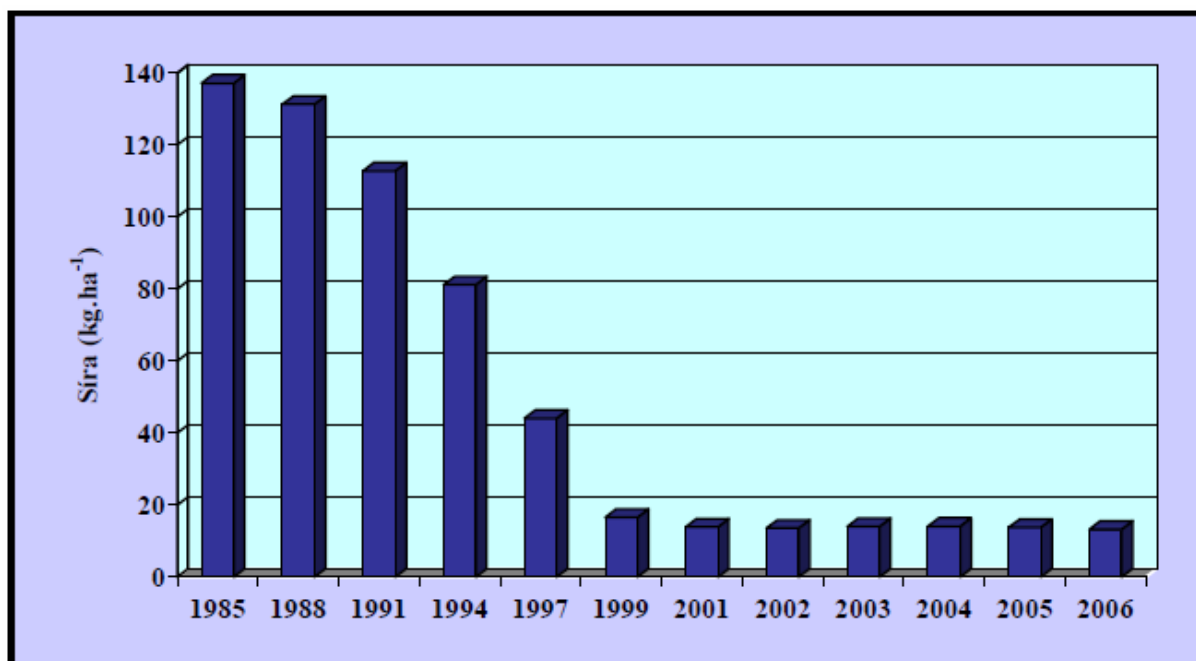
Síra se dostává do atmosféry z různých zdrojů, např. při anaerobním rozkladu biologických zbytků se plynné sloučeniny dostávají do vzduchu. Druhým zdrojem jsou spršky od moře, odkud se dostávají sulfáty hluboko do vnitrozemí. Třetím a největším zdrojem síry je  $\text{SO}_2$ , která se dostává do vzduchu spalováním. Množství síry z těchto tří zdrojů je ovlivněno četnými faktory, např. blízkostí průmyslové oblasti, blízkosti moře, převládajícími větry atd. (Segařová, 1971). Rozhodujícím zdrojem síry v ovzduší ve vnitrozemských státech je intenzivní průmyslová činnost a s ní spojená produkce energie, zejména pokud se jedná o spalování hnědého uhlí, které je zdrojem značných emisí (Tlustoš a kol., 2001).

Podle Speddinga (1969) *cit.* Zeleného a Zelené (1996) nastal růst průmyslových exhalací v Evropě a Severní Americe na začátku devatenáctého století s rozvojem průmyslu a intenzivním spalováním fosilních paliv. Emise oxidu siřičitého se postupně staly významným zdrojem síry pro výživu rostlin. McGrath a Zhao (1995) dodávají, že k výraznému vzestupu exhalací a zároveň ke zhoršování kvality ovzduší došlo v důsledku antropogenní činnosti po druhé světové válce. Exhalace v průmyslových oblastech zvyšovaly půdní kyselost, zhoršovaly přístupnost živin v půdách a způsobily značné škody na lesních porostech a agroekosystémech. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány na konci šedesátých let ve Velké Británii.

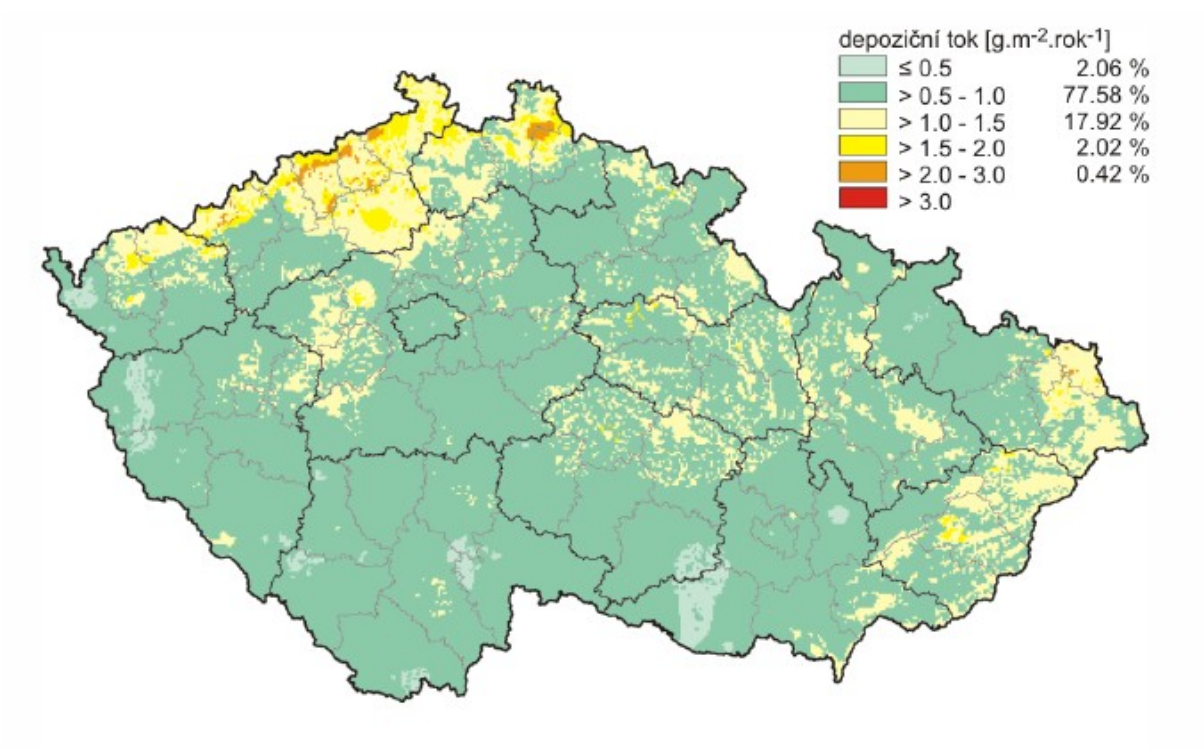
Následný výrazný pokles, zejména díky odsíření tepelných elektráren, byl pozorován v celé západní Evropě. Jednotlivé státy tohoto regionu vykázaly v letech 1980-1987 pokles emisí oxidu siřičitého o 21 až 58% (Ceccotti, 1996). Tlustoš a kol. (2001) uvádí, že díky zvýšenému úsilí o kvalitu životního prostředí došlo i v ČR v posledních deseti letech k výraznému poklesu produkce  $\text{SO}_2$ , či přesněji k omezení jeho úniku do atmosféry.

Vývoj produkce emisí v ČR přibližuje graf č. 1 a obrázek č. 2

**Graf 1:** Vývoj celkových emisí síry ze stacionárních zdrojů (REZZO 1-3) po roce 1985 v ČR (ČHMÚ, 2008)



**Obrázek 2:** Pole celkové roční depozice síry v roce 2006 (depoziciční tok 10=kg/ha síry za rok) (ČHMÚ, 2008)



### 2.1.5.2 Minerální hnojiva

V současné době jsou ve světě běžně používána různá vícesložková hnojiva s obsahem síry. Většinou se jedná o dusíkatá hnojiva s přídavkem síry, popř. dalšího makro – či mikroelementu a nebo hnojiva typu NPK se sírou vyvíjená speciálně pro rostliny s vyššími nároky na tuto živinu (Balík, Tlustoš, 1999). Matula (2007) uvádí několik nejběžnější minerálních hnojiv jako zdroj síry pro rostliny.

**Síran amonný** – dusíkaté hnojivo (20-21% N), které je významným zdrojem síry. Při aplikaci 100kg síranu amonného se rovněž dodá 22-23 kg síry v mobilní formě síranu ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Předností hnojiva je, že současně s hnojením dusíkem se hnojí také sírou – živinou, která je nezbytná k efektivnímu využívání dusíku v metabolismu plodin. Pozor však při jeho použití na extrémně kyselých půdách, které by ještě více okyseloval a tím by mohlo dojít k aktivizaci toxické koncentrace hliníku v půdním roztoku popřípadě i manganu. Není-li půda pozemku pod uvedené hodnoty pH, je hnojení síranem amonným prospěšné, neboť zlepšuje i dostupnost většiny stopových prvků pro rostliny (mimo molybden). Samozřejmě z pohledu možných ztrát dusíku těkáním čpavku ( $\text{NH}_3$ ) je vyloučena povrchová aplikace síranu amonného na vyloženě alkalických půdách, které se však u nás vyskytují sporadicky.

**Kieserit** – **síran hořečnatý**, obsahuje 19-21% síry. Výborný zdroj síry, zvláště v našich podmínkách běžné nedostatečné zásoby hořčíku v půdách, neboť přispívá k harmonizaci výživného stavu půdy a tím i rostlin.

**Síran draselný**, draselné hnojivo (40% K), které obsahuje kolem 16% síry.

**Superfosfáty**, (nízkoprocentní 18-19%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , jednoduché) obsahují kolem 8% síry v síranu vápenatém.

**Směsná dusíkatá hnojiva**, kde základem je dusičnan amonný, popřípadě močovina s přídavky síranu amonného a nebo síranu vápenatého. Např. **DASA** (26% N, 13% S v síranu amonném), **LOVEFERT LAS** (24% N, 6% S v síranu vápenatém) a řada dalších obdobných hnojiv komerčních názvů.

### 2.1.5.3 Organická hnojiva

Hlavním zdrojem organické síry jsou v podstatě kořeny rostlin, posklizňové zbytky a také statková hnojiva (Vaněk a kol., 2007). Organická hnojiva mají několik různých zdrojů. Vznikají pravidelně nebo nárazově a mají i rozdílný charakter. Mezi nejdůležitější patří: chlévský hnůj, močůvka (i když je to hnojivo málo koncentrované), kejda (hlavně skotu, prasat a drůbeže), zelené hnojení a zaoraná sláma (Tesař a Vaněk, 1992). Dle Vaněk a kol., (2002) mají vysokou hnojivou hodnotu a jsou jimi do půdy dodávány: rostlinné živiny, organické látky, mikroorganismy, látky stimulační, růstové a hormonální a představují tak univerzální hnojiva, jejichž působení je většinou pozvolnější a dlouhodobé. Půdy pravidelně hnojené organickými hnojivy jsou úrodnější, protože mají lepší fyzikální vlastnosti, lépe přijímají vodu, lépe zadržují živiny, jsou odolnější k výkyvům pH, umožňují vhodnější dávkování průmyslových hnojiv a lepší využití živin rostlinami.

Obsah síry ve stájových hnojivech značně kolísá a pohybuje se u chlévského hnoje kolem  $0,9-1,2 \text{ kg.t}^{-1}$  S u kejdy v rozpětí  $0,4$  až  $0,5 \text{ kg.t}^{-1}$  (Pedersen et al., 1998).

## 2.2 Síra v rostlině

### 2.2.1 Význam síry pro rostliny

Síra je esenciální prvek pro všechny žijící organismy. Její obsah v sušině rostlin kolísá většinou ve stejném rozmezí jako obsah fosforu ( $0,1 - 0,5 \%$ ). Nejvíce jí obsahují semena. Síra je součástí aminokyselin cysteinu a metioninu a následně mnoha bílkovin a tedy i enzymů, prostetických skupin, několika koenzymů a vitaminů. Síru obsahují též hořčičné oleje typické pro rostliny z čeledi *Brassicaceae*, glykosidy charakteristické pro hořčici, cibuli a česnek, fytochelatiny blokující těžké kovy v kořenech rostlin a řada dalších sloučenin. Sloučenin obsahující síru hrají důležitou roli v rostlinných obranných mechanismech proti biotickým a abiotickým stresům (Haneklaus and Schnug, 1994).

Funkce síry v rostlinách úzce souvisí s metabolismem dusíku. Také

cyklus přeměny síry v půdě i rostlině je velmi podobný jako u dusíku. Vysoké nároky na síru mají rostliny brukvovité a ty, které produkují větší množství bílkovin, silic a pryskyřic (Vaněk a kol., 1998). Pro výživu rostlin má význam síra organická, která mineralizací a následnou sulfurikací v aerobních podmínkách přechází na síranovou (Richter, Hřivna, 1999).

### 2.2.2 Příjem síry rostlinami

Síra je přijímána kořeny rostlin hlavně ve formě  $\text{SO}_4^{2-}$  aktivním způsobem. Příjem síry je minimálně ovlivňován dalšími živinami (Matula, 1987; 2007). I když Vaněk a kol. (2001) se zmiňují, že je možná inhibice příjmu síranů anionty Se a Mo (selenan a molybdenan). Selenan by mohl vzhledem k možnosti stejné afinity k organickým sloučeninám jako síran vykazovat jistý antagonismus. Dodává však, že s ohledem na nízký obsah Se v půdním roztoku se spíše vyskytuje opačný antagonismus tj. omezení příjmu Se vyšším obsahem síranů.

Rozhodující je obsah síranového anionu v půdě, kam se dostává jednak hnojivy, spadem z ovzduší (po oxidaci  $\text{SO}_3^{2-}$ ) a z půdních zásob. Síra se v půdě postupně uvolňuje z méně rozpustných sloučenin, včetně organických a je oxidována až na sírany, které jsou hlavním zdrojem síry pro rostliny (Vaněk a kol., 1998). Odběr síry plodinami závisí na jejich schopnosti přijímat tuto živinu a na celkové produkci biomasy. Údaje o odběru síry zemědělskými plodinami se proto značně liší, většinou se však pohybují v rozmezí od 20 do 50 kg S.ha<sup>-1</sup> (Zelený, Zelená, 1999).

Ke krytí potřeby síry mohou rostliny využívat i atmosferický oxid siřičitý. Při nízkých koncentracích mohou tímto plynem nahrazovat síranové ionty. Důkaz, že ho rostliny mohou přijímat přímo, provedl Fried (1949) *cit.* Zelený a Zelená (1996) s  $\text{SO}_2$  značeným <sup>35</sup>S. Olsen (1957) *cit.* Zelený a Zelená (1996) zjistil, že rostliny bavlníku dostatečně zásobované  $\text{SO}_4^{2-}$  z roztoku stále přijímaly okolo 30% své potřeby síry z atmosféry. Rostliny pěstované v roztoku deficitním na síru přijímaly z atmosféry, která obsahovala 0,01 – 0,05 ppm  $\text{SO}_2$ , až 90 % síry. Pro krytí potřeby rostlin však síra přijímaná ze vzduchu nepostačovala. Vaněk a kol., (2001) dodávají, že koncentrace od 1,0-1,5 mg  $\text{SO}_2$  v 1 m<sup>3</sup> již způsobuje poškození rostlin (v

pletivech listů vznikají ionty  $\text{HSO}_3^-$  a  $\text{SO}_3^{2-}$ , které brzdí fosforylaci. A vzhledem k tomu, že k poškození rostlin přispívají i další složky emisí, které se do ovzduší dostávají s  $\text{SO}_2$ , může k poškození rostlin dojít i při nižších koncentracích. Matula (1987) za počátek toxické koncentrace uvádí hodnotu 4 mg  $\text{SO}_2$  v  $1 \text{ m}^3$ , zvláště trvá-li tato koncentrace delší dobu.

### 2.2.3 Transport síry v rostlině

Síra je v rostlinách poměrně dobře pohyblivá, je transportována hlavně do mladých listů a meristémů. V rostlinách se hromadí ve formě síranu, který slouží jako zásobní látka. Podle potřeby rostliny síran redukuje na  $\text{H}_2\text{S}$  a zabudovávají ho do organických sloučenin (Vaněk et al., 1998). Po redukcii v listech je síra zabudována zejména do aminokyselin cysteinu a methioninu nebo do sulfydrylových skupin koenzymů a sulfolipidů. Redukce  $\text{SO}_4^{2-}$  i tvorba cysteinu probíhá v chloroplastech a je výrazně stimulována světlem (Procházka a kol., 1998). Transport  $\text{SO}_4^{2-}$  xylémem směrem nahoru je dobrý. Opačným směrem je velmi pomalý. Rovněž retransport síry ze starších listů do mladších je nepodstatný. Oxid siřičitý vstupuje do listů difúzí přes průduchy a rozpouští se v roztoku buněčných stěn za vzniku  $\text{H}_2\text{SO}_3$  (Matula, 1987). V nadzemních částech rostlin (i do kořenů) je síra transportována již převážně v organických sloučeninách, hlavně v glutathionu (Vaněk et al., 2001). Při nízké hladině  $\text{SO}_4^{2-}$  se zvyšuje zabudování síry do organických sloučenin, ale při dosažení určité hranice se již nezvyšuje syntéza organických sirných sloučenin a nově přijímaný síran se kumuluje v rostlinných pletivech. U většiny rostlin obsah nižší než 100 ppm  $\text{SO}_4^{2-}$  v sušině (0,01%) již signalizuje nedostatek síry (Vaněk et al., 2001).

Nedostatečná výživa rostlin sírou se projevuje sníženou syntézou plnohodnotných bílkovin a tím i vyšším obsahem volných N-látek nebílkovinné povahy, včetně kumulace nitrátů (Matula, 2007). Značně je omezena tvorba chlorofylu a tím i produkce hlavních složek (škrobu, cukru, oleje a bílkovin), zvláště u náročných rostlin na síru, takže se výrazně snižuje kvalita produkce. Známé je omezení ficce vzdušného dusíku při nedostatku síry (je výrazně snížena aktivita nitrogenasy) (Vaněk a kol., 2001). Typicky vizuálním příznakem nedostatku síry na rostlinách je žloutnutí listů, které

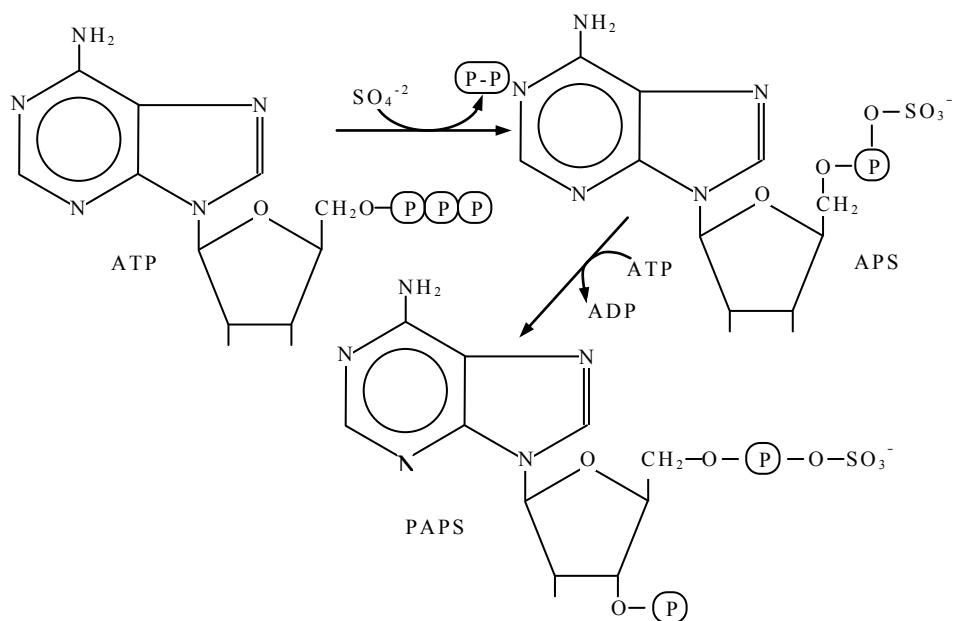
začíná od nejmladších listů a při trvalejším nedostatku přechází i na spodní listy. Projev nedostatku síry je podobný jako při nedostatku dusíku, ovšem počáteční příznaky jsou vždy soustředěny na vrcholové části. Zvláště charakteristické příznaky nedostatku síry jsou u brukvovitých rostlin. Nejmladší listy jsou nejprve světle zelené, později žloutnou a mnohdy mají růžový nádech. Mají omezený růst do šířky, a proto se jeví jako úzké a dlouhé. Celkově špatně rostou, jsou slabé a nízké a svým habitem připomínají strádající rostliny (Vaněk a kol., 2002).

#### **2.2.4 Asimilace síry**

Asimilace síry je v mnoha ohledech podobná asimilaci dusíku. Redukce síry je nezbytná pro její inkorporaci do aminokyselin. Při rostoucím zásobení rostlin sírou zůstává její zastoupení v organických formách relativně stálé a roste obsah síranů. Ten se zvyšuje i při senescenci, kdy je uvolněná síra z aminokyselin oxidována. Touto vlastností se síra liší od dusíku, který není v rostlinách oxidován zpět na dusičnany (Marschner, 1995). Síra je využívána vyššími rostlinami ve svém nejvyšším oxidačním čísle  $\text{SO}_4^{2-}$  a již tato forma síry může být inkorporována do organických sloučenin (Hell and Rennenberg, 1998). Síranový anion  $\text{SO}_4^{2-}$  se aktivuje dvojitou reakcí s ATP. Vzniká tzv. „aktivní sulfát“. A to nejprve přeměnou na smíšený anhydrid adenylylsulfát (adenosylsulfát, APS) působením enzymu sulfátadenylyltransferasy, potom další fosforylací adenylylsulfátkynázou na 3'-fosfoadenylylsulfát (fosfoadenosylfosfosulfát, PAPS) (Horák a Staszková, 2002). Asimilaci sulfátu je možné dle Holobradé (1985) rozdělit do čtyř etap. 1. Aktivace sulfátu za tvorbu APS nebo PAPS, 2. Přenos aktivovaného sulfátu na vhodný akceptor, 3. Redukce vázaného sulfitu na vázaný sulfid, 4. Inkorporace redukované síry do cysteinu.

