

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Vliv hnojení listírenskými kaly na obsah fosforu  
rostlinami**

**Diplomová práce**

**Autor práce:** Bc. Pavel Hrabal

**Vedoucí práce:** Ing. Jindřich Šerňák, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlazuji, že svou diplomovou práci "Vliv hnojení listírenskými kaly na obsah fosforu rostlinami" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 9.4.2014

---

## **Podkování**

Rád bych podkoval vedoucímu své práce Ing. Jindřichu Šernému, Ph.D. a konzultantovi Ing. Martinovi Kulhánkovi, Ph.D. za laskavou pomoc a individuální konzultace, které přispěly ke zkvalitnění obsahu práce. Mé podkování patří i technikům KAVR za pomoc při vedení pokusů a analýzách vzorků.

## Souhrn

Fosfor (P) je p írozen se vyskytující prvek, který lze nalézt ve vzech íivých organismech, stejn tak ve vod a v p d . V sou asnosti ovzem zásoby fosfátových hornin (fosforitu), z nich0 jsou vyráb na b Oná hnojiva, postupn docházejí a globální zásoby se odhadují jezť na 75 a0 100 let. V práci je v nována pozornost ístírenským kal m, které by z ásti tento problém ezily aplikováním na zem d lskou p du a vyu0itím jejich hnojivých ú ink .

V experimentální ásti byla hodnocena bilance fosforu v dlouhodobých pokusech s jednoduchou rotací plodin (brambory (*Solanum tuberosum*), ozimá pšenice (*Triticum aestivum*), jarní je men (*Hordeum vulgare* L..)) na stanoviztích Lukavec a Praha - Suchdol. Jako hnojivo byly aplikovány ístírenské kaly (pr m rná dávka byla 9,31 t suziny/ha, tato dávka obsahovala pr m rn 201 kg P/ha za t íletý cyklus), jejich0 p sobení bylo srovnáváno s N, P a K v minerálních hnojivech (pr m rná dávka obsahovala 90 kg P/ha za t íletý cyklus), minerálním dusíkatým hnojivem a nehnojenou kontrolou (ob tyto varianty obsahovaly 0 kg P/ha). Hodnocen byl obsah P v rostlinách p í sklizni, odb r P rostlinami a bilance P. Na stanovizti Lukavec, u varianty, kde bylo hnojeno ístírenskými kaly, byl pr m rný odb r fosforu v hlízách brambor 17,31 kg/ha, v zrnu pšenice ozimé 11,97 kg/ha a v zrnu je mene jarního 8,30 kg/ha. Zatímco ve slám pšenice ozimé byl pr m rný odb r fosforu 3,73 kg/ha a u slámy je mene jarního 4,18 kg/ha. Na stanovizti Praha - Suchdol, u varianty kde bylo hnojeno ístírenskými kaly, byl pr m rný odb r fosforu v hlízách brambor 12,77 kg/ha, v zrnu pšenice ozimé 15,77 kg/ha a v zrnu je mene jarního 11,84 kg/ha. Zatímco ve slám pšenice ozimé byl pr m rný odb r fosforu 2,25 kg/ha a u slámy je mene jarního 2,11 kg/ha. U obilnin byl vypo ten výrazn vyzzí odb r fosforu v zrnu ne0 ve slám . Aplikací pouze 3 t suziny/ha (maximální mo0né mno0ství suziny kalu/3 roky dle legislativy) by bilance za t íleté období vycházela v pr m ru +44,39 kg P/ha. Tato hodnota by byla tém shodná s bilancí NPK.

**Klí ová slova:** bilance, brambory, ístírenské kaly, fosfor, je men jarní, pšenice ozimá

## Summary

Phosphorus (P) is a naturally occurring element to be found in all living organisms, as well as in water and in the soil. At present however, the world-wide supply of phosphate rocks, common fertilizers are produced from, is gradually running out and is estimated for about 75 to 100 years. In this dissertation attention is paid to sewage sludge that would fractionally solve this problem if applied to agricultural soil and making use of its fertilizing effects.

In the experimental part of the dissertation the phosphorus balance was evaluated by long-term experiments with a simple rotation of crops (potatoes (*Solanum tuberosum*), winter wheat (*Triticum aestivum*) and spring barley (*Hordeum vulgare L.*)) at sites Lukavec and Prague . Suchdol. Sewage sludge was applied as a fertilizer (mean dose was 9.31 t dry matter/ha and this dose contained on average 201 kg P/ha in a three-year cycle), whose activity was compared with N , P and K in mineral fertilizers (mean dose contained 90 kg P/ha in a three-year cycle), mineral nitrogen fertilizer and unfertilized standard (both variants contained 0 kg P/ha). The P content in the plants at the harvest time, P uptake by plants and P balance was evaluated. At the Lukavec site the variant where the sewage sludge was used had the average content of phosphorus in potato tubers 17.31 kg/ha, in the grain of winter wheat 11.97 kg/ha and in the grain of spring barley 8.30 kg/ha, while the average content of phosphorus in the straw of winter wheat was 3.73 kg/ha and in the straw of spring barley 4.18 kg/ha. At the Prague . Suchdol site the variant where the sewage sludge was used had the average content of phosphorus in potato tubers 12.77 kg/ha, in the grain of winter wheat 15.77 kg/ha and in the grain of spring barley 11.84 kg/ha, while the average content of phosphorus in the straw of winter wheat was 2,25 kg/ha and in the straw of spring barley 2.11 kg/ha. As for cereal crops, significantly higher content of phosphorus in the grain was calculated compared to the one in the straw. With application of only 3 t of dry matter/ha (the maximum possible amount of sludge dry matter/3 years by legislation) would be the three-year period balance on average +44.39 kg P/ha. This value would be almost identical with the balance of NPK.

**Key words:** balance, potatoes, sewage sludge, phosphorus, spring barley, winter wheat

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>V deká hypotéza a cíl práce</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Literární reýerýe</b>	<b>10</b>
3.1	Charakteristika kal	10
3.1.1	Charakterizace kalového hospodá ství OV	10
3.1.2	Složení a vlastnosti kalu	11
3.2	Legislativa istírenských kal	12
3.2.1	Legislativa zem d lského využití istírenských kal	14
3.2.2	Legislativa využití istírenských kal jako rekultiva ní materiál	15
3.3	Nakládání s kaly	17
3.4	Úprava, zpracování a nakládání s istírenskými kaly	18
3.4.1	Anaerobní stabilizace kalu a její intenzifikace	19
3.4.2	Hygienizace kal	19
3.4.2.1	Chemická hygienizace kal	19
3.4.2.2	Fyzikální hygienizace kal	20
3.4.3	Kompostování kal	20
3.4.4	Suzení kal	21
3.4.5	Spalování kalu	21
3.4.6	Aplikace kal na zem d lskou p du	22
3.5	Fosfor	23
3.5.1	Kolob h fosforu	23
3.5.2	Fosfor v p d	24
3.5.2.1	Anorganický fosfor	24
3.5.2.2	Organický fosfor	25
3.5.3	P em ny fosforu v p d	26
3.5.4	Fosfor v rostlinách	27
3.5.4.1	P íjem fosforu rostlinami	27
3.5.5	Obsah fosforu v organických hnojivech a pr m rný p ívod fosforu do p dy	28
3.5.5.1	Chlévský hn j	28
3.5.5.2	Kejda	29
3.5.5.3	Zaorávání slámy	29
3.5.5.4	Kompostování	29
3.5.5.5	Kaly z istíren odpadních vod	29
3.5.6	Distribuce fosforu v rostlin a organické slou eniny obsahující fosfor	31
3.5.7	Nedostatek fosforu	32
3.5.8	Nadbytek fosforu	33
3.6	Hnojiva	33
3.6.1	Potenciální fosforová krize	33
3.6.2	Vhodnost istírenských kal jako hnojiva	34
<b>4</b>	<b>Materiál a metody</b>	<b>36</b>
4.1	Výpo et obsahu P a bilance	36
<b>5</b>	<b>Výsledky</b>	<b>39</b>
5.1	Odb r P	40

5.1.1	Praha - Suchdol .....	40
5.1.1.1	Brambory .....	40
5.1.1.2	Pšenice ozimá .....	41
5.1.1.2.1	Zrno .....	41
5.1.1.2.2	Sláma .....	42
5.1.1.3	Je men jarní .....	43
5.1.1.3.1	Zrno .....	43
5.1.1.3.2	Sláma .....	44
5.1.2	Lukavec .....	45
5.1.2.1	Brambory .....	45
5.1.2.2	Pšenice ozimá .....	46
5.1.2.2.1	Zrno .....	46
5.1.2.2.2	Sláma .....	47
5.1.2.3	Je men jarní .....	48
5.1.2.3.1	Zrno .....	48
5.1.2.3.2	Sláma .....	49
5.2	Bilance odb ru P .....	50
5.2.1	Kontrola .....	51
5.2.2	Kal .....	52
5.2.3	NPK .....	53
5.2.4	N .....	54
5.3	Obsah P .....	55
5.3.1	Brambory .....	55
5.3.2	Pšenice ozimá .....	55
5.3.2.1	Zrno .....	55
5.3.2.2	Sláma .....	56
5.3.3	Je men jarní .....	57
5.3.3.1	Zrno .....	57
5.3.3.2	Sláma .....	58
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Záv r .....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>69</b>
<b>9</b>	<b>P ílohy .....</b>	<b>76</b>
9.1	Seznam p íloh .....	76

# 1 Úvod

V současné době dochází stále více ke zhoršování kvality a snižování zásob fosfátových rud v přírodě. Důsledkem je nutnost získávání fosforu z obnovitelných zdrojů. Jako obnovitelný zdroj lze považovat zdroj, který má schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to sám nebo za pomoci přírody. Možnostmi, které snižují spotřebu fosfátů, patří recyklace fosforu. Fosfor lze recyklovat například z kostí, odpadních vod, kalů a živočišných odpadů, ale také v rámci využití organických a statkových hnojiv. Navíc přírodní zdroje fosforu jsou poměrně omezené a v budoucnu hrozí jeho nedostatek. Fosfor se ztrácí z koloběhu živin prostřednictvím vyluhování jeho rozpustných forem do povrchových a podzemních vod, které jsou unášeny do moře, kde dochází k ukládání fosforu v podobě nerozpustných fosfátů v hlubinných sedimentech. Přitom se jedná o jeden z nejdůležitějších biogenních prvků a jeho koncentrace často limitují produkční procesy. Proto je vhodné hledat takové postupy, které umožní maximální recyklaci fosforu. Jedním z takových postupů je využití istírenských kalů na zemědělskou půdu. Aplikace istírenských kalů má rovněž kladný vliv na chemické a fyzikální vlastnosti půdy. Istírenské kaly jsou zdrojem organických látek, rostlinných živin a mohou být vhodnou náhradou hnojiv, ale přitomnost rizikových prvků jejich použití často omezuje.



## 2 Vdecká hypotéza a cíl práce

Předpokládá se, že istírenské kaly budou poskytovat rostlinám dostatečné množství potenciálně dostupného fosforu pro výživu touto formou. Proto se také předpokládá, že plodiny pěstované na půdě hnojené istírenskými kaly budou více fosfor přijímat a tak bude významněji zapojen do koloběhu v agrosystému. S ohledem na obsah fosforu v istírenských kálech lze předpokládat, že hnojení istírenskými kaly přispěje k vyrovnané bilanci fosforu v půdě.

Cílem práce je nejprve v úvodním literárním přehledu shrnout hlavní problémy týkající se istírenských kalů a fosforu. Dále bude kladen důraz na možnosti aplikace istírenských kalů na zemědělskou půdu. Experimentální část práce bude zaměřena na hodnocení vlivu istírenských kalů na odběr fosforu a změny dostupného fosforu v půdě v odlišných půdně-klimatických oblastech. V práci bude popsán dlouhodobý experiment katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, který se zabývá aplikací různých variant hnojení na zemědělskou půdu. Výsledkem bude porovnání těchto variant mezi sebou. Dále budou popsány rozdíly v odběru fosforu rostlinou a obsah fosforu v jednotlivých částech rostlin.

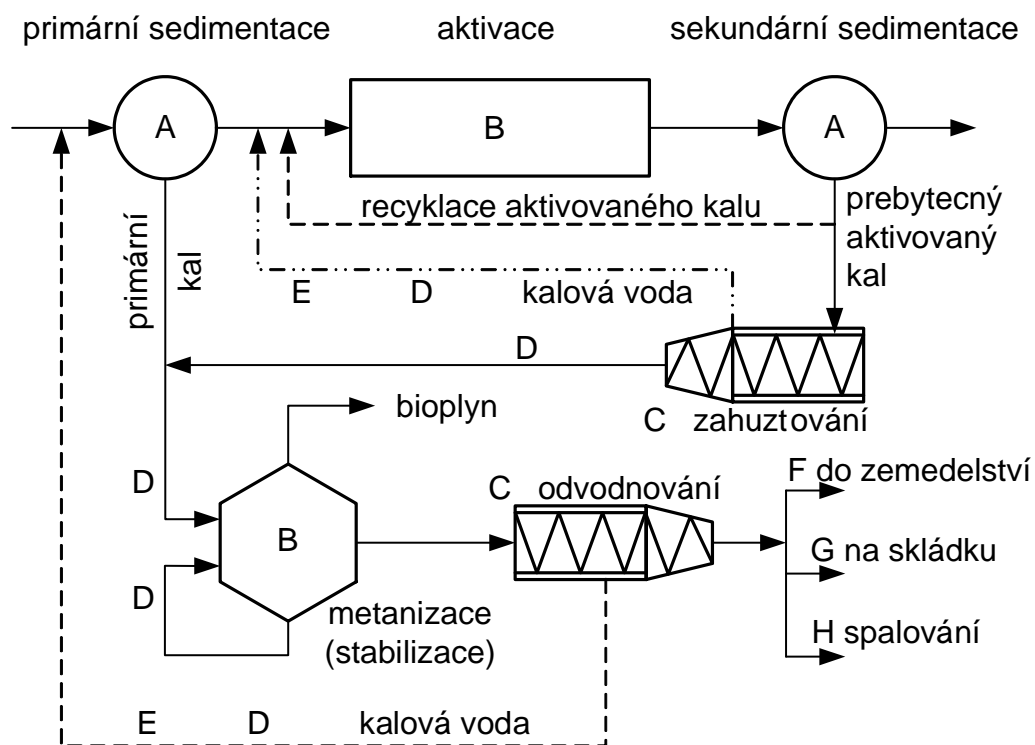
## 3 Literární rešerše

### 3.1 Charakteristika kal

Kal je směs dvou nebo více odpadních látek. Alespoň jedna z těchto látek se musí nacházet v kapalném skupenství a zároveň jedna z látek musí být v tuhém skupenství a musí být rozptýlena v souvislé kapalně vrstvě. Čistírenské kaly jsou nevyhnutelným odpadem při procesech v čistírnách odpadních vod (OV). Z odpadních vod jsou během procesu čištění do kalu zkoncentrovány nečistoty a znečišťující látky. V kalu je obsaženo přibližně 50 až 80 % pevného vodního znečištění odpadní vody (Dohányos, 2004).

#### 3.1.1 Charakterizace kalového hospodářství OV

V první fázi při čištění odpadních vod vzniká nejprve primární kal, který se usazuje v primárních (usazovacích) nádržích. V druhé fázi, při biologickém čištění vzniká přebytečný (aktivovaný) kal, který se usazuje v sekundárních (dosazovacích) nádržích. Část přebytečného kalu se vrací zpět do procesu aktivace. Primární a sekundární kaly se poté společně nebo jednotlivě zahuzují před jejich dalším zpracováním. Primární kal smíšený s přebytečným kalem se nazývá surový (směsný) kal. Tento kal musí být stabilizován (aerobní i anaerobní stabilizací), protože obsahuje patogenní mikroorganismy a velké množství organických látek. Velmi často je kal zpracováván anaerobním procesem (metanizací) za vzniku bioplynu a anaerobně stabilizovaného (vyhnilého) kalu. Obsah vody je následně snížen na cca 70 až 80 %. Vznik čistírenského kalu v typické OV je znázorněn na obrázku 1. (Pitter, 1999).



Obr. 1: Základní schéma čistírny odpadních vod s kalovým hospodářstvím

Procesy: A - sedimentace, B - stabilizace, C - kondicionace, zahuzování a odvodování, D - erpání, E - vracení kalové vody, F, G, H - využití (VřCHT, 2007).

### 3.1.2 Složení a vlastnosti kalu

Složení kalu je v závislosti na lokálních podmínkách značně rozdílné. Kaly jsou jednak velmi cenným zdrojem organické hmoty, základních živin (dusík, fosfor, draslík) i stopových prvků, které se mohou podílet na zlepšení fyzikálně-chemických a biologických vlastností půdy. Na druhou stranu mohou obsahovat patogenní mikroorganismy, těžké kovy (Cr, Cd, Hg, Pb, Cu, Zn, As, Ni) v koncentraci 1 až 1000 mg/l a toxické chemické látky (VřCHT, 2007).

Mezi patogenní organismy, které se mohou vyskytnout v odpadních vodách, patří zejména viry (hepatitida A), bakterie (Salmonella, Escherichia coli), protozoa a parazitické červy. Nejvýznamnějším zdrojem patogenních mikroorganismů jsou exkrementy lidí a zvířat. Mezi bakterie (Escherichia coli, Salmonella), prvoci a vajíčka parazitických červů. Reakce kalu je v tuzině neutrální až alkalická. Důležitou charakteristikou kalu je sušina, tedy podíl tuhé fáze v suspenzi. Průměrná koncentrace sušiny v kalu je od 0,5 do 7 %. Sušinu tvoří z 60 až 70 % organické

látky a z 30 a 40 % látky anorganické. Velikost suspendovaných částic v tuhé fázi je cca v 80 % v tžích ne 0,1 mm a zbylých cca 20 % tvoří částice o velikosti menší ne 0,1 mm (Helena a kol., 1998).

	Primární kal		Vyhnílý kal	
	Rozsah	Typická hodnota	Rozsah	Typická hodnota
<b>Celkem suýiny (CS), %</b>	2.0. 8.0	5.0	6.0. 12.0	10.0
<b>T kávě pevně látky (% z CS)</b>	60. 80	65	30. 60	40
<b>Tuky (% z CS)</b>				
rozpuštně	6. 30	-	5. 20	18
extrahovatelně	7. 35	-	-	-
<b>Bílkoviny (% z CS)</b>	20. 30	25	15. 20	18
<b>N (% z CS)</b>	1.5. 4	2.5	1.6. 6.0	3.0
<b>P (% z CS)</b>	0.8. 2.8	1.6	1.5. 4.0	2.5
<b>K (% z CS)</b>	0. 1	0.4	0.0. 3.0	1.0
<b>Celulóza (% z CS)</b>	8.0. 15.0	10.0	8.0. 15.0	10.0
<b>pelezo (ne jako sulfid, % z CS)</b>	2.0. 4.0	2.5	3.0. 8.0	4.0
<b>K emík (SiO<sub>2</sub>, % z CS)</b>	15.0. 20.0	-	10.0. 20.0	-
<b>Alkalita (mg/l jako CaCO<sub>3</sub>)</b>	500. 1500	600	2500. 3500	-
<b>Organické kyseliny (mg/l)</b>	200. 2000	500	100. 6000	3000
<b>Energický obsah</b>	10000. 12500	11000	4000. 6000	200
<b>pH</b>	5.0. 8.0	6.0	6.5. 7.5	7.0

Tab. 1: Typické chemické složení a vlastnosti primárního a vyhnílého kalu (Fytili a Zabaniotou, 2006).

### 3.2 Legislativa istírenských kal

Problematiku nakládání s istírenskými kaly upravuje zákon . 106/2005 Sb., který je úplným zněním zákona . 185/2001 Sb., o odpadech a o změnách některých dalších zákonů, jak vyplývá z pozdějších změn a dále prováděcí vyhlášky k tomuto zákonu:

- 1) Vyhláška . 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, ve znění novely . 503/2004 Sb.;
- 2) Vyhláška . 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, ve znění novely . 504/2004 Sb.;
- 3) Vyhláška . 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění novely . 41/2005 Sb.;

- 4) Vyhláška . 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změna vyhlášky . 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.

V rámci Evropské Unie (EU) se této problematice týká následující evropská legislativa:

- 1) Směrnice 86/278/EHS, o ochraně životního prostředí a zejména především při používání kalů z OV v zemědělství;
- 2) Směrnice 91/271/EHS, o čistění městských odpadních vod;
- 3) Směrnice 31/99/ES, o skládkování odpadů ;
- 4) Nařízení Rady a Evropského parlamentu . 1774/2002, kterým se stanoví hygienická pravidla pro vedlejší produkty živočišné výroby, které nejsou určeny ke spotřebě .

Komise EU na základě údajů od členských států vypracovala zprávu o implementaci základních směrnic EU, včetně zprávy o implementaci směrnice 86/278/EHS o používání kalů z OV v zemědělství. Podle této zprávy vzniká každoročně v EU 4,3 mil. tun (včetně sušiny) těchto kalů. Tuna sušiny kalu obsahuje mj. 30-40 kg dusíku a 20-30 kg fosforu. Dále údaje z této zprávy svědčí o nízkém používání kalů v zemědělství v rámci celé EU, a to ze 43 % v roce 1995 a na 37 % v roce 2000. Hodnocení zdravotního rizika při nakládání s kalami z OV je velmi často diskutovaný problém ve všech vyspělých státech světa. Istežné kalové je nutno posuzovat jako materiál, při jehož nekontrolované aplikaci se mohou do prostředí dostávat značná množství rizikových látek (VěřCHT, 2005).

Při aplikaci istěžných kalů do prostředí vznikají dva okruhy potenciálních zdravotních rizik. Jde o rizika pro člověka, zvířata i rostliny plynoucí z patogenních a podmíněně patogenních organismů přítomných v kalu. Dále je to toxicita způsobená akumulací těžkých kovů a dalších nebezpečných látek v prostředí, ze kterých přecházejí do rostlin, zvířat a lidí (Matějka a Zimová, 2002).

Z těchto důvodů se nakládání s kalami, především jejich aplikace na zemědělskou půdu, řídí pomocí legislativních nástrojů .

### 3.2.1 Legislativa zemědělského využití listírenských kalů

Stabilizované a odvodněné kalů z biologických OV obsahují cenné organické látky, které je možno účelně využít jako hnojivo na zemědělskou půdu. Mohou však též obsahovat látky poškozující životní prostředí a patogenní mikroorganismy způsobující různé onemocnění. Sledování kontaminace listírenských kalů je proto celosvětově v nově posouzena pozornost a zemědělské využití kalů jako jedno z možných řešení likvidace tohoto odpadu je dnes v každé zemi regulováno i legislativně. V České republice upravuje problematiku nakládání s kalů z OV zákon č. 106/2005 Sb., který je úplným zněním zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změnách některých dalších zákonů, jak vyplývá z pozdějších změn. Dle tohoto zákona lze kalů z OV aplikovat na zemědělskou půdu pouze v případě, že kalů podroben biologické, chemické či tepelné úpravě, dlouhodobému skladování nebo jakémukoli jinému vhodnému procesu tak, že se významně sníží obsah patogenních organismů v kalůch, a tím zdravotní riziko spojené s jeho aplikací (VřCHT, 2005).

Z důvodu legislativy tedy vyplývá zákaz primární aplikace neupravených listírenských kalů do půdy. Hlavním cílem úpravy je pak odstranění patogenních mikroorganismů, tzv. hygienizace kalů. Z technologického hlediska stabilizovaný kal nemusí být vždy hygienizovaný a naopak. Stabilizace a hygienizace mohou a nemusí být dosahovány současně jednou technologií. Prováděcí vyhláška č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě ve znění novely č. 504/2004 Sb. pak stanovuje mezní koncentrace rizikových látek v kalůch a v půdě včetně mezních koncentrací těžkých kovů, které mohou být přidány do zemědělské půdy a uvádí mikrobiologická kritéria pro použití kalů. Upravené kalů z OV mohou být aplikovány přímo na zemědělskou půdu v případě, že splují limity koncentrací rizikových látek a mikrobiologická kritéria uvedená v příloze č. 1 této vyhlášky (Portál veřejné zprávy, 2014).

Riziková látka	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	AOX	PCB ( $\Sigma$ 6 kong.)
Limit (mg.kg <sup>-1</sup> sušiny)	30	5	200	500	4	100	200	2500	500	0,6

Tab. 2: Maximální koncentrace vybraných rizikových látek a prvků v kalech použitelných přímo na zemědělskou půdu (Portál veřejné zprávy, 2014).

Kategorie kal	Přípustné množství mikroorganismů v kalech (KTJ.g <sup>-1</sup> sušiny) KTJ = kolonie tvořící jednotku		
	Termotolerantní koliformní bakterie	Enterokoky	Salmonella sp.
I.	< 10 <sup>3</sup>	< 10 <sup>3</sup>	negativní nález
II.	10 <sup>3</sup> . 10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup> . 10 <sup>6</sup>	nestanovuje se

Tab. 3: Mikrobiologická kritéria kalů použitelných přímo na zemědělskou půdu (Portál veřejné zprávy, 2014).

Pozn.: kaly I. . kaly obecně aplikovatelné na všechny zemědělské půdy

kaly II. . kaly aplikovatelné pouze na zemědělské půdy určené k pěstování technických plodin a půdy, kde nebude pěstována polní zelenina po dobu nejméně 3 roky.

Pokud kaly z OV výše uvedené limity nesplácejí, mohou být v souladu se zákonem o odpadech a vyhláškou . 383/2001 Sb. ve znění vyhlášky 294/2005 Sb. jako biologicky rozložitelný odpad zpracovány a následně využity pro rekultivaci území uloženy na povrchu terénu.

