

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**



**Bilance fosforu a draslíku při různých systémech hnojení**

doktorská disertační práce

Autor: **Ing. Filip Vašák**

Školitel: **prof. Ing. Jiří Balík, CSc., dr. h. c.**

Konzultant: **Ing. Jindřich Černý, Ph.D.**

**Praha 2016**

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem doktorskou disertační práci na téma „Bilance fosforu a draslíku při různých systémech hnojení“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne:

.....

Podpis

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval kolektivu Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin a mým blízkým za podporu při sepisování této práce. Jmenovitě bych rád poděkoval mému vedoucímu prof. Jiřímu Balíkovi, CSc., dr. h. c. a konzultantovi Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za ochotu a cenné připomínky.

# Obsah

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>2</b>
2.1 METODY ZJIŠTĚNÍ BILANCE ŽIVIN .....	2
2.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ BILANCI ŽIVIN .....	2
2.2.1 Vstupy živin do půdy.....	3
2.2.2 Ztráty živin z půdy.....	4
2.2.3 Měřítka hodnocení půdní bilance .....	5
2.2.4 Půdní variabilita.....	5
2.2.5 Přesnost stanovení obsahu živin .....	7
2.3 FOSFOR .....	8
2.3.1 Fosfor v půdě .....	8
2.3.2 Hnojení fosforem.....	11
2.3.3 Fosfor v rostlině.....	12
2.3.4 Výpočet bilance fosforu.....	13
2.3.5 Bilance fosforu v ČR a ve světě .....	14
2.4 DRASLÍK .....	16
2.4.1 Draslík v půdě.....	16
2.4.2 Hnojení draslíkem.....	18
2.4.3 Draslík v rostlině .....	19
2.4.4 Výpočet bilance draslíku .....	20
2.4.5 Bilance draslíku v ČR a ve světě .....	21
<b>3. CÍLE .....</b>	<b>23</b>
<b>4. HYPOTÉZY.....</b>	<b>23</b>
<b>5. METODIKA.....</b>	<b>24</b>
5.1 CHARAKTERISTIKA STANOVIŠŤ A POLNÍCH POKUSŮ.....	24
5.1.1 Dlouhodobé stacionární pokusy s rotací plodin .....	25
5.1.2 Dlouhodobé stacionární pokusy s monokulturou silážní kukuřice.....	26
5.2 ODBĚR VZORKŮ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ .....	28
5.2.1 Půdní vzorky.....	28
5.2.2 Rostlinné vzorky.....	29
5.3 ANALÝZY.....	29
5.3.1 Stanovení množství přístupného fosforu a draslíku v půdě.....	30
5.3.2 Stanovení půdní reakce.....	30
5.3.3 Stanovení obsahu organické hmoty .....	30
5.3.4 Stanovení sorpční kapacity půd .....	30
5.3.5 Stanovení obsahu živin v rostlinách .....	30
5.3.6 Stanovení obsahu živin v hnoji a čistírenském kalu.....	30
5.3.7 Statistické analýzy .....	31
5.3.8 Metodika výpočtů .....	31

5.3.8.1 Výpočet odběru fosforu a draslíku pěstovanými plodinami.....	31
5.3.8.2 Výpočet bilance fosforu a draslíku.....	32
5.3.8.3 Přepočet obsahu z mg/kg na kg/ha .....	32
5.3.8.4 Výpočet odběru fosforu a draslíku na tunu produkce.....	32
<b>6. VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>33</b>
6.1 VLIV HNOJENÍ NA VÝNOS PLODIN.....	33
6.1.1 Pokusy s rotací plodin.....	33
6.1.1.1 Výsledky.....	33
6.1.1.2 Diskuze .....	37
6.1.2 Pokusy s monokulturálním pěstováním kukuřice.....	38
6.1.2.1 Výsledky.....	38
6.1.2.2 Diskuze .....	40
6.2 ODBĚR FOSFORU A DRASLÍKU PĚSTOVANÝMI PLODINAMI .....	41
6.2.1 Odběr fosforu pěstovanými plodinami v pokusu s rotací plodin.....	41
6.2.1.1 Výsledky.....	41
6.2.1.2 Diskuze .....	47
6.2.2 Odběr fosforu v pokusu s monokulturálním pěstováním kukuřice .....	48
6.2.2.1 Výsledky.....	48
6.2.2.2 Diskuze .....	50
6.2.3 Odběr draslíku pěstovanými rostlinami v pokusu s rotací plodin .....	50
6.2.3.1 Výsledky.....	50
6.2.3.2 Diskuze .....	56
6.2.4 Odběr draslíku v pokusu s monokulturálním pěstováním kukuřice.....	57
6.2.4.1 Výsledky.....	57
6.2.4.2 Diskuze .....	59
6.3 VYHODNOCENÍ VLIVU HNOJENÍ NA ZMĚNY OBSAHU PŘÍSTUPNÉHO FOSFORU A DRASLÍKU V PŮDĚ.....	60
6.3.1 Vyhodnocení vlivu hnojení na změny obsahu přístupného fosforu v půdě .....	60
6.3.1.1 Výsledky změn obsahu přístupného fosforu v půdě v pokusu s rotací plodin .	60
6.3.1.2 Výsledky změn obsahu přístupného fosforu v půdě v pokusu s monokulturálním pěstováním kukuřice.....	64
6.3.1.3 Diskuze .....	66
6.3.2 Vyhodnocení vlivu hnojení na změny obsahu přístupného draslíku v půdě .....	67
6.3.2.1 Výsledky změn obsahu přístupného draslíku v půdě v pokusu s rotací plodin	67
6.3.2.2 Výsledky změn obsahu přístupného draslíku v půdě v pokusu s monokulturálním pěstováním kukuřice.....	71
6.3.2.3 Diskuze .....	73
6.4 BILANCE FOSFORU NA DLOUHODOBÝCH POLNÍCH POKUSECH .....	74
6.4.1 Bilance fosforu v pokusu s rotací plodin .....	74
6.4.1.1 Stanoviště Červený Újezd .....	75
6.4.1.2 Stanoviště Hněvčeves .....	76
6.4.1.3 Stanoviště Humpolec .....	76
6.4.1.4 Stanoviště Lukavec.....	77

6.4.1.5 Stanoviště Suchdol .....	78
6.4.2 Bilance fosforu v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice .....	78
6.4.2.1 Stanoviště Červený Újezd .....	79
6.4.2.2 Stanoviště Suchdol .....	79
6.4.3 Diskuze .....	80
6.5 BILANCE DRASLÍKU NA DLOUHODOBÝCH POLNÍCH POKUSECH .....	81
6.5.1 Bilance draslíku v pokusu s rotací plodin.....	81
6.5.1.1 Stanoviště Červený Újezd .....	82
6.5.1.2 Stanoviště Hněvčeves .....	82
6.5.1.3 Stanoviště Humpolec .....	83
6.5.1.4 Stanoviště Lukavec .....	84
6.5.1.5 Stanoviště Suchdol .....	84
6.5.2. Bilance draslíku v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice.....	85
6.5.2.1 Stanoviště Červený Újezd .....	85
6.5.2.2 Stanoviště Suchdol .....	86
6.5.3 Diskuze .....	86
6.6 POPIS PROSTOROVÉ PŮDNÍ VARIABILITY SLEDOVANÝCH PARAMETRŮ .....	88
6.6.1 Statistické charakteristiky variability v pokusu s rotací plodin.....	88
6.6.1.1 Stanoviště Červený Újezd .....	89
6.6.1.2 Stanoviště Hněvčeves .....	90
6.6.1.3 Stanoviště Humpolec .....	91
6.6.1.4 Stanoviště Lukavec .....	92
6.6.1.5 Stanoviště Suchdol .....	93
6.6.2 Statistické charakteristiky variability v pokusu s monokulturou kukuřice.....	94
6.6.2.1 Stanoviště Suchdol .....	94
6.6.2.2 Stanoviště Červený Újezd .....	95
6.6.2.3 Srovnání hodnot variačních koeficientů sledovaných parametrů.....	96
6.6.3 Diskuze .....	97
<b>7. ZÁVĚR .....</b>	<b>100</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>103</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>117</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>119</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>119</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>123</b>

# 1. Úvod

Předpokladem pro setrvalé zemědělství je udržení půdní úrodnosti. V dnešní době je udržení půdní úrodnosti složité, jednak z důvodu nutnosti zvyšování produkce potravin pro stále rozrůstající se světovou populaci, jednak z ekonomických důvodů, které vedou ke snižování vstupů. Pěstování plodin bez dostatečného doplnění odčerpaných živin přináší v krátkodobém hledisku snížení nákladů na ušetřených vstupech, ale z dlouhodobého hlediska dochází k snižování půdní úrodnosti a její zpětné obnovení trvá v řádu několika let až celé generace. V České republice došlo ke snížení množství aplikovaného fosforu a draslíku na zemědělských půdách, a z toho důvodu došlo k poklesu jejich půdní zásoby. Přitom o důležitosti půdní úrodnosti mluvil již Justus von Liebig (1803 – 1873), který řekl, že vždy a ve všech dobách rozhodovala úrodnost půdy o blahobytu či bídě národů.

Tato doktorská disertační práce popisuje na základě výsledků z dlouhodobých polních pokusů vliv různých systémů hnojení na bilanci fosforu a draslíku. Právě výsledky z dlouhodobých stacionárních polních pokusů nám mohou ukázat vliv hospodaření na změny v půdě, které se projevují až za delší období. Dlouhodobé pokusy udávají naprosto přesvědčující údaje o významu hnojení. Byly zakládány již na přelomu předminulého století, mnoho dalších v minulém století.

V rámci této disertační práce byly řešeny jednotlivé faktory, které se podílejí na bilanci fosforu (kapitola 6.4) a draslíku (kapitola 6.5), jako je výnos plodin (kapitola 6.1) a jejich odběr fosforu a draslíku (kapitola 6.2). Byly sledovány změny obsahu přístupného fosforu a draslíku v půdě (kapitola 6.3) a v rámci práce byla hodnocena i půdní variabilita, jakožto důležitý půdní faktor, který ovlivňuje bilanci živin (kapitola 6.6).

## 2. Literární rešerše

Intenzifikace zemědělské výroby bez adekvátních opatření pro obnovu půdní úrodnosti ohrožuje udržitelnost zemědělství. Bilance živin se uplatňuje jako indikátor udržitelného zemědělství. Kvantitativní odhad odebraných živin rostlinami z půdy je důležitý pro zjištění stavu degradace půdy a návrhu nápravných opatření (Roy et al., 2003).

### 2.1 Metody zjištění bilance živin

Požadované zvýšení zemědělské produkce pro splnění budoucí poptávky po potravinách zvyšuje nároky na půdní fond. Pro hodnocení kvality půdy jsou nastaveny dva ukazatele:

- 1) potenciální výnos, tj. rozdíl mezi výnosem získaným za optimálních podmínek a výnosem získaným ze základních přírodních zdrojů,
- 2) bilance živin.

(Bindraban et al., 2000)

Bilance živin je kvantifikována buď na základě hodnocení změn organických látek a rostlinných živin v půdě za daný čas, nebo odečtením ztrát živin z množství živin dodaných do půdy. První metoda je limitována pohybem živin v půdě, druhá metoda je limitována rozdílným kvantifikováním vstupů a ztrátou živin (Bationo, 1998).

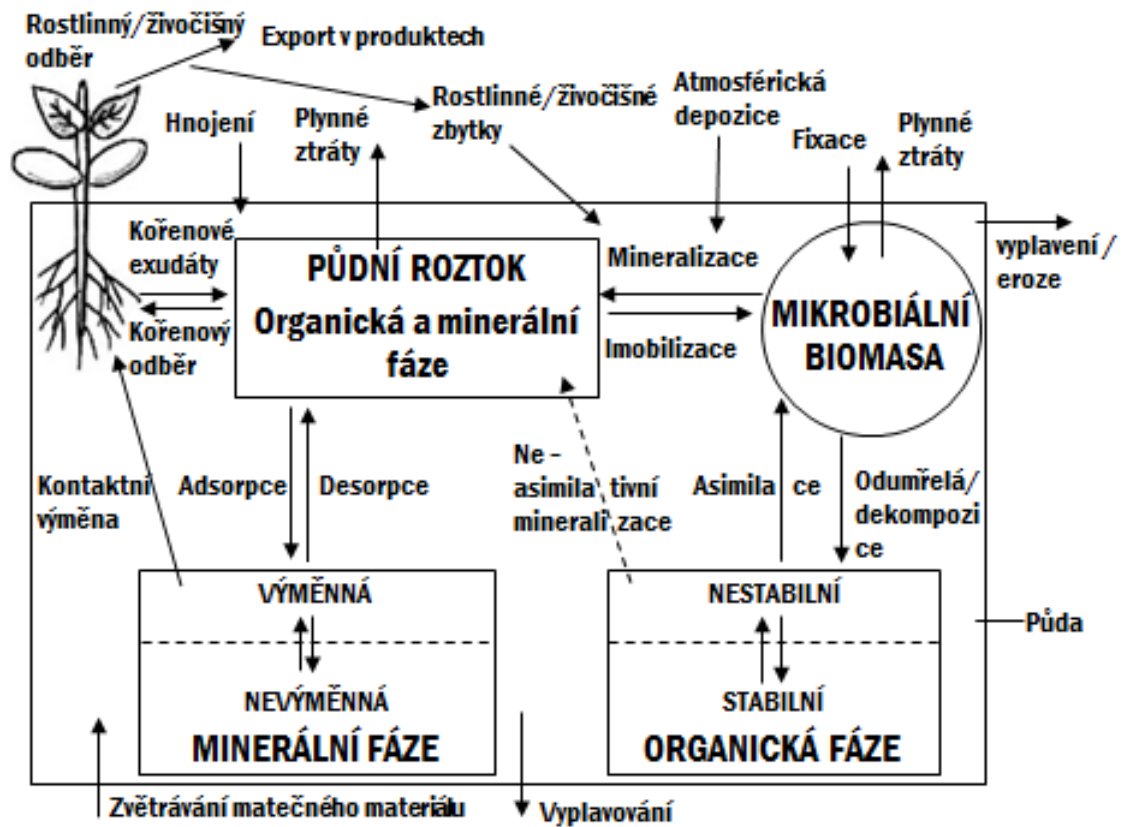
Druhou metodu kvantifikovali Stoorvogel et Smaling (1990) jako rozdíl toku živin. Stanovili pět hlavních vstupů živin do půdy (minerální hnojení, organické hnojení, suchá a mokrá depozice, fixace dusíku a sedimentace) a pět hlavních ztrát živin z půdy (živiny ve sklizňových produktech, živiny v posklizňových zbytcích, vyplavování, plynné ztráty a eroze). Dosazením těchto deseti faktorů do rovnice a zohledněním vlivu času a prostoru lze vypočítat čistou bilanci živin v půdě (ČBŽP).

$$\text{ČBŽP} = \int \text{prostor} \int \text{čas} \left( \sum_{i=1}^5 \text{vstup}_i - \sum_{j=1}^5 \text{ztráty}_j \right) \quad (1)$$

### 2.2 Faktory ovlivňující bilanci živin

Při výpočtu bilance živin záleží na zahrnutí vstupů a ztrát živin, prostorovém měřítku, způsobu hospodaření (Panten et al., 2009) a dalších půdních faktorech, které jsou uvedeny v terestrickém schématu cyklu živin (obr. 1).





Obr. 1: Terestrické schéma cyklu živin upravené dle McLaughlin et al. (1999)

## 2.2.1 Vstupy živin do půdy

### *Minerální a organické hnojení*

Přebytek živin vzniká v případě, že množství živin aplikovaných v minerálním a organickém hnojení je větší než množství živin odebraných rostlinami (Rankinen, 2007).

### *Depozice*

Mokrá a suchá depozice jsou jedny z nejméně prostudovaných způsobů transportu živin. Mokrá depozice probíhá prostřednictvím dešťových a sněhových srážek, zatímco suchá depozice vyplývá z plyných a prachových znečišťujících látek a jejich transportu na zem nebo na vodní plochy (Anderson et Downing, 2006). Množství mokré a suché depozice není obvykle známo, a proto se depozice odvozuje pro účely bilance ze srážek (Stoorvogel et Smaling, 1990).

## ***Sedimentace***

Sedimentace je relevantní pro bilance pouze v oblastech přirozeně zaplavovaných nebo zavlažovaných. U oblastí přirozeně zaplavovaných se očekává, že sedimentační vrstva nebude poškozena. U zavlažovaných oblastí se počítá s pravidelnou sedimentací (Bindraban et al., 2000).

### **2.2.2 Ztráty živin z půdy**

#### ***Živiny v hlavních sklizňových produktech***

Množství živin ve sklizňových rostlinách můžeme odvodit z průměrných obsahů živin v daném druhu rostliny a z průměrných výnosů ze zemědělských statistik (Stoorvogel et Smaling, 1990).

#### ***Živiny v posklizňových zbytcích***

Posklizňové zbytky jsou vztaženy k produkci dané plodiny, jejíž určité množství je ponecháno na poli (Bindraban et al., 2000).

Množství živin v posklizňových zbytcích zjistíme vynásobením výnosu s obsahem živin v posklizňových zbytcích s odběrovým normativem. Na základě sklizňového indexu je možné uvést množství posklizňových zbytků, které jsou na poli ponechány. Sklizňový index by měl reflektovat způsob hospodaření na půdě, jelikož může například dojít k vrácení posklizňových zbytků na pole při aplikaci slámy (Stoorvogel et Samling, 1990).

#### ***Vyplavování živin***

Vyplavování živin ze zemědělských půd má za následek snížení půdní úrodnosti, urychlení acidifikace půdy, zvýšení nákladů na hnojiva, snížení výnosu plodin a negativní ovlivnění kvality povrchových a podzemních vod. Problémy vyplavování živin se podstatně liší v závislosti na intenzitě dešťových srážek a půdních vlastnostech (Laird et al., 2010). Proto Stoorvogel et Smaling (1990) vyplavování živin korelují s půdní úrodností, aplikací hnojiv, odběrovým normativem pro danou plodinu, obsahem jílu a množstvím srážek.

#### ***Ztráty půdní erozí***

Půdní eroze je největší problém obnovitelnosti a produktivity v zemědělství (Pimental et al., 1995). Ztráty živin způsobené půdní erozí vypočteme vynásobením půdních ztrát s obsahem živin v půdě (Bindraban et al., 2000). Česká republika má vodní erozí ohroženo 15,1 % z celkového území (Csathó et al., 2007). Plocha zemědělského půdního fondu je vodní erozí

postižena z 50 % své rozlohy. Aktuální vodní erozí je postiženo 40 % orných půd. Větrná eroze postihuje 10 % orných půd (Anonymous, 2009).

### 2.2.3 Měřítka hodnocení půdní bilance

Bilance živin jsou počítány podle různých měřítek od bilance živin na poli (Vos et Putten, 2000), faremní bilance (Domburg, 2000) až po regionální bilanci (Keller et Schulin, 2003; Khai et al., 2007). Z polní bilance živin, která zahrnuje základní vstupy a ztráty živin a je počítána na ohraničeném poli (parcele), můžeme předpovídat účinky vlivu dlouhodobé agronomické činnosti (Yu et al., 2011).

### 2.2.4 Půdní variabilita

Pro tok živin je velmi důležité odhadnout prostorovou a časovou variabilitu (Roy et al., 2003). Tento odhad je složitý, jelikož: „Znalosti o půdě v její přirozené přírodní podobě jsou v nejlepším případě neúplné, v nejhorším nejisté nebo nesprávné“, jak uvádí Van Groenigen (1999).

James et Wells (1990) klasifikují půdní variabilitu podle:

- orientace v prostoru:
  - a) vertikální,
  - b) horizontální,
- separovaných bodů v prostoru:
  - a) mikro (0,0 – 0,05 m),
  - b) meso (0,05 – 2 m),
  - c) makro (2 m a více),
- způsobu vzniku:
  - a) přirozenou (geogenní),
  - b) způsobenou lidskou činností (antropogenní).

Půdní variabilitu zjišťujeme buď pomocí odběrů vzorků, pak se nazývá prostorová variabilita, nebo pomocí leteckého snímkování, pak se jedná o plošnou variabilitu (Brodský, 2003).

Zdrojem geogenní variability jsou půdotvorné procesy (rubefikace, brunifikace, mineralizace, podzolizace, oglejení, atd.), jež jsou ovlivněny přírodními vlivy (klíma, geologie, reliéf, atd.), což způsobuje kontrastní rozdíly v půdním profilu. Rozdíly se projevují u organické hmoty,

půdní textury, pH, kationtové výměnné kapacity a obsahu rostlinám přístupných živin. Ve vertikální ose jsou rozdíly důležité pro určování hloubky odběru vzorku. V horizontální ose jsou rozdíly půdních faktorů méně kontrastní. Geogenní variabilita na větších vzdálenostech může být asociována například se sklonem a polohou pozemku. Půdní profil na vyvýšeninách má nižší mocnost. V nížinách či v rovině má půdní profil vyšší mocnost (James et Wells, 1990; Oliver, 1999).

Obdělávání půd (orba) je velkým zdrojem antropogenní variability. Dalším zdrojem jsou různé způsoby hospodaření (osevní postupy) a s nimi spojená aplikace hnojiv (James et Wells, 1990). Brodský et al. (2001) uvádí, že půdní variabilita pozemku je také způsobena spojováním více menších pozemků s rozdílným způsobem hospodaření v jeden velký celek. Peck et Soltanpour (1990) konstatují, že v minulosti, než byla běžně používaná minerální hnojiva, bylo obtížné najít velké rozdíly v úrovních násobeností živin v různých částech pozemku. Velké rozdíly bylo možné najít na pozemcích s extrémní heterogenitou půdních typů. V současnosti zjištěná prostorová variabilita v obsazích živin je způsobena aplikací minerálních hnojiv. Dalším zdrojem vzniku výrazné půdní variability je využití technologie hnojení pod patu. Tato cyklická variabilita ovlivněná linií jízd může být omezována pomocí obdělávání půd (Brodský, 2003).

Gotway et al. (1995) popisují různé modelové typy variability části pozemku:

- zcela nesystematická variabilita, náhodná variabilita,
- systematická variabilita – pozemek je znatelně rozdělen na sub-bloky s postupnou změnou úrovně sledovaného faktoru jednotlivých částí,
- nestejnorodá variabilita – obtížné nalézt model popisu.

Půdní vlastnosti se prokazatelně mění i v čase. Například vzorky odebrané na konci léta a na počátku podzimu mají odlišné hodnoty pH a přístupného množství P, K pro rostliny oproti vzorkům odebraným v jiném ročním období (Brodský, 2003). Z tohoto důvodu je vzorkování rozděleno pro účely agrochemického zkoušení zemědělských půd na jarní odběr (1.2 - 31.5) a podzimní odběr (1.7 - 30.11) (ÚKZÚZ, metodický pokyn č.43/SÚK). Obecně je nejlepším obdobím pro odběr půdního vzorku doba od poloviny léta do začátku podzimu, kdy je sezónní efekt minimální. Jsme ovšem limitováni dobou sklizně plodiny (Tan, 2005).

### **2.2.5 Přesnost stanovení obsahu živin**

Stanovení přesných obsahů živin v půdě pro výpočet bilance je složité, jelikož akumulace živin do půdy je těžko měřitelná analýzami půdních vzorků, kdy změny obsahu mohou být pod úroveň detekce měření, a to zvláště pokud jsou živiny akumulovány v organické hmotě. Příčinou je pomalá rychlost akumulace a velká prostorová variabilita. Naproti tomu můžeme konstatovat, že pokud se bilance dané živiny blíží k záporné hodnotě, pravděpodobně živiny ubývá (Grignani et al., 2007).

### **Klasifikace chyb v půdních analýzách**

V půdních analýzách se vyskytují tři druhy chyb (vzorkování, výběru a měření). Chyba nemusí být výsledkem nesprávných postupů a jednotlivé chyby by měly být odlišovány (Petersen et Calvin, 1986).

#### ***Chyba ve vzorkování***

Odebraný půdní vzorek nezahrnuje celou sledovanou plochu, ale pouze její část. To způsobuje rozdíly mezi odebranými vzorky. Chybě ve vzorkování se můžeme vyhnout pouze ovzorkováním celé sledované plochy. (Kempthorne et Allmaras, 1986; Petersen et Calvin, 1986).

#### ***Chyba ve výběru***

Vzniká použitím špatného vzorkovacího schématu. Existuje několik vzorkovacích postupů k potlačení této chyby, čímž narůstá velikost vzorku (Kempthorne a Allmaras, 1986; Petersen a Calvin, 1986).

#### ***Chyba měření***

Chyby měření zahrnují jak nahodilé chyby měření, které vedou k snižování hodnoty výsledku se vzrůstající velikostí vzorku, tak chyby ve formě zanedbání, které jsou většinou nezávislé na velikosti vzorku (Kempthorne a Allmaras, 1986; Petersen a Calvin, 1986).

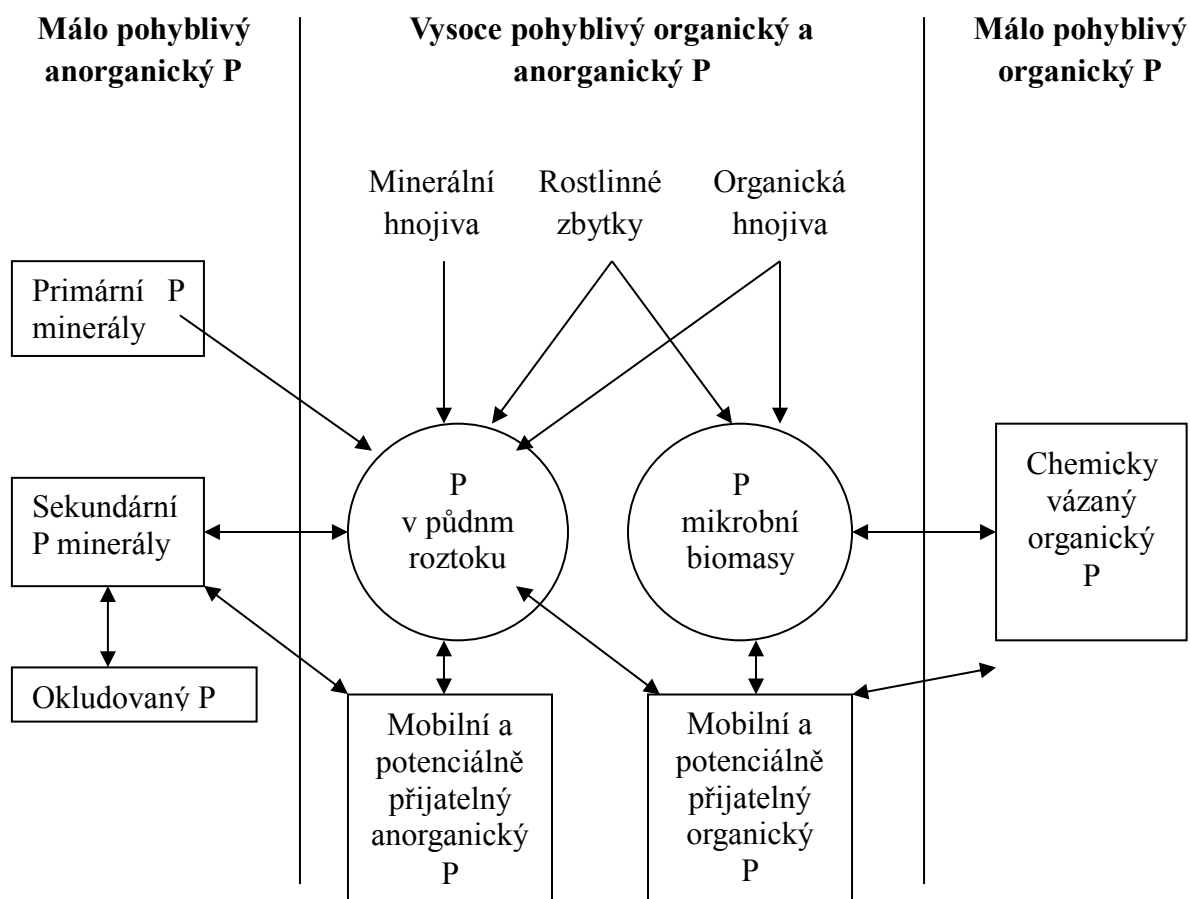
## 2.3 Fosfor

Fosfor patří mezi nejdůležitější stavební živiny ve výživě rostlin. Zásoba přístupného fosforu v půdách v České republice klesá a fosfor se postupně stává limitujícím prvkem výnosu a kvality produkce. Při současném omezeném hnojení organickými a minerálními hnojivy dochází k odčerpání fosforu z půdy, které bilančně přesahuje vstupy. To má za následek snižování obsahu přístupného fosforu v půdě. S klesajícím hnojením se na všech druzích půd zastavil nárůst kategorií s vysokým a velmi vysokým obsahem fosforu a začal přechod do nižších kategorií zásobenosti (Kunzová, 2009).

### 2.3.1 Fosfor v půdě

Fosfor se účastní mnoha životních procesů (Troeh et Thompson, 2005). Obsah P v půdách kolísá od 0,01 % do 0,15 %. Vyšší obsahy P vykazují půdy s větším obsahem organické hmoty, zatímco půdy lehké s malým obsahem organické hmoty mají obsah P nízký (Vaněk et al., 2007). Fosfor se v půdách nachází v organické a minerální formě. Organický fosfor je vázaný ve sloučeninách a pro rostliny je nepřijatelný až do rozkladu organické hmoty. Zdrojem minerálního P jsou primární minerály, především skupina apatitu (Troeh et Thompson, 2005). Atmosférický spad jako další zdroj fosforu je zanedbatelný (Bünemann and Condron, 2007). V Evropě se depozice P obvykle pohybuje mezi 0,05 – 1 kg P/ha/rok. Ve Švýcarsku byla zjištěna hodnota 0,3 kg P/ha/rok (Spiess, 2011). V České republice byla zjištěna depozice P na dvou odlišných stanovištích na úrovni 0,12 – 0,18 respektive 0,12 – 0,31 kg P/ha/rok. Depozice fosforu je ovlivněna spíše lokálním měřítkem než geografickým měřítkem (Kopáček et al., 1997).

Fosfor v půdě je podle vazeb nejčastěji rozdělován do tří skupin: anorganické sloučeniny fosforu, organicky vázaný fosfor a výměně sorbovaný fosfor (Balík et al., 2002). Sharpley a Menzel (1987) uvádí ve svých studiích rozšířené schéma, ve kterém znázornili jednotlivé skupiny vázaného fosforu a možnosti jejich přeměny (obr. 2). Podle McGechan et Lewis (2002) závisí množství fosforu vázaného v jednotlivých frakcích v daném čase především na době aplikace hnojiva včetně působení dřív provedených zásahů. Ztráta fosforu z půd přispívá k eutrofizaci povrchových vod (Sharpley et Rekolainen, 1997).



Obr. 2: Cyklus P v půdě: komponenty a měřitelné frakce (Sharpley et Menzel, 1987)

Povrchový odtok je obecně považován za hlavní příčinu ztrát fosforu z půdy, jelikož fosfor je v půdě pokládán za relativně nepohyblivý (Sims et al., 1998). Je to zapříčiněné silnou interakcí fosforu s organickou i minerální složkou půdy, což má za následek nízký obsah P v půdním roztoku, a tedy i snížení možnosti jeho vyplavení. Obvyklá koncentrace fosforu v půdním roztoku se pohybuje od 0,01 do 1,00 mg/L, na orných půdách dosahuje hodnoty i kolem 5 mg/L (He, 1999; Matula, 2011). Fosfor je v půdě poután buď sorpčními silami (Castro et Torrent, 1998), nebo interakcí s půdním Ca, Mg, Fe a Al ve formě nerozpustných sloučenin (Akinremi et Cho, 1991; Olatuyi et al., 2009). Na základě těchto vazeb je vyplavování fosforu z půdy minimální (Ojekami et al., 2011). Ovšem u písčitých půd, půd s vysokým obsahem organické hmoty a půd s dlouhodobým P hnojením může být vyplavování fosforu z půd, jak prokázalo několik studií, důležitý proces. (Culley et al., 1983; Beauchemin et al., 1998). Zhang (2008) na základě pokusu na písčitých půdách uvádí, že fosfor se může podpovrchově ztrácet ve formě koloidních částic.

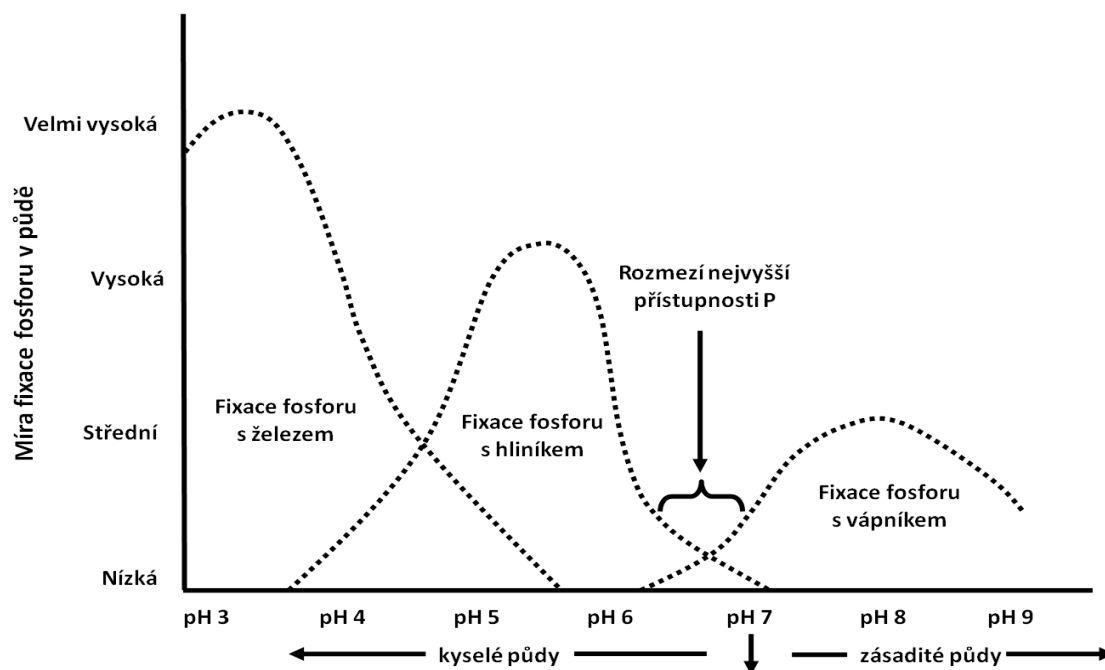
Stupeň saturace půdy fosforem (SSPF) je definován jako poměr fosforečnanů mezi množstvím fosforečnanů akumulovaného v půdě a maximální sorpční kapacitou půdy. Stanovuje se na základě obsahů P, Fe a Al (mmol/kg) získaných extrakcí v okyseleném oxalátu amonném a výpočet byl podle následující rovnice.

$$\text{Stupeň saturace půd fosforem (\%)} = ([P] \times 100) / ([Fe + Al]) \quad (2)$$

Hooda et al. (2001)

Hodnota SSPF 25 % je obecně považovaná za kritickou hodnotu, po jejímž překročení se výrazně zvyšuje množství vyplavování fosforu (Horta et Torrent, 2007).

Rozpusťnost fosforečnanů je silně ovlivněna půdním pH. Vápenaté fosforečnany nejsou rozpustné v alkalickém prostředí. Železité a hlinité fosforečnany nejsou rozpustné v kyselém prostředí. Nejpriznivější pH pro zpřístupnění fosforu pro rostliny je pH od neutrálního až po mírně kyselé, jak je znázorněno na obrázku 3 (Troeh et Thompson, 2005).



Obr. 3: Fixace fosforu při různých hodnotách pH půdy

Aplikace hnoje nebo jiných organických hnojiv má vliv nejen na zvýšení (Borling et al., 2001), ale i snížení (Daly et al., 2001) sorpce P v půdě. SSPF je zodpovědná za snížení sorpce v místě, kde aplikujeme hnojivo obsahující P (Sui et Thompson, 2000). Čím vyšší je stupeň saturace P, tím větší množství P se uvolňuje do půdního roztoku (Zhou et Li, 2001). Organické kyseliny obsažené v půdě po aplikaci hnoje mohou konkurovat sorpčním místům



P, a tím snížit množství vázaného P (Iyamuremye et al., 1996). Naopak na druhé straně aplikací hnoje dodáváme do půdy kationty, které mohou zvýšit sorpci P (Borling et al., 2001). Zvýšení sorpce P může také dojít v důsledku inhibice krystalizace amorfních oxidů Fe a Al vlivem organických kyselin (Borggaard et al., 1990).

### 2.3.2 Hnojení fosforem

Fosfor bývá v některých hospodářských systémech za dusíkem druhý v množství aplikovaných živin v hnojivech (Troeh et Thompson, 2005). Velké dávky hnojiv v různých osevních postupech vedou k akumulaci fosforu v půdě (Benbi et Biswas, 1999). Změny obsahu přístupného fosforu se mohou projevit až po několika letech. Schopnost půdy doplňovat fosfor ze svých rezerv závisí především na koncentraci jednotlivých forem fosforu v půdě, dále pak na půdní sorpční kapacitě a rozpustnosti sloučenin obsahujících fosfor (McDowell et al., 2003).

Lindsay (1979) uvádí, že je nutné použít různá minerální hnojiva pro vyšší výnosy z důvodu nízké rozpustnosti většiny fosforečných sloučenin v půdě. Ovšem Mengel (1991) upozorňuje, že dlouhodobé používání minerálních hnojiv může způsobit okyselení půdy a horší příjem fosforu. Organická hnojiva mohou být rovněž zdrojem fosforu. V čerstvé hmotě hnoje je obsaženo přibližně 0,11 % fosforu (Vaněk et al, 2007). V čistírenských kalech se obsah fosforu pohybuje v průměru okolo 0,89 % v čerstvém stavu (Smith et al., 2003), v ČR činí průměrná hodnota dokonce 1,2 % (Balík et al., 1999). Přestože v kalech je větší množství fosforu, zjistili Maguire et al. (2000), že přijatelnost fosforu z čistírenských kalů je menší než z hnoje. Je to pravděpodobně způsobeno srážením fosfátů přidáváním síranu hlinitého nebo chloridu železitého do odpadních vod. Záleží však na tom, jakým způsobem je v technologii čištění odpadních vod fosfor odstraňován. Pokud je více využíván princip chemického vysrážení P, je v kalech obsah P nižší (vlivem následné separace), nebo se vyskytuje v méně rozpustných formách (např. fosforečnanů hořečnatoamonných) (Černý et al., 2014).

V České republice patří obsah přístupného fosforu v půdě mezi základní agrochemické parametry, které jsou sledovány pomocí agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP). Vypočítané dávky fosforu vychází z charakteru půd, předpokládaných výnosů plodin a dlouhodobých bilancí živin. Do výpočtu a rozhodování o typu hnojiva se zahrnuje více výchozích parametrů, jako je chemický rozbor půdy (AZZP), skupina půdního druhu, acidita půdy, statkové hnojení, zaorávání různých posklizňových zbytků a zvětrávání půdního substrátu.

Efektivní využití fosforečných hnojiv závisí na celé řadě faktorů (Kunzová, 2009):

- dávce P – hnojiv, rozpustnosti, úpravě (práškový, granulovaný) a na chemických vlastnostech,
- půdních vlastnostech a to zejména na hodnotě půdní reakce, teplotě, vlhkosti. Důležité jsou i další chemické, chemicko-biologické a fyzikální vlastnosti půd. Na půdách s optimálním pH lze doporučit aplikaci P-hnojiva s vodorozpustnou formou fosforu. Na půdách s  $\text{pH} < 5$  je výhodnější aplikovat mleté fosfáty případně hyperfosfáty,
- způsobu zapravení hnojiva. Hlubší zapravení P-hnojiva do vlhčího prostředí způsobuje pozvolnější retrogradaci o-fosforečnanů, a tím vyšší a rychlejší příjem fosforu rostlinou,
- vlastnostech hnojené plodiny.

Množství dodaného fosforu v České republice v minerálních a organických hnojivech se výrazně snížilo od roku 1990. Průměrné dávky P za jednotlivé období jsou uvedeny v tabulce 1 (upraveno dle Kunzová, 2009; Kulhánek et al., 2015).

Tab. 1 Průměrná dávka P [kg/ha] v minerálních a organických hnojivech v České republice

	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2008	2010-2014
<i>celková dávka</i>	<b>44</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>13</b>
minerální hnojiva	29	5	5	6	7	5
organická hnojiva	15	12	9	9	9	8

### 2.3.3 Fosfor v rostlině

Fosfor je rostlinami přijímán ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, a to převážně ve formě  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{HPO}_4^{2-}$  (Vaněk et al., 2007). Fosfor je jednou z nejdůležitějších makroživin, jelikož je součástí klíčových molekul jako nukleových kyselin, fosfolipidů a ATP. Následkem toho by se rostlina bez dostatečného příjmu P nemohla vyvíjet (Schatman et al., 1998). Fosfor se také podílí na kontrole významných enzymatických reakcí a na regulaci metabolických pochodů (Theodorou et Plaxton, 1993). Efekt hnojení fosforem na výnos rostlin je poměrně nízký, protože často dochází k fixaci, adsorpci a srážení přijatelných fosforečnanů (Tisdale et al., 1993). Odběr fosforu se liší podle druhu plodiny i jejich

jednotlivých částí, jak uvádí tabulka 2. Obecně lze říci, že plodiny pěstované na zrno obsahují více fosforu oproti ostatním plodinám (Troeh et Thompson, 2005).

Tab. 2 Průměrný odběr P [kg/ha] ve vybraných částech sklizených plodin

plodina	zrno	sláma	hlízy	seno	nadzemní biomasa	bulva
brambory	-	-	12,3	-	-	-
cukrová řepa	-	-	-	-	-	20,2
ječmen	15,7	3,4	-	-	-	-
jetel luční	-	-	-	6,7	-	-
kukuřice	25,8	-	-	-	9,0	-
oves	14,6	5,6	-	-	-	-
pšenice	12,3	3,4	-	-	-	-
sója	19,0	2,2	-	-	-	-
peluška	-	-	-	12,3	-	-
vojtěška	-	-	-	20,2	-	-

Průměrné odběry fosforu rostlinami v České republice od období 2001-2005 se na zemědělských plochách pohybují kolem 15 kg P/ha, jak je patrné z tabulky č. 3 (upraveno dle Kunzová, 2009; Kulháněk et al., 2015).

Tab. 3 Průměrný odběr P [kg/ha] rostlinami v zemědělských plochách v ČR

	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2008	2010 - 14
<b>celkový odběr</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
hlavní produkt	15	13	11	13	13	13
vedlejší produkt	4	3	2	2	2	2

### 2.3.4 Výpočet bilance fosforu

Výsledek bilance by měl být rozdílem mezi celkovým množstvím fosforu dodaným do půdy ve vstupech a celkovým množstvím fosforu exportovaného ve ztrátách za rok na základě P cyklu. Podle metodiky OECD by mezi vstupy mělo být zahrnuto minerální a organické hnojení, vstup fosforu depozicí a fosfor dodaný v rostlinných zbytcích a osivech. Mezi ztráty by měl být zahrnut fosfor odebraný hlavní sklizenou plodinou a fosfor odebraný vedlejšími produkty (OECD, 2007).