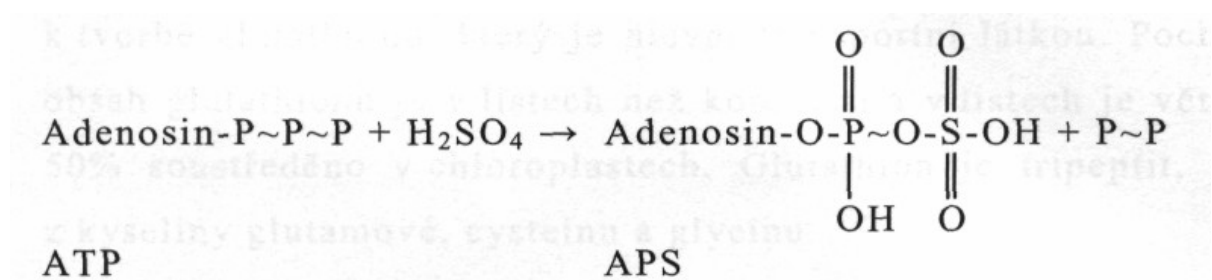


**Obrázek 3:** Schéma vzniku aktivního sulfátu (fosfoadenosylfosfosulfát, PAPS)



#### 2.2.4.1 Syntéza sirných organických sloučenin

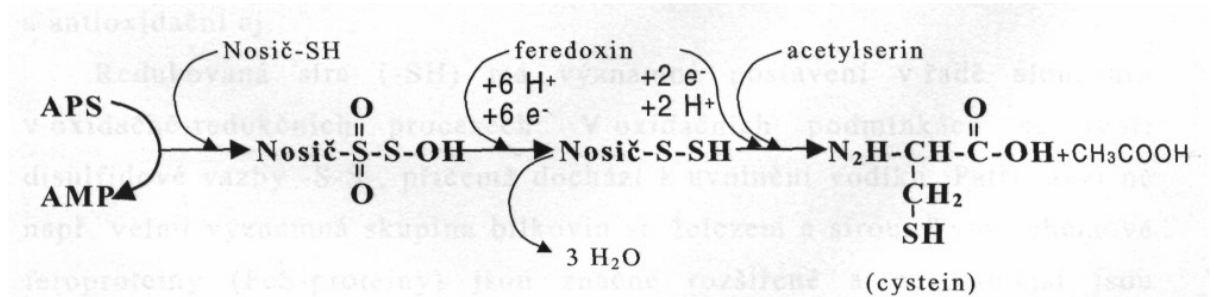
Vaněk a kol., (2001, 2002) popsal asimilaci síry u rostlin podrobněji následujícím způsobem. U vyšších rostlin je prvním krokem k využití síry rostlinami a její zabudování do organických sloučenin aktivace síranu adenosintrifofátem (ATP). Při této reakci za účasti enzymu ATP-sulfátadenintransferázy reaguje sulfát s ATP za vzniku adenosinfosfosulfátu (APS) a odštěpení pyrofosfátu:



Vzniklý adenosinfosfosulfát je výchozí látkou pro zabudování síry do organických sloučenin v rostlině. V současné době jsou známy dvě cesty inkorporace síry do organických sloučenin.

#### 2.2.4.2 Redukce síranů

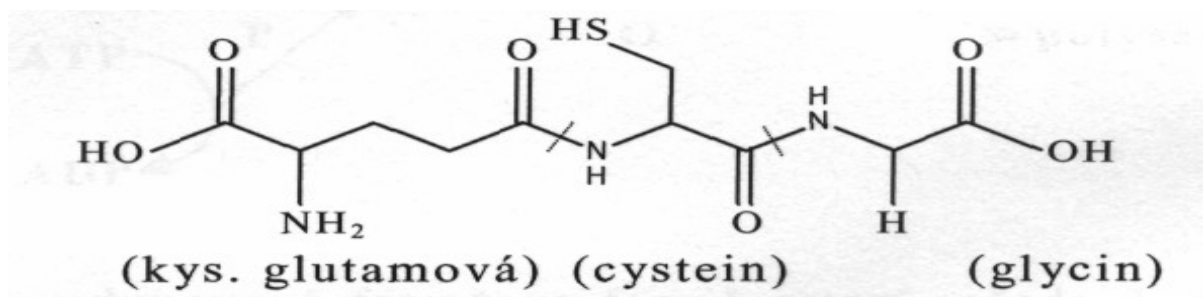
Z adenosinfosfosulfátu se sulfátová skupina přenesse na nosič (glutathion) a váže se na SH – skupinu nosiče tak, že je vodík nahrazen sulfurylovou skupinou SO<sub>3</sub>H. Za účasti ferredoxinu je tato skupina dále redukována na SH – skupinu, která reaguje s acetylserinem za vzniku cysteinu. Schematicky lze reakce znázornit takto:



Vznikající cystein je v rostlinných pletivech první organicky stabilní sloučeninou. Z cysteinu jsou syntetizovány další organické sloučeniny, především aminokyselina metionin, která s cysteinem slouží k tvorbě peptidů, včetně enzymů a koenzymů, tedy velmi aktivních složek v rostlinných pletivech (Vaněk a kol., 2007).

Methionin a cystein patří k esenciálním aminokyselinám. Jsou tedy nezastupitelnou součástí bílkovin - jejich vazby mají významnou úlohu ve struktuře bílkovin, kde vytvářejí často vnitro nebo mezi řetězcové disulfidové můstky. Obsah síry v jednotlivých bílkovinách je poměrně stabilní a v určitém poměru k dusíku (N/S-bílkoviny chloroplastů 15, albumin 28, gliadin 33 a globulin 37) (Procházka a kol., 1998; Vaněk a kol., 2001, 2002).

Redukce síranů je soustředěna v chloroplastech a je výrazně aktivována světlem. Vysoká aktivita je v mladých listech, ve starších listech výrazně klesá. V kořenech je podstatně nižší aktivita soustředěna v plastidech. V rostlinách, především v nadzemních orgánech vede redukce síranů k tvorbě glutathionu, který je hlavní transportní látkou. Pochopitelně vyšší obsah glutathionu je v listech než kořenech a v listech je většinou více než 50 % soustředěno v chloroplastech. Glutathion je tripeptid, který se tvoří z kyseliny glutamové cysteinu a glycinu.

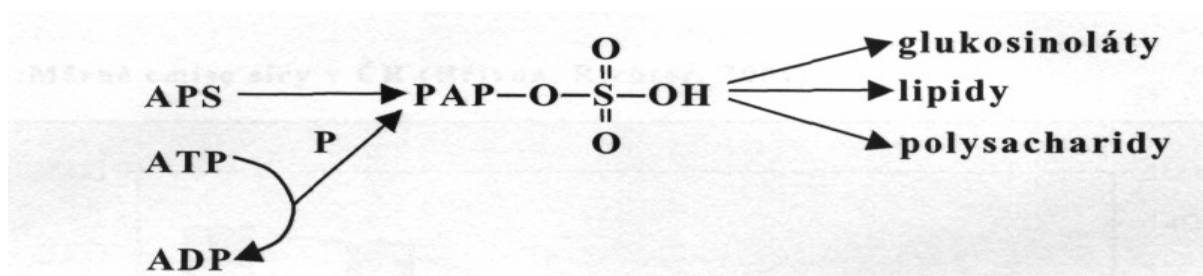


Z celkového obsahu síry vázané v redukované formě v rostlinách (-SH skupina) v organických sloučeninách představuje vodorozpustná frakce asi 2% a z toho okolo 90% je tvořeno glutathionem. Ten plní především úlohu transportní látky, ale i představuje také zásobní pohotovou látku k řadě syntéz, včetně bílkovin, nosiče. Dále plní v buňce funkci oxidačně-redukční a antioxidační aj.

Redukovaná síra (-SH) má významné postavení v řadě sloučenin v oxidačně-redukčních procesech. V oxidačních podmínkách se tvoří disulfidové vazby -S-S-, přičemž dochází k uvolnění vodíku. Patří mezi ně např. velmi významná skupina bílkovin se železem a sírou. Tyto nehemové feroproteiny (FeS-proteiny) jsou značně rozšířené a nejnámější jsou poměrně nízkomolekulární feredoxiny (Vaněk a kol., 2007).

#### 2.2.4.3 Syntéza síranových esterů

Adenosinfosulfát je nejprve aktivován ATP (při štěpení ATP na ADP se uvolňuje  $H_3PO_4$ ) - uvolněná  $H_3PO_4$  se váže na OH cukerné složky adeninu a vzniká fosfoadenosinfosulfát (PAPS). Tento tzv. „aktivovaný síran“ se váže (jako  $SO_3H$ ) na organické sloučeniny hlavně lipidy, polysacharidy, příp. slouží k tvorbě glukosinolátů.



Síra v neredukované formě ve formě esterů, především v sulfolipidech je součástí všech biologických membrán. Většinou je vázána na lipid přes cukernou složku. Sulfolipidy působí na strukturální uspořádání membrán, ovlivňují transport iontů membránami a jejich hladina ovlivňuje i toleranci ke koncentraci solí (Vaněk a kol., 2007).

## **2.3 Čistírenské kaly**

Stále se zvyšující produkce odpadních čistírenských kalů představuje zároveň i rostoucí požadavky na jejich likvidaci, jež se stává vážným ekologickým problémem u nás i v zahraničí (Růžek a kol. 1997). Ve vyspělých zemích EU je v zemědělství využíváno asi 40% a v prognózách je uvažováno s 45% z celkové produkce kalů. V ČR však, jak uvádí Michalová (2004) v současné době, na rozdíl od let minulých, výrazně poklesla přímá aplikace kalů na zemědělské pozemky. Což je jak dodává dáno především zákonem o odpadech č. 185/2001 Sb. a vyhláškou č. 382/2001 Sb., které stanovují relativně přísné požadavky na čistírenské kaly.

### **2.3.1 Charakteristika kalů z ČOV**

Čistírenské kaly jsou složitou heterogenní suspenzí anorganických a organických látek odsazených z odpadních vod nebo vzniklých při technologických procesech čištění odpadních vod (Kolář, Kužel, 2000). Kaly představují přibližně 1 – 2% objemu čištěných vod a je v nich však akumulováno 50 – 80% původního znečištění. Zpracování a využití nebo odstranění se tak stává jedním z nejdůležitějších a nejkritičtějších problémů čistíren odpadních vod. Náklady na zpracování kalů (stabilizace, popř. hygienizace) představují 40 – 50% z celkových nákladů na ČOV (Dohányos, 2004). Složení a vlastnosti kalů jsou závislé především na jakosti vody, druhu a dávkách chemikálií použitých v procesu úpravy. Kaly obsahují podle kvality vody většinou anorganické suspenze, organické látky a oxidy hliníku nebo železa. Kaly s převažující složkou organických koloidních látek jsou objemnější, naopak kaly s převahou anorganických suspenzí jsou

kompaktnější (Kyncl 2007). Obecně je obsah přístupných živin v kalech významný, ale značně variabilní. Jedná se o variabilitu mezi různými čistírnami. Obsahy v kalech u jednotlivých ČOV jsou většinou poměrně stabilní (Hauptman a kol., 2000). Stadelmann et al., (2002) uvádí, že čistírenské kaly dodávají využitelný dusík a fosfor a menší množství jiných živin. Vysušené čistírenské kaly obsahují v průměru 45% organické hmoty, 5,8% vápníku, 4,4% dusíku, 2,7% fosforu, 0,5% hořčíku a 0,3% draslíku. U obsahu síry přítomné v kalech (v Polsku) uvádějí Kalembasa et al., (2000) hodnotu 0,87-1,17% S v sušině.

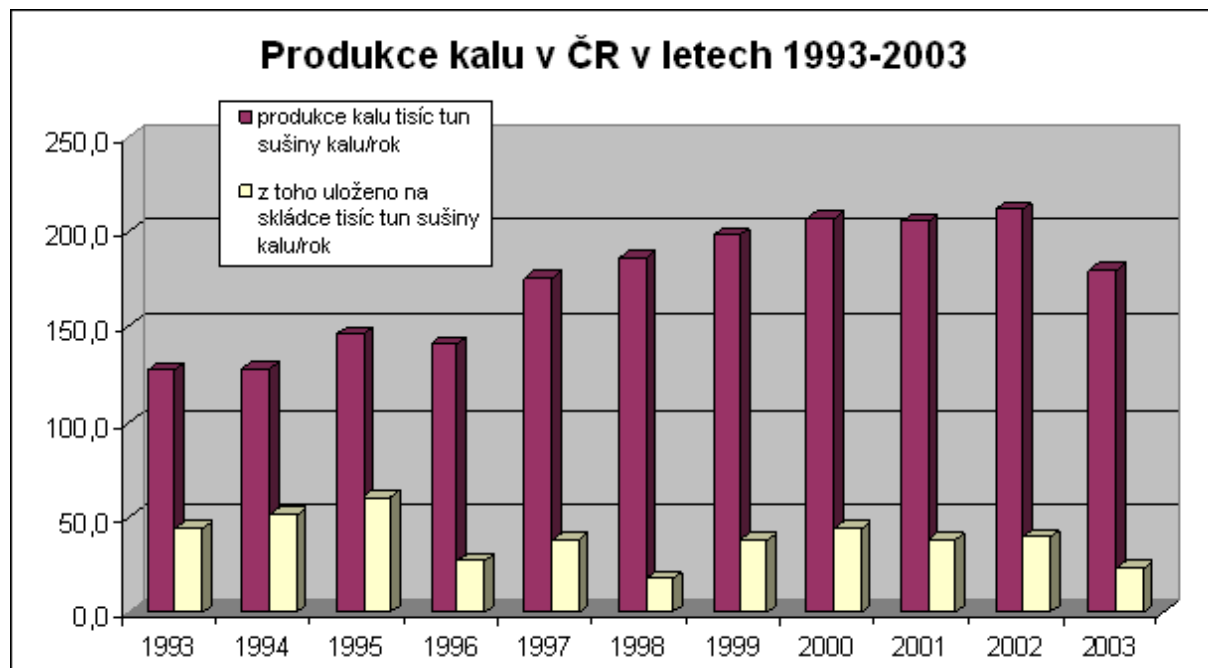
Na druhou stranu jak uvádí Hlavínek a kol., (2000) obsahují kaly také nežádoucí složky, jejichž přítomnost možného využití kalu v zemědělství snižuje a jejichž obsah je přísně limitován. Mezi tyto látky, které autoři uvádí, patří: těžké kovy (kadmium, měď, olovo, zinek, chrom a další), některé organické látky (polychlorované bifenyly aj.) a patogenní mikroorganismy (jako *Salmonella a Escherichia coli*).

V rozmezí hodnot pH, které kaly obvykle mají, se kovy v kalech vyskytují ve velké míře v nerozpustné formě. Biologická dostupnost těžkých kovů není v přímé korelaci s jejich celkovou koncentrací v kalu ani v půdě (Coppola et al., 1988). Avšak sledování rizikových prvků v kalech jak uvádí Hauptman a kol., (2000) je velmi důležité pro jejich značnou toxicitu, karcinogenní, teratogenní nebo mutagenní účinky a proto mohou být tyto prvky souborně označovány jako škodlivé kovy. Do této kategorie řadí Trebichavský a kol., (1998) *cit.* Hauptman a kol., (2000) těchto 22 prvků: As, Ba, Be, Bi, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Tl, V, W a Zn. Za potenciálně nejnebezpečnější jsou pak považovány As, Cd, Cr, Hg a Pb. Cibulka (1991) dodává, že akumulace kovů pocházejících z čistírenských kalů probíhá převážně v povrchových vrstvách půdy.

Z organických rizikových látek se v kalech ČOV sledují především perzistentní nebo obtížně degradovatelné látky, které se mohou po procesu zahušťování ve výsledném produktu vyskytnout ve zvýšené koncentraci. Jedná se o polyaromatické uhlovodíky (PAH), polychlorované bifenyly (PCB), dibenzodioxiny a dibenzofurany (PCDD/F). Jako celkovou charakteristiku organické kontaminace je možno sledovat sumu halogenorganických sloučenin

(AOX) a nepolární extrahovatelné látky a (NEL) (Hauptman a kol., 2000).

**Graf 2:** Produkce kalu v ČR v letech 1993-2003 (Michalová, 2005)



### 2.3.2 Aplikace kalů z ČOV na zemědělskou půdu

Jedná se o dosud nejvíce používaný a nejlevnější způsob likvidace kalů. Na zemědělskou půdu mohou být použity pouze stabilizované kaly, které vyhovují maximálním povoleným obsahům sledovaných rizikových látek. Před uvažovanou aplikací kalu je nutné provést rozbor půd podle vyhl. 13/94 Sb., kde jsou stanoveny limity rizikových prvků pro půdy. Přímá aplikace kalu na půdu přináší značná hygienická a ekologická rizika. Vzhledem ke značné heterogenitě aplikovaného kalu může docházet k lokálním zdrojům infekce a akumulaci rizikových látek v půdě. Zejména na půdách s hodnotou  $\text{pH} < 6$  a s nízkou sorpční schopností pak může snadno dojít ke kontaminaci rostlin (Růžek a kol. 1997). Proto je nutno jak uvádí Zimová a Matějů (2000) čistírenské kaly vždy považovat za materiál, při jehož nekontrolovatelné aplikaci se do půdy mohou dostávat značná množství rizikových látek. Škodlivé látky pak přes různé cesty vstupu jako půda, ovzduší, voda a potravní řetězec, představují potenciální riziko pro zdraví člověka i zvířat.

Příjem rizikových prvků rostlinami závisí nejen na jejich obsahu v aplikovaném kalu, ale i na celkovém a častěji na přístupném obsahu prvků v půdě. Kromě množství přítomných rizikových prvků v prostředí spolurozhodují o jejich příjmu rostlinami i fyzikální a chemické vlastnosti půd, kde byl kal aplikován (Tlustoš a kol., 1999). V České republice je jak prezentuje Balík a kol., (1999) kromě RP důležitým omezujícím kritériem dávky kalu také obsah dusíku v kalech, kteří vycházejí se svých analýz. Kdy při minimálním obsahu dusíku lze dávkou 5 t sušiny kalu dodat 94,5 kg N/ha, ale naopak při maximálním obsahu až 328 kg N/ha. Dle autorů je tedy nezbytné před vlastní aplikací kaly analyzovat na obsah N i dalších mikroelementů. Při použití průměrného obsahu dusíku je dodáno 5 t sušiny kalu 194,5 kg N/ha, což je ještě akceptovatelné množství a uvažovaná dávka 5 t sušiny kalu na ha je vyhovující. Reakce kalu je ve většině případů neutrální až alkalická, a proto nelze až na výjimky označit kal za faktor okyselující zemědělskou půdu (Hauptman a kol., 2000). Výnosy plodin na půdě přiměřeně hnojené jsou kaly obecně vyšší než v běžně hnojených kontrolních variantách (Singh and Agrawal, 2007).

Podle vyhlášky 382/2001 Sb. musí být při aplikaci upravených čistírenských kalů na zemědělskou půdu dodrženy mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech a také musí vyhovovat mikrobiologickým kritériím.

Tabulka 1: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě (ukazatele pro hodnocení kalů)

<b>Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech (mg.kg<sup>-1</sup> sušiny)</b>										
<b>Riziková látka</b>	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	AOX	PCB*
<b>koncentrace</b>	30	5	200	500	4	100	200	2500	500	0,6

\* PCB (suma 6 kongenerů - 28+52+101+138+153+180)

Tabulka 2: Mikrobiologická kritéria pro použití kalů dle vyhlášky MŽP ČR č.382/2001 Sb.

Přípustné množství mikroorganismů (KTJ*) v 1 gramu sušiny Kategorie aplikovaných kalů			
Kategorie kalů	Termotolerantní koliformní bakterie	Enterokoky	Salmonella sp.
I.	< 10 E3	< 10 E3	Negativní nález
II.	10 E3 – 10 E6	10 E3 – 10 E6	Nestanovuje se

\*KTJ = kolonie tvořící jednotku

**Kategorie I** - kaly, které je možno obecně aplikovat na půdy využívané v zemědělství při dodržení ostatních ustanovení této vyhlášky.

**Kategorie II** - kaly, které je možno aplikovat na zemědělské půdy určené k pěstování technických plodin a na půdy, na kterých se nejméně 3 roky po použití čistírenských kalů nebude pěstovat polní zelenina a intenzivně plodící ovocná výsadba, a při dodržení zásad ochrany zdraví při práci a ostatních ustanovení vyhlášky.

### 2.3.3 Legislativa

V České republice jsou kaly z komunálních čistíren odpadních vod (ČOV) podle vyhlášky č. 337/1999 Sb. odpadem. Podle §3. odst. 4 zákona č. 125/97 Sb. lze odpad upravovat, využívat, nebo zneškodňovat pouze v zařízeních, místech a objektech k tomu určených. Protože však chybí zákonný předpis upravující podmínky využití kalů ČOV v zemědělství, lze usoudit, že aplikaci kalů na zemědělskou půdu je možno považovat za využívání odpadů, pokud je toto schváleno orgánem odpovědným za odpadové hospodářství, tj. okresním úřadem a okresním hygienikem. Při tom musí být splněna podmínka zákona 125/97 Sb., že při této činnosti nesmí být ohroženo, nebo poškozeno životní prostředí a nesmí být překročeny limity, které stanovují zvláštní předpisy a podmínka zákona 334/92 Sb., že na půdním fondu musí vlastníci nebo nájemci pozemků hospodařit tak, aby neznečišťovali půdu, a tím potravní řetězce a zdroje pitné vody škodlivými látkami ohrožujícími zdraví nebo život lidí a existenci živých organismů a



nepoškozovali okolní pozemky a příznivé fyzikální, biologické a chemické vlastnosti půd.

Ve vyspělých zemích jsou normy pro přímou aplikaci čistírenských kalů konstruovány na těchto principech:

- Limitní obsahy rizikových prvků v kalech
- Maximální množství jednorázově aplikovaného kalu
- Minimální časový interval mezi jednotlivými aplikacemi
- Limitní obsahy rizikových prvků v půdách
- Vhodnosti plodin, ke kterým se přímo použít kal a vymezení dalších podmínek.

Dále je nutno zdůraznit, že použití kalu v zemědělské výrobě nesmí být pouze rozptýlením rizikových prvků v půdě, ale mělo by splňovat především agronomické a výživářské hledisko – tj. správné zařazení v osevním postupu a respektování dodaného množství živin (Balík a kol., 1999).

V roce 2001 přijala Česká republika zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, který plně zapracovává podmínky Směrnice rady 86/278-EEC, týkající se regulace aplikace kalů na zemědělskou půdu. Prováděcí vyhláška MŽP ČR č.382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, která byla vypracována ve spolupráci MZe a MZ ČR, stanoví technické podmínky pro použití kalů, limitní koncentrace vybraných rizikových látek v kalech a půdě včetně mikrobiologických kritérií pro čistírenské kaly.

Technické podmínky použití kalů dle vyhlášky MŽP ČR č.382/2001 Sb.:

- a) Nejpozději do 48 hodin od umístění kalů na zemědělskou půdu musí být kaly zapraveny do půdy;
- b) potřeba dodání živin do půdy na pozemku určeném k umístění kalů musí být doložena výsledky rozborů agrochemických vlastností půd uvedených v evidenčním listu využití kalů v zemědělství podle přílohy č. 1;

c) nesmí se použít více než 5 tun sušiny kalů na jeden hektar v průběhu tří po sobě následujících let. Toto množství může být zvýšeno až na 10 tun sušiny kalů v průběhu pěti po sobě následujících let, pokud použité kaly obsahují méně než polovinu limitního množství každé ze sledovaných rizikových látek a prvků. Přesné stanovení dávky sušiny se vypočte ze zjištěného obsahu dusíku. Dávka dusíku dodaného v kalech nesmí překročit 70% celkového potřebného množství dusíku pro hnojenou plodinu. Dávka kalů (množství a doba užití) se řídí i požadavkem rostlin na živiny s přihlédnutím k přístupným živinám a organické složce v půdě, jakož i ke stanovištním podmínkám;

d) dávka kalu stanovená podle podmínek uvedených v odstavci c) je na pozemek aplikována v jedné agrotechnické operaci a v jednom souvislém časovém období za příznivých fyzikálních a vlhkostních podmínek;

e) minimální obsah sušiny kalu pro tlakové zapravení do půdy radlicovými aplikátory je 5%, minimální obsah sušiny kalu pro aplikaci mechanickými rozmetadly organických hnojiv je 18%.

### **3 Cíl diplomové práce**

Cílem diplomové práce bylo stanovení vlivu dlouhodobé aplikace čistírenských kalů na obsah síry v půdě a v rostlinách.