### 3.2.2 Legislativa využití čistírenských kalů jako rekultivačního materiálu

Regulace využívání odpadů na povrchu terénu je stanovena ve vyhlášce MŽP . 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změn vyhlášky MŽP . 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Neupravené čistírenské kaly, které obsahují patogenní mikroorganismy jsou z hlediska infekčnosti klasifikovány jako nebezpečné a nesmí

být dle přílohy č. 5 vyhlášky MŽP č. 294/2005 Sb. ukládány na skládky všech skupin ani se nesmí využívat na povrchu terénu. Mohou být však pro rekultivaci území použity v případě, že jsou prokazatelně upraveny ve smyslu odstranění nebezpečné vlastnosti infekčnosti takovou technologií, její účinnost je prokázána fyzikálními, chemickými a biologickými ukazateli a potvrzena mikrobiologickým rozbořem dle vyhlášky č. 382/2001 Sb. v platném znění (MŽP, 2014).

Upravené čistírenské kaly mohou být pak použity pro rekultivaci skládek, jestliže vyhovují limitním koncentracím uvedených v příloze č. 10 (tabulka č. 10.1) vyhlášky MŽP č. 294/2005 Sb. V případě využití čistírenských kalů pro území rekultivace vytvářených povrchových dolů, lomů, pískoven a jiných terénů, musí navíc splňovat výsledky ekotoxikologických testů uvedených v příloze č. 10 (tabulka č. 10.2) této vyhlášky (MŽP, 2014).

Ukazatel	Limitní hodnota (mg/kg sušiny)
As	10
Cd	1
Cr celk.	200
Hg	0,8
Ni	80
Pb	100
V	180
BTEX	0,4
PAU	6
EOX	1
uhlovodíky C <sub>10</sub> - C <sub>40</sub>	300
PCB	0,2

Tab. 4: Požadavky na obsah znečišťujících látek v odpadech využívaných na povrch terénu (MŽP, 2014).

Tato vyhláška dále zahrnuje ukládání odpadů na skládky všech druhů. Vzhledem k tomu, že čistírenské kaly patří mezi využitelné odpady, mohou být na skládky ukládány jen v případě, že je to v souladu s Plánem odpadového hospodářství daného kraje. V tomto případě pak musí splňovat limitní koncentrace ukazatelů ve vodném výluhu, které jsou uvedeny v příloze č. 2 této vyhlášky (MŽP, 2014).

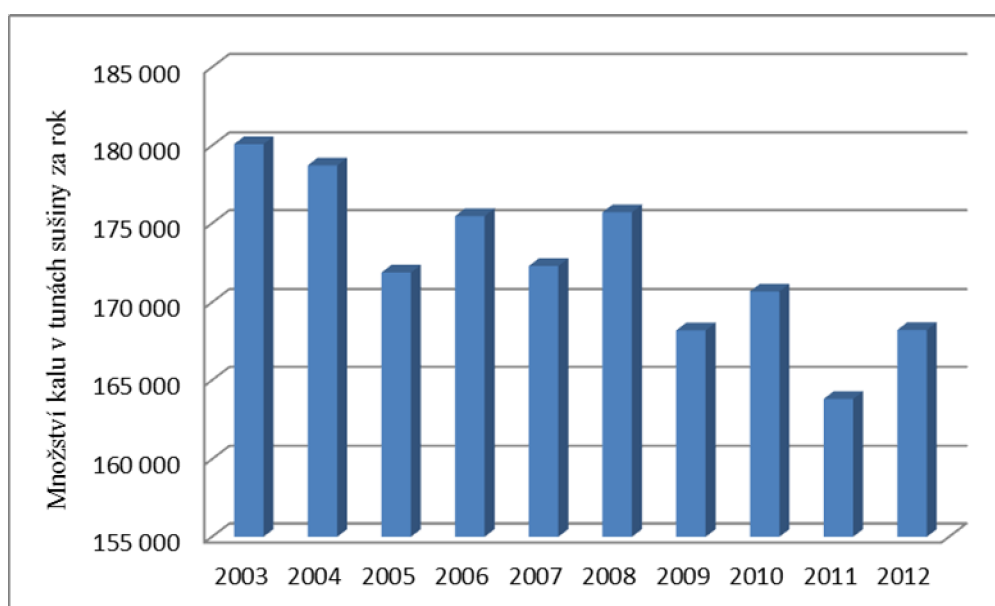


### 3.3 Nakládání s kaly

V roce 2012 bylo na území České republiky 2318 čistíren odpadních vod s celkovou kapacitou 3 782 197 m<sup>3</sup>/den. Za rok 2012 bylo vyprodukováno 168 190 t sušiny kalu. Z grafu 1 je zřejmé, že množství vyprodukovaných kalů mezi lety 2003 - 2012 má klesající tendenci (SÚ, 2014).

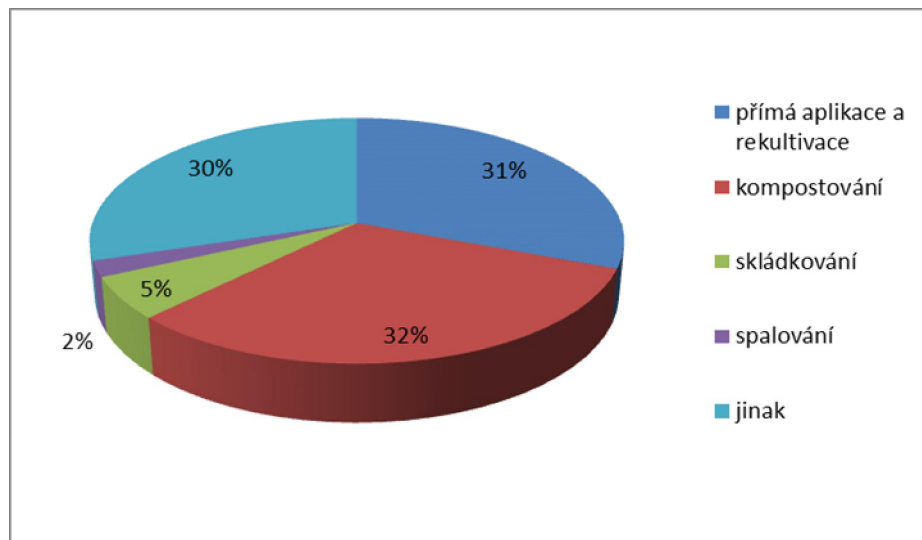
rok	příjemná aplikace a rekultivace		kompostování		skládování		spalování		jinak	
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
2003	31 298	17	88 678	49	23 305	13	390	0	36 427	20
2004	29 119	16	87 469	49	25 447	14	39	0	36 675	21
2005	34 467	20	88 820	52	12 027	7	20	0	36 554	21
2006	48 304	28	89 932	51	13 979	8	27	0	23 229	13
2007	55 349	32	80 393	47	8 536	5	47	0	27 978	16
2008	46 776	27	78 289	45	11 986	7	712	0	37 945	22
2009	42 442	25	80 727	48	5 931	4	2 179	1	36 885	22
2010	60 639	36	45 528	27	6 177	4	3 336	2	55 009	32
2011	61 750	38	45 985	28	9 527	6	3 538	2	43 018	26
2012	51 912	31	53 222	32	9 340	6	3 528	2	50 188	30

Tab. 5: Množství vyprodukovaných čistírenských kalů a jejich způsobů zneškodnění (SÚ, 2014).



Graf 1: Produkce čistírenských kalů v ČR pro rok 2012 (SÚ, 2014).

Největší zastoupení jednotlivých způsobů nakládání s kaly představuje kompostování, přímá aplikace a rekultivace a nespecifikovaný způsob zneškodnění kalu produkovaném v čistírnách odpadních vod (viz. Graf 2). Naopak skládkování a spalování kalu představuje jen malou část z celkového nakládání s kaly (SÚ, 2014).



Graf 2: Nakládání s kaly z ČOV v ČR pro rok 2012 (SÚ, 2014).

### 3.4 Úprava, zpracování a nakládání s čistírenskými kaly

Hlavním cílem úpravy a zpracování kalů je využití prospěšných složek a energie z nich a současně zabránit nepříznivým dopadům na lidské zdraví a životní prostředí. Koncentrace prospěšných i znečišťujících složek v kalu závisí na poloze a kvalitě surové nebo odpadní vody a na úrovni použité technologie. Evropská unie a její politika se snaží minimalizovat vznik odpadů, jejich ukládání a naopak podporuje jejich využití. Minimalizovat produkci kalů lze pouze vhodnou technologií, nelze však produkci kalů úplně zabránit. Kal lze aplikovat například jako organické hnojivo vylepšuje jejich kvalitu a také je lze využít pro rekultivace. Další možností je kaly spalovat s nebo bez využití energie nebo je zplyňovat. Existuje řada metod zpracování kalů, které zlepšují jejich kvalitu. Obecně jsou zaměřeny na snižování obsahu vody, patogenních mikroorganismů a zápachu (Dohányos, 2006).

### 3.4.1 Anaerobní stabilizace kalu a její intenzifikace

Jedna z nejrozšířenějších metod zpracování kalu je jejich anaerobní stabilizace. Rozložitelné organické látky se přeměňují na bioplyn a současně dochází k stabilizaci a hygienizaci kalu. Bioplyn lze využít jako palivo pro kogenerační jednotku a tak se jeví anaerobní stabilizace s následným energetickým využitím bioplynu značně výhodná. V současné době se stále více prosazuje tzv. termofilní anaerobní stabilizace, která je v porovnání s mezofilním procesem výhodnější. Díky vyšším teplotám (cca 55 °C) se organické látky rozkládají rychleji a dochází tak k vyšší produkci bioplynu. Mezi velké přednosti termofilní anaerobní stabilizace patří vyšší hygienizace ústředního procesu (Zábranská, 2004).

Konečným produktem anaerobní stabilizace je vyhnitý kal. Tento kal obsahuje kapalnou fázi (tzv. kalová voda), anorganický podíl a nerozložené organické látky. Aby bylo možné další využití, je třeba získat co nejvyšší obsah sušiny odvodněním vyhnitého kalu (Dohányos a Kutil, 2005)

### 3.4.2 Hygienizace kalu

Hygienizace čistírenských kalů je proces, kdy jsou vytvořeny takové podmínky prostředí, při nichž dochází k potlačení přítomných patogenních mikroorganismů. Základní hygienizační metody lze rozdělit do tří skupin (Zábranská, 2004).

- chemické metody, které zahrnují reakci s chemickými činidly (vápno, minerální kyseliny);
- fyzikální metody, které zahrnují působení teploty, radiace, ultrazvuku apod.;
- biotechnologické metody, které zahrnují souborný proces stabilizace a hygienizace (např. kompostování kalů).

#### 3.4.2.1 Chemická hygienizace kalu

Při chemické hygienizaci dochází k potlačení patogenních mikroorganismů vlivem zvýšené alkality. Odvodněný kal se sušinou 15–25 % se při chemické hygienizaci míchá s páleným vápnem či vápenným hydrátem v takovém poměru, aby bylo dosaženo prostředí pH > 12 po dobu alespoň 2 hodin nebo, aby po 14 denním působení byla hodnota pH > 11. V případě použití oxidu vápenatého dochází navíc k vývoji tepla, které má také hygienizační účinek (EPA, 2000).

Rozhodující položkou provozních nákladů je spotřeba vápna, které tvoří 15 - 40 % provozních nákladů. Pro správnou funkčnost této metody je rozhodující přesnost dávkování vápna a kvalitní promíchání. K docílení požadované alkalinity v tizinou postačí množství vápna v rozsahu 10 - 30 % hmotnosti sušiny kalu. Při dávkem vápna se musí zvýšit sušina kalu na minimálně 18 %, což je podmínka pro mechanickou aplikaci kalu na zemědělskou půdu daná vyhláškou MŽP č. 382/2001 Sb. Z hlediska zemědělského využití kalu má tato metoda výhodu v tom, že kal obohacený vápnem při aplikaci na zemědělskou půdu snižuje její kyselost a může být tak vynecháno vápnění půdy (Benezová, 2004).

#### **3.4.2.2 Fyzikální hygienizace kalu**

Mezi fyzikální hygienizační metody patří použití ultrazvuku, který způsobuje destrukci bakteriálních buněk. Okamžitou účinnost na veškerou mikroflóru spolehlivě vykazují radiální metody, které se však vyznačují vysokými investičními náklady. V případě využití ionizujícího záření je podmínkou, že příslušné záření nesmí indukovat radioaktivitu v ozařovaném kalu. Tuto podmínku splňují velmi dobře vysoce energetické formy (UV záření) a elektrony (β záření). Nejlepším zdrojem záření jsou isotopy  $^{60}\text{Co}$  a  $^{137}\text{Cs}$  (Zábranská, 2004).

#### **3.4.3 Kompostování kalu**

Jednou z možností úpravy čistírenských kalů před aplikací na zemědělskou půdu je jejich kompostování. Proces kompostování má na kalův vliv nejen z hlediska rozkladu neškodoucích organických látek a redukce zápachu čistírenských kalů, ale i z hlediska hygienizace. V případě, že v průběhu kompostovacího procesu dochází k vývoji tepla nad 55 °C po dobu 21 dnů, je zralý kompost pokládán za zhygienizovaný. Optimální teplota pro kompostování se pohybuje v rozmezí 20 - 30°C. Bylo však vedle pilotních pokusů ukázáno, že čistírenské kalů lze kompostovat i při teplotách vzduchu kolem 0 °C (Cimados a kol., 2006).

Kompostování čistírenských kalů společně s dalšími biodegradabilními odpady v optimalizovaných surovinových skladbách kompostu za předpokladu, že podíl kalu nepřevyšuje 20 % hmotnosti, je z hlediska přeměny organické hmoty a dosažení hygienizačních teplot bez problémů. Vyšší podíl odvodněného čistírenského kalu v surovinové skladbě kompostu vyžaduje přidavek strukturního lignocelulosového substrátu (dřevní ztřepky, drcená stromová kůra), který zabezpečuje pórovitost

prvního kompostu, a jeho optimální poměr C:N je cca 30:1. Drcená ztřeska se při kompostování čistírenského kalu upravuje hrubá cca 50 . 80 mm (Balík a kol., 2004). Odvodněné čistírenské kaly se smíchají se strukturální lignocelulózovou hmotou v hmotnostním poměru 60:40 opakovanou homogenizací. Zhomogenizovaná základka by měla mít výšku 2,5 - 3 m. Proces probíhá při teplotách 60 . 70 °C s velkým odparem vody. Aerační pekopávky se provádí po 14 dnech po dobu 8 týdnů . Po nich pekopávkách je nutné provést zavlažení kompostu. Po těchto měsících je kompost stabilizovaný a následně se prosévá, kdy nadsítná frakce se používá do nově zakládáných kompostů (Cimados a kol., 2006).

#### **3.4.4 Sušení kalů**

Sušením kalů je možno dosáhnout snížení objemu a úpravy kalů pro daný způsob odstranění i využití. Kalů lze sušit na 50 . 70% sušiny obvykle slouží pro spalování. Požadujeme-li kal stabilizovaný, je nezbytné úplné sušení na 90 . 95 %, které je spojeno s uspokojivou hygienizací (Balík a kol., 2004). Sušení kalů je prováděno kontaktním způsobem (přenos tepla přes stěnu sušárny) nebo konvenčními způsoby, jako je například přenos tepla horkými plyny. Vysušený anaerobně stabilizovaný kal z komunálních OV dosahuje výhřevnosti 8 . 12 MJ/kg. Sušení anaerobně stabilizovaného kalu je možné provádět teplem z kogenerační jednotky využívající vzniklý bioplyn (Dohányos a Kutil, 2005).

#### **3.4.5 Spalování kalů**

Jednou z dalších metod odstranění kalů je jejich spalování. Spalovat je možné jak surové kaly, tak kaly po anaerobní stabilizaci, a to samostatně i s energeticky bohatším palivem. Zda je výhodnější přímé spalování surového kalu i kalů po anaerobní stabilizaci není jednoznačné. Vody závisí na ekologických, energetických a ekonomických parametrech daného provozu. V případě spalování kalů v teplárnách i elektrárnách je výhodou nízká investiční náročnost. Odvodněný kal je spalován společně s uhlím, příměsí množství přidávaného kalu se pohybuje do 5 % spotřeby uhlí, kdy takto malý přídavek nemá vliv na snížení teploty hoření. Investice do čistění spalin nejsou potřeba, protože filtry a odlučovače na výstupu spalin jsou dimenzovány tak, aby bezpečně zachytily emise vzniklé spálením kalů (Dohányos, 2004).

### 3.4.6 Aplikace kalů na zemědělskou půdu

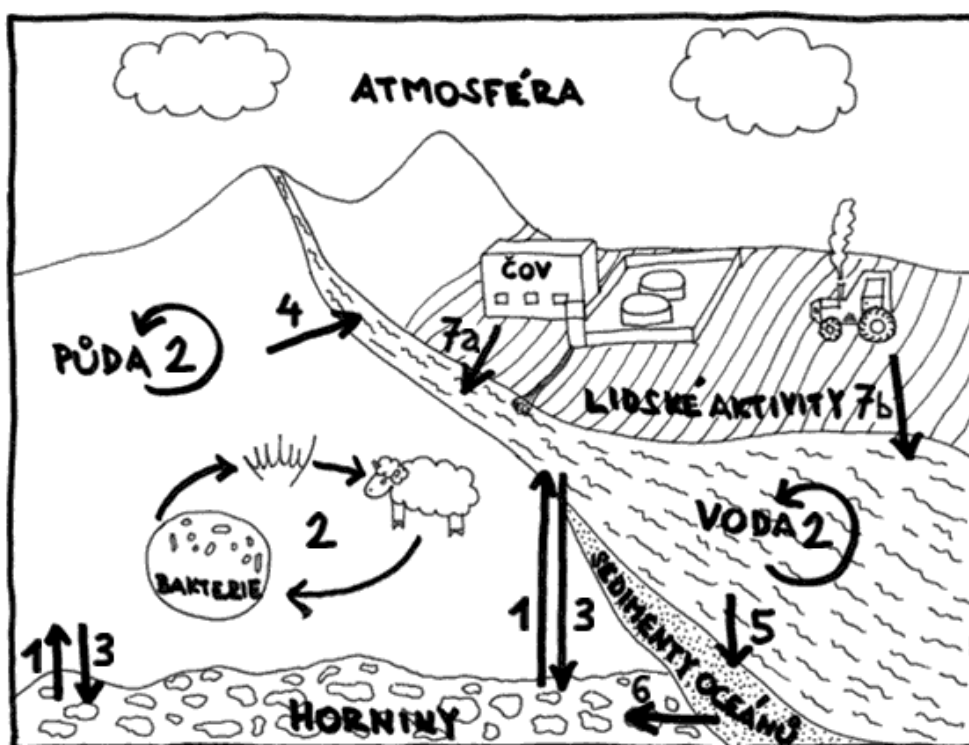
Se stále snižující produkcí statkových hnojiv a naopak zvyšující se spotřebou prmyslových hnojiv potřebuje zemědělství alternativní zdroje minerálních a organických látek. Možnou alternativou je aplikace iřtírenských kalů na zemědělskou půdu. To však nese značná omezení v podobě vysokých koncentrací těžkých kovů (Cd, Co, Zn, Cu, Hg, Cr, Pb), patogenních mikroorganismů a organických polutantů, proto je podle současné legislativy značně omezena aplikace kalů jako hnojiva na zemědělskou půdu (Kolář a Kužel, 2000). V tekutém, nebo mírně zahusťném stavu lze použít na zemědělskou půdu kaly, které jsou stabilizované (vyhnilé), pro odvodněné kaly je ještě potřeba provést hygienizaci. Aplikace stabilizovaného kalu na zemědělskou půdu a pro rekultivace se za příznivých podmínek jeví jako jedno z neekonomičtějších a nejvhodnějších řešení. Po stabilizaci obsahuje sušina kalu 30 - 50 % organických látek, dále pak 2 - 4 % dusíku, 0,1 - 0,35 % draslíku a 2 - 10 % vápníku (Věšeta, 2007). Množství organické hmoty je 2 - 3x větší než u chlívského hnoje, avšak stabilita organických látek je v iřtírenských kálech oproti chlívskému hnoji nižší. Pro obsahy dusíku a uhlíku, které jsou obsaženy v iřtírenských kálech, je rovněž důležitá stabilita organických látek kalu a procesy rozkladu nebo stabilizace po aplikaci na zemědělskou půdu. Poměr C/N vypovídá o stabilitě komponent organické hmoty. U iřtírenských kalů je tento poměr vztinou okolo 4,7 a u hnoje okolo 8,4. Důvodem je nižší obsah uhlíku v huminových kyselinách a nižší stupeň humifikace v porovnání s hnojem. V důsledku toho je rychlejší rozklad organických látek v iřtírenských kálech než u hnoje. Aplikace iřtírenských kalů má rovněž kladný vliv na chemické a fyzikální vlastnosti půdy, zejména způsobuje zvýšení retenční kapacity, zvýšení vododržnosti půdy, zvýšení propustnosti a infiltraci, zvyšuje aeraci, obsah rozpustných solí a sorpční schopnost půdy. Naopak snižuje tvorbu půdního zkraloupu a pH půdy. Z dlouhodobého hlediska ovlivňuje obsah mikrobiální biomasy. Po aplikaci iřtírenských kalů byly také pozorovány zvýšené obsahy mikro a makroprvků (Ni, Mn, Fe, Cu, Zn). Jednorázové hnojení iřtírenskými kaly má vztinou zanedbatelný vliv na výnos plodin, avšak z dlouhodobého hlediska má aplikace iřtírenských kalů příznivý vliv na výnos plodin. Vytých výnosů bylo dosaženo především po aplikaci kalů k pěstovaným plodinám, nebo po jejich opakované aplikaci (Berný a kol., 2009).

### 3.5 Fosfor

Fosfor (P) je pirozen se vyskytující prvek, který lze nalézt ve všech živých organismech, stejně tak ve vodě a v půdě. Je nezbytnou součástí mnoha fyziologických procesů spojených s dobou energetických využití u rostlin a živočichů. Má důležitou roli ve stavbě živých organismů. Velice významná je jeho přítomnost v deoxyribonukleové kyselině (DNA), ribonukleové kyselině (RNA), adenosindifosfátu (ADP) a adenosintrifosfátu (ATP) (Kotoski, 1997).

#### 3.5.1 Koloběh fosforu

Průměrně do koloběhu je uvedeno okolo 50 % P. Koloběh fosforu (viz. Obr. 2) se také říká sedimentační, protože anorganický fosfor vody opouští pevninu a odchází do oceánu, kde je začleněn do sedimentu. Koloběh začíná tím, že rostliny přijmou rozpustné fosforenanové ionty, které následně zabudují ve svém těle do organických sloučenin. Takto organicky vázaný fosfor se dostává až k poslednímu masožravému článku, který nakonec uhynie. Rozklad masožravého článku zajistí bakterie a další podivní organismy, které tak zpřístupní anorganický fosfor pro rostliny. Velkou část koloběhu fosforu v ekosystémech tvoří látkový metabolismus organismů. S výkaly těchto organismů se fosfor vrací do prostředí v rozpustné formě, kterou jsou rostliny schopny vstřebat. Poté co se fosfor dostává ze suchozemského prostředí do prostředí vodního, je odnášen do oceánu, kde se na dně usazuje do sedimentu. Zde může být zabudován i sto milión let než dojde k nadzdvížení dna moře a následujícím zvětvování hornin (Čafaříková a Kouřil, 2006).



Obr. 2: Koloběh fosforu.

Legenda:  $\updownarrow$  - vstup nebo výstup fosforu z jednoho prostředí do druhého;  $\circ$  - vnitřní koloběh fosforu v ekosystému; OV - čistírna odpadních vod; 1 - uvolňování fosforu z hornin (zvětrávání); 2 - vnitřní koloběh; 3 - ukládání fosforu do hornin; 4 - vyplavení fosforu ze suchozemského do vodního prostředí; 5 - vložení fosforu do oceánských sedimentů; 6 - nadzvižení oceánských sedimentů; 7 - lidské aktivity: 7a vypouštění splašk z nečistých fosfátů, 7b hnojení fosforečnými hnojivy a vyplavování fosforu ze zemědělských půd (Šafaříková a Kouřil, 2006).

### 3.5.2 Fosfor v půdě

Přestože celkové množství fosforu v půdě může být poměrně vysoké, často je fosfor přítomen v nedostupných formách anebo v dostupných formách, které jsou však přítomny mimo rhizosféru. (Holford, 1997). Průměrný obsah fosforu v půdě se pohybuje okolo 0,1%. Zdrojem fosforu pro rostliny je rozklad organických zbytků a matečných hornin. Fosfor je v půdě přítomný ve dvou základních formách - organické a anorganické (Richardson, 1994).

#### 3.5.2.1 Anorganický fosfor

Fosfor se nachází v anorganické formě ve 170 minerálech (Holford, 1997). Hlavním zdrojem fosforu v půdě jsou minerály fosforitů -  $[3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2]$ , skupina apatitů -  $[3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2]$ , nebo vivianit -  $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8(\text{H}_2\text{O})]$  (Richardson, 1994). Jsou to sloučeniny odvozené od kyseliny trihydrogenfosforečné ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Hlavní složkou anorganických sloučenin fosforu je ortofosforečnanový anion



( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), který se váže na prvky podle známého pH. Anorganický fosfor máme v podzemním roztoku najít nejčastěji ve formě  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , za předpokladu neutrálního pH. V mírně kyselém prostředí, při pH 6 je poměr  $\text{H}_2\text{PO}_4^- : \text{HPO}_4^{2-} = 9:1$ , v mírně zásaditém prostředí, při pH 8 se poměr změnil na 1:9 (Balík a kol. 2008). V podmínkách zásaditých se váže především na vápník a v podmínkách kyselých na hliník a železo. Na slabě kyselé až neutrální půdě může vznikat po aplikaci superfosfátu hydrogenfosforenan vápenatý ( $\text{CaHPO}_4$ ), který je méně rozpustný ve vodě. Lze jej považovat za velmi dobrý zdroj pro rostliny, protože dostatečně doplní hladinu fosforu v půdě. V alkalické půdě rovněž vzniká trikalciumfosfát ( $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ ), který je obtížně využitelný rostlinami a proto je nutné agronomickými zásahy omezovat tuto vazbu fosforu v půdě. Vhodné je sít plodiny a zejména bobovité rostliny do osevního postupu, protože velká část těchto rostlin je schopna pomocí kořenových výměšk využít vztávkou vázaného fosforu v půdě. Rovněž je vhodné obohacování půdy organickou hmotou. Obsah minerálních forem přístupného fosforu v tuzemské půdě pohybuje v rozmezí od 10 do 100 mg P na 1 kg zeminy. Velká část tohoto fosforu je v méně rozpustných vazbách a vodorozpustný podíl činí jen 1 až 8 mg P na 1 kg zeminy (Holford, 1997).