Jednotlivé rovnice pro výpočet bilance fosforu se liší. Blake et al. (2003) do své rovnice nezahrnují vstup P depozicí a nerozlišují vedlejší a hlavní sklízený produkt:

$$P_{balance} = P_{hnojení} - P_{odběr\ rostlinami} \quad (3)$$

Dubec et Křen (2004) sestavili rovnici pro výpočet bilance fosforu podle modelu REPRO (Hülsbergen et Diepenbrock, 1997), kde byl fosfor dodaný v organických hnojivech a fosfor dodaný ve slámě a zeleném hnojení počítán zvlášť:

$$P_{balance} = P_{SG} + P_{SD} + P_{OD} + P_{MD} - P_E \quad (4)$$

kde  $P_{SG}$  – v osivu,  $P_{SD}$  – ve slámě a zeleném hnojení,  $P_{OD}$  – v organických hnojivech,  $P_{MD}$  – v minerálních hnojivech,  $P_E$  – odběr v hlavním a vedlejším produktu.

Steinshamn et al. (2004) do výpočtu bilance fosforu zahrnuli také ztrátu vyplavováním:

$$P_{balance} = P_{hnojení} - P_{odběr\ rostlinami} - P_{ztráty\ vyplavováním} \quad (5)$$

### 2.3.5 Bilance fosforu v ČR a ve světě

Nevyvážená aplikace fosforu v zemědělských oblastech po celém světě má za následek degradaci půd z důsledku nedostatečného množství P nebo naopak jeho přebytku a znečištění životního prostředí (Cao et al. 2012). Na světě vykazuje 30 % z pěstebních ploch plodin nedostatek fosforu, zbývajících 70% přebytek (MacDonald et al., 2011). Převážně v důsledku aplikace fosforu v minerálních hnojivech se zvýšil obsah P v biosféře v posledních 50 letech až trojnásobně. Množství P, které se dostává k pobřežím oceánů se zvýšilo z  $8 \times 10^6$  tun/rok na  $22 \times 10^6$  tun/rok (Horwarth et al., 1995). Bilance P se na jednotlivých farmách může pohybovat od záporných hodnot až po +200 kg/ha, záleží na způsobu hospodaření a půdním typu a druhu (Halberg, 1999; Hooda et al., 2001; Steinshamn et al., 2004). Ve střední Evropě se roční bilance P pohybuje od -7 kg/ha do +6 kg/ha, v důsledku tohoto klesá množství půd s dostatečnou zásobou P (množství dobře zásobených půd fosforem je 40 - 50 %), a to může vést k poklesům výnosu a ekonomickým problémům (Csathó et al., 2007). Vos et van der Putten (1999) ve čtyřletém pokusu s celkovým vstupem fosforu 29 kg/ha zjistili bilanci na konci pokusu +6 kg/ha, s přidáním meziplodiny do osevního sledu pak +5 kg/ha. Na variantě s celkovou dávkou fosforu 31 kg/ha zjistili bilanci +9 kg/ha, s přidáním meziplodiny pak +5 kg/ha.

Klír (2005) publikoval bilanci fosforu na území České republiky v roce 1960 +11 kg P/ha, v roce 1980 +30 kg P/ha a v roce 2004 jako vyrovnanou 0 kg P/ha. Dubec et Křen (2004) vypočetli podle rovnice 4 v podnicích v řepařské oblasti v České republice bilanci fosforu v podniku se 7 letým sledováním -2,14 kg P/ha/rok, v podniku se tříletým sledováním -1,03 kg P/ha/rok a s dvouletým sledováním -0,95 kg P/ha/rok. Mezi vstupy zařadili fosfor dodaný v osivu, organických a minerálních hnojivech, slámě a zeleném hnojení, mezi ztráty zahrnuli fosfor odebraný v hlavním a vedlejším sklízeném produktu. Hlušek et Trávník (2002) publikovali bilanci fosforu (rovnice 3) na základě 25 letých stacionárních polních pokusů v řepařské (ŘVO) a bramborářské (BVO) výrobní oblasti při různém systému hnojení a odlišné dávce P, N a K následovně: se zvyšující se dávkou dusíku a draslíku se zvyšuje výnos plodin, a tím se zvyšuje odběr P a dochází k záporné bilanci P, ale již s nízkou dávkou P (28 kg P/ha/rok) se v obou oblastech bilance vyrovnává (ŘVO +0,4 kg P/ha/rok; BVO +4,5 kg P/ha/rok). Při zvýšení dávky aplikovaného P (40 a 57 kg P/ha/rok) v obou oblastech kladná bilance narůstá takto: ŘVO +10,2 respektive +28 kg P/ha/rok; BVO +15,6 respektive +31,8 kg P/ha/rok. Vašák et al. (2011) na 12 letých polních pokusech s rotací plodin brambory/kukuřice – pšenice ozimá – ječmen jarní na dvou stanovištích s odlišně půdními a klimatickými vlastnostmi vypočetli bilanci fosforu podle rovnice 3 na variantě s aplikací čistírenského kalu. Kalem bylo ročně průměrně dodáváno 67 kg P/ha/rok. Bilance byla na stanovištích +64,6 kg P/ha, respektive +70,5 kg P/ha.

Důležité pro hodnocení bilanci je sledování změn obsahu přístupného P v půdě. Mantovi et al. (2000) sledovali obsah přístupného P v půdě po aplikaci kapalného a odvodněného čistírenského kalu v dávce 5 t sušiny/ha/rok na 12 letém polním pokusu s osevním sledem ozimá pšenice - cukrová řepa - kukuřice. Kapalným kalem bylo průměrně aplikováno 119 kg P/ha/rok, odvodněným kalem 111 kg P/ha/rok. Obsah přístupného P v půdě po aplikaci kapalného kalu byl 46,94 mg/kg, odvodněného kalu 45,94 mg/kg. Kontrolní varianta v podobě minerálního hnojení močovinou měla přístupný obsah P v půdě 26,67 mg/kg.

Na základě uvedených průměrných dávek P v kapitole 1.3.2 a průměrných odběrů v kapitole 1.3.3 pro ČR, lze vypočítat bilanci P (upraveno dle Kunzová, 2009; Kulhánek et al., 2014) v tabulce 4.

Tab. 4 Bilance P [kg/ha] na zemědělských půdách za daná období v ČR

	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2008	2010-2014
<i>bilance</i>	<b>26</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-2</b>

## 2.4 Draslík

Draslík je pro rostliny třetí nejdůležitější živinou. Draslík netvoří kovalentní vazby s organickými sloučeninami na rozdíl od N, P a S. V živé buňce je aktivním iontem, ale v případě zániku buňky je rychle vyplavován z mrtvé organické hmoty (Troeh et Thompson, 2005).

Zásoba přístupného draslíku v půdách v Evropě se velmi liší. Johnston (2003) uvádí, že 25 % zemí má nízký až velmi nízký obsah draslíku. V České republice klesá obsah draslíku a postupně se stává dalším limitujícím prvkem výnosu a kvality produkce. Dochází k dlouhodobému bilančnímu deficitu, což má za následek zvýšené čerpání draslíku z půdy, čímž se snižuje půdní úrodnost. Na všech druzích půd se zastavil nárůst kategorií s vysokým a velmi vysokým obsahem přístupného draslíku a začal přechod do nižších kategorií zásobennosti (Kunzová, 2010).

### 2.4.1 Draslík v půdě

Průměrný obsah draslíku v zemské kůře je okolo 23 g/kg. Zdaleka největší část K je obsažen v primárních minerálech a sekundárních jílových minerálech (Mengel et Kirkby, 2001). Zdrojem K jsou slídové minerály (muskovit, biotit) a minerály skupiny živců – např. ortoklas (Troeh et Thompson, 2005). Různě odlišná náchylnost k zvětrávání jednotlivých jílových minerálů, a tím uvolňování  $K^+$  je velmi významná vlastnost pro bilanci draslíku (Anderson et al., 2007). V tabulce 5 jsou uvedeny nejdůležitější minerály jako zdroj  $K^+$  (Blume et al., 2002).

Tab. 5 Koncentrace K ve vybraných jílových minerálech

	koncentrace [g/kg]
Alkalický živec	32 – 120
Ca - Na živec	0 – 24
Muskovit (K-slída)	60 – 90
Biotit (Mg-slída)	36 – 80
Illit	32 – 56
Vermikulit	0 – 16
Chlorit	0 – 8
Montmorillonit	0 – 4

Petrofanov (2011) uvádí, že kvantitativní výměna draslíku mezi půdním roztokem a pevnou fází půdy závisí na velikosti půdních částic a přítomnosti jílových minerálů. Popisuje vliv velikosti půdních částic na sorpci draslíku. Částice o velikosti  $< 10 \mu\text{m}$  mají maximální kapacitu na sorpci a desorpci draslíku. Částice o velikosti  $< 0,2 \mu\text{m}$  jsou nejvíce obohaceny draslíkem. Různý systém hnojení nemá vliv na změnu desorpce draslíku v koloidní frakci, naopak ve frakci o velikosti  $0,2 - 1$  a  $1 - 10 \mu\text{m}$  již byl významný rozdíl pozorován. Kationt s nízkou hydratační energií, jako je draslík, způsobuje dehydrataci mezivrstvy jílových minerálů a její rozpad, a proto je fixován v mezivrstvě jílových minerálů. Naopak ionty s vysokou hydratační energií rozšiřují mezivrstvu jílových minerálů a nejsou tak silně fixovány (Sawhney, 1971).

Staré zvětralé půdy mají obvykle nízký obsah K (Portela, 1993). Oproti těmto starým zvětralým půdám jsou v silném kontrastu na obsah K mladší půdy vzniklé z vulkanických materiálů (Graham et Fox, 1973). Hnědozemě vyvinuté na spraších mají také vysoký obsah přístupného K pro rostliny (Mengel et al., 2008). Vašák et al. (2013) na nehnojených variantách v 17 letém dlouhodobém polním pokusu změřili metodou Mehlich 3 průměrný obsah přístupného K na černozemi modální 253 mg/kg (dobrý obsah), na hnědozemi modální 150 mg/kg (vyhovující obsah), na kambizemi modální 137 mg/kg (vyhovující obsah) a kambizemi oglejené 202 mg/kg (dobrý obsah).

Množství K v půdě mimo jiné také závisí na typu jílových minerálů obsažených v půdě (Mengel et Kirkby, 2001). Laves (1978) na základě více než 1000 pozorování ve střední Evropě zjistil, že obsah K silně odpovídá množství obsaženého illitu a Al-chloritu v půdě, naopak méně odpovídá množství smektitu v půdě. Nejvyšší obsah K našel na hnědozemích v hornatých oblastech s vysokým obsahem chloritu a illitu doprovázeným nízkým obsahem smektitu. Naproti tomu aluviální půdy s dominantním zastoupením smektitu měly nízký obsah draslíku. Střední hodnoty K mezi oběma popsányi půdami obsahovaly sprašové půdy. Organické půdy měly často nízký obsah jílu s průměrným obsahem draslíku 300 mg/kg.

Jako další zdroje draslíku se může uplatnit depozice. Härdtle et al. (2006) stanovili roční míru depozice draslíku na severovýchodě Německa 3,6 kg/ha/rok. Ve Švýcarsku byla zjištěna 0,55 kg/ha/rok (Spiess, 2011). V České republice, konkrétně v Praze, byla zaznamenána depozice 2 kg/ha/rok (Anonymous, 2006).

Příjem draslíku rostlinami závisí na koncentraci draslíku v půdě. Koncentrace draslíku v půdě může být modelována koncentrací K v půdním roztoku, schopností půdy udržet koncentraci K

v půdním roztoku a efektivním K difúzním koeficientem (Schneider, 2002). Vyplavování K je závislé na typu a obsahu jílových minerálů, obsahu organické hmoty, koncentraci kationtů, a to zejména  $\text{Ca}^{2+}$ , a množství aplikovaného  $\text{K}^+$  (Johnston, 1993; Rowell, 1985). Při aplikaci draselných hnojiv na silně písčitéch půdách s nízkým obsahem jílu a slabé pufrací kapacity dochází ke zvýšení obsahu draslíku v půdním roztoku a následkem srážek nebo závlahy k jeho vyplavování. V suchých oblastech zvyšuje vyplavování draslíku kalcit a gypsit (Jalali et Rowell, 2003).

Půdní roztok není pravděpodobně nikdy saturován draselnými ionty. Mnoho draselných sloučenin je vysoce rozpustných ve vodě a draselné ionty pak přecházejí z roztoku adsorpci do sorpčního komplexu ještě předtím, než může být saturován půdní roztok. Draslík obsažen v půdním roztoku je nejvíce přístupný pro rostliny. Rovnovážný vztah mezi třemi skupinami draslíku je uveden na obrázku 4 (Troeh et Thompson, 2005).



*Obr. 4: Vztah rovnováhy mezi třemi druhy půdního draslíku.*

Nevýměnného  $\text{K}^+$  je v půdě kolem 99 %, výměnného  $\text{K}^+$  je kolem 1 % a  $\text{K}^+$  v půdním roztoku je obvykle pouze kolem 0,01 % z obsahu celkového draslíku obsaženého v půdě (Troeh et Thompson, 2005).

#### **2.4.2 Hnojení draslíkem**

Při hnojení draslíkem uplatňujeme zásadu, že se hnojí půda. Dávka draslíku je určována podle jeho zásoby a výnosové úrovně (Vaněk et al., 2007). Dávku minerálního draselného hnojiva lze určit podle rozboru AZZP, půdního druhu, statkového hnojení, zaorání posklizňových zbytků a zvětrávání půdního substrátu (Kunzová, 2010). Velké dávky draslíku způsobují půdní disperzi, která má za následek pokles infiltrační schopnosti půdy, a tím zvýšení její náchylnosti k erozi (Auerswald et al., 1996).

Světový poměr spotřeby N:P:K byl 3:0,7:1 v roce 1980, ale zvýšením spotřeby N oproti P a K se v roce 2002 poměr změnil na 4,3:0,7:1. Toto zvýšení poměru dusíku k draslíku a fosforu je způsobeno vyšší zemědělskou produkcí rozvojových zemí, a tím větším množstvím dodávaných živin do půdy od roku 1980 oproti již rozvinutým zemím. Naopak poměr spotřeby N:P:K v rozvojových zemích 7,5:1,4:1 z roku 1980 se změnil na 5,2:1,3:1 v roce 2002, kdy došlo k navýšení dávek draslíku. Ovšem stále je velký rozdíl mezi spotřebou



dusíku a draslíku. Zatímco v rozvinutých zemích je spotřeba N 3,3x větší než K, v rozvojových zemích je tato spotřeba 5,2x větší (Magen, 2008).

V případě využívání pouze organických hnojiv je větší riziko vzniku záporné bilance K na takto obhospodařovaném pozemku (Fagerberg et al., 1996; Bengtsson et al., 2003). To je způsobeno tím, že část K je také exportována z koloběhu K a již se nenavrací zpět. Průměrná dávka aplikovaného K (kg/ha) na zemědělské půdy v České republice klesla v období 2010 – 2014 více než o polovinu v porovnání s obdobím 1986 – 1990, jak je uvedeno v tabulce 6 (upraveno dle Kunzová, 2010; Kulhánek et al, 2015).

Tab. 6 Průměrná dávka K [kg/ha] na zemědělských plochách v ČR

	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2008	2010-2014
<b>celková dávka</b>	<b>131</b>	<b>72</b>	<b>52</b>	<b>58</b>	<b>61</b>	<b>61</b>
minerální hnojiva	54	9	7	7	9	8
organická hnojiva	77	63	46	51	51	53

Efektivní využití draselných hnojiv závisí převážně na následujících faktorech (Kunzová, 2010):

- Půdních vlastnostech, obsahu přístupného draslíku a nároků plodin. Draslík se váže na sorpční komplex půdy a způsobuje okyselení, kdy na sorpčně nasycených půdách vytěsňuje hlavně  $Mg^{2+}$  a  $Ca^{2+}$  a na sorpčně nenasyčených vytěsňuje převážně vodíkový kationt.
- Době a způsobu aplikace na jednotlivých půdních druzích.

### 2.4.3 Draslík v rostlině

Draslík je v rostlině vyžadován pro činnost mnoha enzymů včetně zajištění energie pro metabolismus, syntézu proteinů, transport živin v rostlině, vliv na buněčný turgor především v rychle se vyvíjejících buňkách, působí jako kationt k hromadění aniontů a zajišťuje také transport elektronů (Amtmann et al., 2006; White et Karley, 2010).

Talati et al. (1974) popsali na nehnojeném pozemku při růstu ječmene vyšší odběr draslíku, než bylo množství přístupného draslíku v půdě. Obsah přístupného K v půdě vzrostl od raných fází růstu do poloviny vegetační doby ze 140 na 255 kg/ha a pak klesl v době sklizni na 240 kg/ha. Na základě tohoto pozorování prokázali významnou korelaci mezi

množstvím výměnného a nevýmenného draslíku v půdě. Nejméně využívaného nevýmenného draslíku je v případě, kdy je i vysoká úroveň obsahu přístupného draslíku.

Odběr draslíku se liší podle druhu plodiny a jejich jednotlivých částí, jak uvádí tabulka 7 (Troeh et Thompson, 2005).

Tab. 7 Průměrný odběr K [kg/ha] ve vybraných částech sklizených plodin

Plodina	zrno	sláma	hlízy	seno	nadzemní biomasa	bulva
Brambory	-	-	106,4	-	-	-
cukrová řepa	-	-	-	-	-	60,5
Ječmen	13,4	42,6	-	-	-	-
jetel luční	-	-	-	65,0	-	-
Kukuřice	34,7	-	-	-	114,2	-
Oves	14,6	39,2	-	-	-	-
Pšenice	20,2	30,2	-	-	-	-
Sója	59,4	22,4	-	-	-	-
Pelushka	-	-	-	84,0	-	-
Vojtěška	-	-	-	158,0	-	-

Průměrné odběry draslíku rostlinami na zemědělských plochách v České republice se pohybují okolo 75 kg P/ha, jak je patrné z tabulky 8 (upraveno dle Kunzová, 2010; Kulhánek et al., 2015).

Tab. 8 Průměrný odběr K [kg/ha] rostlinami na zemědělských plochách v ČR

	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2008	2010-2014
<b>celkový odběr</b>	<b>91</b>	<b>77</b>	<b>66</b>	<b>71</b>	<b>71</b>	<b>90</b>
hlavní produkt	53	44	43	41	40	*
vedlejší produkt	38	33	23	30	31	*

#### 2.4.4 Výpočet bilance draslíku

Stejně jako u fosforu se i u výpočtu bilance draslíku můžeme setkat s několika různými rovnicemi. Jednoduchou rovnicí pro výpočet bilance draslíku, kde je počítáno se vstupy ve formě hnojení a ztráty pouze ve sklizených plodinách, sestavili Andrist-Rangel et al. (2007) následovně:

$$K_{balance} = F_{min} + F_{org} - H_K, \quad (6)$$

kde:  $F_{min}$  - vstupy draslíku z minerálního hnojení,  $F_{org}$  - vstupy z organického hnojení. Mezi ztráty draslíku zahrnuly odběr draslíku v sklizňových plodinách včetně odvezených posklizňových zbytků ( $H_K$ ).

Buresh et al. (2010) do rovnice pro výpočet bilance draslíku zahrnuli oproti rovnici 6 vstup z rostlinných zbytků a mezi ztráty zahrnuli ztrátu vyplavováním:

$$K_{balance} = K_w + K_{OM} + K_{CR} - K_L - (GY \times RIE), \quad (7)$$

kde:  $K_w$  - vstup z minerálních hnojiv,  $K_{OM}$  - vstup z organických materiálů,  $K_{CR}$  - vstup z rostlinných zbytků (rovnice 8),  $K_L$  - ztráta vyplavováním,  $GY$  - výnos zrna,  $RIE$  - vzájemná vnitřní účinnost (množství draslíku na 1000 kg suché nadzemní biomasy)

Pro výpočet vstupu draslíku z rostlinných zbytků sestavili Buresh et al. (2010) rovnici:

$$K_{CR} = GY \times RIE \times (1 - HI) \times CRR, \quad (8)$$

kde:  $HI$  - sklizňový index (množství K (kg) obsaženého v zrně na množství K (kg) obsaženého v suché hmotě celé rostliny),  $CRR$  - podíl celkového množství rostlin ponechané na poli po sklizni.

Andrist-Rangel et al. (2007) sestavili rovnici pro výpočet změny obsahu draslíku v půdě. Na rozdíl od jejich rovnice pro výpočet bilance (rovnice 6) jsou zde vstupy rozšířeny o atmosférické depozice a vstupy z osiva. Mezi ztráty je počítán nejen odběr sklizňových produktů, ale také i ztráty ve formě vyplavení a povrchových odtoků:

$$\Delta Soil_K = S_K + F_K + AD_K + I_K - (H_K - L_K - R_K - O_k), \quad (9)$$

kde:  $\Delta Soil_K$  - změna obsahu v půdě,  $S_K$  - vstup z osiva,  $F_K$  - vstup z hnojení,  $AD_K$  - atmosférická depozice,  $I_K$  - ostatní vstupy,  $H_K$  - ztráta ve sklizňových produktech,  $L_K$  - ztráta vyplavením,  $R_K$  - ztráta povrchovým odtokem,  $O_k$  - ostatní ztráty.

#### 2.4.5 Bilance draslíku v ČR a ve světě

Z hlediska bilance živin je nedostatek draslíku považován za méně důležitý v porovnání s dalšími hlavními živinami, a to zejména na půdách bohatých na obsah jílu (Öborn et al., 2005). Avšak Elmer et Baumacker (2005) uvádí na základě sledování dlouhodobých pokusů v Rothamstedu, ve kterých porovnávali vztahy mezi bilancemi živin a vlivem na výnos plodin

po 65 letech trvání pokusu, že při úbytku živin byla vyhodnocena důležitost sledovaných živin v pořadí  $N > K > Ca > P$ .

Andrist-Rangel et al. (2007) zaznamenali na 18 letém polním pokusu na třech stanovištích s písčito – hlinitým půdním druhem zápornou průměrnou bilanci draslíku na organickém i konvenčním způsobu hospodaření v rozmezí od -22 do -75 kg/ha/rok, respektive od -21 do -60 kg/ha/rok. Ke stejnému závěru na základě 11 letého pokusu dospěli Gruber et al (2001), kteří na konvenčním i organickém způsobu hospodaření zjistili shodně zápornou bilanci -13 až -34 kg/ha/rok. Andersson et al (2006) na 40 letém pokusu zjistili průměrnou zápornou bilanci z pěti stanovišť od -10 do -26 kg/ha/rok na variantách bez aplikace draslíku. Vos et van der Putten (1999) na čtyřletém pokusu s celkovou dávkou draslíku 116 kg/ha dodanou pouze v minerálních hnojivech bez meziplodiny zjistili bilanci draslíku na konci pokusu -26 kg/ha, se zařazením meziplodiny do osevního sledu -31 kg K/ha. Na variantě s celkovou dávkou draslíku 120 kg/ha dodanou kromě minerálního částečně i organickým hnojením zjistili zápornou bilanci -34 kg K/ha, s přidáním meziplodiny -41 kg K/ha.

Důležité pro hodnocení bilance draslíku je také sledovat změny obsahu přístupného draslíku v půdě. Antoniadis et al. (2015) na dvouletém polním pokusu na variantách s aplikací čistírenského kalu v dávkách 120, 240 a 360 kg N/ha a s aplikací hnoje v dávkách 120, 240 N kg/ha popsali zvýšenou přístupnost draslíku po dvou letech oproti kontrolní nehnojené variantě a variantě s aplikací minerálního hnojení v dávce 120 kg N/ha (80 kg N/ha síran amonný, 40 kg N/ha dusičnan amonný) s aplikací 35 kg P/ha ve formě trojitého superfosfátu společně se síranem amonným. Statisticky významný rozdíl byl ale zjištěn pouze u nejvyšší dávky kalu (360 kg N/ha) a hnoje (240 kg N/ha).

Na základě uvedených průměrných dávek draslíku na zemědělské půdy v kapitole 1.4.2 a průměrných odběrů v kapitole 1.4.3 pro Českou republiku, lze vypočítat bilance draslíku za daná období (upraveno dle Kunzová, 2010; Kulhánek et al., 2014) uvedené v tabulce 9.

Tab. 9 Bilance K [kg/ha] na zemědělských půdách za daná období v ČR

	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2008	2010-2014
<b><i>bilance</i></b>	<b><i>40</i></b>	<b><i>-5</i></b>	<b><i>-14</i></b>	<b><i>-12</i></b>	<b><i>-10</i></b>	<b><i>-29</i></b>

### 3. Cíle

Pro doktorskou disertační práci byly zvoleny následující cíle:

- výpočty bilance fosforu na dlouhodobých polních pokusech,
- výpočty bilance draslíku na dlouhodobých polních pokusech,
- vyhodnocení vlivu hnojení na změny obsahu přístupného fosforu a draslíku v půdě,
- vyhodnocení vlivu hnojení na výnos plodin a odběr fosforu a draslíku pěstovanými plodinami,
- popis půdní variability v obsahu přístupného fosforu, draslíku a půdního pH na pokusných parcelách.

### 4. Hypotézy

Na základě doposud zjištěných poznatků byly stanoveny následující hypotézy:

- Předpokládá se, že rozdílným systémem hnojením bude ovlivněn nejen výnos rostlin, ale také obsah přijatelného fosforu a draslíku v půdě a jejich bilance,
- Předpokládá se výskyt antropogenní, prostorové, horizontální mesovariability s možností výskytu systematické variability.

## 5. Metodika

Pro účely řešení cílů doktorské disertační práce byly využívány dlouhodobé polní pokusy Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin (ČZU v Praze).

### 5.1 Charakteristika stanovišť a polních pokusů

Polní pokusy byly založeny na pěti stanovištích v České republice s odlišnými půdními a klimatickými podmínkami (Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec, Praha – Suchdol). Charakteristika jednotlivých stanovišť je uvedena v tabulce 10. Pokusy se dělily na dva typy: stacionární pokus s monokulturním pěstováním kukuřice na siláž (Červený Újezd, Praha – Suchdol) založený v roce 1990, respektive 1992, a stacionární pokus s rotací plodin (na všech stanovištích) založený jednotně v roce 1996.

Tab. 10 Půdní a klimatické charakteristiky stanovišť

Stanoviště	Červený Újezd	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Praha - Suchdol
Lokalizace	50°4'22"N, 14°10'19"E	50°18'46"N, 15°43'3"E	49°33'16"N, 15°21'2"E	49°33'23"N, 14°58'39"E	50°7'40"N, 14°22'33"E
Nadmořská výška [m n. m.]	398	265	525	610	286
Průměrná roční teplota [°C]	7,7	8,2	7,0	7,7	9,1
Průměrné roční srážky [mm]	493	573	665	666	495
Půdní typ	Hnědozem	Hnědozem	Kambizem	Kambizem	Černozem
Půdní subtyp	<i>modální</i>	<i>modální</i>	<i>modální</i>	<i>oglejená</i>	<i>modální</i>
Půdní druh (NRSC USDA)	prachovitá hlína	prachovitá hlína	písčitá hlína	písčitá hlína	prachovitá hlína
KVK [mmol <sub>+</sub> /kg]	118	116	90	45	262
C <sub>ox</sub> [%]	1,01	0,93	1,24	1,09	1,76
Objemová hmotnost pd [g/cm <sub>3</sub> ]	1,47	1,50	1,40	1,27	1,43

### 5.1.1 Dlouhodobé stacionární pokusy s rotací plodin

V rámci pokusu byly střídány tři plodiny ve sledu: brambory - pšenice ozimá – ječmen jarní. Na stanovišti Červený Újezd byla vzhledem k agrotechnickým možnostem pracoviště místo brambor využívána jako pokusná plodina silážní kukuřice. Organické hnojení bylo aplikováno na podzim vždy pod brambory (kukuřici). Dávka organických hnojiv byla stanovena podle obsahu dusíku při dávce N 330 kg/ha (hnůj, kal 1) a 990 kg/ha (kal 3). S organickým hnojením se aplikovalo 5 t/ha ječné slámy na variantu N+sláma. Minerální dusíkaté hnojivo (LAV) bylo aplikováno u brambor a ječmene před založením porostu, na bloku pšenice byla dávka dusíku rozdělena na regenerační a produkční hnojení. Pokus byl založen na podzim 1996, kdy byla poprvé aplikována fosforečná a draselná hnojiva. První sklizeň plodin byla v roce 1997. Fosfor byl aplikován v trojitém superfosfátu (TSP) a draslík v draselné soli (DS). Varianty hnojení a dávky živin v aplikovaných hnojivech jsou uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11 Dávky živin [kg/ha] v aplikovaných hnojivech za tříletý cyklus

varianta	brambory/kukuřice			pšenice			ječmen		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
kontrola	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kal 1	330 <sup>1)</sup>	303 <sup>2)</sup>	59 <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0
kal 3	990 <sup>1)</sup>	909 <sup>2)</sup>	177 <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0
hnůj	330 <sup>1)</sup>	113 <sup>2)</sup>	326 <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0
N	120	0	0	140	0	0	70	0	0
N+sláma	138	6 <sup>2)</sup>	42 <sup>2)</sup>	140	0	0	70	0	0
NPK	120	30	100	140	30	100	70	30	100

<sup>1)</sup> celkový dusík v organických hnojivech

<sup>2)</sup> průměrná dávka podle obsahu živin v hnojivech

Velikost pokusné parcely byla na stanovištích Hněvčeves, Humpolec a Lukavec 60 m<sup>2</sup>, na stanovišti Suchdol 60,5 m<sup>2</sup> a na stanovišti Červený Újezd 80 m<sup>2</sup>.

Čistírenský kal byl pro všechna stanoviště získáván z ČOV Praha - Trója. Obsahy draslíku a fosforu v jednotlivých aplikačních letech jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab. 12 Dávky P a K [kg/ha] v čistírenském kalu v aplikačních letech

	1998	2001	2004	2007	2010
Fosfor	92	291	224	316	594
Draslík	44	75	51	79	48

Hnůj byl pro potřeby pokusu získáván z jednotlivých pokusných stanic. Množství fosforu a draslíku aplikovaných v hnoji na jednotlivých stanovištích v aplikačních letech je uvedeno v tabulce 13.

Tab. 13 Množství P a K [kg/ha] aplikovaných v hnoji v aplikačních letech na podzim

	1998		2001		2004		2007		2010	
	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K
Č. Újezd	84	288	167	307	83	236	118	288	102	260
Hněvčeves	91	397	146	605	94	526	205	316	104	237
Humpolec	129	484	92	206	77	257	92	417	100	246
Lukavec	81	467	116	68	65	241	171	678	116	273
Suchdol	115	252	167	307	83	236	118	288	102	260

### 5.1.2 Dlouhodobé stacionární pokusy s monokulturou silážní kukuřice

Polní pokus s monokulturálním pěstováním kukuřice na siláž byl na stanovišti Červený Újezd založen v roce 1990 a na stanovišti Suchdol v roce 1992. Z důvodu archivovaného rostlinného materiálu, ustálení systému hnojení a sjednocení termínu založení pokusu s rotací plodin byl pokus hodnocen na obou stanovištích pro účely této práce od roku 1996 do roku 2013.



Stacionární pokus s opakovaným pěstováním silážní kukuřice v Červeném Újezdě zahrnoval šest variant hnojení. Systém hnojení spolu s množstvím aplikovaných živin je uveden v tabulce 14. Každá varianta hnojení byla čtyřikrát opakována na jednotlivých pokusných parcelách o velikosti 170 m<sup>2</sup>.

Tab. 14 Č. Újezd - průměrné roční dávky živin [kg/ha] za období 1996 – 2013

Varianta	N	P	K
Kontrola	0	0	0
Kal	120	89	19
Hnůj	120	36	106
N	120	0	0
NPK	120	30	150
N+sláma	138	6	42

Veškeré hnojení bylo prováděno každoročně. Dusík byl aplikován v hnojivu DAM na jaře před založením porostu a následně byl po aplikaci zapraven. Organické hnojení (hnůj, kal, sláma), stejně jako granulovaný trojitý superfosfát (TSP) a draselná sůl (DS), bylo aplikováno na podzim po sklizni před orbou. Množství aplikovaného organického hnojení (kal a hnůj) bylo stanoveno na základě obsahu dusíku při roční dávce N 120 kg/ha. Ječná sláma byla aplikována v množství 5 t/ha. Průměrná roční dávka sušiny byla u hnoje 15 t/ha a u kalu 10 t/ha.

Na stanovišti Suchdol bylo v pokusu pět variant hnojení. Systém hnojení spolu s množstvím aplikovaného draslíku a fosforu je uveden v tabulce 15. Každá varianta hnojení byla opakována čtyřikrát na jednotlivých pokusných parcelách o velikosti 46 m<sup>2</sup>.

Tab. 15 Suchdol - průměrné roční dávky P a K [kg/ha] za období 1996 – 2013

	kontrola	N 120	N 240	kal 120	kal 240
dusík	0	120	240	120	240
fosfor	0	0	0	91	182
draslík	0	0	0	18	36

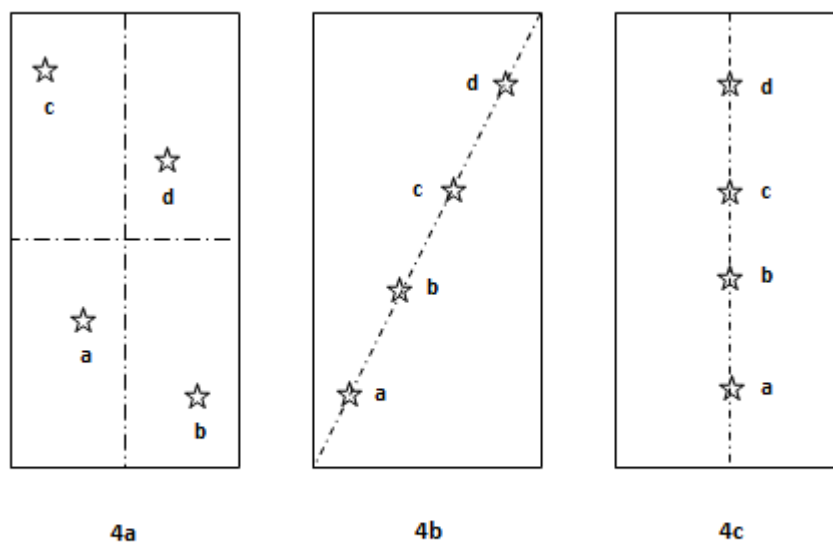
Aplikace ledku amonného s vápencem (LAV) byla prováděna každoročně na jaře před založením porostu. Aplikace čistírenského kalu jedenkrát za tři roky, přičemž dávka byla vždy stanovena na základě obsahu dusíku při dávce N za 3 roky 360 kg/ha, respektive 720 kg/ha.

## **5.2 Odběr vzorků a jejich zpracování**

### **5.2.1 Půdní vzorky**

Půdní vzorky pro stanovení půdních charakteristik byly v pokusech s rotací plodin a opakovaným pěstováním kukuřice odebrány sondovací tyčí z vrstvy 0 - 30 cm po sklizni plodin a před aplikací hnojiv v září. V pokusu s rotací plodin v roce 2013 byly po dokončené rotaci plodin (tj. po jarním ječmeni) odebrány z každé parcely čtyři bodové půdní vzorky podle systematického utříděného nevyrovnaného schématu (obr. 4a) skládající se z šesti vpichů. Na obou stanovištích s opakovaným pěstováním kukuřice na siláž byly na vybraných shodných parcelách v letech 2012 a 2013 před jarní aplikací hnojiv odebrány čtyři půdní vzorky skládající se z šesti vpichů. Na stanovišti Suchdol bylo použito vzorkovací schéma podle úhlopříčky (obr. 4b) v obou letech. Na stanovišti Červený Újezd byly vzorky v roce 2012 odebrány podle příčky středem parcely (obr. 4c) a v roce 2013 podle systematického utříděného nevyrovnaného schématu (obr. 4a). Body byly nejprve změřeny GPS přijímačem a poté byly z důvodu odchylky GPS přijímače doměřeny pásmem.

Půdní vzorky byly po odebrání přesety 5 mm sítem a následně sušeny na vzduchu s řízenou ventilací. Po usušení byly přesety 2 mm sítem.



Obr. 4: Náčrt vzorkovacích schémat. Obrázek 4a – odběr podle systematického utříděného nevyrovnaného schématu, obrázek 4b – odběr podle úhlopříčky, obrázek 4c – odběr na příčce středem parcely

### 5.2.2 Rostlinné vzorky

Rostlinné vzorky byly odebrány po sklizni po zvážení hlavních a vedlejších sklizňových produktů.

Zrno bylo vyčištěno od nečistot na laboratorním pneumatickém třídíči K 293 (Petkus). Rostlinné vzorky byly sušeny na vzduchu s řízenou ventilací. Po usušení byly rostlinné vzorky semlety (< 1 mm) na střížném mlýnu SM 100 (Retsch, Německo).

## 5.3 Analýzy

Pro potřeby doktorské práce byl u půdních vzorků stanoven: obsah přístupného fosforu a draslíku v půdě, půdní reakce ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ), množství organické hmoty ( $\text{C}_{\text{ox}}$ ) a kationtová výměnná kapacita (KVK). V hnoji, čistírenském kalu a rostlinných vzorcích byl stanoven obsah fosforu a draslíku.

Vzorky pro stanovení množství přístupného fosforu a draslíku v půdě, celkového obsahu fosforu a draslíku v kalu, hnoji a rostlinách a KVK byly změřeny na přístroji s optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) Agilent 720 (Agilent, USA). Vzorky pro stanovení obsahu organické hmoty byly změřeny na spektrofotometru Lambda 25 UV/VIS (PerkinElmer, USA).

### **5.3.1 Stanovení množství přístupného fosforu a draslíku v půdě**

Množství přístupného P a K bylo stanoveno metodou Mehlich 3. Roztok Mehlich 3 se skládá z 0,2 mol/L  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ; 0,25 mol/L  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 0,015 mol/L  $\text{NH}_4\text{F}$ ; 0,013 mol/L  $\text{HNO}_3$ ; 0,001 mol/L EDTA (Mehlich, 1984). Při navažování byl použit poměr 1:10 w/v. Vzorky byly horizontálně třepány 5 minut. Po skončení třepání byly vzorky okamžitě přefiltrovány (Bigham, 1996; Schroder et al., 2009; Zhang et al., 2009).

### **5.3.2 Stanovení půdní reakce**

Hodnota pH půdních vzorků byla stanovena v 0,2 mol/L KCl 2:5 w/v podle metodiky ÚKZÚZ (Zbírál, 2001). Půdní reakce byla změřena na pH metru WTW pH340i pomocí skleněné elektrody WTW Sentix (WTW, Německo).

### **5.3.3 Stanovení obsahu organické hmoty**

Obsah organické hmoty byl stanoven oxidací uhlíku na mokré cestě ( $C_{\text{ox}}$ ) v půdních organických látkách podle Modifikované Tjurinovy metody. Uhlík organické hmoty byl zoxidován kyslíkem dvojchromanu draselného v chromsírové směsi (Valla et al., 2002). Množství  $C_{\text{ox}}$  bylo stanoveno kolometricky (Sims et Haby, 1971).

### **5.3.4 Stanovení sorpční kapacity půd**

Velikost sorpční kapacity půd byla stanovena prostřednictvím kationtové výměnné kapacity (KVK) z půdních vzorků podle ČSN ISO 11260 – Stanovení efektivní kationtové výměnné kapacity a výměnných kationtů podle Gillmana (Zbírál et Honsa, 2010).

### **5.3.5 Stanovení obsahu živin v rostlinách**

Pro stanovení obsahu živin v rostlinách byla použita metoda rozkladu na suché cestě. K loužení popela byla použita 0,25 mol/L  $\text{HNO}_3$  (Mader et al., 1998).

### **5.3.6 Stanovení obsahu živin v hnoji a čistírenském kalu**

Pro stanovení obsahu živin v hnoji a čistírenském kalu byla použita metoda rozkladu na mokré cestě. Jako reakční směs byla použita  $\text{HNO}_3$  s  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Hoenig et deKersabiec, 1996).

### **5.3.7 Statistické analýzy**

Statistické vyhodnocení bylo prováděno v programu STATISTICA 12 (StatSoft, USA). Pro statistické vyhodnocení vlivu hnojení na obsah přístupného P, K a pro vyhodnocení odběru P a K v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice na siláž byla použita jednofaktorová analýza rozptylu. Pro test normality byl použit Kolmogorovův-Smirnovův test. Podrobnější vyhodnocení bylo prováděno Tukeyho testem při hladině významnosti  $\alpha \leq 0,05$ . Pro popis půdní variability sledovaných parametrů byly stanoveny charakteristiky variability (rozsah, směrodatná odchylka, rozptyl a variační koeficient) a charakteristika polohy (aritmetický průměr).

K vyjádření rozdílů mezi variantami ve výnosech sklizených produktů a odběrech fosforu a draslíku byl použit vztah v poměru jednotlivých variant ke kontrolní variantě, která byla rovna 100 %.

### **5.3.8 Metodika výpočtů**

V pokusu s rotací plodin pro účely této práce byla veškerá potřebná data pro uvedené výpočty získávána z vybraného bloku sledovaného v rámci doktorské práce. Vliv hnojení na výnos plodin (kapitola 6.1) byl zjišťován ze všech tří bloků. Přičemž pokus s rotací plodin byl navržen tak, aby všechny plodiny byly pěstovány každoročně.

#### **5.3.8.1 Výpočet odběru fosforu a draslíku pěstovanými plodinami**

Průměrný výnos na sledovaném bloku se lišil od průměrného výnosu ze všech bloků, a to u zrna ječmene o 7 %, zrna pšenice o 6 %, slámy ječmene o 1 %, slámy pšenice o 12 %, hlíz brambor o 3 % a kukuřice o 13 %. Na rozdíl se podílel vliv ročníku. V roce 1997 byla pěstovaná pšenice ozimá a v roce 1998 ječmen jarní. V ostatních letech již byl osevní tříletý cyklus kompletní (brambory/kukuřice – pšenice ozimá – ječmen jarní). Na základě výnosu sklizňových produktů a obsahu fosforu a draslíku v nich obsažených byl vypočten odběr fosforu a draslíku rostlinami v jednotlivých letech trvání pokusu (1997 – 2013). Celkové výnosy jednotlivých pěstovaných plodin na sledovaném bloku jsou uvedeny v přílohách 18 – 22.

### 5.3.8.2 Výpočet bilance fosforu a draslíku

Bilance fosforu a draslíku byla počítána podle rovnice (3) Blake et al. (2003)

$$X_{balance} = X_{hnojení} - X_{odběr\ rostlinami},$$

kde  $X$  je sledovaná živina (P, K).  $X_{hnojení}$  značí množství aplikované živiny v minerálním a organickém hnojení.  $X_{odběr\ rostlinami}$  značí množství odebrané živiny pěstovanými rostlinami.