### **4 Metodika**

Pokus byl založen na podzim roku 1996 na pěti stanovištích České republiky (Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec u Pacova, Praha - Suchdol). Ve stacionárních pokusech je sledován obsah síry v rostlinách na stanovištích s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami. Jednoduchý osevní postup má tuto rotaci plodin: brambory (1997-1999 odrůda Karin, 2000-2005 odrůda Kordoba), ozimá pšenice (1997 - 1999 odrůda Samanta, 2000 - 2005 odrůda Alana), jarní ječmen (1997 - 2005 odrůda Akcent). První sklizeň v roce 1997 byla reprezentativní pouze pro brambory. V roce 1998 již bylo možno zahrnout i výsledky se pšenicí (následné působení) a od roku 1999 lze hodnotit každoročně všechny tři pěstované plodiny. V daném roce jsou pěstovány vždy všechny tři plodiny. Organická hnojiva (hnůj, čistírenské kaly, sláma jarního ječmene v dávce 5 t/ha) byla aplikována na podzim vždy pod brambory.

#### **4.1 Klimatické a půdní charakteristiky stanovišť**

##### **4.1.1 Červený Újezd**

Pokusné pozemky výzkumné stanice ČZU Červený Újezd leží v nadmořské výšce 405 m nad mořem a nachází se v řepařské výrobní oblasti. Území spadá do mírně teplé klimatické oblasti, převážně s mírnou zimou. Průměrná roční teplota vzduchu dosahuje 7,6 °C. Průměrný úhrn srážek činí 549 mm. Za vegetační období dosahuje průměrná teplota vzduchu 13,9 °C a průměrný úhrn srážek 361 mm.

Půdním představitelem je luvizem se sprašovitým pokryvem. Hlavním půdotvorným procesem je ilimerizace. Dochází k okyselování povrchových

vrstev půdního profilu, peptizaci koloidů a jejich vyplavování srážkami do spodiny. V zóně s vyšší koncentrací dvojmocných kationtů došlo k jejich vysrážení a akumulaci, a tím k vytvoření charakteristického iluviálního horizontu.

Ornice do hloubky 28 - 40 cm je hlinitá, šedohnědá, drobtovitá s ojedinělými úlomky opuky. Biologická činnost a prokořenění je střední až silné. Podorniční horizont (40 - 70 cm) je hlinitý, bezstrukturní, narezivěle plavý s ojedinělými zátoky koloidních povlaků.

#### **4.1.2 Hněvčeves**

Pokusná stanice VÚRV leží v nadmořské výšce 265 m nad mořem a nachází se v řepařské výrobní oblasti. Území spadá do klimatické oblasti mírně teplé. Klimatický okrsek je charakterizován jako mírně teplý, mírně vlhký s mírnou zimou. Průměrný roční úhrn srážek dosahuje 594 mm a průměrná roční teplota vzduchu 8,3 °C.

Půdy jsou hluboké, středně těžké. Půdním typem je luvizem. Ornice je do hloubky 25 cm, iluviální horizont světlé barvy je do hloubky 100 cm. Půda má intenzivní biologickou činnost.

#### **4.1.3 Humpolec**

Pokusná stanice VÚRV leží v nadmořské výšce 525 m nad mořem a nachází se v bramborářské výrobní oblasti. Pokusná stanice spadá do oblasti mírně teplé, okrsku B5, který je charakterizován jako mírně teplý, mírně vlhký, vrchovinný. Průměrná roční teplota vzduchu činí 7 °C, za vegetační období 12,7 °C. Průměrný roční úhrn srážek je 665 mm a za vegetační období 400 - 450 mm. Počet dní se srážkami bývá v této lokalitě 148, z toho 15 se srážkami nad 10 mm. Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou je 63.

Geologický podklad tvoří deluvium ruly. Půdní typem je slabě oglejená kambizem. Písčitolhinitá, středně hluboká půda má sorbční nasycenost 49-62%.

#### **4.1.4 Lukavec**

Pokusná stanice VÚRV Praha leží v nadmořské výšce 610 m nad mořem a nachází se v bramborářské výrobní oblasti. Území spadá do klimatického okrsku MT4, charakterizovaného jako mírně teplý, vlhký, vrchovinný. Průměrná roční teplota vzduchu je 7,3 °C, průměrný roční úhrn srážek 674 mm.

Půdotvorný substrát tvoří biologická pararula, v hloubce 150 cm rula. Půdním typem je kambizem, půdním druhem písčitohlinitá půda. Ornice je 15 - 20 cm hluboká, s 1,5 - 2% humusu nízké kvality. V podorničí se nachází 0,6% a v hloubce 80 cm 0,1% humusu.

#### **4.1.5 Suchdol**

Pokusné demonstrační pozemky ČZU leží v nadmořské výšce 286 m nad mořem a nachází se v řepařské výrobní oblasti. Území spadá do klimatického okrsku mírně teplého, mírně suchého, převážně s mírnou zimou, náleží do mírně teplé klimatické oblasti. Průměrná roční teplota vzduchu je 9,5 °C. Průměrný úhrn srážek činí 510 mm. Hlavní vegetační období (teploty vzduchu nad 10 °C) trvá průměrně 172 dnů.

Půdním typem je černozem. Ornice dosahuje hloubky 30 cm. Půda má neutrální hodnotu pH, drobtovitou strukturu s obsahem humusu 2,5%. Zásoba živin je dobrá, půdní koloidní systém je nasycený. Pod ornici se nacházejí iluviální horizonty se zvýšeným obsahem jílu, které v hloubce asi 60 - 70 cm přecházejí do karbonátových spraší. Dostatečnou hloubkou, biologickou aktivitou, příznivým zrnitostním složením a vhodnými fyzikálními vlastnostmi je tato půda zemědělsky velice kvalitní.

## **4.2 Schéma založení a hnojení pokusu**

Pokusy jsou založeny na pěti stanovištích v devíti variantách hnojení, přičemž varianta I (kontrola) je nehnojená. V osevním postupu se pěstují brambory - ozimá pšenice - jarní ječmen. Na stanovišti Červený Újezd je v osevním postupu místo brambor zařazena kukuřice.

Velikost jedné parcelky je 80 m<sup>2</sup> na stanovišti Červený Újezd, 60,5 m<sup>2</sup> na Suchdole a 60 m<sup>2</sup> na stanovištích Humpolec, Lukavec, Hněvčeves.

U variant hnojených hnojem se používá vyzrálý chlévský hnůj. U variant hnojených kalem se používá kal z ČOV Praha - Trója. Z průmyslových hnojiv se aplikuje 27% ledek amonný s vápencem (LAV), trojitý superfosfát (TSP), a 50% draselná sůl (KC1). U varianty 8 (N+směs) se k bramborám (kukuřici) aplikuje NPK + směs mikroprvků a rizikových prvků (Cd, Pb, Zn, Ni, Hg, Cu, As a Cr) v roztoku anorganických sloučenin na úrovni odpovídající množství varianty kal 2.

Hnojení hnojem, kalem, P a K se provádí na podzim. Hojení dusíkem, ledkem amonným s vápencem se provádí jednorázově před setím ječmene, kukuřice, sázením brambor a u pšenice se dávka rozděluje na regenerační a produkční přihnojení během vegetace (konec odnožování až začátek sloupkování). Termín přihnojování se volí podle průběhu počasí a stavu porostu.

Při pěstování se používají klasické konvenční technologie pěstování s orbou. Je také zajištěna dostatečná herbicidní, fungicidní a insekticidní ochrana proti škodlivým činitelům.

#### 4.2.1 Schéma založení a hnojení variant pokusu

Tabulka 3: Schéma pokusu

Č. varianty	varianta	Jarní ječmen	Oz. pšenice	Brambory
1	Kontrola	0	0	0
2	Kal 1	0	0	330 kg N
3	Kal 2	0	0	990 kg N
4	Hnůj	0	0	330 kg N
5	N	70 kg N	140 kg N	120 kg N
6	N + sláma	70 kg N	140 kg N	120 kg N + sláma

## 5 Výsledky

### 5.1 Výnos zrna ozimé pšenice

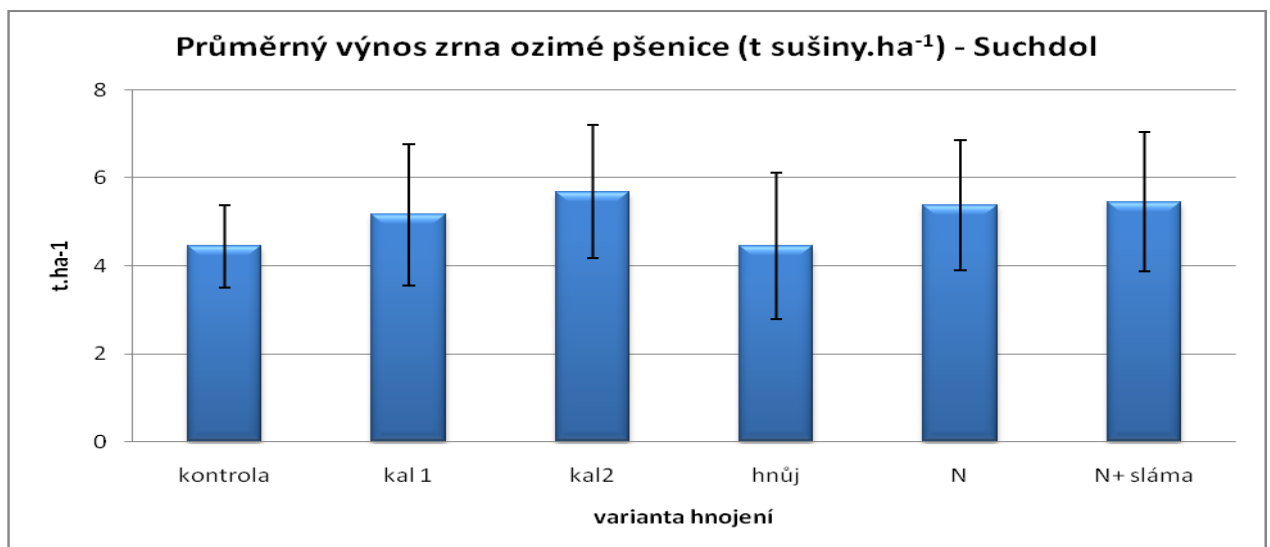
#### 5.1.1 Suchdol

Výnosy zrna ozimé pšenice na stanovišti Suchdol udává tabulka 4 a graf 3. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 bylo dosaženo průměrného výnosu zrna 4,44 t sušiny.ha<sup>-1</sup>. Nevyšší průměrný výnos byl na variantě 3 (kal 2) a to o 28% více než na kontrolní variantě a na variantách 3 (kal 2) a 6 (N+sláma), kde byl průměrný výnos vyšší o 21%. Nejnižší výnos zrna na tomto stanovišti byl zaznamenán na variantě 4 (hnůj), který byl totožný s výnosem na kontrolní variantě.

Tabulka 4: Výnos zrna ozimé pšenice (t sušiny.ha<sup>-1</sup>) – Suchdol

Č. v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	4,55	4,05	4,05	3,84	5,18	3,43	3,31	5,87	5,68
2	kal 1	4,27	4,72	4,67	4,14	5,19	3,66	4,03	8,05	7,71
3	kal 2	4,70	5,52	5,46	4,92	5,46	3,89	4,78	8,11	8,32
4	hnůj	3,53	4,13	3,73	3,03	4,87	2,98	3,33	7,36	7,06
5	N	4,58	4,17	5,72	5,21	4,63	3,91	4,65	8,39	7,14
6	N+ sláma	5,29	4,28	5,65	4,95	5,03	3,25	4,73	7,47	8,41

Graf 3



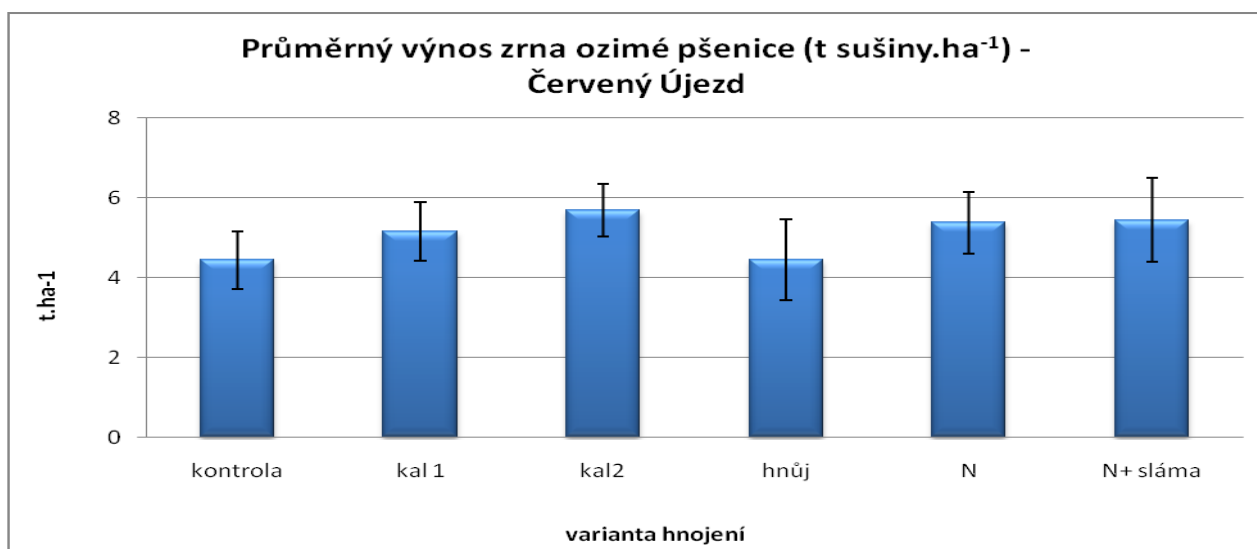
### 5.1.2 Červený Újezd

Výnosy zrna ozimé pšenice na stanovišti Červený Újezd udává tabulka 5 a graf 4. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 bylo dosaženo průměrného výnosu zrna 3,70 t sušiny.ha<sup>-1</sup>, což je zároveň nejnižší výnos ze všech hodnocených variant. Nevyšší průměrný výnos byl na variantě 5 (N) a to o 49% více než na kontrolní variantě a na variantách 3 (kal2) a 6 (N+sláma), kde byl průměrný výnos vyšší o 42%. Nejnižší výnos zrna na tomto stanovišti byl zaznamenán na variantě 4 (hnůj), který byl vyšší jen o 31% než na kontrolní variantě.

Tabulka 5: Výnos zrna ozimé pšenice (t sušiny.ha<sup>-1</sup>) – Červený Újezd

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	5,29	3,41	4,12	3,64	3,31	3,69	3,12	3,97	2,79
2	kal 1	5,36	4,65	5,07	5,07	5,07	5,51	4,06	6,49	4,13
3	kal 2	5,34	5,21	5,35	5,96	4,00	5,21	4,57	5,98	5,86
4	hnůj	5,39	4,39	4,89	4,29	4,35	5,36	3,48	7,03	4,43
5	N	6,22	5,08	5,94	6,56	4,36	5,01	4,69	6,25	5,62
6	N+ sláma	5,79	5,45	5,24	6,39	3,32	4,01	5,24	6,67	5,08

Graf 4





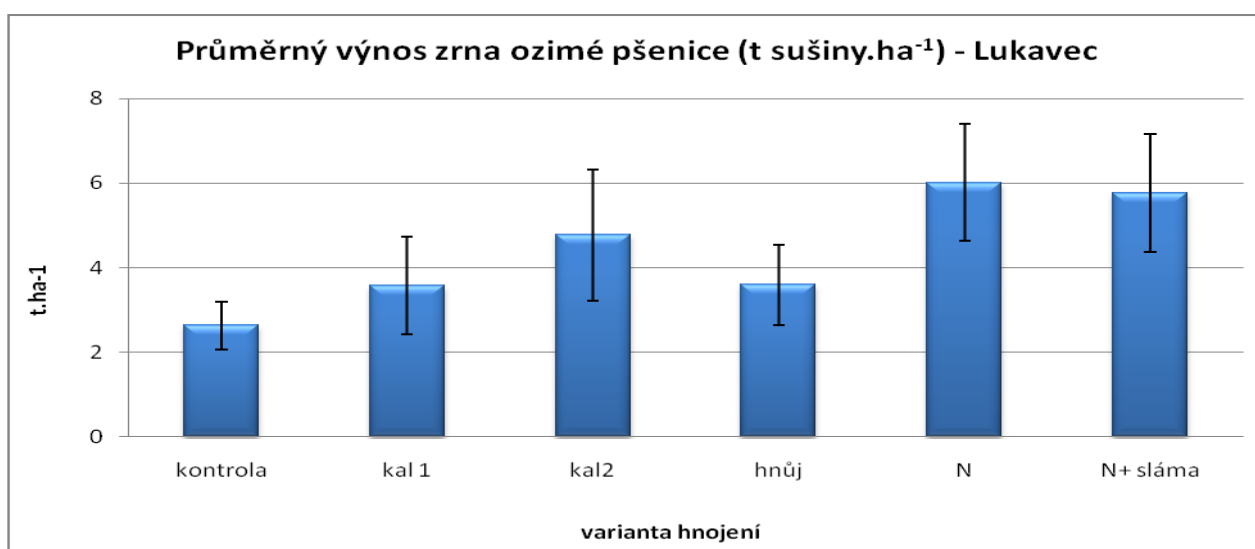
### 5.1.3 Lukavec

Výnosy zrna ozimé pšenice na stanovišti Lukavec udává tabulka 6 a graf 5. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 bylo dosaženo průměrného výnosu zrna 2,63 t sušiny.ha<sup>-1</sup>, což je zároveň nejnižší výnos ze všech hodnocených variant. Nevyšší průměrný výnos byl na variantě 5 (N) a to o 128% více než na kontrolní variantě a na variantě 6 (N+sláma), kde byl průměrný výnos vyšší o 119%. Nejnižší výnos zrna na tomto stanovišti byl zaznamenán na variantách 2 (kal 1) a 4 (hnůj), které převyšovaly kontrolní variantu jen o 36-37%.

Tabulka 6: Výnos zrna ozimé pšenice (t sušiny.ha<sup>-1</sup>) – Lukavec

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	1,59	2,90	3,04	2,91	3,10	2,80	3,15	2,17	2,01
2	kal 1	1,63	3,80	2,80	3,32	4,45	2,81	4,17	5,66	3,52
3	kal 2	2,09	5,48	3,42	4,93	5,77	3,01	6,36	6,47	5,39
4	hnůj	2,30	3,73	2,78	4,47	4,66	2,86	4,95	2,87	3,74
5	N	2,87	5,18	5,46	6,85	6,84	6,37	6,53	7,59	6,42
6	N+ sláma	2,52	5,08	5,35	6,03	6,27	5,88	6,52	7,25	6,93

Graf 5



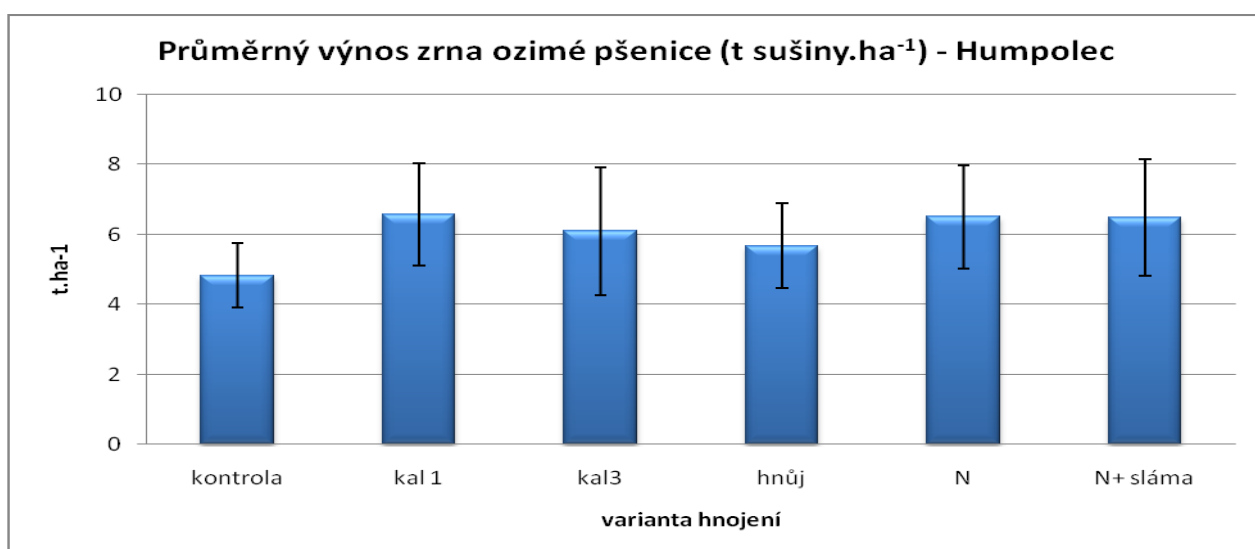
### 5.1.4 Humpolec

Výnosy zrna ozimé pšenice na stanovišti Humpolec udává tabulka 7 a graf 6. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 bylo dosaženo průměrného výnosu zrna 4,82 t sušiny.ha<sup>-1</sup>, což je zároveň nejnižší výnos ze všech hodnocených variant. Nevyšší průměrný výnos byl na variantě 2 (kal 1) a to o 36% více než na kontrolní variantě a na variantách 5 (N) a 6 (N+sláma), kde byl průměrný výnos vyšší o 34-35%. Nejnižší výnos zrna na tomto stanovišti byl zaznamenán na variantě 4 (hnůj), který byl vyšší jen o 18% než na kontrolní variantě.

Tabulka 7: Výnos zrna ozimé pšenice (t sušiny.ha<sup>-1</sup>) – Humpolec

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	3,30	5,56	5,05	4,79	6,19	5,70	3,96	4,15	4,70
2	kal 1	3,38	6,67	6,29	6,57	7,10	7,73	5,63	8,60	7,07
3	kal 2	3,10	3,70	6,89	6,87	6,53	7,89	6,38	8,56	4,88
4	hnůj	3,16	5,68	6,94	5,99	6,81	6,34	4,32	6,09	5,71
5	N	3,72	6,42	6,93	8,20	6,84	7,23	4,64	8,04	6,44
6	N+ sláma	3,90	3,94	7,41	7,96	7,16	7,78	5,66	8,30	6,17

Graf 6



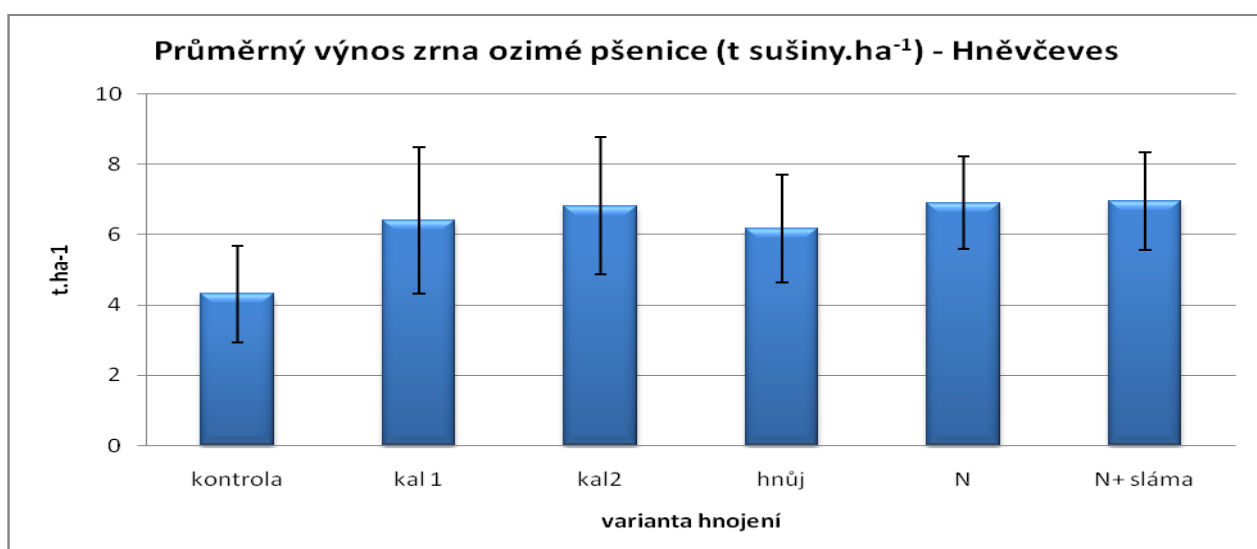
### 5.1.5 Hněvčeves

Výnosy zrna ozimé pšenice na stanovišti Hněvčeves udává tabulka 8 a graf 7. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 bylo dosaženo průměrného výnosu zrna 4,31 t sušiny.ha<sup>-1</sup>, což je zároveň nejnižší výnos ze všech hodnocených variant. Nevyšší průměrný výnos byl na variantě 6 (N+sláma) a to o 61% více než na kontrolní variantě a na variantách 3 (kal 2) a 5 (N), kde byl průměrný výnos vyšší o 60% a 58%. Nejnižší výnos zrna na tomto stanovišti byl zaznamenán na variantě 4 (hnůj), který byl vyšší jen o 43% než na kontrolní variantě.