### 3.5.2.2 Organický fosfor

Organicky vázaný fosfor v půdě je nedílnou součástí podzemní organické hmoty. Anorganicky vázaný fosfor se hromadí především v orní vrstvě a je velmi málo pohyblivý v podzemním profilu. Oproti tomu je organicky poutaný fosfor v půdě v těsném vztahu k rozdělení organické podzemní složky. Tato forma fosforu se v půdě hromadí především v posklizových zbytcích rostlin, humifikované organické hmotě a tkáních živých organismů a je doplněna organickými hnojivy. Organický fosfor se vyskytuje především ve fytinu (m-inositol-hexafosfát), je málo reaktivní, proto nemigruje a tvoří nejvyšší podíl (10 - 50 %) z organicky vázaného fosforu. Fytin je pokládán za potenciální zdroj využitelného fosforu rostlinami. Jeho obsah v půdě vzrůstá jako výsledek intenzivního hnojení fosforem. Dále se organický fosfor vyskytuje ve fosfolipidech a nukleových kyselinách, které se nacházejí hlavně v buněčném jádře ve formě DNA a také v RNA (Richardson, 1994).

Vazba mezi organickou složkou a fosfátem je poměrně nestabilní a proto je takto poutaný fosfátový iont dobře využitelný rostlinami a jeho pohyblivost umožňuje

rozvrstvení fosforu v p dním profilu, což není možné u anorganicky vázaného fosforu. Toto ukazuje na význam péče o organickou p dní hmotu. Pokud dochází k obohacování p d organickými látkami s nízkým obsahem fosforu (méně než 0,15 %), nezvyšuje se obsah přijatelného fosforu v p d . Hodnocení obsahu fosforu v p d ukazuje, že chování závisí na formě jeho vazby v p d (Holford, 1997).

### 3.5.3 Přeměny fosforu v p d

Jak již bylo zmíněno, fosfor se v p d vyskytuje v anorganické ( $P_{\text{anorg}}$ ) a organické ( $P_{\text{org}}$ ) formě. Tyto formy se liší v jejich chování a přeměnách v p d .  $P_{\text{anorg}}$  obvykle představuje 35 % až 70 % celkového P v p d . Hlavními minerály obsahující fosfor jsou apatity, strengity a variscity. Jsou velmi stabilní a uvolnění P z těchto minerálů při trávení je obvykle poměrně dlouhé (Bai a kol., 2011). Rozpustnost sekundárních fosforených minerálů obsahující rovněž Ca, Fe a Al závisí na velikosti minerálních částic a pH půdy. Se zvyšujícím se pH půdy se rozpustnost Fe a Al fosfátů zvyšuje, ale rozpustnost Ca fosfátů snižuje, s výjimkou hodnoty pH nad 8. V kyselých půdách může být P převážně absorbován oxidy a hydroxidy Al a Fe, jako je například gibbsit, hematit a goethit. Fosfor může být nejprve adsorbován na povrch jílových minerálů a Fe a Al oxidy tím, že tvoří různé komplexy. Jílové minerály a Fe a Al oxidy mají velké specifické povrchové plochy, které poskytují velký počet adsorpčních míst. Adsorpce p dního P může být zvýšena s rostoucí iontovou silou. S dalšími reakcemi se může stát P nedostupný pro rostliny tím, že je začleněn do nanopórů, které se často vyskytují v Fe a Al oxidech (Arai a Sparks, 2007). V neutrální až alkalické půdě působí retence P srážecími reakcemi, i když P může být také adsorbován na povrchu vápenatých uhličitánů a jílových minerálů. Fosfát se může srážet s vápníkem za vzniku fosforenanu vápenatého (DCP), který je přístupný pro rostliny. DCP může být poté přeměněn na více stabilní formy, jako je hydroxyapatit (HAP), které jsou méně dostupné rostlinám při alkalickém pH. Rozpustnost HAP se zvyšuje s nižším pH půdy, což naznačuje, že rhizosférická acidifikace může být účinnou strategií jak mobilizovat P z vápenité půdy (Devau a kol., 2010).

Organický fosfor obvykle představuje 30 % až 65 % z celkového P v p d .  $P_{\text{org}}$  se vyskytuje především ve stabilizovaných formách jako inositol fosfáty,

fosfonáty a aktivních formách jako ortofosfátové diestery, nestabilní ortofosfátové monoestery a organické polyfosfáty (Turner a kol. 2007).  $P_{org}$  může být rozpuštěn a mineralizací procesy zprostředkované půdními organismy a koenzy rostlin. Tyto procesy jsou ovlivněny vlhkostí půdy, teplotou, fyzikálně-chemickými vlastnostmi, půdním pH a Eh (redox potenciál). Transformace  $P_{org}$  má velký vliv na celkovou biologickou dostupnost P v půdě. Z tohoto důvodu je dostupnost půdního P velmi složitá a je třeba jí systémově vyhodnocovat, protože je velmi spojena s dynamikou a transformacemi P (Bai a kol., 2011).

### 3.5.4 Fosfor v rostlinách

Fosfor je velice důležitý prvek, který tvoří asi 0,2 % hmotnostní sušiny rostliny (Schachtman a kol., 1998). Má důležitou roli v růstu a metabolismu rostlin, je klíčovými pro mnoho procesů jako například syntéza nukleových kyselin a membrán, fotosyntéza, fixace dusíku a enzymové regulace, dýchání, energetický metabolismus apod. (Raghothama, 1999). Funkci fosforu nelze nahradit jinými živinami a jeho nedostatky je vyžadováno pro optimální růst a reprodukci (Schachtman a kol., 1998). Nároky na potřebu fosforu jsou různé. Zatímco listové zeleniny stačí 10 kg P/ha, u kukuřice a zelí mohou hodnoty přesáhnout 40 kg P/ha. Průměrně se tedy pohybuje okolo 20 - 30 kg P/ha (Pavlíková a kol. 2008). Existuje obecná představa, že fosfor je rostlinou přijímán pouze pomocí koenových buněk, avšak více než 90 % přistavovaných plodin jsou symbiotické s mykorhizními houbami. V této symbióze mají hyfy (houbová vlákna) důležitou roli při získávání fosforu pro rostliny (Smith a Read, 1997).

#### 3.5.4.1 P íjem fosforu rostlinami

Rostlinné buňky mohou akumulovat živiny v mnohem vyšších koncentracích, než jsou přítomny v půdním roztoku, který je obklopuje. To umožňuje koeně extrahovat živiny z půdního roztoku, kde jsou přítomné ve velmi nízkých koncentracích. Pohyb živin v rostlině závisí do značné míry na dopravě přes buněčné membrány, což vyžaduje energii proti síle osmózy. Zde opět ATP a další vysoce energetické sloučeniny fosforu poskytují nutnou energii. Forma fosforu, která je přístupná rostlinám se označuje jako  $P_i$  a její koncentrace málokdy přesahuje hodnotu 10  $\mu\text{M}$  v půdních roztocích (Bielecki, 1973). Z tohoto důvodu mají rostliny

specifické transporty v rozhraní ko eny/p da, které zajiztují transport skrze bun é membrány do vnitrobun ých organel, kde m 0e být koncentrace a0 1000krát vyzzí ne0 ve vn ízím prost edí. Fosfor vstupuje do rostliny p es ko enové vlásky, ko enové zpi ky a p es vrchní vrstvu ko enových bun k. P íjem je také usnadn n mykorhizními houbami, které rostou ve spojení s ko eny mnoha rostlin. Rostliny p íjímají fosfor ve form anion kyseliny trihydrogenfosfore né, zejména ve form  $H_2PO_4^-$  a  $HPO_4^{2-}$  (Pavlíková a kol. 2008). P íjem fosfátu ko eny je závislý na hodnot pH prost edí. Hodnota sou inu rozpustnosti (pKs) pro disociaci  $H_3PO_4$  na  $H_2PO_4^-$  a poté na  $HPO_4^{2-}$  je 2,1 respektive 7,2. Z tohoto d vodu se p i pH ni0zím ne0 6 Pi vyskytuje v monovalentní form  $H_2PO_4^-$ , zatímco  $H_3PO_4$  a  $HPO_4^{2-}$  jsou p ítomny pouze v malých mno0stvích. V tztina studií o závislosti pH na absorpci Pi u vyzzích rostlin prokázala, 0e p íjmové rychlosti jsou nejvyzzí u hodnot pH 5,0 - 6,0, kde  $H_2PO_4^-$  dominuje, co0 nazna uje, 0e Pi je p íjata v monovalentní form (Furihata a kol., 1992). Jakmile je fosfor uvnit ko en rostlin, m 0e být zde ulo0en, nebo transportován do horní ásti rostliny. Poté je za len n do organických slou enin v etn nukleových kyselin (DNA a RNA), fosfoprotein , fosfolipid , cukerných fosfát , enzym a energeticky bohatých fosfátových slou enin, nap íklad ATP. Stejn tak se v rostlin nachází v anorganických slou eninách, které jsou p ípraveny a následn transportovány pro dalzí reakce. Velikost p íjmu je rovn 0 závislá na sv tle, které podporuje p íjem fosforu, dále pak na obsahu kyslíku v 0ivném prost edí a na p ítomnosti  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$  a  $BO_3^{3-}$ . P íjem fosfátu z p dy naopak zpomalují látky obsahující  $OH^-$ . Rostliny p íjímají fosfor rovnom rn b hem vegetace. Nejd le0it jzí je ale p íjem na za átku vegetace. P i dostate ném p íjmu fosforu dochází k jeho ukládání ve vakuolách. Fosfor má v rostlin dobrou pohyblivost. Nejd íve je transportován do vegeta ních vrcholok , poté do kv t a následn do semen, kde tvo í zásobní látky, které jsou pozd jí vyu0ity p i klí ení a p i r stu klí ku (Schachtman a kol., 1998).

### **3.5.5 Obsah fosforu v organických hnojivech a pr m rný p ívod fosforu do p dy**

#### **3.5.5.1 Chlévský hn j**

Tuhé statkové hnojivo vzniklé fermentací chlévské mrvy se nazývá chlévský hn j. Chlévská mrva je sm s výkal , steliva a zbytek krmiv. Zrání mrvy probíhá

na hnojení a vzniká tak chlévský hnůj. Aplikace chlévského hnoje se hodí zejména pro rostliny s delší vegetací, jako jsou okopaniny nebo pícniny. Použití chlévského hnoje se však nedoporučuje pro sladovnický ječmen a len. Chlévský hnůj by se měl aplikovat na zeměpisnou plochu zejména na podzim a to tak, aby se musel být kvalitně rozmetán a ihned poté zaorán do půdy (Vostal, 1994).

### **3.5.5.2 Kejda**

často vzniká směsí s tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat a zbytků krmiv s podílem vody se nazývá kejda. Vzniká při roztovém nebo volném ustájení zvířat bez podestýlky. Kejdou je možné hnojit každý rok. Aplikovat se může i ke známým rostlinám, avšak její aplikace závisí na konkrétním druhu rostliny (Vostal, 1994).

### **3.5.5.3 Zaorávání slámy**

Zaorávání slámy se používá, zejména pokud je značný nedostatek organických hnojiv. Sláma obsahuje značný podíl organických látek (okolo 80 %) a je tak surovinou, která vytváří trvalý humus. Před její aplikací a následným kvalitním zaoráním je nutné slámu dobře naezat a nadrtit. Nejlépe využívají slámu zejména silážní a krmné plodiny (Richter a Kubát, 2003).

### **3.5.5.4 Kompostování**

Kompost se získá pevným aerobním rozkladem směsi organického materiálu. Kompostování je základním opatřením, jak udržet, nebo dokonce zvýšit úrodnost půdy. Je to také neekonomičtější a neekologičtější způsob nakládání s bioodpadem ze zahrady i z domácnosti. Obsah organické hmoty by se měl pohybovat mezi 10 - 20 % a poměr C : N by měl být 20 - 30 : 1. Zralý kompost má tmavou barvu, drobtovitou a kyprou hmotu bez zápachu. Půda se kompostem nedá přehnojit a lze jej aplikovat na podzim i na jaře (Richter a Šimovský, 1996).

### **3.5.5.5 Kaly z čistíren odpadních vod**

Za stále hlavní obnovitelný zdroj fosforu jsou považovány městské odpadní vody. Odhaduje se, že denně vypustí každý člověk okolo 2 - 3 g fosforu. Pomocí srážecích činidel před primární i sekundární fází lze 70 - 90 % fosforu odstranit do kalu. Pokud použijeme srážecí činidla i během fází, lze tak odstranit až 80 - 95 % P. Tyto metody však spotřebují značné množství chemikálií a tak

se stále více začínají používat biologické metody odstraňování P. V případě nemluhu, odstranění P v OV se nachází 2 - 10 % P v sušině. Pokud nejsou těžké kovy v různých zemích pod velkým dohledem, tak se odvodněný kal stabilizuje a hygienizuje při 52 °C a následně zpracuje v kompostárnách nebo se suší do granulí a následně využívá v zemědělství (Holba, 2010).

Hnojivo		% P v sušině
<b>druh kejdy</b>		
	skot	0.1
	prasata	0.13
	drabe0	0.3
<b>chlévký hnůj</b>		
	skot	0.11
	kon	0.13
	ovce	0.14
	drabe0	1.25
		<b>% P v sušině</b>
<b>druh slámy</b>		
	obilná	0.09
	kukuřičná	0.16
	epková	0.11
	luskovin	0.16
<b>kvalita kompostu</b>		
	výborný	0.65
	uspokojivý	0.2
	zpatný	0.1
<b>stíreňský kal</b>		2.6

Tab. 6: Průměrné obsahy P v jednotlivých organických hnojivech (Holba, 2010), (Richter a Šimovský, 1996).

Jednou z hlavních podmínek pro zachování půdní úrodnosti je pravidelné navracení živin, které byly z půdy odebrané společně se sklizní a také dostatečný přísun organických látek (OL) do půdy. V tabulce 7 je znázorněno, že i statková hnojiva jsou významným zdrojem živin (Klír a kol., 2007).

	1986 Ě1990	1991 Ě1995	1996 Ě2000	2001 Ě2005	2006 Ě2008
Využívaná z. p.(tis. ha)	4 306	4 282	4 250	3 768	3 629
Hospodá ské vstupy, z toho:	101	40	32	35	36
minerální a organická hnojiva	67	12	11	14	16
statková hnojiva	34	28	21	21	21
Odb r plodinami z toho:	43	37	30	34	35
hlavní nebo celý produkt	35	30	26	29	29
vedlejší produkt	8	7	4	5	5

Tab. 7: Pr m rný ro ní p ívod fosforu do p dy v hospodá ských vstupech a jeho odb r plodinami (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na 1 ha využívané zem d lské p dy) (Klír a kol., 2007).

### 3.5.6 Distribuce fosforu v rostlin a organické slou eniny obsahující fosfor

Zabudování anorganického fosfátu do organických forem je velmi rychlé. V ko enech klí ních rostlin se objevil po 2-3 sekundách v ATP a o n co pozd ji v nukleotidech. V organických vazbách se více ne0 80 % p íjatého fosforu objevuje za 10 minut. Fosfor lze za adit mezi velmi pohyblivé prvky, nebo m ůe n kolikrát p echázet z jedné slou eniny do druhé. Doba zdrŕení fosforu je v ATP okolo 2 - 20 sekund, v esterech okolo 30 sekund a v lipidech okolo 1- 5 hodin. V celé rostlin se fosfor vym ní za cca 3 dny. Aby byl zajízt n transport fosforu z ko en do nadzemních ástí, tak se organické formy defosforylují hydrolytickými fosfatázami. Uvol uje se tak anorganický fosfát z organických vazeb. Tyto fosfatázy se nacházejí zejména ve vakuolách. Zde se hromadí fosfor v anorganické form . Následuje transport z vakuol do xylém , kde se tvo í a0 75 % z vezkerého fosforu. Rychlost transportu fosforu v xylému je okolo 200 cm.hod<sup>-1</sup>. Zbývající ást se transportuje ve form cholinfosfátu (Richter a Hluzek, 1994).

Fosfor se v rostlinách vyskytuje ve form anorganického nebo organického polyfosfátu. Polyfosfáty jsou polymerizované soli typu pyrofosfátu, které vznikají z ortofosfátu odzt pením vody. Nacházejí se ve vakuolách a jsou rezervním fosfátem. Mohou se zt pit anorganickými pyrofosfatázami a p ítom uvol ují energii. Nejpo etn jzími slou eninami fosforu jsou jeho organické formy,

které v rostlin tvoří 4 skupiny:

- a) DNA, RNA, P-lipidické, P-estery sacharid
- b) ATP, ADP, AMP
- c) G-6-P
- d) F-6-P

Fosfor je rovněž složkou dusíkatých látek jako jsou např. cholinofosfát, fosfoetanolamin, tiaminofosfát, ale také aktivních látek např. AMP, sulfát, aktivovaných aminokyselin aj. Rezervní organickou formou fosfát je vícesytný alkohol fytin (Ryant, 2004).

Funkci fosforu v rostlinách je tedy možné rozdělit na energetickou a na stavební. Energetická funkce je charakterizována na schopnosti ortofosfátu tvořit s cukry esterické vazby o energii několik kJ/mol P. Energeticky nejvýznamnější je pro rostliny ADP + anorganický P. Tato soustava odebírá energii v centrech intenzivního energetického metabolismu a následně ji transportuje pomocí molekuly ATP na jiná místa. Poté co dorazí na předem určené místo, tak za něj uvolní teplo a to zabráví tepelnému zničení metabolických center. Významnou úlohu sehrává fosfor v přenosu signálů na vnitrobuněčné a mezibuněčné úrovni (Procházka a kol., 2003).

### 3.5.7 Nedostatek fosforu

Při vztáhlém nedostatku se zpomaluje růst nadzemních orgánů a kořenů. Listy jsou malé a starší postupně odumírají. Při nízké koncentraci fosforu pod optimální hodnotou může dojít k hyperchlorofylaci listu, která je doprovázena červenofialovým zabarvením (zpravidla spojeným s zvýšeným obsahem antokyanu), které z listů přechází na báze stonků (je méně, kukuřice). Jednodušší rostliny mají menší počet odnoží, mají krátká stébla, která jsou slabě vyvinuta. Listy jsou tmavozelené a postupně přechází do červenofialové barvy. U jarních je méně mohou být osiny fialové. Dvořadí rostliny mají listy s dlouhým apikem a mohou na nich vznikat červené nebo purpurové pigmenty, později nekrózy označované jako bronzování. U ovocných stromů (jablono, broskvo) lze nedostatek fosforu pozorovat kořovitým povrchem listů a bronzovým leskem. Strom poté pozkozený listy předčasně shazuje. Rázení pupenů se opožďuje (Richter, 2004).



### 3.5.8 Nadbytek fosforu

Při nadbytku fosforu dostávají rostliny chlorotické zbarvení a na olutých okrajích se poté vytvářejí hnědo červené skvrny. Nadbytek fosforu se projevuje sníženým příjmem stopových prvků, zejména železa, zinku a manganu. To způsobuje předčasné zrání a snížení výnosů, často se objevuje abnormální vybarvení listů do červenofialové barvy. Nadbytek fosforu zkracuje vegetační dobu a naopak jeho nedostatek ji prodloužuje (Ryant, 2004).

## 3.6 Hnojiva

### 3.6.1 Potenciální fosforová krize

Fosfor je důležitou složkou hnojiv a je prvkem, který nejvýznamněji ovlivňuje světovou produkci potravin. Příjem fosforu rostlinami je často omezen velmi nízkou rozpustností fosforu v půdě. Fosfor tvoří nerozpustné komplexy s kationty a je zadržován do organické hmoty v důsledku mikrobiální aktivity. V zemědělských systémech je fosfor společně se sklizenými plodinami odebrán, proto je potřeba v půdách s malým obsahem fosforu odebrané množství doplnit ve formě hnojiv. Fosforená hnojiva ve formě fosfátové soli jsou použita na půdách ve velkém množství každý rok. Více jak 60 % fosforu může být v těchto solích zpravidla rozpustný (Barrow, 1980). V důsledku toho zemědělci často používají až čtyikrát větší dávky fosfátu, než které byly odebrány se sklizní. Tato praxe poté vede ke znečištění toků, jezer a podzemních vod. Důsledkem je bujný růst a dalších vodních rostlin ve fosforem znečištěných vodních systémech. Proces je známý jako eutrofizace, který zabíjí ryby a udržuje nerovnováhu vodních ekosystémů (Brady a Well, 2002). V současnosti ovšem zásoby fosfátových hornin docházejí a dopady nedostatku fosfátu budou pravděpodobně obrovské. Zásoby fosfátových hornin (fosforitu), z nichž jsou vyráběna běžná hnojiva, má jen několik zemí, přičemž téměř 90 % jejich zásob je soustředěno v Číně, USA, Maroku, Jordánsku a Jihoafrické Republice. Při současné úrovni spotřeby vyčerpá USA své zásoby fosfátových hornin do 30 let a globální zásoby budou docházet v horizontu 75 až 100 let (USGS, 2013). Navíc fosfát není k dispozici v tropech a subtropích, kde většina obyvatelstva žije a kde vysoce zvláště jsou obzvláště náchylné na nedostatek fosforu. Nedostatek

fosforu byl uveden jako jeden z důvodů, proč v subsaharské Africe snížila produkce potravin během posledních třech desetiletí (Brady a Well, 2002).

V budoucnosti je možné v důsledku nedostatku hnojiv očekávat výrazné zdražení jídla v rozvinutých zemích a část jí hladořmory v zemích nerozvinutých. Problematice nedostatku fosforu přitom není věnována taková pozornost, jako je tomu v případě ropy a jiných nerostných surovin. Zejméne je, že se jedná o významný problém, který v případě, že nebude urychleně řešen, může vyvolat nedežírné následky. Spotřeba hnojiv totiž rychle stoupá jednak kvůli nutnosti produkce stále většího množství potravy pro stoupající množství obyvatel naší planety, tak i kvůli důrazu na produkci biopaliv a limity na jejich minimální obsah v pohonných hmotách (Rosemarin a kol., 2009).

### 3.6.2 Vhodnost istírenských kalů jako hnojiva

Istírenské kaly obsahují dusík a fosfor zejména z procesu nitrifikace a denitrifikace při čištění odpadních vod. To dává kalu jediné výhody, protože tyto prvky jsou esenciální a nezbytné pro růst rostlin. Zároveň však mohou obsahovat i jiné prvky, které mohou být škodlivé po vstupu do lidského potravního řetězce. Pro opětné použití kalů v zemědělství byla zavedena prováděcí směrnice 86/278/EHS, jejíž hlavním cílem je ochrana zdraví a lidského organismu proti přítomnosti nebezpečných látek. Nicméně opětné využití istírenských kalů pro zemědělské účely má dvě problémy: sociální a technické. Technické problémy vznikají v důsledku skutečnosti, že kal se vyrábí po celý rok, zatímco jeho aplikace do půdy se provádí jednou nebo dvakrát za rok, v důsledku toho musí být kal někde skladován (Fytillí a Zabaniotou, 2006).

Část vyprodukovaných městských kalů je dnes používána k rekultivaci úrodné půdy a další podstatná část je zpracovávána v kompostárnách (SÚ, 2014). Pro mnoho států je zemědělské využití istírenských kalů pokládáno za nejracionálnější a zároveň nejlevnější řešení, dochází zde k využití hnojivé hodnoty kalu, recyklaci živin a organických látek (Vícha, 1996). Kaly jsou zdrojem humifikovaných organických látek a živin. Jejich pravidelné používání v systému hnojení zajišťuje návratnost uhlíkatých látek do půdy. Půdy pravidelně hnojené kaly mají vyšší obsah okamžité půdní vlhkosti, vyšší sorpční kapacitu, pórovitost a maximální kapilární kapacitu (Nerudová, 1984). Pro využití kalů ke hnojení

zemědělských půd je tedy rozhodující jejich složení, zejména pak obsah těžkých kovů a toxických látek. (Šálek, 1995). Proto se musí u dávek kalů vody ověřit, zda nejsou překročeny limity pro sledované prvky (vyhl. 382/2001 Sb.).

## 4 Materiál a metody

Pro experimentální část diplomové práce byly využity výsledky z dlouhodobých stacionárních pokusů KAVR. Pokusy byly založeny na lokalitách ( červený Újezd, Hn v eves, Humpolec, Lukavec /u Pacova/, Praha - Suchdol). Založení pokusů bylo provedeno na podzim v roce 1996. V rámci pokusu jsou střídány tři plodiny ve sledu: brambory, pšenice ozimá, ječmen jarní. V diplomové práci jsou vyhodnoceny dvě stanoviště - Lukavec a Praha - Suchdol, kde jsou porovnány různé varianty hnojení: výsledky nehnojené kontrolní varianty (Kontrola), varianta listírenského kalu (Kal), varianta hnojená pouze dusíkem (N) a varianta hnojená minerálním hnojivem (NPK). Pro potřeby pokusu jsou používány kaly z OV Praha - Troja. Na variantě N a NPK byla dávka dusíku k bramborám 120 kg, k pšenici 140 kg a k ječmeni 70 kg. Dohromady 330 kg N za tříleté období. Dávky v kalcích aplikované v pokusech jsou odvozeny od dávky N a určení pro pokusné újevy. Průměrná dávka fosforu na variantě Kal je 201 kg P/ha za tříletý cyklus, přesné dávky P v aplikovaných kalcích v jednotlivých letech jsou popsány v tabulce 8. Na variantě NPK je dávka P 30 kg P/ha u brambor, 30 kg P/ha k pšenici a 30 kg P/ha k ječmeni. Na variantě N a Kontrola je dávka P 0 kg P/ha. Dávky živin v aplikovaných hnojivech jsou uvedeny v tabulce 7. Velikost pokusné parcely je na stanovišti Lukavec 60m<sup>2</sup> a na stanovišti Suchdol 60,5 m<sup>2</sup>. Hodnocen byl odběr P jednotlivými plodinami v závislosti na různých formách hnojení. Rovněž byla hodnocena celková bilance, která popisuje množství aplikovaného P v různých formách hnojení a jeho odběr plodinami za tříleté období (rotace brambor, pšenice ozimá a ječmene jarního). Změny obsahu fosforu byly porovnávány v odběru fosforu v průběhu sledovaných let 1997-2012 v jednotlivých stanovištích, ale také mezi stanovišti navzájem. Sledován byl také obsah P v jednotlivých plodinách a jejich částech (hlízy, zrno, sláma). Všechny výsledky jsou zpracovány pomocí programu Excel a Statistica v. 12 na hladině významnosti 0,05.