### 5.3.8.3 Přepočet obsahu z mg/kg na kg/ha

Množství živiny stanovené v mg/kg v půdě bylo přepočteno na kg/ha na základě hloubky odběru (30 cm) a známé objemové hmotnosti půdy [ $\text{g/cm}^3$ ] stanovené na jednotlivých stanovištích.

### 5.3.8.4 Výpočet odběru fosforu a draslíku na tunu produkce

Na základě stanovených obsahů fosforu a draslíku ve sklizňových hlavních a vedlejších produktech a jejich výnosech byly spočteny odběry P a K na tunu produkce jednotlivých pěstovaných plodin. U brambor byl odběr počítán pouze z hlíz. U kukuřice na siláž byl odběr počítán z nadzemní biomasy. Odběry byly stanoveny při 100% sušíně, přičemž průměrná sušina při sklizni hlíz byla 22 %, při sklizni kukuřice na siláž 33 %. Na základě poměru výnosu slámy a zrna byl vypočten odběr sledované živiny celou nadzemní částí rostliny na tunu produkce zrna [ $\text{kg/t zrna}$ ].

## 6. Výsledky a diskuze

### 6.1 Vliv hnojení na výnos plodin

V pokusu s rotací plodin byly sledovány výnosy hlíz brambor, kukuřice na siláž (nadzemní biomasy) a výnosy zrna a slámy ječmene jarního a pšenice ozimé. V pokusu s monokulturálním pěstováním kukuřice byly sledovány výnosy nadzemní biomasy.

#### 6.1.1 Pokusy s rotací plodin

Pro účely hodnocení výnosů byly započítány výnosy hlavních a vedlejších produktů nejen ze sledovaného bloku v rámci disertace, ale i z ostatních bloků, aby bylo docíleno toho, že u dané plodiny byl sledován výnos každoročně.

##### 6.1.1.1 Výsledky

V tabulkách (16 - 20) jsou uvedeny průměrné roční výnosy [t/ha/rok] hlavních a vedlejších sklizňových produktů sledovaných plodin za 17 leté období trvání pokusu na jednotlivých stanovištích.

##### 6.1.1.1 Červený Újezd

Tab. 16 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 na Č. Újezdě

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		kukuřice
	zrno	sláma	zrno	sláma	nadzemní hmota
Kontrola	2,71	2,03	3,34	2,26	11,15
kal 1	3,65	2,46	4,96	3,68	13,86
kal 3	4,01	3,03	5,63	4,37	14,67
Hněj	3,59	2,40	4,73	3,36	13,35
N	4,23	3,17	5,86	4,88	13,77
NPK	4,36	3,29	5,74	4,85	15,00
N+sláma	4,54	3,32	5,52	5,17	14,70

Nejvyšší průměrný roční výnos zrna a slámy ječmene jarního byl na variantách s minerálním hnojením (N, NPK, N+sláma). Oproti kontrolní variantě byl na variantě s nejvyšším výnosem zrna ječmene jarního (N+sláma) výnos zrna o 1,83 t/ha/rok (69) % vyšší a výnos slámy

o 1,29 t/ha/rok (78 %) vyšší. Nejvyšší výnos zrna pšenice ozimé byl na variantě s aplikací samotného minerálního dusíku, na které kdy byl výnos v porovnání s kontrolní variantou vyšší o 2,52 t/ha/rok (82 %). Nejvyšší průměrný výnos slámy pšenice ozimé byl na variantě N+sláma, na které v porovnání s kontrolní variantou byl o 2,91 t/ha/rok (129 %) vyšší. Nejvyššího výnosu dosahovala kukuřice na variantě NPK. V porovnání s kontrolní variantou byl průměrný roční výnos o 3,85 t/ha (40 %) vyšší.

#### 6.1.1.1.2 Hněvčeves

Tab. 17 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 v Hněvčevsi

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
Kontrola	3,14	2,78	4,73	3,71	5,15
kal 1	4,28	3,37	7,03	5,55	7,86
kal 3	4,53	3,82	7,20	5,47	8,43
Hněj	4,01	3,15	6,70	4,99	7,78
N	4,77	3,82	7,36	5,90	8,21
NPK	5,28	4,03	7,27	6,62	8,70
N+sláma	4,95	3,69	7,28	6,35	8,45

Nejvyšší průměrný roční výnos zrna a slámy ječmene jarního byl na variantě NPK, na které mělo zrno výnos vyšší oproti kontrolní variantě o 2,14 t/ha (68 %), sláma o 1,25 t/ha (45 %). Nejvyšší výnos zrna pšenice ozimé byl zjištěn na variantě s aplikací dusíku (N). V porovnání s kontrolou byl výnos vyšší o 3,65 t/ha (56 %). Nejvyšší výnos slámy pšenice ozimé byl na variantě NPK, na které byl v porovnání s kontrolní variantou o 2,91 t/ha (78 %) vyšší. Nejvyšší průměrný výnos hlíz brambor byl zaznamenán na variantě NPK, na které byl v porovnání s kontrolní variantou vyšší o 3,55 t/ha (69 %).



### 6.1.1.1.3 Humpolec

Tab. 18 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 v Humpolci

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
Kontrola	2,70	2,14	4,45	3,29	6,36
kal 1	3,30	2,49	6,21	4,69	8,43
kal 3	3,91	3,09	6,71	5,36	8,92
Hnůj	3,34	2,53	5,27	4,20	8,73
N	4,29	3,30	6,73	5,13	9,42
NPK	4,65	3,65	7,07	5,37	8,43
N+sláma	4,43	3,38	6,98	5,56	8,51

Nevyšší průměrný roční výnos zrna a slámy ječmene jarního byl na variantách s minerálním hnojením (N, NPK a N+sláma). Nejvyšší výnos slámy a zrna ječmene jarního byl na variantě NPK, kde byl výnos oproti kontrolní variantě vyšší u zrna o 1,95 t/ha (82 %), u slámy o 1,51t/ha (93 %). Na variantě NPK byl také zjištěn i nejvyšší výnos zrna pšenice ozimé 7,07 t/ha/rok. V porovnání s kontrolní variantou byl o 2,62 t/ha/rok (65 %) vyšší. Sláma pšenice ozimé měla nejvyšší výnos na variantě N+sláma, v porovnání s kontrolní variantou byl výnos vyšší o 2,27 t/ha/rok (82 %). Nejvyšší výnos hlíz brambor byl na variantě N, ve srovnání s kontrolní nehnojenou variantou byl průměrný výnos vyšší o 3,06 t/ha (59 %).

#### 6.1.1.1.4 Lukavec

Tab. 19 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 v Lukavci

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
Kontrola	1,85	2,13	2,48	2,87	6,23
kal 1	2,34	2,32	3,74	3,53	8,44
kal 3	2,87	2,75	5,04	4,07	9,81
Hnůj	2,45	2,79	3,73	3,65	8,16
N	3,42	3,18	6,09	5,46	9,34
NPK	3,51	3,40	6,13	5,13	9,75
N+sláma	3,38	2,96	5,83	4,76	8,86

Nejvyšší průměrný roční výnos zrna a slámy ječmene jarního byl na variantách s minerálním hnojením (N, NPK, N+sláma). Nejvyšší byl na variantě NPK. V porovnání s kontrolní variantou byl u zrna výnos vyšší o 1,66 t/ha (90 %), u slámy o 1,27 t/ha (60 %). Na variantách s minerálním hnojením byl výnos zrna pšenice ozimé ve srovnání s ostatními variantami vyšší. Nejvyšší výnos byl na variantě NPK, na které v porovnání s kontrolní variantou byl výnos vyšší o 3,65 t/ha (147 %). Sláma pšenice ozimé měla nejvyšší výnos na variantě s aplikací dusíku (N). V porovnání s kontrolní variantou byl výnos vyšší o 2,59 t/ha (90 %). Nejvyšší výnos hlíz brambor byl na variantě kal 3. Ve srovnání s kontrolní variantou byl výnos vyšší o 3,58 t/ha (58 %).

### 6.1.1.1.5 Suchdol

Tab. 20 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 v Suchdole

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
Kontrola	3,45	1,98	4,41	3,00	5,06
kal 1	3,83	2,35	5,44	4,06	6,04
kal 3	4,85	2,90	6,00	4,67	6,43
Hnůj	3,53	2,35	4,84	3,67	6,13
N	4,38	2,85	5,89	4,69	5,69
NPK	4,56	2,72	6,16	4,75	6,39
N+sláma	4,60	2,99	5,86	4,89	5,82

Nejvyšší výnos zrna jarního ječmene byl na variantě kal 3. V porovnání s kontrolní variantou byl průměrný roční výnos vyšší o 1,40 t/ha (41 %). Výnos slámy ječmene jarního byl nejvyšší na variantě N+sláma, v porovnání s kontrolní variantou byl vyšší o 1,01 t/ha (51 %). Pšenice ozimá měla nejvyšší průměrný výnos zrna na variantě NPK a druhý nejvyšší na variantě kal 3. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantě NPK vyšší průměrný výnos zrna o 1,75 t/ha (40 %). Nejvyšší průměrný výnos slámy pšenice ozimé byl na variantě N+sláma, ve srovnání s kontrolní variantou byl vyšší o 1,89 t/ha (63 %). Nejvyšší průměrný výnos hlíz brambor byl na variantě kal 3, v porovnání s kontrolní variantou byl výnos vyšší o 1,37 t/ha/rok (27 %).

### 6.1.1.2 Diskuze

Na stanovištích Hněvčeves, Humpolec a Lukavec byl zjištěn vyšší průměrný výnos zrna ječmene jarního a pšenice ozimé na variantách N, NPK a N+sláma ve srovnání s ostatními variantami. Na stanovišti Červený Újezd byl na variantách N a NPK ve srovnání s variantami s organickým hnojením a nehnojenou kontrolní variantou vyšší průměrný výnos zrna pšenice ozimé a ječmene jarního. Při porovnání velikosti výnosu slámy mezi variantami obvykle odpovídalo s porovnáním velikosti výnosu zrna mezi variantami. To odpovídá zjištěním, která na základě dlouhodobého pokusu publikovali Yang, et al. (2006). Vyšší výnosy plodin na variantách s aplikací minerálního dusíku a minerálního dusíku v kombinaci dalších živin v minerální formě prokázalo ve své práci mnoho autorů (Borjesson et al., 2013; Manguiat

et Rocamora, 2004; Jakse et Mihelic, 1999). Vrkoč et al. (2002) na 6 letém pokusu při osevním sledu brambory – ozimá pšenice – ozimý ječmen) zjistili, že při dávce dusíku 120 kg/ha k obilovinám a 150 kg/ha k bramborám měly ječmen a pšenice statisticky průkazný vyšší výnos oproti variantě s aplikací hnoje (30 kg/ha hnoje k bramborám) a variantě s aplikací slámy (4 t/ha) se zeleným hnojením. Na stanovišti Suchdol u zrna ječmene jarního byl nejvyšší výnos na variantě kal 3. Na stanovišti Červený Újezd byl na variantě kal 3 u zrna pšenice ozimé vyšší výnos než na variantě N+sláma. To bylo způsobeno dodáním velkého množství dusíku na variantě kal 3 (990 kg/ha) a jeho následným uložením do organické hmoty a možností následného využití. Machet et al. (1987) uvádí, že až 50 % dusíku dodaných z hnojiv se může následně vázat v půdní organické hmotě. Na variantě kal 3 měly nejvyšší výnos hlízy brambor na stanovištích Lukavec a Suchdol. Na stanovišti Hněvčeves byl nejvyšší výnos hlíz brambor na variantě NPK a na stanovišti Humpolec na variantě N. Ovšem relativní rozdíl ve výnosech hlíz mezi hnojenými variantami byl na všech stanovištích menší než u obilovin, kromě zrna pšenice v Hněvčevsi, u kterého byl rozdíl ve výnosech hlíz brambor vyšší pouze o 4 %. Bylo to pravděpodobně zapříčiněno tím, že se zvyšující se dávkou N klesá jeho účinnost na výnos hlíz brambor. Kasal et al. (2010) uvádí, že při nízké dávce dusíku (N 50 kg/ha) připadá na 1 kg N přírůstek 100 – 120 kg hlíz, ale u dávek 120 kg/ha již pouze 20 – 30 kg hlíz. U velmi vysokých dávek může dokonce nastat i výnosová deprese, jak uvádí autoři. Podmínky pro její vznik byly na variantě kal 3, kde však pravděpodobně z důvodu dodání organické hmoty a možnosti postupného uvolňování dusíku nenastala, jak prokazují výsledky.

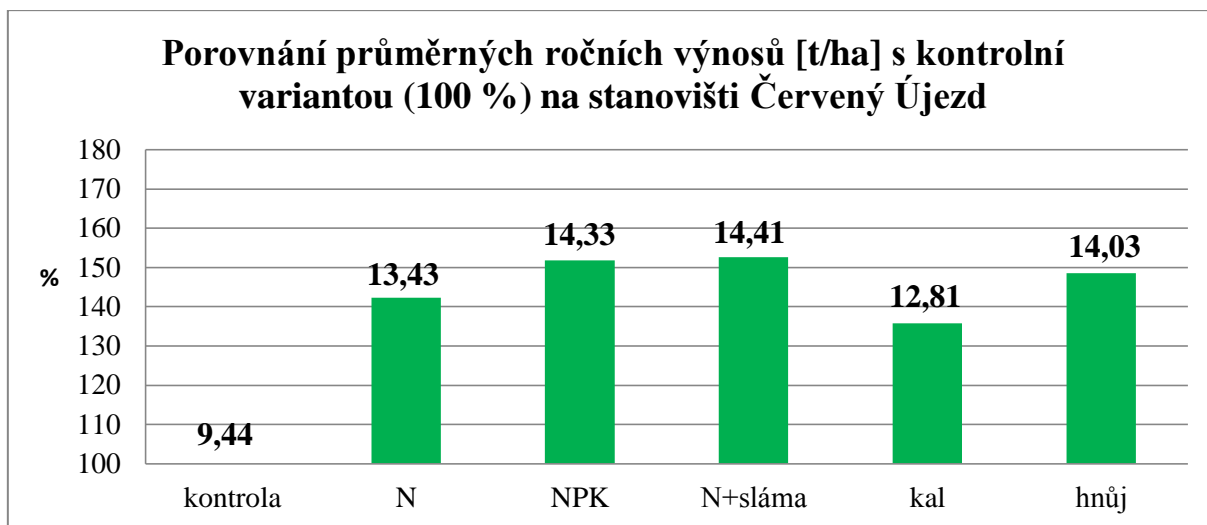
## **6.1.2 Pokusy s monokulturním pěstováním kukuřice**

### **6.1.2.1 Výsledky**

V grafech 1 a 2 jsou uvedeny průměrné roční výnosy kukuřice na jednotlivých variantách a porovnání průměrných výnosů s kontrolní variantou na stanovištích Červený Újezd a Suchdol.

### 6.1.2.1.1 Červený Újezd

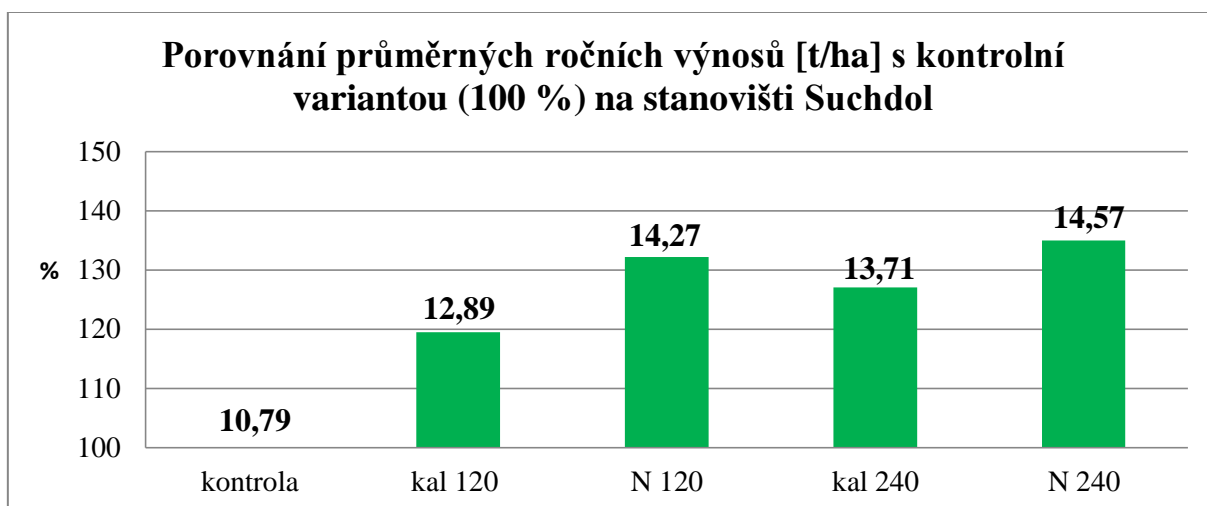
Graf č. 1 Průměrné roční výnosy monokultury kukuřice za období 1997 – 2013 na stanovišti Červený Újezd při 100% sušině



Jak je patrné z grafu 1, nejvyšší průměrný výnos byl na variantě N+sláma, kde byl v porovnání s kontrolní variantou průměrný výnos o 53 % vyšší. Na variantě NPK byl v porovnání s kontrolní variantou průměrný výnos vyšší o 52 %, na variantě hnůj o 49 %. Nejnižší průměrný výnos z hnojených variant byl na variantě s aplikací čistírenského kalu, v porovnání s kontrolou o 36 % vyšší.

### 6.1.2.1.2 Suchdol

Graf č. 2 Průměrné roční výnosy monokultury kukuřice za období 1997 – 2013 na stanovišti Suchdol při 100% sušině.



Jak je patrné z grafu 2, nejvyšší průměrný výnos byl na variantě s aplikací minerálního dusíku. Na variantě N 240 byl v porovnání s kontrolní variantou výnos vyšší o 35 %, na variantě N 120 o 32 %. Na variantě kal 120 byl ve srovnání s kontrolou výnos vyšší o 19 %, na variantě kal 240 o 27 %. Na variantách se stejným typem hnojením byl výnos vyšší na variantě s vyšší dávkou aplikovaného hnojiva. Na variantě N 240 byl průměrný výnos ve srovnání s variantou N 120 vyšší o 2 %, na variantě kal 240 ve srovnání s variantou kal 120 o 6 %.

#### **6.1.2.2 Diskuze**

Na stanovištích Červený Újezd a Suchdol byl na variantách s minerálním hnojením průměrný výnos vyšší než na variantách s aplikací čistírenského kalu. Bylo to způsobeno pravděpodobně jednak dodáním okamžitě přístupného dusíku pro kukuřici v minerálních hnojivech, jednak jejich aplikací na jaře před založením porostu, čímž došlo k menším ztrátám dusíku oproti podzimní aplikaci čistírenského kalu. Podobné výsledky publikovali Börjesson et al. (2013) na základě 29 letých dlouhodobých polních pokusů, ve kterých na dvou stanovištích při dávkách čistírenského kalu 4 t/ha/4roky a 12 t/ha/4roky nepřesáhly výnosy varianty s aplikací NPK při dávkách minerálního dusíku 70 a 140 kg/ha/rok. Na stanovišti Červený Újezd byl na variantě hnůj průměrný výnos vyšší než na variantě N. Mohlo to být způsobeno rozdílným pH půdy, protože hodnota pH byla na variantě hnůj o 1,12 vyšší oproti variantě N. Nágy (2011) uvádí na základě 17 letého dlouhodobého polního pokusu na černozemích, že zvýšení půdní reakce o 0,1 pH může zvýšit výnos kukuřice průměrně o 510 kg/ha. Na stanovišti Suchdol byl na variantě s vyšší dávkou dusíku (N 240) také vyšší výnos kukuřice než na variantě s menší dávkou dusíku (N 120). Odpovídá to výsledkům uváděným v práci autorů Giroux et Lemieux (2006), ve kterých se na 4 letém pokusu s kukuřicí zvyšoval výnos kukuřice se zvyšující se dávkou minerálního dusíku.

## 6.2 Odběr fosforu a draslíku pěstovanými plodinami

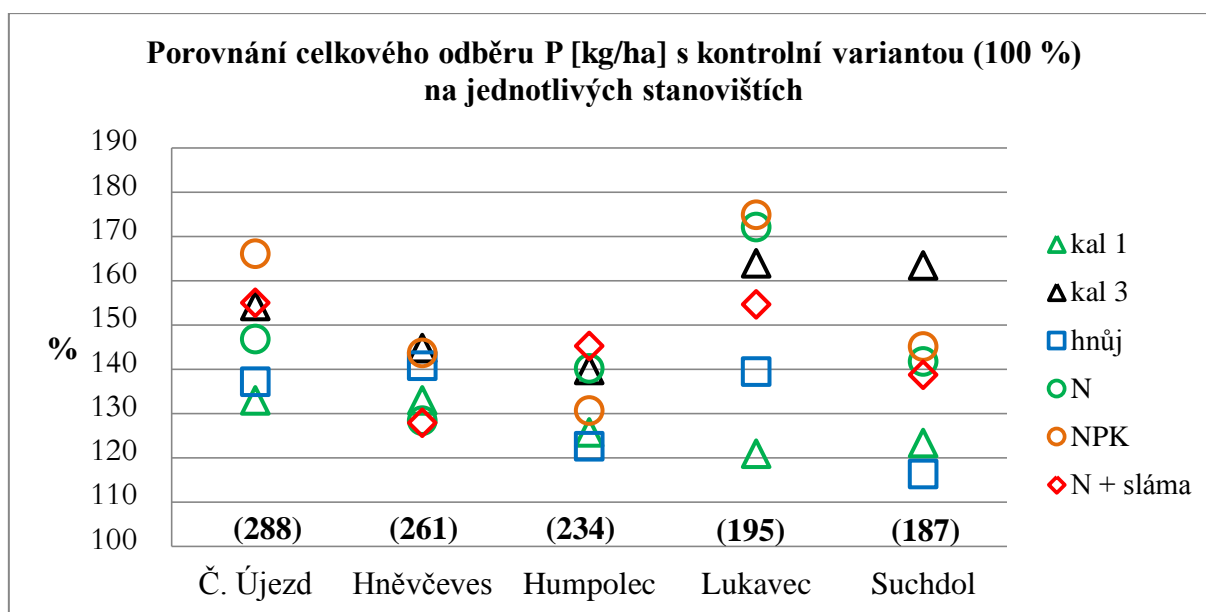
Odběr fosforu a draslíku pěstovanými plodinami byl sledován v pokusu s rotací plodin a v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice. V pokusu s rotací plodin byl sledován odběr fosforu a draslíku jako celkový odběr pěstovaných plodin za jednotlivé osevní sledy.

### 6.2.1 Odběr fosforu pěstovanými plodinami v pokusu s rotací plodin

#### 6.2.1.1 Výsledky

Celkový odběr fosforu a odběr fosforu za jednotlivé rotace pěstovanými plodinami za období 1997 – 2013 jsou pro stanoviště Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec a Suchdol uvedeny v tabulkách 21, 23, 25, 27, 29. Množství odebraného fosforu plodinami na tunu produkce pro jednotlivá stanoviště jsou uvedeny v tabulkách 22, 24, 26, 28, 30. V grafu 3 je znázorněno porovnání celkového odběru fosforu s kontrolní variantou na jednotlivých stanovištích.

*Graf č. 3 Porovnání celkových odběrů P [kg/ha] s kontrolní variantou (100 %) na jednotlivých stanovištích za období 1997 – 2013*



Nejvyšší celkový odběr fosforu byl na kontrolní variantě 288 kg/ha na stanovišti Červený Újezd, naopak nejnižší celkový odběr (187 kg/ha) byl stanovišti Suchdol. Na stanovištích Červený Újezd, Humpolec a Lukavec byl nejvyšší odběr fosforu na variantách s minerálním hnojením. Největší rozdíl (75 %) v odběru P, v porovnání kontrolní varianty s variantou s nejvyšším odběrem P, byl na stanovišti Lukavec. Na stanovištích Hněvčeves a Humpolec

byl nejnižší rozdíl (45 %) v odběru P mezi kontrolní variantou a variantou s nejvyšším odběrem.

### 6.2.1.1.1 Stanoviště Červený Újezd

Tab. 21 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Červený Újezd

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	27	51	62	64	40	44	288
kal 1	26	68	67	83	71	68	383
kal 3	30	62	94	88	80	91	444
hnůj	28	55	81	87	72	73	395
N	35	59	83	84	85	78	423
NPK	37	72	99	101	75	95	479
N+sláma	35	60	89	93	78	90	447

Nejvyšší celkový odběr fosforu rostlinami za 17 let trvání pokusu na stanovišti Červený Újezd byl na variantě NPK (479 kg/ha). V porovnání s kontrolní variantou byl odběr o 66 % vyšší. Varianty s organickým hnojením kal 1 a hnůj měly nižší odběr fosforu než varianty s aplikací minerálních hnojiv. Nejnižší celkový odběr fosforu byl na kontrolní variantě a variantě kal 1. Celkový odběr fosforu na variantě kal 1 byl ve srovnání s kontrolní variantou o 33 % vyšší a ve srovnání s variantou s nejvyšším celkovým odběrem o 20 % nižší.

Tab. 22 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušíně v Č. Újezdě

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	4,1	3,9	3,9	3,9	3,7	4,3	4,2
ječmen jarní <sup>a)</sup>	4,6	4,3	4,3	4,5	4,2	4,5	4,5
kukuřice <sup>b)</sup>	2,2	2,3	2,4	2,4	2,2	2,3	2,1

a) [kg/t zrna]; b) nadzemní část biomasy

Odběr fosforu na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 3,7 do 4,3 [kg/t], u ječmene jarního od 4,2 do 4,6 [kg/t] a u nadzemní biomasy kukuřice od 2,1 do 2,4 [kg/t].



### 6.2.1.1.2 Stanoviště Hněvčeves

Tab. 23 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Hněvčeves

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	27	36	40	66	60	31	261
kal 1	28	49	49	80	89	52	347
kal 3	30	54	64	86	89	56	378
hnůj	27	46	59	96	82	58	368
N	41	53	45	81	70	45	335
NPK	38	52	57	83	89	55	375
N+sláma	51	51	49	72	70	40	334

Nejvyšší celkový odběr fosforu 378 kg/ha rostlinami za 17 let trvání pokusu byl na variantě kal 3, v porovnání s kontrolní variantou byl odběr vyšší o 45 %. Na variantě NPK byl celkový odběr fosforu nižší o 3 kg než na variantě kal 3. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantě NPK odběr o 44 % vyšší. Nejnižší celkový odběr z hnojených variant byl na variantě N+sláma 334 kg/ha. Na variantě s aplikací dusíku bez slámy (N) byl celkový odběr v porovnání s variantou N+sláma vyšší pouze o 1 kg P/kg/ha. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantách N a N+sláma odběr o 28 % vyšší. Na variantě s nejnižším odběrem z hnojených variant (N+sláma) byl celkový odběr fosforu v porovnání s variantou s nejvyšším celkovým odběrem (kal 3) o 12 % nižší.

Tab. 24 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Hněvčevsi

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	3,6	3,3	3,6	3,7	3,3	3,6	3,6
ječmen jarní <sup>a)</sup>	4,5	4,2	4,3	4,2	3,7	4,0	3,5
hlízy brambor	2,2	2,4	2,2	2,1	1,9	2,0	1,8

a) [kg/t zrna]

Odběr fosforu na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 3,3 do 3,6 [kg/t], u ječmene jarního od 3,5 do 4,5 [kg/t] a u hlíz brambor od 1,8 do 2,4 [kg/t].

### 6.2.1.1.3 Stanoviště Humpolec

Tab. 25 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Humpolec

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	25	36	42	65	37	31	234
kal 1	29	48	51	75	49	44	295
kal 3	26	51	58	83	55	54	328
hnůj	24	55	45	81	44	39	287
N	27	57	46	67	67	65	329
NPK	27	54	41	71	57	56	306
N+sláma	29	62	46	87	62	54	340

Nejvyšší celkový odběr fosforu rostlinami 340 kg/ha za 17 let trvání pokusu byl na variantě N+sláma. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantě N+sláma odběr o 45 % vyšší. Rozdíl v celkovém odběru fosforu mezi variantou N a kal 3 byl pouze 1 kg/ha. Ve srovnání s kontrolní variantou byl na variantách N a kal 3 odběr o 40 % vyšší. Na variantách s organickým hnojením kal 1 a hnůj byl nižší celkový odběr P než na variantách s minerálním hnojením. Nejnižší odběr, kromě varianty kontrola, byl na variantě hnůj. Na variantě hnůj ve srovnání s kontrolní variantou byl odběr vyšší o 22 %. Na variantě hnůj byl o 16 % nižší celkový odběr než varianta s nejvyšším odběrem (N+sláma).

Tab. 26 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Humpolci

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	4,2	4,2	3,9	4,2	4,2	3,3	4,0
ječmen jarní <sup>a)</sup>	5,1	5,0	4,7	4,4	4,2	3,9	4,1
hlízy brambor	1,8	1,8	1,9	2,0	1,8	1,7	1,8

a) [kg/t zrna]

Odběr fosforu na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 3,3 do 4,2 [kg/t], u ječmene jarního od 3,9 do 5,1 [kg/t] a u hlíz brambor od 1,7 do 2,0 [kg/t].

#### 6.2.1.1.4 Stanoviště Lukavec

Tab. 27 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Lukavec

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	26	33	37	41	36	22	195
kal 1	23	39	41	58	45	30	236
kal 3	29	49	59	77	63	44	320
hnůj	24	47	44	68	54	36	272
N	19	53	54	94	70	46	336
NPK	31	55	56	91	66	41	341
N+sláma	20	50	53	79	59	40	302

Nejvyšší celkový odběr fosforu 341 kg/ha rostlinami byl na variantě NPK. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantě NPK celkový odběr vyšší o 75 %. Druhý nejvyšší celkový odběr fosforu 336 kg byl na variantě N, na které ve srovnání s kontrolní variantou byl celkový odběr o 72 % vyšší. Na variantách s organickým hnojením kal 1 a hnůj byly nižší celkové odběry P v porovnání s variantami s minerálním hnojením a variantě kal 3. Nejnížší celkový odběr fosforu z hnojených variant byl na variantě kal 1, na které ve srovnání s kontrolní variantou byl odběr na variantě kal 1 vyšší o 21 %. Nižší celkový odběr fosforu o 31 % byl na variantě kal 1 v porovnání s variantou s nejvyšším celkovým odběrem (NPK).

Tab. 28 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Lukavci

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	5,3	4,8	4,7	4,6	4,0	4,1	3,7
ječmen jarní <sup>a)</sup>	5,9	5,0	5,4	5,4	5,2	5,1	5,3
hlízy brambor	2,0	1,9	2,0	2,1	1,9	1,9	1,9

a) [kg/t zrna]

Odběr fosforu na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 3,7 do 5,3 [kg/t], u ječmene jarního od 5,0 do 5,9 [kg/t] a u hlíz brambor od 1,9 do 2,1 [kg/t].

### 6.2.1.1.5 Stanoviště Suchdol

Tab. 29 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Suchdol

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	24	26	34	40	38	25	187
kal 1	20	25	41	67	45	32	230
kal 3	25	35	52	91	62	41	305
hnůj	19	19	37	61	45	36	217
N	27	27	43	74	59	34	265
NPK	31	27	50	59	65	39	271
N+sláma	26	34	49	59	56	34	259

Nejvyšší celkový odběr fosforu (305 kg/ha) za 17 let trvání pokusu byl na variantě kal 3. Na variantě kal 3 byl celkový odběr P v porovnání s kontrolní variantou vyšší o 63 %. Na variantě s organickým hnojením kal 1 a hnůj byl celkový odběr P nižší než na variantách s minerálním hnojením a variantě kal 3. Nejnižší celkový odběr fosforu (217 kg/ha) byl na variantě hnůj. Ve srovnání s kontrolní variantou byl na variantě hnůj celkový odběr o 16 % vyšší. Na variantě s nejnižším celkovým odběrem fosforu z hnojených variant byl o 29 % nižší odběr v porovnání s variantou s nejvyšším odběrem (kal 3).

Tab. 30 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině na Suchdole

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	3,4	3,5	4,0	3,5	4,1	3,4	3,4
ječmen jarní <sup>a)</sup>	3,9	3,9	3,8	4,3	3,7	3,9	3,5
hlízy brambor	2,0	2,5	2,5	2,3	2,4	2,1	2,2

a) [kg/t zrna]

Odběr fosforu na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 3,4 do 4,1 [kg/t], u ječmene jarního od 3,5 do 4,3 [kg/t] a u hlíz brambor od 1,9 do 2,1 [kg/t].

### 6.2.1.2 Diskuze

Odběry fosforu pěstovanými plodinami korespondovaly s jejich výnosy. Na stanovišti Červený Újezd s nejvyšším celkovým výnosem plodin byl zaznamenán nejvyšší odběr fosforu a naopak na stanovišti Suchdol s nejnižším celkovým výnosem plodin byl zaznamenán nejnižší odběr fosforu v porovnání s ostatními stanovišti. Na stanovišti Červený Újezd to bylo způsobeno zařazením kukuřice do osevního sledu. Vaněk et al. (2007) uvádí, že kukuřice patří k náročnějším plodinám ve vztahu k požadavkům na fosfor. Kukuřice na siláž se na stanovišti Červený Újezd podílí z celkového odběru fosforu průměrně ze 47 %. Na stanovišti Suchdol byl zaznamenán na všech variantách nejnižší výnos hlíz brambor ve srovnání s ostatními stanovišti. Vysoce průkaznou závislost mezi celkovou produkcí rostlin a odběrem fosforu publikovali Tůma (2002) a Baier (1997).

Na variantách s minerálním hnojením (N, N+sláma a NPK) byl zaznamenán vyšší celkový výnos pěstovaných plodin a zároveň také celkový vyšší odběr fosforu v porovnání s variantami kal 1 a hnůj kromě stanoviště Hněvčeves, kde měla varianta kal 1 a hnůj vyšší odběr fosforu ve srovnání s variantou N a N+sláma. Na tomto stanovišti byl na variantách s organickým hnojením odběr fosforu z důvodu vyššího obsahu P v hlízách brambor v porovnání s variantami s minerálním hnojením vyšší a zároveň tento rozdíl byl v obsazích P v hlízách brambor mezi jednotlivými variantami ve srovnání s ostatními stanovišti nejvyšší. Ovšem i přesto nepřesáhla hodnota variačního koeficientu v obsahu P v hlízách při porovnání mezi variantami 10 %. Průměrně se obsah fosforu v hlízách brambor v pokusu s rotací plodin pohyboval od 1691 do 2446 mg/kg. Spodní hranice rozmezí je nižší než rozmezí 2000 – 3000 mg/kg, kterou uvádí na základě pokusu Rosen et Bierman (2008). Průměrný rozdíl v obsahu P v hlízách brambor se na jednotlivých stanovištích mezi variantami s průměrným nejvyšším a nejnižším obsahem pohyboval od 224 do 612 mg/kg. Průměrně se z celkového odběru fosforu z 27 % podílely hlízy brambor, z 34 % zrno pšenice ozimé a z 23 % zrno ječmene jarního. Průměrný obsah fosforu v rámci pokusu byl u zrna pšenice ozimé 3345 mg/kg a u ječmene jarního 3360 mg/kg. Podobné obsahy publikovali Sugiura et al. (1998), kteří uvádí obsah fosforu v zrnu ječmeni 3290 mg/kg, Seadh et al. (2009) uvádí obsah P v zrnu pšenici 3090 mg/kg. Rozdíl v průměrných obsazích P v hlavních sklizňových produktech mezi jednotlivými variantami nepřesáhl hodnotu CV 10 %.

Odběry fosforu na tunu produkce pěstovaných plodin byly nižší, než které uvádí Klír et al. (2007) při 85% sušině pro pšenici ozimou 4 [kg/t], ječmen jarní 4,1 [kg/t] a hlízy brambor

0,5 [kg/t]. Nižší normativ v odběru fosforu u obilovin byl obecně na variantách s vyššími výnosy, kde se pravděpodobně projevil vliv zředovacího efektu, přesto jsou mezi variantami velmi malé rozdíly, a to vlivem rovnoměrného příjmu fosforu po celou dobu vegetace plodin.

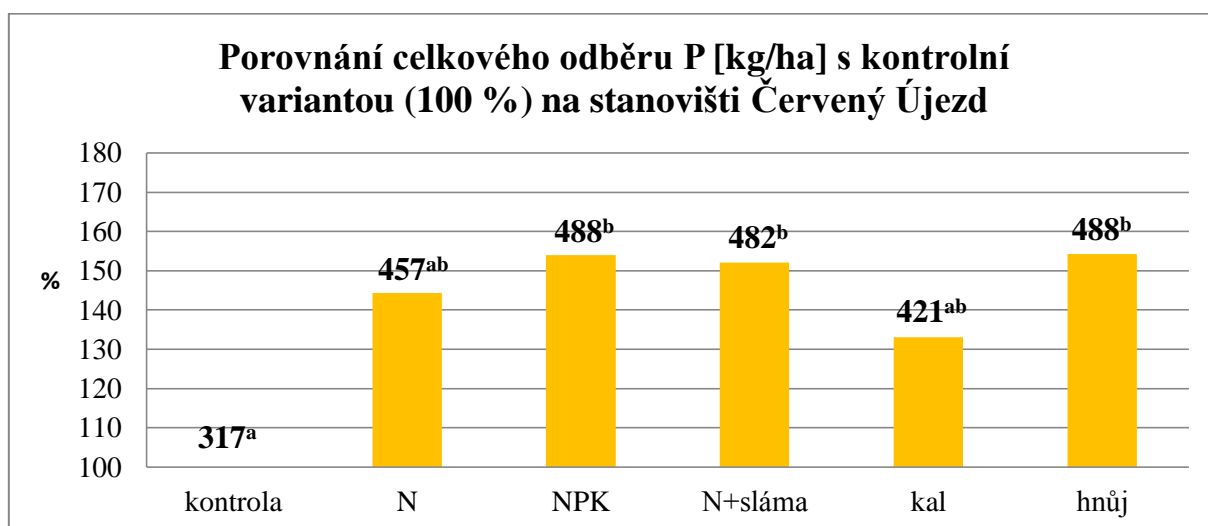
## 6.2.2 Odběr fosforu v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice

### 6.2.2.1 Výsledky

Celkový odběr fosforu kukuřicí na siláž za 17 let trvání pokusu a srovnání odběru jednotlivých variant s kontrolní variantou je pro stanoviště Červený Újezd uveden v grafu 4, pro stanoviště Suchdol v grafu 5. Množství odebraného fosforu kukuřicí na tunu produkce je uvedeno pro Červený Újezd v tabulce 31, pro Suchdol v tabulce 32.

#### 6.2.2.1.1 Stanoviště Červený Újezd

*Graf č. 4 Celkové odběry fosforu [kg/ha] kukuřicí na siláž za období 1997 – 2013 na jednotlivých variantách a porovnání (%) s kontrolní variantou na stanovišti Červený Újezd*



Nejvyšší celkové odběry fosforu (488 kg/ha) za 17 let trvání pokusu byly shodně na variantách NPK a hnůj. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantě NPK a hnůj průkazně statisticky vyšší celkový odběr fosforu o 54 %. Na variantě N+sláma byl také statisticky průkazně vyšší odběr P ve srovnání s kontrolní variantou. Nejnižší odběr fosforu z hnojených variant byl na variantě kal. Ve srovnání s kontrolní nehnojenou variantou byl na variantě kal odběr fosforu vyšší o 33 %. Na variantách s nejvyšším celkovým odběrem fosforu (NPK, hnůj) byl ve srovnání s variantou kal odběr vyšší o 16 %.

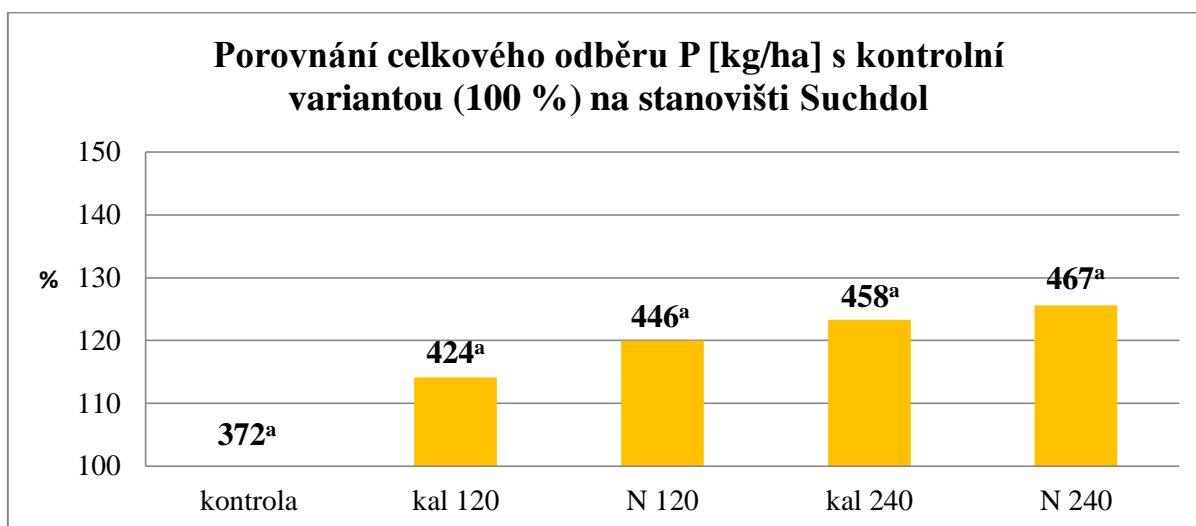
Tab. 31 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] kukuřice při 100% sušiny v Č. Újezdě

	kontrola	hnůj	kal	N	NPK	N+sláma
nadzemní biomasa	2,0	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0

Odběr fosforu na tunu produkce se pohyboval u kukuřice v rozmezí od 1,9 do 2,0 [kg/t].

#### 6.2.2.1.2 Stanoviště Suchdol

Graf č. 5 Celkové odběry fosforu [kg/ha] kukuřicí na siláž za období 1997 – 2013 na jednotlivých variantách a porovnání (%) s kontrolní variantou na stanovišti Suchdol



Nejvyšší celkový odběr fosforu 467 kg/ha kukuřicí na siláž za 17 let trvání pokusu byl na variantě N 240. Ve srovnání s kontrolní variantou byl celkový odběr na variantě N 240 o 26 % vyšší. Nejnižší odběr byl kromě kontrolní varianty na variantě kal 120. Ve srovnání s kontrolní variantou byl na variantě kal 120 odběr vyšší o 14 %. Na variantách se shodným hnojením byl vyšší odběr fosforu na variantě s vyšší dávkou aplikovaného hnojiva. Na variantě N 240 byl celkový odběr fosforu o 5 % vyšší, v porovnání s variantou N 120. Na variantě kal 240 byl o 8 % vyšší, v porovnání s variantou kal 120.

Tab. 32 Odběr P na tunu produkce [kg/t] kukuřice při 100% sušiny na Suchdole

	kontrola	N 120	kal 120	N 240	kal 240
nadzemní biomasa	2,0	1,8	1,9	1,9	2,0

Odběr fosforu na tunu produkce se pohyboval u kukuřice v rozmezí od 1,8 do 2,0 [kg/t].