Tabulka 8: Výnos zrna ozimé pšenice (t sušiny.ha<sup>-1</sup>) – Hněvčeves

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	3,65	4,63	4,11	3,61	4,57	2,06	5,97	3,56	6,63
2	kal 1	3,56	5,58	6,41	8,37	8,09	4,40	7,60	4,17	9,41
3	kal 2	3,55	6,58	7,06	9,07	8,88	5,95	8,17	4,19	7,90
4	hnůj	3,48	4,97	6,16	7,61	6,80	5,35	7,58	5,36	8,20
5	N	6,17	7,71	5,49	8,71	7,81	6,05	7,26	4,83	8,06
6	N+ sláma	6,55	9,09	5,91	7,18	7,71	5,81	7,27	4,59	8,37

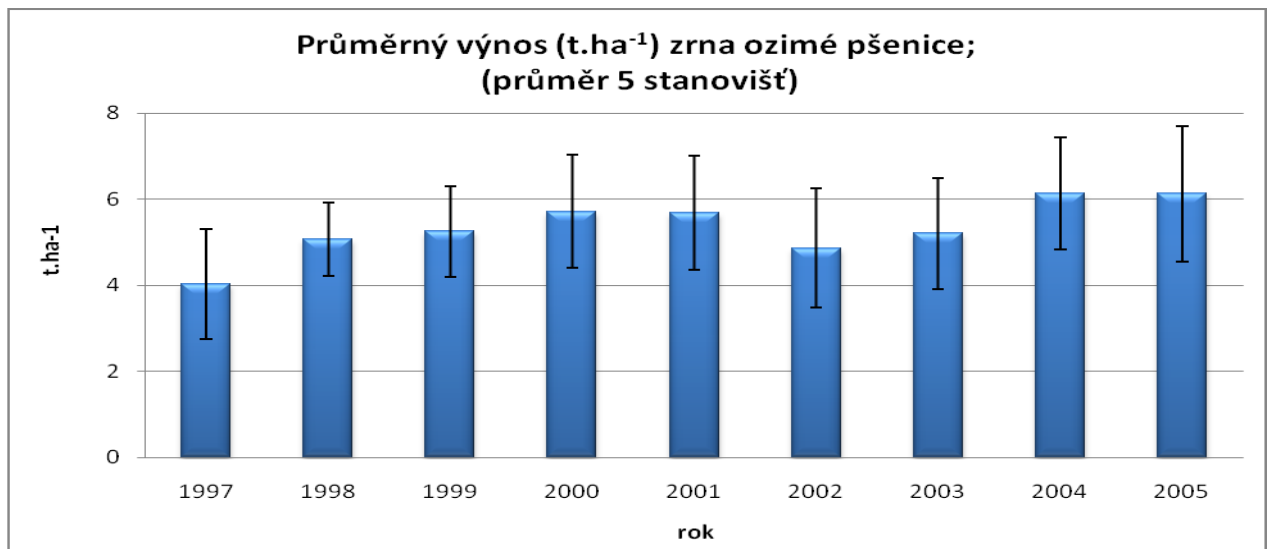
Graf 7



### 5.1.6 Vliv ročníku

Vliv ročníku na výnos zrna ozimé pšenice (průměr 5 stanovišť) udává graf 8. Největších průměrných výnosů bylo dosaženo v letech 2004 a 2005 a to 6,14 t sušiny.ha<sup>-1</sup>. Naopak nejnižší průměrný výnos byl v roce 1997 a to 5,09 t sušiny.ha<sup>-1</sup>.

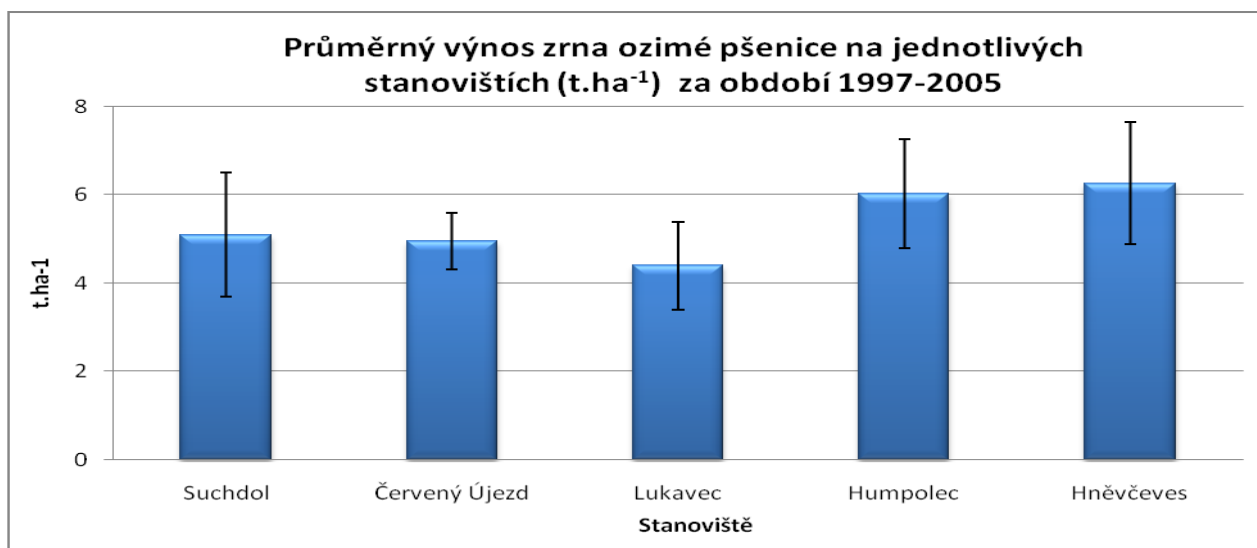
Graf 8



### 5.1.7 Vliv stanoviště

Vliv stanoviště na výnos zrna ozimé pšenice udává graf 9. Nejvyšší průměrný výnos byl na stanovišti Hněvčeves a to 6,26 t sušiny.ha<sup>-1</sup>, která se nachází v řepařské výrobní oblasti. Na tomto stanovišti se nachází hluboká, středně těžká luvizem s intenzivní biologickou aktivitou. Druhý nejvyšší výnos 6,02 t sušiny.ha<sup>-1</sup> byl na stanovišti Humpolec ležící v bramborářské výrobní oblasti, kde je půdním typem slabě oglejená kambizem. Naopak nejnižší průměrný výnos a to 4,39 t sušiny.ha<sup>-1</sup> byl na stanovišti Lukavec s půdním typem kambizem, nacházející se v bramborářské výrobní oblasti. Na tomto stanovišti se nachází písčitohlinitá půda s humusem nízké kvality a výnosy zrna na všech sledovaných variantách patřily vždy k nejmenším.

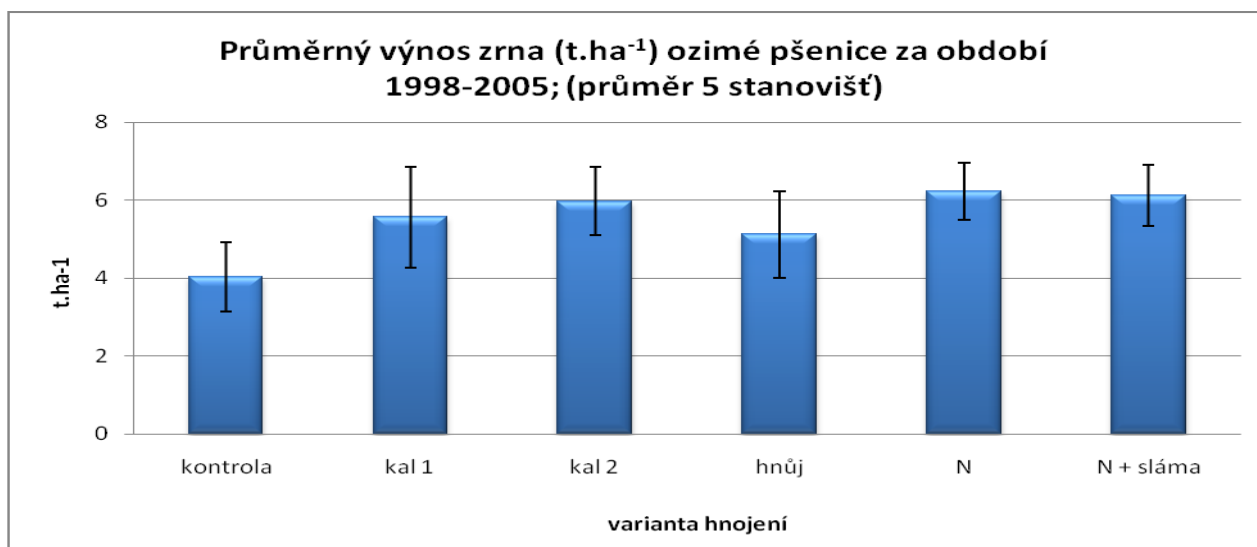
Graf 9



### 5.1.8 Vliv hnojení

Vliv hnojení na výnos zrna ozimé pšenice udává graf 10. Na nehnojené kontrolní variantě 1 byl průměrný výnos zrna z pěti sledovaných stanovišť 4,02 t sušiny.ha<sup>-1</sup>. Na variantě 2, kde byla aplikována jednoduchá dávka byl výnos o 38% a na variantě 3 s trojitou dávkou kalu dokonce o 49% vyšší než na kontrole. Vůbec nejvyšší výnos byl na variantě 5 hnojené N (140 kg.ha<sup>-1</sup>), který byl o 55% vyšší než na nehnojené variantě. Naopak nejmenší vliv na výnos byl pravidelně na všech stanovištích u varianty 4 hnojené hnojem, kde byl výnos pouze o 27% vyšší než na kontrole.

Graf 10



## 5.2 Obsah síry v zrně a slámě ozimé pšenice

### 5.2.1 Suchdol

Obsahy síry (%) v zrně ozimé pšenice na stanovišti Suchdol udává tabulka 9 a graf 11. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,180%, což byl zároveň nejmenší obsah S v zrně ze všech hodnocených variant. Nejvyšší obsah S v zrně byl na variantě 3 (kal 2) a to 0,206% S, který byl o 14% vyšší než na kontrolní (nehnojené) variantě.

Tabulka 9: Obsah síry v zrně ozimé pšenice (%) – Suchdol

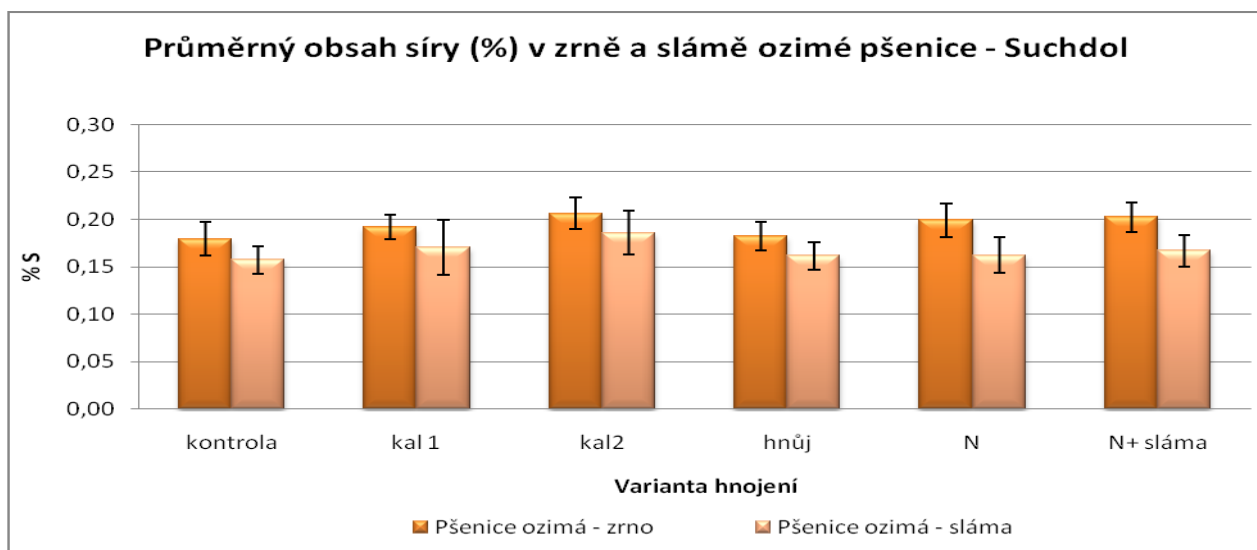
Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	0,201	0,207	0,197	0,172	0,198	0,195	0,177	0,154	0,117
2	kal 1	0,209	0,213	0,202	0,191	0,193	0,205	0,197	0,171	0,146
3	kal 2	0,187	0,236	0,216	0,224	0,209	0,215	0,213	0,187	0,169
4	hnůj	0,206	0,204	0,192	0,180	0,199	0,197	0,183	0,160	0,120
5	N	0,198	0,229	0,208	0,215	0,211	0,209	0,207	0,168	0,147
6	N+ sláma	0,207	0,228	0,213	0,201	0,219	0,215	0,203	0,176	0,158

Obsahy síry (%) ve slámě ozimé pšenice na stanovišti Suchdol udává tabulka 10 a graf 11. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,157%, což byl zároveň nejmenší obsah síry v zrně ze všech hodnocených variant. Nejvyšší obsah síry v zrně byl na variantě 3 (kal 2) a to 0,186% S, který byl o 18% vyšší než na kontrolní variantě. Celkově byl ve slámě naměřen nižší obsah S než v zrně v průměru o 15%.

Tabulka 10: Obsah síry ve slámě ozimé pšenice (%) – Suchdol

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	0,162	0,174	0,184	0,150	0,171	0,171	0,145	0,186	0,074
2	kal 1	0,172	0,165	0,199	0,159	0,172	0,177	0,164	0,247	0,075
3	kal 2	0,162	0,198	0,212	0,179	0,181	0,190	0,189	0,237	0,124
4	hnůj	0,170	0,173	0,188	0,153	0,159	0,168	0,164	0,198	0,081
5	N	0,166	0,215	0,174	0,154	0,165	0,167	0,170	0,182	0,068
6	N+ sláma	0,164	0,188	0,192	0,173	0,169	0,174	0,160	0,209	0,075

Graf 11



### 5.2.2 Červený Újezd

Obsahy síry (%) v zrně ozimé pšenice na stanovišti Červený Újezd udává tabulka 12 a graf 12. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,183%, což byl zároveň nejmenší obsah S v zrně ze všech hodnocených variant. Nejvyšší obsah S v zrně byl na variantě 5 (N) a to 0,209% S, který byl o 14% vyšší než na kontrolní (nehnojené) variantě.

Tabulka 12: Obsah síry v zrně ozimé pšenice (%) – Červený Újezd

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	0,192	0,209	0,205	0,192	0,185	0,189	0,182	0,157	0,137
2	kal 1	0,192	0,215	0,206	0,210	0,194	0,196	0,191	0,174	0,144
3	kal 2	0,197	0,239	0,217	0,221	0,216	0,212	0,205	0,187	0,157
4	hnůj	0,201	0,221	0,211	0,193	0,187	0,191	0,177	0,168	0,134
5	N	0,231	0,240	0,217	0,221	0,215	0,209	0,197	0,188	0,166
6	N+ sláma	0,233	0,230	0,215	0,222	0,212	0,211	0,200	0,188	0,158

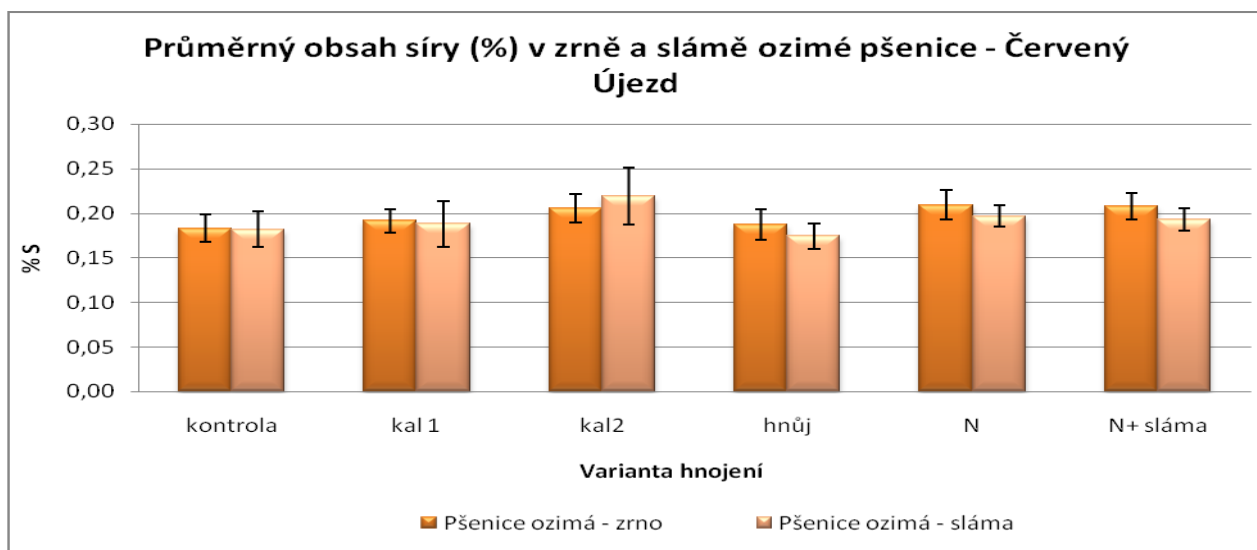
Obsahy síry (%) ve slámě ozimé pšenice na stanovišti Červený Újezd udává tabulka 13 a graf 12. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,182%. Nejvyšší průměrný obsah S ve slámě byl na variantě 3 (kal 2) a to 0,219% S, který byl o 20% vyšší než na kontrolní variantě. Naopak

nejnižší průměrný obsah S ve slámě byl na variantě 4 (hnůj) 0,174%, který byl o 4% nižší než na kontrolní variantě. Celkově byl ve slámě naměřen nižší obsah S než v zrně v průměru o 3%.

Tabulka 13: Obsah síry ve slámě ozimé pšenice (%) – Červený Újezd

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	0,173	0,178	0,198	0,195	0,160	0,198	0,218	0,164	0,153
2	kal 1	0,170	0,188	0,216	0,193	0,158	0,208	0,234	0,176	0,152
3	kal 2	0,163	0,240	0,241	0,213	0,188	0,237	0,261	0,227	0,201
4	hnůj	0,158	0,187	0,199	0,184	0,162	0,186	0,194	0,174	0,126
5	N	0,196	0,214	0,207	0,197	0,174	0,205	0,198	0,191	0,190
6	N+ sláma	0,212	0,212	0,198	0,194	0,174	0,197	0,196	0,185	0,167

Graf 12





### 5.2.3 Lukavec

Obsahy síry (%) v zrně ozimé pšenice na stanovišti Lukavec udává tabulka 14 a graf 13. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,181%. Nejvyšší průměrný obsah S v zrně byl na variantě 6 (N+sláma) a to 0,194% S, který byl o 7% vyšší než na kontrolní variantě. Nejnižší průměrný obsah byl na variantě 4 (hnůj) 0,180% S, který byl o 0,6% nižší než na kontrolní (nehnojené) variantě.

Tabulka 14: Obsah síry v zrně ozimé pšenice (%) – Lukavec

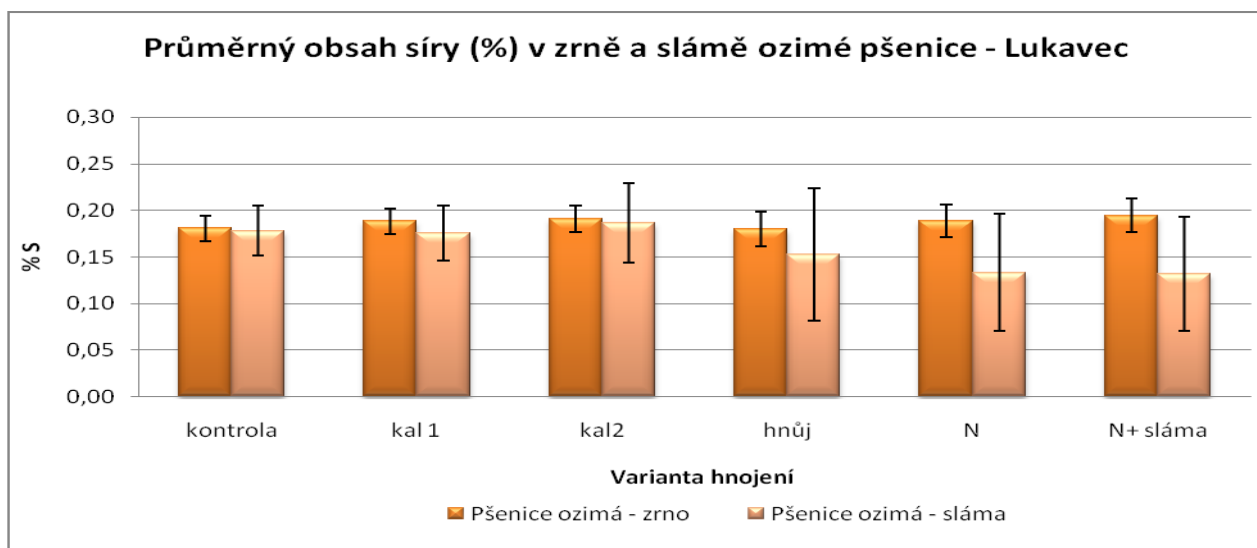
Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	0,200	0,199	0,201	0,187	0,189	0,181	0,187	0,159	0,122
2	kal 1	0,207	0,207	0,207	0,196	0,198	0,184	0,194	0,168	0,133
3	kal 2	0,197	0,221	0,211	0,200	0,198	0,187	0,192	0,172	0,140
4	hnůj	0,196	0,209	0,208	0,186	0,191	0,177	0,187	0,151	0,117
5	N	0,204	0,216	0,195	0,197	0,206	0,186	0,199	0,158	0,139
6	N+ sláma	0,199	0,229	0,217	0,202	0,201	0,190	0,196	0,169	0,146

Obsahy síry (%) ve slámě ozimé pšenice na stanovišti Lukavec udává tabulka 15 a graf 13. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,178%. Nejvyšší průměrný obsah S ve slámě byl na variantě 3 (kal 2) a to 0,187% S, který byl o 5% vyšší než na kontrolní variantě. Naopak nejnižší průměrný obsah S ve slámě byl na variantách 5 (N) a 6 (N+sláma) a to shodně 0,132% S, které byly nižší o 25% než na kontrolní variantě. Celkově byl ve slámě naměřen nižší obsah S než v zrně v průměru o 10%.