### 4.1 Výpočet obsahu P a bilance

Obsah živin v rostlinném materiálu byl stanoven z navážky vzorku 1 g. Vzorky byly zuhelnány v kalcinné kádince na topné desce za řízeného zvýšení teploty 160 - 350 °C a následně zpopelnány v muflové peci při teplotě 500 °C po dobu

16 hodin. Pro podporu rozkladu bylo na závěr rozkladu přidáno 1 ml 1,5% HNO<sub>3</sub>. Mineralizát byl kvantitativně proveden pomocí 1,5% HNO<sub>3</sub> do roztoku. Stanovení P v analytu bylo provedeno optickou emisní spektrometrií s indukovaným plazmatem (ICP-OES). Po této době jsou výsledky obsahu fosforu vyjádřeny v mg P/kg sušiny (ppm). Z výsledků obsahu P a výnosu (t/ha) sklizených částí rostlin (zrno, sláma, hlízy) byl vypočten odběr P (kg/ha).

Bilance je pro všechny varianty počítána v 0dy za jeden cyklus rotace plodin (3 roky). Od dávky hnojiv se v 0dy odečtou hodnoty odběru P za daný cyklus.

Stanoviště	Lukavec	Praha - Suchdol
Lokalizace	49°33'23"N, 14°58'39"E	50°7'40"N, 14°22'33"E
Výrobní oblast	BVO	VO
Nadmořská výška (m n. m.)	610	286
Průměrná roční teplota (°C)	7,7	9,1
Průměrné roční srážky (mm)	666	495
Půdní typ	Kambizem	ernozem
Půdní subtyp	oglejená	modální
Půdní druh (Novák)	hlinito - písitá	hlinito - písitá
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,3	7,5
Cox (%)	1,7	2,6
KVK (mmol(+).kg <sup>-1</sup> )	128	230
P* (mg.kg <sup>-1</sup> )	124	91
K* (mg.kg <sup>-1</sup> )	213	230
Mg* (mg.kg <sup>-1</sup> )	80	240
Ca* (mg.kg <sup>-1</sup> )	1100	9000
Objemová hmotnost (g/cm <sup>3</sup> )	1,27	1,43
Pórovitost celková (% obj.)	52,02	46,14

\* Mehlich III 1:10 w/v

Tab. 9: Charakteristika pokusných stanovišť .

Varianta	brambory			p-ence			je men		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
<b>Kontrola</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kal</b>	330 <sup>1)</sup>	201 <sup>2)</sup>	55 <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0
<b>N</b>	120	0	0	140	0	0	70	0	0
<b>NPK</b>	120	30	100	140	30	100	70	30	100

1) celkový dusík v organických hnojivech

2) průměrná dávka podle obsahu živin v hnojivech

Tab. 7: Průměrné dávky živin (kg/ha) aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu.

Praha - Suchdol					Lukavec				
Kal	dávka kg.parcela <sup>-1</sup>	dávka t.ha <sup>-1</sup>	dávka suz. t.ha <sup>-1</sup>	P kg.ha <sup>-1</sup>	Kal	dávka kg.parcela <sup>-1</sup>	dávka t.ha <sup>-1</sup>	dávka suz. t.ha <sup>-1</sup>	P kg.ha <sup>-1</sup>
1996	157,20	25,98	7,77	234	1996	170,70	28,45	6,94	209
1999	184,90	30,56	9,27	298	1999	183,30	30,55	9,26	297
2002	142,60	23,57	7,07	145	2002	141,40	23,57	7,07	145
2005	170,60	28,20	10,24	496	2005	169,20	28,20	10,24	496
2008	187,00	30,91	11,38	366	2008	186,00	31,00	11,41	367
2011	207,00	34,21	10,07	129	2011	206,00	34,33	10,11	129
<b>Kal</b>	dávka kg.parcela <sup>-1</sup>	dávka t.ha <sup>-1</sup>	dávka suz. t.ha <sup>-1</sup>	P kg.ha <sup>-1</sup>	<b>Kal</b>	dávka kg.parcela <sup>-1</sup>	dávka t.ha <sup>-1</sup>	dávka suz. t.ha <sup>-1</sup>	P kg.ha <sup>-1</sup>
1997	193,80	32,03	9,61	288	1997	192,20	32,03	9,61	288
2000	181,50	30,00	9,33	329	2000	180,00	30,00	9,33	329
2003	190,10	31,42	8,98	263	2003	188,60	31,43	8,98	263
2006	170,40	28,16	9,03	200	2006	168,99	28,16	9,03	200
2009	170,00	28,10	8,69	237	2009	169,00	28,17	8,71	238
2012	214,00	35,37	8,51	226	2012	177,00	29,50	8,27	220
<b>Kal</b>	dávka kg.parcela <sup>-1</sup>	dávka t.ha <sup>-1</sup>	dávka suz. t.ha <sup>-1</sup>	P kg.ha <sup>-1</sup>	<b>Kal</b>	dávka kg.parcela <sup>-1</sup>	dávka t.ha <sup>-1</sup>	dávka suz. t.ha <sup>-1</sup>	P kg.ha <sup>-1</sup>
1998	178,00	29,42	8,83	243	1998	177,00	29,50	8,85	244
2001	205,80	34,02	10,20	310	2001	204,10	34,02	10,21	310
2004	184,90	30,56	9,54	224	2004	183,30	30,55	9,53	224
2007	185,00	30,58	10,15	315	2007	184,00	30,67	10,18	316
2010	181,00	29,92	10,15	595	2010	179,00	29,83	10,12	593

Tab. 8: Dávky a obsah P v aplikovaných kalí ve sledovaném období.

## 5 Výsledky

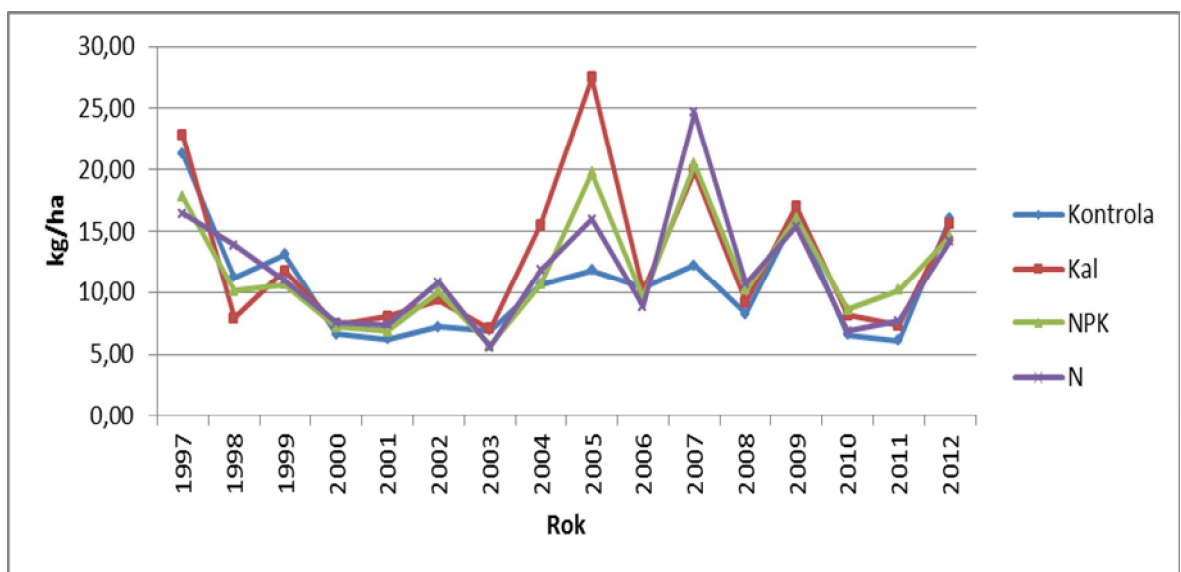
Výsledky jsou prezentovány formou grafů a tabulek. Jednotlivé výsledky jsou uvedeny v příloze. Bilance P jsou uvedeny za jeden cyklus rotace plodin, tj. za 15 let trvání pokusu. Odběr a obsah P u sledovaných plodin byl ovlivněn jak použitým způsobem hnojení, tak i různými klimatickými podmínkami a podmínkami dané oblasti, fyzikálními vlastnostmi a zrnitostním složením jsou uvedeny v tabulce 9 a v tabulce 33 v příloze. S rozdílným vlivem podmín -klimatických podmínek lze také pozorovat odlišnou intenzitu působení hnojiv na odběr P u plodin na daných stanovištích. Z tohoto důvodu jsou výsledky jednotlivých stanovišť uváděny samostatně.

## 5.1 Odběr P

### 5.1.1 Praha - Suchdol

#### 5.1.1.1 Brambory

Průměrná hodnota odběru P u hlíz brambor mezi lety 1997 - 2012 je znázorněna v grafu 3. Z grafu je patrné, že varianta Kontrola má nejnízší odběr P ze všech variant. Průměrné množství odběru P mezi lety 1997 - 2012 je u této varianty 10,69 kg/ha za rok a celkové odebrané množství P mezi lety je 170,98 kg/ha. Nejvyšší odběr P má naopak varianta Kal. Průměrný odběr P mezi lety 1997 - 2012 je 12,77 kg/ha za rok a celkové odebrané množství odběru P mezi lety je 204,38 kg/ha. U varianty NPK byla vypočítána průměrná hodnota odběru P 11,77 kg/ha a průměrný odběr P za dané období je 188,3 kg/ha. Na variantě, kde bylo hnojeno pouze N je průměrné množství odběru P 11,79 kg/ha za rok a součet odběru P je 188,69 kg/ha za dané období. Nejvyšší hodnota odběru P byla vypočítána na variantě Kal v roce 2005, konkrétně 27,48 kg/ha a nejnízší hodnota odběru P byla vypočítána na variantě N v roce 2003, konkrétně 5,55 kg/ha.



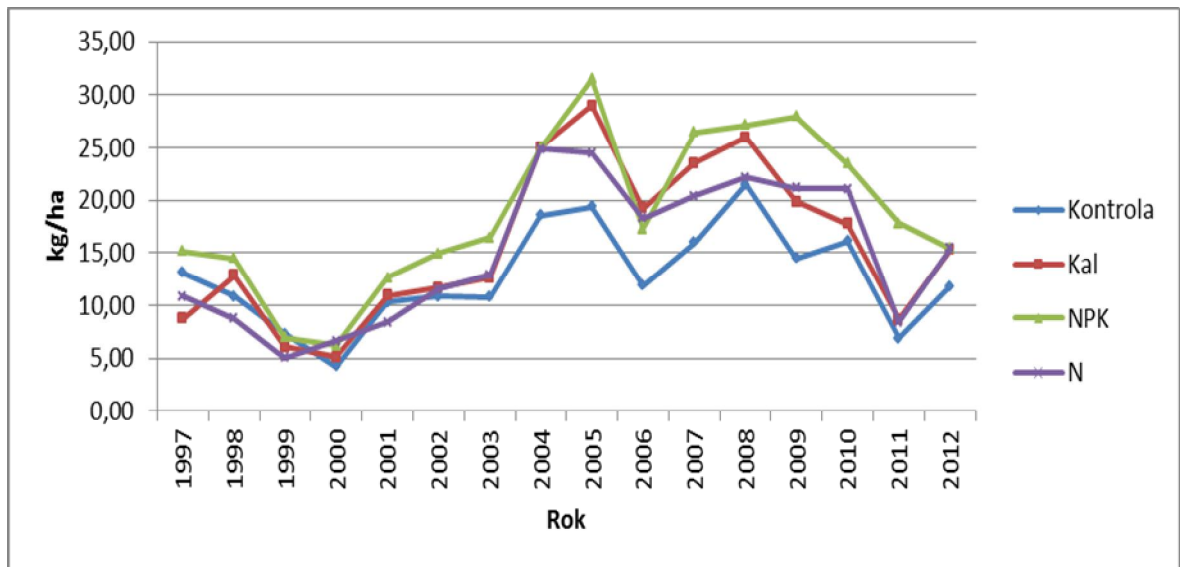
Graf 3: Průměrná hodnota odběru P (kg/ha) u hlíz brambor mezi lety 1997 - 2012 na stanovizti Praha - Suchdol.



## 5.1.1.2 Pýenice ozimá

### 5.1.1.2.1 Zrno

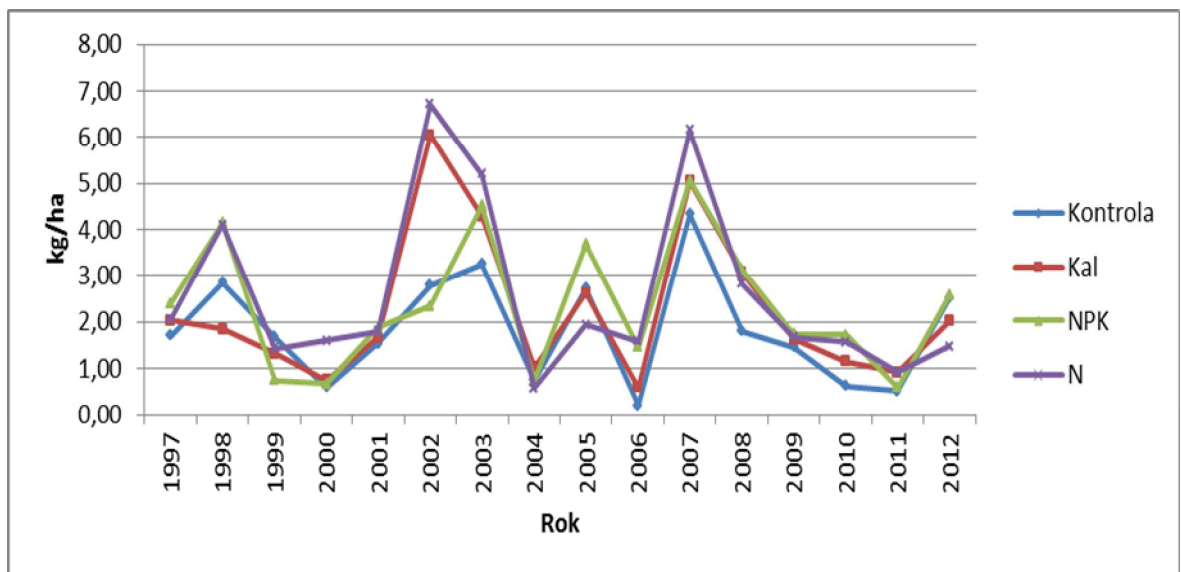
Pr b h odb ru P u zrna pzenice ozimé mezi lety 1997 - 2012 je znázorn n v grafu . 4. Z grafu je patrné, 0e varianta Kontrola má nejní0zí odb r P ze vzech variant. Pr m rné mno0ství odb ru P mezi lety 1997 - 2012 je u této varianty 12,75 kg/ha za rok a celkové odebrané mno0ství P mezi lety je 203,95 kg/ha. Nejvyzzí odb r P má naopak varianta NPK. Pr m rný odb r P mezi lety 1997 - 2012 je 18,67 kg/ha za rok a celkové odebrané mno0ství P mezi lety je 298,74 kg/ha. U varianty Kal byla vypo ítána pr m rná hodnota odb ru P 15,77 kg/ha a pr m rný odb r P za dané období je 252,33 kg/ha. Na variant , kde bylo hnojeno pouze N je pr m rné mno0ství odb ru P 15,02 Kg/ha a sou et odb ru P je 240,31 kg/ha za dané období. Nejvyzzí hodnota odb ru P byla vypo ítána na variant NPK v roce 2005, konkrétn 28,98 kg/ha a nejní0zí hodnota odb ru P byla vypo ítána na variant Kontrola v roce 2000, konkrétn 4,22 kg/ha.



Graf 4: Pr b h odb ru P (kg/ha) u zrna pzenice ozimé mezi lety 1997 - 2012 na stanovizti Praha . Suchdol.

### 5.1.1.2.2 Sláma

Průměrná hodnota obsahu P u slámy pšenice ozimé mezi lety 1997 - 2012 je znázorněna v grafu 5. Z grafu je patrné, že varianta Kontrola má nejnižší obsah P ze všech variant. Průměrné množství odběru P mezi lety 1997 - 2012 je u této varianty 1,84 kg/ha za rok a celkové odebrané množství mezi lety je 29,37 kg/ha. Nejvyšší obsah P má naopak varianta N. Průměrné množství odběru P mezi lety 1997 - 2012 je 2,6 kg/ha za rok a průměrný obsah P mezi lety je 41,64 kg/ha. U varianty Kal byla vypočítána průměrná hodnota odběru P 2,25 kg/ha a průměrný obsah P za dané období je 36,01 kg/ha. Na variantě, kde bylo hnojeno NPK je průměrné množství odběru P 2,34 kg/ha a součet odběru P je 37,40 kg/ha za dané období. Nejvyšší hodnota odběru P byla vypočítána na variantě N v roce 2002, konkrétně 6,71 kg/ha a nejnižší hodnota odběru P byla vypočítána na variantě Kontrola v roce 2006, konkrétně 0,21 kg/ha.

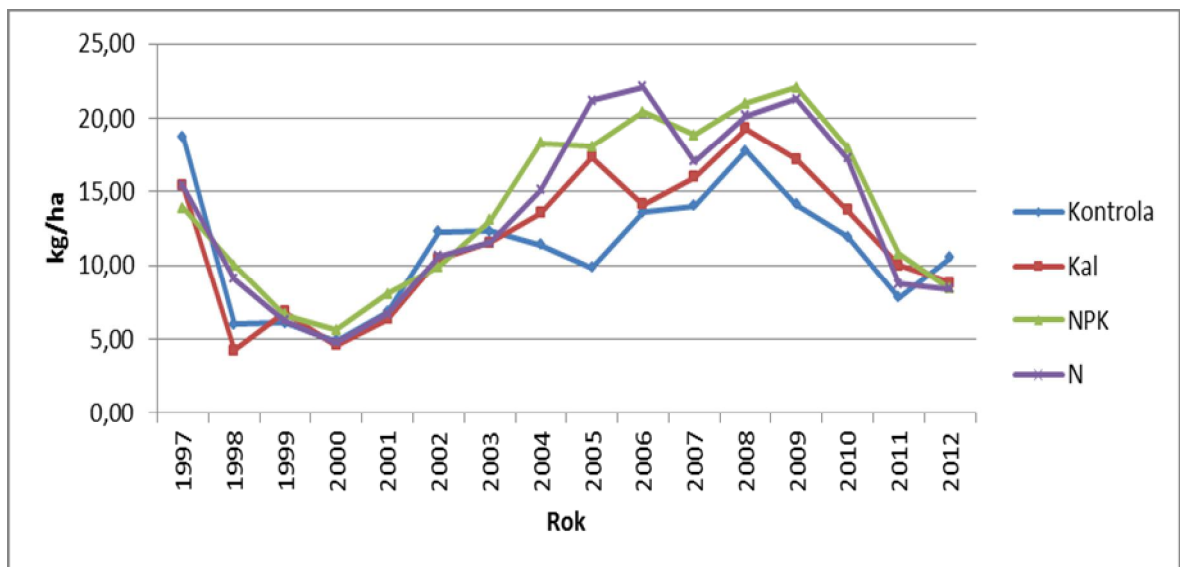


Graf 5: Průměrná hodnota obsahu P (kg/ha) u slámy pšenice ozimé mezi lety 1997 - 2012 na stanovišti Praha - Suchdol.

### 5.1.1.3 Je men jarní

#### 5.1.1.3.1 Zrno

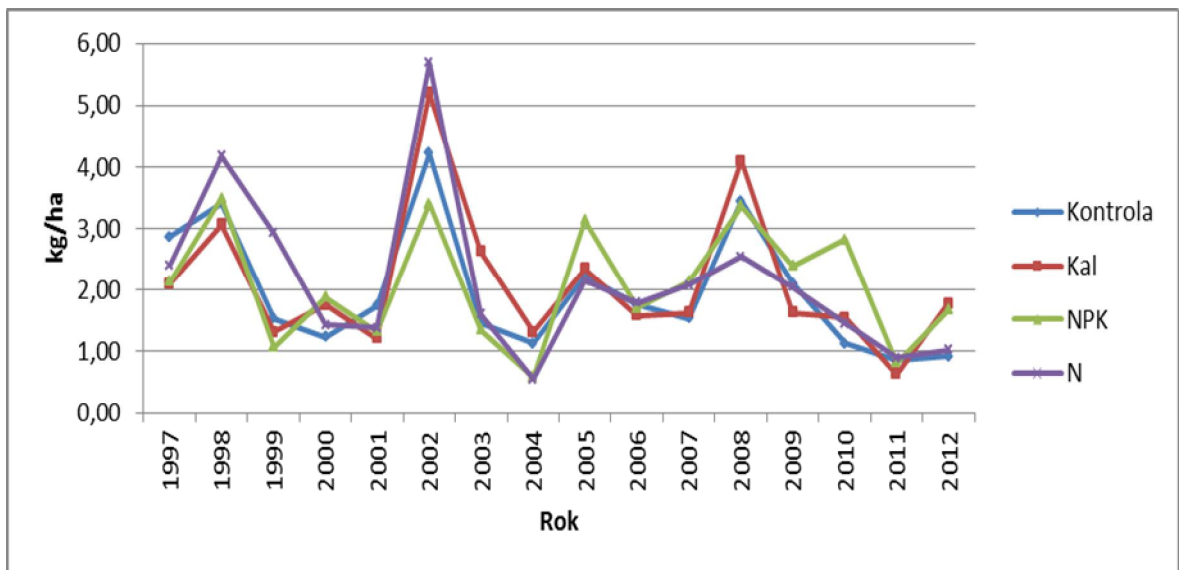
Pr b h odb ru P u zrna je mene jarního mezi lety 1997 - 2012 je znázorn n v grafu . 6. Z grafu je patrné, 0e varianta Kontrola má nejní0zí odb r P ze vzech variant. Pr m rné mno0ství odb ru P mezi lety 1997 - 2012 je u této varianty 11,14 kg/ha za rok a celkové odebrané mno0ství mezi lety je 178,24 kg/ha. Nejvyšzí odb r P má naopak varianta NPK. Pr m rné mno0ství odb ru P mezi lety 1997 -2012 je 13,93 kg/ha za rok a pr m rný odb r P mezi lety je 222,96 kg/ha. U varianty Kal byla vypo ítána pr m rná hodnota odb ru P 11,84 kg/ha a pr m rný odb r P za dané období je 189,44 kg/ha. Na variant , kde bylo hnojeno pouze N je pr m rné mno0ství odb ru P 13,48 Kg/ha a sou et odb ru P je 215,71 kg/ha za dané období. Nejvyšzí hodnota odb ru P byla vypo ítána na variant N v roce 2006, konkrétn 22,13 kg/ha a nejní0zí hodnota odb ru P byla vypo ítána na variant Kal v roce 1998, konkrétn 4,26 kg/ha.



Graf 6: Pr b h odb ru P (kg/ha) u zrna je mene jarního mezi lety 1997 - 2012 na stanovizti Praha . Suchdol.

### 5.1.1.3.2 Sláma

Průměrná hodnota obsahu P u slámy je méně jarního mezi lety 1997 - 2012 je znázorněna v grafu 7. Z grafu je patrné, že varianta Kontrola má nejnižší obsah P ze všech variant. Průměrné množství odběru P mezi lety 1997 - 2012 je u této varianty 1,97 kg/ha za rok a celkové odebrané množství mezi lety je 31,60 kg/ha. Nejvyšší obsah P má naopak varianta N. Průměrné množství odběru P mezi lety 1997 - 2012 je 2,14 kg/ha za rok a průměrný obsah P mezi lety je 34,17 kg/ha. U varianty Kal byla vypočítána průměrná hodnota odběru P 2,11 kg/ha a průměrný obsah P za dané období je 33,82 kg/ha. Na variantě, kde bylo hnojeno NPK je průměrné množství odběru P 2,08 kg/ha a součet odběru P je 33,32 kg/ha za dané období. Nejvyšší hodnota odběru P byla vypočítána na variantě N v roce 2002, konkrétně 5,68 kg/ha a nejnižší hodnota odběru P byla vypočítána rovnou 0 na variantě N v roce 2004, konkrétně 0,56 kg/ha.