### **6.2.2.2 Diskuze**

Odběry fosforu v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice byly taktéž jako v pokusu s rotací plodin ovlivněny výnosem. Na stanovišti Červený Újezd byl průkazně vyšší odběr fosforu na variantách s nejvyšším výnosem kukuřice. Na stanovišti Suchdol byl na variantách se shodným typem hnojením při vyšším výnosu odběr P vyšší. Průměrný obsah fosforu v sušině nadzemní biomasy kukuřice na siláž byl 2077 mg/kg. Podobnou hodnotu publikovali Schroder et al. (2015), kteří nezaznamenali vliv hnojení na množství fosforu obsaženého v sušině nadzemní biomasy kukuřice na siláž. Odpovídá to výsledkům, ve kterých rozdíl v obsazích fosforu v sušině nadzemní biomasy mezi variantou s nejvyšším a nejnižším obsahem fosforu byl na stanovišti Červený Újezd 5 % a na stanovišti Suchdol 10 %. Tyto malé rozdíly odpovídaly výsledkům odběru fosforu na tunu produkce kukuřice, u kterých se varianty mezi sebou nelišily. Po přepočtení na 30% sušinu měly všechny varianty normativ 0,6 [kg/t], který se shoduje s normativem uváděným Klír et al. (2007). Ovšem například Bender et al. (2012) uvádějí normativ 1,3 [kg/t]. Shodné normativy na pokusech s monokulturou byly mezi variantami způsobeny, stejně jako v pokusu s rotací plodin, rovnoměrným příjmem fosforu kukuřicí po celou dobu vegetace.

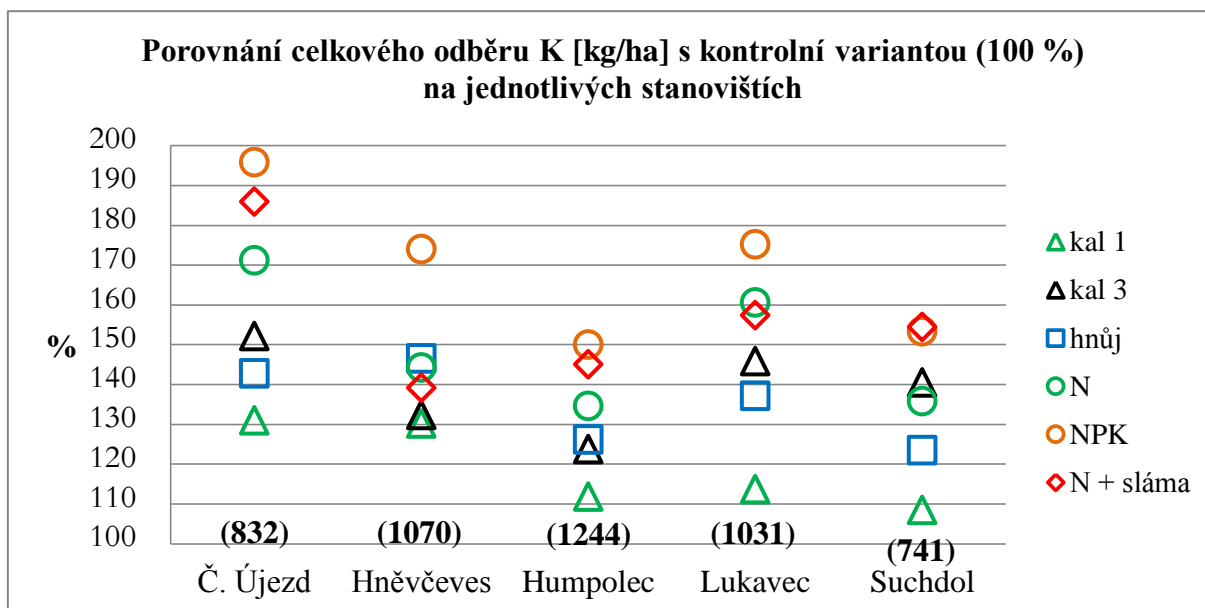
### **6.2.3 Odběr draslíku pěstovanými rostlinami v pokusu s rotací plodin**

#### **6.2.3.1 Výsledky**

Celkový odběr draslíku a odběr draslíku za jednotlivé rotace pěstovanými rostlinami za období 1997 – 2013 na stanovištích Červený Újezd, Hněvčoves, Humpolec, Lukavec a Suchdol je uveden v tabulkách 33, 35, 37, 39 a 41. Množství odebraného draslíku plodinami na tunu produkce pro jednotlivá stanoviště je uvedeno v tabulkách 34, 36, 38, 40 a 42. V grafu 6 je znázorněno porovnání celkového odběru fosforu s kontrolní variantou na jednotlivých stanovištích.



Graf č. 6 Porovnání celkových odběrů K [kg/ha] s kontrolní variantou (100 %) na jednotlivých stanovištích za období 1997 – 2013



Nejvyšší celkový odběr draslíku na kontrolní variantě 1244 kg/ha byl na stanovišti Humpolec a naopak nejnižší 741 kg/ha byl na stanovišti Suchdol. Nejnižší celkový odběr draslíku z hnojených variant byl na všech stanovištích na variantě kal 1. Nejvyšší odběr K ze všech stanovišť byl na variantě NPK (kromě Suchdola). Největší rozdíl v odběru draslíku při srovnání kontrolní varianty s variantou s nejvyšším odběrem, byl na stanovišti Červený Újezd, naopak nejmenší rozdíl byl na stanovišti Suchdol.

### 6.2.3.1.1 Stanoviště Červený Újezd

Tab. 33 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Červený Újezd

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	100	183	168	166	91	123	832
kal 1	97	207	226	247	131	182	1091
kal 3	89	221	319	258	161	219	1267
hnůj	91	202	290	253	152	200	1189
N	167	251	373	237	159	238	1424
NPK	164	279	409	302	199	277	1631
N+sláma	176	275	365	246	196	289	1547

Na variantách s minerálním hnojením byl celkový odběr draslíku rostlinami po 17 letech trvání pokusu vyšší než na variantách s organickým hnojením. Nejvyšší celkový odběr draslíku 1631 kg/ha rostlinami byl na variantě NPK. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantě NPK odběr draslíku vyšší o 96 %. Nejnižší celkový odběr draslíku (kromě kontrolní nehnojené varianty) byl na variantě kal 1. V porovnání s kontrolou byl celkový odběr draslíku na variantě kal 1 o 31 % vyšší. Na variantě NPK byl při srovnání s variantou kal 1 celkový odběr draslíku o 50 % vyšší.

Tab. 34 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Č. Újezdě

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	10,5	10,3	11,5	10,8	12,9	14,0	13,1
ječmen jarní <sup>a)</sup>	11,9	11,6	12,0	11,6	12,6	14,9	13,7
kukuřice <sup>b)</sup>	6,8	7,1	7,1	8,3	8,1	8,7	8,7

a) [kg/t zrna]; b) nadzemní část biomasy

Odběr draslíku na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 10,3 do 14,0 [kg/t], u ječmene jarního od 11,6 do 14,9 [kg/t] a u hlíz brambor od 6,8 do 8,7 [kg/t].

#### 6.2.2.1.2 Stanoviště Hněvčeves

Tab. 35 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Hněvčeves

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	73	216	167	198	221	194	1070
kal 1	78	282	236	232	315	251	1394
kal 3	77	277	262	170	362	267	1416
hnůj	72	265	279	196	374	383	1569
N	140	285	272	240	339	268	1545
NPK	153	274	304	261	507	363	1862
N+sláma	162	287	287	224	274	256	1490

Nejvyšší celkový odběr draslíku 1862 kg/ha rostlinami za 17 let trvání pokusu byl na variantě NPK. Ve srovnání s kontrolní variantou byl na variantě NPK odběr o 74 % vyšší. Nejnižší odběr draslíku mezi hnojenými variantami byl na variantě kal 1. Ve srovnání s kontrolní variantou byl na variantě kal 1 odběr vyšší o 30 %, ve srovnání s variantou NPK byl odběr o 25 % nižší.

Tab. 36 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Hněvčevsi

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	8,3	8,0	8,4	8,4	7,9	9,1	8,7
ječmen jarní <sup>a)</sup>	12,3	14,0	13,8	13,1	14,8	16,8	12,7
hlízy brambor	19,8	17,6	16,3	19,1	18,0	21,3	17,4

a) [kg/t zrna]

Odběr draslíku na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 7,9 do 8,7 [kg/t], u ječmene jarního od 12,3 do 16,8 [kg/t] a u hlíz brambor od 16,3 do 21,3 [kg/t].

### 6.2.2.1.3 Stanoviště Humpolec

Tab. 37 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Humpolec

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	135	268	263	188	168	222	1244
kal 1	158	346	266	203	186	232	1391
kal 3	145	374	298	235	213	275	1539
hnůj	115	366	314	255	215	306	1570
N	188	374	361	275	215	263	1676
NPK	264	395	366	271	236	335	1867
N+sláma	225	439	383	226	239	294	1805

Nejvyšší odběry K pěstovanými rostlinami byly na variantách s minerálním hnojením. Nejvyšší celkový odběr draslíku 1867 kg/ha za 17 let trvání pokusu byl na variantě NPK. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantě NPK odběr o 50 % vyšší. Druhý a třetí nejvyšší celkový odběr draslíku byl na variantách s aplikací dusíku v minerálním hnojivu (N, N+sláma). Nejnižší odběr fosforu z hnojených variant byl na variantě kal 1. V porovnání s kontrolní variantou byl odběr na variantě kal o 12 % vyšší. Na variantě s nejvyšším

celkovým odběrem draslíku byl odběr v porovnání s variantou s nejnižším odběrem z hnojených variant vyšší o 34 %.

Tab. 38 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Humpolci

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	11,6	12,0	13,6	11,1	11,4	13,2	12,6
ječmen jarní <sup>a)</sup>	14,0	12,6	12,3	12,5	12,8	13,8	13,2
hlízy brambor	20,0	16,5	16,3	20,5	19,3	20,1	19,1

a) [kg/t zrna]

Odběr draslíku na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 11,1 do 13,6 [kg/t], u ječmene jarního od 12,3 do 13,8 [kg/t] a u hlíz brambor od 16,3 do 20,5 [kg/t].

#### 6.2.2.1.4 Stanoviště Lukavec

Tab. 39 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Lukavec

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	98	238	188	237	150	120	1031
kal 1	83	278	180	283	182	168	1173
kal 3	125	377	230	335	222	213	1503
hnůj	97	374	224	280	211	228	1414
N	114	426	278	325	273	239	1655
NPK	181	389	286	439	266	245	1807
N+sláma	104	373	299	338	311	198	1622

Na variantách s minerálním hnojením byly celkové odběry draslíku rostlinami za 17 let trvání pokusu v porovnání s variantami s organickým hnojením vyšší. Nejvyšší celkový odběr draslíku 1807 kg/ha byl na variantě NPK, na které byl v porovnání s kontrolní variantou odběr draslíku o 75 % vyšší. Nejnižší celkový odběr draslíku, z variant s organickým hnojením, byl na variantě kal 1. Na variantě kal 1 byl v porovnání s kontrolní variantou celkový odběr draslíku o 14 % vyšší. Na variantě s nejvyšším celkovým odběrem byl celkový odběr draslíku v porovnání s variantou s nejnižším celkovým odběrem z hnojených variant vyšší o 54 %.

Tab. 40 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Lukavci

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	12,6	11,6	9,4	11,1	10,2	9,7	9,1
ječmen jarní <sup>a)</sup>	19,9	17,4	19,9	21,3	19,0	19,2	19,1
hlízy brambor	21,5	17,8	19,7	19,9	19,2	21,8	23,4

a) [kg/t zrna]

Odběr draslíku na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 9,1 do 11,6 [kg/t], u ječmene jarního od 17,4 do 21,3 [kg/t] a u hlíz brambor od 17,8 do 23,4 [kg/t].

#### 6.2.2.1.5 Stanoviště Suchdol

Tab. 41 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Suchdol

	1997 - 98	1999 - 01	2002 - 04	2005 - 07	2008 - 10	2011 - 13	celkem
kontrola	69	146	108	159	117	142	741
kal 1	59	138	147	127	138	195	804
kal 3	66	157	186	207	186	239	1042
hnůj	56	142	144	184	159	229	915
N	75	193	178	155	176	229	1006
NPK	94	197	180	192	199	273	1136
N+sláma	81	211	199	207	200	247	1144

Nejvyšší celkový odběr draslíku 1144 kg/ha rostlinami za 17 let trvání pokusu byl zaznamenán na variantě N+sláma. Na variantě NPK byl pouze o 8 kg/ha menší celkový odběr draslíku než na variantě N+sláma. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantě N+sláma odběr draslíku vyšší o 54 %, na variantě NPK o 53 %. Nejnižší celkový odběr draslíku z hnojených variant byl na variantě kal 1. V porovnání s kontrolou byl na variantě kal 1 odběr draslíku o 9 % vyšší. Při porovnání variant NPK a kal 1 byl na variantě NPK odběr draslíku ve srovnání s variantou kal 1 vyšší o 42 %.

Tab. 42 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině na Suchdole

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
pšenice ozimá <sup>a)</sup>	8,7	10,2	10,5	10,0	11,0	11,2	11,4
ječmen jarní <sup>a)</sup>	10,0	10,5	10,7	11,3	11,9	11,5	10,9
hlízy brambor	17,5	16,3	14,5	12,4	18,6	15,7	14,2

a) [kg/t zrna]

Odběr draslíku na tunu produkce se pohyboval v rozmezí u pšenice ozimé od 8,7 do 11,4 [kg/t], u ječmene jarního od 10,0 do 11,9 [kg/t] a u hlíz brambor od 12,4 do 18,6 [kg/t].

### 6.2.3.2 Diskuze

Nejnižší odběr draslíku byl na stanovišti Suchdol. Bylo to zapříčiněno nejnižším výnosem hlíz brambor ve srovnání s ostatními stanovišti. Na základě analýzy odběrů draslíku u plodin zastoupených v rotaci plodin (brambory/kukuřice – pšenice ozimá – ječmen jarní) se hlízy brambor podílely až z 65 % z celkového odběru draslíku pěstovanými plodinami. Průměrný odběr 147 kg K/ha hlízami brambor v rámci pokusu byl při průměrném obsahu draslíku v hlízách brambor 19 020 mg/kg. Množství draslíku v hlízách brambor odpovídá rozsahu 17900 – 21 500 mg/kg, který publikovali Neshev et Malanov (2015). Z dalších sklizených produktů se nejvíce na celkovém odběru draslíku v rámci pokusu podílela sláma pšenice ozimé z 16 % a sláma ječmene jarního z 13 %. Nejnižší odběr draslíku pěstovanými plodinami na hnojených variantách byl na variantě kal 1. Naopak na variantě NPK byl zjištěn nejvyšší odběr draslíku na všech stanovištích kromě stanoviště Suchdol, kde byl na variantě NPK o pouhých 8 kg K/ha/17 let nižší odběr draslíku ve srovnání s variantou (N+sláma) s nejvyšším celkovým odběrem K. Odběr draslíku byl ovlivněn nízkými výnosy pěstovaných plodin na variantě kal 1, respektive vysokými výnosy, a proto vysokým odběrem draslíku na variantě NPK. To odpovídá zjištěním, které publikoval Tůma (2002), který na 6 letém polním pokusu prokázal velmi těsný vztah mezi produkcí rostlin a odběrem draslíku. Na všech stanovištích byl na variantě kal 1 nejnižší výnos hlíz brambor (kromě nehnojené kontrolní varianty), respektive kukuřice na siláž na stanovišti Červený Újezd. Na variantě NPK byl na stanovištích Červený Újezd, Hněvčevy a Humpolec celkový výnos všech pěstovaných plodin nejvyšší. Na stanovišti Lukavec byl celkový výnos na variantě NPK pouze o 2 kg K/ha/17 let nižší, respektive na stanovišti Suchdol o 3 kg/ha/17 let, ve srovnání s variantami s nejvyšším celkovým výnosem všech pěstovaných plodin.

Odběry draslíku ječmenem jarním na tunu produkce odpovídaly průměrně normativu 11,1 [kg/t] při 85% sušíně publikovanému v Klír et al. (2007). Průměrné odběry pšenice ozimé a hlíz brambor na tunu produkce byly nižší, než uvádí Klír et al. (2007). Průměrný odběr draslíku v porovnání s ostatními variantami na tunu produkce byl na variantě NPK vyšší. Bylo to pravděpodobně zapříčiněno intenzivním odběrem draslíku v kratším období vegetace a jeho vyšší přístupností pro rostliny. Vaněk et al. (2007) uvádí, že nejvyšší dynamika příjmu draslíku u pšenice ozimé je v období metání a u ječmene jarního v období sloupkování.

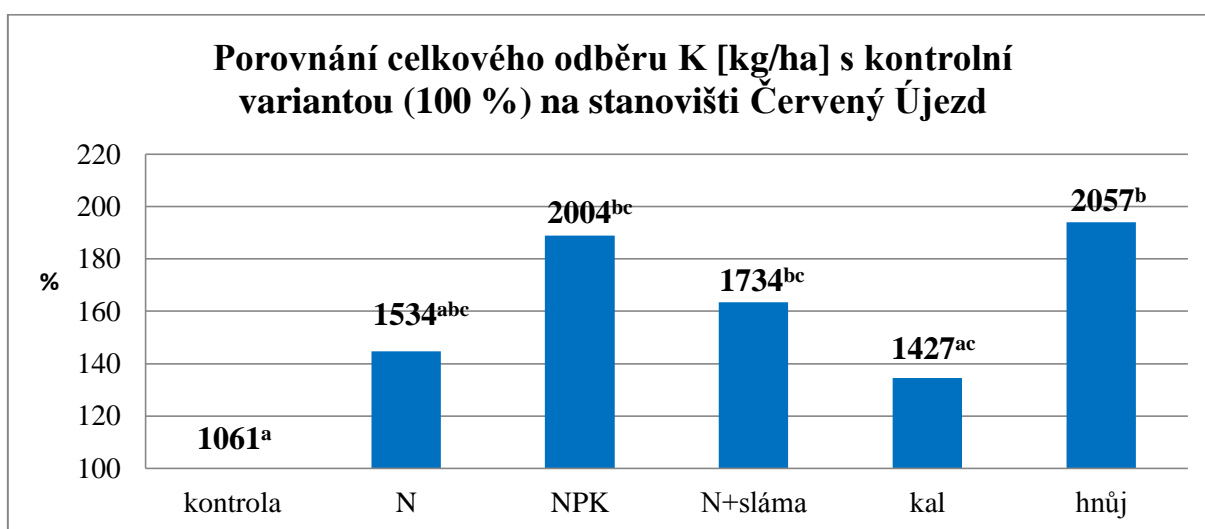
## 6.2.4 Odběr draslíku v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice

### 6.2.4.1 Výsledky

Celkový odběr draslíku kukuřicí na siláž za 17 let trvání pokusu a srovnání odběru jednotlivých variant s kontrolní variantou pro stanoviště Červený Újezd je znázorněn v grafu 7, pro stanoviště Suchdol v grafu 8. Množství odebraného draslíku kukuřicí na tunu produkce je uvedeno pro Červený Újezd v tabulce 43, pro Suchdol v tabulce 44.

#### 6.2.4.1.1 Stanoviště Červený Újezd

*Graf č. 7 Celkové odběry draslíku [kg/ha] kukuřicí na siláž za období 1997 – 2013 na jednotlivých variantách a porovnání (%) s kontrolní variantou na stanovišti Červený Újezd*



Nejvyšší celkový odběr draslíku 2057 kg/ha kukuřicí na siláž za 17 let trvání pokusu byl na variantě hnůj. Na variantě hnůj byl statisticky průkazně vyšší odběr K, v porovnání s variantami kal a kontrola. Ve srovnání s kontrolní variantou byl statisticky významně vyšší celkový odběr K, kromě varianty hnůj na variantách NPK (o 89 %) a N+sláma (o 63 %).

Druhý nejvyšší odběr K byl na variantě NPK, na které byl celkový odběr draslíku nižší než na variantě hnůj o 53 kg/ha. Nejnižší celkový odběr draslíku z hnojených variant byl na variantě kal. V porovnání s kontrolní variantou byl odběr draslíku na variantě kal o 34 % vyšší. Ve srovnání s variantou hnůj byl na variantě kal statisticky průkazně nižší celkový odběr draslíku (o 630 kg/ha).

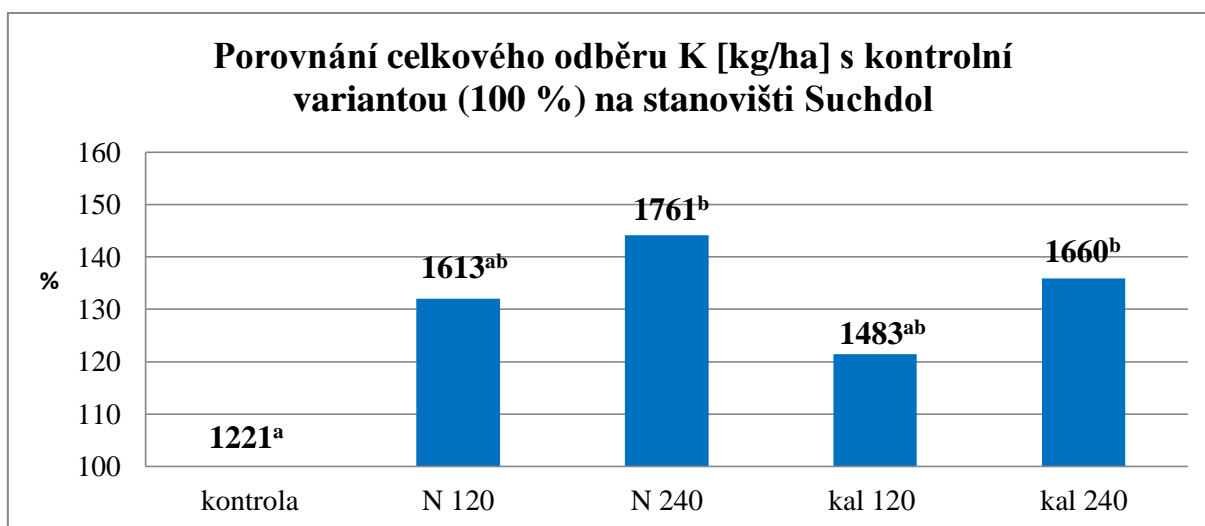
Tab. 43 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] kukuřice při 100% sušíně v Č. Újezdě

	kontrola	hnůj	kal	N	NPK	N+sláma
nadzemní biomasa	6,6	8,6	6,6	6,7	8,2	7,1

Odběr draslíku na tunu produkce se pohyboval u kukuřice v rozmezí od 6,6 do 8,6 [kg/t].

#### 6.2.4.1.1 Stanoviště Suchdol

Graf č. 8 Celkové odběry draslíku [kg/ha] kukuřicí na siláž za období 1997 – 2013 na jednotlivých variantách a porovnání (%) s kontrolní variantou na stanovišti Suchdol



Nejvyšší celkový odběr draslíku 1761 kg/ha kukuřicí na siláž za 17 let trvání pokusu byl na variantě N 240. Ve srovnání s kontrolní variantou byl celkový odběr K na variantě N 240 průkazně vyšší (o 44 %). Nejnižší odběr K byl kromě kontrolní varianty na variantě kal 120. Ve srovnání s kontrolní variantou byl odběr na variantě kal 120 vyšší o 21 %. Na variantách se shodným hnojením byl odběr draslíku na variantě s vyšší dávkou aplikovaného hnojiva vyšší. Na variantě N 240 byl celkový odběr draslíku v porovnání s variantou N 120 vyšší o 9 % a na variantě kal 240 ve srovnání s variantou kal 120 byl vyšší o 12 %.



Tab. 44 Odběr K na tunu produkce [kg/t] kukuřice při 100% sušině na Suchdole

	kontrola	N 120	kal 120	N 240	kal 240
nadzemní biomasa	6,7	6,6	6,8	7,1	7,1

Odběr draslíku na tunu produkce se pohyboval u kukuřice v rozmezí od 6,6 do 8,6 [kg/t].

#### 6.2.4.2 Diskuze

V pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice na stanovištích Červený Újezd a Suchdol byl z hnojených variant nejnižší odběr draslíku na variantě kal, respektive kal 120. Tyto varianty se vyznačovaly nejnižšími průměrnými výnosy z hnojených variant. Na stanovišti Červený Újezd byly na variantách s nevyšším výnosem průkazně vyšší odběry draslíku ve srovnání s kontrolní variantou. Na stanovišti Suchdol na variantách se shodným typem hnojením byly při vyšší dávce aplikovaného hnojiva vyšší výnosy a statisticky průkazně vyšší odběry draslíku ve srovnání s kontrolní variantou. Množství odebraného draslíku ovlivňovala výše výnosu, což publikoval Tůma (2002).

Průměrné odběry draslíku na tunu produkce byly nižší, než uvádí Klír et al., (2007), kteří uvádí normativ 12 kg/t při 100% sušině. Nižší odběry draslíku na tunu produkce kukuřice mohly být způsobeny vlivem opakovaného pěstování kukuřice. Snižující se odběr draslíku v posledních letech pokusu pro stanoviště Suchdol uvádí v článku Černý et al. (2013). Na stanovišti Červený Újezd byl vyšší odběr draslíku na variantách, na kterých byl draslík dodán ve srovnání s ostatními variantami. Bylo to pravděpodobně zapříčiněno, stejně jako na pokusu s rotací plodin, intenzivním odběrem draslíku v krátké době intenzivního růstu a jeho přístupností. Intenzivní příjem draslíku kukuřicí, jak uvádí Vaněk et al. (2007), trvá pouze 6 – 7 týdnů.

## 6.3 Vyhodnocení vlivu hnojení na změny obsahu přístupného fosforu a draslíku v půdě

Vliv hnojení na obsah přístupného fosforu a draslíku v půdě byl sledován v pokusech s rotací plodin a monokulturálním pěstováním kukuřice. Byl vyhodnocen rozdíl v obsazích přístupného P a K od založení pokusu do roku 2013. Byly porovnány rozdíly v obsazích přístupného fosforu a draslíku mezi jednotlivými variantami na jednotlivých stanovištích.

### 6.3.1 Vyhodnocení vlivu hnojení na změny obsahu přístupného fosforu v půdě

#### 6.3.1.1 Výsledky změn obsahu přístupného fosforu v půdě v pokusu s rotací plodin

V tabulce 45 jsou uvedeny rozdíly v obsahu přístupného fosforu mezi lety 1996 a 2013 na jednotlivých stanovištích. Obsah přístupného P z roku 1996 je uveden v příloze 23. Obsah přístupného K z roku 2013 je uveden v příloze 24.

Tab. 45 Změna obsahu přístupného fosforu [mg/kg] po 17 letech trvání pokusu (1996 - 2013)

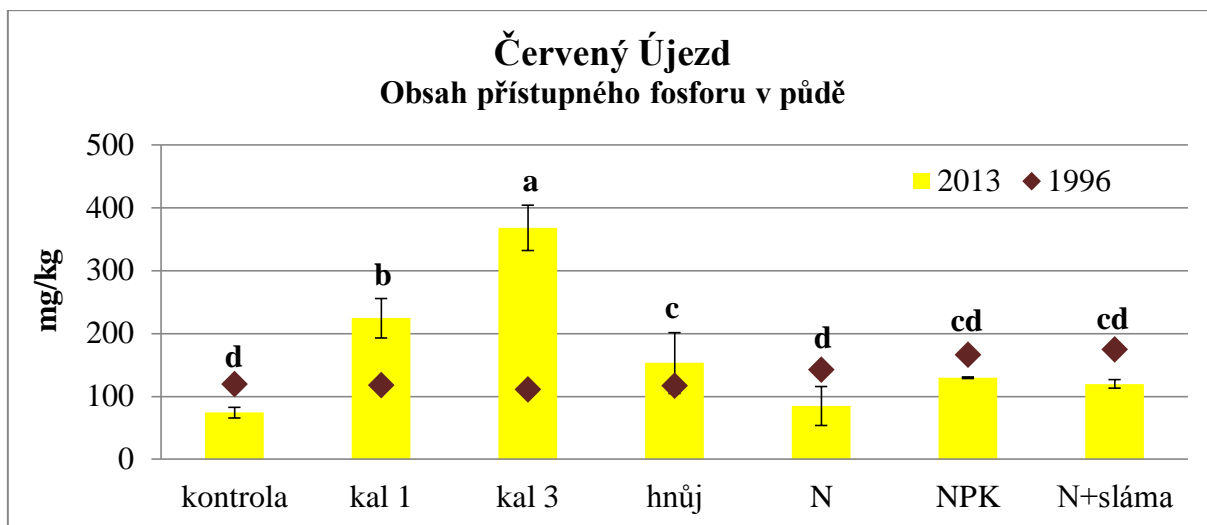
	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	N+sláma	NPK
Č. Újezd	-45	107	258	37	-57	-54	-36
Hněvčeves	15	126	208	72	1	-16	-12
Humpolec	-10	31	71	-19	57	-61	-25
Lukavec	-44	40	135	56	-44	-42	-56
Suchdol	-3	83	123	18	-22	-11	-8

Obsah přístupného fosforu v půdě po 17 letém trvání pokusu na všech stanovištích na variantách s aplikací čistírenského kalu vzrostl. Na variantě hnůj vzrostl obsah přístupného fosforu na všech stanovištích kromě stanoviště Humpolec, na kterém bylo aplikováno nejméně P v hnoji. Na variantách N+sláma a NPK na všech stanovištích byl zjištěn pokles přístupného fosforu. Na nehnojené kontrolní variantě poklesl obsah přístupného P na všech stanovištích kromě stanoviště Hněvčeves.

Obsah přístupného P v půdě na začátku pokusu a v roce 2013, společně se statistickým vyhodnocením, je znázorněn pro stanoviště Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec a Suchdol na grafech 9 – 13.

### 6.3.1.1.1 Stanoviště Červený Újezd

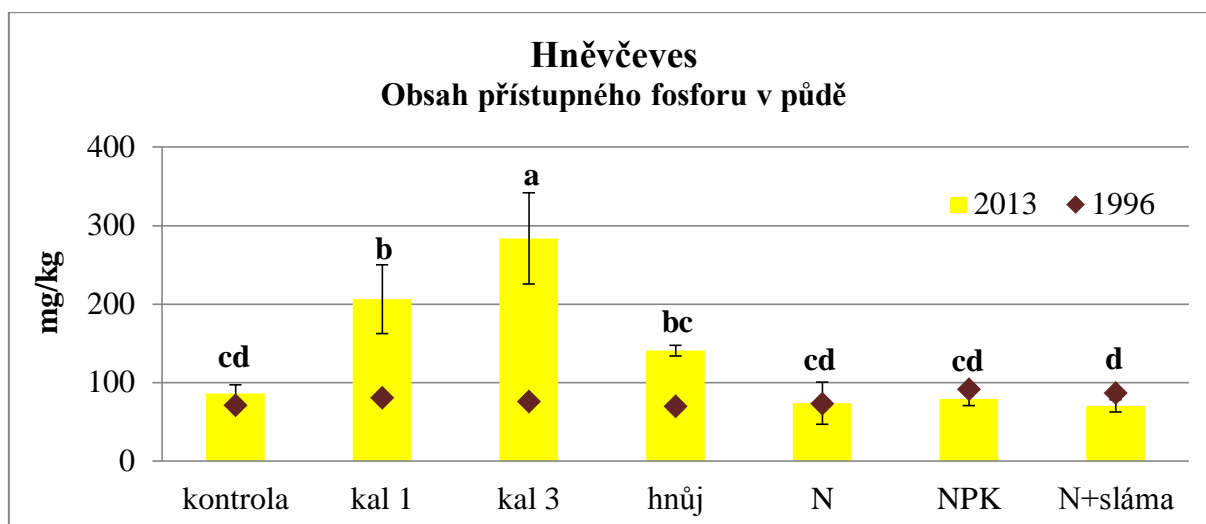
Graf č. 9 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Červený Újezd



Na stanovišti Červený Újezd na variantách s aplikací minerálních hnojiv (N, NPK, N+sláma) a na kontrolní variantě obsah přístupného fosforu od založení pokusu do roku 2013 klesl. Na variantách s organickým hnojením (kal 1, kal 3, hnůj) obsah přístupného P vzrostl. Nejvyšší obsah přístupného P byl v roce 2013 na varinatě kal 3 (368 mg/kg). Na variantách s aplikací kalu (kal 1, kal 3) byl statisticky významný vyšší obsah přístupného fosforu v roce 2013 v porovnání s ostatními variantami. Statisticky významný rozdíl byl nalezen v obsahu přístupného P v roce 2013 mezi variantami kal 1 a kal 3. Na kontrolní varintě spolu s variantami s apliakcí kalu, byl statisticky významný menší obsah přístupného P v roce 2013, v porovnání s variantou hnůj.

### 6.3.1.1.2 Stanoviště Hněvčeves

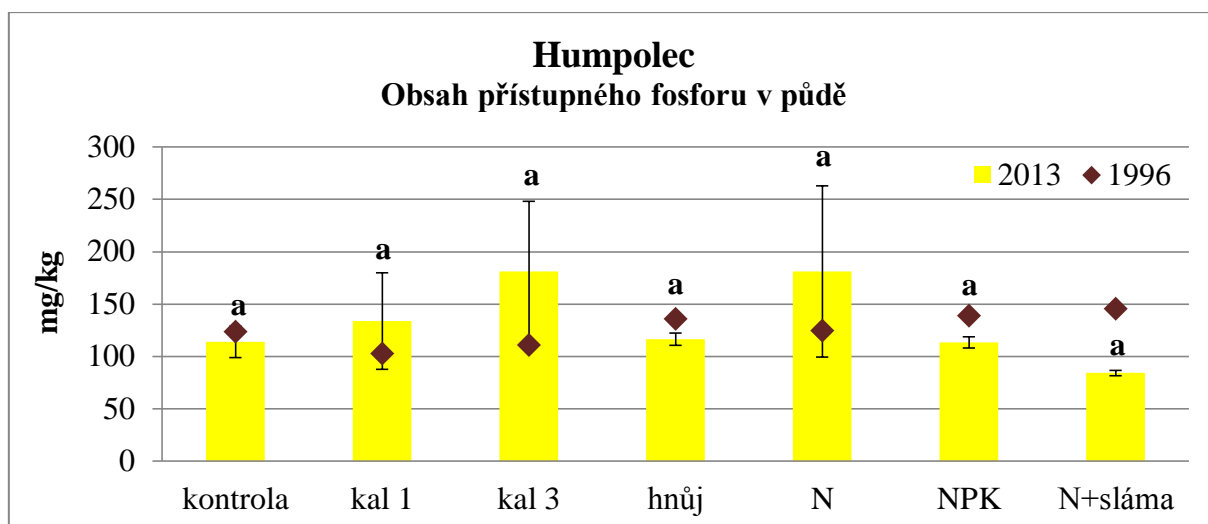
Graf č. 10 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Hněvčeves



Na stanovišti Hněvčeves po 17 letech trvání pokusu došlo na variantách NPK a N+sláma k poklesu obsahu přístupného P. Na variantách s organickým hnojením došlo ke zvýšení obsahu přístupného P. Nejvyšší obsah přístupného P byl v roce 2013 na variantě kal 3 (284 mg/kg). Na variantě kal 3 byl zjištěn statisticky průkazně vyšší obsah přístupného P ve srovnání s ostatními variantami. Na variantě kal 1 byl kromě varianty hnůj statisticky průkazně vyšší obsah přístupného fosforu v porovnání s ostatními variantami. Mezi variantami kontrola, N, NPK a N+sláma nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v obsahu přístupného fosforu.

### 6.3.1.1.3 Stanoviště Humpolec

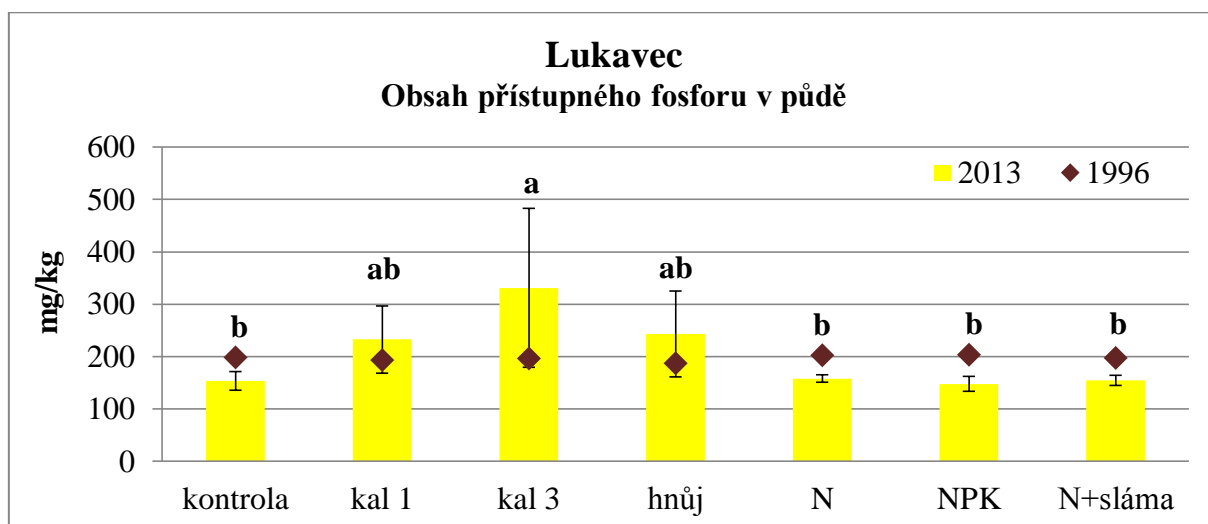
Graf č. 11 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Humpolec



Na stanovišti Humpolec na variantách kontrola, hnůj, NPK a N+sláma došlo od založení pokusu do roku 2013 k poklesu obsahu přístupného fosforu. Na variantách s aplikací kalu a na variantě N došlo ke zvýšení obsahu přístupného P. Nejvyšší obsah přístupného fosforu 181 mg/kg v roce 2013 byl shodně na variantách kal 3 a N (). Nejnižší obsah přístupného P byl na variantě N+sláma (84 mg/kg). Nebyl prokázán žádný statisticky významný rozdíl v obsazích přístupného fosforu mezi jednotlivými variantami.

### 6.3.1.1.4 Stanoviště Lukavec

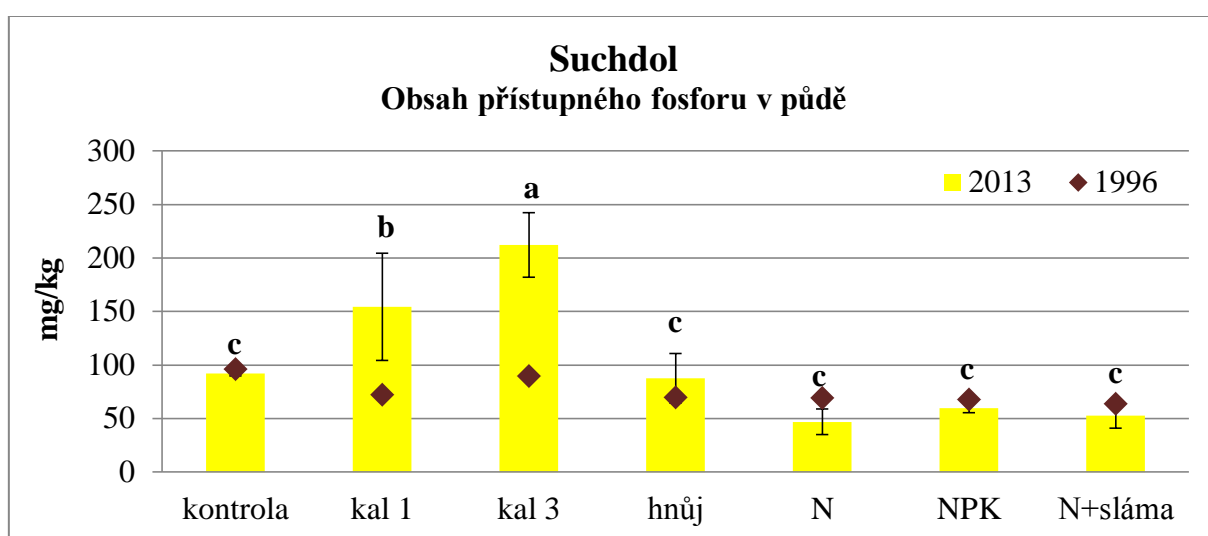
Graf č. 12 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Lukavec



Na stanovišti Lukavec po 17 letech trvání pokusu klesl obsah přístupného fosforu na variantách s aplikací minerálních hnojiv a na kontrolní variantě. Na variantách s organickým hnojením obsah přístupného P vzrostl. Nejvyšší obsah přístupného fosforu byl v roce 2013 na variantě kal 3 (151 mg/kg), na které byl statisticky průkazně vyšší obsah přístupného P v porovnání s variantami, na kterých od roku 1996 došlo k poklesu obsahu přístupného fosforu.

### 6.3.1.1.5 Stanoviště Suchdol

*Graf č. 13 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Suchdol*



Na stanovišti Suchdol od roku 1996 do roku 2013 došlo na variantách s aplikací minerálních hnojiv a na kontrolní variantě k poklesu obsahu přístupného fosforu. Na variantách s aplikací organického hnojení došlo ke zvýšení obsahu přístupného P. Nejvyšší obsah přístupného fosforu na konci pokusu byl na variantě kal 3 (212 mg/kg). Statisticky významný rozdíl v obsahu přístupného fosforu byl mezi variantami s aplikací kalu a ostatními variantami. Dále byl významně vyšší obsah přístupného P na variantě kal 3 ve srovnání s variantou kal 1.

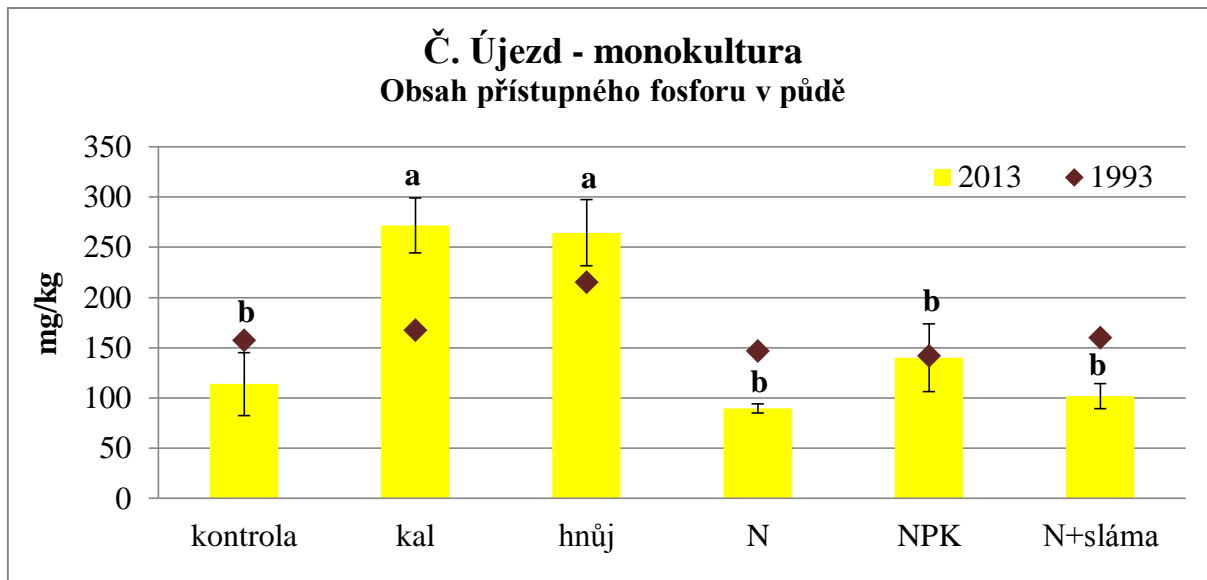
### 6.3.1.2 Výsledky změn obsahu přístupného fosforu v půdě v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice

Obsah přístupného fosforu v půdě na začátku sledování pokusu a v roce 2013, spolu se statistickým vyhodnocením pro stanoviště Červený Újezd a Suchdol, jsou znázorněny v grafech 14 a 15. Obsahy přístupného fosforu v půdě pro Červený Újezd a Suchdol jsou uvedeny v přílohách 25 a 26.