Tabulka 15: Obsah síry ve slámě ozimé pšenice (%) – Lukavec

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	0,202	0,174	0,177	0,174	0,170	0,168	0,242	0,159	0,136
2	kal 1	0,176	0,175	0,212	0,208	0,179	0,160	0,242	0,158	0,070
3	kal 2	0,176	0,198	0,172	0,228	0,175	0,153	0,278	0,156	0,142
4	hnůj	0,000	0,178	0,181	0,211	0,166	0,152	0,233	0,193	0,062
5	N	0,000	0,182	0,163	0,175	0,166	0,141	0,198	0,115	0,057
6	N+ sláma	0,000	0,181	0,178	0,164	0,165	0,144	0,182	0,118	0,058

Graf 13



### 5.2.4 Humpolec

Obsahy síry (%) v zrně ozimé pšenice na stanovišti Humpolec udává tabulka 16 a graf 14. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,180%. Nejvyšší průměrný obsah S v zrně byl na stanovišti 3 (kal 2) a to 0,205% S, který byl o 14% vyšší než na kontrolní variantě. Nejnižší průměrný obsah byl na stanovišti 4 (hnůj) 0,182% S, který byl jen o 1% vyšší než na kontrolní (nehnojené) variantě.

Tabulka 16: Obsah síry v zrně ozimé pšenice (%) – Humpolec

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	0,202	0,193	0,193	0,186	0,193	0,176	0,187	0,159	0,134
2	kal 1	0,200	0,209	0,212	0,198	0,205	0,185	0,191	0,171	0,150
3	kal 2	0,197	0,220	0,228	0,208	0,223	0,201	0,212	0,176	0,183
4	hnůj	0,202	0,202	0,217	0,189	0,199	0,173	0,183	0,143	0,129
5	N	0,207	0,234	0,214	0,209	0,219	0,193	0,207	0,178	0,159
6	N+ sláma	0,214	0,206	0,212	0,209	0,224	0,194	0,203	0,185	0,168

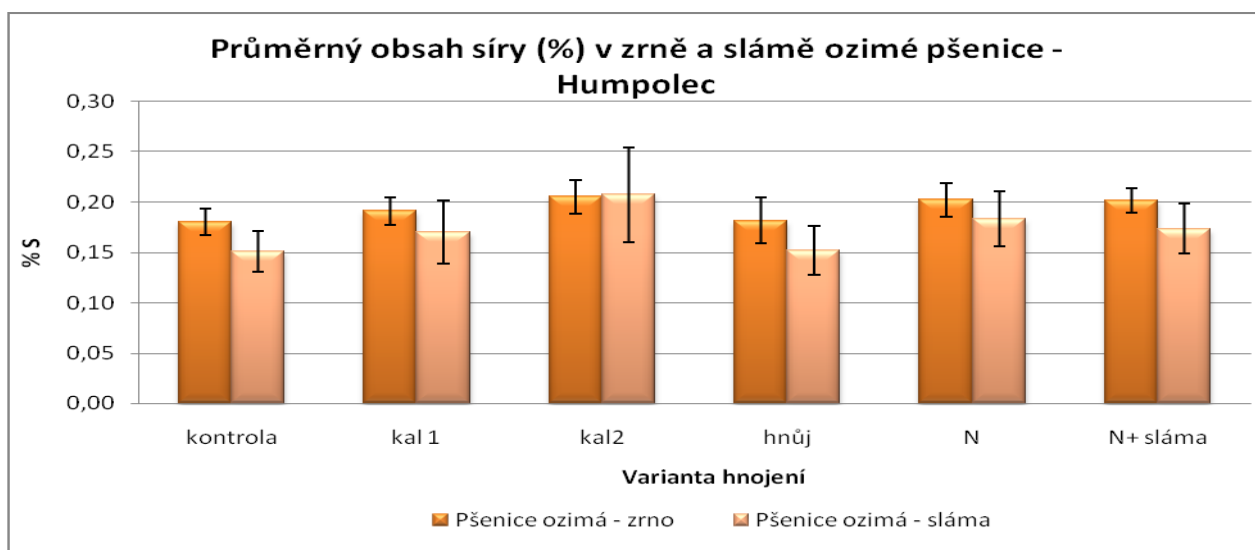
Obsahy síry (%) ve slámě ozimé pšenice na stanovišti Humpolec udává tabulka 17 a graf 14. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,151%. Nejvyšší průměrný obsah S ve slámě byl na variantě 3 (kal 2) a

to 0,207% S, který byl o 37% vyšší než na kontrolní variantě. Naopak nejnižší průměrný obsah S ve slámě byl na variantě 4 (hnůj) 0,152% S, který byl jen o 0,6% vyšší než na kontrolní (nehojené) variantě. Celkově byl ve slámě naměřen nižší obsah S než v zrně v průměru o 11%.

Tabulka 17: Obsah síry ve slámě ozimé pšenice (%) – Humpolec

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	0,179	0,159	0,158	0,176	0,155	0,160	0,183	0,120	0,072
2	kal 1	0,219	0,164	0,188	0,168	0,161	0,180	0,233	0,137	0,081
3	kal 2	0,210	0,173	0,223	0,237	0,185	0,200	0,313	0,167	0,158
4	hnůj	0,175	0,157	0,165	0,160	0,154	0,178	0,199	0,115	0,064
5	N	0,209	0,163	0,203	0,177	0,181	0,192	0,250	0,175	0,099
6	N+ sláma	0,201	0,168	0,182	0,204	0,180	0,167	0,228	0,151	0,082

Graf 14



### 5.2.5 Hněvčeves

Obsahy síry (%) v zrně ozimé pšenice na stanovišti Hněvčeves udává tabulka 18 a graf 15. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,171%. Nejvyšší průměrný obsah S v zrně byl na variantách 5 (N) a 6 (N+sláma) shodně 0,197% S, který byl o 15% vyšší než na kontrolní variantě.

Nejnižší průměrný obsah byl na variantě 4 (hnůj) 0,180% S, který byl jen o 5% vyšší než na kontrolní (nehojené) variantě.

Tabulka 18: Obsah síry v zrně ozimé pšenice (%) – Hněvčeves

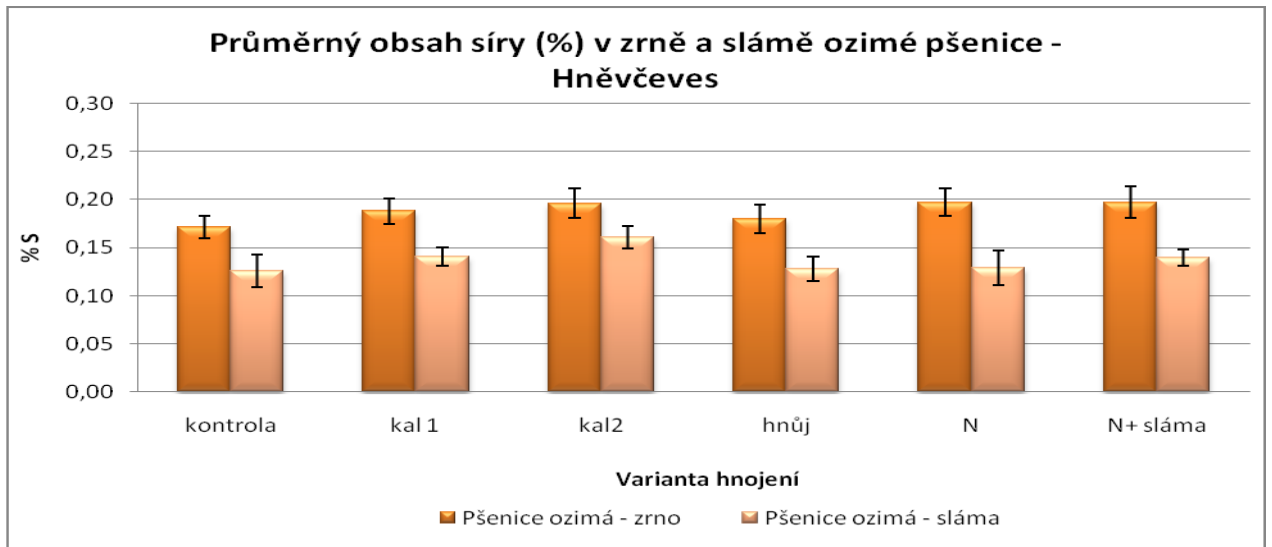
Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	0,178	0,181	0,189	0,187	0,185	0,183	0,180	0,152	0,106
2	kal 1	0,176	0,195	0,205	0,213	0,197	0,185	0,198	0,175	0,147
3	kal 2	0,178	0,206	0,217	0,213	0,210	0,187	0,211	0,186	0,158
4	hnůj	0,177	0,192	0,210	0,203	0,190	0,184	0,191	0,163	0,106
5	N	0,197	0,202	0,217	0,217	0,206	0,193	0,206	0,173	0,164
6	N+ sláma	0,196	0,213	0,222	0,211	0,204	0,195	0,204	0,168	0,163

Obsahy síry (%) ve slámě ozimé pšenice na stanovišti Hněvčeves udává tabulka 19 a graf 15. Na kontrolní (nehojené) variantě 1 byl průměrný obsah S – 0,126%. Nejvyšší průměrný obsah S ve slámě byl na variantě 3 (kal 2) a to 0,161% S, který byl o 28% vyšší než na kontrolní variantě. Naopak nejnižší průměrný obsah S ve slámě byl na variantách 4 (hnůj) 0,128% S a 5 (N) 0,129%, které byly jen o 2% vyšší než na kontrolní (nehojené) variantě. Celkově byl ve slámě naměřen nižší obsah S než v zrně v průměru o 27%.

Tabulka 19: Obsah síry ve slámě ozimé pšenice (%) – Hněvčeves

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola		0,156	0,174	0,155	0,161	0,162	0,139	0,122	0,067
2	kal 1		0,154	0,168	0,174	0,171	0,156	0,180	0,172	0,094
3	kal 2		0,186	0,194	0,189	0,201	0,170	0,206	0,192	0,114
4	hnůj		0,167	0,158	0,153	0,168	0,151	0,160	0,131	0,064
5	N		0,184	0,169	0,143	0,166	0,141	0,143	0,136	0,080
6	N+ sláma		0,177	0,178	0,164	0,168	0,163	0,157	0,158	0,089

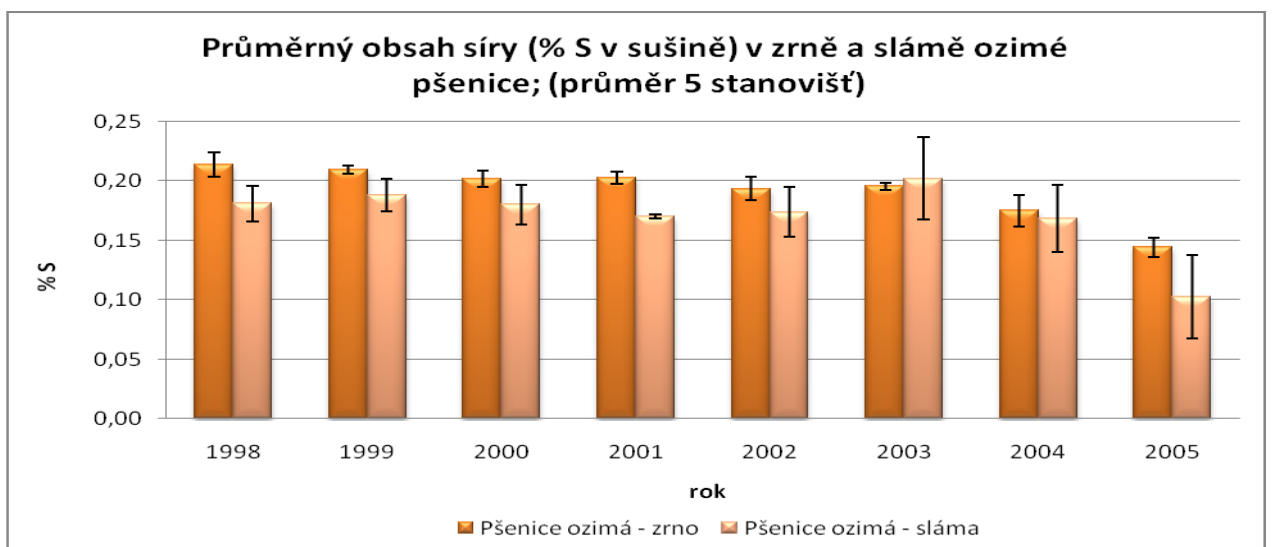
Graf 15



### 5.2.6 Vliv ročníku

Vliv ročníku na obsah S (%) v zrně a slámě ozimé pšenice udává graf 16, kde jsou znázorněny průměrné obsahy z let 1998-2005. Nejmenší obsah S v zrně ozimé pšenice byl v roce 2005 – 0,144%. Naopak nejvíce S obsahovalo zrno v roce 1998 – 0,214%. Kromě roku 2003 byl vždy obsah S v zrně vyšší než obsah S ve slámě.

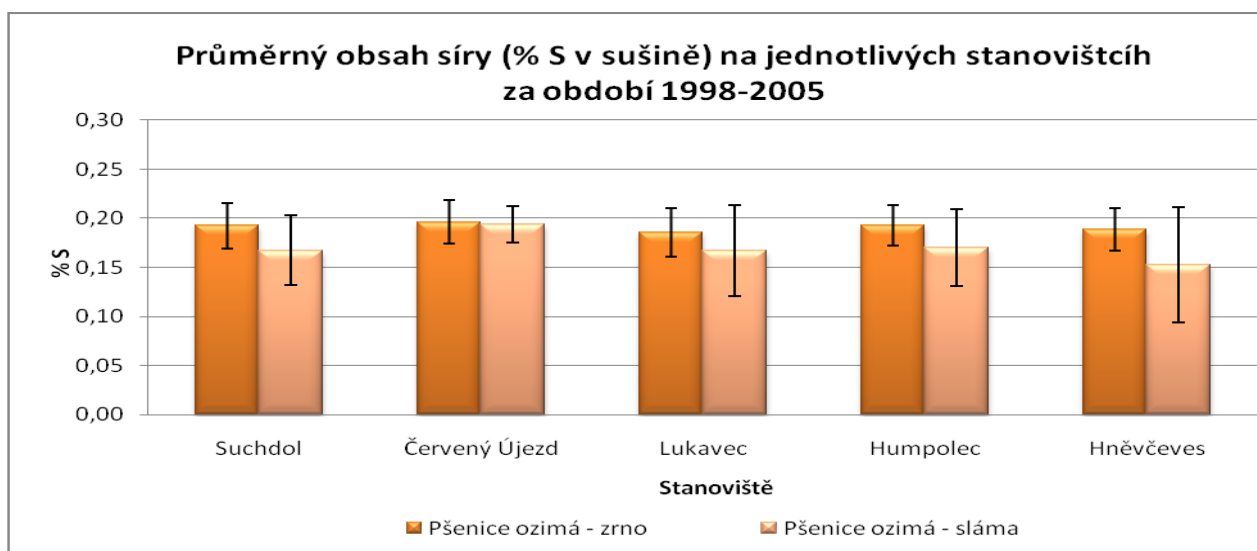
Graf 16



### 5.2.7 Vliv stanoviště

Vliv stanoviště na obsah S (%) v zrně a slámě ozimé pšenice udává graf 17. Největší obsah S v zrně byl stanoven na stanovišti Červený Újezd – 0,196%. Na tomto stanovišti byl zároveň nejmenší obsah celkové S v ornici a to 0,075%. Nejmenší obsah S v zrně byl na stanovišti Hněvčeves – 0,189%, zároveň zde byl druhý nejvyšší obsah celkové S v ornici 0,082%. Z čehož je patrné, že obsah S v zrně není ovlivněn celkovým obsahem S v ornici. Na všech sledovaných stanovištích byl naměřen větší obsah S v zrně než ve slámě. Nejmenší rozdíl mezi obsahy S v zrně a ve slámě ozimé pšenice byl na stanovišti Červený Újezd.

Graf 17

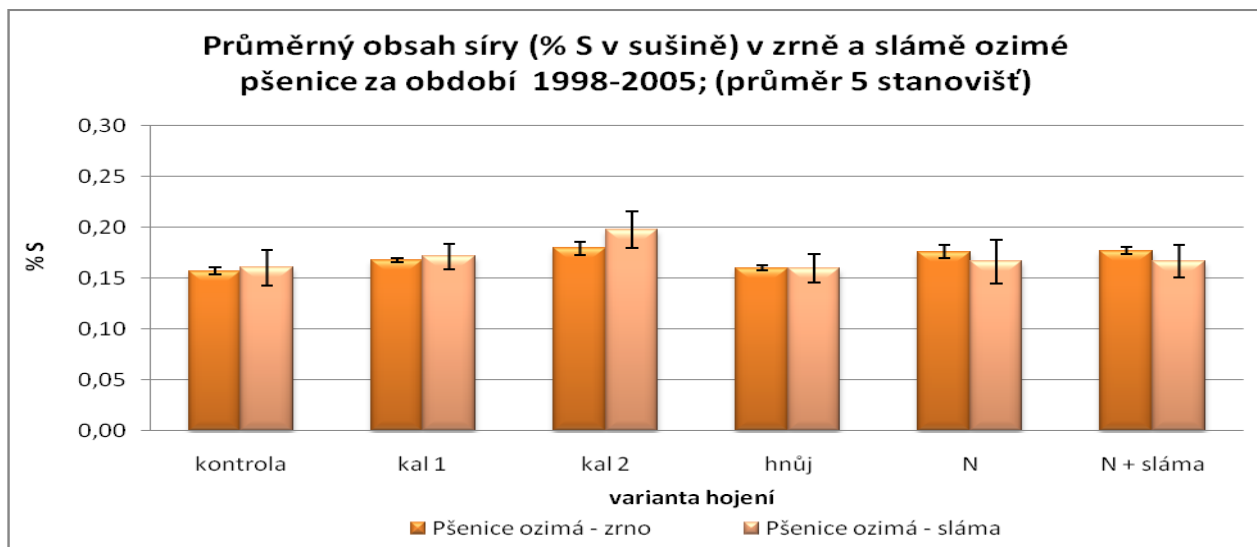


### 5.2.8 Vliv hnojení

Vliv hnojení na obsah S (%) v zrně a slámě ozimé pšenice udává graf 18. Na kontrolní nehnojené variantě byl stanoven nejnižší obsah S v zrně – 0,157%. Na variantě 4 hnojené hnojem byl stanoven obsah S v zrně jen o 0,003% vyšší než na kontrole. Nejvíce S v zrně bylo stanoveno na variantě 3 hnojené trojitou dávkou kalu a to 0,180%. Průměrná dávka čistírenského kalu činila 30,0 t.ha<sup>-1</sup> (9,09 t sušina.ha<sup>-1</sup>) a byla aplikována 1x za 3 roky (pro hladinu 330 kg N.ha<sup>-1</sup> 1x za 3 roky). Vzhledem k významně nižšímu obsahu dusíku ve hnoji než v kalu bylo aplikováno vyšší množství hnoje 65,94 t.ha<sup>-1</sup>

(17,94 t sušiny.ha<sup>-1</sup>). Kaly obsahovaly v průměru 1,03% S v sušině a hnůj 0,35 % S v sušině

Graf 18



## 5.3 Odběr síry zrnem ozimé pšenice

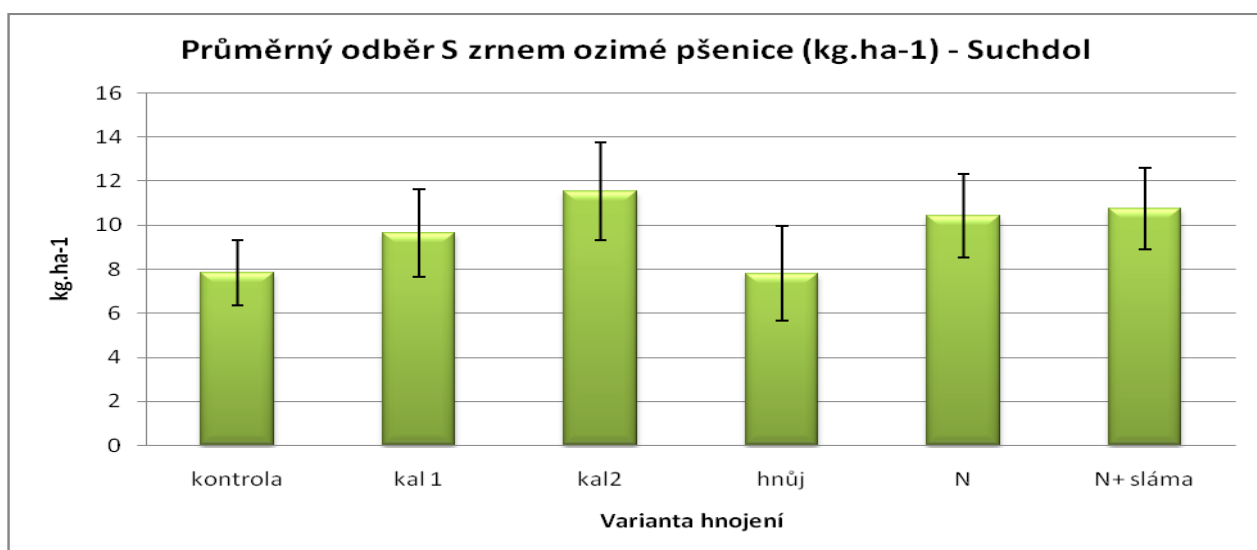
### 5.3.1 Suchdol

Odběr S zrnem ozimé pšenice na stanovišti Suchdol udává tabulka 20 a graf 19. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný odběr S zrnem 7,84 kg.ha<sup>-1</sup>. Nejvyšší průměrný odběr S zrnem ozimé pšenice byl na variantě 3 (kal 2), který činil 11,53 kg.ha<sup>-1</sup> což je o 47% více než na kontrolní variantě 1. Nejmenší průměrný odběr S zrnem byl na stanovišti 4 (hnůj), který byl 7,80 kg.ha<sup>-1</sup>.