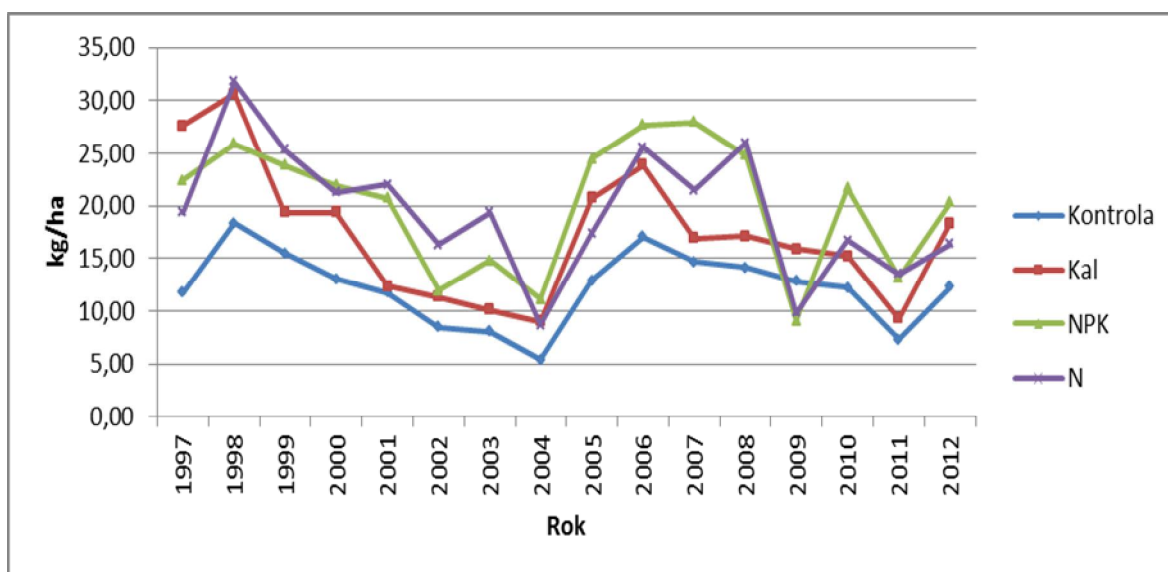


Graf 7: Průměrná hodnota obsahu P (kg/ha) u slámy je méně jarního mezi lety 1997 - 2012 na stanovišti Praha - Suchdol.

## 5.1.2 Lukavec

### 5.1.2.1 Brambory

Průměrná hodnota odběru P u hlíz brambor mezi lety 1997 - 2012 je znázorněna v grafu 8. Z grafu je patrné, že varianta Kontrola má nejnižší odběr P ze všech variant. Průměrné množství odběru P mezi lety 1997 - 2012 je u této varianty 12,22 kg/ha za rok a celkové odebrané množství mezi lety je 195,46 kg/ha. Nejvyšší odběr P má naopak varianta NPK. Průměrné množství odběru P mezi lety 1997 - 2012 je 20,12 kg/ha za rok a průměrný odběr P mezi lety je 321,88 kg/ha. U varianty Kal byla vypočítána průměrná hodnota odběru P 17,31 kg/ha a průměrný odběr P za dané období je 277,03 kg/ha. Na variantě, kde bylo hnojeno pouze N je průměrné množství odběru P 19,44 kg/ha a součet odběru P je 311,03 kg/ha za dané období. Nejvyšší hodnota odběru P byla vypočítána na variantě N v roce 1998, konkrétně 31,75 kg/ha a nejnižší hodnota odběru P byla vypočítána rovnou 0 na variantě Kontrola v roce 2004, konkrétně 5,36 kg/ha.

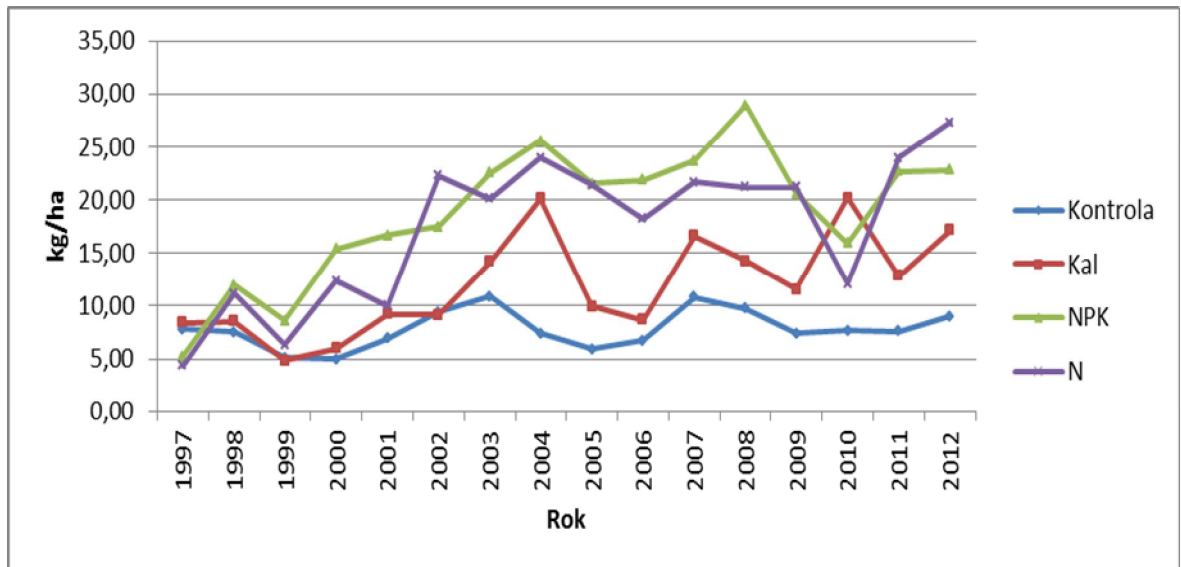


Graf 8: Průměrná hodnota odběru P (kg/ha) u hlíz brambor mezi lety 1997 - 2012 na stanovizti Lukavec.

## 5.1.2.2 Pýenice ozimá

### 5.1.2.2.1 Zrno

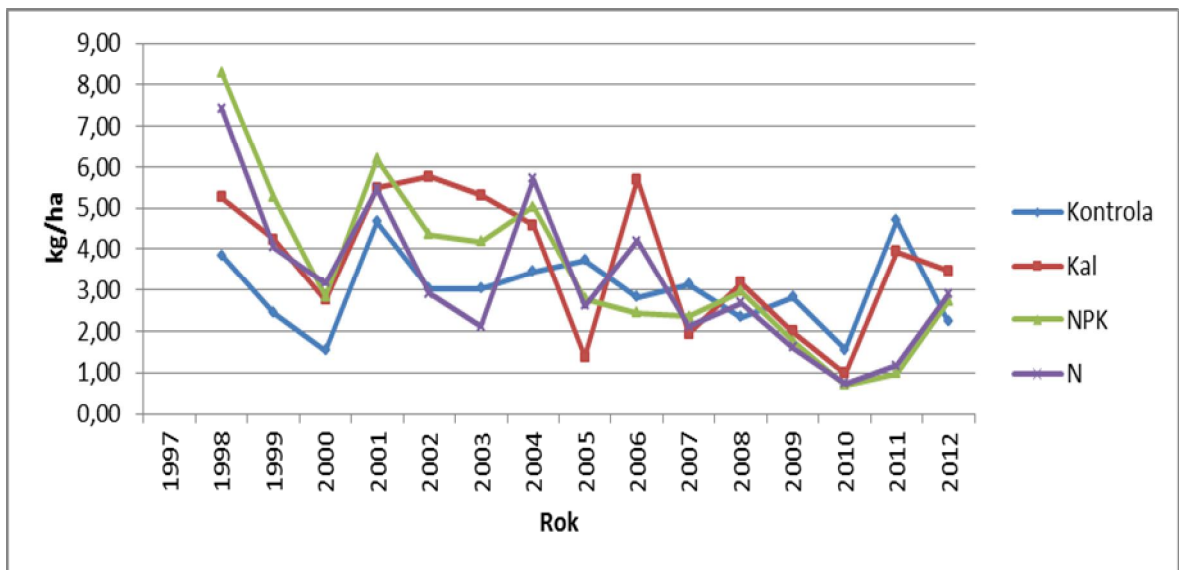
Pr b h odb ru P u zrna pzenice ozimé mezi lety 1997 - 2012 je znázorn n v grafu . 9. Z grafu je patrné, 0e varianta Kontrola má nejní0zí odb r P ze vzech variant. Pr m rné mno0ství odb ru P mezi lety 1997 - 2012 je u této varianty 7,80 kg/ha za rok a celkové odebrané mno0ství mezi lety je 124,75 kg/ha. Nejvyzzí odb r P má naopak varianta NPK. Pr m rné mno0ství odb ru P mezi lety 1997 - 2012 je 18,84 kg/ha za rok a pr m rný odb r P mezi lety je 301,49 kg/ha. U varianty Kal byla vypo ítána pr m rná hodnota odb ru P 11,97 kg/ha a pr m rný odb r P za dané období je 191,56 kg/ha. Na variant , kde bylo hnojeno pouze N je pr m rné mno0ství odb ru P 17,35 Kg/ha a sou et odb ru P je 277,59 kg/ha za dané období. Nejvyzzí hodnota odb ru P byla vypo ítána na variant NPK v roce 2008, konkrétn 28,92 kg/ha a nejní0zí hodnota odb ru P byla vypo ítána na variant N v roce 1997, konkrétn 4,33 kg/ha.



Graf 9: Pr b h odb ru P (kg/ha) u zrna pzenice ozimé mezi lety 1997 - 2012 na stanovizti Lukavec.

### 5.1.2.2 Sláma

Průměrná hodnota obsahu P u slámy pšenice ozimé mezi lety 1998 - 2012 (rok 1997 není doplněn z důvodu chybějících informací v tomto roce) je znázorněn v grafu 10. Z grafu je patrné, že varianta Kontrola má nejnižší obsah P ze všech variant. Průměrné množství obsahu P mezi lety 1998 - 2012 je u této varianty 3,03 kg/ha za rok a celkové odebrané množství mezi lety je 45,39 kg/ha. Nejvyšší obsah P má naopak varianta Kal. Průměrné množství obsahu P mezi lety 1998 - 2012 je 3,73 kg/ha za rok a průměrný obsah P mezi lety je 55,96 kg/ha. U varianty NPK byla vypočítána průměrná hodnota obsahu P 3,52 kg/ha a průměrný obsah P za dané období je 52,87 kg/ha. Na variantě, kde bylo hnojeno pouze N je průměrné množství obsahu P 3,26 kg/ha a součet obsahu P je 48,88 kg/ha za dané období. Nejvyšší hodnota obsahu P byla vypočítána na variantě NPK v roce 1998, konkrétně 8,31 kg/ha a nejnižší hodnota obsahu P byla vypočítána rovnou 0 na variantě NPK v roce 2010, konkrétně 0,70 kg/ha.

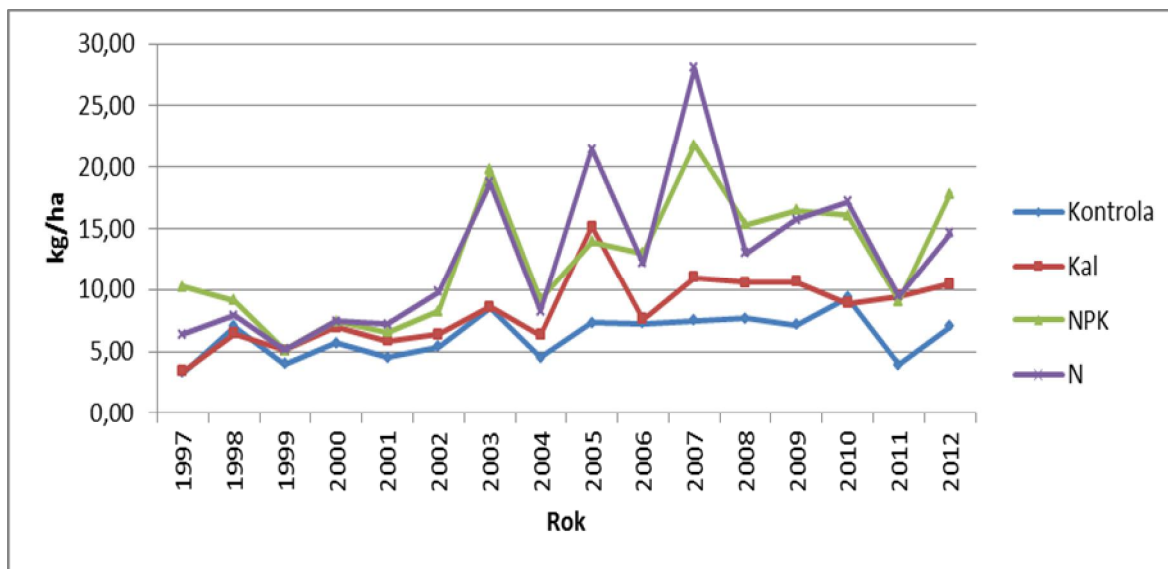


Graf 10: Průměrná hodnota obsahu P (kg/ha) u slámy pšenice ozimé mezi lety 1997-2012 na stanovišti Lukavec.

### 5.1.2.3 Je men jarní

#### 5.1.2.3.1 Zrno

Pr b h odb ru P u zrna je mene jarního mezi lety 1997 - 2012 je znázorn n v grafu . 11. Z grafu je patrné, 0e varianta Kontrola má nejní0zí odb r P ze vzech variant. Pr m rné mno0ství odb ru P mezi lety 1997 - 2012 je u této varianty 6,26 kg/ha za rok a celkové odebrané mno0ství mezi lety je 100,13 kg/ha. Nejvyzzí odb r P má naopak varianta N. Pr m rné mno0ství odb ru P mezi lety 1997 - 2012 je 12,66 kg/ha za rok a pr m rný odb r P mezi lety je 202,49 kg/ha. U varianty Kal byla vypo ítána pr m rná hodnota odb ru P 8,30 kg/ha a pr m rný odb r P za dané období je 132,79 kg/ha. Na variant , kde bylo hnojeno NPK je pr m rné mno0ství odb ru P 12,45 Kg/ha a sou et odb ru P je 199,27 kg/ha za dané období. Nejvyzzí hodnota odb ru P byla vypo ítána na variant N v roce 2007, konkrétn 28,09 kg/ha a nejní0zí hodnota odb ru P byla vypo ítána na variant Kontrola v roce 1997, konkrétn 3,30 kg/ha.

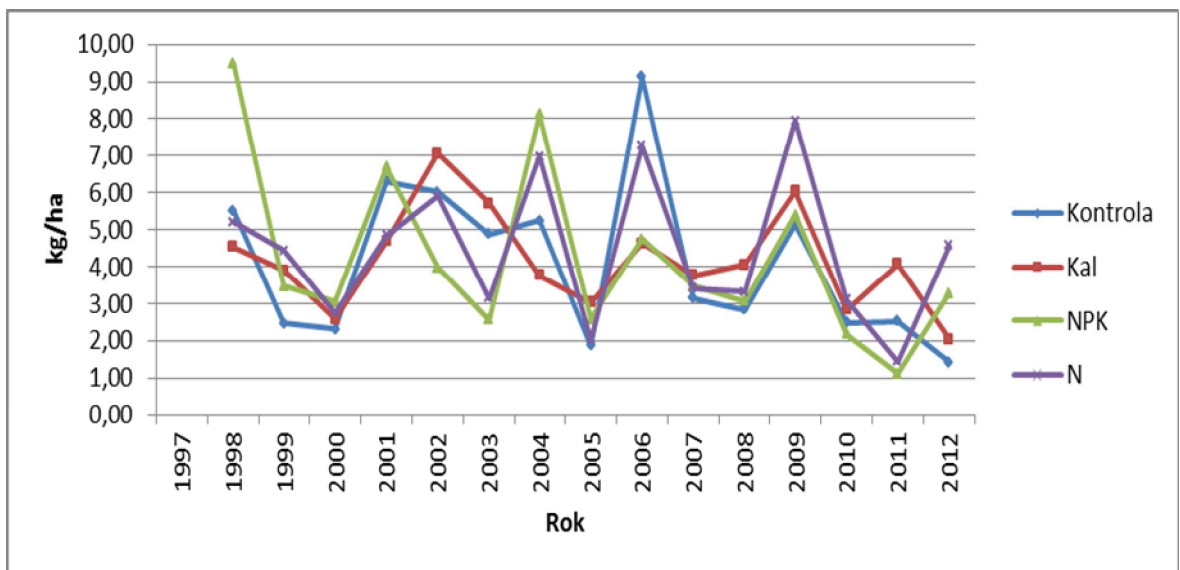


Graf 11: Pr b h odb ru P (kg/ha) u zrna je mene jarního mezi lety 1997 - 2012 na stanovizti Lukavec.



### 5.1.2.3.2 Sláma

Průměrná hodnota odběru P u slámy je méně jarního mezi lety 1998 - 2012 (rok 1997 není doplněn z důvodu chybějících údajů v tomto roce) je znázorněn v grafu 12. Z grafu je patrné, že varianta Kontrola má nejnižší odběr P ze všech variant. Průměrné množství odběru P mezi lety 1998 - 2012 je u této varianty 4,09 kg/ha za rok a celkové odebrané množství mezi lety je 61,28 kg/ha. Nejvyšší odběr P má naopak varianta N. Průměrné množství odběru P mezi lety 1998 - 2012 je 4,42 kg/ha za rok a průměrný odběr P mezi lety je 66,34 kg/ha. U varianty Kal byla naměřena průměrná hodnota odběru P 4,18 kg/ha a průměrný odběr P za dané období je 62,65 kg/ha. Na variantě, kde bylo hnojeno NPK je průměrné množství odběru P 4,21 kg/ha a součet odběru P je 63,16 kg/ha za dané období. Nejvyšší hodnota odběru P byla vypočítána na variantě NPK v roce 1998, konkrétně 9,48 kg/ha a nejnižší hodnota odběru P byla vypočítána rovnou 0 na variantě NPK v roce 2011, konkrétně 1,12 kg/ha.



Graf 12: Průměrná hodnota odběru P (kg/ha) u slámy je méně jarního mezi lety 1997-2012 na stanovizti Lukavec.

## 5.2 Bilance odb ru P

Plodiny byly p stovány v rotaci na p stovaných blocích. Schéma rotace plodin je uvedeno v tabulce . 10. Bilance plodin byla po ítána v0dy za 3 leté období. Systém pokusu je zalo0en tak, aby mohly být p stovány ka0dý rok vzechny 3 plodiny s ohledem na vliv ro níku. U bloku 1 je za átek rotace plodin v roce 1997 a konec v roce 2011, u bloku 2 je za átek rotace plodin v roce 1998 a konec v roce 2012 a u bloku 3 je za átek rotace plodin v roce 1999 a kon í rovn 0 v roce 2013. Do výsledk diplomové práce jsou vzak zapo ítány pouze bilance do roku 2012, jeliko0 vzorky z roku 2013 jsou jezt analyzovány.

Rok	Rotace plodin		
	Blok 1	Blok 2	Blok 3
1997	Br	Je	Pš
1998	Pš	Br	Je
1999	Je	Pš	Br
2000	Br	Je	Pš
2001	Pš	Br	Je
2002	Je	Pš	Br
2003	Br	Je	Pš
2004	Pš	Br	Je
2005	Je	Pš	Br
2006	Br	Je	Pš
2007	Pš	Br	Je
2008	Je	Pš	Br
2009	Br	Je	Pš
2010	Pš	Br	Je
2011	Je	Pš	Br
2012	Br	Je	Pš <sup>1)</sup>

Br. - brambory, Pz. - pzenice ozimá, Je. - je men jarní

1) Neúplná rotace plodin v Bloku 3 . chybí odb r P v roce 2013 u je mene jarního

Tab. 10: Schéma rotace plodin na bloku 1,2 a 3.

### 5.2.1 Kontrola

Na stanovizti Lukavec byla vypoítána průmrná bilance u varianty Kontrola -31 kg P/ha. Nejvyšší záporná hodnota byla vypoítána mezi lety 2006 . 2008 na bloku 1, konkrétn -42 kg P/ha. Naopak nejnížší záporná hodnota byla vypoítána mezi lety 2011 . 2012 na bloku 3, konkrétn -19 kg P/ha, kde však není zaženo odbírání P je menem jarním v roce 2013. Průmrný odbír je menem jarního (zrno + sláma) byl vypoítán 10,35 kg P/ha. Druhá nejnížší hodnota byla vypoítána mezi lety 2009 . 2011 na bloku 1, konkrétn -21 kg P/ha.

Na stanovizti Praha - Suchdol byla vypoítána průmrná bilance u varianty Kontrola -36 kg P/ha. Nejvyšší záporná hodnota byla vypoítána mezi lety 2006 . 2008 na bloku 1 a zároveň mezi lety 2007 - 2009, konkrétn -52 kg P/ha. Naopak nejnížší záporná hodnota byla vypoítána mezi lety 2011 . 2012 na bloku 3, konkrétn -20 kg P/ha, kde však není zaženo odbírání P je menem jarním v roce 2013. Průmrný odbír je menem jarního (zrno + sláma) je 13,11 kg P/ha. Druhá nejnížší hodnota byla vypoítána mezi lety 2010 . 2012 na bloku 2, konkrétn -25 kg P/ha.

Rok	Bilance P (kg/ha)			Rok	Bilance P (kg/ha)		
	Blok 1	Blok 2	Blok 3		Blok 1	Blok 2	Blok 3
1997				1997			
1998	-30			1998	-43		
1999		-34		1999		-26	
2000			-33	2000			-26
2001	-36			2001	-35		
2002		-38		2002		-34	
2003			-32	2003			-34
2004	-28			2004	-38		
2005		-31		2005		-48	
2006			-33	2006			-40
2007	-42			2007	-52		
2008		-39		2008		-52	
2009			-36	2009			-37
2010	-21			2010	-26		
2011		-33		2011		-25	
2012			-19 <sup>1)</sup>	2012			-20 <sup>1)</sup>

Lukavec

Praha - Suchdol

1) Neúplná rotace plodin v Bloku 3 . chybí odbírání P v roce 2013 u je menem jarního

Tab. 11: Hodnoty bilancí u varianty Kontrola na stanoviztích Lukavec a Praha . Suchdol.

## 5.2.2 Kal

Na stanovizti Lukavec byla vypoítána pr m rná bilance u varianty Kal +256 kg P/ha. Nejvyzzí hodnota byla vypoítána mezi lety 2011 . 2013 na bloku 3, konkrétn +563 kg P/ha, kde vzak není za azen odb r P je menem jarním v roce 2013. Druhá nejvyzzí hodnota byla vypoítána mezi lety 2006 . 2008 na bloku 1, konkrétn +439 kg P/ha. Naopak nejní0zí hodnota byla vypoítána mezi lety 2003 . 2005 na bloku 1, konkrétn +92 kg P/ha.

Na stanovizti Praha - Suchdol byla vypoítána pr m rná bilance u varianty Kal +258 kg P/ha, kde vzak není za azen odb r P je menem jarním v roce 2013. Druhá nejvyzzí hodnota byla vypoítána mezi lety 2006 . 2008 na bloku 1, konkrétn +434 kg P/ha. Naopak nejní0zí hodnota byla vypoítána mezi lety 2003 . 2005 na bloku 1, konkrétn +92 kg P/ha.

Rok	Bilance P (kg/ha)			Rok	Bilance P (kg/ha)		
	Blok 1	Blok 2	Blok 3		Blok 1	Blok 2	Blok 3
1997				1997			
1998	+159			1998	+189		
1999		+238		1999		+266	
2000			+205	2000			+218
2001	+250			2001	+262		
2002		+287		2002		+289	
2003			+270	2003			+269
2004	+92			2004	+92		
2005		+230		2005		+200	
2006			+174	2006			+159
2007	+439			2007	+434		
2008		+149		2008		+132	
2009			+274	2009			+259
2010	+316			2010	+319		
2011		+193		2011		+209	
2012			+563 <sup>1)</sup>	2012			+570 <sup>1)</sup>

Lukavec

Praha - Suchdol

1) Neúplná rotace plodin v Bloku 3 . chybí odb r P v roce 2013 u je mene jarního

Tab. 12: Hodnoty bilancí u varianty kal ve stanoviztích Lukavec a Praha . Suchdol.

### 5.2.3 NPK

Na stanovizti Lukavec byla vypoítána průmrná bilance u varianty NPK +31 kg P/ha. Nejvyšší hodnota byla vypoítána mezi lety 2009 . 2011 na bloku 1, konkrétně +54 kg P/ha. Naopak nejnižší hodnota byla vypoítána mezi lety 2007 . 2009 na bloku 2, konkrétně +8 kg P/ha.

Na stanovizti Praha - Suchdol byla vypoítána průmrná bilance u varianty NPK +42 kg P/ha. Nejvyšší hodnota byla vypoítána mezi lety 1998 . 2000 na bloku 2, konkrétně +65 kg P/ha. Naopak nejnižší hodnota byla vypoítána mezi lety 2007 . 2009 na bloku 2, konkrétně +15 kg P/ha.

Rok	Bilance P (kg/ha)			Rok	Bilance P (kg/ha)		
	Blok 1	Blok 2	Blok 3		Blok 1	Blok 2	Blok 3
1997				1997			
1998	+39			1998	+46		
1999		+40		1999		+65	
2000			+35	2000			+63
2001	+33			2001	+55		
2002		+25		2002		+51	
2003			+34	2003			+40
2004	+28			2004	+37		
2005		+37		2005		+22	
2006			+16	2006			+31
2007	+18			2007	+25		
2008		+8		2008		+15	
2009			+25	2009			+29
2010	+54			2010	+37		
2011		+24		2011		+53	
2012			+51 <sup>1)</sup>	2012			+62 <sup>1)</sup>

1) Neúplná rotace plodin v Bloku 3 . chybí odběr P v roce 2013 u je méně jarního

Tab. 13: Hodnoty bilancí u varianty NPK ve stanoviztích Lukavec a Praha . Suchdol.

## 5.2.4 N

Na stanovizti Lukavec byla vypoítána pr m rná bilance u varianty N -58 kg P/ha. Nejvyzzí záporná hodnota byla vypoítána mezi lety 2003 . 2005 na bloku 1, konkrétn -72 kg P/ha. Naopak nejní0zí záporná hodnota byla vypoítána mezi lety 2009 . 2011 na bloku 1, konkrétn -35 kg P/ha.

Na stanovizti Praha - Suchdol byla vypoítána pr m rná bilance u varianty N -44 kg P/ha. Nejvyzzí záporná hodnota byla vypoítána mezi lety 2007 . 2009 na bloku 2 a zárove mezi lety 2007 - 2009, konkrétn -73 kg P/ha. Naopak nejní0zí záporná hodnota byla vypoítána mezi lety 2011 . 2012 na bloku 3, konkrétn -25 kg P/ha, kde vzak není za azen odb r P je menem jarním v roce 2013. Druhá nejní0zí hodnota byla vypoítána mezi lety 2010 . 2012 na bloku 2, konkrétn -26 kg P/ha.