### 6.3.1.2.1 Stanoviště Červený Újezd

Na stanovišti Červený Újezd byly jako vstupní vzorky využity archivní vzorky z jara 1993.

Graf č. 14 Obsah přístupného P v půdě v roce 1993 na začátku pokusu a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Červený Újezd

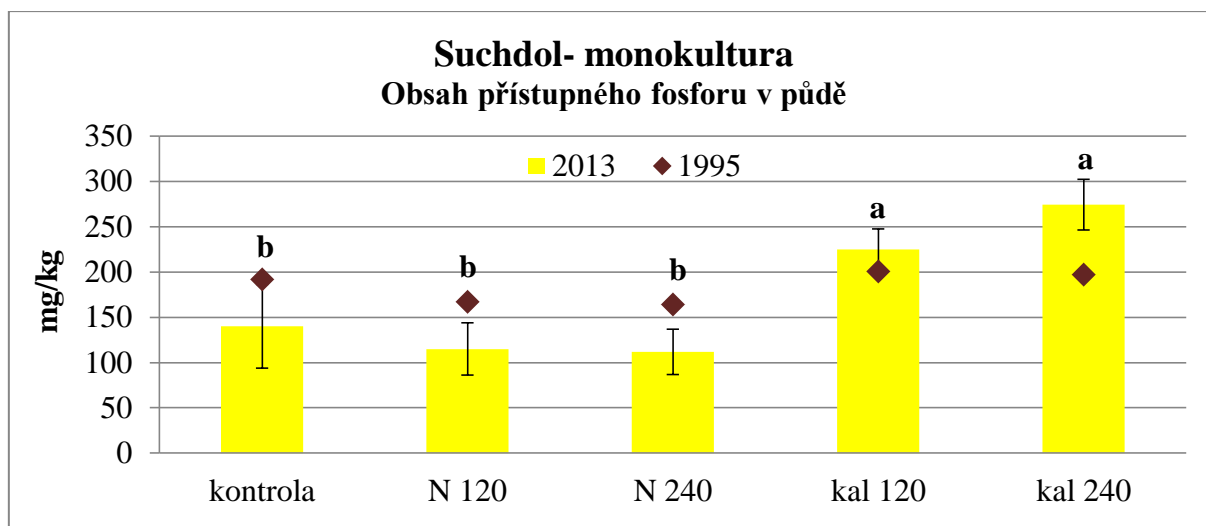


Na stanovišti Červený Újezd obsah přístupného fosforu v půdě klesl na variantách kontrola (-43 mg/kg), N (-57 mg/kg), NPK (-2 mg/kg) a N+sláma (-58 mg/kg) po 17 letech trvání pokusu. Na variantách s organickým hnojením (hnůj a kal) obsah přístupného P vzrostl, na variantě hnůj o 49 mg/kg, na variantě kal o 105 mg/kg. Nejvyšší obsah přístupného fosforu byl na variantě kal (272 mg/kg). Na variantách kal a hnůj byl obsah přístupného P v roce 2013 ve srovnání s variantami kontrola, N, NPK a N+sláma statisticky významně vyšší.

### 6.3.1.2 Stanoviště Suchdol

Na stanovišti Suchdol byly jako vstupní vzorky využity archivní vzorky z podzimu 1995.

Graf č. 15 Obsah přístupného P v půdě v roce 1995 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Suchdol



Na stanovišti Suchdol vzrostl obsah přístupného fosforu v půdě na variantách kal 120 (+ 25 mg/kg) a kal 240 (+ 77 mg/kg) po 17 letech trvání pokusu. Na variantách kontrola, N 120 a N 240 byl zaznamenán shodný obsah přístupného P (–52 mg/kg). Nejvyšší obsah přístupného P v roce 2013 byl na variantě kal 240 (274 mg/kg). Na variantách kal 120 a kal 240 byl statisticky průkazně vyšší obsah přístupného P ve srovnání s variantami s aplikací minerálního dusíku (N 120, N 240) a kontrolní variantou.

### 6.3.1.3 Diskuze

Po 17 letech trvání pokusu s rotací plodin a monokulturním pěstováním kukuřice obsah přístupného fosforu na všech stanovištích na variantách s aplikací čistírenského kalu vzrostl. Na variantě kal 3 byl obsah přístupného P na všech stanovištích nejvyšší na konci pokusu kromě stanoviště Humpolec, kde byl obsah společně s variantou N nejvyšší. V pokusu s monokulturou kukuřice byly na všech variantách s aplikací kalu obsahy přístupného fosforu v porovnání s dalšími variantami nejvyšší. Odpovídá to výsledkům publikovaným Kulhánek et al. (2014). Bylo to způsobeno obsahem fosforu v čistírenském kalu, kde se množství fosforu v aplikovaných kálech pohybovalo v rozmezí 1 – 6 % (tj. 10 – 60 g/kg v kalu). Je to více než uvádí Balík et al. (1999), který pro Českou republiku udává průměrný obsah 1,2 % fosforu v čistírenském kalu. Vyšší obsah 2,5 % fosforu v kalu uvádí Sommers (1977). Varianta hnůj na obou typech pokusu, kromě varianty N na stanovišti Humpolec, vykazovala



vyšší obsah přístupného P ve srovnání s variantami s aplikací minerálních hnojiv po 17 letech trvání pokusu. Odpovídá to zjištěním publikovaným Kondratowicz - Maciejewska et Kobiński (2011), kteří uvádějí, že na 22 letém pokusu obsah přístupného fosforu v půdě prokazatelně se zvyšující se dávkou hnoje vzrostl. Vyšší obsah přístupného P na variantě hnůj ve srovnání s variantou NPK může být způsoben tím, že množství fosforu aplikovaného v hnoji převyšovalo množství aplikovaného fosforu v trojitěm superfosfátu, kromě stanoviště Humpolec, průměrně o 4,6 kg P/ha/rok. Dále v porovnání s variantami s minerálním hnojením a kontrolní variantou to může být způsobeno dodáním organické hmoty v hnoji do půdy. Humínové kyseliny (obsaženy mj. i v hnoji) limitují sorpci fosforu, protože se dělí o sorpční místa na aktivním povrchu půdy a zvyšují uvolňování fosforu půdou (Mikulášová et al., 1997). Zvýšení obsahu přístupného fosforu v půdě po přidání humínové kyseliny po aplikaci fosforečnanu amonného publikovali Bermudez et al. (1993). Přidání hnoje či kompostu pro zvýšení obsahu fosforu v půdě uvádí v závěrech své práce Eghball (2002). Vrkoč et al (2002) uvádí, že při dávce fosforu 22 kg/ha v kombinaci s hnojem aplikovaným jedenkrát za tři roky se každoročně zvýší obsah fosforu v půdě o 1 – 3 mg/kg.

### 6.3.2 Vyhodnocení vlivu hnojení na změny obsahu přístupného draslíku v půdě

#### 6.3.2.1 Výsledky změn obsahu přístupného draslíku v půdě v pokusu s rotací plodin

V tabulce 46 jsou uvedeny rozdíly v obsahu přístupného draslíku mezi lety 1996 a 2013 na jednotlivých stanovištích. Obsah přístupného K z roku 1996 je uveden v příloze 27. Obsah přístupného draslíku z roku 2013 je v příloze 28.

Tab. 46 Změna obsahu přístupného draslíku [mg/kg] po 17 letech trvání pokusu (1996 - 2013)

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	-69	-27	-17	28	-38	41	-10
Hněvčeves	-28	-26	-8	69	-36	-64	-26
Humpolec	-43	-81	-45	-37	-71	1	-75
Lukavec	-81	-55	-62	-1	-83	-82	-100
Suchdol	-44	-31	-66	-18	-37	17	-27

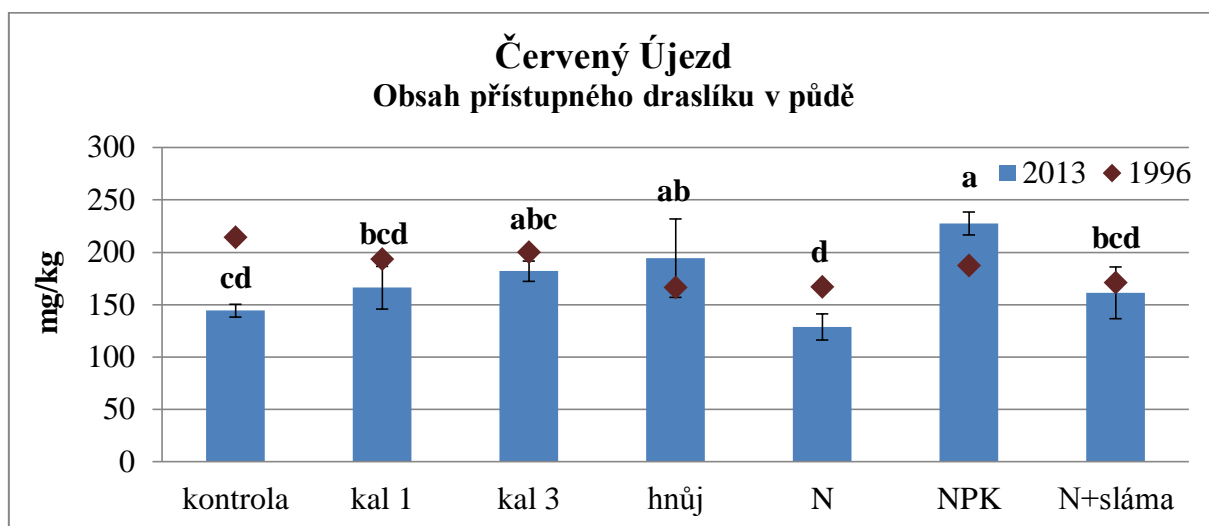
Obsah přístupného draslíku v půdě po 17 letech trvání pokusu na všech stanovištích na kontrolní variantě, variantách s aplikací kalu (kal 1, kal 3) a variantách N a N+sláma klesl.

Na variantě hnůj obsah přístupného K na stanovištích Hněvčeves a Červený Újezd vzrostl. Na stanovištích Červený Újezd, Suchdol a Humpolec byl zjištěn zvýšený obsah přístupného K na variantě NPK.

Obsah přístupného K v půdě na začátku pokusu a v roce 2013 společně se statistickým vyhodnocením je znázorněn pro stanoviště Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec a Suchdol v grafech 16 – 20.

### 6.3.2.1.1 Stanoviště Červený Újezd

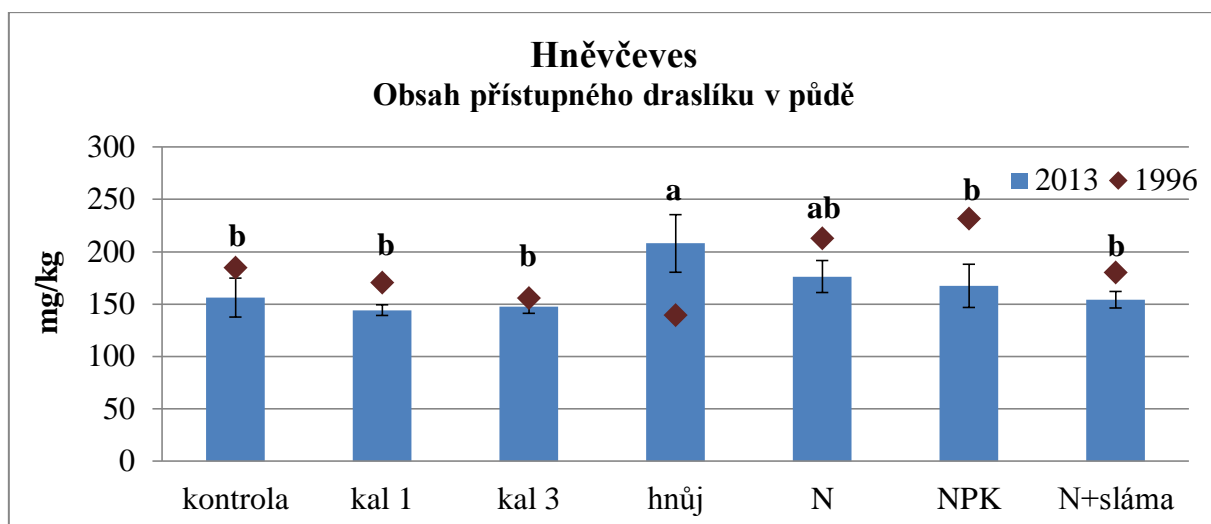
Graf č. 16 Obsah přístupného K v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Červený Újezd.



Na stanovišti Červený Újezd obsah přístupného draslíku na všech variantách, kromě varianty hnůj a NPK, po 17 letech trvání pokusu klesl. Nejvyšší obsah přístupného draslíku v roce 2013 byl na variantě NPK (228 mg/kg). Na variantě NPK byl statisticky průkazně vyšší obsah přístupného K v roce 2013 v porovnání s variantami kontrola, kal 1, N a N+sláma. Nejnižší obsah přístupného draslíku (128,6 mg/kg) byl na variantě N, na které byl průkazně nižší obsah přístupného K ve srovnání s variantami kal 3, hnůj a NPK. V porovnání s kontrolní variantou byl na variantě hnůj také statisticky významně vyšší obsah přístupného draslíku.

### 6.3.2.1.2 Stanoviště Hněvčeves

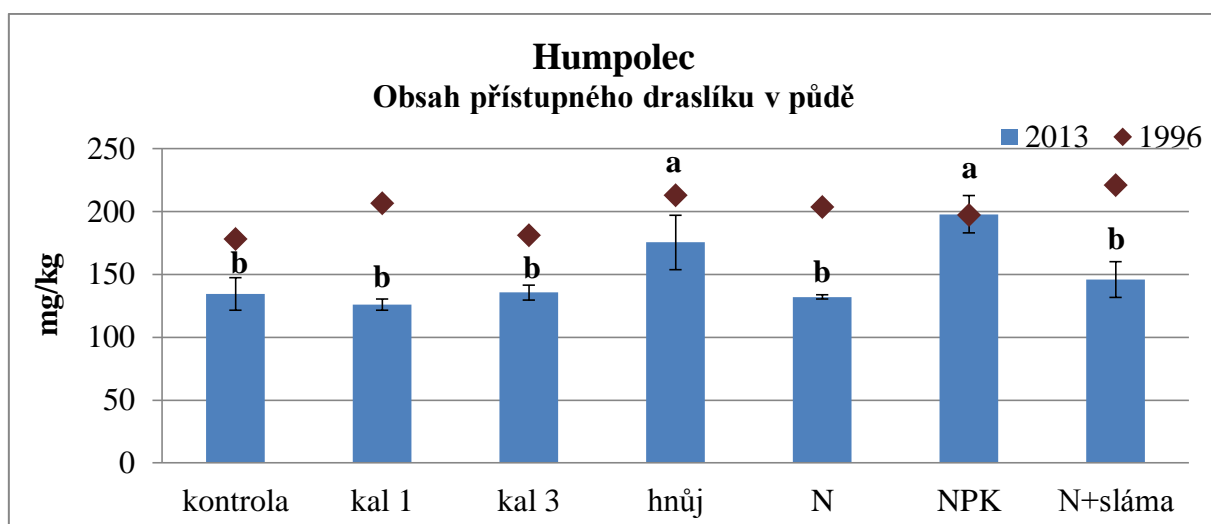
Graf č. 17 Obsah přístupného K v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Hněvčeves



Na stanovišti Hněvčeves obsah přístupného K na všech variantách, kromě varianty s aplikací hnoje po 17 letech trvání pokusu klesl. Statisticky průkazný rozdíl v obsahu přístupného K v roce 2013 byl nalezen mezi variantou hnůj s nejvyšším obsahem přístupného draslíku (208 mg/kg) a variantami kontrola, kal 1, kal 3, NPK a N+sláma.

### 6.3.2.1.3 Stanoviště Humpolec

Graf č. 18 Obsah přístupného K v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Humpolec

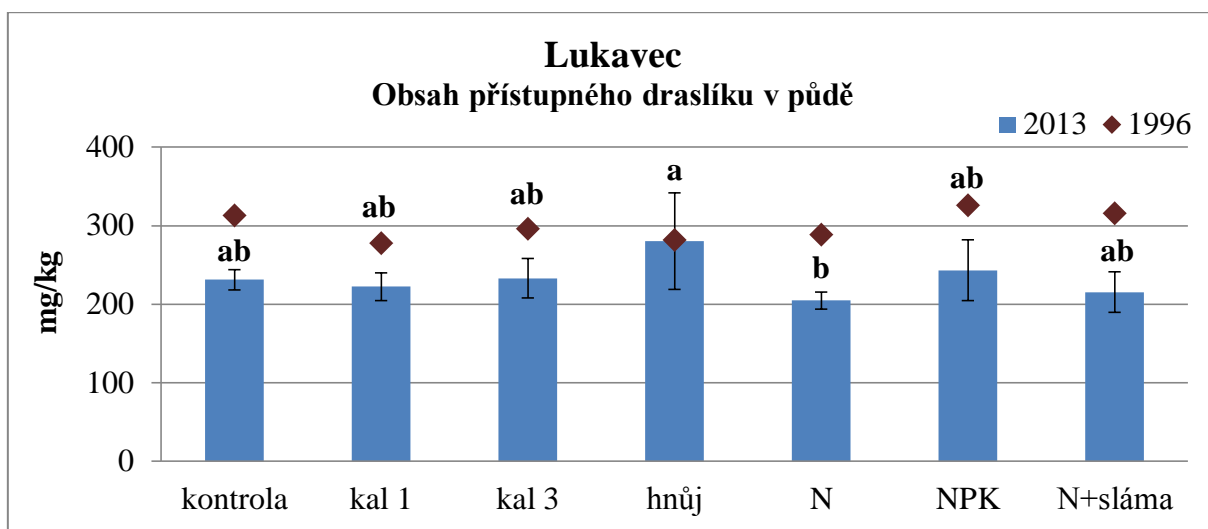


Na stanovišti Humpolec obsah přístupného K na všech variantách, kromě varianty NPK po 17 letech trvání pokusu klesl. Nejvyšší obsah přístupného draslíku na konci pokusu byl

na variantě NPK (198 mg/kg), na které byl statisticky průkazně vyšší obsah přístupného K v roce 2013 ve srovnání s variantami kontrola, kal 1, kal 3, N a N+sláma.

#### 6.3.2.1.4 Stanoviště Lukavec

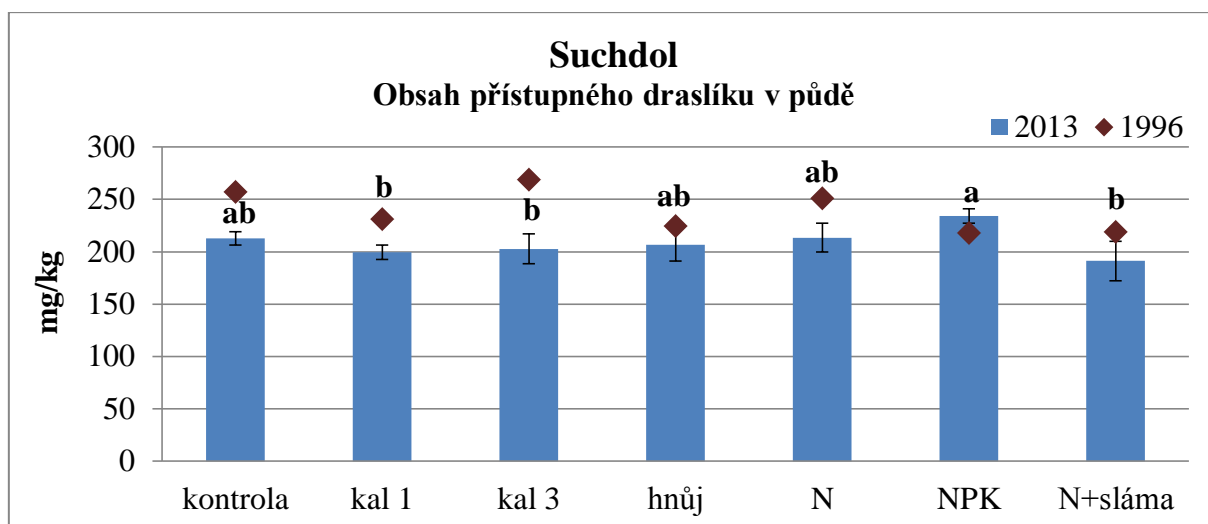
Graf č. 19 Obsah přístupného K v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Lukavec



Na stanovišti Lukavec obsah přístupného K na všech variantách po 17 letech trvání pokusu klesl. Nejnižší pokles byl na variantě hnůj (-1 mg/kg). Právě na variantě hnůj byl nejvyšší obsah přístupného K v roce 2013 a byl zjištěn statisticky průkazně vyšší obsah přístupného K v porovnání s variantami s aplikací samotného dusíku (N) a dusíku se slámou (N+sláma).

### 6.3.2.1.5 Stanoviště Suchdol

Graf č. 20 Obsah přístupného K v půdě v roce 1995 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Suchdol



Na stanovišti Suchdol obsah přístupného K na všech variantách, kromě varianty NPK po 17 letech trvání pokusu klesl. Nejvyšší obsah přístupného draslíku v půdě byl v roce 2013 na variantě NPK (234 mg/kg). Na variantě NPK byl statisticky významně vyšší obsah přístupného K v roce 2013 v porovnání s variantami kal 1, kal 3 a N+sláma.

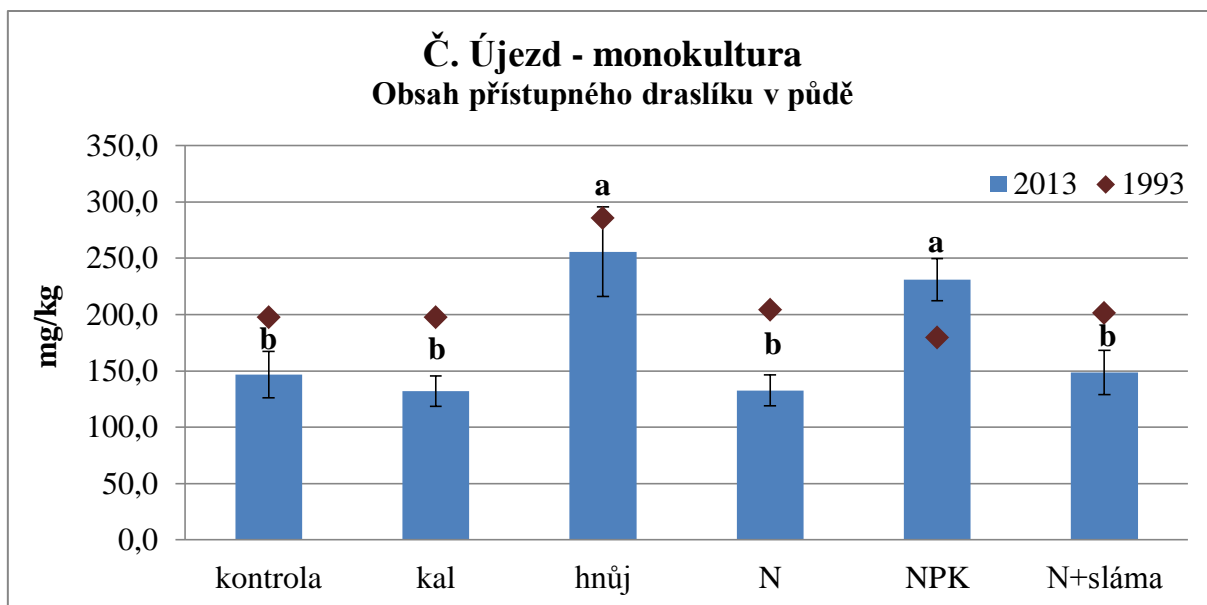
### 6.3.2.2 Výsledky změn obsahu přístupného draslíku v půdě v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice

Obsah přístupného draslíku v půdě na začátku sledování pokusu a v roce 2013, spolu se statistickým vyhodnocením pro stanoviště Červený Újezd a Suchdol jsou znázorněny v grafech 21 a 22. Obsahy přístupného draslíku v půdě pro Červený Újezd a Suchdol jsou uvedeny v přílohách 29 a 30.

### 6.3.2.2.1 Stanoviště Červený Újezd

Na stanovišti Červený Újezd byly jako vstupní vzorky využity archivní vzorky z jara 1993.

*Graf č. 21 Obsah přístupného K v půdě v roce 1993 na začátku pokusu a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Červený Újezd.*

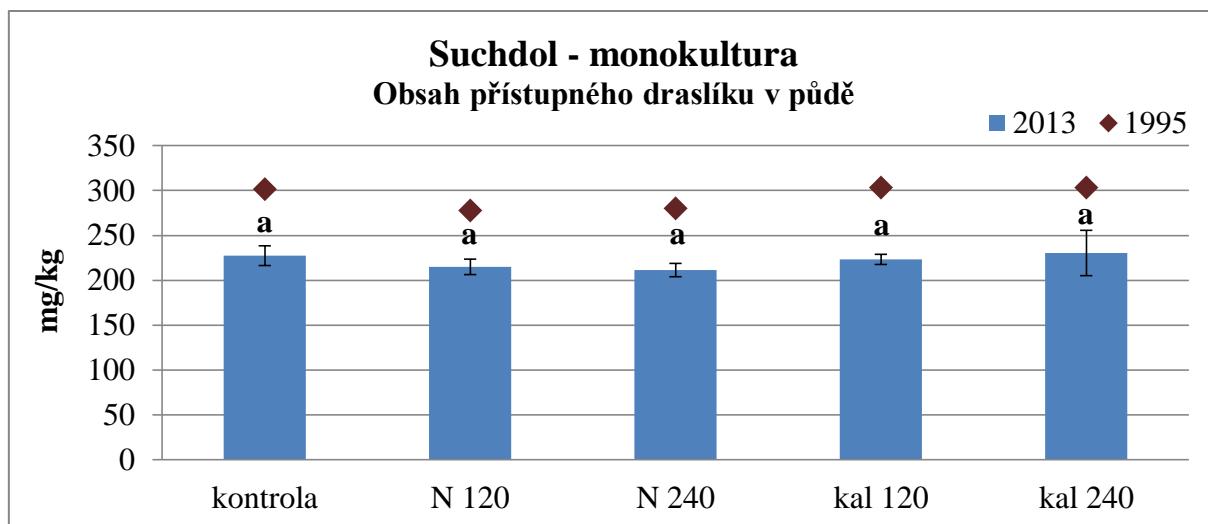


Na stanovišti Červený Újezd obsah přístupného draslíku v půdě na variantě NPK po 17 letech trvání pokusu vzrostl o 51 mg/kg. Na osatních varinátách obsah přístupného K klesl. Nejvyšší pokles byl zaznamenán na variantě N (- 71 mg/kg). Dále obsah přístupného K klesl na variantách kal (-65 mg/kg), N+sláma (-53 mg/kg), kontrola (-51 mg/kg) a hnůj (-30 mg/kg). Nejvyšší obsah přístupného draslíku v roce 2013 byl na variantě hnůj (256 mg/kg). Druhý nejvyšší obsah přístupného K byl na variantě NPK (231 mg/kg). Na obou zmíněných variantách byly statisticky průkazně vyšší obsah přístupného K ve srovnání s kontrolní variantou a variantami N, N+sláma a kal.

### 6.3.2.2 Stanoviště Suchdol

Na stanovišti Suchdol byly jako vstupní vzorky využity archivní vzorky z podzimu 1995.

Graf č. 22 Obsah přístupného K v půdě v roce 1995 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Suchdol.



Na stanovišti Suchdol obsah přístupného draslíku v půdě na všech variantách po 17 letech trvání pokusu klesl. Nejvyšší pokles obsahu přístupného K byl na variantě kal 120 (-80 mg/kg), dále poklesl na variantách kontrola (-74 mg/kg), kal 240 (-73 mg/kg), N 240 (-68 mg/kg) a N 120 (-63 mg/kg). Mezi jednotlivými variantami nebyl prokázán statisticky průkazný rozdíl v obsahu přístupného draslíku v roce 2013. Nejvyšší rozdíl 18 mg/kg v obsahu přístupného K byl mezi variantami kal 240 a N 240.

### 6.3.2.3 Diskuze

Obsah přístupného draslíku v půdě po 17 letech trvání pokusu s rotací plodin na variantě hnůj na stanovištích Červený Újezd a Hněvčevs vzrostl. Na stanovišti Lukavec zůstal obsah přístupného K téměř nezměněn. Na stanovištích Suchdol a Humpolec došlo na variantě hnůj k nejnižšímu poklesu obsahu přístupného K v porovnání s dalšími variantami, stejně jako v pokusu s monokulturálním pěstováním kukuřice na stanovišti Červený Újezd po 17 letech. Je to zapříčiněno množstvím aplikovaného draslíku v hnoji o průměrné dávce 109 kg/ha/rok v pokusu s rotací plodin a 106 kg/ha v pokusu s monokulturou kukuřice na Červeném Újezdě. Dále to bylo pravděpodobně z důvodu dodání organické hmoty v aplikovaném v hnoji. Kondratowicz - Maciejewska et Kobierski (2011) zjistili na 22 letém pokusu, že obsah přístupného draslíku v půdě se zvyšující se dávkou hnoje prokazatelně stoupá. Vrkoč et al

(2002) uvádí, že při dávce draslíku 83 kg/ha v kombinaci s hnojem aplikovaným jednou za tři roky se každoročně zvýší obsah draslíku v půdě o 1 – 3 mg/kg. Vyšší obsah přístupného draslíku na variantě hnůj oproti kontrolní variantě odpovídá výsledkům publikovaným Antoniadis et al. (2015), kteří už po dvou letech aplikace hnoje popsali zvýšený obsah přístupného draslíku ve srovnání s kontrolní nehnojenou variantou. Nezvýšení přístupného draslíku v půdě na variantně NPK bylo na stanovištích s vyššími výnosy hlíz brambor (Hněvčeves, Humpolec a Lukavec). Snížení obsahu přístupného draslíku v půdě po 17 letech na variantách kal 1 a kal 3 na všech stanovištích v pokusech s rotací plodin a monokulturním pěstováním kukuřice byl pravděpodobně zapříčiněno nízkým obsahem draslíku v kalech, kterého bývá méně než ve stájových hnojivech. V aplikovaných kalech v rámci pokusu se obsah draslíku pohyboval v rozmezí 0,5 – 0,8 %, což odpovídá publikované hodnotě 0,6 % (Černý et al., 2009). Další autoři uvádí menší obsah draslíku v čistírenském kalu. Například Sommers (1977) uvádí 0,4 % a Gondek et Kopec (2008) pouze 0,3 %.

## **6.4 Bilance fosforu na dlouhodobých polních pokusech**

Bilance fosforu byla sledována za období 1997 – 2013 na dlouhodobých polních pokusech s rotací plodin a s monokulturním pěstováním kukuřice na siláž.

Bilance fosforu pro jednotlivá stanoviště a jednotlivé typy pokusů byla vypočtena podle rovnice 3 (kapitola 5.3.8.2). Přístupný fosfor označuje průměrnou změnu v obsahu přístupného fosforu [kg P/ha/rok] v orniční vrstvě (hloubka 30 cm).

### **6.4.1 Bilance fosforu v pokusu s rotací plodin**

Bilance fosforu [kg P/ha/rok] za období 1997 – 2013 v pokusu s rotací plodin na stanovištích Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec a Suchdol je uvedena v tabulkách 47 – 51.



#### 6.4.1.1 Stanoviště Červený Újezd

Tab. 47 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Č. Újezd za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
P - vstup	0,0	89,2	267,6	32,6	0,0	30,0	1,8
P - odběr	17,0	22,5	26,1	23,2	24,9	28,2	26,3
vstup - odběr	<b>-17,0</b>	<b>+66,7</b>	<b>+241,5</b>	<b>+9,4</b>	<b>-24,9</b>	<b>+1,8</b>	<b>-24,5</b>
P - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-11,6	+27,8	+66,9	+9,6	-14,8	-9,3	-14,1

Na stanovišti Červený Újezd na variantách s organickým hnojením (kal 1, kal 3, hnůj) a na variantě s minerálním hnojením (NPK) převyšovalo množství dodaného fosforu v hnojivech množství fosforu odebraného rostlinami. Na variantě kal 1 byla bilance fosforu +67,7 kg/ha/rok, na variantě kal 3 dokonce +241,5 kg/ha/rok, na variantě hnůj +9,4 kg/ha/rok a na variantě NPK +1,8 kg/ha/rok. Na variantách s aplikací kalu a hnoje se zvýšil obsah přístupného fosforu v půdě. Na variantě hnůj odpovídala kladná bilance fosforu množství zvýšeného obsahu přístupného fosforu +9,6 kg/ha/rok. Nižší záporná bilance fosforu byla na kontrolní variantě, ve srovnání s variantami s aplikací samotného dusíku v minerálním hnojivu (N) a dusíku v minerálním hnojivu se slámou (N+sláma). Bilance fosforu byla na kontrolní variantě -17,0 kg/ha/rok, na variantě N+sláma -24,5 kg P/ha/rok a na variantě N -24,9 kg P/ha/rok. Na variantách se zápornou bilancí fosforu došlo ke snížení obsahu přístupného fosforu.

### 6.4.1.2 Stanoviště Hněvčeves

Tab. 48 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Hněvčeves za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
P - vstup	0,0	89,2	267,6	37,7	0,0	30,0	1,8
P - odběr	15,4	20,4	22,2	21,6	19,7	22,1	19,6
vstup - odběr	<b>-15,4</b>	<b>+68,8</b>	<b>+245,4</b>	<b>+16,1</b>	<b>-19,7</b>	<b>+7,9</b>	<b>-17,8</b>
P - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	+4,1	+33,4	+55,1	+19,0	+0,2	-3,1	-4,3

Na stanovišti Hněvčeves byla na variantách s organickým hnojením (kal 1, kal 3, hnůj) a na variantě NPK kladná bilance fosforu. Bilance P byla na variantě kal 1 +68,8 kg P/ha/rok, na variantě kal 3 +245,4 kg P/ha/rok, na variantě hnůj +16,1 kg P/ha/rok a na variantě NPK +7,9 kg P/ha/rok. Na variantách s organickým hnojením došlo spolu s kontrolní variantou ke zvýšení obsahu přístupného fosforu, a to i přestože na kontrolní variantě byla záporná bilance fosforu -15,4 kg/ha/rok. Na variantě NPK došlo ke snížení obsahu přístupného P (-3,1 kg/ha/rok). Na variantě N+sláma byla menší záporná bilance fosforu (-17,8 kg/ha/rok) v porovnání s variantou N (-19,7 kg/ha/rok). Na variantě N nedošlo k poklesu obsahu přístupného fosforu, na rozdíl od varianty N+sláma (-4,3 kg/ha/rok).

### 6.4.1.3 Stanoviště Humpolec

Tab. 49 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Humpolec za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
P - vstup	0,0	89,2	267,6	28,9	0,0	30,0	1,8
P - odběr	13,8	17,3	19,3	16,9	19,3	18,0	20,0
vstup - odběr	<b>-13,8</b>	<b>+71,9</b>	<b>+248,3</b>	<b>+12,0</b>	<b>-19,3</b>	<b>+12,0</b>	<b>-18,2</b>
P - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-2,4	+7,8	+17,5	-4,7	+14,0	-6,2	-15,2

Na stanovišti Humpolec byla kladná bilance fosforu na variantách s organickým hnojením (kal 1, kal 3, hnůj) a na variantě NPK. Shodná kladná bilance fosforu +12,0 kg/ha/rok byla na variantách hnůj a NPK, a to při vstupu fosforu 28,9 kg P/ha/rok na variantě hnůj, respektive 30,0 kg P/ha/rok na variantě NPK. Na variantě kal 1 byla bilance fosforu +71,9 kg/ha/rok, na variantě kal 3 +248,3 kg/ha/rok. Na variantách s aplikací čistírenských kalů došlo ke zvýšení obsahu přístupného fosforu. Záporná bilance fosforu byla na kontrolní variantě -13,8 kg/ha/rok a na variantách N a N+sláma. Nejvyšší záporná bilance (-19,3 kg P/ha/rok) byla na variantě N. Na variantě N+sláma byla bilance -18,3 kg P/ha/rok.

#### 6.4.1.4 Stanoviště Lukavec

Tab. 50 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Lukavec za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
P - vstup	0,0	89,2	267,6	32,2	0,0	30,0	1,8
P - odběr	11,5	13,9	18,8	16,0	19,8	20,1	17,7
vstup - odběr	<b>-11,5</b>	<b>+75,3</b>	<b>+248,8</b>	<b>+16,2</b>	<b>-19,8</b>	<b>+9,9</b>	<b>-15,9</b>
P - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-9,9	+9,1	+30,4	+12,6	-9,8	-12,5	-9,5

Na stanovišti Lukavec na variantách s organickým hnojením (kal 1, kal 3, hnůj) a na variantě NPK byla bilance fosforu kladná. Bilance fosforu byla na variantě kal 1 +75,3 kg/ha/rok, na variantě kal 3 +248,8 kg/ha/rok, na variantě hnůj +16,2 kg/ha/rok a na variantě NPK +9,9 kg/ha/rok. Průměrná dávka fosforu v aplikovaném hnoji byla 32,2 kg/ha/rok. Na variantách s organickým hnojením došlo ke zvýšení obsahu přístupného fosforu. Záporná bilance fosforu byla na kontrolní variantě -11,5 kg/ha/rok. Nejvyšší záporná bilance (-19,8 kg P/ha/rok) byla na variantě N. Na variantě N+sláma byla bilance fosforu -15,9 kg/ha/rok.

#### 6.4.1.5 Stanoviště Suchdol

Tab. 51 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Suchdol za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
P - vstup	0,0	89,2	267,6	34,4	0,0	30,0	1,8
P - odběr	11,0	13,6	18,0	12,8	15,6	16,0	15,2
vstup - odběr	<b>-11,0</b>	<b>+75,6</b>	<b>+249,6</b>	<b>+21,6</b>	<b>-15,6</b>	<b>+14,0</b>	<b>-13,4</b>
P - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-0,9	+20,9	+30,9	+4,6	-5,6	-1,9	-2,7

Na stanovišti Suchdol na variantách s organickým hnojením (kal 1, kal 3, hnůj) a na variantě NPK byla kladná bilance fosforu. Na variantě kal 1 byla bilance fosforu +75,6 kg/ha/rok, na variantě kal 3 +249,6 kg/ha/rok, na variantě hnůj +21,6 kg/ha/rok a na variantě NPK +14,0 kg/ha/rok. Na variantách s organickým hnojením došlo ke zvýšení obsahu přístupného fosforu. Záporná bilance fosforu byla nejvyšší na variantě s aplikací samotného minerálního dusíku (N) -15,6 kg/ha/rok, na které došlo k nejvyššímu poklesu obsahu přístupného fosforu. Dále byla záporná bilance fosforu na variantě N+sláma (-13,4 kg/ha/rok) a na kontrolní nehnojené variantě (-11,0 kg/ha/rok).

#### 6.4.2 Bilance fosforu v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice

Bilance fosforu [kg/ha/rok] v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice za období 1997 - 2013 je pro stanoviště Červený Újezd uvedena v tabulce 52, pro stanoviště Suchdol v tabulce 53.

#### 6.4.2.1 Stanoviště Červený Újezd

Tab. 52 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Č. Újezd za období 1997 - 2013

	kontrola	kal	hnůj	N	NPK	N+sláma
P - vstup	0,0	88,6	35,9	0,0	30,0	6,0
P - odběr	18,6	24,8	28,7	26,9	28,7	28,3
vstup - odběr	<b>-18,6</b>	<b>+63,8</b>	<b>+7,2</b>	<b>-26,9</b>	<b>+1,3</b>	<b>-22,3</b>
P - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-11,3	+27,1	+12,7	-14,9	-0,5	-15,1

Na stanovišti Červený Újezd na variantách hnůj, kal a NPK byla kladná bilance fosforu. Bilance fosforu byla na variantě kal +63,8 kg/ha/rok, na variantě hnůj +7,2 kg/ha/rok a na variantě NPK +1,3 kg/ha/rok. Na variantách s organickým hnojením došlo ke zvýšení obsahu přístupného fosforu. Na kontrolní variantě byla záporná bilance fosforu -18,6 kg/ha/rok. Na variantě N byla vyšší záporná bilance (-26,9 kg K/ha/rok) ve srovnání s variantou N+sláma (-22,3 kg K/ha/rok). Na variantách se zápornou bilancí došlo k poklesu obsahu přístupného fosforu.

#### 6.4.2.2 Stanoviště Suchdol

Tab. 53 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Suchdol za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 120	N 120	kal 240	N 240
P - vstup	0,0	91,2	0,0	182,4	0,0
P - odběr	21,9	25,0	26,3	27,0	27,5
vstup - odběr	<b>-21,9</b>	<b>+66,2</b>	<b>-26,3</b>	<b>+155,4</b>	<b>-27,5</b>
P - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-13,0	+6,2	-13,1	+19,5	-13,2

Na stanovišti Suchdol na variantách s aplikací čistírenského kalu (kal 120, kal 240) byla kladná bilance fosforu. Bilance byla na variantě kal 120 +66,2 kg P/ha/rok a na variantě kal 240 +155,4 kg P/ha/rok. Na variantách s aplikací kalu vzrostl obsah přístupného fosforu.

Záporná bilance fosforu byla na variantách N 120 a N 240 -26,3 kg/ha/rok, respektive -27,5 kg/ha/rok. Na variantách se zápornou bilancí klesl obsah přístupného fosforu.

### 6.4.3 Diskuze

Průměrná roční bilance fosforu v pokusu s rotací plodin se na kontrolních variantách pohybovala od -11,0 do -17,0 kg/ha/rok. Hodnota bilance byla ovlivněna celkovým výnosem plodin a zařazenými plodinami do osevního sledu (uvedeno v kapitole 6.2.1). Blake et al. (2000) uvádí průměrnou roční bilanci fosforu na kontrolní variantě -5,9 kg/ha/rok na základě 30 letého pokusu v Rothamstedu (Velká Británie) při osevním sledu hrách jarní – pšenice ozimá – brambor.