Tabulka 20: Odběr S zrnem ozimé pšenice (kg.ha<sup>-1</sup>) - Suchdol

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	9,1	8,4	8,0	6,6	10,2	6,7	5,9	9,0	6,6
2	kal 1	8,9	10,1	9,4	7,9	10,0	7,5	7,9	13,8	11,3
3	kal 2	8,8	13,0	11,8	11,0	11,4	8,4	10,2	15,2	14,0
4	hnůj	7,3	8,4	7,2	5,4	9,7	5,9	6,1	11,8	8,5
5	N	9,1	9,5	11,9	11,2	9,8	8,2	9,6	14,1	10,5
6	N+ sláma	11,0	9,7	12,0	10,0	11,0	7,0	9,6	13,1	13,3

Graf 19



### 5.3.2 Červený Újezd

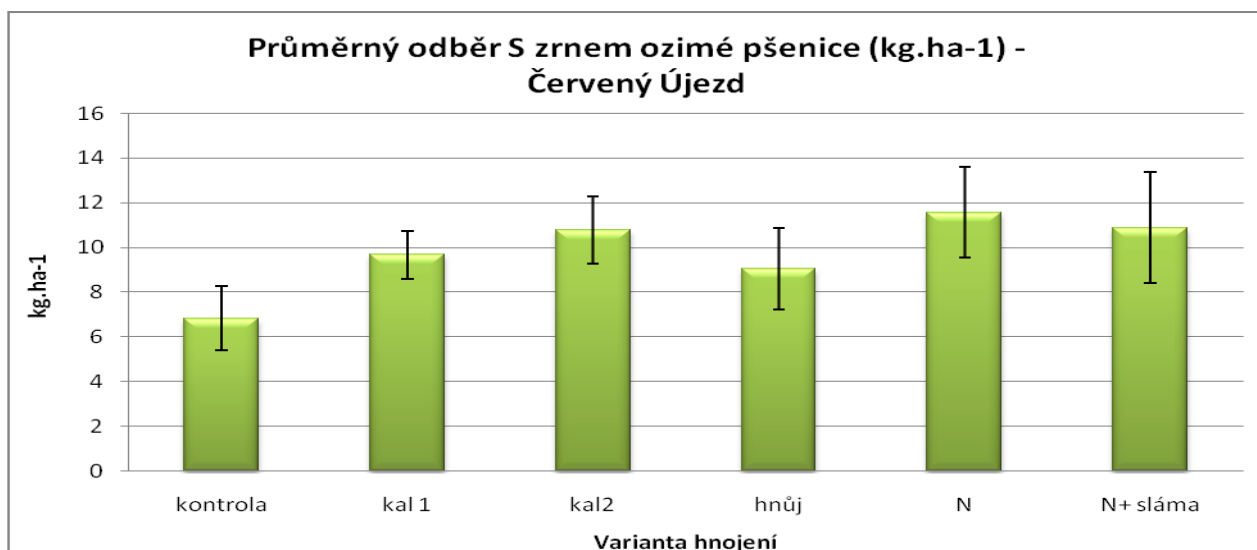
Odběr S zrnem ozimé pšenice na stanovišti Červený Újezd udává tabulka 21 a graf 20. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný odběr S zrnem 6,84 kg.ha<sup>-1</sup>, byl to zároveň nejmenší odběr ze všech sledovaných variant na tomto stanovišti. Nejvyšší průměrný odběr S zrnem ozimé pšenice byl na variantě 5 (N), který činil 11,57 kg.ha<sup>-1</sup> což je o 69% více než na kontrolní variantě 1. Další vysoké odběry S zrnem byly zaznamenány na variantách 3 (kal 2) 10,79 kg.ha<sup>-1</sup> a 6 (N+sláma) 10,89 kg.ha<sup>-1</sup>.

Tabulka 21: Odběr S zrnem ozimé pšenice (kg.ha<sup>-1</sup>) – Červený Újezd

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	10,2	7,1	8,4	7,0	6,1	7,0	5,7	6,2	3,8
2	kal 1	10,3	10,0	10,4	10,6	9,9	10,8	7,8	11,3	6,0
3	kal 2	10,5	12,5	11,6	13,2	8,6	11,0	9,4	11,2	9,2
4	hnůj	10,9	9,7	10,3	8,3	8,1	10,2	6,2	11,8	6,0
5	N	14,3	12,2	12,9	14,5	9,4	10,5	9,3	11,8	9,4
6	N+ sláma	13,5	12,6	11,3	14,2	7,0	8,4	10,5	12,5	8,0



Graf 20



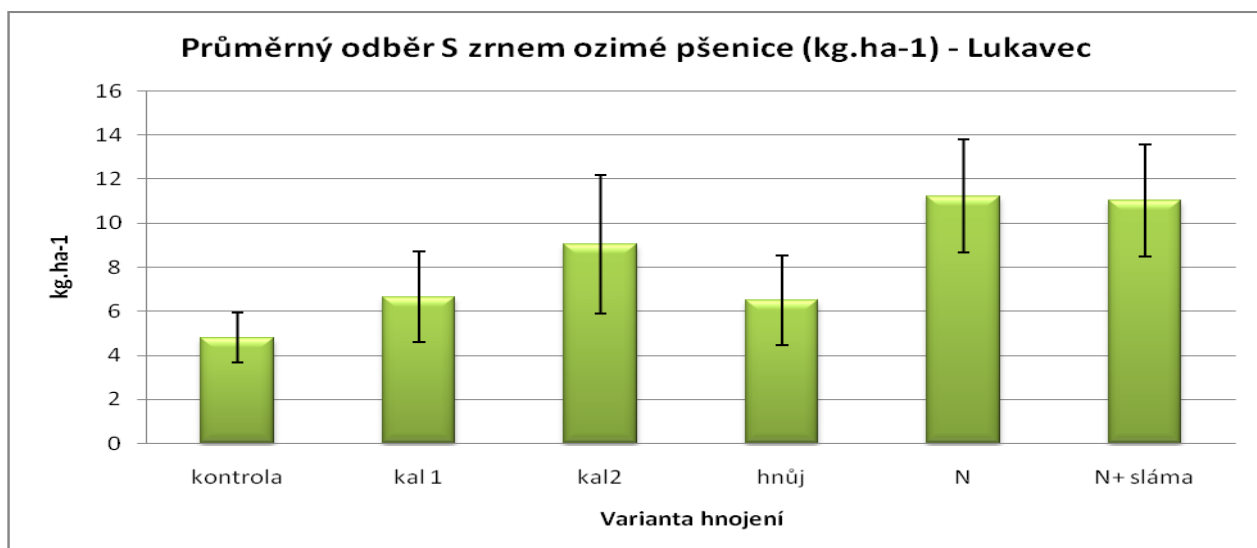
### 5.3.3 Lukavec

Odběr S zrnem ozimé pšenice na stanovišti Lukavec udává tabulka 22 a graf 21. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný odběr S zrnem 4,81 kg.ha<sup>-1</sup>, byl to zároveň nejmenší odběr ze všech sledovaných variant na tomto stanovišti. Nejvyšší průměrný odběr S zrnem ozimé pšenice byl na variantách 5 (N) 11,23 kg.ha<sup>-1</sup> a 6 (N+sláma) 11,04 kg.ha<sup>-1</sup>, což je o 130-133% více než na kontrolní variantě 1.

Tabulka 22: Odběr S zrnem ozimé pšenice (kg.ha<sup>-1</sup>) – Lukavec

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	3,2	5,8	6,1	5,4	5,9	5,1	5,9	3,5	2,5
2	kal 1	3,4	7,9	5,8	6,5	8,8	5,2	8,1	9,5	4,7
3	kal 2	4,1	12,1	7,2	9,9	11,4	5,6	12,2	11,1	7,5
4	hnůj	4,5	7,8	5,8	8,3	8,9	5,1	9,3	4,3	4,4
5	N	5,8	11,2	10,6	13,5	14,1	11,9	13,0	12,0	8,9
6	N+ sláma	5,0	11,6	11,6	12,2	12,6	11,2	12,8	12,2	10,1

Graf 21



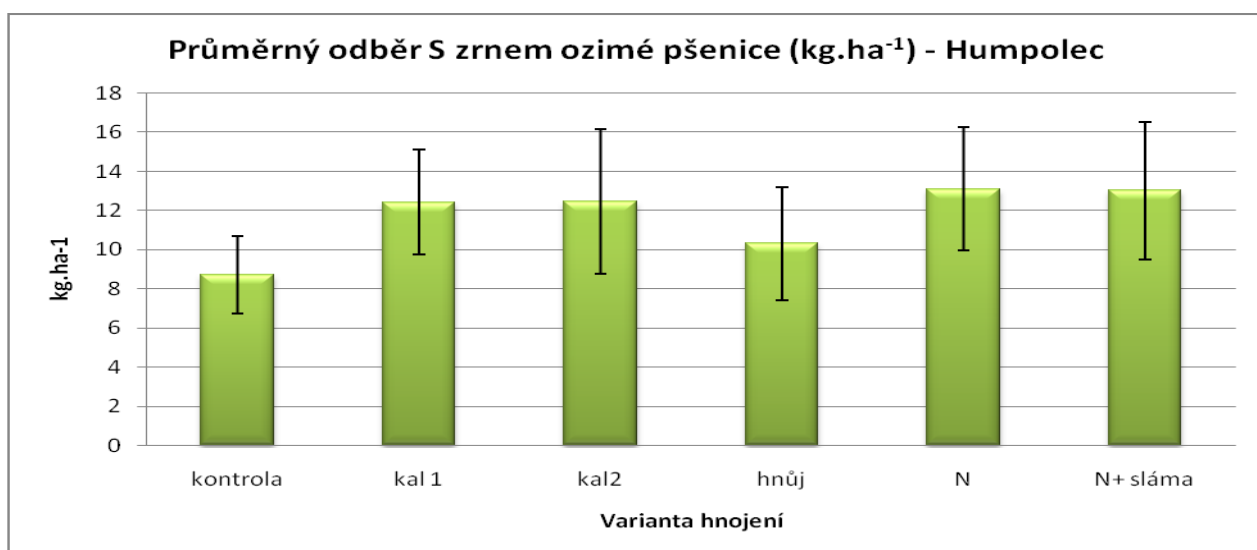
### 5.3.4 Humpolec

Odběr S zrnem ozimé pšenice na stanovišti Humpolec udává tabulka 23 a graf 22. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný odběr S zrnem 8,71 kg.ha<sup>-1</sup>, byl to zároveň nejmenší odběr ze všech sledovaných variant na tomto stanovišti. Nejvyšší průměrný odběr S zrnem ozimé pšenice byl na variantách 5 (N) 13,10 kg.ha<sup>-1</sup> a 6 (N+sláma) 13,01 kg.ha<sup>-1</sup>, což je o 49-50% více než na kontrolní variantě 1. Vysoké odběry byly zaznamenány i na variantách hnojenými kaly a to o 43%.

Tabulka 23: Odběr S zrnem ozimé pšenice (kg.ha<sup>-1</sup>) – Humpolec

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	6,7	10,7	9,7	8,9	12,0	10,0	7,4	6,6	6,3
2	kal 1	6,8	13,9	13,3	13,0	14,5	14,3	10,8	14,7	10,6
3	kal 2	6,1	8,1	15,7	14,3	14,6	15,8	13,5	15,0	8,9
4	hnůj	6,4	11,5	15,1	11,3	13,5	11,0	7,9	8,7	7,3
5	N	7,7	15,0	14,8	17,2	15,0	14,0	9,6	14,3	10,3
6	N+ sláma	8,3	8,1	15,7	16,7	16,0	15,1	11,5	15,4	10,4

Graf 22



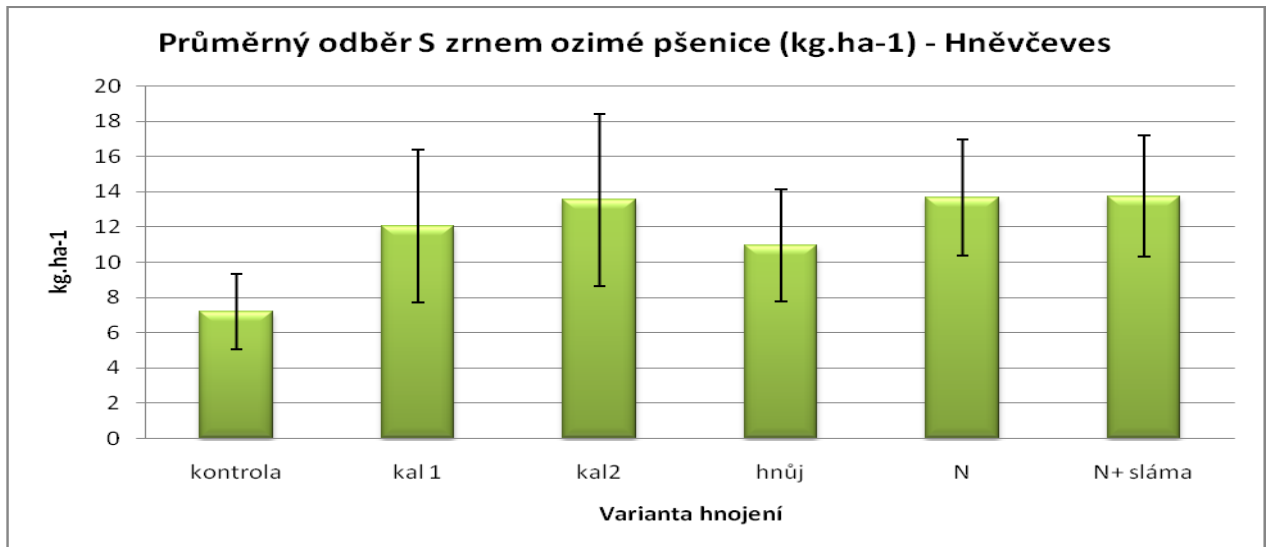
### 5.3.5 Hněvčeves

Odběr S zrnem ozimé pšenice na stanovišti Hněvčeves udává tabulka 24 a graf 23. Na kontrolní (nehnojené) variantě 1 byl průměrný odběr S zrnem 7,20 kg.ha<sup>-1</sup>, byl to zároveň nejmenší odběr ze všech sledovaných variant na tomto stanovišti. Nejvyšší průměrný odběr S zrnem ozimé pšenice byl opět na variantách 5 (N) 16,65 kg.ha<sup>-1</sup> a 6 (N+sláma) 13,74 kg.ha<sup>-1</sup>, což je o 90% více než na kontrolní variantě 1 a na variantě 3 (kal 2) 13,53 kg.ha<sup>-1</sup>, kde byl zaznamenán odběr S o 88% vyšší než na kontrole.

Tabulka 24: Odběr S zrnem ozimé pšenice (kg.ha<sup>-1</sup>) – Hněvčeves

Č.v.	varianta	Rok								
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	kontrola	6,5	8,4	7,8	6,8	8,5	3,8	10,8	5,4	7,0
2	kal 1	6,3	10,9	13,2	17,8	15,9	8,1	15,0	7,3	13,9
3	kal 2	6,3	13,5	15,3	19,3	18,7	11,1	17,2	7,8	12,5
4	hnůj	6,2	9,5	12,9	15,5	12,9	9,8	14,4	8,7	8,7
5	N	12,1	15,6	11,9	18,9	16,1	11,7	14,9	8,3	13,3
6	N+ sláma	12,8	19,4	13,1	15,2	15,7	11,3	14,8	7,7	13,6

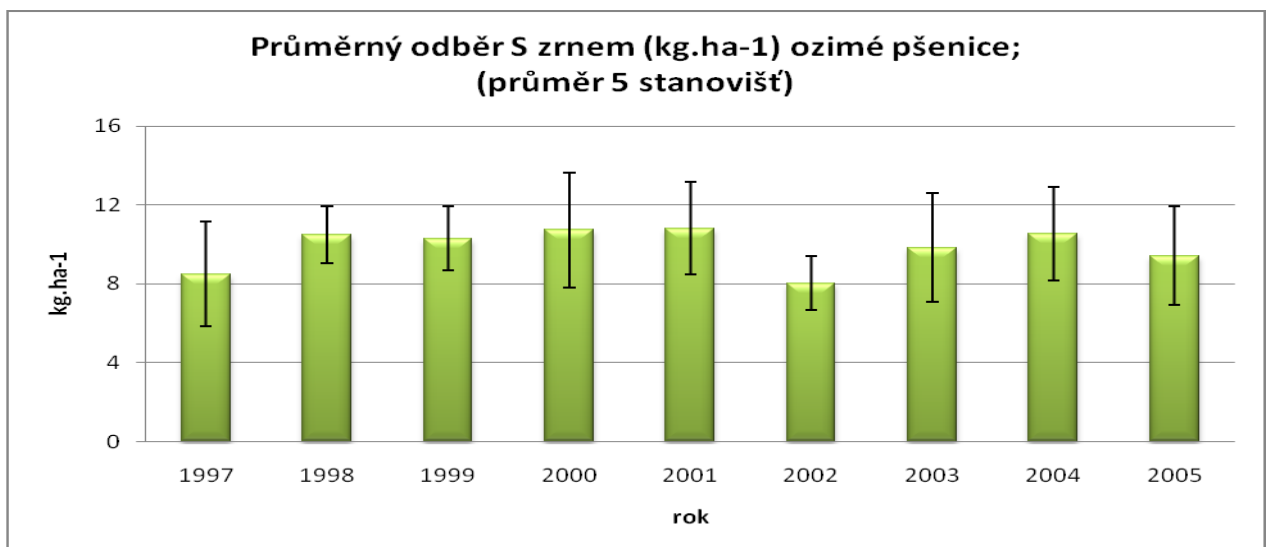
Graf 23



### 5.3.6 Vliv ročníku

Vliv ročníku na odběr S (kg.ha<sup>-1</sup>) zrnem ozimé pšenice udává graf 24. Odběr S zrnem stanovíme součinem výnosu zrna a obsahu S v zrně. Nejnižší odběr S zrnem byl v roce 2002 – 8,04 kg.ha<sup>-1</sup>, tento rok byl zároveň však nejbohatším na srážkové úhrny a mimořádně teplý. Největší odběr S zrnem byl v roce 2001 – 10,82 kg.ha<sup>-1</sup>, tento rok byl naopak teplotně i srážkově průměrný.

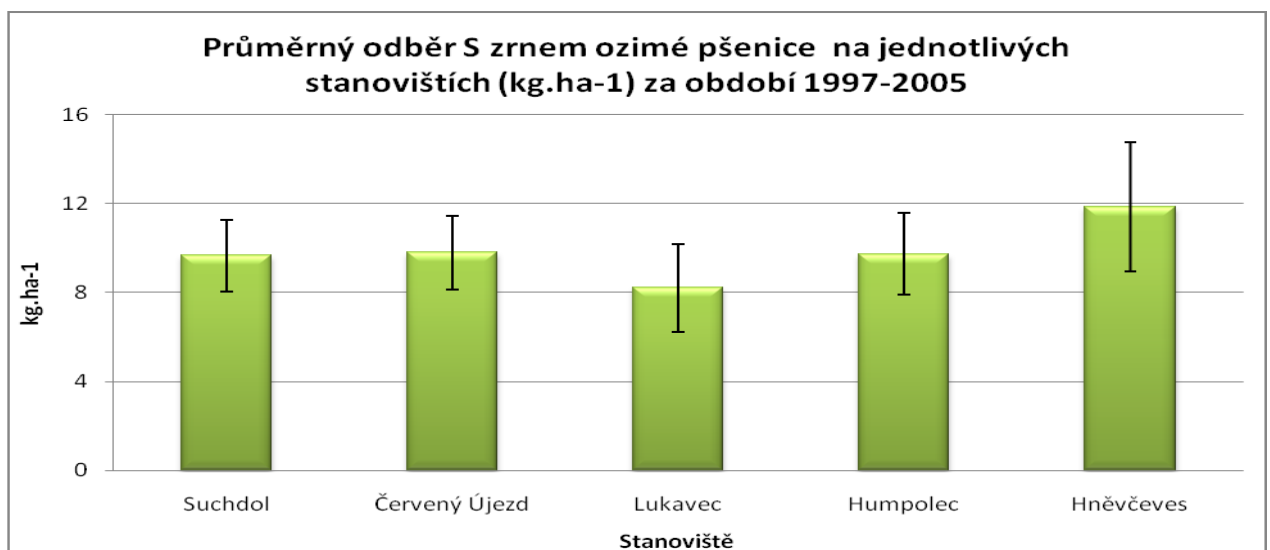
Graf 24



### 5.3.7 Vliv stanoviště

Vliv stanoviště na odběr S ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) zrnem ozimé pšenice udává graf 25. Vliv stanoviště se na odběru S zrnem promítá stejně jako v případě výnosu. Největší odběr S zrnem byl na stanovišti Hněvčeves –  $11,86 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Naopak nejmenší odběr S zrnem byl registrován na stanovišti Lukavec –  $8,21 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Na zbylých stanovištích byly naměřeny následující hodnoty odběrů S zrnem pšenice ozimé: Suchdol –  $9,67 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Humpolec  $9,73 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a Červený Újezd  $9,80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

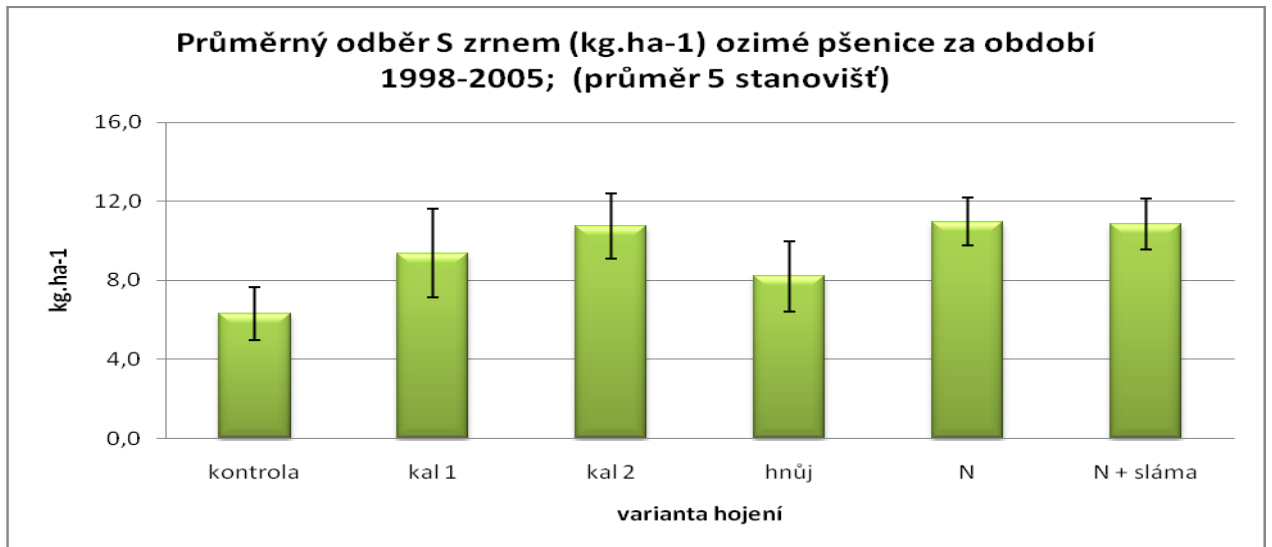
Graf 25



### 5.3.8 Vliv hnojení

Vliv hnojení na průměrný odběr S ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) zrnem ozimé pšenice průměr z 5 stanovišť udává graf 26. Na kontrolní nehnojené variantě byl průměrný odběr S zrnem  $6,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nejmenší odběr byl stanoven na variantě 4 hnojené kalem a to  $8,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Druhý nejnižší odběr byl na variantě 2 (kal 1) –  $9,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Naopak u trojitě dávky kalu na variantě 3 byl naměřen odběr  $10,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , který byl velmi blízký odběru na variantě 6 hnojené N a slámou. Nejvyšší odběr S zrnem byl zaznamenán na variantě 5 hnojené pouze dusíkem a to  $11 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Graf 26