Rok	Bilance P (kg/ha)			Rok	Bilance P (kg/ha)		
	Blok 1	Blok 2	Blok 3		Blok 1	Blok 2	Blok 3
1997				1997			
1998	-48			1998	-38		
1999		-52		1999		-27	
2000			-53	2000			-27
2001	-53			2001	-34		
2002		-69		2002		-39	
2003			-54	2003			-45
2004	-72			2004	-54		
2005		-52		2005		-62	
2006			-71	2006			-55
2007	-66			2007	-58		
2008		-69		2008		-73	
2009			-69	2009			-52
2010	-35			2010	-48		
2011		-61		2011		-26	
2012			-44 <sup>1)</sup>	2012			-25 <sup>1)</sup>

**Lukavec**

**Praha - Suchdol**

1) Neúplná rotace plodin v Bloku 3 . chybí odb r P v roce 2013 u je mene jarního

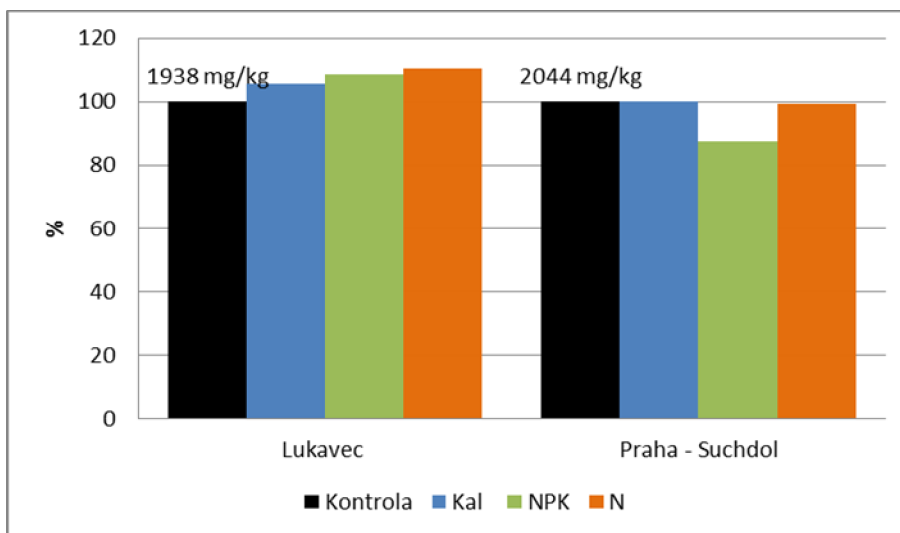
Tab. 14: Hodnoty bilancí u varianty N ve stanoviztích Lukavec a Praha . Suchdol.

### 5.3 Obsah P

Obsahy P v jednotlivých částech rostlin jsou uvedeny v grafech . 13 -17. P i relativním vyjád ení byla kontrolní varianta v0dy 100 %.

#### 5.3.1 Brambory

Na stanovizti Lukavec, na variant Kal v hlízách brambor byl vyzzí obsah P v suzin o 5,5 %, na variant NPK o 8,5 % a na variant N o 10,4 % oproti variant Kontrola. Naopak na stanovizti Praha . Suchdol m la varianta Kontrola v pr m ru nejvyzzí obsah ze vzech 4 variant. Varianta Kal byla ni0zí o 0,1 %, varianta NPK ni0zí o 12,34 % a varianta N ni0zí o 0,73 % oproti variant Kontrola (viz. graf . 13)

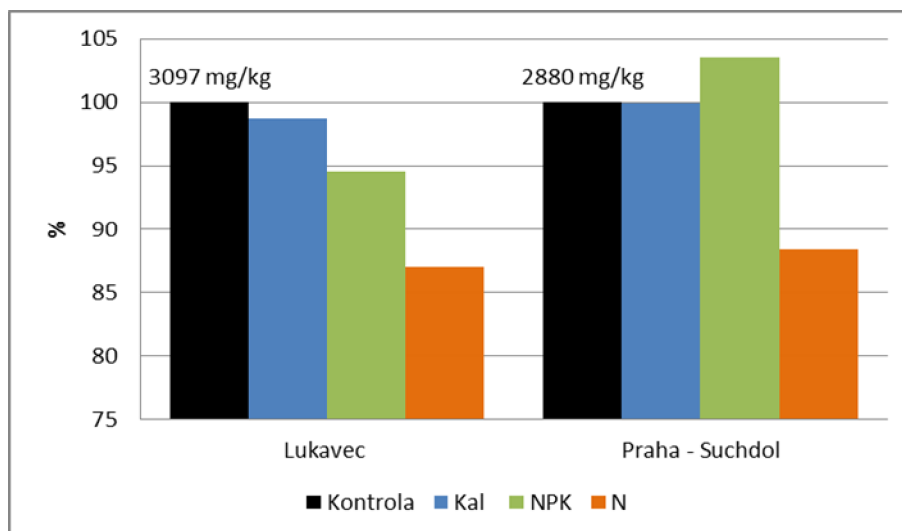


Graf 13: Relativní srovnání zm n obsahu P v hlízách brambor ve vztahu ke kontrole (100%).

#### 5.3.2 Pýenice ozimá

##### 5.3.2.1 Zrno

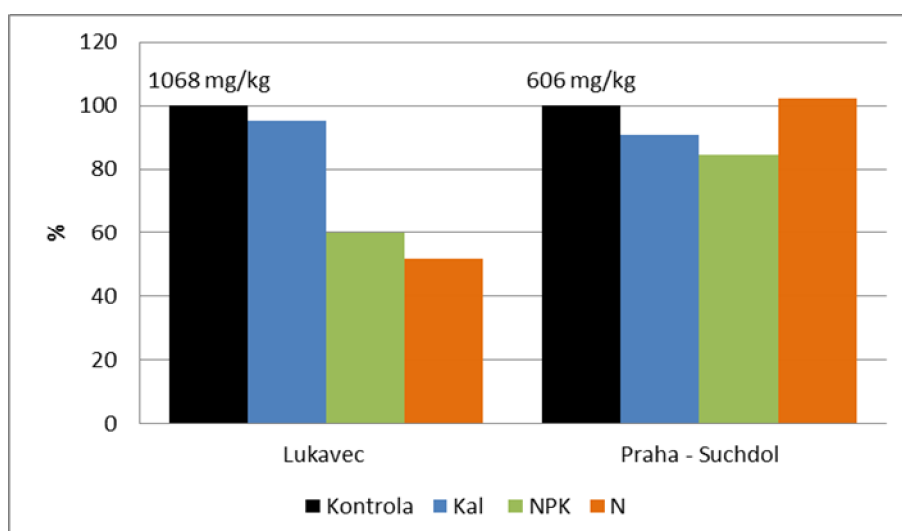
Na stanovizti Lukavec byl obsah P na variant Kal v zrnu pzenice ozimé ni0zí o 1,25 %, na variant NPK ni0zí o 5,4 % a na variant N ni0zí o 13,03 % oproti variant Kontrola. Na stanovizti Praha . Suchdol byl obsah P na variant Kal ni0zí o 0,03 %, na variant NPK vyzzí o 3,52 % a na variant N ni0zí o 11,67 % oproti variant Kontrola (viz. graf . 14)



Graf 14: Relativní srovnání změny obsahu P v zrna pšenice ozimé ve vztahu ke kontrole (100%).

### 5.3.2.2 Sláma

Na stanovizti Lukavec byl obsah P na variant Kal ve slám pšenice ozimé nižší o 4,68 %, na variant NPK nižší o 40,08 % a na variant N nižší o 48,46 % oproti variant Kontrola. Na stanovizti Praha - Suchdol měla varianta Kontrola druhý nejvyšší obsah P ve slám pšenice ozimé ze všech 4 variant. Varianta Kal byla nižší o 9,17 %, varianta NPK nižší o 15,31 % a naopak varianta N vyšší o 2,19 % oproti variant Kontrola (viz. graf 15)



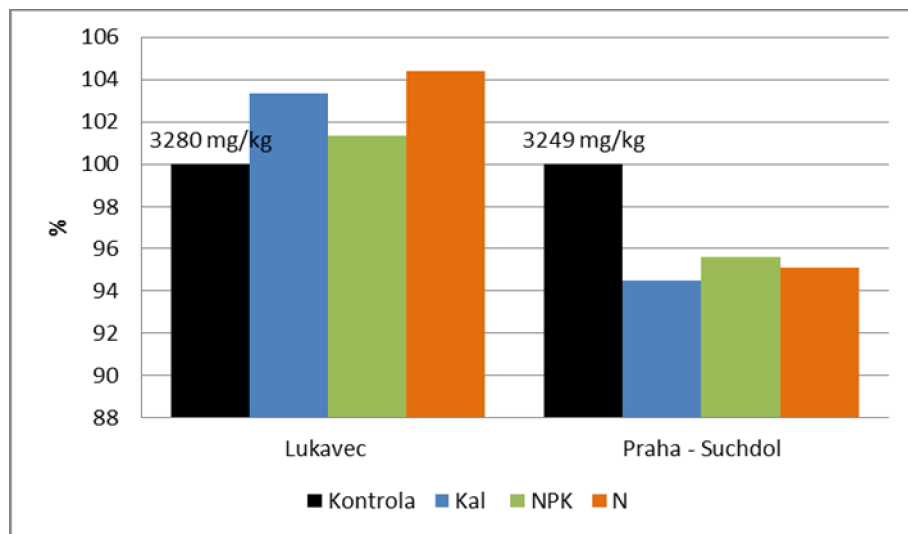
Graf 15: Relativní srovnání změny obsahu P ve slám pšenice ozimé ve vztahu ke kontrole (100%).



### 5.3.3 Je méně jarní

#### 5.3.3.1 Zrno

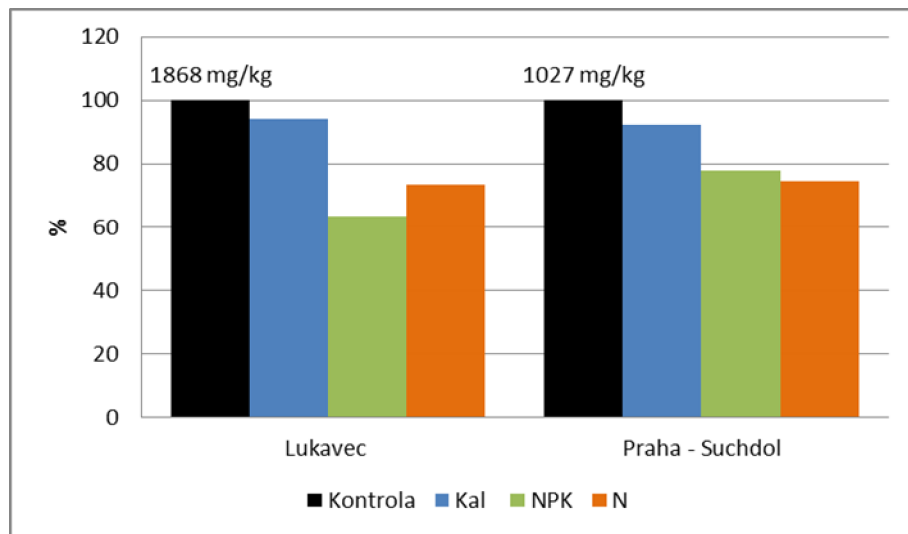
Na stanovizti Lukavec byl obsah P na variantě Kal v zrně méně jarního vyžíví o 3,36 %, na variantě NPK vyžíví o 1,34 % a na variantě N vyžíví o 4,41 % oproti variantě Kontrola. Na stanovizti Praha - Suchdol má varianta Kontrola naopak průměrný nejvyšší obsah P v zrně je méně jarního ze všech 4 variant. Varianta Kal byla nižší o 5,55 %, varianta NPK nižší o 4,41 % a varianta N nižší o 4,91 % oproti variantě Kontrola (viz. graf 16).



Graf 16: Relativní srovnání změny obsahu P v zrně je méně jarního ve vztahu ke kontrole (100%).

### 5.3.3.2 Sláma

Na stanovizti Lukavec byl obsah P na variant Kal ve slám je mene jarního ni0zí o 5,85 %, na variant NPK ni0zí o 36,5 % a na variant N ni0zí o 26,56 % oproti variant Kontrola. Na stanovizti Praha . Suchdol m la varianta Kontrola op t nejvyzzí obsah P ve slám je mene jarního ze vzech 4 variant. Varianta Kal byla ni0zí o 7,6 %, varianta NPK ni0zí o 21,95 % a varianta N vyzzí o 25,3 % oproti variant Kontrola (viz. graf . 17).



Graf 17: Relativní srovnání zm n obsahu P ve slám je mene jarního ve vztahu ke kontrole (100%).

## 6 Diskuze

Pro dlouhodobé pokusy byla na základě rozdílů mezi dodaným a odebraným množstvím P vypracována bilance P.

Na stanovišti Praha - Suchdol, jak je z tabulek 11 - 14 patrné, byla zjištěna nejhorší bilance odběru P u varianty N. Průměrná hodnota činila  $-44,2 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$  za tříletý cyklus. Záporné hodnoty byly zjištěny i u varianty Kontrola, kde průměrná hodnota činila  $-35,7 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$  za tříletý cyklus. Nižší hodnoty v bilanci P u varianty N oproti variantě Kontrola lze odvodit tím, že na variantě, kde bylo hnojeno pouze dusíkem, bylo dosaženo v průměru vyšších výnosů v hlízách brambor, zrna a slámy v pšenici a zrna i slámy je méně oproti variantě Kontrola, kde nebyly přidávány žádné dávky hnojiv. V korelačních tabulkách 48 a 49, kde jsou znázorněny jednotlivé závislosti (obsah P na odběru P, obsah P na výnosu a výnos na odběru P) na různých formách hnojení, lze pozorovat silnou závislost výnosu jednotlivých částí plodiny na odběru P. Dávky dusíku aplikované na variantě, kde bylo hnojeno pouze N, tak podpořily vyšší biomasy a způsobily vztich výnosů u plodiny, avšak s tím jsou spojeny vyšší odběry P, který je potřebný zejména pro tvorbu zrna u pšenice a je méně a hlíz u brambor. Jak ve své práci popisuje Balík a kol. (2008) dlouhodobým a jednostranným hnojením se také může významně snížit produkční úrodnost. Důraz klade především na používání samotného dusíkatého hnojení, které má dopad na snížení hodnoty pH, snížení sorpční kapacity atd. Scheffer a Schachtschabel (1992) to dokládají hodnotami ze stacionárního pokusu v Halle, kde činila kationtová výměnná kapacita (KVK) u varianty s hnojem  $125 \text{ mmol}_{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ , ale u hnojení minerálním N pouze  $103 \text{ mmol}_{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Při sledování vlivu hnojení na produkční úrodnost je velmi snadno stanovitelná hodnota výměnného  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ . V pokusu v Halle byla u kontroly naměřena hodnota pH 6,2, u hnoje pH 6,6, avšak u hnojení minerálním N byla naměřena hodnota pH pouze 5,6, což dokumentuje negativní dopad jednostranného hnojení.

Naopak kladná bilance se projevila u varianty, kde bylo hnojeno minerálním hnojivem NPK, kde průměrná hodnota činila  $+42,1 \text{ kg P/ha}$  za tříletý cyklus a také u varianty, kde jako hnojivo byly aplikovány čistírenskými kaly, průměrná hodnota činila  $+258,5 \text{ kg P/ha}$  za tříletý cyklus.

Na stanovizti Lukavec, jak je z tabulek . 11 - 14 patrné, byla zjižt na nejmenší bilance odb ru P u varianty N. Pr m rná hodnota inila -57,9 kg P/ha za t íletý cyklus. Záporné hodnoty byly zjižt ny i u varianty Kontrola, kde pr m rná hodnota inila -32,3 kg P/ha za t íletý cyklus. Nižší hodnoty v bilanci P u varianty N oproti variantě Kontrola jsou spojené jako v p ípadě stanoviztí Praha - Suchdol s vyzšími výnosy u varianty hnojené dusíkem a tím spojený i vyzší odb r P. U varianty hnojené minerálním hnojivem NPK lze pozorovat kladnou bilanci. Pr m rná hodnota inila +31,13 kg P/ha za t íletý cyklus a také u varianty, která byla hnojená ístírenskými kaly, kde pr m rná hodnota inila +255,9 kg P/ha za t íletý cyklus. Nejvyššími hodnotami bylo podle p edpoklad dosaženo u varianty, kde bylo použito hnojení ístírenskými kaly, což poukazuje na dostate nou zásobu P v p d po aplikaci ístírenských kal .

Graf . 18 na stanovizti Praha - Suchdol a graf . 19 na stanovizti Lukavec zachycuje pr b h sou tu bilancí r zných variant hnojení na vzech t ech blocích v pr b hu let 1997 - 2012. Je patrné že, varianta, kde bylo hnojeno pouze N a varianta Kontrola má negativní výslednou bilanci. Na variantě Kontrola je výsledná bilance mezi lety 1997 - 2012 na stanovizti Praha . Suchdol -176 kg P/ha a na stanovizti Lukavec -161 kg P/ha. Na variantě N je výsledná bilance mezi lety 1997 - 2012 na stanovizti Praha - Suchdol -221 kg P/ha a na stanovizti Lukavec -280 kg P/ha. Naopak na variantě , kde se hnojilo NPK je pozitivní výsledná bilance. Výsledná bilance mezi lety 1997 - 2012 je na stanovizti Praha - Suchdol +211 kg P/ha a na stanovizti Lukavec +156 kg P/ha. Varianta Kal má ze vzech 4 variant nejvyšší výslednou bilanci mezi lety 1997 - 2012 na stanovizti Praha . Suchdol. Hodnota bilance je +1291 kg P/ha a na stanovizti Lukavec +1279 kg P/ha. P í srovnání sou tu t chto výsledk lze pozorovat vyrovnané výsledné bilance u varianty Kal, kde rozdíl mezi stanovizti iní pouze 12 kg P/ha za celé období. Zatímco u ostatních variant jsou pozorovatelné v tší rozdíly, u varianty Kontrola je rozdíl 15 kg P/ha, u varianty NPK 55 kg P/ha a na variantě N dokonce 59 kg P/ha. Lze tedy konstatovat, že mezi stanovizti (i p estože mají r zné fyzikální a chemické charakteristiky) není výrazný rozdíl v bilanci P po aplikaci ístírenského kalu.

Po aplikaci ístírenských kal je p da dostate n zásobená fosforem, avzak p dní zásobenost je tak vysoká, že by za jistých okolností (vyluhování, povrchový

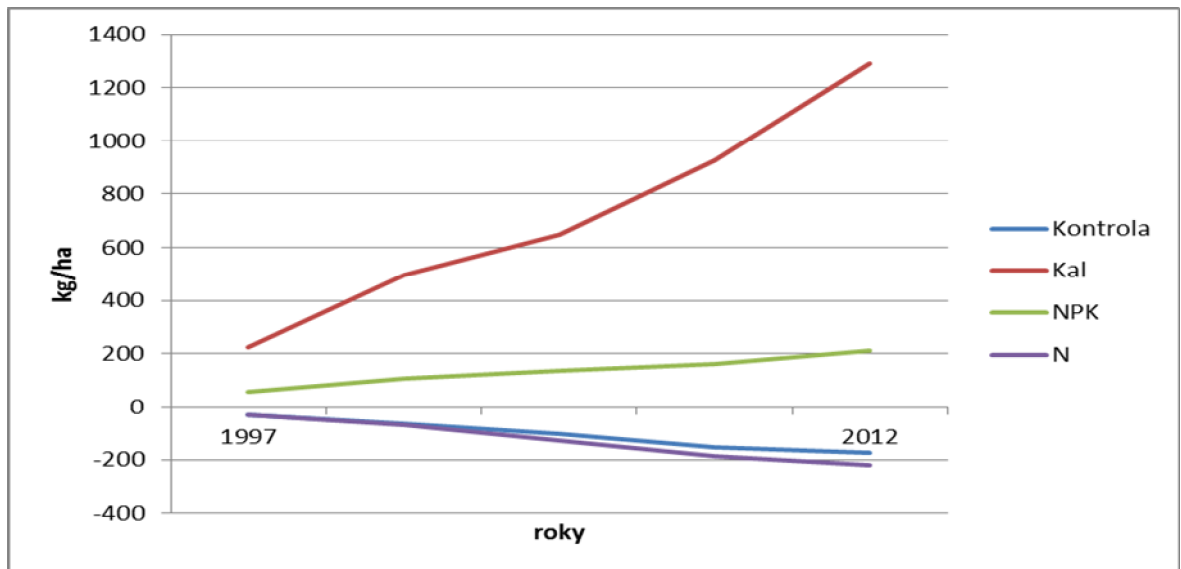
a podpovrchový smyv a eroze) mohlo dojít k vyplavení P z podzemního profilu a způsobit tak znečištění povrchových vod, které následně vede k eutrofizaci. Kelley a kol. (1984) uvádí, že organický fosfor může být oproti anorganickému fosforu více mobilní, avšak v porovnání s dusíkem je pohyblivost P stále zanedbatelná. Ve své práci popisují pokus, kdy aplikovali 0, 87, 174, 244, 288 a 355 kg suziny kalu/ha po dobu 6 let. Příklad vzali na v domě, že množství dodaného P v kalcích je velké, ukázalo se, že pohyblivost P nebyla tak znatelná. Většina fosforu naopak zůstala v horních 90 cm zeminy. De Haan (1981), který prováděl pokus v Nizozemsku, ve své práci rovněž poukazuje na nízkou mobilitu P oproti mobilitě dusíku. Fosfor má nízkou mobilitu v podzemním profilu za normálních podmínek, kdy jsou na povrch pěstovány rostliny, které zabráňují ohrožení povrchových vod prostřednictvím podpovrchového pohybu fosforu.

Ztráty fosforu v podzemí jsou rovněž závislé na podzemním druhu. Zvolená stanoviště Praha - Suchdol a Lukavec jsou hlinito-písčité půdy ve kterých dochází k jednomu z nejvýznamnějších ztrát fosforu vyluhováním. Godlinki a kol. (2004) to ve své práci potvrzují a ještě popisují, že tento typ půdy má v průměru jednu z nejvýznamnějších ztrát fosforu způsobené vyluhováním.

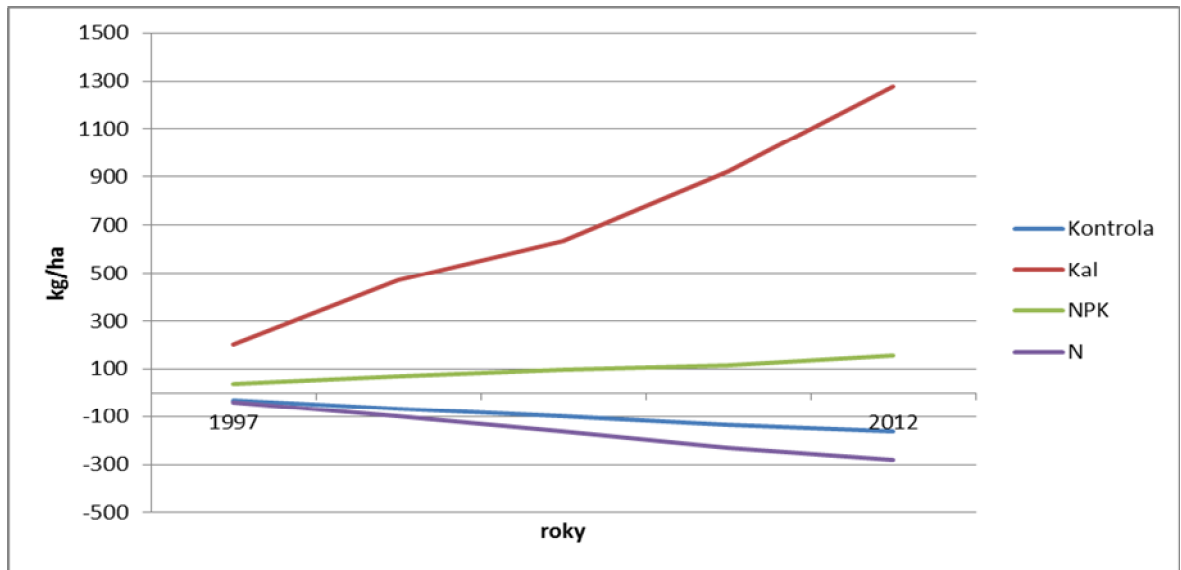
Je však zřejmé, že pokud budou na povrch pěstovány rostliny, neměly by se P z půdy výrazným způsobem vyplavit. Fosfor by se z půdy mohl vyplavit až poté, kdyby byla půda více zásobená fosforem, jako je tomu v obou stanovištích na variantě Kal, zároveň by na povrch nebyly pěstovány rostliny a pravidelně by docházelo k velkým splachům v podobě dežových srážek. Pokud je půda zásobena v takovém množství P je třeba dbát na to, aby na této půdě byly nejlépe celoročně pěstovány plodiny, které zabráňují vyplavení fosforu a zároveň dokážou tento fosfor využít pro svůj růst.

Pokud by bylo přihlíženo k legislativě, bylo by možné aplikovat maximálně 3 t/ha suziny za 3 roky, nebo 10 t/ha suziny za 5 let. Pokud by byla použita dávka kalu aplikovaného v roce 2005 na bloku 1 na stanovišti Praha - Suchdol (10,24 t suziny/ha), toto množství kalu obsahovalo 496 kg P. Výpočet lze zjistit, že kdyby bylo aplikováno pouze 3 t suziny/ha, tak by tato suzina obsahovala přibližně 145 kg P. Naopak, pokud by byla použita dávka kalu aplikovaného v roce 2002 na bloku 1 na stanovišti Praha - Suchdol (7,07 t suziny/ha), tato dávka obsahovala 145 kg P. Výpočet lze zjistit, že kdyby bylo aplikováno pouze

3 t suziny/ha, tak by tato suzina obsahovala pouze okolo 60 kg P. Pr m r tak m 0e reprezentovat kal aplikovaný v roce 1996 na bloku 1 na stanovizti Praha - Suchdol (7,77 t suziny/ha), který obsahoval 234 kg P. Op t lze zjistit, 0e kdyby bylo aplikováno pouze 3 t suziny/ha, tak by tato suzina obsahovala okolo 90 kg P. Pokud by byl aplikován tento kal, tak by bilance odb ru P mezi lety 1996-1998 vycházela +44,39 kg P/ha. Poté by bilance byla tém shodná s bilancí NPK, která je jednozna n kladná a její pr b h zachycuje graf . 18 a graf . 19. Dodaný P by v tomto p ípad sta il pokrýt odb r P rostlinami a navíc by se sní0ilo riziko vyplavení 0ivin do povrchových vod.