Kladná bilance fosforu byla na všech stanovištích na variantách s aplikací čistírenského kalu a hnoje a na variantě NPK. Bilance fosforu na variantě NPK se při dávce 30 kg P/ha/rok pohybovala v rozmezí od +1,8 do +14,0 kg P/ha/rok. To je ve shodě s publikovaným výsledkem z pokusu Leipzig – Halle (Německo), u kterého byla kladná bilance fosforu +8,4 kg/ha/rok na variantě NPK při dávce 32 kg P/ha/rok při průměrném odběru rostlin 23,6 kg P/ha/rok a osevním sledu cukrová řepa – ječmen jarní – brambor – pšenice ozimá (Blake et al., 2000). Stejní autoři uvádějí kladnou bilanci fosforu +25,6 kg P/ha/rok na variantě NP na pokusu v Rothamstedu při dávce fosforu 35 kg/kg/ha a průměrném odběru rostlin 23,6 kg P/ha/rok. Hlušek et Trávník (2002) publikovali, že při dávce fosforu 28 kg/ha/rok dosáhli na 25 letých pokusech vyrovnané bilance a při dávce 40 kg/ha/rok kladná bilance fosforu narůstala. Právě vlivem aplikované vyšší průměrné dávky fosforu 89 kg P/ha/rok v čistírenských kalech se bilance fosforu na variantě kal 1 pohybovala v rozmezí od +66,7 do +75,6 kg P/ha/rok. Ještě vyšší kladnou bilanci fosforu +93,1 kg/ha po aplikaci čistírenského kalu při průměrné dávce 111 kg P/ha/rok publikovali Annaheim et al., (2016). Kladná bilance fosforu na variantě hnůj byla způsobena množstvím aplikovaného fosforu v hnoji. Zároveň byly na variantě hnůj nižší odběry fosforu pěstovanými plodinami, ve srovnání s variantou NPK. Vyrovnanou nebo kladnou bilanci fosforu po aplikaci hnoje publikovala řada autorů. Annaheim et al. (2016) uvádí na 61 letém pokusu při dávce 23 kg P/ha/rok v hnoji vyrovnanou bilanci fosforu. Na základě 16 letého pokusu při osevním sledu s rovnoměrným zastoupením brambor k obilovinám (pšenice, ječmen) uvádí Lauringson et al. (2004) bilanci fosforu +5,1 kg/ha/rok při průměrném množství aplikovaného P v hnoji 18 kg/ha/rok. Blake et al. (2003) publikují kladnou bilanci fosforu +38 kg/ha/rok po aplikaci hnoje při dávce 46 kg P/ha/rok na 25 letém pokusu a bilanci

+10,7 kg P/ha/rok při dávce 18 kg P/ha/rok v aplikovaném hnoji na 50 letém pokusu. Kladnou faremní bilanci, +15 kg P/ha/rok při dávce fosforu 32 kg/ha/rok v aplikovaném hnoji, uvádí Redding et al. (2007). Ulen (1999) uvádí ve svém článku kladnou bilanci fosforu +3 kg/ha/rok na 7 letém pokusu při dávce 10 kg P/ha/rok v aplikovaném hnoji. Záporná bilance fosforu byla vždy na variantě N+sláma v porovnání s variantou N vždy nižší. Je to způsobeno vlivem aplikovaného dusíku v minerálních hnojivech, což přispělo ke zvýšení výnosů pěstovaných plodin, a tím i vyšším odběrům fosforu. Na jednotlivých stanovištích byla bilance varianty N+sláma vždy nižší ve srovnání s variantou N. Je to pravděpodobně zapříčiněno dodáním fosforu ve slámě.

V pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice byla bilance fosforu, stejně jako v pokusu s rotací plodin, na variantách s aplikací čistírenského kalu, na variantě s aplikací hnoje a na variantě NPK kladná. Na variantě N+sláma byla záporná bilance ve srovnání s variantou N nižší, což bylo opět pravděpodobně způsobeno dodáním fosforu v aplikované slámě. Na variantách se shodným druhem hnojením se zvýšenou dávkou byla zvýšená záporná průměrná bilance fosforu. Je to zapříčiněno vyšším výnosem, a tím i vyšším odběrem fosforu.

## **6.5 Bilance draslíku na dlouhodobých polních pokusech**

Bilance draslíku byla sledována za období 1997 – 2013 v dlouhodobých polních pokusech s rotací plodin a s monokulturním pěstováním kukuřice na siláž.

Bilance draslíku pro jednotlivá stanoviště a jednotlivé typy pokusu byla spočtena podle rovnice 3 (kapitola 5.3.8.2). Přístupný draslík označuje průměrnou změnu v obsahu přístupného draslíku [kg K/ha/rok] v orniční vrstvě (hloubka 30 cm).

### **6.5.1 Bilance draslíku v pokusu s rotací plodin**

Bilance draslíku [kg P/ha/rok] za období 1997 – 2013 v pokusu s rotací plodin na stanovištích Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec a Suchdol je uvedena v tabulkách 54 – 58.

### 6.5.1.1 Stanoviště Červený Újezd

Tab. 54 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Č. Újezd za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
K - vstup	0,0	17,5	52,4	81,0	0,0	100,0	12,4
K - odběr	48,9	64,2	74,5	69,9	83,8	95,9	91,0
vstup - odběr	<b>-48,9</b>	<b>-46,7</b>	<b>-22,1</b>	<b>+11,1</b>	<b>-83,8</b>	<b>+4,1</b>	<b>-78,6</b>
K - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-18,0	-7,0	-4,5	+7,4	-9,9	+10,6	-2,5

Na stanovišti Červený Újezd byla kladná bilance draslíku na variantě hnůj (+11,1 kg/ha/rok) a na variantě NPK (+4,1 kg/ha/rok). Na variantách hnůj a NPK došlo ke zvýšení obsahu přístupného draslíku. Nejvyšší záporné bilance draslíku byly na variantách N (-83,8 kg/ha/rok) a N+sláma (-78,6 kg/ha/rok). Záporná bilance draslíku byla rovněž na variantách s aplikací kalu (kal 1 -46,7 kg/ha/rok; kal 3 -22,1 kg/ha/rok) a na kontrolní variantě -48,9 kg/ha/rok. Na variantách se zápornou bilancí draslíku došlo k poklesu obsahu přístupného draslíku.

### 6.5.1.2 Stanoviště Hněvčeves

Tab. 55 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Hněvčeves za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
K - vstup	0,0	17,5	52,4	122,4	0,0	100,0	12,4
K - odběr	63,0	82,0	83,3	92,3	90,9	109,5	87,6
vstup - odběr	<b>-63,0</b>	<b>-64,5</b>	<b>-30,9</b>	<b>+30,1</b>	<b>-90,9</b>	<b>-9,5</b>	<b>-75,2</b>
K - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-7,4	-6,9	-2,2	+18,2	-9,6	-16,9	-6,8

Na stanovišti Hněvčeves byla na všech variantách kromě varianty hnůj (+30,1 kg K/ha/rok) záporná bilance draslíku. Nejvyšší záporná bilance draslíku byla na variantách s aplikací samotného minerálního dusíkatého hnojiva se slámou (N+sláma) a bez slámy (N). Na variantě



N byla bilance -90,9 kg K/ha/rok, na variantě N+sláma -75,2 kg K/ha/rok. Nejnižší záporná bilance draslíku -9,5 kg/ha/rok byla na variantě NPK. Na variantách s aplikací kalu byly záporné bilance draslíku. Na variantě kal 3 byla bilance -30,9 kg K/ha/rok a na variantě kal 1 - 64,5 kg K/ha/rok. Na všech variantách se zápornou bilancí klesl obsah přístupného draslíku. Na variantě hnůj vzrostl obsah přístupného K o 18,2 kg/ha/rok.

### 6.5.1.3 Stanoviště Humpolec

Tab. 56 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Humpolec za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
K - vstup	0,0	17,5	52,4	94,7	0,0	100,0	12,4
K - odběr	73,2	81,8	90,6	92,4	98,6	109,8	106,2
vstup - odběr	<b>-73,2</b>	<b>-64,3</b>	<b>-38,2</b>	<b>+2,3</b>	<b>-98,6</b>	<b>-9,8</b>	<b>-93,8</b>
K - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-10,8	-20,0	-11,3	-9,2	-17,6	+0,2	-18,5

Na stanovišti Humpolec byla kladná bilance draslíku na variantě hnůj (+2,3 kg/ha/rok). Na ostatních variantách byla bilance záporná. Nejvyšší záporná bilance draslíku byla na variantě s aplikací samotného minerálního dusíkatého hnojiva (N) a minerálního dusíkatého hnojiva se slámou (N+sláma). Na variantě N byla bilance draslíku -98,6 kg/ha/rok, na variantě N+sláma -93,8 kg/ha/rok. Nejnižší záporná bilance draslíku byla na variantě NPK -9,8 kg K/ha/rok, na které jako na jediné variantě neklesl obsah přístupného draslíku. Na kontrolní variantě (-73,2 kg/ha/rok) byla záporná bilance draslíku vyšší než na variantách kal 1 (-64,3 kg/ha) a kal 3 (-38,2 kg/ha/rok).

### 6.5.1.4 Stanoviště Lukavec

Tab. 57 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Lukavec za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
K - vstup	0,0	17,5	52,4	101,5	0,0	100,0	12,4
K - odběr	60,6	69,0	88,4	83,2	97,4	106,3	95,4
vstup - odběr	<b>-60,6</b>	<b>-51,5</b>	<b>-36,0</b>	<b>+18,3</b>	<b>-97,4</b>	<b>-6,3</b>	<b>-83,0</b>
K - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-18,2	-12,4	-14,0	-0,2	-18,7	-18,5	-22,5

Na stanovišti Lukavec byla kladná bilance draslíku na variantě hnůj, a to +18,3 kg/ha/rok. Na variantě NPK byla bilance draslíku záporná, -6,3 kg/ha/rok, přestože vstup draslíku v hnoji a draselné soli se lišil pouze o 1,5 kg/ha/rok. Nejvyšší záporná bilance draslíku byla na variantách s aplikací samotného minerálního dusíkatého hnojiva (N) a dusíkatého hnojiva se slámou (N+sláma). Na variantě N byla bilance draslíku -97,4 kg/ha/rok a na variantě N+sláma byla -83,0 kg/ha/rok. Na kontrolní variantě (-60,6 kg/ha/rok) byla záporná bilance vyšší než na variantách s aplikací kalu (kal 1 -51,5 kg/ha/rok, kal 3 -36,0 kg/ha/rok). Na variantách se zápornou bilancí došlo k poklesu obsahu přístupného draslíku. Na variantě hnůj, na které byla kladná bilance, došlo pouze k minimálnímu poklesu obsahu přístupného K (-0,2 kg K/ha/rok).

### 6.5.1.5 Stanoviště Suchdol

Tab. 58 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Suchdol za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
K - vstup	0,0	17,5	52,4	79,0	0,0	100,0	12,4
K - odběr	43,6	47,3	61,3	53,8	59,2	66,8	67,3
vstup - odběr	<b>-43,6</b>	<b>-29,8</b>	<b>-8,9</b>	<b>+25,2</b>	<b>-59,2</b>	<b>+33,2</b>	<b>-54,9</b>
K - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-11,2	-7,9	-16,5	-4,5	-9,4	+4,2	-6,9

Na stanovišti Suchdol byla kladná bilance draslíku na variantě NPK +33,2 kg/ha/rok a hnůj +25,2 kg/ha/rok. Na variantě NPK vzrostl obsah přístupného draslíku o 4,2 kg/ha/rok. Na ostatních variantách obsah přístupného K klesl. Nejvyšší záporná bilance draslíku byla na variantě s aplikací samotného minerálního dusíkatého hnojiva (N) a dusíkatého hnojiva se slámou (N+sláma). Na variantě N činila bilance -59,2 kg K/ha/rok, na variantě N+sláma -54,9 kg/ha/rok. Varianty s aplikací čistírenského kalu (kal 1 -29,8 kg/ha/rok, kal 3 -8,9 kg/ha/rok) vykazovaly nižší zápornou bilanci než kontrolní varianta (-43,6 kg/ha/rok).

### 6.5.2. Bilance draslíku v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice

Bilance draslíku [kg/ha/rok] v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice za období 1997 - 2013 je pro stanoviště Červený Újezd uvedeno v tabulce 59, pro stanoviště Suchdol v tabulce 60.

#### 6.5.2.1 Stanoviště Červený Újezd

Tab. 59 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Č. Újezd za období 1997 - 2013

	kontrola	kal	hnůj	N	NPK	N+sláma
K - vstup	0,0	18,7	105,8	0,0	150,0	42,0
K - odběr	62,4	83,9	121,0	90,3	117,9	102,0
vstup - odběr	<b>-62,4</b>	<b>-65,2</b>	<b>-15,2</b>	<b>-90,3</b>	<b>+32,1</b>	<b>-60,0</b>
K - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-13,2	-17,0	-7,8	-18,5	+13,3	-13,8

Na stanovišti Červený Újezd množství dodaného draslíku v hnojivech převyšuje množství odebraného draslíku na variantě NPK (+32,1 kg/ha/rok). Na ostatních variantách byla bilance draslíku záporná. Nejvyšší záporná bilance byla na variantách N a N+sláma. Bilance K byla na variantě N -90,3 kg/ha/rok a na variantě N+sláma -60,0 kg/ha/rok. Nejnižší záporná bilance draslíku byla na variantě s aplikací hnoje (-15,2 kg/ha/rok). Na kontrolní variantě byla záporná bilance (-62,4 kg K/ha/rok) menší než na variantě s aplikací kalu (-65,2 kg/ha/rok). Na variantě NPK vzrostl obsah přístupného draslíku (+13,3 kg/ha/rok). Na variantách se zápornou bilancí draslíku došlo k poklesu obsahu přístupného K.

### 6.5.2.2 Stanoviště Suchdol

Tab. 60 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Suchdol za období 1997 - 2013

	kontrola	kal 120	N 120	kal 240	N 240
K - vstup	0,0	18,1	0,0	36,1	0,0
K - odběr	71,8	87,2	94,9	97,6	103,6
vstup - odběr	<b>-71,8</b>	<b>-69,1</b>	<b>-94,9</b>	<b>-61,5</b>	<b>-103,6</b>
K - přístupný (+) zvýšený (-) snížený	-18,7	-20,2	-15,8	-18,3	-17,2

Na stanovišti Suchdol byla na všech variantách záporná bilance draslíku. Nejvyšší záporná bilance byla na variantách s aplikací dusíku v minerálním hnojivu. Na variantě N 120 byla bilance -94,9 kg K/ha/rok, na variantě N 240 byla -103,6 kg K/ha/rok. Na variantách s aplikací čistírenských kalů (kal 120, kal 240) byly ve srovnání s kontrolní variantou (-71,8 kg/ha/rok) záporné bilance draslíku nižší. Bilance draslíku byla na variantě kal 120 -69,1 kg/ha/rok a na variantě kal 240 -61,5 kg/ha/rok. Na všech variantách došlo k poklesu obsahu přístupného draslíku.

### 6.5.3 Diskuze

Průměrná roční bilance draslíku se v pokusu s rotací plodin pohybovala na kontrolních variantách v rozmezí od -43,6 do -73,2 kg/ha/rok. Hodnota bilance byla ovlivněna výnosem plodin, zejména výnosem hlíz brambor. Blake et al. (1999) uvádí průměrnou roční bilanci draslíku na kontrolní variantě -21 kg/ha/rok, a to na základě 30 letého pokusu v Rothamstedu (Velká Británie) při osevním sledu hrách jarní – pšenice ozimá – brambor.

Kladná průměrná bilance draslíku byla v pokusu s rotací plodin na variantě hnůj a pohybovala se průměrně od +2,3 do +30,2 kg/ha/rok. Bylo to způsobeno jednak dodáním draslíku v hnoji, jelikož množství aplikovaného draslíku v hnoji bylo podobné množství draslíku aplikovanému v minerálním hnojivu na variantě NPK (kapitola 5.1.1), jednak menším odběrem draslíku pěstovanými plodinami (vlivem nižších výnosů na variantě hnůj) ve srovnání s variantou NPK (kapitola 6.2.3). Kladnou bilanci draslíku po aplikaci hnoje uvádí řada autorů. Blake et al. (1999) uvádí na zmiňovaném pokusu v Rothamstedu bilanci draslíku na variantě hnůj +234 kg K/ha/rok při průměrné dávce draslíku v aplikovaném hnoji

336 kg/ha/rok. Průměrný odběr draslíku rostlinami činil 102 kg/ha/rok. Readding et al. (2007) uvádí za 11 let při dávce 53 kg K/ha/rok kladnou faremní bilanci draslíku +28 kg/ha/rok. Ulen (1999) na sedmiletém pokusu uvádí bilanci draslíku po aplikaci hnoje +3,4 kg/ha/rok při dávce 35 kg K/ha/rok, při započítání ztrát draslíku vyplavením je pak bilance -0,3 kg K/ha/rok. Zápornou bilanci draslíku -42 kg/ha/rok, při dávce draslíku v hnoji 61,5 kg/ha/rok, uvádí Lauringson et al. (2004) na základě 16 letého pokusu, ve kterém byly v osevním sledu rovnoměrně zastoupeny brambory s obilovinami (pšenice, ječmen). Množství aplikovaného draslíku a ostatních živin v hnoji je ovlivněno množstvím živin obsažených v potravě zvířat (Oborn et al., 2005). Na variantě NPK byla na stanovištích Červený Újezd a Suchdol kladná bilance draslíku na rozdíl od ostatních stanovišť. Na stanovišti Červený Újezd to bylo způsobeno zařazením do osevního sledu kukuřici na siláž, která měla nižší odběr draslíku ve srovnání s odběrem draslíku hlízami brambor na ostatních stanovištích, kromě stanoviště Suchdol. Na stanovišti Suchdol byla kladná bilance draslíku z důvodu nízkých výnosů hlíz brambor, čímž docházelo k nižším odběrům draslíku. Kladná bilance draslíku na variantě NPK +26 kg/ha/rok byla v pokusu v Rothamstedu při dávce 90 kg K/ha/rok a průměrném odběru rostlin 64 kg K/ha/rok (Blake et al., 1999). Na stanovištích Hněvčeves, Humpolec a Lukavec byla na variantě NPK bilance draslíku záporná. Bylo to zapříčiněno celkovými vyššími výnosy pěstovaných plodin, zejména hlízami brambor, a tím vyšším odběrem draslíku (kapitola 6.2.3). Blake et al. (1999) uvádí průměrnou zápornou roční bilanci draslíku na variantě NPK -28 kg/ha/rok v pokusu v Leipzig – Halle (Německo) založeném v roce 1902 při osevním sledu cukrová řepa – ječmen jarní – brambor – pšenice ozimá. Bylo to zapříčiněno zařazením cukrové řepy do osevního sledu a jejími vyššími odběry draslíku. Zápornou bilanci draslíku aplikovaného v minerálním hnojivu na variantě s aplikací dusíku a fosforu v minerálním hnojivu publikovala řada dalších autorů. Vos et van der Putten (1996) publikovali bilanci -26 kg K/ha/rok při dávce 116 kg K/ha/rok na čtyřletém pokusu. Adomaitis et al. (2013) uvádí bilanci -38,4 kg K/ha/rok při dávce 80 kg K/ha/rok na 35 letém pokusu. A Srivastava et al. (2002) uvádí bilanci -67 kg K/ha/rok na 27 letém pokusu při dávce 89 kg K/ha/rok. Záporná bilance draslíku na variantách s aplikací čistírenského kalu byla způsobena nízkým obsahem draslíku v čistírenském kalu (kapitola 5.1.1). Na jednotlivých stanovištích byla bilance na variantě N+sláma ve srovnání s variantou N vždy nižší. Bylo to pravděpodobně zapříčiněno dodáním draslíku v aplikované slámě.

V pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice na siláž na stanovišti Červený Újezd byla na variantě hnůj zjištěna záporná bilance draslíku. Oproti pokusu s rotací plodin to bylo

vlivem opakovaného vyššího nároku draslíku kukuřicí na siláž. Na variantě NPK byla zjištěna kladná bilance draslíku, a to z důvodu vyššího množství aplikovaného K (o 50 kg/ha/rok) ve srovnání s pokusem s rotací plodin.

## **6.6 Popis prostorové půdní variability sledovaných parametrů**

Prostorová půdní variabilita byla sledována u obsahu přístupného fosforu, draslíku a půdní reakce ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) v pokusech s rotací plodin a s monokulturním pěstováním kukuřice na siláž.

### **6.6.1 Statistické charakteristiky variability v pokusu s rotací plodin**

Statistické charakteristiky stanovišť Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec a Suchdol jsou uvedeny v tabulkách 61 – 65.

### 6.6.1.1 Stanoviště Červený Újezd

Tab. 61 Statistické charakteristiky variability  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Č. Újezd

parametr	varianta	rozsah	průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	variační koeficient (%)
pH	kontrola	5,5 - 5,6	5,6	0,0	0,0	0,4
	kal 1	5,9 - 6,3	6,0	0,2	0,0	3,0
	kal 3	6,0 - 6,4	6,2	0,2	0,0	3,1
	hnůj	6,0 - 6,1	6,1	0,0	0,0	0,6
	N	5,9 - 6,0	5,9	0,1	0,0	1,1
	NPK	6,1 - 6,2	6,1	0,0	0,0	0,4
	N+sláma	6,2 - 6,5	6,4	0,1	0,0	2,3
P [mg/kg]	kontrola	64 - 83	74	9	74	12
	kal 1	182 - 258	225	31	979	14
	kal 3	343 - 421	368	36	1276	10
	hnůj	116 - 223	153	48	2335	32
	N	39 - 104	85	31	953	36
	NPK	128 - 131	130	1	2	1
	N+sláma	111 - 125	120	7	46	6
K [mg/kg]	kontrola	136 - 149	144	6	37	4
	kal 1	140 - 188	166	20	413	12
	kal 3	172 - 191	182	10	93	5
	hnůj	166 - 250	195	37	1403	19
	N	113 - 142	129	12	154	10
	NPK	219 - 244	228	11	120	5
	N+sláma	145 - 198	161	25	611	15

Na stanovišti Červený Újezd vykazoval nejvyšší míru variability vyjádřenou variačním koeficientem (CV) ze sledovaných parametrů obsah přístupného P na variantě N. Naopak nejnižší míru půdní variability na stanovišti měla půdní reakce, a to shodně na variantách kontrola a NPK. Obsah přístupného K měl nejvyšší míru variability na variantě hnůj.

### 6.6.1.2 Stanoviště Hněvčeves

Tab. 62 Statistické charakteristiky variability  $pH_{KCl}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Hněvčeves

parametr	varianta	rozsah	průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	variální koeficient (%)
pH	kontrola	5,5 - 6,2	5,7	0,3	0,1	4,9
	kal 1	5,5 - 5,6	5,5	0,1	0,0	1,0
	kal 3	5,6 - 5,7	5,6	0,0	0,0	0,6
	hnůj	5,8 - 6,4	6,0	0,2	0,1	4,1
	N	5,6 - 6,0	5,7	0,2	0,0	3,5
	NPK	5,4 - 5,5	5,5	0,1	0,0	1,1
	N+sláma	5,2 - 5,5	5,3	0,1	0,0	2,0
P [mg/kg]	kontrola	70 - 95	86	11	129	13
	kal 1	150 - 248	207	44	1921	21
	kal 3	231 - 362	284	58	3372	20
	hnůj	134 - 149	141	7	43	5
	N	53 - 113	74	27	726	36
	NPK	72 - 88	79	8	69	10
	N+sláma	66 - 82	71	8	58	11
K [mg/kg]	kontrola	141 - 183	156	18	340	12
	kal 1	138 - 151	144	5	27	4
	kal 3	144 - 157	148	6	37	4
	hnůj	173 - 232	208	27	746	13
	N	154 - 188	176	15	235	9
	NPK	146 - 192	167	21	427	12
	N+sláma	144 - 162	154	8	63	5

Na stanovišti Hněvčeves vykazoval nejvyšší míru variability vyjádřenou CV obsah přístupného P na variantě N. Nízkou variabilitu vykazovala půdní reakce, nejnižší variabilitu měla půdní reakce na variantě kal 3. Obsah přístupného K měl nejvyšší míru variability na variantě s aplikací hnoje, nejnižší shodně na obou variantách s aplikací kalu.



### 6.6.1.3 Stanoviště Humpolec

Tab. 63 Statistické charakteristiky variability  $pH_{KCl}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Humpolec

parametr	varianta	rozsah	průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	variální koeficient (%)
pH	kontrola	4,6 - 4,7	4,7	0,0	0,0	0,9
	kal 1	4,6 - 5,1	4,8	0,2	0,0	3,8
	kal 3	4,7 - 5,3	5,1	0,3	0,1	5,1
	hnůj	4,5 - 4,7	4,6	0,0	0,0	1,1
	N	5,0 - 5,2	5,1	0,1	0,0	2,4
	NPK	4,0 - 4,3	4,2	0,1	0,0	2,7
	N+sláma	4,5 - 4,7	4,6	0,1	0,0	2,1
P [mg/kg]	kontrola	99 - 135	114	15	229	13
	kal 1	104 - 202	134	46	2133	35
	kal 3	120 - 270	181	67	4479	37
	hnůj	110 - 124	116	6	34	5
	N	93 - 272	181	82	6692	45
	NPK	108 - 121	113	5	30	5
	N+sláma	81 - 87	84	3	7	3
K [mg/kg]	kontrola	121 - 152	134	13	166	10
	kal 1	122 - 132	126	4	20	4
	kal 3	129 - 142	136	6	34	4
	hnůj	153 - 204	175	22	473	12
	N	130 - 134	132	2	3	1
	NPK	176 - 207	198	15	221	8
	N+sláma	133 - 166	146	14	199	10

Nejvyšší míru variability na stanovišti Humpolec vykazoval obsah přístupného P na variantě N a dále na variantách s aplikací kalu (kal 1, kal 3). Nejnížší míru půdní variability na stanovišti vykazovala půdní reakce na kontrolní variantě. Nejvyšší míru variability měla na variantě kal 3. Nízkou variabilitu vykazoval obsah přístupného K na variantě N. Nejvyšší míra variability v obsahu přístupného K byla na variantě hnůj.

#### 6.6.1.4 Stanoviště Lukavec

Tab. 64 Statistické charakteristiky variability  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Lukavec

parametr	varianta	rozsah	průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	variační koeficient (%)
pH	kontrola	4,3 - 4,7	4,5	0,2	0,0	4,1
	kal 1	4,3 - 4,8	4,6	0,3	0,1	5,7
	kal 3	4,4 - 5,2	4,8	0,4	0,2	8,4
	hnůj	4,3 - 5,1	4,7	0,4	0,1	7,8
	N	4,3 - 4,6	4,4	0,1	0,0	3,3
	NPK	4,2 - 4,3	4,3	0,0	0,0	1,1
	N+sláma	4,5 - 4,7	4,6	0,1	0,0	1,9
P [mg/kg]	kontrola	137 - 176	154	18	316	12
	kal 1	173 - 311	233	64	4137	28
	kal 3	189 - 472	331	151	22903	46
	hnůj	178 - 363	243	82	6676	34
	N	152 - 167	158	7	53	5
	NPK	130 - 161	148	14	201	10
	N+sláma	141 - 162	155	10	94	6
K [mg/kg]	kontrola	218 - 247	231	13	171	6
	kal 1	198 - 239	222	17	302	8
	kal 3	210 - 262	233	25	623	11
	hnůj	234 - 369	280	61	3773	22
	N	194 - 219	205	11	112	5
	NPK	196 - 281	243	38	1478	16
	N+sláma	190 - 248	215	26	667	12

Nejvyšší míru variability vyjádřenou variačním koeficientem na stanovišti Lukavec vykazoval obsah přístupného P na variantě kal 3 a dále pak na variantách kal a hnůj. Nejnižší míru variability ze sledovaných parametrů měla půdní reakce na variantě NPK, druhou nejnižší měla na variantě N+sláma. Obsah přístupného K měl nejvyšší míru variability na variantě hnůj, naopak nejnižší míru variability na variantě s aplikací samotného dusíku.

### 6.6.1.5 Stanoviště Suchdol

Tab. 65 Statistické charakteristiky variability  $pH_{KCl}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Suchdol

parametr	varianta	rozsah	průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	variační koeficient (%)
pH	kontrola	6,9 - 7,0	6,9	0,1	0,0	0,8
	kal 1	7,0 - 7,1	7,0	0,1	0,0	0,8
	kal 3	7,0 - 7,0	7,0	0,0	0,0	0,4
	hnůj	7,0 - 7,2	7,1	0,0	0,0	0,7
	N	7,1 - 7,4	7,2	0,2	0,0	2,2
	NPK	7,3 - 7,4	7,3	0,0	0,0	0,5
	N+sláma	7,1 - 7,1	7,1	0,0	0,0	0,5
P [mg/kg]	kontrola	90 - 95	92	2	5	2
	kal 1	92 - 241	155	50	2512	32
	kal 3	169 - 238	212	30	908	14
	hnůj	61 - 118	88	23	536	26
	N	40 - 64	47	12	139	25
	NPK	55 - 64	60	5	21	8
	N+sláma	42 - 69	53	12	138	22
K [mg/kg]	kontrola	205 - 220	213	6	40	3
	kal 1	192 - 206	199	7	45	3
	kal 3	192 - 224	203	14	205	7
	hnůj	189 - 222	206	16	242	8
	N	198 - 230	213	14	190	6
	NPK	227 - 242	234	7	47	3
	N+sláma	171 - 216	191	19	353	10

Nejvyšší míru půdní variability vyjádřenou hodnotou variačního koeficientu na stanovišti Suchdol vykazoval obsah přístupného P na variantě kal 1, následovaně pak na variantách hnůj, N a N+sláma. Nejnižší míru variability vykazoval na stanovišti půdní reakce, nejnižší na variantě kal 3. Obsah přístupného K měl nejvyšší míru variability na variantě N+sláma.

## 6.6.2 Statistické charakteristiky variability v pokusu s monokulturou kukuřice

Stanovení půdní reakce, obsahu přístupného fosforu a draslíku bylo provedeno ve vzorcích odebraných podle úhlopříčky (obr. 4b) na stanovišti Suchdol. Na Červeném Újezdě byl použit odběr podle systematického utříděného nevyrovnaného schématu (obr. 4a) v roce 2013 a odběru podle přímky středem parcely (obr. 4c) v roce 2012.

Charakteristiky variability sledovaných parametrů ze vzorků odebraných v roce 2013 jsou uvedeny na stanovišti Suchdol v tabulce 66 a na stanovišti Červený Újezd v tabulce 67.

### 6.6.2.1 Stanoviště Suchdol

Tab. 66 Statistické charakteristiky variability  $pH_{KCl}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Suchdol (2013)

parametr	varianta	rozsah	průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	variační koeficient (%)
pH	kontrola	7,1 - 7,1	7,1	0,0	0,0	0,2
	N 120	7,1 - 7,2	7,1	0,0	0,0	0,2
	N 240	7,1 - 7,2	7,1	0,0	0,0	0,1
	kal 120	7,0 - 7,1	7,0	0,1	0,0	0,8
	kal 240	7,1 - 7,1	7,1	0,0	0,0	0,6
P [mg/kg]	kontrola	143 - 161	151	9	78	6
	N 120	120 - 138	127	8	68	6
	N 240	118 - 160	135	18	321	13
	kal 120	184 - 264	230	33	1113	14
	kal 240	246 - 282	263	17	293	6
K [mg/kg]	kontrola	185 - 201	191	7	55	4
	N 120	182 - 189	186	3	10	2
	N 240	181 - 200	189	8	64	4
	kal 120	196 - 200	198	2	5	1
	kal 240	185 - 211	197	11	120	6

Nejvyšší míru variability vyjádřenou hodnotou CV na stanovišti Suchdol vykazoval obsah přístupného P na variantě kal 120, druhou nejvyšší na variantě N 240. Nejnižší míru variability na stanovišti vykazovala půdní reakce, v porovnání s obsahem fosforu a draslíku

na všech variantách. Nejvyšší míra variability v obsahu přístupného K byla na variantě kal 240.

### 6.6.2.2 Stanoviště Červený Újezd

Tab. 67 Statistické charakteristiky variability  $pH_{KCl}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Č. Újezd (2013)

parametr	varianta	rozsah	průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	variační koeficient (%)
pH	kontrola	6,4 - 6,9	6,8	0,3	0,1	3,7
	hnůj	6,9 - 7,0	7,0	0,1	0,0	0,8
	kal	6,2 - 6,5	6,3	0,1	0,0	1,6
	N	5,8 - 6,9	6,6	0,5	0,3	7,9
	NPK	6,7 - 7,0	6,9	0,2	0,0	2,4
	N+sláma	6,0 - 6,3	6,1	0,1	0,0	2,2
P [mg/kg]	kontrola	135 - 146	141	5	29	4
	hnůj	234 - 295	271	30	877	11
	kal	240 - 287	266	20	381	7
	N	93 - 121	103	13	160	12
	NPK	112 - 157	131	19	350	14
	N+sláma	82 - 110	93	12	143	13
K [mg/kg]	kontrola	131 - 147	142	7	54	5
	hnůj	255 - 298	279	18	317	6
	kal	111 - 135	121	10	96	8
	N	99 - 113	108	7	45	6
	NPK	186 - 247	219	31	943	14
	N+sláma	132 - 154	140	11	111	8

Na stanovišti Červený Újezd vykazoval shodně nejvyšší míru variability vyjádřenou hodnotou variačního koeficientu obsah přístupného P a K na variantě NPK. Nejnižší míru variability ze sledovaných parametrů měla půdní reakce na variantě s aplikací hnoje.

### 6.6.2.3 Srovnání hodnot variačních koeficientů sledovaných parametrů

Míra půdní variability sledovaných parametrů vyjádřena hodnotou variačního koeficientu byla porovnána na stanovištích Suchdol (tabulka 68) a Červený Újezd (tabulka 69) z odebraných půdních vzorků ze stejných parcel v roce 2012 a 2013.

Tab. 68 Hodnota CV [%] na stanovišti Suchdol v roce 2012 a 2013

		kontrola	N 120	N 240	kal 120	kal 240
pH	2013	0	0	0	1	1
	2012	0	0	0	1	1
P	2013	6	6	13	14	6
	2012	9	7	10	21	29
K	2013	4	2	4	1	6
	2012	5	2	4	2	2

Jak je patrné z tabulky 68, míra variability mezi lety 2012 a 2013 se podle hodnoty CV [%] nelišila u půdní reakce a podobnou míru variability měl i obsah přístupného K. Pouze u obsahu přístupného P na variantách s aplikací kalu se hodnota CV výrazně lišila.

Tab. 69 Hodnota CV [%] na stanovišti Červený Újezd v roce 2012 a 2013

		kontrola	kal	hnůj	N	NPK	N+sláma
pH	2013	4	2	1	8	2	2
	2012	4	2	0	5	3	2
P	2013	4	7	11	12	14	13
	2012	15	36	12	20	16	41
K	2013	5	8	6	6	14	8
	2012	11	8	12	7	15	9

Na stanovišti Červený Újezd vykazovaly pokusné parcely ovzorkované podle systematického utříděného nevyrovnaného schématu menší míru půdní variability vyjádřenou CV ve srovnání se vzorky odebranými podle příčky středem parcely v obsazích přístupného fosforu a draslíku, kromě obsahu přístupného K na variantě kal. Na variantě kal byla hodnota CV shodná, s odběrem podle příčky středem parcely. Nejvyšší rozdíl v CV byl na variantě kal v obsahu přístupného P.

### 6.6.3 Diskuze

Variabilita půdní reakce byla nízká na všech stanovištích na obou typech pokusu. Hodnota variačního koeficientu (CV %) se na polních pokusech pohybovala v rozmezí od 0,1 do 8,4 %, přičemž průměrná hodnota byla 2,3 %. Na stanovišti Suchdol byla variabilita půdní reakce nejnižší ze všech stanovišť. Hodnota CV se pohybovala na jednotlivých parcelách od 0,1 % do 2,2 %. Bylo to způsobeno dobrou pufrací schopností černozemě, kterou prokázal na shodném pokusu Vašák et al. (2015), u které nedošlo ke změně půdní reakce po 14 leté aplikaci hnojiv. Je to vlivem kalcického horizontu, který obsahují Černozemě v modálním subtypu. Němeček et al. (2011) uvádí množství  $\text{CaCO}_3 > 15 \%$ . Kalcický horizont zamezuje okyselení půdy při aplikaci kyselých hnojiv. To se shoduje s výsledky pokusu publikovanými Gandois et al. (2011), na kterém nedošlo při dávkách dusíku 310 kg/ha a 610 kg/ha na karbonátových půdách ke změně pH. Naopak na bezkarbonátových půdách došlo k poklesu pH o 1,3. Zároveň na stanovišti Suchdol, s ohledem na nižší srážky a velkou sorpční schopností půdy (KVK 250 - 279 mmol<sub>+</sub>/kg), nedocházelo k vyplavování bazických kationtů, a tím ke snížení pH jejich ztrátou. To odpovídá výsledkům, které publikovali Klement et al. (2005). Nižší hodnota variačního koeficientu u půdní reakce než u obsahu přístupných živin odpovídá zjištěním publikovaným Brodským (2003) a Wollenhauptem et al. (1995).

Variační koeficient přístupného obsahu fosforu se na polních pokusech pohyboval v rozmezí 1 – 46 %. Nízkou míru variability v obsahu přístupného P na polních pokusech vykazovaly varianty NPK, kontrola a N+sláma. Na variantě NPK se variační koeficient pohyboval od 1 do 14 %. Na Kontrolní variantě byla hodnota CV v rozmezí 2 – 13 %. Na variantě N+sláma byla hodnota CV v rozsahu 3 – 12 %, kromě stanoviště Suchdol v pokusu s rotací plodin. Nižší hodnoty CV jsou způsobeny jednak nepohyblivostí fosforu v půdě (Sims et al., 1998), jednak blízkostí odběrových míst. To odpovídá zjištěním publikovaným v Brodský (2003), kdy při vzorkování pozemku o výměře 64 ha, respektive 54 ha, dosahovala hodnota CV

přístupného fosforu 40 %, respektive 56 %. Při zmenšení vzorkovací plochy na 400 m<sup>2</sup> na obou pozemcích však dosahovala hodnota CV 14 %, respektive 18 %. Podobné hodnoty CV přístupného fosforu publikovali ve své práci Geypens et al. (1999), u nichž se hodnota CV pohybovala v rozsahu 15 – 19 %. Vysoké hodnoty CV vykazovaly varianty s aplikací kalu. V pokusu s rotací plodin byl na variantě kal 1 rozsah CV 14 – 32 %, na variantě kal 3 byl rozsah CV 10 – 46 %. Vysoké hodnoty CV byly způsobeny dodáním většího množství fosforu do půdy v čistírenských kalech a důsledkem toho zvýšením obsahu P v svrchní vrstvě půdy (kapitola 6.3.1). Podobné výsledky publikovali Mantovi et al. (2000). Jelikož fosfor je v půdě málo pohyblivý, mohla nastat chyba vzorkování (Kempthorne et Allmaras, 1986; Petersen et Calvin, 1986), protože při odběru půdního vzorku se mohla odebrat část půdní matrice, která obsahovala vyšší nebo nižší obsah fosforu, případně mohl vzorek obsahovat část nerozloženého kalu, který měl obsah fosforu až 58 593 mg/kg.

Půdní variabilita přístupného draslíku nebyla na polních pokusech vysoká. Hodnota variačního koeficientu obsahu přístupného K se pohybovala v rozmezí 1 – 22 %, přičemž průměrná hodnota CV byla 8 %. Nejvyšší míru variability vyjádřenou CV vykazovala varianta hnůj v pokusu s rotací plodin, na které byla průměrná hodnota CV 15 %. Bylo to pravděpodobně zapříčiněno dodáním draslíku v hnoji. V pokusu s monokulturou kukuřice byla nejvyšší míra variability na variantě NPK v Červeném Újezdě, na které byla hodnota CV 14 %. Žádná z variant nevykazovala hodnotu CV mezi 31 – 61 %, kterou uvádí Wollenhaupt et al (1997) pro obsah přístupného draslíku. Na všech variantách byla nižší hodnota CV ve srovnání s Geypens et al. (1999), kteří publikovali hodnoty CV v rozmezí 33 – 65 %. Bylo to stejně jako u fosforu pravděpodobně zapříčiněno bližším umístěním odběrových bodů. To opět odpovídá, jako u fosforu, výsledkům publikovaným v Brodský (2003), kde při vzorkování pozemku o výměře 64 ha, respektive 54 ha, dosahovala hodnota CV přístupného draslíku 25 %, respektive 41 %. Při zmenšení vzorkovací plochy na 400 m<sup>2</sup> na obou pozemcích však dosahovala hodnota CV pouze 12 %, respektive 18 %.

Při porovnávání hodnot CV z odebraných vzorků v letech 2012 a 2013 na stanovišti Suchdol v pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice při použití stejného vzorkovacího schématu na stejných parcelách se variační koeficient výrazně lišil pouze na variantách s aplikací kalu u obsahu přístupného fosforu. Potvrzuje to zmíněnou chybu vzorkování na variantách s aplikací kalu. Na stanovišti Červený Újezd byly porovnány hodnoty CV z půdních vzorků odebraných podle systematického utříděného nevyrovnaného schématu v roce 2013 a vzorků odebraných podle přímky středem parcely v roce 2012. Nejvyšší rozdíl v hodnotách CV



byl opět zaznamenán v obsahu přístupného P na variantě s aplikací kalu. Ovšem i na dalších variantách při sledování obsazích P a K byly zaznamenány vyšší hodnoty CV při odběru vzorků středem parcely podle přímk. Mohlo to být zapříčiněno, jak uvádí Wollenhaupt (1995), tím že systematické utříděné nevyrovnané schéma odstraňuje problém pravidelné periodicity ve vlastnostech pozemku, a proto je doporučováno jako velmi vhodný způsob dvojdimenzionálního průzkumu (Cohran, 1953; Quenouille, 1949).

## 7. Závěr

Z výsledků získaných z dlouhodobých polních pokusů s rotací plodin a s monokulturálním pěstováním kukuřice na siláž můžeme konstatovat následující závěry.

Průměrná bilance fosforu na nehnojených variantách v pokusu s rotací plodin se pohybovala v rozmezí od -11,0 do -15,4 kg/ha/rok, na stanovišti se zařazením kukuřice do osevního sledu byla bilance -17,0 kg P/ha/rok. V pokusu s monokulturou kukuřice byla bilance na nehnojené variantě -18,6 respektive -21,9 kg P/ha/rok. Odběr fosforu byl ovlivněn pěstovanými plodinami a výnosem hlavních sklizňových produktů a projevil se vliv vyšších nároků kukuřice na fosfor.