## 6 Diskuze

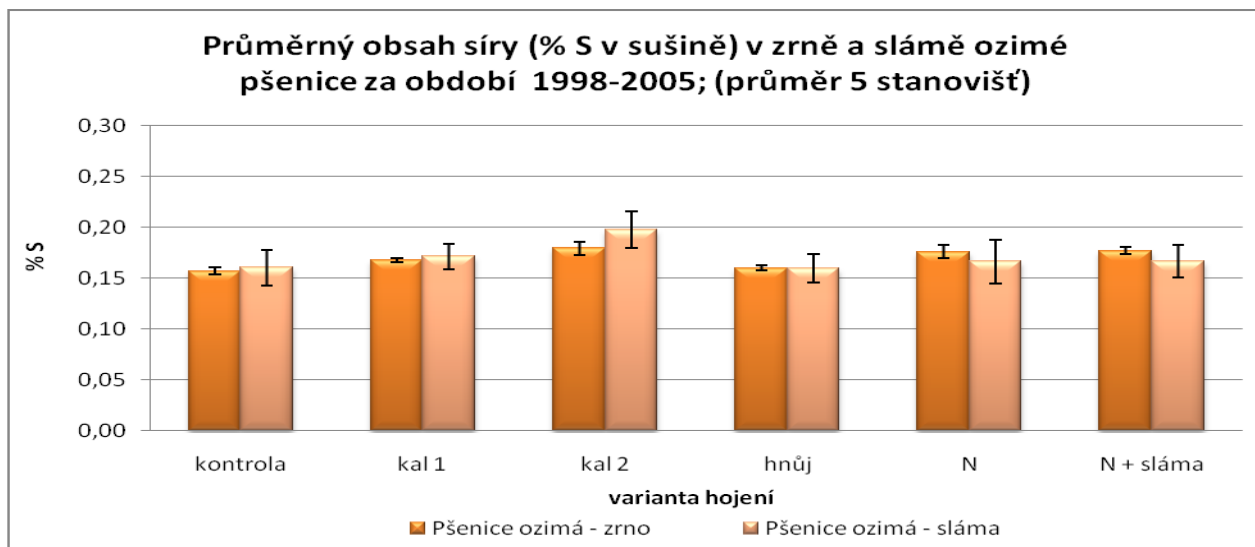
Průměrná dávka čistírenského kalu činila  $30,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  ( $9,09 \text{ t}$  sušiny  $\cdot \text{ha}^{-1}$ ) a byla aplikována 1x za 3 roky (pro hladinu  $330 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Vzhledem k významně nižšímu obsahu dusíku ve hnoji než v kalu bylo aplikováno vyšší množství hnoje -  $65,94 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  ( $17,94 \text{ t}$  sušiny  $\cdot \text{ha}^{-1}$ ). Kaly obsahovaly v průměru  $0,93\%$  S v sušině a hnůj  $0,42\%$  S v sušině. Hodnota stanoveného obsahu S v kalu souhlasí s autory Kalembasa et al. (2000), kteří uvádějí obsah síry v sušině kalu na úrovni  $0,87\%$  -  $1,17\%$ . Celkem bylo během tří let dodáno u jednoduché dávky kalu na variantě 2 (kal 1)  $84,5 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ , u trojitě dávky kalu na variantě 3 (kal 2)  $253,5 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$  a u varianty 4 (hnůj)  $75,3 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Průměrné obsahy síry v sušině zrna ozimé pšenice, které jsme stanovili na variantách 2 (kal 1) -  $0,168\%$  S a 3 (kal 2) -  $0,180\%$  S hnojených čistírenskými kaly se přibližují spodní hranici intervalu  $0,18$  -  $19\%$  obsahu síry v obilninách, které uvádí Vaněk a kol., (2007). Nejnižší obsah síry v zrně u varianty 2 (kal 1) byl zaznamenán v roce 2005 na stanovišti Lukavec -  $0,133\%$  a u varianty 3 (kal 2) taktéž v roce 2005 na stanovišti Lukavec -  $0,140\%$ . Naopak největší obsahy síry v zrně ozimé pšenice byly registrovány v roce 1998 na stanovišti Červený Újezd a to jak u jednoduché dávky kalu (varianta 2) -  $0,215\%$  tak i u trojitě dávky kalu (varianta 3) -  $0,239\%$ .

Průměrné obsahy síry v sušině slámy ozimé pšenice stanovené na variantách hnojené kaly, dosáhly hodnot  $0,172\%$  - varianta 2 (kal 1) a  $0,198\%$  - varianta 3 (kal 2). Tyto hodnoty jsou v souladu s konstatováním Fecenka a kol., (2001) a Fecenka (2000), že obsah síry v sušině rostlin je rozdílný a zpravidla více síry je obsaženo ve vegetativních a méně v generativních orgánech. Naše hodnoty jsou ovšem nižší v porovnání s údaji prezentované autory Filipek-Mazur a Mazur (2002), kteří udávají obsah S v generativních částech obilnin  $0,25\%$  S v sušině a ve vegetativních částech  $0,5\%$  S v sušině. Teorie o vyšším obsahu síry ve vegetativních orgánech než generativních jak udává graf 18 se potvrdila pouze na variantách hnojených kaly a na kontrolní nehnojené variantě 1. U varianty 4 hnojené hnojem byl obsah síry v sušině zrna i slámy stejný a to  $0,160\%$ . Varianta 5 hnojená samotným dusíkem a

varianta 6, kde byl aplikován dusík se zaorávkou slámy, byl naměřen obsah S (%) v zrně vyšší než tomu bylo u slámy.

Graf 18



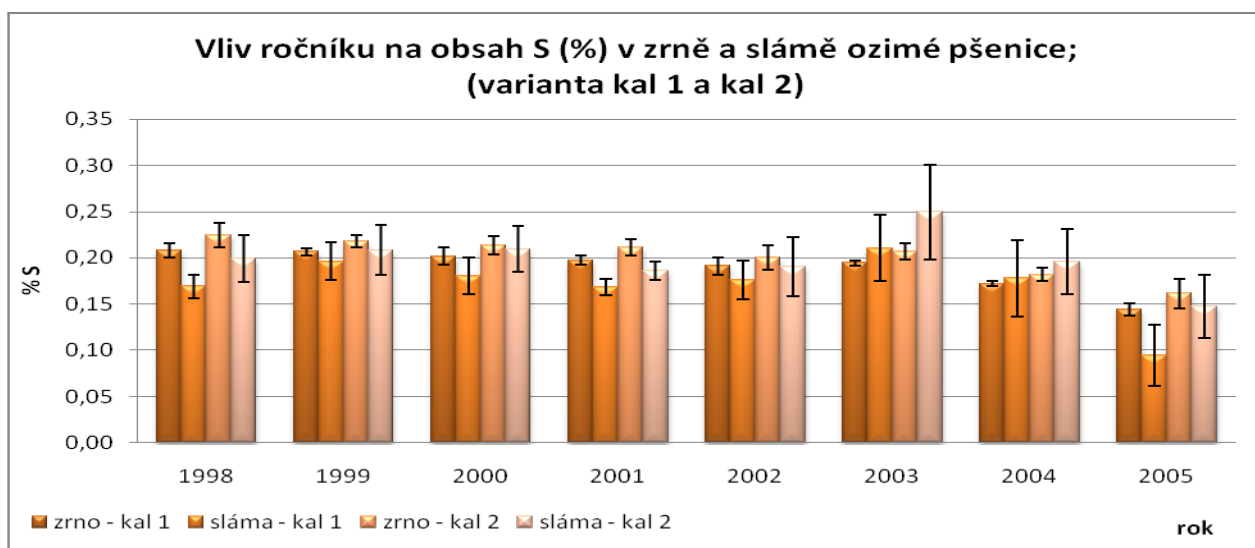
Nejnižší obsah S ve slámě ozimé pšenice byl na variantě 2 (kal 1) stanoven v roce 2005 – 0,070% na stanovišti Lukavec a u varianty 3 (kal 2) v roce 2005 – 0,114%. Naopak nejvyšší obsah S ve slámě na variantě 2 (kal 1) byl v roce 2004 na stanovišti Suchdol – 0,247% a u varianty 3 (kal 2) v roce 2003 na stanovišti Humpolec – 0,313%.

Z výše prezentovaných hodnot vyplývá, že obsah S (%) v ozimé pšenici se během našeho experimentu pohyboval v intervalu 0,07–0,313%. Naše stanovené obsahy síry se blíží hodnotám publikovaných řadou autorů. Např. Vaněk a kol., (2007) nebo Balík a Tlustoš (2000), kteří uvádí rozmezí obsahu síry 0,1-0,5% v sušině. Fecenka a Ložek (2000) 0,07-0,54% S.

Vliv ročníku na obsah síry byl pozorován spíše u obsahu S ve slámě než v zrně ozimé pšenice. V letech bohaté na srážkové úhrny obsahovala sláma méně síry než v letech, které byly srážkově chudé (graf 27, tabulky 37-42).



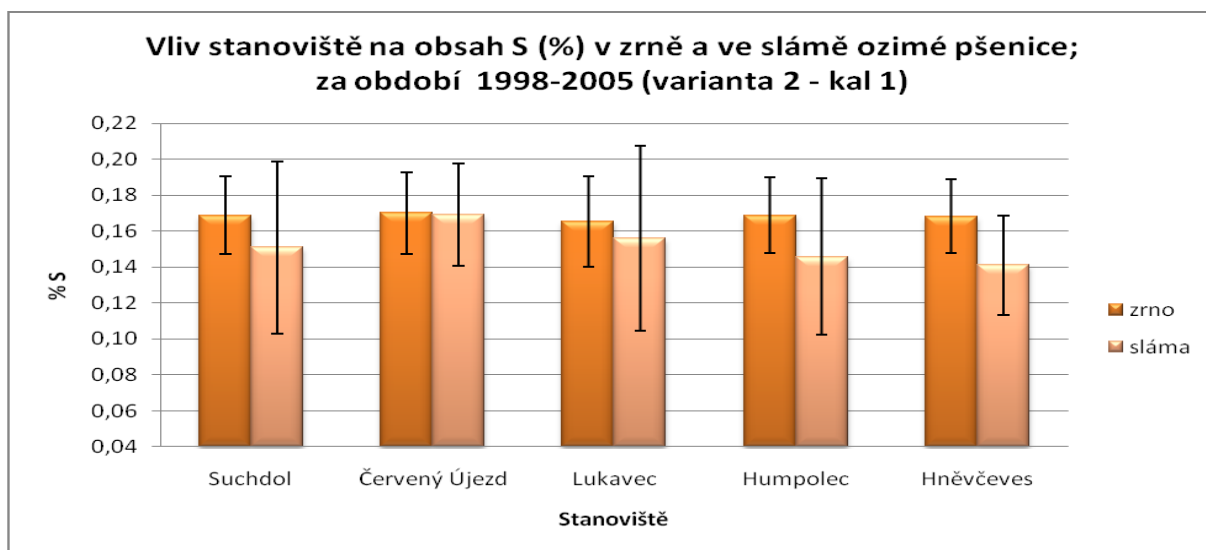
Graf 27



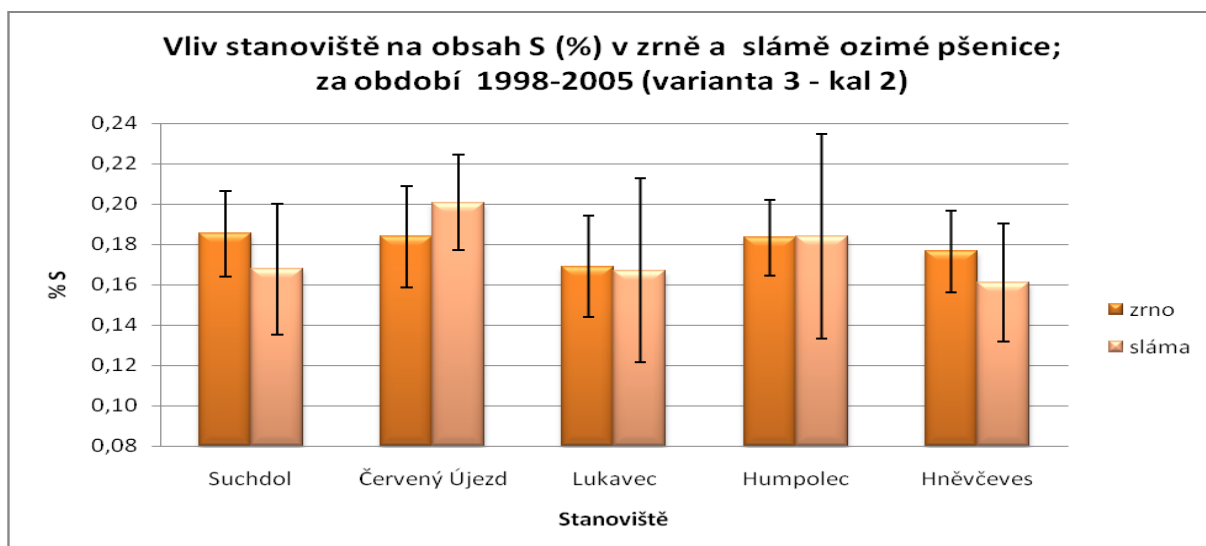
Vliv stanoviště na obsah S (%) v zrně a slámě ozimé pšenice na variantách hnojených kaly udává graf 28 pro jednoduchou dávku a graf 29 pro trojitou dávku kalu. Z grafu je patrné, že stejně jako u vlivu ročníku se i vliv stanoviště projevil především u obsahu síry ve slámě ozimé pšenice než u obsahu v zrně. Obsah síry v zrně na variantě 2 (kal 1) se pohyboval v úzkém intervalu 0,165-0,170% a obsah síry ve slámě v intervalu 0,141-0,169%. Na všech stanovištích převyšoval obsah síry v zrně nad obsahem síry ve slámě. Nejmenší rozdíl mezi obsahy síry v zrně a slámě byl stanoven na stanovišti Červený Újezd a to 1%, naopak největší rozdíl byl na stanovišti Hněvčeves, který činil 16%. Největší obsah síry v zrně – 0,170% i slámě – 0,169% byl na stanovišti Červený Újezd. Nejmenší obsah síry v zrně byl stanoven na stanovišti Lukavec – 0,165% a ve slámě na stanovišti Hněvčeves – 0,141%.

Obsah síry v zrně na variantě 3 (kal 2) se pohyboval v rozmezí 0,169-0,185%. Daleko větší rozptyl byl zaznamenán u obsahu síry ve slámě 0,161-0,201%. Při porovnání obou variant (2 a 3) je patrné, že poměr obsahu síry v zrně a slámě se liší v závislosti na dávce aplikovaného kalu. Zatím co u varianty 2 byl znatelný rozdíl mezi obsahem síry v zrně a slámě na všech stanovištích, na variantě 3 byl tento rozdíl stanoven pouze na stanovišti Suchdol a Hněvčeves. Na stanovištích Lukavec a Humpolec byl obsah síry v zrně a slámě téměř srovnatelný. Na stanovišti Červený Újezd dokonce obsah síry ve slámě převyšoval obsah síry v zrně.

Graf 28



Graf 29



Největší obsah síry v zrně na variantě 3 hnojené trojitou dávkou kalu byl stanoven na stanovišti Suchdol – 0,185%, nejmenší pak na stanovišti Lukavec – 0,169%. U obsahu síry ve slámě byl největší obsah na stanovišti Červený Újezd – 0,201% a nejmenší na stanovišti Hněvčeves – 0,161%.

Na stanovišti Červený Újezd, kde byly registrovány nejvyšší obsahy síry v zrně i slámě, byl celkový obsah síry v půdě – 0,075%, který byl zároveň nejmenším ze všech stanovišť (tab. 36). Suchdol – 0,081%, Lukavec – 0,082%, Humpolec 0,088%, Hněvčeves 0,082%. Z čehož je patrné, že obsah síry v zrně není ovlivněn celkovým obsahem síry v půdě na příslušném

stanovišti.

Aplikací čistírenského kalu nedošlo tab. 36 k ovlivnění celkového obsahu síry v půdě. Naměřené údaje obsahu síry v půdě z kontrolní nehnojené varianty 1 se shodují s údaji z variant 2 a 3 hnojených kaly. Navíc se tyto hodnoty od počátku tohoto dlouhodobého stacionárního pokusu výrazně neodchylovaly od dlouhodobého průměru. Celkový průměrný obsah síry v půdě se pohyboval v rozmezí 0,075-0,088%. Tlustoš a kol., (2001) uvádí celkový obsah S v běžných půdách mírného pásma v intervalu 50-500 ppm tj. resp. 100-500 ppm (Fecenko a Ložek, 2000).

## 7 Závěr

Cílem této práce bylo posoudit vliv dlouhodobé aplikace čistírenských kalů na obsah síry v půdě a v rostlinách.

V současné době již nemůžeme při řešení nároků zemědělských plodin na síru spoléhat na její přísun z atmosférických spadů. A to zejména z důvodu odsíření tepelných elektráren a plynofikací měst a obcí.

Proto se využití čistírenských kalů v zemědělství vzhledem k jejich neustále se zvyšující produkci a zároveň poklesu produkce statkových hnojiv v důsledku snížení stavu dobytka se jeví jako výhodný způsob zužitkování těchto vedlejších produktů.

Z naměřených dat z dlouhodobého stacionárního pokusu založeného již v roce 1996 na pěti stanovištích v ČR jsme došli k závěru, že po aplikaci čistírenského kalu došlo k navýšení obsahu síry jak v zrně tak i ve slámě ozimé pšenice. Na kontrolní nehnojené variantě 1 byl stanoven obsah síry v sušině zrna v rozmezí 0,151-0,162% a v sušině slámy 0,142-0,183%. Průměrný obsah (průměr 5 stanovišť) síry činil v sušině zrna – 0,157% a ve slámě 0,142%. Na variantě 2 hnojené jednoduchou dávkou kalu (30,0 t.ha<sup>-1</sup> tj. 9,09 t sušiny.ha<sup>-1</sup>) se pohyboval obsah síry v sušině zrna v rozmezí 0,165-0,170% a v sušině slámy 0,159-0,190%. Průměrný obsah (průměr 5 stanovišť) síry byl v sušině zrna – 0,168% a ve slámě 0,172%.

U varianty 3 hnojené trojitou dávkou kalu (90,0 t.ha<sup>-1</sup> tj. 27,27 t sušiny.ha<sup>-1</sup>) byl stanoven obsah síry v sušině zrna v rozmezí 0,169-0,185% a ve slámě 0,181-0,226%. Průměrný obsah (průměr 5 stanovišť) síry byl v sušině zrna – 0,180% a ve slámě 0,198%.

Vliv aplikace čistírenských kalů na obsah síry v rostlině ozimé pšenice je zřetelný. U varianty 2 došlo po aplikaci jednoduché dávky k relativnímu nárůstu obsahu síry v sušině zrna i slámy ozimé pšenice o 7%. U varianty 3, na které byla aplikována trojitá dávka, došlo k relativnímu nárůstu obsahu síry v sušině zrna o 15% a ve slámě o 23% oproti kontrolní nehnojené variantě.

Vliv aplikace čistírenských kalů na celkový obsah síry v půdě nebyl prokázán.

## 8 Seznam použité literatury

BALÍK, J., TLUSTOŠ, P. (2000): Hnojení ozimé řepky sírou. Květy olejnin, č. 4, str.2-3.

BALÍK, J., TLUSTOŠ, P. (1999): Aplikace NS hnojiv u ozimé řepky. Květy olejnin, č. 2-3, str. 3-4.

BALÍK, J., PETRÁŠEK, K., TLUSTOŠ, P. SZÁKOVÁ, J. (2003): Kaly z čistíren odpadních vod. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. AF ČZU v Praze , str. 47-53.

CECCOTTI, S. P. (1996): A global review of nutrient sulphur balance, fertilizers, and the environment. J. Agro Food Industry Hi-Tech., 7(6), str.8-22

CIBULKA, J. a kol. (1991): Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře, 1. Vydání, Academia Praha, 432s.

COPPOLA, S., DUMONTET, S., PONTONIO, M., BASILE, G. And MARINO, P. (1988): Effect of Cadmium-bearing Sewage Sludge on Crop Plants and Microorganisms in Two Different Soils. Agriculture, Ecosystems and Environment, str. 181-194.

DOHÁNYOS, M. (2004): Kaly z ČOV, Strategie nakládání s čistírenskými kaly. Odpadové Fórum, 5: 8-11

ERIKSEN, J., MURPHY, M. D., SCHNUG, E. (1998): The soil Sulphur cycle. In: Schnug E. (ed.), Sulphur in Agroecosystems. Kluwer Academic Publishers: 39-73.

FECENKO, J. (2002): Význam síry pre výživu rastlín a jej potreba na hnojení plodín pestovaných v SR. Agrochémia, Ročník VI. (42), str. 13-15.

FECENKO, J., LOŽEK, O. (2000): Výživa a hnojenie poľných plodín. SPU v Nitre a Duslo, a.s., Šaľa.

FECENKO, J., LOŽEK, O., KULICH, S. (2001): Problematika potreby hnojív s obsahom síry v SR. Sborník ze 7. Mezinárodní konference, Racionální použití hnojiv. AF ČZU v Praze, str. 70-75..

- FRENEY, J. R. (1986): Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils. In: Tabatabai, M. A. (Ed.). Sulfur in Agriculture. Agronomy Monograph No. 27. ASA-CSSA-SSSA, Madison.
- HANEKLAUS, S., SCHNUG, E. (1994): Aspects of sulphur nutrition for European crops. *Agro-Food-Industry Hi-Tech*, 5(2), str. 4-6.
- HAUPTMAN, I., SÁŇKA, M., KŇÁKAL, P. (2000): Hodnocení čistírenských kalů z hlediska obsahu živin a rizikových látek. Sborník: Možnosti využití kalů z ČOV v zemědělství, VÚPI Praha, str. 23 - 30.
- HELL, R., RENNENBERG, H. (1998): The plant sulphur cycle. In: Schnug E. (ed.), *Sulphur in Agroecosystems*. Kluwer Academic Publishers: 135-173.
- HORÁK, V., STAZSKOVÁ, L. (2002): *Biochemie*. AF ČZU v Praze.
- HOLOBRADÁ, M. (1985): Prijem a asimilácia síry v rastlinách. Biologické práce. Edícia Vedeckého kolegia pre biologicko-poľnohospodárské vedy a Vedeckého kolegia pre biologicko-lekárske vedy Slovenskej akademie vied. Vedy, Bratislava: 107.
- KALEMBASA, D., KALEMBASA, S., KANIA, R. (2000): Waste activated sludges as the source of nitrogen and sulphur for plants. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis*, No 81, str. 109-111.
- KYNCL, M. (2007): Technologie zpracování a využití vodárenských kalů. VŠ báňská – Technická univerzita. MONTANEX. 127s.
- KOLÁŘ, L., KUŽEL, S. (2000): *Odpadové hospodářství*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 193s.
- MARSCHNER, H. (1995): *Mineral nutrition of higher plants*. Second Edition. London, *Sulphur in Agriculture*, 17, 889s.
- MATULA, J. (1987): *Agrochemie*. VŠZ Praha, 1987.
- MATULA, J. (1999): Výživa a hnojení sírou. *Agro*, 11-12: 15-18.
- MATULA, J. (2007): Výživa a hnojení sírou. *Metodika pro praxi*. VÚRV. 38s.