Graf 18: Pr b h sou tu bilancí r zných variant hnojení na vzech t ech blocích v pr b hu let 1997 -2012 na stanovizti Praha . Suchdol.



Graf 19: Průběh součtové bilance různých variant hnojení na všech třech blocích v průběhu let 1997 -2012 na stanovizti Lukavec.

Závislost obsahu P na obsahu P dokumentují korelační tabulky (viz. tab. 31 a 32 v příloze). Lze z nich zjistit, že spolu úzce souvisí. Nelze však říci, že obsah P v jednotlivých částech rostliny je přímo úměrný obsahu P v rostlině. Ve výsledcích jsou patrné rozdíly mezi zrnem a slámou u pšenice a je menší, ale také mezi hlízkami brambor a slámou pšenice a je menší. To potvrzuje teorii o transportování fosforu do vegetativních vrcholů, poté do květů a následně do semen, kde tvoří zásobní látky, které jsou později využity při klíčení a pěstování klíčku. Výrazný je také rozdíl mezi jednotlivými stanoviztmi. U zrna je menší a pšenice a u hlízk brambor je obsah fosforu na stanovizti Lukavec výrazně vyšší oproti variantě Kontrola a naopak na stanovizti Praha - Suchdol je nejvyšší obsah fosforu (v jednotlivých částech rostlin) u varianty Kontrola. Lukavec je stanovizt s vyšším obsahem fosforu než stanovizt Praha - Suchdol, ale má nižší půdní úrodnost a především nižší pH. Na stanovizti Lukavec je hodnota pH v zemině 4,3 a na stanovizti Praha - Suchdol pH 7,5. Nízká hodnota pH může výrazně snížit přístupnost P a přesto, že obsah P je v půdě vysoký. Zároveň je KVK u stanovizti Lukavec 128  $\text{mmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$  a na stanovizti Praha - Suchdol 230  $\text{mmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ , což je téměř 2x více. Proto je na stanovizti Lukavec výrazný rozdíl v obsahu P v plodinách mezi variantami, kde je hnojeno a kde naopak hnojeno není. Vysoký obsah P v kontrolní variantě lze také připsat tzv. šetrnému ovocnému efektu. Významnost hnojiva

má negativní dopad na obsah určitých živin ve sklizených plodinách, proto se efekt nazývá efektem "sedání" (živin).

Xu a kol. (2008) také prováděli 15 letý experiment, kde sledovali vliv působení různých forem hnojení na obsah a odběr P v zrna a slámu pšenice. Hodnoty jsou zaznamenány v tab. 15. Námi naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tab. 16.

	Obsah		Odběr	
	Zrno	Sláma	Zrno	Sláma
<b>Kontrola</b>	3,40	0,60	3,51	0,85
<b>NPK</b>	3,50	0,62	15,63	2,89
<b>N</b>	2,78	0,48	3,42	0,73

Tab. 15: Průměrný obsah ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) a průměrný odběr ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) P u pšenice ozimé podle Xu a kol., 2008).

	Obsah					Odběr			
	Suchdol		Lukavec			Suchdol		Lukavec	
	Zrno	Sláma	Zrno	Sláma		Zrno	Sláma	Zrno	Sláma
<b>Kontrola</b>	2,90	0,61	3,10	1,10	<b>Kontrola</b>	12,75	1,84	7,80	3,03
<b>NPK</b>	3,00	0,51	2,90	0,64	<b>NPK</b>	18,67	2,34	18,84	3,52
<b>N</b>	2,50	0,62	2,70	0,55	<b>N</b>	15,02	2,60	17,35	3,26

Tab. 16: Průměrný obsah ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) a průměrný odběr ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) P u pšenice ozimé.

Z tabulek jsou patrné podobné výsledky v průměrném obsahu P, avšak odběr P. Na variantě Kontrola a Na variantě N se výsledky značně liší, zatímco u varianty NPK jsou výsledky podobné jak v zrna, tak i ve slámu. Odlišné výsledky mohou být způsobeny úrodností půdy na původním stanovišti. Xu a kol. ve své práci používají půdy, které mají horší fyzikální a chemické vlastnosti, než má Lukavec a Praha - Suchdol. Rovněž zmíní, že hnojení samotným dusíkem má za následek nižší obsah fosforu oproti Kontrolě, která není hnojená vůbec.

Mohanty a kol. (2005) prováděli pokus, ve kterém zkoumali příjem fosforu rostlinami hnojenými organickými a minerálními hnojivy. V nádobách bylo celkem 6 variant, z toho v prvních čtyřech variantách byla použita organická hnojiva: chlévský hnůj, drbeň trus, vermikompost a listírenské kaly. Dále následovala 5. varianta, kde byl dodán superfosfát a 6. varianta byla kontrola. Organická hnojiva, superfosfát a referenční materiál byly dodány o stejném množství  $17 \text{ mg P kg}^{-1}$ . Pokud organická hnojiva byla aplikována o stejném množství P, obsah N a K byl rozdílný. Hodnoty N, které byly obsaženy ve chlévském hnoji,



dr be0ím trusu, vermikompostu a istírenských kalech byly 302 mg, 577 mg, 1041 mg a 1205 mg. U podzemnice olejné (*Arachis hypogea*) byl nejvyzzí p íjem P zaznamenán u varianty s dr be0ím trusem. To m 0e být zp sobeno tím, 0e vyzzí biomasy u této varianty byl nevyzzí v porovnání s istírenskými kaly a ostatními variantami, ale také tím, 0e istírenské kaly se pomaleji rozkládají a 0iviny se tak stávají dostupn jzími a0 po delzí dob . U list byl celkový p íjem P z hnojiv nejvyzzí u dr be0ího trusu a u chlévského hnoje, avzak u stonku a u zrna byl nejvyzzí u istírenských kal v porovnání s ostatními variantami a kontrolou. Ú innost vyu0ití fosforu je nejvyzzí u istírenských kal . Vzhledem k tomu, 0e dávka celkového P do ka0dé z nádob byla stejná, tak v tzí p íjem P z hnojiv u istírenských kal má za následek i v tzí ú innost. Ú innost hnojiv je v následujícím po adí istírenské kaly > superfosfát > dr be0í trus > chlévský hn j > vermikompost.

Porovnáme-li vyrovnanost odb ru P na obou stanoviztích mezi lety 1997 - 2012 mezi r znými variantami hnojení, lze konstatovat pom rn vyrovnaný odb r u varianty Kal. Tato varianta byla pouze jednou nejni0zí odb r P mezi vzemi variantami, konkrétn v roce 1998 u zrna je mene jarního na stanovizti Praha . Suchdol. D vodem je krátká doba na to, aby se kal hned po zalo0ení pokusu mohl rozlo0it a poskytovat tak rostlinám uvoln ý fosfor. V dalzích letech ji0 nelze pozorovat nejni0zí hodnotu odb ru u varianty Kal a ani nepat í mezi varianty, kde by byl nam en nejvyzzí a zárove nejni0zí odb r P mezi lety 1997 - 2012. Pom rn nevyrovnaný je ovzem odb r P na variant , kde bylo hnojeno pouze N a na variant , kde bylo hnojeno NPK. V roce 2002 byl na stanovizti Praha - Suchdol u slámy je mene jarního zaznamenán nejvyzzí odb r P na variant N, konkrétn 5,68 kg/ha. Avzak o 2 roky pozd ji tj. v roce 2004 byl zaznamenán nejni0zí odb r P a op t to bylo na variant N, konkrétn 0,56 kg/ha. U varianty NPK jsou zaznamenány hned 2 p ípady, kdy byl v této variant pozorován nejvyzzí a i nejni0zí odb r fosforu. U slámy pzenice ozimé na stanovizti Lukavec byl v roce 1998 pozorován nejvyzzí odb r, konkrétn 8,31 kg/ha, avzak v roce 2010 byl pozorován nejni0zí odb r ze vzech 4 variant, konkrétn 0,70 kg/ha. U slámy je mene jarního byla v roce 1998 nam ena nejvyzzí hodnota odb ru P, konkrétn 9,48 kg/ha, ale v roce 2011, byla nam ena nejni0zí hodnota odb ru P ze vzech 4 variant, konkrétn 1,12 kg/ha. Vyrovnaný odb r jako v p ípad varianty Kal vede k stabilním výnos m, proto0e odb r P a výnos spolu úzce souvisí, jak lze pozorovat v korela ních tabulkách

(viz. tab. . 31 a 32 v příloze) a naopak velké odchylky v odběru u varianty N a NPK vedou k nestabilním výnosům. Pokud by bylo jako hnojivo zvoleno zaorávka slámy, bude bilance P záporná, jelikož množství P v zaorané slámě je ve srovnání s odběrem P výrazně vyšší.

V roce 2010 byla provedena měření, při nichž byly zjištěny obsahy fosforu v zemínách na stanovišti Lukavec a Praha - Suchdol.

Na stanovišti Lukavec byla na variantě Kontrola, v roce 2010, vypočítána průměrná hodnota obsahu P v zemině 129 mg/kg. Stejná hodnota tj. 129 mg/kg byla vypočítána i na variantě , kde bylo hnojeno pouze N. Na variantě , kde bylo hnojeno listírenskými kaly byla vypočítána průměrná hodnota 218 mg/kg, jde o nárůst 69 % oproti kontrole. Na variantě , kde bylo aplikováno NPK byl vypočítán průměrný obsah P 160 mg/kg, jde o nárůst 24 % oproti kontrole.

Na stanovišti Suchdol byla na variantě Kontrola, v roce 2010, vypočítána průměrná hodnota obsahu P v zemině 87 mg/kg. Na variantě , kde bylo hnojeno pouze N, byla vypočítána průměrná hodnota pouze 58 mg/kg, jde o pokles 33 % oproti kontrole. Na variantě , kde bylo hnojeno listírenskými kaly byla vypočítána průměrná hodnota 156 mg/kg, což je nárůst o 79 % oproti kontrole. Na variantě , kde bylo aplikováno NPK byl vypočítán průměrný obsah P 78 mg/kg, jde o pokles 10 % oproti roku kontrole.

Nejvyšší nárůst byl pozorován při dlouhodobé aplikaci listírenských kalů. Kidd a kol. (2007) ve svém pokusu uvádí, že dlouhodobá aplikace listírenských kalů vede ke zvýšení biologicky dostupného fosforu, což naměřené výsledky pouze potvrzují. Kulhánek a kol. (2014) sledovali změnu obsahu P v zemině od roku 1996 do roku 2011 na různých variantách hnojení a zjistili, že v porovnání s ostatními variantami má varianta, která byla hnojena listírenskými kaly nejvyšší nárůst obsahu P v zemině oproti jiným variantám. Na stanovišti Humpolec se obsah P v půdě zvýšil ze 100 % v roce 1996 až na 237 % v roce 2011. Při aplikaci hnojiva NPK byl na stanovišti Lukavec pozorován nárůst o 24 % oproti kontrole, zatímco na stanovišti Praha - Suchdol byl pozorován pokles o 10 % oproti kontrole. Důvodem může být vyšší obsah uhlíkaté látky na stanovišti Praha - Suchdol. Dochází k poutání dostupného fosforu na uhlíkaté látky. Ve své práci tento jev popisují Xue a kol. (2013) Fosfor může do těchto vazeb přecházet aplikací minerálních hnojiv, jako je tomu v případě NPK.

Na variantách, kde se aplikuje organické hnojivo, se zvyšuje mobilita P (Wandruszka, 2006).

Rostliny však odebírají nejmobilnější formy P, a tak přesto vychází kladná bilance P na variantách NPK, nebyly vyextrahovány méně mobilní formy (vázané na uhličitany), ale lehce dostupné formy již byly oděrány sklizni.

	<b>Blok 1 - brambory</b>	<b>Blok 2 - pšenice</b>	<b>Blok 3 - ječmen</b>
<b>Kontrola</b>	126	123	138
<b>Kal</b>	220	217	217
<b>N</b>	115	130	141
<b>NPK</b>	142	166	173

Tab. 17: Obsah fosforu v zemině (mg/kg) u různých variant v roce 2010 na stanovizti Lukavec

	<b>Blok 1 - brambory</b>	<b>Blok 2 - pšenice</b>	<b>Blok 3 - ječmen</b>
<b>Kontrola</b>	80	84	97
<b>Kal</b>	179	140	148
<b>N</b>	67	43	64
<b>NPK</b>	72	77	86

Tab. 18: Obsah fosforu v zemině (mg/kg) u různých variant v roce 2010 na stanovizti Praha - Suchdol

## 7 Závěr

- Ze souhrnného porovnání všech tří sledovaných plodin a obou stanovišť vyplývá příznivý vliv aplikace listírenských kalů na obsah P rostlinami. Listírenské kaly přispívají k pozitivní bilanci P v zemi a zlepšují půdní úrodnost.
- Varianta Kal má ze všech 4 variant nejvyšší výslednou bilanci mezi lety 1997 - 2012 na stanovišti Praha - Suchdol, hodnota bilance je +1291 kg P/ha a na stanovišti Lukavec +1279 kg P/ha. Při srovnání součástí těchto výsledků lze pozorovat vyrovnané výsledné bilance u varianty Kal, kde rozdíl mezi stanovišti činí pouze 12 kg P/ha za celé období.
- Na variantě Kal byl pozorován vyrovnaný obsah P. Nevyrovnaný je obsah P na variantě , kde bylo hnojeno pouze N a na variantě , kde bylo hnojeno NPK. Na těchto variantách lze pozorovat jak nejvyšší, tak i nejnižší obsah P za dané období.
- Kdyby bylo aplikováno pouze 3 t sušiny/ha (maximální možné množství sušiny kalu/3 roky dle legislativy), tak by bilance za tříleté období vycházela v průměru +44,39 kg P/ha. Poté by bilance byla téměř shodná s bilancí NPK.
- Obsah P v rostlinách závisí na hodnotě pH a KVK. Nízká hodnota pH může výrazně snižovat přístupnost P i přesto, že obsah P je v půdě vysoký. Vysoký obsah P v kontrolní variantě lze také přičíst tzv. sešlávacímu efektu.
- Po 14 letech od začátku pokusu byly odebrány vzorky zeminy a bylo zjištěno, že dlouhodobá aplikace listírenských kalů vede ke zvýšení obsahu fosforu v zemi. Na stanovišti Lukavec se obsah P zvýšil o 69 % a na stanovišti Praha - Suchdol o 79 % oproti kontrole.
- Současná situace zásob fosfátových hornin jako zdroje pro výrobu hnojiv silně klesá. Z tohoto hlediska je nutno hledat adekvátní náhradu za tento původní zdroj. Tato náhrada nesmí být nadměrně finančně nákladná, musí chránit životní prostředí, tzn. co nejvíce ekologická a hlavně musí být přístupná ve všech částech našeho kontinentu. Listírenské kaly by tak mohly být vhodnou alternativou, jak v budoucnosti nahradit průmyslová fosforená hnojiva.

## 8 Seznam literatury

Arai, Y., Sparks, D.L. 2007. Phosphate reaction dynamics in soils and soil minerals: a multiscale approach. 94. 135. 179.

Bai, Z., Chen, X., Li, H., Shen, J., Yuan, L., Zhang, F., Zhang, J., Zhang, W. 2011. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. 156. 997-1005.

Balík, J., Kulhánek, M., Pavlíková, D., Tlustoz, P., Wisniowska-Kielian, B. 2008. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 185 s. ISBN: 9788021318564.

Balík, J., Pavlíková, D., Vaněk, V., Černý, J. 2008. Vliv hnojení na půdní vlastnosti a půdní úrodnost. Racionální použití hnojiv - sborník z konference. ISBN 978-80-213-2006-2.

Balík, J., Tlustoz, P., Váňa, J. 2004. Pevné odpady. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. str. 52-64.

Barrow, N.J., 1980. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. The role of Phosphorus in Soils. American Society of Agronomy. Madison. 335-355.

Benezová, J., 2004. Technické řešení hygienizace kalů. Odpadové fórum, 5: 17-18.

Bieleski, R.L., 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. Annu Rev Plant Physiol 24. 225. 252.

Brady, N.C., Well, R.R., 2002. The nature and properties of soil. Long Term Viability of U.S. Agriculture. Ames. 13.

Cimados, J., Margesin, R., Schinner, F., 2006. Biological activity during composting of sewage sludge at low temperatures. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 57: 88-92.

erný, J., Balík, J., Kulhánek, M., Švehla, P. 2009. Využití odpad z OV jako zdroje organických látek a živin. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 36 . 41.

SÚ. Vodovody, kanalizace a vodní toky [online] 3.5. 2013. [cit. 2014.1.20] Dostupné z <<http://www.czso.cz/csu/2013edicniplan.nsf/p/2003-13>>.

deHaan, S. 1981. 'Effect of Phosphorus in Sewage Sludge on Phosphorus in Crops and Drainage Water. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company. 241-254.

Devau, N., Le Cadre, E., Gérard, F., Hinsinger, P. 2010. A mechanistic model For understanding root-induced chemical changes controlling phosphorus availability. 105. 1183. 1197.

Dohányos, M., 2004. Strategie nakládání s čistírenskými kalami. *Odpadové fórum*. Ročník 5, číslo 5, 8 . 11.

Dohányos, M., Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 2006-05-09 [cit. 2013-11-21]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.

Dohányos, M., Kutil, J. Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 2005-01-05 [cit. 2013-11-21]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>>. ISSN: 1801-2655.

EPA. Biosolids Technology Fact Sheet, Alkaline Stabilization of Biosolids [online] 1-9- 2000. [cit. 2013-11-27] Dostupné z <<http://nepis.epa.gov/>>.

Furihata, T., Sakurai, H., Suzuki, M., 1992. Kinetic characterization of two phosphate uptake systems with different affinities in suspension-cultured *Catharanthus roseus* protoplasts. *Plant Cell Physiol* 33. 1151. 1157.

Fytili, D., Zabaniotou, A., 2006. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - A review. 12. 116. 140.

Godlinski, F., Leinweber, P., Meissner, R., Seeger, J. 2004. Phosphorus status of soil and leaching losses: results from operating and dismantled lysimeters after 15 experimental years. 68. 47-57.

Helena, K., Hrazdira, J., R. Oek. P., 1998. Využití kal z čistíren odpadních vod. *Odpady*, ro . 5, . 3, 10 . 11.

Holba, M. 2010. Vhodné technologie recyklace fosforu z povrchových a odpadních vod. *ASIONEWS*. . 51, s. 12-16.

Holford, I. C. R. 1997. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Aust J Soil Res* 35. 227. 239.

Kelley, W. D., Martens, D. C., Reneau Jr, R. B., Simpson T. W. 1984. Agricultural Use of Sewage Sludge: A Literature Review. 50 s.

Kidd P.S., Dominguez-Rodriguez M.J., Diez J., Monterosso C. 2007. Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in soils amended by long-term application of sewage sludge. *Chemosphere*, 66: 1458-1467.

Klír, J., Čermák, P., Kunzová, E. 2007. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Praha. 40 s. ISBN 978-80-87011-14-0

Kolář, L., Kužel, S. 2000. Odpadové hospodářství. Jiho česká Univerzita v českých Budějovicích. Zemědělská fakulta. 193 s.

Kotoski, J.E. 1997. Phosphorus Amounts. Spring Harbor Environmental Magnet Middle School. 2. 1-4.

Kulhánek M., Balík J., Černý J., Vazák F., Shejbalová Ľ. 2014. Influence of long-term fertilizer application on changes of the content of Mehlich-3 estimated soil macronutrients. In press

Lupwayi, N.Z., Haue, I., Saka, A.R., Siaw, D.E., 1999. Lucaena hedgerow intercropping and cattle manure application in Ethiopian highlands: II. Maize yields and nutrient uptake. *Biol. Fertil. Soils* 28. 196. 203.

Matěj, L., Zimová M. 2002. Nakládání s kaly z čistíren odpadních vod, *Odpadové fórum*, ro. 1. 17-18.

Mohanty, S., Paikaray, N. K., Rajan, A. R. 2005. Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.). corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. 133. 225 . 230.

MŽP. Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změna vyhlášky MŽP č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Sbírka zákonů. Praha. [online] 1.1.2014. [cit. 2014.2.9] Dostupné z [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/96F060C6A3D87823C125708F00317B16/\\$file/294-05%20-%20odpady%20na%20skl%C3%A1dky.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/96F060C6A3D87823C125708F00317B16/$file/294-05%20-%20odpady%20na%20skl%C3%A1dky.pdf).

Nerudová, M. 1984. Komplexní systém hnojení kaly z čistíren odpadních vod ve veřejných kanalizacích. ÚVTIZ. Praha. 50 s.

Pavlíková, D., Pavlík, M., Balík, J. 2008. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 185 s. ISBN: 9788021318564.

Pitter, P. 1999. Hydrochemie. Vydavatelství VCHT. Praha. 568 s. ISBN: 8070803401.



Portál veřejné zprávy. Vyhláška 382/2001 Sb. o podmínkách používání upravených kal na zemědělské půdě. [online] 1.1.2014. [cit. 2014.2.9] Dostupné z <<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=51787&nr=382~2F2001&rpp=15#local-content>>.

Procházka, S., Krekule, J., Macháková, L., Šebánek, J. 2003. Fyziologie rostlin, Academia, Praha, 484 s.

Richardson, A. E. 1994. Soil microorganisms and phosphorus availability. Soil Biota. 16. 50. 62.

Richter, R. 2004. Symptomy nedostatku a nadbytku fosforu. [online] 23.1.2004 [cit. 2013.9.19]. Dostupné z <[http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/biogenni\\_prvky/psymptomomy.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/psymptomomy.htm)>.

Richter, R., Hluzek, J. 1994. Výživa a hnojení rostlin (I. obecná část). Brno: MZLU. 177s. ISBN 80-7157-138-5.

Richter, R., Kubát, J. 2003. Organická hnojiva, jejich výroba a použití. 2. vydání. Praha. Ústav zemědělských a potravinářských informací. 56 s. ISBN 80-7271-133-4.

Richter, R., Šimovský, K. 1996. Organická hnojiva, jejich výroba a použití. 1. vydání. Praha. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky. 40 s.

Rosemarin, A., de Bruijne, G., Caldwell I. Peak phosphorus [online] 4.8.2009 [cit. 2013.9.19] Dostupné z <<http://www.thebrokeronline.eu/en/Articles/Peak-phosphorus>>.

Ryant, P. 2004. Multimediální učební texty z výživy a hnojení polních plodin. Brno: MZLU.

Schachtman, D. P., Ayling, S.M., Reid, R. J. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell Plant Physiol. American society of plant physiologists symposium publications. 116. 447. 453.

Scheffer, F., Schachtschabel, P. 1992. Lehrbuch der bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

Sinha, R.B., Sakal, R., 1993. Effect of pyrite and organic manures on sulphur nutrition of crops: II. Residual effect on groundnut and wheat. J. Indian Soc. Soil Sci. 41. 316. 320.

Smith, S.E., Read, D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. San Diego. p. 605. ISBN: 0126528403.

Spratt, E.D., Bailey, L.D., Read, D.W.L., Warder, F.G. 1980. Measurement of fertilizer phosphorus residues and its utilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 44. 104. 1200.

Šafaříková, S., Kouřil, M. 2006. Živiny v krajině. České Budějovice: DAPHNE R - Institut aplikované ekologie, Dusík, fosfor, 16 s.

Šálek, J. 1995. Vlivy zemědělského využití listěrenských kalů na životní prostředí. In: Sborník z mezinárodní konference skaly a odpady 95% Brno. 17. - 19. 1995, s. 143 - 150.

Turner, B. L., Mullaney, E. J., Richardson, A. E. 2007. Inositol Phosphates: Linking Agriculture and the Environment. CAB International, Wallingford, UK, p 304.

USGS. Mineral Commodity Summaries [online] 24.1. 2013. [cit. 2013.9.19] Dostupné z <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2013/mcs2013.pdf>>.

Vícha, P. 1996. Zemědělské využití listěrenských kalů. Agronomická fakulta MZLU. Brno. Diplomová práce. s 72.

Vostal, J. 1994. Základy výživy a hnojení hlavních plodin. Praha. Agrofert. 94 s

VŤCHT. kalové hospodá ství ístíren odpadních vod [online] 2.10.2007. [cit. 2013.11.21] Dostupné z <[http://web.vscht.cz/starad/COV\\_Skripta\\_kal\\_hosp.doc](http://web.vscht.cz/starad/COV_Skripta_kal_hosp.doc)>.

VŤCHT. Úplné zn ní zákona . 185/2001 Sb., o odpadech a o zm n n kterých dalzích zákon , jak vyplývá z pozd jzích zm n [online] 31.8.2005. [cit. 2014.2.9] Dostupné z < <http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/normy/05-106.htm>>.

Wandruszka, R. 2006 Phosphorus retention in calcareous soils and the effect of organic matter on its mobility. 1-8.

Xu, T., Jumei L., Yibing, M., Xiying, H., Xiuying, L. 2008. Phosphorus ef, ciency in long-term (15 years) wheat. maize cropping systems with various soil and climate conditions. 108. 231 -237.

Xue, Q., Lu, L., Zhou, Y., Qi, L., Dai, P., Liu, X., Sun, C., Lin X. 2013. Derivin sorption indices for the prediction of potential phosphorus loss from calcareous soils. 21(2):1564-71.

Zábranská, J. 2004. Technologie stabilizace ístírenského kalu s hygieniza ním ú inkem. Odpadové fórum, 5: 14-16.

