

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Hnojení pšenice ozimé draslíkem v dlouhodobých  
přesných polních pokusech**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Ludmila Veberová**

**Obor studia: Výživa a ochrana rostlin**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.**

**© 2021 ČZU v Praze**



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Hnojení pšenice ozimé draslíkem v dlouhodobých přesných polních pokusech" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26. 4. 2021

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Martinovi Kulhánkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, za jeho vstřícný přístup, trpělivost, cenné rady, připomínky a vtipné komentáře, lepšího vedoucího jsem si přát nemohla. Dále děkuji za veškerou podporu také své rodině, přátelům a kolegům.

# Hnojení pšenice ozimé draslíkem v dlouhodobých přesných polních pokusech

## Souhrn

I přes to, že se draslík často udává jako třetí nejvýznamnější makroprvek ve výživě rostlin, hnojení draslíkem je v současné době velmi podceňováno. Za posledních 20 let došlo k výraznému poklesu přísunu draselných hnojiv do půdy, hnojení draslíkem je nedostačující a dochází k čerpání draslíku z půdní zásoby.

V rámci této diplomové práce jsou hodnoceny různé systémy hnojení pšenice ozimé v dlouhodobých přesných polních pokusech, a to se zaměřením na vyhodnocení různých frakcí půdního draslíku a výnosy zrna. Znalost různých frakcí draslíku v půdě je totiž nezbytná pro udržitelnou produkci plodin, rostliny nepřijímají pouze draslík z půdního roztoku a výměnný draslík, ale jsou schopny absorbovat také část nevýměnného draslíku.

Různé systémy hnojení ovlivnily obsah přístupného draslíku v půdě. U variant hnojených hnojem docházelo ke zvýšení obsahu přístupného draslíku v půdě. Naopak největší snížení obsahu přístupného draslíku bylo zaznamenáno u variant hnojených dusíkem a slámou, a to u všech sledovaných stanovišť. Nejmenší vliv na obsah okamžitě přístupného draslíku v půdě mělo hnojení čistírenskými kaly. Nepřístupné formy draslíku však nebyly ovlivněny různými systémy hnojení tak výrazně.

Nejlepší výsledky z hlediska změn obsahu draslíku za 21 let pokusu (nárůst obsahu draslíku či nejmenší snížení obsahu draslíku z hnojených variant) byly zaznamenány u variant hnojených hnojem. Prokázalo se tak, že aplikace chlévského hnoje představuje zdroj draslíku na delší období.

Zároveň byly hodnoceny také výnosy ozimé pšenice. Nejvyšší výnosy zrna a slámy byly zaznamenány na variantách hnojených NPK a na variantách N + sláma. Nejnižší výnosy byly zaznamenány u nehnojené kontroly. Všechny varianty hnojení tedy měly pozitivní vliv na výnos ozimé pšenice.

V neposlední řadě byla hodnocena i bilance draslíku za 21 let pokusu, která u většiny variant hnojení vycházela záporná, pouze u varianty hnůj a u varianty NPK bylo dosaženo na většině stanovišť kladné bilance. U ostatních variant hnojení tedy docházelo k postupnému prohlubování deficitu draslíku v půdě.

Při hnojení minerálními hnojivy (NPK) bylo dosaženo nejvyšších výnosů a většinou také kladné bilance draslíku v půdě. Přesto se jako výhodnější a udržitelnější jeví systém kombinace hnojení hnojem s minerálními hnojivy (NPK). Pomocí hnojení hnojem se totiž do půdy navrácí také organická hmota a další živiny, což zvyšuje úrodnost a kvalitu půdy, navíc hnůj v půdě působí po delší časové období.

**Klíčová slova:** Draslík v půdě a v rostlině; organická a minerální hnojiva; frakcionace půdního draslíku

# Potassium fertilizing of winter wheat in long-term field experiments

## Summary

Despite the fact that potassium is often cited as the third most important macroelement in plant nutrition, potassium fertilization is currently very underestimated. There has been a significant decrease in the supply of potassium fertilizers to the soil over the last 20 years. Fertilization is often insufficient and potassium is draining from the soil reserves.

In this thesis, various systems of winter wheat fertilization in long-term field experiments were evaluated, mainly focusing on different fractions of potassium in the soil and grain yields. Awareness of the various fractions of potassium in the soil is essential for a sustainable crop production. Plants not only absorb water-soluble and exchangeable potassium but are also able to take up part of the non-exchangeable potassium.

Used fertilization systems affected the bioavailable potassium content in the soil. In the case of farmyard manure (FYM) fertilized variants the content of available potassium increased over time. On the contrary the biggest decrease of available potassium content was monitored on all locations in the variants fertilized with nitrogen and straw. Fertilization with sewage sludge had the least effect on the content of immediately available potassium. Inaccessible forms of potassium were not significantly affected by any system of fertilization.