- McGILL, W. B., COLE, C. V. (1981): Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma* 26: 267-286.
- McGRATH, S. P., ZHAO, F. J. (1995): A risk assessment of sulphur deficiency in cereals using soil and atmospheric deposition data. *Soil Use and Management*, 11, str. 110-114.
- MENGEL, K., KIRKBY, E. A. (1978): *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute Berne, Switzerland
- MICHALOÁ, M. (2005): Současný stav nakládání s čistírenskými kaly v ČR. Zpráva Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka v Praze - Centrum pro hospodaření s odpady CeHO 08/2005
- PEDERSEN, C. A., KNUDSEN, L., SCHNUG, E. (1998): Sulphur fertilisation In: Schnug, E. (ed.), *Sulphur in Agroecosystems*. Kluwer Academic Publishers, s.115-134.
- PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE, J., ŠEBÁNEK, J. a kol. (1998): *Fyziologie rostlin*. Academia Praha.
- RICHTER, R., HŘIVNA, L. (1999): Síra a její působení na výnos semene a obsah oleje u ozimé řepky. *Agrochemie*, ročník III. ( 39), str. 7-10.
- RŮŽEK, P., KUSÁ, H., MÜHLBACHOVÁ, G. (1997): Využití různě zpracovaných kalů z ČOV v zemědělství. *Sborník Cizorodé látky v zemědělských ekosystémech*, str. 92-101, VÚRV.
- SEGEŤOVÁ, V. (1971): Síra jako biogenní prvek pro zemědělské plodiny.
- SCHLEGEL, H. G. (1992): *Allgemeine Mikrobiologie*. 7. Auflage, Thieme, Stuttgart.
- SCHOENAU, J. J., GERMIDA, J. J. (1992): Sulphur Cycling in Upland Agricultural Systems. In. „Sulphur Cycling on the Continents“ (Howarth R. W., Stewart J. W. B and Ivanov M. V.). *SCOPE* 48.
- SINGH, R. P., AGRAWAL, M. (2007): Potential benefits and risks of land application of sewage sludge, *Waste Management*, 1-12.

STADELMANN, F. X. (2002): Sewage sludge: Fertilizer or waste?. EAWAG News 53

TABATABAI, M. A. (1982): Sulfur. Methods of Soil Analysis, Part 2nd Ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, s. 501-538.

TANDON, H. L. S. (1991): Sulphur research and agriculture production in India. TSI Washington, DC, 144.

TESAŘ, S., VANĚK, V., a kol. (1992): Výživa rostlin a hnojení. VŠZ Praha.

TLUSTOŠ, P., PAVLÍKOVÁ, D., BALÍK, J., SZÁKOVÁ, J. (2001): Koloběh síry v půdě a v prostředí. Sborník ze 7. Mezinárodní konference, Racionální použití hnojiv. AF ČZU v Praze, str. 20 – 26.

TLUSTOŠ, P., SÁŇKA, M., BALÍK, J., PAVLÍKOVÁ, D. (1999): Kvalita zemědělských produktů po aplikaci čistírenských kalů. Sborník: Racionální použití hnojiv. KAVR, Praha, str. 54-61.

VANĚK, V., a kol. (1998): Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny. Farmář-Zemědělské listy Praha.

VANĚK, V., a kol. (2002): Výživa a hnojení polních a zahradních plodin. 3, doplněné vydání. ISBN 80-902413-7-9, Praha.

VANĚK, V., a kol. 2007: Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press, Praha, 178 s., ISBN 976-80-86726-25-0

VANĚK, V., KOLÁŘ, L., ŠTÍPEK, K., JAKL, M. (2001): Úloha síry v rostlinách a její potřeba. Sborník ze 7. Mezinárodní konference, Racionální použití hnojiv. AF ČZU v Praze, str. 27 –34.

VYHLÁŠKA č. 382/2001 Sb.

WU, J., O'DONNELL, A. G., YERS, J. K. (1993): Microbial growth and sulphur immobilisation following the incorporation of plant residues into soil. Soil Biology and Biochemistry.

ZELENÝ, F., ZELENÁ, E. (1996): Síra a její potřeba pro výživu rostlin. Rostlinná výroba, č. 5/1996, UZPI, 38s.



ZELENÝ, F., – ZELENÁ, E. (1999): Změna v bilanci síry v rostlinné výrobě České republiky. Úroda 3, str. 23-25.

ZIMOVÁ, M., MATĚJŮ, L. (2000): Kontaminace kalů z čistíren odpadních vod patogenními mikroorganismy a organickými látkami. Sborník: Možnosti využití kalů z ČOV v zemědělství, VÚPI Praha, str. 15 - 22.

## 9 Přílohy

Tabulka 24: Vliv ročníku na výnos zrna ozimé pšenice (t.ha<sup>-1</sup>)

Ročník	Suchdol	Červený Újezd	Lukavec	Humpolec	Hněvčeves	průměr
1997	4,49	5,57	2,17	3,43	4,49	4,03
1998	4,48	4,70	4,36	5,33	6,43	5,06
1999	4,88	5,10	3,81	6,59	5,86	5,25
2000	4,35	5,32	4,75	6,73	7,43	5,72
2001	5,06	4,07	5,18	6,77	7,31	5,68
2002	3,52	4,80	3,96	7,11	4,94	4,87
2003	4,14	4,19	5,28	5,10	7,31	5,20
2004	7,54	6,07	5,34	7,29	4,45	6,14
2005	7,39	4,65	4,67	5,83	8,10	6,13

Tabulka 25: Vliv ročníku na obsah S (% S v sušině) v zrně ozimé pšenice

Ročník	Suchdol	Červený Újezd	Lukavec	Humpolec	Hněvčeves	průměr
1997	0,201	0,208	0,200	0,204	0,184	0,199
1998	0,220	0,226	0,214	0,211	0,198	0,214
1999	0,204	0,212	0,207	0,213	0,210	0,209
2000	0,197	0,210	0,195	0,200	0,208	0,202
2001	0,205	0,202	0,197	0,210	0,199	0,203
2002	0,206	0,201	0,184	0,187	0,188	0,193
2003	0,197	0,192	0,193	0,197	0,198	0,195
2004	0,196	0,177	0,163	0,169	0,169	0,175
2005	0,143	0,149	0,133	0,154	0,141	0,144

Tabulka 26: Vliv ročníku na obsah S (% S v sušině) ve slámě ozimé pšenice

Ročník	Suchdol	Červený Újezd	Lukavec	Humpolec	Hněvčeves	průměr
1997	0,166	0,179	0,092	0,199	0,000	0,127
1998	0,185	0,203	0,181	0,164	0,171	0,181
1999	0,192	0,210	0,181	0,186	0,174	0,188
2000	0,161	0,196	0,193	0,187	0,163	0,180
2001	0,169	0,169	0,170	0,169	0,172	0,170
2002	0,175	0,205	0,153	0,179	0,157	0,174
2003	0,165	0,217	0,229	0,234	0,164	0,202
2004	0,210	0,186	0,150	0,144	0,152	0,168
2005	0,083	0,165	0,087	0,093	0,085	0,102

Tabulka 27: Vliv ročníku na odběr S zrnem ozimé pšenice (kg.ha<sup>-1</sup>)

Ročník	Suchdol	Červený Újezd	Lukavec	Humpolec	Hněvčeves	průměr
1997	9,0	11,6	4,3	9,2	8,4	8,50
1998	9,9	10,7	9,4	9,5	12,9	10,48
1999	10,0	10,8	7,9	10,4	12,4	10,30
2000	8,7	11,3	9,3	8,8	15,6	10,74
2001	10,4	8,2	10,3	10,6	14,6	10,82
2002	7,3	9,7	7,3	6,6	9,3	8,04
2003	8,2	8,1	10,2	8,2	14,5	9,84
2004	12,8	10,8	8,8	12,8	7,5	10,54
2005	10,7	7,0	6,4	11,5	11,5	9,42

Tabulka 28: Vliv stanoviště na výnos zrna ozimé pšenice (t.ha<sup>-1</sup>)

Stanoviště	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	průměr
Suchdol	4,49	4,48	4,88	4,35	5,06	3,52	4,14	7,54	7,39	5,09
Červený Újezd	5,57	4,70	5,10	5,32	4,07	4,80	4,19	6,07	4,65	4,94
Lukavec	2,17	4,36	3,81	4,75	5,18	3,96	5,28	5,34	4,67	4,39
Humpolec	3,43	5,33	6,59	6,73	6,77	7,11	5,10	7,29	5,83	6,02
Hněvčeves	4,49	6,43	5,86	7,43	7,31	4,94	7,31	4,45	8,10	6,26

Tabulka 29: Vliv stanoviště na obsah S (% S v sušině) v zrně ozimé pšenice

Stanoviště	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	průměr
Suchdol	0,201	0,220	0,204	0,197	0,205	0,206	0,197	0,169	0,143	0,194
Červený Újezd	0,208	0,226	0,212	0,210	0,202	0,201	0,192	0,177	0,149	0,197
Lukavec	0,200	0,214	0,207	0,195	0,197	0,184	0,193	0,163	0,133	0,187
Humpolec	0,204	0,211	0,213	0,200	0,210	0,187	0,197	0,169	0,154	0,194
Hněvčeves	0,184	0,198	0,210	0,208	0,199	0,188	0,198	0,169	0,141	0,188

Tabulka 30: Vliv stanoviště na obsah S (% S v sušině) ve slámě ozimé pšenice

Stanoviště	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	průměr
Suchdol	0,166	0,185	0,192	0,161	0,169	0,175	0,165	0,210	0,083	0,167
Červený Újezd	0,179	0,203	0,210	0,196	0,169	0,205	0,217	0,186	0,165	0,192
Lukavec	0,092	0,181	0,181	0,193	0,170	0,153	0,229	0,150	0,087	0,160
Humpolec	0,199	0,164	0,186	0,187	0,169	0,179	0,234	0,144	0,093	0,173
Hněvčeves		0,171	0,174	0,163	0,172	0,157	0,164	0,152	0,085	0,137

Tabulka 31: Vliv stanoviště na odběr S zrnem ozimé pšenice (kg.ha<sup>-1</sup>)

Stanoviště	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	průměr
Suchdol	9,0	9,9	10,0	8,7	10,4	7,3	8,2	12,8	10,7	9,67
Červený Újezd	11,6	10,7	10,8	11,3	8,2	9,7	8,1	10,8	7,0	9,80
Lukavec	4,3	9,4	7,9	9,3	10,3	7,3	10,2	8,8	6,4	8,21
Humpolec	9,2	9,5	10,4	8,8	10,6	6,6	8,2	12,8	11,5	9,73
Hněvčeves	8,4	12,9	12,4	15,6	14,6	9,3	14,5	7,5	11,5	11,86

Tabulka 32: Vliv hnojení na výnos zrna ozimé pšenice (t.ha<sup>-1</sup>)

číslo varianty	varianta hnojení	Suchdol	Červený Újezd	Lukavec	Humpolec	Hněvčeves	Průměr 1997-2005	Průměr 1998-2005
<b>1</b>	kontrola	4,44	3,70	2,63	4,82	4,31	3,98	4,02
<b>2</b>	kal 1	5,16	5,05	3,57	6,56	6,40	5,35	5,56
<b>3</b>	kal 2	5,68	5,28	4,77	6,09	6,82	5,73	5,97
<b>4</b>	hnůj	4,45	4,85	3,60	5,67	6,17	4,95	5,12
<b>5</b>	N	5,38	5,53	6,01	6,50	6,90	6,06	6,23
<b>6</b>	N + sláma	5,45	5,24	5,76	6,48	6,94	5,97	6,12

Tabulka 33: Vliv hnojení na obsah S (% S v sušině) v zrně ozimé pšenice

číslo varianty	varianta hnojení	Suchdol	Červený Újezd	Lukavec	Humpolec	Hněvčeves	Průměr 1997-2005	Průměr 1998-2005
<b>1</b>	kontrola	0,180	0,183	0,181	0,180	0,171	0,179	0,157
<b>2</b>	kal 1	0,192	0,191	0,188	0,191	0,188	0,190	0,168
<b>3</b>	kal 2	0,206	0,206	0,191	0,205	0,196	0,201	0,180
<b>4</b>	hnůj	0,182	0,187	0,180	0,182	0,180	0,182	0,160
<b>5</b>	N	0,199	0,210	0,189	0,202	0,197	0,199	0,176
<b>6</b>	N + sláma	0,202	0,208	0,194	0,202	0,197	0,201	0,177

Tabulka 34: Vliv hnojení na obsah S (% S v sušině) ve slámě ozimé pšenice

číslo varianty	varianta hnojení	Suchdol	Červený Újezd	Lukavec	Humpolec	Hněvčeves	Průměr 1997-2005	Průměr 1998-2005
1	kontrola	0,157	0,182	0,178	0,151	0,126	0,159	0,161
2	kal 1	0,170	0,188	0,176	0,170	0,141	0,169	0,172
3	kal 2	0,186	0,219	0,187	0,207	0,161	0,192	0,198
4	hnůj	0,162	0,175	0,153	0,152	0,128	0,154	0,160
5	N	0,162	0,197	0,133	0,183	0,129	0,161	0,167
6	N + sláma	0,167	0,193	0,132	0,174	0,139	0,161	0,167

Tabulka 35: Vliv hnojení na odběr S zrnem ozimé pšenice ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )

číslo varianty	varianta hnojení	Suchdol	Červený Újezd	Lukavec	Humpolec	Hněvčeves	Průměr 1997-2005	Průměr 1998-2005
1	kontrola	8,0	6,8	4,8	8,7	7,4	7,1	6,3
2	kal 1	9,9	9,7	6,7	12,5	12,0	10,2	9,4
3	kal 2	11,7	10,9	9,1	12,5	13,4	11,5	10,7
4	hnůj	8,1	9,1	6,5	10,3	11,1	9,0	8,2
5	N	10,7	11,6	11,4	13,2	13,6	12,1	11,0
6	N + sláma	11,0	10,9	11,2	13,1	13,7	12,0	10,8

Tabulka 36: Průměrný obsah celkové S v ornici (%)

Číslo varianty	Varianta hnojení	Suchdol	Červený Újezd	Lukavec	Humpolec	Hněvčeves
1	kontrola	0,083	0,073	0,077	0,087	0,080
2	kal1	0,080	0,075	0,080	0,089	0,081
3	kal2	0,081	0,076	0,083	0,090	0,082
4	hnůj	0,083	0,074	0,083	0,090	0,083
5	N	0,081	0,073	0,084	0,088	0,082
6	N+sláma	0,080	0,077	0,083	0,086	0,081
<b>Průměr</b>		<b>0,081</b>	<b>0,075</b>	<b>0,082</b>	<b>0,088</b>	<b>0,082</b>

Tabulka 37: Průměrné teploty (°C) v letech 1997–2005 – Praha Ruzyně (Suchdol)

měsíc	Průměrné teploty (°C)									
	pokusné období									30 letý normál
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
srpen	19,0	17,6	17,3	19,0	18,6	19,3	21,1	19,1	16,6	17,0
září	13,5	12,7	16,8	13,5	11,7	12,7	14,3	14,0	15,0	13,3
říjen	6,5	8,5	8,4	10,7	11,8	7,7	5,5	9,5	9,9	8,3
listopad	2,4	0,6	2,1	5,2	2,3	4,3	4,5	3,7	2,6	2,9
prosinec	1,1	-0,7	0,7	0,9	-2,1	-2,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,6
leden	-4,6	0,4	0,5	-1,1	-1,6	0,1	-1,6	-3,4	0,8	-2,4
únor	2,3	3,6	-1,3	3,1	0,9	4,3	-3,4	1,8	-3,1	-0,9
březen	4,6	3,9	4,9	4,1	3,8	4,6	4,6	3,6	2,0	3,0
duben	5,3	10,0	9,1	11,0	7,2	8,2	8,1	9,5	10,1	7,7
květen	13,3	14,3	14,2	15,6	14,4	15,4	15,3	11,9	14,0	12,7
červen	16,0	17,2	15,4	17,9	14,3	17,6	20,1	15,8	16,5	15,9
červenec	17,1	17,0	18,8	15,6	18,3	18,8	19,1	17,7	18,5	17,5
Roční $\bar{\varnothing}$	8,04	8,76	8,91	9,63	8,30	9,25	8,96	8,60	8,54	7,9

Tabulka 38: Suma srážek (mm) v letech 1997–2005 – Praha Ruzyně (Suchdol)

měsíc	suma srážek (mm)									
	pokusné období									30 letý normál
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
srpen	45,5	24,5	20,9	39,6	86,0	122,2	16,1	54,0	55,1	69,6
září	31,1	78,1	53,8	20,7	67,6	43,5	24,7	33,6	29,4	40,0
říjen	23,9	73,6	21,4	55,2	20,6	37,6	15,6	21,9	10,9	30,5
listopad	28,3	30,6	25,9	28,0	30,1	81,1	8,9	46,6	11,2	31,9
prosinec	37,7	8,7	24,7	9,2	34,0	44,2	18,6	13,4	26,7	25,3
leden	14,2	8,4	29,3	21,2	31,3	13,0	20,3	46,6	29,1	23,5
únor	26,6	14,4	19,6	19,5	16,8	45,1	3,8	20,5	38,4	22,6
březen	33,4	22,6	20,2	89,9	51,1	25,8	6,0	33,5	11,2	28,1
duben	28,9	7,1	19,6	10,0	57,4	26,1	22,9	17,1	13,8	38,2
květen	43,4	21,2	43,0	55,0	40,0	59,0	71,1	47,7	82,6	77,2
červen	45,0	92,9	49,2	41,9	72,4	82,0	25,6	107,2	65,2	72,7
červenec	128,5	55,4	99,2	65,9	98,8	100,1	74,4	49,4	124,9	66,2
Roční $\Sigma$	486,5	437,5	426,8	456,1	606,1	679,7	308,0	491,5	498,5	525,9

Tabulka 39: Průměrné teploty (°C) v letech 1997–2005 – Hradec Králové (Hněvčeves)

měsíc	Průměrné teploty (°C)									
	pokusné období									30 letý normál
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
srpen	20,2	18,2	18,1	19,8	19,5	20,4	21,1	19,7	17,0	17,6
září	14,2	13,5	17,4	13,8	12,2	13,3	14,7	14,4	16,0	13,9
říjen	6,7	8,9	9,0	12,3	12,4	7,8	5,9	10,3	10,8	9,1
listopad	3,9	1,1	2,4	6,7	2,1	5,6	5,9	4,0	3,1	3,6
prosinec	1,6	-1,0	0,6	1,5	-3,1	-2,9	0,3	0,2	-0,3	-0,3
leden	-3,9	1,4	0,6	-1,7	-0,5	-1,0	-1,7	-3,5	0,7	-2,1
únor	2,4	3,7	-1,1	3,1	0,8	4,4	-3,6	1,2	-2,2	-0,2
březen	4,5	3,9	5,7	4,5	4,1	5,3	4,4	4,0	2,3	3,5
duben	5,9	10,8	9,8	12,8	8,2	8,6	8,4	10,1	10,4	8,4
květen	14,4	15,1	14,9	16,5	15,7	17,5	16,6	12,5	14,7	13,5
červen	17,8	18,4	16,4	18,7	15,3	18,9	20,8	16,4	17,6	16,7
červenec	17,5	18,2	20,0	16,4	19,1	20,1	19,6	18,5	19,4	18,1
Roční $\bar{\varnothing}$	8,77	9,35	9,48	10,37	8,82	9,83	9,37	8,98	9,13	8,5

Tabulka 40: Suma srážek (mm) v letech 1997–2005 – Hradec Králové (Hněvčeves)

měsíc	suma srážek (mm)									
	pokusné období									30 letý normál
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
srpen	35,3	39,7	36,6	41,8	89,0	152,7	41,2	55,4	55,3	83,1
září	11,4	111,6	26,2	41,8	100,4	36,3	37,9	26,3	36,5	50,0
říjen	40,4	98,9	19,7	25,8	25,7	80,1	40,1	22,7	6,3	39,2
listopad	25,3	32,3	27,2	27,2	66,7	57,8	16,4	59,1	32,6	43,0
prosinec	44,4	20,9	46,7	19,7	45,7	55,0	54,5	22,9	55,6	42,6
leden	14,4	24,5	30,3	41,7	29,2	30,0	44,4	56,3	49,5	36,3
únor	45,4	6,2	44,7	42,2	21,1	71,3	14,1	37,2	44,5	31,8
březen	27,2	38,9	39,8	98,0	54,7	20,2	12,2	42,6	13,3	33,8
duben	39,0	33,9	40,8	34,5	44,0	34,8	30,4	37,0	34,6	38,8
květen	61,0	16,9	22,3	88,2	45,2	35,7	97,0	56,8	51,8	72,1
červen	80,0	120,1	84,0	30,6	73,9	75,7	20,4	72,1	21,6	75,0
červenec	206,4	178,5	65,8	89,8	132,5	60,6	81,9	61,0	140,7	71,1
Roční $\Sigma$	630,2	722,4	484,1	581,3	728,1	710,2	490,5	549,4	542,3	616,8

Tabulka 41: Průměrné teploty (°C) v letech 1997–2005 – Košetice (Humpolec, Lukavec)

měsíc	Průměrné teploty (°C)									
	pokusné období									30 letý normál
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
srpen	18,0	17,0	16,7	15,8	17,8	18,1	20,6	18,0	15,1	16,5
září	12,8	11,9	15,9	12,5	10,8	11,6	13,5	12,7	13,9	12,9
říjen	5,7	8,1	7,6	10,5	11,4	6,7	4,7	8,9	9,3	8,1
listopad	2,7	0,1	1,6	5,0	1,2	4,5	4,5	3,0	1,7	2,1
prosinec	0,6	-1,4	-0,5	0,2	-3,9	-2,5	-0,8	-1,3	-1,5	-0,2
leden		-0,1	-0,4	-2,6	-2,1	-1,7	-2,4	-4,0	-0,6	-2,4
únor		3,0	-2,0	2,2	0,4	3,3	-4,7	0,2	-4,4	-2,1
březen		2,3	4,3	3,0	3,5	3,6	3,8	1,7	0,8	2,4
duben		8,9	8,2	10,7	6,6	6,9	7,0	8,2	8,7	6,7
květen		13,3	13,3	14,9	13,9	15,0	14,9	10,6	12,7	12,3
červen		16,4	14,9	16,9	13,9	17,1	19,2	14,6	15,5	14,6
červenec		16,6	18,4	15,1	17,8	18,0	18,0	16,5	17,2	16,7
Roční $\bar{\varnothing}$	7,96	8,01	8,17	8,68	7,61	8,38	8,19	7,43	7,37	7,31

Tabulka 42: Suma srážek (mm) v letech 1997–2005 – Košetice (Humpolec, Lukavec)

měsíc	suma srážek (mm)									
	pokusné období									30 letý normál
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
srpen	48,1	60,8	25,3	37,2	82,7	191,5	38,2	64,9	124,3	79,4
září	15,6	80,0	65,7	37,4	88,1	43,6	21,7	54,7	58,6	51,4
říjen	50,8	93,9	35,1	63,5	17,3	75,7	67,5	25,1	4,6	42,7
listopad	45,8	35,5	27,5	20,6	53,8	63,1	15,9	60,2	18,8	44,9
prosinec	42,9	21,0	48,3	27,5	65,6	44,0	51,7	12,2	56,7	40,6
leden		20,6	31,5	59,4	37,3	27,8	49,2	77,1	76,2	39,5
únor		10,5	62,4	46,6	18,8	63,0	6,3	46,3	63,4	33,9
březen		65,0	33,5	119,5	54,2	49,2	12,6	55,4	24,4	38,1
duben		20,4	17,8	11,4	63,5	15,3	13,9	33,5	31,6	41,9
květen		49,4	54,2	60,8	79,1	33,7	87,1	35,2	61,6	75,6
červen		93,0	62,1	63,7	81,5	104,0	42,9	100,5	51,7	79,8
červenec		87,3	110,4	83,4	94,5	62,6	69,2	74,9	142,4	76,3
Roční $\Sigma$	203,2	637,4	573,8	631,0	736,4	773,5	476,2	640,0	714,3	637,7