Kladná průměrná bilance fosforu byla na obou typech pokusů na variantách s aplikací čistírenského kalu, hnoje a na variantě NPK. Na variantě NPK byla bilance fosforu při dávce 30 kg P/ha/rok v pokusu s monokulturálním pěstováním kukuřice +1,3 kg P/ha/rok. V pokusu s rotací plodin při shodné dávce fosforu se bilance pohybovala v rozmezí od +1,8 do +14,0 kg P/ha/rok. Na variantě hnůj v pokusu s rotací plodin se bilance fosforu pohybovala v rozmezí od +9,4 kg P/ha/rok do +21,6 kg P/ha/rok při průměrné dávce fosforu v aplikovaném hnoji 33,2 kg P/ha/rok. V pokusu s monokulturou kukuřice byla průměrná bilance fosforu při průměrném množství aplikovaného fosforu v hnoji 36 kg P/ha/rok na variantě hnůj +7,2 kg P/ha/rok. Přestože průměrná bilance fosforu na variantě NPK a hnůj byla kladná, v některých sledovaných letech vykazovala záporné hodnoty. Na variantě kal 1 se bilance fosforu pohybovala v rozmezí od +66,7 do +75,6 kg/ha/rok při průměrném množství aplikovaného fosforu 89 kg P/ha/rok. S vyšší dávkou kalu se zvyšoval výnos a odběr fosforu a bilance dosahovala hodnoty až +250 kg P/ha/rok. Varianty s aplikací čistírenského kalu vykazovaly nadměrný přísun fosforu.

Průměrná záporná bilance fosforu na variantách N a N+sláma se na obou typech pokusu pohybovala v rozmezí od -13,4 do -27,5 kg P/ha/rok. Záporná bilance fosforu na jednotlivých stanovištích na variantě N byla vždy vyšší ve srovnání s variantou N+sláma, a to pravděpodobně z důvodu částečné úhrady fosforu ve slámě.

Průměrná bilance draslíku na nehnojených variantách v pokusu s rotací plodin se pohybovala v rozmezí od -43,6 do -73,2 kg/ha/rok. V pokusu s monokulturou kukuřice byla bilance draslíku -62,4 respektive -71,8 kg/ha/rok. Odběr draslíku byl ovlivněn výnosy plodin, v pokusu s rotací plodin zejména výnosem brambor.

Kladná průměrná bilance draslíku byla na variantě hnůj v pokusu s rotací plodin. Bilance se na pokusných stanovištích pohybovala v rozmezí od +2,3 do +30,1 kg K/ha/rok při průměrném množství draslíku aplikovaného v hnoji 95,7 kg/ha/rok. V pokusu s monokulturou kukuřice byla záporná průměrná bilance na variantě hnůj (-15,2 kg K/ha/rok) vypočtena při průměrné dávce K 106 kg/ha/rok v aplikovaném hnoji, a to vlivem opakovaných vyšších odběrů draslíku kukuřicí.

Průměrná bilance draslíku na variantě NPK se v pokusu s rotací plodin pohybovala v rozmezí od -9,5 do +33,2 kg/ha/rok při dávce 100 kg K/ha/rok. Kladná bilance byla na stanovišti s průměrným nízkým výnosem hlíz brambor (> 6,4 t/ha/rok). Na variantě NPK v pokusu s monokulturou kukuřice byla při dávce draslíku 150 kg/ha/rok průměrná bilance +32,1kg K/ha/rok.

Záporná průměrná bilance draslíku na variantách s aplikací kalu se na obou typech pokusů pohybovala v rozmezí od -8,9 do -69,1 kg/ha/rok, přičemž průměrné množství aplikovaného draslíku bylo 18 kg/ha/rok při dávce 110 kg N/ha/rok ve formě kalů. Bilance draslíku na variantách N a N+sláma se pohybovala v rozmezí od -54,9 do -103,6 kg/ha/rok, přičemž na variantě N+sláma byla na jednotlivých stanovištích nižší záporná bilance ve srovnání s variantou N, a to vlivem aplikovaného draslíku ve slámě.

System hnojení ovlivnil podle předpokladů i výnos plodin. V pokusu s rotací plodin byl výnos zrna a slámy ječmene jarního a pšenice ozimé ve srovnání s variantou hnůj a kal 1 na variantách s aplikací minerálních hnojiv vyšší. Na variantě kal 3 byl výnos hlavních sklizňových produktů ve srovnání s variantami kal 1 a hnůj vyšší, avšak přírůstek výnosu neodpovídal množství dodaných živin. V pokusu s monokulturním pěstováním kukuřice na variantách s minerálním hnojením byl výnos ve srovnání s variantami s aplikací čistírenského kalu vyšší. Na stanovišti Suchdol byl celkový výnos sklizňových produktů nejnižší, stejně jako celkový odběr fosforu a draslíku.

Obsah přístupného fosforu na variantách s aplikací čistírenského kalu a hnoje vzrostl. Aplikace hnoje přispěla k udržení nebo zvýšení obsahu přístupného draslíku na většině stanovišť. Obsah přístupného draslíku na variantě NPK v pokusu s rotací plodin se při dávce 100 kg K/ha/rok nezvýšil na stanovištích s vyšším výnosem hlíz brambor, v pokusu s monokulturou kukuřice při dávce 150 kg K/ha/rok vzrostl. Změny obsahu přístupného fosforu a draslíku v půdě většinou korespondovaly s bilancemi.

Výsledky obsahu přístupného fosforu a draslíku byly i v polních pokusech ovlivněny půdní variabilitou. Byl zjištěn výskyt antropogenní, prostorové a horizontální meso až makro variability v obsahu přístupného fosforu a draslíku. Nejvyšší míru půdní variability vykazoval obsah přístupného fosforu v půdě. Vliv stanoviště nebyl prokázán, ale nižší míru variability vykazovaly varianty kontrola, NPK a N+sláma. V pokusu s monokulturou kukuřice byla míra variability obsahu přístupného P ve srovnání s pokusem s rotací plodin průměrně nižší. Výsledky obsahu přístupného fosforu z variant s aplikací kalu mohou být zatíženy chybou vzorkování. Půdní variabilita přístupného draslíku nebyla v polních pokusech vysoká a nebyla ovlivněna stanovišti. Nejvyšší míru variability v obsahu přístupného draslíku vykazovala varianta hnůj v pokusu s rotací plodin. Velmi nízkou půdní variabilitu na všech stanovištích na obou typech pokusu vykazovala půdní reakce. Nejnižší míra variability půdní reakce vlivem vysoké pufrční schopnosti půdy byla na stanovišti Suchdol.

## Použitá literatura

- Adomaitis, T., Staugaitis, G. Mazvila, J., Vaisvila, Z., Arbaciauskas, J., Lubyte, J., Sumskis, D., Svegzda, A. 2013. Leaching of base cations as affected by a forty-year use of mineral fertilisation. *Zemdirbyste-Agriculture*. 100 (2). 119-126.
- Akinremi, O. O., Cho, C. M. 1991. Phosphate and accompanying cations in a calcareous cation-exchange resin system. *Soil Science Society of America Journal*. 55 (4). 959-964.
- Amtmann, A., Hammond, J. P., Armengaud, P., White, P. J. 2006. Nutrient sensing and signalling in plants: Potassium and phosphorus. *Advances in Botanical Research*. 43. 209-257.
- Anderson, K. A., Downing, J. A. 2006. Dry and wet atmospheric deposition of nitrogen, phosphorus and silicon in an agricultural region. *Water Air and Soil Pollution*. 176 (1-4). 351-374.
- Andersson, S., Simonsson, M., Mattsson, L., Edwards, A. C., Öborn, I. 2007. Response of soil exchangeable and crop potassium concentrations to variable fertilizer and cropping regimes in long-term field experiments on different soil types. *Soil Use and Management*. 23 (1). 10-19.
- Andrist-Rangel, Y., Edwards, A. C., Hillier, S., Oborn, I. 2007. Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 122 (4). 413-426.
- Annaheim, K. E., Doolette A. L., Smernik, R. J., Mayer, J., Oberson, A., Frossard, E., Bünemann, E. K. 2015. Long-term addition of organic fertilizers has little effect on soil organic phosphorus as characterized by <sup>31</sup>P NMR spectroscopy and enzyme additions. *Geoderma*. 257. 67-77.
- Anonymous, 2006. Praha ŽP 2006 - Stav a vývoj složek životního prostředí. [cit. 2014-06-17]. Dostupné z: <[http://envis.prahamesto.cz/%28tezra22d2eanxg45eup3ssmw%29/rocenky/Pr06\\_pdf/kap\\_B1.pdf](http://envis.prahamesto.cz/%28tezra22d2eanxg45eup3ssmw%29/rocenky/Pr06_pdf/kap_B1.pdf)>
- Anonymous, 2009. Ministerstvo životního prostředí. Poškození půd erozí. [cit. 2014-08-23]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poskozeni\\_pudy\\_erozi/\\$FILE/OOH\\_PP-Poskozeni\\_pudy\\_erozi-081119.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poskozeni_pudy_erozi/$FILE/OOH_PP-Poskozeni_pudy_erozi-081119.pdf)
- Antoniadis, V., Koutroubas, S. D., Fotiadis, S. 2015. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Availability in Manure- and Sewage Sludge–Applied Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 46. 393-404.
- Auerswald, K., Kainz, M., Angermüller, S., Steindl, H. 1996. Influence of exchangeable potassium on soil erodibility. *Soil Use and Management*. 12 (3). 117-121.

- Baier J., 1997. Vztah mezi výnosem a odběrem fosforu a draslíku u jarní pšenice. *Rostlinná Výroba*. 43 (10). 501-506.
- Balík, J., Petrášek, K., Tlustoš, P., Száková, J., 1999. Kaly z čistíren odpadních vod. Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze. Praha. s. 47-53. ISBN: 80-213-0560-6.
- Balík, J., Vaněk, V., Pavlíková, D., Kulhánek, M., Jakl, M., 2002. Fosfor v půdě a jeho koloběh v přírodě. Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze. Praha. s. 26-34. ISBN: 80-213-0957-1.
- Bationo, A., Lompo, F., Koala, S. 1998. Research on nutrient flows and balances in west Africa: state of the art. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 71 (1-3). 19-35.
- Beauchemin, S., Simard, R. R., Cluis, D. 1998. Forms and concentration of phosphorus in drainage waters of 27 tile-drained soils. *Journal of Environmental Quality*. 27 (3). 721-728.
- Bender, R. R., Haegele, J. W., Ruffo, M. L., Below, F. E. 2013. Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern, Transgenic Insect-Protected Maize Hybrids. *Agronomy Journal*. 105 (1). 161-170.
- Bengtsson, H., Öborn, I., Jonsson, S., Nilsson, I., Andersson, A. 2003. Field balances of some mineral nutrients and trace elements in organic and conventional dairy farming - a case study at Öjebyn, Sweden. *European Journal of Agronomy*. 20 (1-2). 101-116.
- Bentbi, D. K., Biswas, C. R. 1999. Nutrient budgeting for phosphorus and potassium in a long-term fertilizer trial. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 54 (2). 125-132.
- Bermudez, D., Juarez, M., Sanchezandreu, J., Jorda, J. D. 1993. Role of EDDHA and humic acids on the solubility of soil-phosphorus. *Communications In Soil Science And Plant Analysis*. 24 (7-8). 673-683.
- Bindraban, P. S., Stoorvogel, J. J., Jansen, D. M., Vlaming, J., Groot, J. J. R. 2000. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 81 (2). 103 - 112.
- Blake, L., Johnston, A. E., Poulton, P. R., Goulding, K. W. T. 2003. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. *Plant and Soil*. 254 (2). 245-261.
- Blake, L., Mercik, S., Koerschens, M., Moskal, S., Poulton, P. R., Goulding, K. W. T., Weigel, A., Powlson, D. S. 2000. Phosphorus content in soil, uptake by plants and balance in three European long-term field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 56 (3). 263-275.
- Blake, L., Mercik, S., M. Koerschens, M., Goulding, K. W. T., Stempfen, S., Weigel, A., Poulton, P. R., Powlson, D. S. 1999. Potassium content in soil, uptake in plants and the potassium balance in three European long-term field experiments. *Plant and Soil*. 216 (1-2). 1-14.

Blume, H. P., Brümmer, G. W., Schwertmann, U., Horn, R., Knabner, I. K., Stahr, K., Auerswald, K., Beyer, L., Hartmann, A., Litz, N., Scheinost, A., Stanjek, H., Welp, G., Wilke, B. M. 2002. Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. s. 593. ISBN: 3-8274-1324-9.

Borggaard, O. K., Jorgensen, J. P., Morberg, J. P., Raben-Lange, B. (1990). Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminum and iron oxides in sandy soils. *Journal of Soil Science*. 41 (3). 443-449.

Borjesson, G., Kirchmann, H., Katterer, T. 2014. Four Swedish long-term field experiments with sewage sludge reveal a limited effect on soil microbes and on metal uptake by crops. *Journal Of Soils and Sediments*. 14 (1). 164-177.

Borling, K., Otabbong, E., Barberis, E. 2001. Phosphorus sorption in relation to soil properties in some cultivated Swedish soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 59 (1). 39-46.

Brodský, L. 2003. Využití geostatistických metod pro mapování prostorové variability a agrochemických vlastností půd. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 120. ISBN: 80-213-1100-2.

Brodský, L., Vaněk, V., Száková, J., Štípek, K. 2001. Spatial variability of soil properties. *Rostlinná výroba*. 47. 521-528.

Bünemann, E. K., Condron, L. M. 2007. Phosphorus and sulphur cycling in terrestrial ecosystems. In: Marscher, P., Rengel, Z. (eds.) *Soil biology – Nutrient cycling in terrestrial ecosystems*. Springer. Meppel, Nizozemsko. p. 397. ISBN: 978-3-540-68026-0.

Buresh, R. J., Pampolino, M. F., Witt, Ch. 2010. Field-specific potassium and phosphorus balances and fertilizer requirements for irrigated rice-based cropping systems. *Plant and Soil*. 335 (1-2). 35-64.

Cao, N., Chen, X., Cu, Z., Zhang, F. 2012. Change in soil available phosphorus in relation to the phosphorus budget in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 94 (2-3). 161-170.

Castro, B., Torrent, J. 1998. Phosphate sorption by calcareous vertisols and inceptisols as evaluated from extended P sorption curves. *European Journal of Soil Science*. 49 (4). 661-667.

Cohran, 1953. In: Wollenhaupt, N. C., Mulla, D. J., Gotway, C. A. 1997. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: *The Site-Specific Management for Agricultural Systeme ASA-CSSA-SSA, 677*. Madison, WI 53711. p. 19-53.

- Csathó, P., Sisák, I., Radimsky, L., Lushaj, S., Spiegel, H., Nikolova, M. T., Nikolov, N., Čermák, P., Klir, J., Astover, A., Karklins, A., Lazauskas, S., Kopiński, J., Hera, C., Dumitru, E., Manojlovic, M., Bogdanović, D., Torma, S., Leskošek, M., Khristenko, A. 2007. Agriculture as a source of phosphorus causing eutrophication in Central and Eastern Europe. *British Society of Soil Science*. 23 (Issue Suppl. 1). 36-56.
- Culley, J. L. B., Bolton, E. F., Bernyk, V. 1983. Suspended soils and phosphorus loads from a clay loam. I. Plot studies. *Journal of Environmental Quality*. 12 : 493–498.
- Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Vašák, F. 2013. The effect of mineral N fertiliser dose on nitrogen and potassium uptake of silage maize. *International Plant Nutrition Colloquium and Boron Satellite Meeting*. Istanbul. p. 913-914.
- Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Vaněk, V. 2014. Využití kalů z čistírenských vod. *Racionální použití hnojiv*. ČZU v Praze. Praha. s. 19-26. ISBN: 978-80-213-2511-1.
- Černý, J., Balík, J., Švehla, P., Kulhánek, M. 2009. Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. *Racionální použití hnojiv*. ČZU v Praze. Praha. s. 36-41. ISBN: 978-80-213-2006-2.
- Daly, K., Jeffrey, D., Tunney, H. 2001. The effect of soil type on phosphorus sorption capacity and desorption dynamics in Irish grassland soils. *Soil Use and Management*. 17 (1). 12-20.
- Domburg, P., Edwards, A. C., Sinclair, A. H., Chalmers, N. A. 2000. Assessing nitrogen and phosphorus efficiency at farm and catchment scale using nutrient budgets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80 (13). 1946-1952.
- Dubec, J., Křen, J. 2004. Hodnocení ekologických aspektů trvalé udržitelnosti hospodaření zemědělských podniků [online]. Mendelnet04. Dostupné z <<http://mnet.mendelu.cz/mendelnet2004/obsahy/fyto/dubec.pdf>>.
- Eghball, B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications. *Agronomy Journal*. 94 (1). 128-135.
- Ellmer F., Baumecker M. 2005. Der statische Nährstoffmangelversuch Thyrow. Ergebnisse nach 65 Versuchsjahren. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 51 (2). 151-161.
- Fagerberg, B. Salomon, E., Jonsson, S. 1996. Comparisons between conventional and ecological farming systems at Oejebyn. Nutrient flows and balances. *Swedish Journal of Agricultural Research*. 26 (4). 169-180.
- Gandois, L., Perrin, A. S., Probst, A. 2011. Impact of nitrogenous fertiliser-induced proton release on cultivated soils with contrasting carbonate contents: A column experiment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 75 (5). 1185-1198.
- Geypens, M., Vanongeval, L., Vogels, N., Meykens, J. 1999. Spatial variability of agricultural soil fertility parameters in a Gleyic podzol of Belgium. *Precision Agriculture*. 1. 319-326.



- Giroux, M., Lemieux, M. 2006. Comparaison de différentes méthodes d'évaluation de la fertilité azotée des sols et détermination de la dose N optimale du maïs ensilage. *Agrosolutions*. 17 (1). 39-50.
- Gondek, K., Kopec, M. 2008. Potassium content in maize and soil fertilized with organic materials. *Journal of Elementology*. 13 (4). 501-512.
- Gotway, C. A., Bullock, D. G., Pierce, F. J., Stroup W. W., Hergert, G. W., Eskridge, K. M. 1995. Experimental design issue and statistical evaluation techniques for site-specific management. In: Pierce, F. J., Sadler, E. J. (eds.). *The state of site-specific management of agriculture*. ASA, CSSA, SSSA. 14. 301-335.
- Graham, E. R, Fox, R. L. 1971. Tropical soil potassium as related to labile pool and calcium exchange equilibria. *Soil Science*. 111 (5). 318-323.
- Grignani, C., Zavattaro, L., Sacco, D., Monaco, S. 2007. Production, nitrogen and carbon balance of maize-based forage systems. *European Journal of Agronomy*. 26 (4). 442-453.
- Gruber, L., Steinwender, R., Guggenberger, T., Plakolm, G. 2001. Comparison of organic and conventional farming on a grassland farm - 3rd Communication: Nutrient balances on supply/withdrawal basis and import/export basis. *Bodenkultur*. 52 (2). 183-195.
- Halberg, N., 1999. Indicators of resource use and environmental impact for use in a decision aid for Danish livestock farmers. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 76 (1). 17-30.
- Härdtle, W., Niemeyer, M., Niemeyer, T., Assmann, T., Fottner, S. 2006. Can management compensate for atmospheric nutrient deposition in heathland ecosystems? *Journal Of Applied Ecology*. 43 (4). 759-769.
- He, Z. L., Alva, A. K., Li, Y. C., Calvert, D. V., Banks, D. J. 1999. Sorption-desorption and solution concentration of phosphorus in a fertilized sandy soil. *Journal of Environmental Quality*. 28 (6). 1804-1810.
- Hlušek, J., Trávník, K. 2002. Výsledky dlouhodobých hnojařských pokusů. *Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze*. Praha. s. 61-65. ISBN: 80-213-0957-1.
- Hoening, M., deKersabiec, A. M. 1996. Sample preparation steps for analysis by atomic spectroscopy methods: Present status. *Spectrochimica Acta Part B-Atomic Spectroscopy*. 51 (11). 1297-1307.
- Hooda, P. S., Truesdale, V. W., Edwards, A. C., Withers, P. J. A., Aitken, M. N., Miller, A., Rendell, A. R., 2001. Manuring and fertilization effects on phosphorus accumulation in soils and potential environmental implications. *Advances in Environmental Research*. 5 (1). 13-21.
- Horta, M. C., Torrent, J. 2007. The Olsen P method as an agronomic and environmental test for predicting phosphate release from acid soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 77 (3). 283-292.

- Howarth R. W., Jensen H., Marino R., Postma H. 1995. Transport to and processing of phosphorus in near-shore and oceanic waters. In: Tiessen, H. (ed). Phosphorus in the Global Environment. Wiley & Sons. Chichester, United Kingdom. p. 323-345. ISBN-13: 9780471956914.
- Hülsbergen, K. J., Diepenbrock, W. 1997 In: Dubec, J., Křen, J. 2004. Hodnocení ekologických aspektů trvalé udržitelnosti hospodaření zemědělských podniků [online]. Mendelnet04. Dostupné z <<http://mnet.mendelu.cz/mendelnet2004/obsahy/fyto/dubec.pdf>>.
- Iyamuremye, F., Dick, R. P., Baham, J. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamics. 1. Phosphorus chemistry and sorption. Soil Science. 161 (7). 426-435.
- Jakse, M., Mihelic, R. 1999. The influence of organic and mineral fertilisation on vegetable growth and N availability in soil: Preliminary results. Proceedings of The International Workshop on Ecological Aspects of Vegetable Fertilisation in Integrated Crop Production in The Field. 506. 69-75.
- Jalali, M., Rowell, D. L. 2003. The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. Experimental Agriculture. 39 (4). 379–394.
- James D. W., Wells K. L. 1990. Soil Sample Collection and Handling. Technique Based on Source and Degree of Field Variability. In: Westerman, R. L. (ed.) Soil Testing and Plant Analysis. 3<sup>rd</sup> edition. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, USA. p. 25-44. ISBN-13: 9780891188445.
- Johnston, A. E. 2003. Understanding potassium and its use in agriculture. European Fertilizer Manufacturers' Association.
- Johnston, A. E., Goulding, K. W. T., Mercer, E. 1993. Potassium leaching from a sandy soil. Potash Review. 4. 1–6.
- Kasal, P., Čepl, J., Vokál, B. 2010. Hnojení brambor. Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod. Havlíčkův Brod. s. 23. ISBN: 978-80-86940-24-3.
- Keller, A., von Steiger, B., van der Zee, S., Schulin, R. 2001. A stochastic empirical model for regional heavy-metal balances in agroecosystems. Journal of Environmental Quality. 30 (6). 1976–1989.
- Kemphorne O., Allmaras R. R. 1986. Errors and variability of observation. In: Klute, A. (ed.) Methods of soil Analysis: part 1 – Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy, Inc. Madison, USA. p. 1-31. ISBN: 0-89118-088-5.
- Khai, N. M., Ha, P. Q., Öborn, I. 2007. Nutrient flows in small-scale peri-urban vegetable farming systems in Southeast Asia—A case study in Hanoi. Agriculture, Ecosystems and Environment. 122 (2). 192–202.

Klement, V., Balík, J., Trávník, K. Mareš, R. 2005. Lyzimetrické sledování – vyplavování vápníku z půd. Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze. Praha. s. 73-78. ISBN: 80-213-1401-X.

Klír, J. 2005. OECD soil surface nitrogen and phosphorus balances for the Czech Republic, 1950 to 2004. In: Csathó, P., Sisák, I., Radimsky, L., Lushaj, S., Spiegel, H., Nikolova, M. T., Nikolov, N., Čermák, P., Klír, J., Astover, A., Karklins, A., Lazauskas, S., Kopiński, J., Hera, C., Dumitru, E., Manojlovic, M., Bogdanović, D., Torma, S., Leskošek, M., Khristenko, A. 2007. Agriculture as a source of phosphorus causing eutrophication in Central and Eastern Europe. British Society of Soil Science. 23 (Issue Suppl. 1). 36-56.

Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. 2007. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. ISBN: 978-80-87011-14-0.

Kondratowicz-Maciejewska, K., Kobiński, M. 2011. Content of available magnesium, phosphorus and potassium forms in soil exposed to varied crop rotation and fertilisation. Journal of Elementology. 16 (4). 543-553.

Kopáček, J., Procházková, L., Hejzlar, J., Blažka, P. 1997. Trends and seasonal patterns of bulk deposition of nutrients in the Czech republic. Atmospheric Environment. 31 (6). 797-808.

Kulhánek, M., Balík, J., Černý, J., Vašák, F., Shejbalová, Š. 2014. Influence of long-term fertilizer application on changes of the content of Mehlich-3 estimated soil macronutrients. Plant, Soil and Environment. 60 (4). 151-157.

Kulhánek, M., Černý, J., Vaněk, V., Balík, J., Budňáková, M. 2015. Přisun živin v minerálních hnojivech a jejich bilance. Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze. Praha s. 61-67. ISBN: 978-80-213-2594-4.

Kunzová, E. 2009. Výživa rostlin a hnojení fosforem. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby. s. 1-24. ISBN: 978-80-7427-015-4.

Kunzová, E. 2010. Výživa rostlin a hnojení draslíkem. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby. s. 1-24. ISBN: 978-80-7427-066-6.

Laird, D., Fleminga, P., Wang, B., Horton, R., Karlen, D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma. 158 (3-4). 436-442.

Lauringson, E., Talgre, L., Roostalu, H., Vipper, H. 2004. The effect of tillage and crop rotation on the content of available nitrogen, phosphorus and potassium. Agronomy Research. 2 (1). 63-70.

Laves, D. 1978. Potassium transformation in soil. In: Mengel, K., Kirkby, E. A. 2001. Principales of plant nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherland. p. 833. ISBN: 1-4020-00008-1.

- Lindsay, W. L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons, New York. p. 449. ISBN-13: 978-1930665118.
- MacDonald, G. K, Bennett, E, M., Potterc, P. A., Ramankutty, N. 2011. Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 108 (7). 3086–3091.
- Mader, P., Szakova, J., Miholova, D. 1998. Classical dry ashing of biological and agricultural materials. Part II. Losses of analytes due to their retention in an insoluble residue. *Analisis*. 26 (3). 121-129.
- Magen, H. 2008. Balanced Crop Nutrition: Fertilizing for Crop and Food Quality. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 32 (3). 183-193.
- Maguire, R. O, Sims, J. T, Coale, F. J. 2000. Phosphorus fractionation in biosolids-amended soils: Relationship to soluble and desorbable phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*. 64 (6). 2018-2024.
- Machet, J. M., Recous, S., Remy, J. C. 1987. Signification du coefficient reel d'utilisation et consequences pour la fertilisation azotee des cultures. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*. 73 (3). 39-55.
- Manguiat, I. J., Rocamora, P. M. 2004. Crop yields and dynamics of soil organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, microbial biomass N and microorganisms as influenced by bio-organics. *Philippine Agricultural Scientist*. 87 (4). 383-395.
- Mantovi, P., Baldoni, G., Toderi, G. 2005. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. 39 (2-3). 289-296.
- Matula, J. 2011. Relationship between phosphorus concentration in soil solution and phosphorus in shoots of barely. *Plant Soil and Environmental*. 57 (7). 307-314.
- McDowell, R. W., Mathieu, N., Brookes, P. C., Poulton, P. R., 2003. Mechanisms of phosphorus solubilisation in a limed soil as a function pH. *Chemosphere*. 51 (8). 685-692.
- McGechan, M. B., Lewis, D. R. 2002. Sorption of phosphorus by soil, part 1: principles, equations and models. *Biosystems Engineering*. 82 (1). 1-24.
- McLaughlin, M. J., Reuter, D. J., Rayment, G. E. 1999. Soil testing – principles and concepts. In: Marscher, P., Rengel, Z. (eds.) *Soil biology – Nutrient cycling in terrestrial ecosystems*. Springer. Meppel, Nizozemsko. p. 397. ISBN: 978-3-540-68026-0.
- Mehlich, A. Mehlich-3 soil test extractant - a modification of mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 15 (12). 1409-1416
- Mengel, K. 1991. Ernährung und Stoffwechsel die Pflanze. Gustav Fischer Verlag Jena. p. 466. ISBN: 3-334-00310-8.

- Mengel, K., Kirkby, E. A. 2001. *Principales of plant nutrition*. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherland. p. 833. ISBN: 1-4020-00008-1.
- Mengel, K., Rahmatullah, Dou, H. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess-derived soils. *Soil Science*. 163 (10). 805-813.
- Mikulášová, B., Lapčík, J. R. L., Mašek, I. 1996. Lignit – struktura, vlastnosti a použití. *Chemické Listy*. 91. 160-168.
- Nagy, J. 2011. The effect of soil pH and precipitation variability during the growing season on maize hybrid grain yield in a 17 year long-term experiment. *Journal of Hydrology And Hydromechanics*. 59 (1). 60-67.
- Němeček, J., Muhlanselová, M., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P. 2011. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2. upravené vydání. ČZU v Praze. Praha. ISBN: 978-80-213-2155-7.
- Neshev, N. Manolov, I. 2015. Content and uptake of nutrients with plant biomass of potatoes depending on potassium fertilization. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 6. 63-65.
- Oborn, I., Andrist-Rangel, Y., Askegaard, M., Grant, C. A., Watson, C. A. Edwards, A. C. 2005. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *Soil Use and Management*. 21 (1). 102-112.
- Oborn, K., Modin-Edman, A. K., Bengtsson, H., Gostafson, G. M., Salomon, E., Nilsson, S., Holmqvist, J., Jonsson, S., Svedrup, H. 2005. A system approach to assess farm-scale nutrient and trace element dynamic: A case study at the Ojebyn dairy farm. *Ambio*. 34 (4-5). 301-310.
- OECD, EUROSTAT. 2007. Gross phosphorus balance. [cit. 2014-08-23]. Dostupné z: <<http://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/40820243.pdf>>
- Ojekami, A., Ige, D., Hao, X., Akinremi, O. 2011. Phosphorus mobility in a soil with long term manure application. *Journal of Agricultural Science*. 3 (3). 25-38.
- Olatuyi, S. O., Akinremi, O. O., Flaten, D. N., Crow, G. H. (2009). Accompanying cations and anions affect the diffusive transport of phosphate in a model calcareous soil system. *Canadian Journal of Soil Science*. 89 (2). 179-188.
- Oliver, M. A., 1999. Exploring soil spatial variation geostatistically. In: Stafford, J. V. (ed.). *Precision agriculture '99, Part 1 and Part 2*. Wiley Blackwell. Odense, Denmark. p. 3-17. ISBN: 1-84127-042-3.
- Panten, K., Rogasik, J., Godlinski, F., Funder, U., Greef, J. M., Schnug, E. 2009. Gross soil surface nutrient balances: The OECD approach implemented under German conditions. *Agriculture and Forestry Research*. 59 (1). 19-28.

- Peck, T. R., Soltanpour, P. N. 1990. In: Brodský, L. 2003. Využití geostatistických metod pro mapování prostorové variability a agrochemických vlastností půd. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 120. ISBN: 80-213-1100-2.
- Petersen, R. G., Calvin, L. D. 1986. Sampling. In: Klute, A. (ed.) *Methods of soil Analysis: part 1 – Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Inc. Madison, USA. p. 31-51. ISBN: 0-89118-088-5.
- Petrofanov, V. L. 2011. Role of the soil particle-size in the sorption and desorption of potassium. *Euroasian Soil Science*. 45 (6). 598-611.
- Pimental, D. Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R. 1995. Environmental and Economic Cost of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science*. 267 (no. 5201). 1117-1123.
- Portela, E. A. C. 1993. Potassium supplying capacity of northeastern portuguese soils. *Plant and Soil*. 154 (1). 13-20.
- Pospíšilová, L., Fasurová, N., Petrášová, V. 2010. Humus content and quality under different soil tillage systems. *Soil and Water Research*. 5 (3). 90-95.
- Quenouille, 1949 in Wollenhaupt, N. C., Mulla, D. J., Gotway, C. A. 1997. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: *The Site-Specific Management for Agricultural Systems ASA-CSSA-SSA*, 677. Madison, WI 53711. p. 19 – 53.
- Rankien, K., Salo, T., Granlund, K., Hanu, R. 2007. Simulated nitrogen leaching, nitrogen mass field balances and their correlation on four farms in south-western Finland during the period 2000- 2005. *Agricultural and Food Science*. 16 (4). 387-406.
- Redding, M. R., Skerman, A., Ritchie, J., Casey, K. D. 2007. How effective are broad-scale nutrient mass balances for determining the sustainability of lot-feed manure application? *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 120 (2-4). 166-178.
- Rosen, C. J., Bierman, P. M. 2008. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. *American Journal of Potato Research*. 85 (2). 110-120.
- Rover, M., Kaser, E. A. 1999. Spatial heterogeneity within the plough layer: low and moderate variability of soil properties. *Soil Biology & Biochemistry*. 31 (2). 175-187.
- Rowell, D. L. 1985. The reduction in sodicity during the displacement of mixed CaCl<sub>2</sub>-NaCl salts from soils by water. *Irrigation Water*. 6 (1). 11-18.
- Roy, R. N., Misra, R. V., Lesschen, J. P., Smaling, E. M. 2003. Assessment of soil nutrient balance. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Itali. p. 87. ISBN: 92-5-105038-4.
- Sawhney, B. L. 1971. Selective sorption and fixation of cations by clay minerals: a review. *Clay and clays minerals*. 20. 93-100.

- Seadh, S. E., EL-Abady, M. I., El-Ghamry, A. M., Farouk, S. 2009. Influence of Micronutrients Foliar Application and Nitrogen Fertilization on Wheat Yield and Quality of Grain and Seed. *Journal of Biological Sciences*. 9 (8). 851-858.
- Sharpley, A. N. Rekolainen, S. 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: Tunney, H., Carton, O. T., Brookes, P. C., Johnston, A. E. (eds.). *Phosphorus Loss from Soil to Water*. CAB International. Wallingford, United Kingdom. p. 1-53. ISBN-13: 978-0851991566.
- Sharpley, A. N., Menzel, E. G., 1987. The impact of soil and fertilizer phosphorus to the environment. *Advances in Agronomy*. 41. 297-324.
- Schachtman, D. P., Reid, R. J., Ayling, S. M. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. *Plant Physiology*. 116 (2). 447-453.
- Schilling, G., Eissner, H., Schmidt, L., Peiter, E. 2016. Yield formation of five crop species under water shortage and differential potassium supply. *Journal of Plant Nutrition And Soil Science*. 179 (2). 234-243.
- Schneider, A. 2002. Characterisation of soil potassium supply as derived from sorption-desorption experiments. *Plant and Soil*. 251 (2). 331-341.
- Schroder, J. J., Vermeulen, G. D., van der Schoot, J. R., van Dijk, W., Huijsmans, J. F. M., Meuffels, G. J. H. M., van der Schans, D. A. 2015. Maize yields benefit from injected manure positioned in bands. *European Journal of Agronomy*. 64. 29-36.
- Schroder, J. L., Zhang, H. L., Richards, J. R., Payton, M. E. 2009. Interlaboratory validation of the Mehlich 3 method as a universal extractant for plant nutrients. *Journal of AOAC International*. 92 (4). 995-1008.
- Sims, J. R., Haby, V. A. 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Science*. 112 (2). 137-141.
- Sims, J. T., Simard, R. R., Joern, B. C. 1998. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality*. 27 (2). 277-293.
- Smith, M. T. E., Cade-Menun, B. J., Tibbett, M. 2003. Soil phosphorus dynamics and phytoavailability from sewage sludge at different stages in a treatment stream. *Biology And Fertility of Soils*. 42 (3). 186-197.
- Sommers, L. E. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. *Journal of Environmental Quality*. 6 (2). 225-232.
- Spiess, E. 2011. Nitrogen, phosphorus and potassium balances and cycles of Swiss agriculture from 1975 to 2008. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 91 (3). 351-365.

- Srivastava, S., Rupa, T. R., Swarup, A., Singh, D. 2002. Effect of long-term fertilization and manuring on potassium release properties in a Typic Ustochrept. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 165 (3). 352-356.
- Steinshamn, H., Thuen, E., Azzaroli Bleken, M., Tutein Brenøe, U., Ekerholt, G., Yri, C., 2004. Utilization of nitrogen (N) and phosphorus (P) in an organic dairy farming system in Norway. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 104 (3). 509–522.
- Stoorvogel, J. J., Smaling, E. M. A., 1990. Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa: 1983–2000. 4 Volumes. Report 28. The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research. Wageningen, Netherlands. ISSN: 0924-3062.
- Sugiura, H. S., a, Raboy, V., b, Young, K. A., b, Dong, F. N., Hardy, R. W. 1999. Availability of phosphorus and trace elements in low-phytate varieties of barley and corn for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 170 (3-4). 285-296.
- Sui, Y., Thompson, M. L. 2000. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended mollisol. *Soil Science Society of America Journal*. 64 (1). 164-169.
- Talati, N. R., Mathur, S. K., Attri, S. C. 1974. In: Troeh, R. F., Thompson L. M. 2005. *Soils and Soil Fertility*. (6<sup>th</sup> Edition). Blackwell Publishing. Ames, USA, 2005. p. 489. ISBN: 0-8138-0995-X.
- Tan, K. H. 2005. *Soil Sampling, Preparation, and Analysis*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. p. 680. ISBN: 9780849334993.
- Theodorou, M. E., Plaxton, W. C. 1993. Metabolic adaptations of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. *Plant Physiology*. 101 (2). 339–344.
- Tisdale, S. J., Nelson, W. L., Beaton, J. D., Havlin, J. L. 1993. *Soil fertility and fertilisers*. MacMillan, New York. p. 634.
- Troeh, R. F., Thompson L. M. 2005. *Soils and Soil Fertility*. (6<sup>th</sup> Edition). Blackwell Publishing. Ames, USA, 2005. p. 489. ISBN: 0-8138-0995-X.
- Tůma, J. 2002. Vliv hnojení minerálními hnojivými na výnosy plodin a odběr živin v Kostelci nad Orlicí. *Práce a Studie*. 10. 27-33.
- Ulen, B. 1999. Leaching and balances of phosphorus and other nutrients in lysimeters after application of organic manures or fertilizers. *Soil Use and Management*. 15 (1). 56-61.
- Valla, M., Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Borůvka, L., Drábek O. 2002. *Pedologické praktikum*. Česká zemědělská univerzita v Praze, katedra pedologie a geologie. s. 147. ISBN: 80-213-0914-8.
- Van Groenigen, J. W. 1999. *Constrained Optimisation of Spatial Sampling, a Geostatistical Approach*. Dissertation Thesis. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Nizozemsko. p. 148. ISBN: 90-6164-156-X.



- Vaněk, V., Balík J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin, Profi Press. Praha. s. 176. ISBN: 976-80-86726-25-0.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valetta, J. 2012. Výživa zahradních plodin. Academia. Praha. s. 570. ISBN: 978-80-200-2147-2.
- Vašák, F., Černý J., Kulhánek M., Balík J. 2011. Phosphorus Balance in Long-Term field experiments. Proceedings of International Conference Soil, Plant and Food Interactions. p. 489-495. ISBN: 978-80-7375-534-8.
- Vašák, F., Černý, J., Buráňová, Š., Kulhánek, M., Balík, J. 2015. Soil pH Changes in Long-Term Field Experiments with Different Fertilizing Systems. Soil and Water Research. 10 (1). 19-23.
- Vašák, F., Černý, J., Kulhánek, M., Balík, J. 2011. Porovnání množství a kvality organické hmoty v půdě dlouhodobých polních pokusů s různým způsobem hnojení. Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze. Praha. s. 145-150. ISBN: 978-80-213-2224-0.
- Vašák, F., Černý, J., Kulhánek, M., Shejbalová, Š., Balík, J. 2013. Srovnání analytických měření obsahu přístupných živin z extraktu Mehlich 3. Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze. Praha. s. 157–160. ISBN: 978-80-213-2416-9.
- Vos, J., van der Putten, P. E. L. 2000. Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. I. Input and offtake of nitrogen, phosphorus and potassium. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 56 (2). 87–97.
- Vrkoč, F., Vach, M., Veleta, V., Kosner, J. 2002. Influence of different organic mineral fertilization on the yield structure and on changes of soil properties. Rostlinná Výroba. 48 (5). 212-216.
- White, P. J., Karley, A. J. 2010. Potassium. In: Hell, R., Mendel, R. R. (eds.). Cell Biology of Metals and Nutrients. Springer, Berlin, pp. 199–224. ISBN: 978-3-642-10613-2.
- Wollenhaupt, N. C., Mulla, D. J., Gotway, C. A. 1997. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: The Site-Specific Management for Agricultural Systeme ASA-CSSA-SSA, 677. Madison, WI 53711. p. 19 – 53.
- Yang, S.M., Malhi, S. S., Song, J. R., Xiong, Y. C., Yue, W. Y., Lu, L. L., Wang, J. G., Guo, T. W. 2006. Crop yield, nitrogen uptake and nitrate-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of Northwestern China. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 76 (1). 81-94.
- Yu, W. T., Zhou, H., Zhu, X. J., Xu, Y. G., Ma, Q. 2011. Field balances and recycling rates of micronutrients with various fertilization treatments in Northeast China. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 90 (1). 75-86.
- Zbiral, J. 2001. Comparison of methods for soil pH determination. Rostlinná výroba. 47. 463-467.
- Zbiral, J., Honsa I. 2010. Analýzy půd I. ÚKZÚZ, Národní referenční laboratoř. Brno. s 290. ISBN: 978-80-7401-031-6.

Zhang, H. L., Kariuki, S., Schroder, J. L., Payton, M. E., Focht, Ch. 2009. Interlaboratory validation of the Mehlich 3 method for extraction of plant-available phosphorus. *Journal of AOAC International*. 92 (1). 91-102.

Zhang, M. K. 2008. Effects of soil properties on phosphorus subsurface migration in sandy soils. *Pedosphere*. 18 (5). 599–610.

Zhou, M., Li, Y. 2001. Phosphorus-sorption characteristics of soils and limestone from the Southern Everglades and adjacent farmlands. *Soil Science Society of America Journal*. 65 (5). 1404-1412.