The best results in terms of in potassium content changes (increase or the smallest decrease) were recorded in the variants fertilized with FYM. Its application was proven as a source of potassium for extended periods of time.

Grain and straw yields were also evaluated. The highest yields were recorded on the mineral NPK variants and the variants fertilized with N + straw. Unfertilized control had the lowest yields. All variants of fertilization had a positive effect on the yield of winter wheat.

The overall potassium balance was evaluated for the whole duration of the experiment (21 years). This balance was negative for the most of the variants only the FYM variant and the NPK variant have demonstrated a positive balance at most sites. There was a gradual deepening of the potassium deficit at the other fertilization variants.

The highest yields and also mostly a positive balance of potassium in the soil were achieved while using mineral NPK. Despite this fact the more advantageous and sustainable system seemed to be the combination of FYM and mineral (NPK) fertilization. Thanks to manure fertilization organic matter and other nutrients are being introduced into the soil. This increases the fertility and quality of the soil. In addition to that, manure maintains the fertilization effect for longer period of time.

**Keywords:** Potassium in soil and in plants; organic and mineral fertilizers; fractionation of soil potassium

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Úvod.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>                                   | <b>10</b> |
| <b>3 Literární rešerše .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>3.1 Draslík v půdě.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>3.2 Formy draslíku v půdě.....</b>  | <b>11</b> |
| 3.2.1 Nevýměnný draslík .....  | 12        |
| 3.2.1.1 Draslík v primárních a sekundárních minerálech .....                   | 12        |
| 3.2.1.2 Fixovaný draslík .....   | 13        |
| 3.2.2 Výměnný draslík.....   | 14        |
| 3.2.3 Vodorozpustný draslík.....   | 16        |
| 3.2.4 Organicky vázaný draslík .....   | 16        |
| <b>3.3 Příjem draslíku rostlinou .....</b>                                     | <b>17</b> |
| <b>3.4 Draslík v rostlině .....</b>  | <b>18</b> |
| 3.4.1 Role draslíku u ozimé pšenice .....                                      | 19        |
| 3.4.2 Nedostatek draslíku v rostlinách.....                                    | 19        |
| 3.4.3 Nadbytek draslíku v rostlinách .....                                     | 21        |
| <b>3.5 Možnosti hnojení draslíkem .....</b>                                    | <b>21</b> |
| 3.5.1 Hnojení draslíkem.....   | 22        |
| 3.5.2 Draselná minerální hnojiva .....   | 24        |
| 3.5.2.1 Hnojiva s draslíkem v chloridové formě .....                           | 25        |
| 3.5.2.2 Ostatní minerální hnojiva .....  | 26        |
| 3.5.3 Hnojení statkovými (organickými) hnojivy .....                           | 26        |
| 3.5.3.1 Hnůj .....   | 28        |
| 3.5.3.2 Močůvka a hnojůvka .....   | 28        |
| 3.5.3.3 Kejda.....   | 28        |
| 3.5.3.4 Kompost .....  | 29        |
| 3.5.3.5 Zelené hnojení .....   | 29        |
| 3.5.3.6 Zaorávka slámy .....   | 29        |
| <b>4 Metodika .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>4.1 Metodika .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>4.2 Analytická stanovení.....</b>   | <b>33</b> |
| 4.2.1 Extrakce půdy demineralizovanou vodou.....                               | 33        |
| 4.2.2 Obsah výměnného draslíku v půdě stanovený v roztoku octanu amonného..... | 33        |
| 4.2.3 Stanovení obsahu reziduálního draslíku lučavkou královskou.....          | 33        |
| 4.2.4 Obsah nevýměnného K stanovený horkou kyselinou dusičnou. ....            | 33        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 4.2.5      | Měření obsahu K ve výluzích .....   | 34        |
| 4.2.6      | Výnosy rostlin.....   | 34        |
| 4.2.7      | Statistické vyhodnocení .....   | 34        |
| <b>5</b>   | <b>Výsledky.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Hodnocení různých frakcí draslíku v půdě a výnosů pšenice v závislosti na hnojení v různých lokalitách .....</b> | <b>35</b> |
| 5.1.1      | Stanoviště Hněvčeves .....  | 35        |
| 5.1.1.1    | Hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku.....   | 35        |
| 5.1.1.2    | Hodnocení obsahu výměnného draslíku.....  | 36        |
| 5.1.1.3    | Hodnocení obsahu nevýměnného draslíku.....  | 37        |
| 5.1.1.4    | Hodnocení obsahu reziduálního draslíku .....  | 38        |
| 5.1.1.5    | Hodnocení výnosů zrna a slámy pšenice ozimé, odběry draslíku .....  | 38        |
| 5.1.2      | Stanoviště Lukavec .....  | 40        |
| 5.1.2.1    | Hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku.....   | 40        |
| 5.1.2.2    | Hodnocení obsahu výměnného draslíku.....  | 41        |
| 5.1.2.3    | Hodnocení obsahu nevýměnného draslíku.....  | 42        |
| 5.1.2.4    | Hodnocení obsahu reziduálního draslíku .....  | 43        |
| 5.1.2.5    | Hodnocení výnosů zrna a slámy pšenice ozimé, odběry draslíku .....  | 43        |
| 5.1.3      | Stanoviště Suchdol.....   | 45        |
| 5.1.3.1    | Hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku.....   | 45        |
| 5.1.3.2    | Hodnocení obsahu výměnného draslíku.....  | 46        |
| 5.1.3.3    | Hodnocení obsahu nevýměnného draslíku.....  | 46        |
| 5.1.3.4    | Hodnocení obsahu reziduálního draslíku .....  | 47        |
| 5.1.3.5    | Hodnocení výnosů zrna a slámy pšenice ozimé, odběry draslíku .....  | 48        |
| <b>6</b>   | <b>Diskuze.....</b>   | <b>51</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Hodnocení frakcí půdního draslíku.....</b>   | <b>51</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Hodnocení výnosů zrna a slámy a bilancí draslíku.....</b>  | <b>53</b> |
| <b>7</b>   | <b>Závěr .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>8</b>   | <b>Literatura.....</b>  | <b>56</b> |