## 9 P ílohy

### 9.1 Seznam p íloh

- Tab. 1: Obsah P (mg/kg) v hlízách brambor na stanovizti Suchdol.  
Tab. 2: Výnos (t) suziny v hlízách brambor na stanovizti Suchdol.  
Tab. 3: Odb r P (kg/ha) v hlízách brambor na stanovizti Suchdol.  
Tab. 4: Obsah P (mg/kg) v zrnu je mene jarního na stanovizti Suchdol.  
Tab. 5: Výnos (t) zrna je mene jarního na stanovizti Suchdol.  
Tab. 6: Odb r P (kg/ha) v zrnu je mene jarního na stanovizti Suchdol.  
Tab. 7: Obsah P (mg/kg) ve slám je men jarního na stanovizti Suchdol.  
Tab. 8: Výnos (t) slámy je mene jarního na stanovizti Suchdol.  
Tab. 9: Odb r P (kg/ha) ve slám je mene jarního na stanovizti Suchdol.  
Tab. 10: Obsah P (mg/kg) v zrn pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.  
Tab. 11: Výnos (t) zrna pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.  
Tab. 12: Odb r P (kg/ha) v zrn pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.  
Tab. 13: Obsah P (mg/kg) ve slám pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.  
Tab. 14: Výnos (t) slámy pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.  
Tab. 15: Odb r P (kg/ha) ve slám pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.  
Tab. 16: Obsah P (mg/kg) v hlízách brambor na stanovizti Lukavec.  
Tab. 17: Výnos (t) suziny v hlízách brambor na stanovizti Lukavec.  
Tab. 18: Odb r P (kg/ha) v hlízách brambor na stanovizti Lukavec.  
Tab. 19: Obsah P (mg/kg) v zrnu je mene jarního na stanovizti Lukavec.  
Tab. 20: Výnos (t) zrna je mene jarního na stanovizti Lukavec.  
Tab. 21: Odb r P (kg/ha) v zrnu je mene jarního na stanovizti Lukavec.  
Tab. 22: Obsah P (mg/kg) ve slám je men jarního na stanovizti Lukavec.  
Tab. 23: Výnos (t) slámy je mene jarního na stanovizti Lukavec.  
Tab. 24: Odb r P (kg/ha) ve slám je mene jarního na stanovizti Lukavec.  
Tab. 25: Obsah P (mg/kg) v zrnu pzenice ozimé na stanovizti Lukavec.  
Tab. 26: Výnos (t) zrna pzenice ozimé na stanovizti Lukavec.  
Tab. 27: Odb r P (kg/ha) ve slám pzenice ozimé na stanovizti Lukavec.  
Tab. 28: Obsah P (mg/kg) ve slám pzenice ozimé na stanovizti Lukavec.  
Tab. 29: Výnos (t) slámy pzenice ozimé na stanovizti Lukavec.  
Tab. 30: Odb r P (kg/ha) ve slám pzenice ozimé na stanovizti Lukavec.  
Tab. 31: Korela ní tabulka závislostí s korela ním koeficientem ( $r = 0,05$ ) na stanovizti Lukavec.  
Tab. 32: Korela ní tabulka závislostí s korela ním koeficientem ( $r = 0,05$ ) na stanovizti Praha . Suchdol.  
Tab. 33: Zrnitostní složení pokusných stanoviz .

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	2694	1522	2356	1613	1541	2799	2105	2235	2347	2283	2232	2030	2350	1550	1085	1963
Kal	2776	1320	1681	1467	1587	2379	2199	2005	3981	1956	2296	2056	2079	1778	1338	1773
NPK	2391	1240	1497	1382	1517	2181	1743	1482	2507	1829	2498	2184	1737	1513	1319	1649
N	2299	1731	1961	1680	1679	2483	1711	1790	2065	1915	3930	2663	1849	1748	1412	1549

Tab. 1: Obsah P (mg/kg) v hlízách brambor na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	7,91	7,36	5,55	4,12	4,01	2,56	3,29	4,76	5,05	4,56	5,47	4,08	6,98	4,21	5,61	8,19
Kal	8,21	5,98	6,98	5,02	5,04	3,93	3,21	7,71	6,90	5,18	8,65	4,46	8,19	4,57	5,45	8,81
NPK	7,43	8,17	7,10	5,23	4,52	4,61	3,25	7,17	7,87	5,24	8,19	4,67	9,25	5,69	7,70	8,82
N	7,15	8,00	5,59	4,50	4,41	4,35	3,25	6,60	7,74	4,61	6,28	4,02	8,31	3,91	5,44	9,18

Tab. 2: Výnos (t) suziny v hlízách brambor na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	21,30	11,20	13,08	6,64	6,19	7,17	6,92	10,65	11,84	10,42	12,21	8,27	16,39	6,53	6,09	16,09
Kal	22,81	7,89	11,73	7,36	8,00	9,36	7,05	15,47	27,48	10,14	19,86	9,18	17,02	8,13	7,29	15,62
NPK	17,76	10,13	10,62	7,22	6,86	10,07	5,66	10,63	19,73	9,58	20,46	10,20	16,06	8,61	10,16	14,54
N	16,43	13,85	10,97	7,56	7,40	10,81	5,55	11,82	15,99	8,83	24,68	10,72	15,36	6,83	7,67	14,22

Tab. 3: Odb r P (kg/ha) v hlízách brambor na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	3030	2107	1608	1625	2766	3581	3837	3525	3337	5012	5520	3310	4560	3215	2071	2886
Kal	2858	2022	1603	1489	2604	3240	3355	3510	3774	4218	5282	3462	4337	3224	2164	1964
NPK	2711	3068	1391	1397	2501	3099	3190	3512	3367	4678	5500	3932	4190	3040	2086	2037
N	2948	3105	1334	2065	2026	3130	3106	2958	3786	4658	5466	3773	4171	2982	1767	2162

Tab. 4: Obsah P (mg/kg) v zrnu je mene jarního na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	6,20	2,84	3,79	2,99	2,47	3,44	3,21	3,23	2,96	2,72	2,55	5,38	3,09	3,72	3,76	3,64
Kal	5,39	2,11	4,25	3,09	2,44	3,22	3,44	3,86	4,59	3,35	3,02	5,58	3,97	4,27	4,62	4,48
NPK	5,12	3,25	4,78	4,00	3,21	3,20	4,10	5,21	5,37	4,37	3,43	5,34	5,27	5,91	5,16	4,12
N	5,22	2,93	4,69	2,31	3,30	3,40	3,71	5,11	5,60	4,75	3,12	5,35	5,10	5,78	4,95	3,87

Tab. 5: Výnos (t) zrna je mene jarního na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	18,78	5,98	6,10	4,85	6,83	12,30	12,32	11,39	9,86	13,61	14,05	17,80	14,11	11,96	7,78	10,51
Kal	15,40	4,26	6,82	4,59	6,36	10,43	11,53	13,54	17,33	14,13	15,97	19,30	17,21	13,76	10,00	8,80
NPK	13,89	9,97	6,65	5,59	8,03	9,91	13,08	18,30	18,08	20,43	18,84	20,98	22,09	17,96	10,76	8,40
N	15,39	9,09	6,26	4,77	6,69	10,64	11,54	15,11	21,20	22,13	17,07	20,18	21,28	17,25	8,74	8,38

Tab. 6: Odb r P (kg/ha) v zrnu je mene jarního na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	994	2364	721	1165	1757	1136	667	793	1242	1403	683	865	1150	613	580	294
Kal	754	2584	601	1408	1215	1265	1055	615	841	1257	630	897	598	645	291	522
NPK	882	1887	431	1159	944	1252	476	254	1047	908	698	741	585	721	349	488
N	833	1890	995	1279	762	1437	569	266	675	701	657	566	529	409	371	333

Tab. 7: Obsah P (mg/kg) ve slám je men jarního na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	2,89	1,44	2,14	1,06	0,99	3,72	2,20	1,42	1,80	1,25	2,25	3,98	1,83	1,85	1,47	3,14
Kal	2,79	1,18	2,19	1,25	1,00	4,11	2,49	2,14	2,78	1,26	2,58	4,56	2,72	2,39	2,19	3,42
NPK	2,43	1,85	2,48	1,62	1,41	2,71	2,83	2,31	3,00	1,88	3,07	4,54	4,10	3,92	2,34	3,44
N	2,89	2,21	2,95	1,12	1,82	3,95	2,83	2,09	3,18	2,55	3,16	4,50	3,86	3,57	2,42	3,08

Tab. 8: Výnos (t) slámy je mene jarního na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	2,87	3,42	1,54	1,23	1,74	4,23	1,47	1,13	2,23	1,75	1,53	3,44	2,11	1,13	0,85	0,92
Kal	2,10	3,06	1,32	1,76	1,21	5,20	2,62	1,32	2,34	1,58	1,63	4,09	1,62	1,54	0,64	1,78
NPK	2,14	3,49	1,07	1,88	1,33	3,40	1,35	0,59	3,14	1,71	2,14	3,37	2,40	2,82	0,82	1,68
N	2,41	4,18	2,93	1,43	1,39	5,68	1,61	0,56	2,14	1,79	2,08	2,55	2,04	1,46	0,90	1,02

Tab. 9: Odb r P (kg/ha) ve slám je mene jarního na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	2884	2668	1801	1099	1987	3160	3269	3168	3404	4499	3130	3821	2858	3174	1983	3172
Kal	2476	2718	1297	1231	2110	3190	3128	3110	3758	4673	3286	3502	3113	3440	1958	3072
NPK	2600	3062	1258	1191	2434	3501	3320	3078	3684	3160	3628	3947	3492	3081	3233	3029
N	2501	2085	882	1266	1811	2953	2768	2970	3428	3768	2883	2944	2802	2721	1702	3217

Tab. 10: Obsah P (mg/kg) v zrn pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	4,55	4,05	4,05	3,84	5,18	3,43	3,31	5,87	5,68	2,65	5,10	5,62	5,05	5,08	3,48	3,73
Kal	3,53	4,72	4,67	4,14	5,19	3,66	4,03	8,05	7,71	4,11	7,16	7,43	6,38	5,16	4,44	4,97
NPK	5,84	4,73	5,52	5,21	5,19	4,27	4,95	8,11	8,55	5,47	7,29	6,88	8,00	7,61	5,50	5,09
N	4,33	4,17	5,72	5,21	4,63	3,91	4,65	8,39	7,14	4,86	7,06	7,54	7,54	7,76	4,95	4,79

Tab. 11: Výnos (t) zrna pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	13,13	10,82	7,29	4,22	10,29	10,84	10,81	18,58	19,35	11,90	15,97	21,47	14,44	16,11	6,91	11,83
Kal	8,75	12,83	6,06	5,10	10,95	11,68	12,59	25,04	28,98	19,23	23,52	26,02	19,87	17,74	8,69	15,28
NPK	15,17	14,48	6,94	6,20	12,64	14,95	16,42	24,95	31,48	17,28	26,45	27,15	27,94	23,44	17,79	15,43
N	10,83	8,71	5,05	6,59	8,38	11,56	12,86	24,92	24,48	18,29	20,36	22,19	21,11	21,11	8,43	15,43

Tab. 12: Odb r P (kg/ha) v zrn pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	791	958	463	313	445	1455	1524	376	771	240	719	305	351	188	139	651
Kal	994	505	294	283	473	1363	1455	358	585	358	575	400	279	298	199	382
NPK	902	1159	248	183	513	932	941	246	616	491	558	375	221	307	116	398
N	1119	1570	366	449	513	1469	1125	215	408	719	704	317	234	280	186	227

Tab. 13: Obsah P (mg/kg) ve slám pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	2,17	2,98	3,61	1,88	3,46	1,92	2,14	1,97	3,54	0,87	6,03	5,93	4,15	3,35	3,76	3,87
Kal	2,05	3,64	4,49	2,62	3,51	4,44	2,95	2,86	4,47	1,67	8,77	7,67	5,86	3,85	4,62	5,28
NPK	2,66	3,58	3,03	3,68	3,65	2,52	4,80	2,97	6,00	2,96	9,07	8,34	7,88	5,61	5,16	6,46
N	1,85	2,62	3,92	3,57	3,50	4,57	4,62	2,71	4,75	2,21	8,73	8,90	7,14	5,58	4,95	6,50

Tab. 14: Výnos (t) slámy pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	1,71	2,86	1,67	0,59	1,54	2,79	3,26	0,74	2,73	0,21	4,34	1,81	1,46	0,63	0,52	2,52
Kal	2,04	1,84	1,32	0,74	1,66	6,05	4,29	1,02	2,61	0,60	5,04	3,07	1,64	1,15	0,92	2,02
NPK	2,40	4,14	0,75	0,67	1,87	2,35	4,52	0,73	3,69	1,45	5,07	3,13	1,74	1,72	0,60	2,57
N	2,07	4,11	1,43	1,60	1,79	6,71	5,20	0,58	1,94	1,59	6,15	2,82	1,67	1,56	0,92	1,48

Tab. 15: Odb r P (kg/ha) ve slám pzenice ozimé na stanovizti Suchdol.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	2202	1808	1954	1500	2027	1576	1370	2290	1904	2480	1821	2943	2328	1304	1476	2029
Kal	2736	2147	2109	1755	2009	1624	1531	2691	1996	2888	1780	2467	2344	1418	1122	2101
NPK	3041	1839	2126	1626	2318	1605	1649	2634	1891	2891	1904	2696	2555	1416	1268	2191
N	2636	2516	2145	1543	2158	2206	2055	2816	1584	3792	1815	2178	2256	1043	1418	2075

Tab. 16: Obsah P (mg/kg) v hlízách brambor na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	5,32	10,15	7,91	8,68	5,79	5,36	5,88	2,34	6,79	6,87	8,04	4,80	5,50	9,34	4,96	6,06
Kal	10,09	14,26	9,19	11,02	6,14	6,96	6,59	3,34	10,38	8,26	9,49	6,95	6,77	10,72	8,30	8,73
NPK	7,37	14,10	11,24	13,50	8,93	7,43	8,99	4,23	12,94	9,57	14,67	9,21	3,57	15,30	10,38	9,27
N	7,35	12,62	11,82	13,79	10,21	7,40	9,41	3,08	10,98	6,75	11,84	11,93	4,36	16,00	9,53	7,88

Tab. 17: Výnos (t) suziny v hlízách brambor na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	11,71	18,35	15,45	13,02	11,74	8,44	8,05	5,36	12,93	17,04	14,65	14,12	12,80	12,18	7,32	12,30
Kal	27,61	30,61	19,38	19,35	12,34	11,30	10,09	8,99	20,72	23,86	16,89	17,14	15,88	15,20	9,31	18,35
NPK	22,42	25,93	23,89	21,95	20,70	11,92	14,81	11,13	24,47	27,66	27,93	24,82	9,11	21,66	13,16	20,30
N	19,37	31,75	25,36	21,28	22,04	16,32	19,34	8,69	17,40	25,61	21,50	25,98	9,83	16,69	13,52	16,36

Tab. 18: Odb r P (kg/ha) v hlízách brambor na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	1769	2617	1862	2577	2560	3002	4174	3572	3706	4667	3277	3573	3886	4955	2328	3956
Kal	1670	2517	1875	2824	2700	3113	4320	3535	5074	4980	3400	3545	3930	4023	2766	3974
NPK	3729	2588	1855	2419	2211	2788	3681	3478	3181	3852	5577	3582	4081	4029	1971	4160
N	2461	2368	1599	2292	2579	3430	4055	3395	4864	3938	6299	3213	3895	4356	2060	3989

Tab. 19: Obsah P (mg/kg) v zrnu je mene jarního na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	1,87	2,69	2,15	2,21	1,76	1,79	2,04	1,27	1,97	1,56	2,29	2,14	1,84	1,89	1,69	1,78
Kal	2,03	2,57	2,71	2,46	2,17	2,04	1,99	1,79	2,98	1,52	3,24	2,98	2,71	2,20	3,43	2,63
NPK	2,74	3,53	2,74	3,07	2,96	2,97	5,37	2,66	4,37	3,37	3,91	4,28	4,04	4,00	4,61	4,28
N	2,58	3,35	3,22	3,23	2,79	2,87	4,61	2,44	4,41	3,08	4,46	4,04	4,03	3,95	4,60	3,66

Tab. 20: Výnos (t) zrna je mene jarního na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	3,30	7,03	3,99	5,69	4,50	5,37	8,53	4,52	7,30	7,28	7,50	7,65	7,14	9,36	3,93	7,04
Kal	3,40	6,46	5,08	6,96	5,86	6,36	8,60	6,32	15,14	7,59	11,01	10,56	10,63	8,87	9,49	10,45
NPK	10,22	9,15	5,08	7,42	6,54	8,27	19,78	9,27	13,91	12,98	21,83	15,33	16,49	16,10	9,08	17,82
N	6,35	7,92	5,15	7,41	7,20	9,85	18,70	8,27	21,43	12,14	28,09	12,99	15,71	17,21	9,48	14,59

Tab. 21: Odb r P (kg/ha) v zrnu je mene jarního na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola		2387	1628	1292	2075	1990	2223	2191	1481	2330	1511	1418	2208	1421	824	3046
Kal		1847	2114	1442	1339	2574	2784	1647	1483	1839	1395	1453	2183	981	1197	2108
NPK		2082	1976	1146	1271	1056	666	1925	837	1334	910	756	1643	602	305	1288
N		1765	1806	1200	991	1757	857	1719	765	2260	1220	839	2316	826	383	1877

Tab. 22: Obsah P (mg/kg) ve slám je men jarního na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	1,63	2,31	1,52	1,78	3,04	3,03	2,19	2,39	1,26	3,92	2,08	2,00	2,33	1,75	3,06	0,47
Kal	1,61	2,45	1,84	1,79	3,50	2,74	2,05	2,28	2,04	2,52	2,69	2,78	2,77	2,88	3,40	0,97
NPK	2,45	4,56	1,76	2,66	5,27	3,77	3,84	4,22	3,08	3,55	3,81	4,05	3,28	3,62	3,68	2,54
N	1,96	2,95	2,45	2,29	4,89	3,36	3,66	4,07	2,65	3,22	2,80	3,94	3,43	3,75	3,76	2,44

Tab. 23: Výnos (t) slámy je mene jarního na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola		5,51	2,47	2,30	6,30	6,02	4,87	5,25	1,87	9,13	3,15	2,83	5,15	2,49	2,52	1,42
Kal		4,53	3,89	2,58	4,68	7,06	5,71	3,76	3,03	4,64	3,76	4,04	6,04	2,83	4,07	2,04
NPK		9,48	3,47	3,05	6,69	3,98	2,55	8,12	2,58	4,74	3,47	3,06	5,39	2,18	1,12	3,27
N		5,21	4,43	2,75	4,85	5,90	3,14	6,99	2,03	7,27	3,41	3,31	7,94	3,10	1,44	4,58

Tab. 24: Odb r P (kg/ha) ve slám je mene jarního na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	2591	2583	1676	1705	2228	3357	3464	3394	2953	3536	3096	3695	3617	4209	3786	3656
Kal	2735	2250	1723	1802	2068	3252	3399	3554	2829	3372	3161	4126	3444	4175	3536	3504
NPK	1457	2328	1509	2152	2449	2881	3197	3320	3330	3879	3314	4397	3452	2677	3027	3502
N	1283	2160	1160	1804	1465	3494	3081	3153	3333	3223	3103	3203	3740	2027	3063	3800

Tab. 25: Obsah P (mg/kg) v zrnú pšenice ozimé na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	3,00	2,90	3,04	2,91	3,10	2,80	3,15	2,17	2,01	1,90	3,49	2,64	2,05	1,82	2,01	2,45
Kal	3,07	3,80	2,80	3,32	4,45	2,81	4,17	5,66	3,52	2,56	5,25	3,46	3,36	4,83	3,63	4,88
NPK	3,59	5,15	5,69	7,15	6,82	6,08	7,04	7,70	6,46	5,63	7,15	6,58	5,97	5,96	7,49	6,51
N	3,38	5,18	5,46	6,85	6,84	6,37	6,53	7,59	6,42	5,66	6,97	6,62	5,66	5,97	7,82	7,19

Tab. 26: Výnos (t) zrna pšenice ozimé na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola	7,78	7,50	5,10	4,96	6,91	9,39	10,91	7,38	5,93	6,70	10,79	9,76	7,40	7,66	7,62	8,98
Kal	8,40	8,55	4,82	5,99	9,21	9,15	14,19	20,13	9,95	8,64	16,60	14,26	11,56	20,16	12,83	17,12
NPK	5,23	12,00	8,59	15,39	16,70	17,50	22,52	25,56	21,52	21,83	23,70	28,92	20,61	15,94	22,67	22,81
N	4,33	11,18	6,34	12,36	10,01	22,27	20,12	23,93	21,41	18,26	21,63	21,20	21,17	12,11	23,95	27,32

Tab. 27: Odb r P (kg/ha) ve slám pšenice ozimé na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola		1427	1158	748	1021	948	950	1222	1105	1049	643	710	1007	612	1823	1598
Kal		1171	1287	955	858	1097	1638	1027	531	1234	515	816	917	330	1045	1851
NPK		1232	1104	576	701	663	726	679	433	460	428	524	699	248	229	896
N		1146	815	388	645	452	394	778	467	669	391	444	608	236	255	569

Tab. 28: Obsah P (mg/kg) ve slám pšenice ozimé na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola		2,70	2,10	2,06	4,58	3,20	3,20	2,83	3,37	2,69	4,89	3,29	2,81	2,55	2,58	1,40
Kal		4,49	3,29	2,88	6,39	5,25	3,24	4,46	2,62	4,62	3,77	3,88	2,17	2,95	3,77	1,87
NPK		6,74	4,76	4,92	8,83	6,57	5,76	7,40	6,43	5,32	5,49	5,67	2,51	2,81	4,29	3,04
N		6,49	4,96	8,16	8,47	6,45	5,37	7,35	5,59	6,26	5,42	6,04	2,65	3,12	4,61	5,08

Tab. 29: Výnos (t) slámy pšenice ozimé na stanovizti Lukavec.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kontrola		3,85	2,43	1,54	4,68	3,03	3,04	3,46	3,72	2,82	3,14	2,33	2,83	1,56	4,71	2,24
Kal		5,26	4,23	2,75	5,49	5,76	5,31	4,58	1,39	5,70	1,95	3,17	1,99	0,97	3,95	3,46
NPK		8,31	5,26	2,83	6,19	4,36	4,18	5,02	2,78	2,45	2,35	2,97	1,76	0,70	0,98	2,72
N		7,44	4,04	3,17	5,47	2,91	2,12	5,72	2,61	4,19	2,12	2,68	1,61	0,74	1,18	2,89

Tab. 30: Odb r P (kg/ha) ve slám pšenice ozimé na stanovizti Lukavec.



Lukavec				
		obsah/odb r	obsah/výnos	výnos/odb r
Brambory_hlízy	Kontrola	0,30	-0,42	0,72
	kal	0,38	-0,27	0,77
	NPK	0,12	-0,55	0,74
	N	0,24	-0,61	0,57
Je men_zrno	Kontrola	0,79	-0,33	0,30
	kal	0,65	-0,26	0,54
	NPK	0,90	0,35	0,72
	N	0,94	0,43	0,70
Je men_sláma	Kontrola	0,42	-0,09	0,83
	kal	0,61	-0,41	0,45
	NPK	0,80	-0,08	0,51
	N	0,89	-0,30	0,16
Pýenice_zrno	Kontrola	0,56	-0,60	0,31
	kal	0,78	0,30	0,82
	NPK	0,93	0,47	0,73
	N	0,95	0,48	0,71
Pýenice_sláma	Kontrola	0,53	-0,43	0,49
	kal	0,62	-0,11	0,69
	NPK	0,81	0,19	0,70
	N	0,89	0,28	0,67

Tab. 31: Korela ní tabulka závislostí s korela ním koeficientem ( $\alpha=0,05$ ) na stanovizti Lukavec.

Praha - Suchdol				
		obsah/odb r	obsah/výnos	výnos/odb r
Brambory_hlízy	Kontrola	0,54	-0,01	0,81
	kal	0,80	0,21	0,74
	NPK	0,69	0,03	0,73
	N	0,71	-0,04	0,66
Je men_zrno	Kontrola	0,65	-0,22	0,59
	kal	0,79	0,01	0,60
	NPK	0,84	-0,01	0,52
	N	0,81	0,11	0,64
Je men_sláma	Kontrola	0,51	-0,39	0,55
	kal	0,43	-0,39	0,62
	NPK	0,70	-0,34	0,41
	N	0,78	-0,22	0,38
Pýenice_zrno	Kontrola	0,70	0,04	0,73
	kal	0,76	0,32	0,85
	NPK	0,81	0,37	0,84
	N	0,79	0,26	0,79
Pýenice_sláma	Kontrola	0,74	-0,21	0,42
	kal	0,76	-0,16	0,47
	NPK	0,69	-0,27	0,46
	N	0,73	-0,37	0,27

Tab. 32: Korela ní tabulka závislostí s korela ním koeficientem ( $\alpha=0,05$ ) na stanovizti Praha . Suchdol.

		<b>Lukavec</b>	<b>Praha - Suchdol</b>
<b>Půdní druh (dle Nováka)</b>		hlinitopís itý	hlinitopís itý
<b>Půdní druh (dle NRSC USDA)</b>		pís itá hlína	prachovitá hlína
<b>Specifická hmotnost <math>\rho_z</math></b>	[g.cm <sup>-3</sup> ]	2,66	2,57
<b>Fyzikální jíł</b>		3,21	2,18
<b>I. Z.k. (&lt; 0,01 mm)</b>	[%]	16,83	17,36
<b>II. Z.k. (0,01 - 0,05 mm)</b>	[%]	23,42	56,59
<b>III. Z.k. (0,05 - 0,1 mm)</b>	[%]	10,33	6,14
<b>IV. Z.k. (0,1 - 2 mm)</b>	[%]	49,40	19,89
<b>Jíł (&lt; 0,002mm)</b>	[%]	3,21	2,18
<b>Prach (0,002 - 0,05mm)</b>	[%]	37,06	71,80
<b>Písek (0,05 - 2 mm)</b>	[%]	59,73	26,03

Tab. 33: Zrnitostní složení pokusných stanoviš .