## Seznam tabulek

Tab. 1 Průměrná dávka P [kg/ha] v minerálních a organických hnojivech v České republice	12
Tab. 2 Průměrný odběr P [kg/ha] ve vybraných částech sklizených plodin.....	13
Tab. 3 Průměrný odběr P [kg/ha] rostlinami v zemědělských plochách v ČR.....	13
Tab. 4 Bilance P [kg/ha] na zemědělských půdách za daná období v ČR .....	15
Tab. 5 Koncentrace K ve vybraných jílových minerálech .....	16
Tab. 6 Průměrná dávka K [kg/ha] na zemědělských plochách v ČR .....	19
Tab. 7 Průměrný odběr K [kg/ha] ve vybraných částech sklizených plodin.....	20
Tab. 8 Průměrný odběr K [kg/ha] rostlinami na zemědělských plochách v ČR .....	20
Tab. 9 Bilance K [kg/ha] na zemědělských půdách za daná období v ČR.....	22
Tab. 10 Půdní a klimatické charakteristiky stanovišť' .....	24
Tab. 11 Dávky živin [kg/ha] v aplikovaných hnojivech za tříletý cyklus .....	25
Tab. 12 Dávky P a K [kg/ha] v čistírenském kalu v aplikačních letech.....	26
Tab. 13 Množství P a K [kg/ha] aplikovaných v hnoji v aplikačních letech na podzim.....	26
Tab. 14 Č. Újezd - průměrné roční dávky živin [kg/ha] za období 1996 – 2013 .....	27
Tab. 15 Suchdol - průměrné roční dávky P a K [kg/ha] za období 1996 – 2013 .....	27
Tab. 16 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 na Č. Újezdě .....	33
Tab. 17 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 v Hněvčevsi .....	34
Tab. 18 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 v Humpolci .....	35
Tab. 19 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 v Lukavci.....	36
Tab. 20 Průměrné roční výnosy [t/ha] za období 1997 - 2013 v Suchdole .....	37
Tab. 21 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Červený Újezd.....	42
Tab. 22 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Č. Újezdě .....	42
Tab. 23 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Hněvčevs .....	43
Tab. 24 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Hněvčevsi.....	43
Tab. 25 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Humpolec .....	44
Tab. 26 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Humpolci .....	44
Tab. 27 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Lukavec .....	45
Tab. 28 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině v Lukavci .....	45
Tab. 29 Odběr fosforu [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Suchdol.....	46
Tab. 30 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] při 100% sušině na Suchdole.....	46

Tab. 31 Průměrný odběr P na tunu produkce [kg/t] kukuřice při 100% sušíně v Č. Újezdě ...	49
Tab. 32 Odběr P na tunu produkce [kg/t] kukuřice při 100% sušíně na Suchdole.....	49
Tab. 33 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Červený Újezd .....	51
Tab. 34 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušíně v Č. Újezdě.....	52
Tab. 35 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Hněvčeves .....	52
Tab. 36 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušíně v Hněvčevsi.....	53
Tab. 37 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Humpolec.....	53
Tab. 38 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušíně v Humpolci.....	54
Tab. 39 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Lukavec.....	54
Tab. 40 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušíně v Lukavci.....	55
Tab. 41 Odběr draslíku [kg/ha] rostlinami za rotaci plodin na stanovišti Suchdol .....	55
Tab. 42 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] při 100% sušíně na Suchdole .....	56
Tab. 43 Průměrný odběr K na tunu produkce [kg/t] kukuřice při 100% sušíně v Č. Újezdě...	58
Tab. 44 Odběr K na tunu produkce [kg/t] kukuřice při 100% sušíně na Suchdole.....	59
Tab. 45 Změna obsahu přístupného fosforu [mg/kg] po 17 letech trvání pokusu (1996 - 2013) .....	60
Tab. 46 Změna obsahu přístupného draslíku [mg/kg] po 17 letech trvání pokusu (1996 - 2013) .....	67
Tab. 47 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Č. Újezd za období 1997 - 2013.....	75
Tab. 48 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Hněvčeves za období 1997 - 2013 .....	76
Tab. 49 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Humpolec za období 1997 - 2013 .....	76
Tab. 50 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Lukavec za období 1997 - 2013 .....	77
Tab. 51 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Suchdol za období 1997 - 2013.....	78
Tab. 52 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Č. Újezd za období 1997 - 2013.....	79
Tab. 53 Bilance fosforu [kg P ha/rok] na stanovišti Suchdol za období 1997 - 2013.....	79
Tab. 54 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Č. Újezd za období 1997 - 2013.....	82
Tab. 55 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Hněvčeves za období 1997 - 2013 .....	82
Tab. 56 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Humpolec za období 1997 - 2013 .....	83
Tab. 57 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Lukavec za období 1997 - 2013 .....	84
Tab. 58 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Suchdol za období 1997 - 2013.....	84
Tab. 59 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Č. Újezd za období 1997 - 2013.....	85
Tab. 60 Bilance draslíku [kg K ha/rok] na stanovišti Suchdol za období 1997 - 2013.....	86

Tab. 61 Statistické charakteristiky variability $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Č. Újezd .....	89
Tab. 62 Statistické charakteristiky variability $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Hněvčeves.....	90
Tab. 63 Statistické charakteristiky variability $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Humpolec.....	91
Tab. 64 Statistické charakteristiky variability $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Lukavec .....	92
Tab. 65 Statistické charakteristiky variability $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Suchdol .....	93
Tab. 66 Statistické charakteristiky variability $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Suchdol (2013) .....	94
Tab. 67 Statistické charakteristiky variability $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , obsahu přístupného P a K na stanovišti Č. Újezd (2013) .....	95
Tab. 68 Hodnota CV [%] na stanovišti Suchdol v roce 2012 a 2013 .....	96
Tab. 69 Hodnota CV [%] na stanovišti Červený Újezd v roce 2012 a 2013 .....	96

## Seznam obrázků

Obr. 1: Terestrické schéma cyklu živin upravené dle McLaughlin et al. (1999) .....	3
Obr. 2: Cyklus P v půdě: komponenty a měřitelné frakce (Sharpley et Menzel, 1987).....	9
Obr. 3: Fixace fosforu při různých hodnotách pH půdy .....	10
Obr. 4: Náčrt vzorkovacích schémat. Obrázek 4a – odběr podle systematického utříděného nevyrovnaného schématu, obrázek 4b – odběr podle úhlopříčky, obrázek 4c – odběr na přičce středem parcely .....	29

## Seznam grafů

Graf č. 1 Průměrné roční výnosy monokultury kukuřice za období 1997 – 2013 na stanovišti Červený Újezd při 100% sušině .....	39
Graf č. 2 Průměrné roční výnosy monokultury kukuřice za období 1997 – 2013 na stanovišti Suchdol při 100% sušině. ....	39
Graf č. 3 Porovnání celkových odběrů P [kg/ha] s kontrolní variantou (100 %) na jednotlivých stanovištích za období 1997 – 2013.....	41
Graf č. 4 Celkové odběry fosforu [kg/ha] kukuřicí na siláž za období 1997 – 2013 na jednotlivých variantách a porovnání (%) s kontrolní variantou na stanovišti Červený Újezd .	48

Graf č. 5 Celkové odběry fosforu [kg/ha]kukuřicí na siláž za období 1997 – 2013 na jednotlivých variantách a porovnání (%) s kontrolní variantou na stanovišti Suchdol .....	49
Graf č. 6 Porovnání celkových odběrů K [kg/ha] s kontrolní variantou (100 %) na jednotlivých stanovištích za období 1997 – 2013.....	51
Graf č. 7 Celkové odběry draslíku [kg/ha]kukuřicí na siláž za období 1997 – 2013 na jednotlivých variantách a porovnání (%) s kontrolní variantou na stanovišti Červený Újezd .....	57
Graf č. 8 Celkové odběry draslíku [kg/ha]kukuřicí na siláž za období 1997 – 2013 na jednotlivých variantách a porovnání (%) s kontrolní variantou na stanovišti Suchdol .....	58
Graf č. 9 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Červený Újezd .....	61
Graf č. 10 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Hněvčeves .....	62
Graf č. 11 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Humpolec .....	63
Graf č. 12 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Lukavec .....	63
Graf č. 13 Obsah přístupného P v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Suchdol .....	64
Graf č. 14 Obsah přístupného P v půdě v roce 1993 na začátku pokusu a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Červený Újezd .....	65
Graf č. 15 Obsah přístupného P v půdě v roce 1995 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného P v roce 2013 na stanovišti Suchdol .....	66
Graf č. 16 Obsah přístupného K v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Červený Újezd. ....	68
Graf č. 17 Obsah přístupného K v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Hněvčeves .....	69
Graf č. 18 Obsah přístupného K v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Humpolec.....	69
Graf č. 19 Obsah přístupného K v půdě v roce 1996 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Lukavec.....	70
Graf č. 20 Obsah přístupného K v půdě v roce 1995 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Suchdol .....	71
Graf č. 21 Obsah přístupného K v půdě v roce 1993 na začátku pokusu a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Červený Újezd. ....	72
Na stanovišti Suchdol byly jako vstupní vzorky využity archivní vzorky z podzimu 1995. ....	73

Graf č. 22 Obsah přístupného K v půdě v roce 1995 a statistické vyhodnocení obsahu přístupného K v roce 2013 na stanovišti Suchdol. .... 73

## Seznam příloh

Příloha 1 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Č. Újezd.....	123
Příloha 2 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Hněvčeves.....	123
Příloha 3 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Humpolec.....	124
Příloha 4 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Lukavec .....	124
Příloha 5 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Suchdol.....	125
Příloha 6 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] v zrně ječmene jarního .....	125
Příloha 7 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] ve slámě ječmene jarního .....	125
Příloha 8 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] v zrně pšenice ozimé .....	126
Příloha 9 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] ve slámě pšenice ozimé .....	126
Příloha 10 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] v hlízách brambor (*kukuřice nadzemní biomasy) .....	126
Příloha 11 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] v zrně ječmene jarního .....	127
Příloha 12 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] ve slámě ječmene jarního .....	127
Příloha 13 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] v zrně pšenice ozimé.....	127
Příloha 14 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] ve slámě pšenice ozimé.....	128
Příloha 15 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] v hlízách brambor (*kukuřice nadzemní biomasy) .....	128
Příloha 16 Průměrný obsah P a K [mg/kg] v nadzemní biomase kukuřice na stanovišti Č. Újezd.....	128
Příloha 17 Průměrný obsah P a K [mg/kg] v nadzemní biomase kukuřice na stanovišti Suchdol .....	128
Příloha 18 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Č. Újezdě.....	129
Příloha 19 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Hněvčevsi .....	129
Příloha 20 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Humpolci.....	130
Příloha 21 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Lukavci.....	130
Příloha 22 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Suchdole.....	131
Příloha 23 Obsah přístupného fosforu v půdě [mg/kg] v roce 1996 v pokusu s rotací plodin .....	131

Příloha 24 Obsah přístupného fosforu v půdě [mg/kg] v roce 2013 v pokusu s rotací plodin .....	131
Příloha 25 Obsah přístupného fosforu v půdě [mg/kg] v monokukluře Č. Újezd.....	132
Příloha 26 Obsah přístupného fosforu v půdě [mg/kg] v monokukluře Suchdol.....	132
Příloha 27 Obsah přístupného draslíku v půdě [mg/kg] v roce 1996 v pokusu s rotací plodin .....	132
Příloha 28 Obsah přístupného draslíku v půdě [mg/kg] v roce 2013 v pokusu s rotací plodin .....	132
Příloha 29 Obsah přístupného draslíku v půdě [mg/kg] v monokukluře Č. Újezd .....	133
Příloha 30 Obsah přístupného draslíku v půdě [mg/kg] v monokukluře Suchdol.....	133
Příloha 31 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Červený Újezd.....	133
Příloha 32 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Hněvčeves .....	134
Příloha 33 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Humpolec .....	134
Příloha 34 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Lukavec .....	135
Příloha 35 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Suchdol.....	135
Příloha 36 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Červený Újezd.....	136
Příloha 37 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Hněvčeves .....	136
Příloha 38 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Humpolec .....	137
Příloha 39 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Lukavec .....	137
Příloha 40 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Suchdol.....	138



# Přílohy

Příloha 1 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Č. Újezd

varianta	ječmen jarní		pšenice ozimá		kukuřice
	zrno	sláma	zrno	sláma	nadzemní hmota
kontrola	100	100	100	100	100
kal 1	135	121	149	163	124
kal 3	148	149	169	194	131
hnůj	133	118	141	149	120
N	156	156	175	216	123
NPK	161	162	172	215	134
N+sláma	168	163	165	229	132

Příloha 2 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Hněvčeves

varianta	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
kontrola	100	100	100	100	100
kal 1	136	121	149	149	153
kal 3	144	137	152	147	164
hnůj	127	113	142	134	151
N	152	137	156	159	159
NPK	168	145	154	178	169
N+sláma	158	133	154	171	164

Příloha 3 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Humpolec

varianta	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
kontrola	100	100	100	100	100
kal 1	122	116	140	142	133
kal 3	145	144	151	163	140
hnůj	124	118	118	128	137
N	159	154	151	156	148
NPK	172	171	159	163	132
N+sláma	164	158	157	169	134

Příloha 4 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Lukavec

varianta	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
kontrola	100	100	100	100	100
kal 1	126	109	151	123	136
kal 3	155	129	203	142	158
hnůj	132	131	150	127	131
N	185	150	245	191	150
NPK	190	160	247	179	157
N+sláma	183	139	235	166	142

Příloha 5 Porovnání výnosu [%] s kontrolní variantou na stanovišti Suchdol

varianta	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
kontrola	100	100	100	100	100
kal 1	111	118	124	135	119
kal 3	141	146	136	155	127
hnůj	102	118	110	122	121
N	127	143	134	156	112
NPK	132	137	140	158	126
N+sláma	133	151	133	163	115

Příloha 6 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] v zrně ječmene jarního

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	3507	3490	3478	3533	3358	3401	3430
Hněvčeves	3661	3373	3420	3443	3104	3321	2933
Humpolec	4099	4020	3641	3520	3343	3192	3386
Lukavec	3294	3230	3265	3060	3569	3387	3630
Suchdol	3040	3049	3037	3260	3047	3203	2899

Příloha 7 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] ve slámě ječmene jarního

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	1315	1115	1106	1373	1043	1376	1300
Hněvčeves	903	887	963	837	627	818	635
Humpolec	1270	1291	1316	1181	1089	886	895
Lukavec	1918	1442	1731	1618	1305	1358	1275
Suchdol	1140	1049	1061	1210	716	827	786

Příloha 8 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] v zrně pšenice ozimé

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	3376	3335	3317	3238	3119	3554	3448
Hněvčeves	3151	2921	3187	3342	3065	3302	3283
Humpolec	3767	3687	3409	3659	3723	3042	3595
Lukavec	3815	3592	3864	3682	3489	3459	3261
Suchdol	2978	3007	3403	2916	3494	2924	2834

Příloha 9 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] ve slámě pšenice ozimé

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	920	797	790	887	722	955	825
Hněvčeves	580	512	595	495	292	450	408
Humpolec	621	666	664	636	631	406	484
Lukavec	1428	1362	1191	1108	534	856	577
Suchdol	652	632	691	735	652	529	578

Příloha 10 Průměrný obsah fosforu [mg/kg] v hlízách brambor (\*kukuřice nadzemní biomasy)

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd*	2192	2298	2446	2527	2283	2311	2092
Hněvčeves	2195	2446	2316	2310	1956	2031	1835
Humpolec	1807	1868	1921	2067	1838	1691	1836
Lukavec	1966	1859	2007	2083	1902	1913	1956
Suchdol	2122	2291	2391	2309	2046	1905	2319

Příloha 11 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] v zrně ječmene jarního

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	N+sláma	NPK
Č. Újezd	4995	5194	5012	5289	5007	5045	4907
Hněvčeves	4282	4645	4799	4961	4322	4796	4566
Humpolec	4713	4562	4943	5144	4517	4825	4736
Lukavec	5088	5339	5183	5512	5269	5080	5005
Suchdol	4787	4823	5185	4737	4980	5053	4643

Příloha 12 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] ve slámě ječmene jarního

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	8260	8361	8714	8268	8951	11413	10148
Hněvčeves	8266	10988	9565	9453	11146	13627	9291
Humpolec	11680	10553	9924	10195	10691	11048	11331
Lukavec	10584	9754	11722	10662	10578	11229	10561
Suchdol	7161	7429	7640	8184	8724	8584	7878

Příloha 13 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] v zrně pšenice ozimé

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	4372	4169	4123	4474	3732	3821	3843
Hněvčeves	3313	3190	3240	3445	3046	3544	3182
Humpolec	3444	3195	3212	3091	3068	2869	3050
Lukavec	3914	3740	3656	4103	3558	3527	3476
Suchdol	3914	4176	4330	4209	3812	4500	3853

Příloha 14 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] ve slámě pšenice ozimé

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	9015	8873	9859	9025	10772	12464	10891
Hněvčeves	7073	7479	8686	8036	7599	8466	8065
Humpolec	11049	11513	12846	9738	11015	13218	11938
Lukavec	8188	8028	7686	8628	7147	7976	6644
Suchdol	6855	7967	7840	7773	9062	8372	7928

Příloha 15 Průměrný obsah draslíku [mg/kg] v hlízách brambor (\*kukuřice nadzemní biomasy)

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd*	6731	6991	6890	8145	7775	8572	8597
Hněvčeves	20064	18121	16518	19803	18354	20756	18401
Humpolec	20958	17492	16441	21128	20490	20757	20130
Lukavec	21329	17654	19425	19995	19334	21655	23781
Suchdol	17806	13143	14426	18217	15104	15524	17800

Příloha 16 Průměrný obsah P a K [mg/kg] v nadzemní biomase kukuřice na stanovišti Č. Újezd

	kontrola	hnůj	kal	N	NPK	N+sláma
fosfor	1974	2044	1939	1944	1991	1946
draslík	6661	8844	6759	6826	8437	7230

Příloha 17 Průměrný obsah P a K [mg/kg] v nadzemní biomase kukuřice na stanovišti Suchdol

	kontrola	N 120	kal 120	N 240	kal 240
fosfor	2040	1852	1956	1908	1994
draslík	6908	6961	7064	7369	7417

Příloha 18 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Č. Újezdě

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		kukuřice
	zrno	sláma	zrno	sláma	nadzemní hmota
kontrola	15,5	9,7	20,3	12,9	64,9
kal 1	20,8	11,3	28,4	18,0	81,6
kal 3	23,2	12,3	33,6	23,0	89,3
hnůj	21,3	10,6	26,3	17,2	81,9
N	25,4	13,3	35,6	27,6	85,4
NPK	26,7	14,2	36,1	25,9	91,0
N+sláma	24,9	14,3	34,9	28,2	90,3

Příloha 19 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Hněvčevsi

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
kontrola	18,0	13,4	28,7	22,3	31,5
kal 1	24,6	16,4	42,4	32,1	41,6
kal 3	27,3	18,8	44,2	29,8	44,6
hnůj	24,7	17,6	42,2	28,9	48,4
N	26,7	19,4	45,7	37,0	44,9
NPK	29,5	20,3	45,1	39,7	46,1
N+sláma	26,3	18,4	42,9	38,1	45,1

Příloha 20 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Humpolci

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
kontrola	15,3	10,1	23,0	17,3	36,0
kal 1	17,8	11,1	30,1	23,0	46,5
kal 3	21,0	13,5	35,9	29,2	45,8
hnůj	19,1	13,0	25,1	21,0	49,8
N	23,4	13,7	35,3	27,1	47,2
NPK	26,0	16,3	37,9	30,0	46,5
N+sláma	25,1	13,5	38,1	31,6	48,1

Příloha 21 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Lukavci

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
kontrola	10,8	10,6	15,1	15,4	29,8
kal 1	12,8	12,7	20,6	17,1	41,8
kal 3	16,0	18,0	29,4	19,6	46,8
hnůj	14,3	16,4	23,8	18,1	44,5
N	18,6	17,0	34,1	30,8	51,7
NPK	18,8	19,0	34,9	25,7	51,2
N+sláma	17,5	15,7	32,3	24,2	45,0



Příloha 22 Celkový výnos [kg/ha] plodin ve sledovaném bloku v Suchdole

(sušina 100 %)	ječmen jarní		pšenice ozimá		brambory
	zrno	sláma	zrno	sláma	hlízy
kontrola	17,5	8,0	23,1	13,9	22,8
kal 1	19,2	9,1	27,9	19,2	27,7
kal 3	27,9	13,4	33,0	25,0	30,1
hnůj	17,2	11,5	23,3	17,1	28,3
N	25,5	14,2	31,6	24,6	27,2
NPK	26,7	13,7	34,5	27,3	32,0
N+sláma	26,9	14,3	33,2	28,0	28,2

Příloha 23 Obsah přístupného fosforu v půdě [mg/kg] v roce 1996 v pokusu s rotací plodin

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	N+sláma	NPK
Č. Újezd	119,0	117,5	110,5	116,5	142,0	165,5	174,0
Hněvčeves	70,8	80,7	75,9	69,2	73,2	91,3	86,7
Humpolec	123,5	102,5	110,5	135,5	124,5	138,5	145,5
Lukavec	198,0	192,5	196,0	187,0	202,0	203,5	197,0
Suchdol	95,6	71,7	89,3	69,3	69,0	67,5	63,4

Příloha 24 Obsah přístupného fosforu v půdě [mg/kg] v roce 2013 v pokusu s rotací plodin

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	74,2	224,5	368,3	153,4	85,0	129,7	119,6
Hněvčeves	86,2	206,6	283,9	140,8	74,0	79,4	70,5
Humpolec	113,8	133,9	181,0	116,4	181,1	113,5	84,2
Lukavec	153,9	232,9	331,4	243,3	158,3	147,8	154,9
Suchdol	92,1	154,5	212,0	87,7	46,9	59,9	52,7

Příloha 25 Obsah přístupného fosforu v půdě [mg/kg] v monokukluře Č. Újezd

	kontrola	kal	hnůj	N	NPK	N+sláma
1993	157,3	167,3	215,4	146,8	141,9	159,8
2013	113,8	271,8	264,5	89,5	140,0	101,7

Příloha 26 Obsah přístupného fosforu v půdě [mg/kg] v monokukluře Suchdol

	kontrola	N 120	kal 120	N 240	kal 240
1995	191,6	166,9	200,3	164,0	197,0
2013	140,1	115,0	224,9	111,7	274,4

Příloha 27 Obsah přístupného draslíku v půdě [mg/kg] v roce 1996 v pokusu s rotací plodin

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	213,9	193,2	199,6	166,2	166,7	186,9	171,0
Hněvčeves	184,4	170,1	155,8	139,2	212,4	231,3	179,8
Humpolec	177,9	206,5	181,0	212,8	203,3	196,9	220,8
Lukavec	312,4	277,4	295,4	281,1	288,0	325,6	315,6
Suchdol	257,0	230,7	268,5	224,4	250,7	217,5	218,7

Příloha 28 Obsah přístupného draslíku v půdě [mg/kg] v roce 2013 v pokusu s rotací plodin

	kontrola	kal 1	kal 3	hnůj	N	NPK	N+sláma
Č. Újezd	144,5	166,2	182,1	194,6	128,6	227,8	161,4
Hněvčeves	156,3	144,2	147,6	208,0	176,3	167,4	154,2
Humpolec	134,4	125,9	135,6	175,5	132,1	197,8	146,0
Lukavec	231,2	222,3	233,0	280,2	204,7	243,3	215,3
Suchdol	212,7	199,5	202,8	206,5	213,5	234,4	191,2

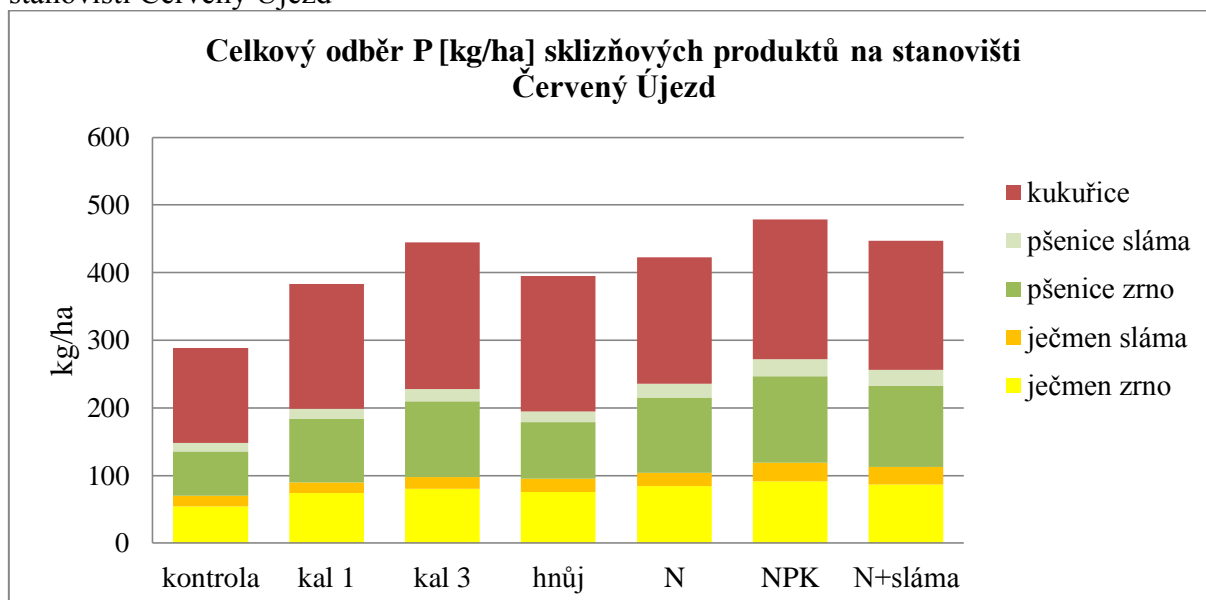
Příloha 29 Obsah přístupného draslíku v půdě [mg/kg] v monokukluře Č. Újezd

	kontrola	kal	hnůj	N	NPK	N+sláma
1993	197,9	197,6	285,9	204,1	179,8	201,7
2013	146,9	132,2	255,8	132,7	231,1	148,6

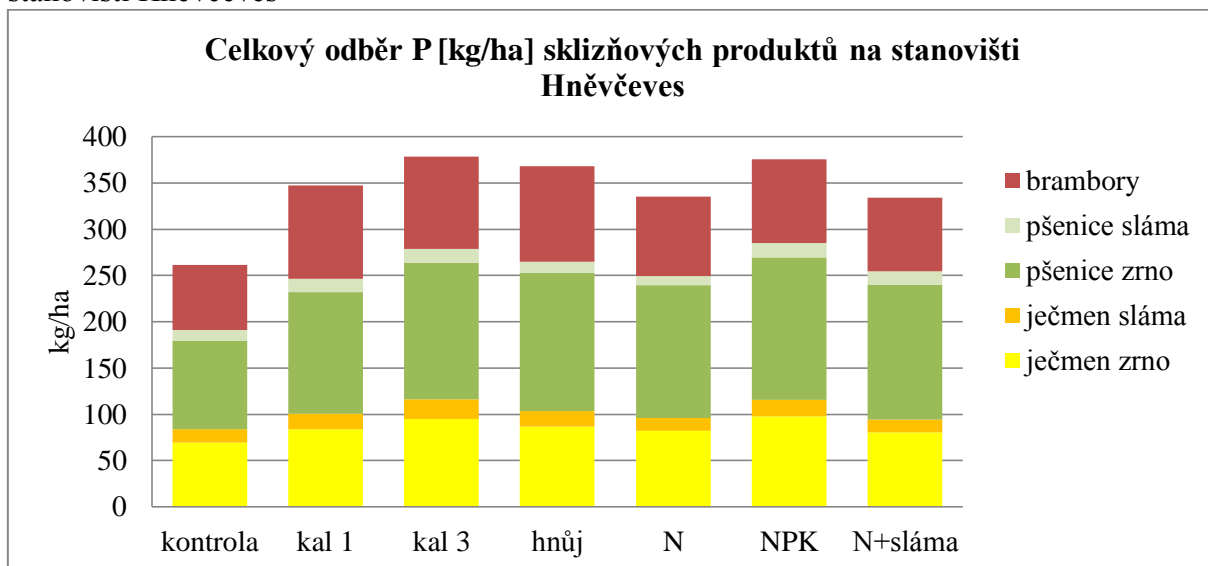
Příloha 30 Obsah přístupného draslíku v půdě [mg/kg] v monokukluře Suchdol

	kontrola	N 120	kal 120	N 240	kal 240
1995	301,5	277,8	303,5	280,0	303,1
2013	227,2	215,1	223,3	211,6	230,5

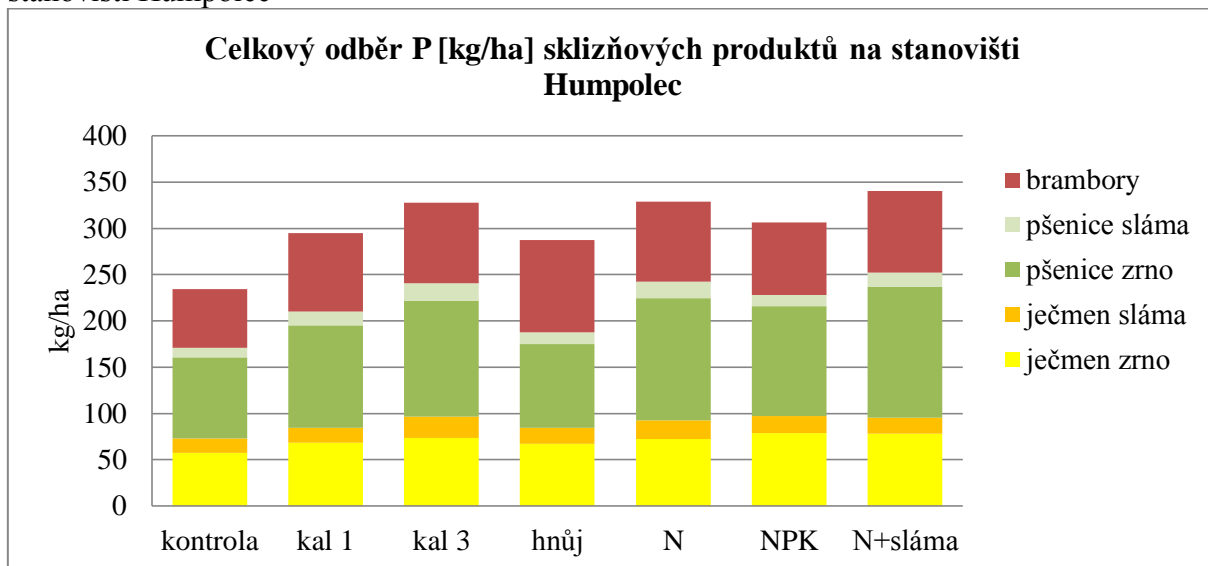
Příloha 31 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Červený Újezd



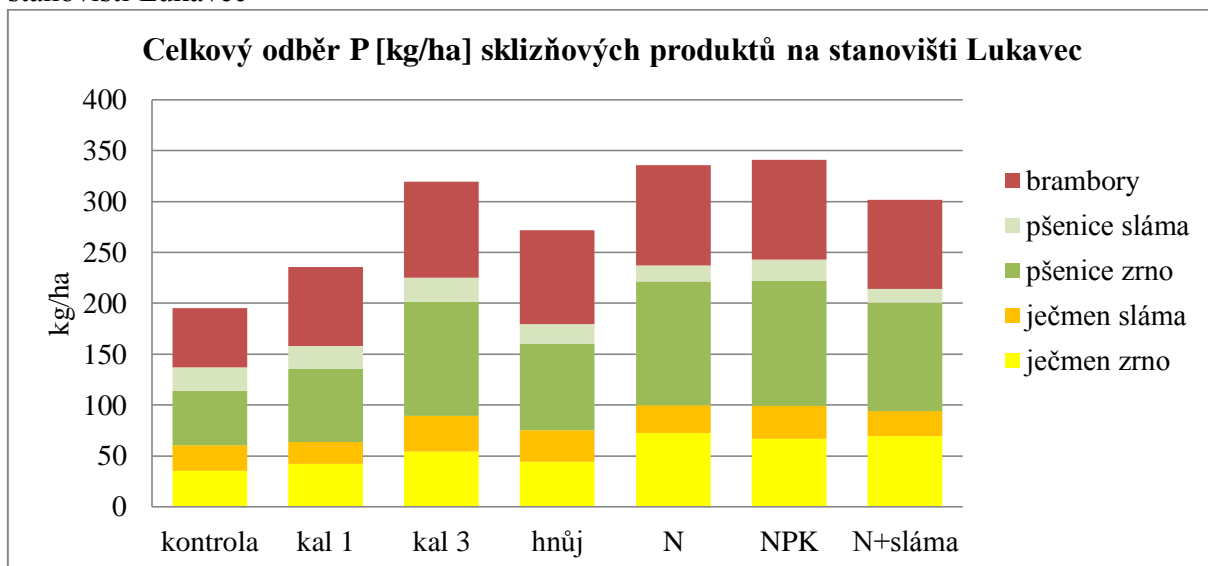
Příloha 32 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Hněvčeves



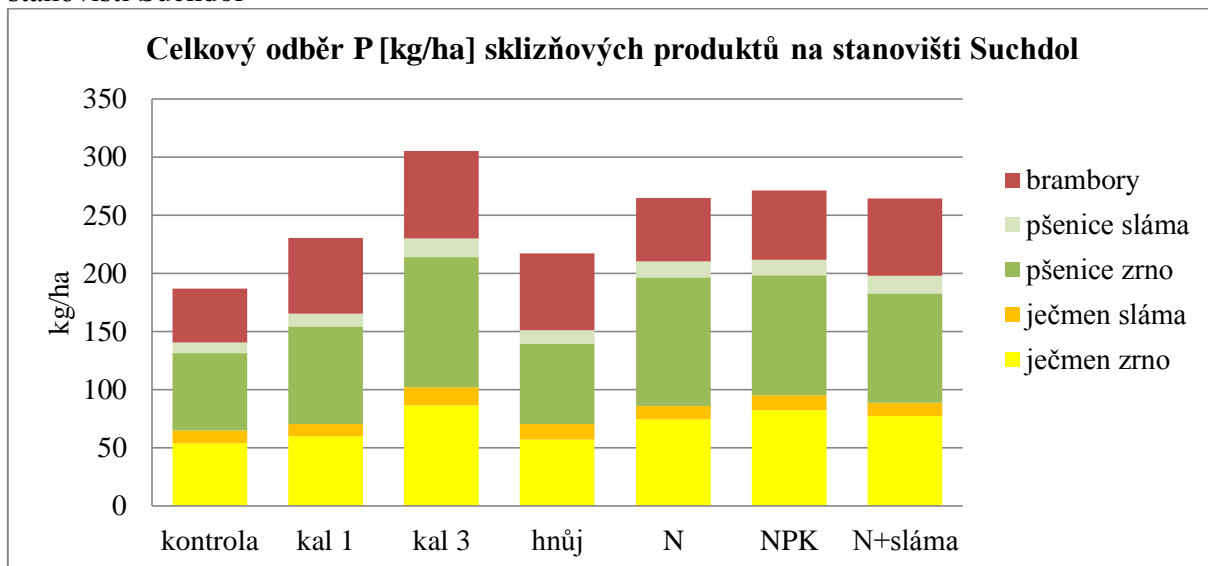
Příloha 33 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Humpolec



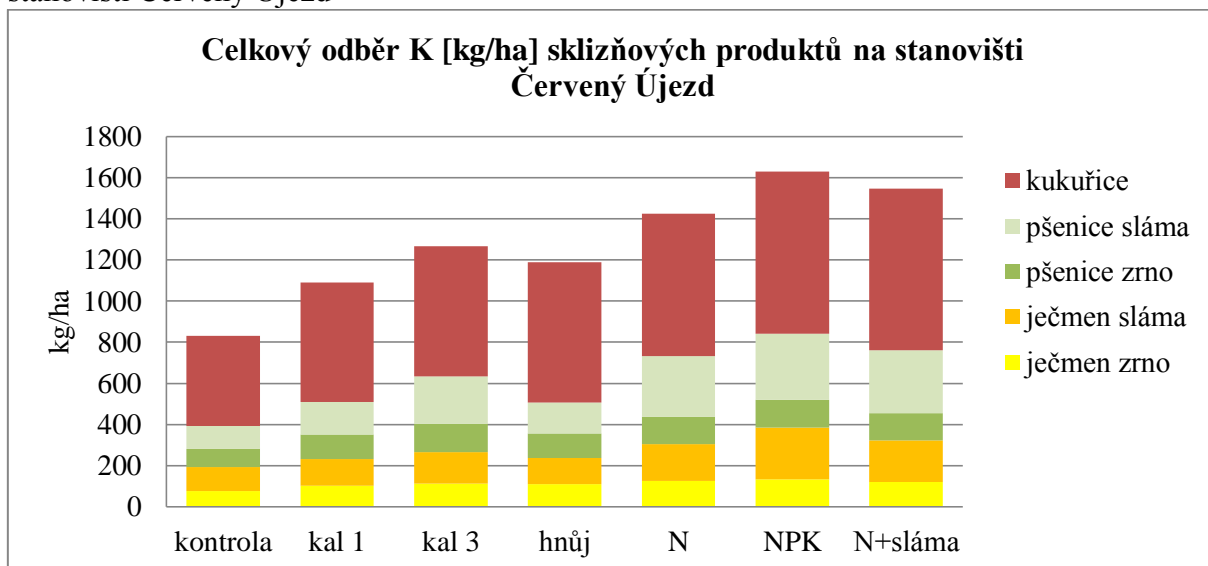
Příloha 34 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Lukavec



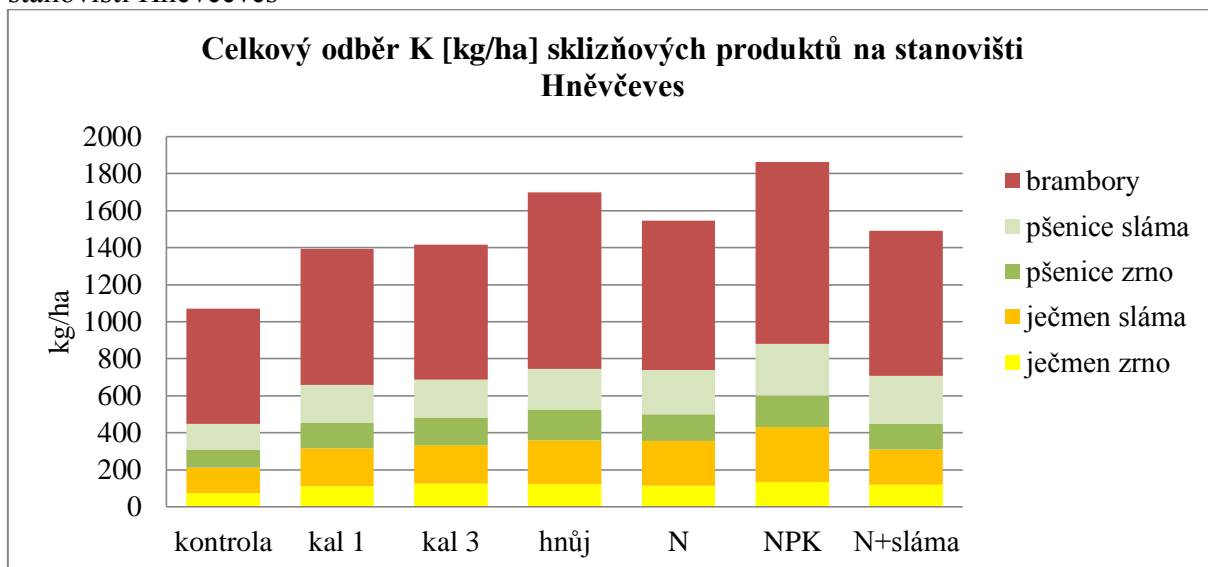
Příloha 35 Celkový odběr P [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Suchdol



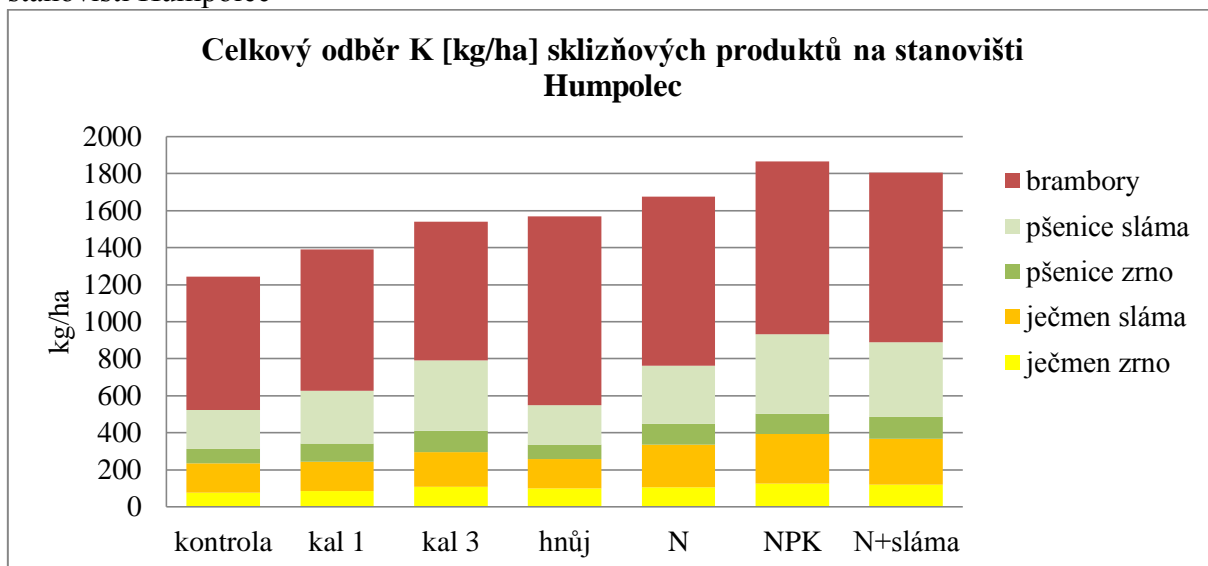
Příloha 36 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Červený Újezd



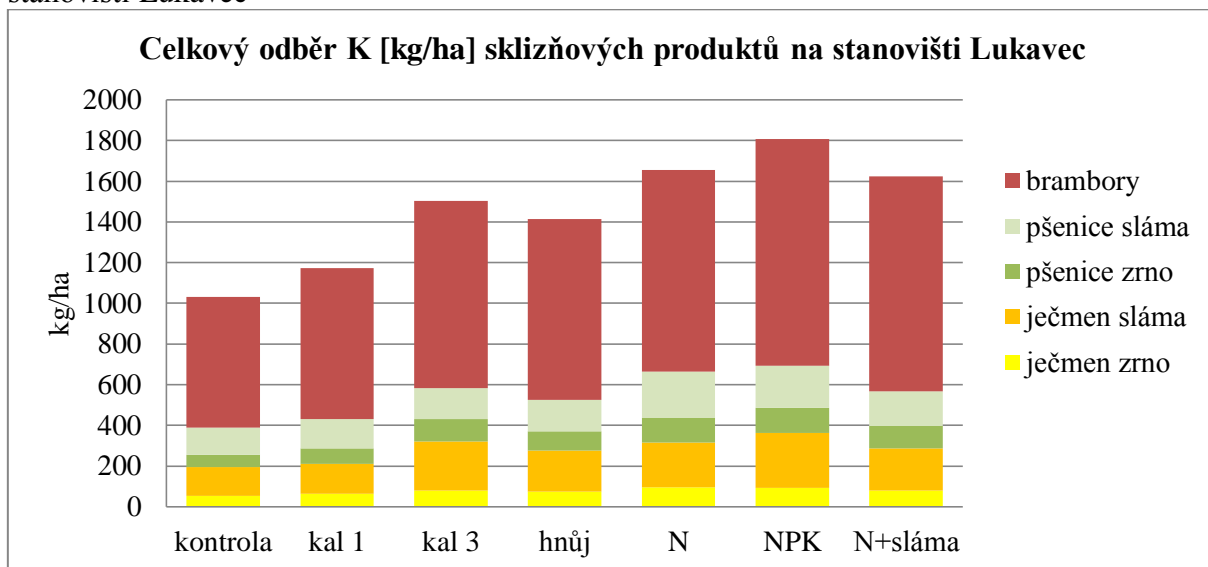
Příloha 37 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Hněvčeves



Příloha 38 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Humpolec



Příloha 39 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Lukavec



Příloha 40 Celkový odběr K [kg/ha] sklizňových produktů za období 1997 – 2013 na stanovišti Suchdol