# 1 Úvod

Pšenice ozimá je v České republice nejvíce pěstovanou plodinou. Co se týče živin, je ozimá pšenice poměrně náročná na jednotlivé živiny a z půdy jich odčerpá poměrně velké množství. Následně jsou živiny přemísťovány během vývoje rostlin do sklízených produktů – v zrna pšenice je obsažen především dusík a fosfor a ve slámě draslík a vápník. Draslík, na který je zaměřena tato práce, je jedním z prvků působících na tvorbu výnosu a na kvalitu zrna.

Draslík (K) je velmi důležitý prvek ve výživě a fyziologii rostlin. Bylo zjištěno, že hraje významnou roli v primárním metabolismu, aktivuje více než 60 enzymů, podporuje fotosyntézu, ovlivňuje turgor buněk, řídí otevírání průduch, zlepšuje využití dusíku, podporuje transport asimilátů a následně zvyšuje výnosy plodin. Draslík hraje významnou roli také v odolnosti plodin vůči suchu, zasolení, přesevětlení či chladu a v odolnosti plodin proti škůdcům a patogenům. Draslík navíc ovlivňuje mikrobiální populaci v rhizosféře a hraje klíčovou roli ve výživě a zdraví člověka a hospodářských zvířat (Yawson et al. 2011; Zörb et al. 2013).

Je prokázáno, že se zásoba draslíku v půdě snižuje kvůli odčerpávání živin z půdy v rámci různých systémů pěstování. Pro hnojení ozimé pšenice by měla být základem dobrá půdní úrodnost, hnojení draslíkem vychází hlavně z půdních vlastností. Bohužel je však hnojení draslíkem na většině území ČR výrazně podceňováno a odběry draslíku rostlinami jsou často vyšší než přísun draslíku do půdy a tím pádem dochází k čerpání draslíku z jeho půdních zásob a ke snižování půdní úrodnosti, která je základem udržitelného zemědělství.

Výsledky z dlouhodobých polních pokusů přispívají k lepšímu pochopení účinků hnojení na dostupnost živin a výnosy plodin. Dlouhodobé pokusy jsou totiž nenahraditelným zdrojem informací o dlouhodobých účincích agrotechnických opatření na půdní prostředí.

V rámci této diplomové práce jsou hodnoceny různé systémy hnojení pšenice ozimé v dlouhodobých přesných polních pokusech, a to se zaměřením na vyhodnocení různých frakcí půdního draslíku a výnosy zrna.

Znalost různých frakcí draslíku v půdě je totiž nezbytná pro udržitelnou produkci plodin, rostliny nepřijímají pouze draslík z půdního roztoku a výměnný draslík, ale jsou schopny absorbovat také část nevýměnného draslíku.

## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Předpokládáme, že různé systémy hnojení průkazně ovlivní obsah přístupného draslíku v půdě. Naopak nepřístupné formy nebudou ovlivněny tak výrazně. Dalším předpokladem je, že aplikace chlévského hnoje bude zdrojem stabilnějších forem K a bude tak představovat zdroj draslíku na delší období.

Cílem práce bude vyhodnotit různé systémy hnojení pšenice ozimé v dlouhodobých přesných polních pokusech, a to se zaměřením na vyhodnocení obsahu různých frakcí půdního K a výnosy zrna.

### 3 Literární rešerše

Draslík (K), latinsky *Kalium*, se řadí do skupiny alkalických kovů. Draslík je sedmý nejhojnější prvek a tvoří asi 2,4 % hmotnosti zemské kůry (Burke 2003).

Draslík je jedním z hlavních prvků důležitých pro výživu rostlin – přístupnost draslíku v půdě je jedním z limitujících faktorů v zemědělství (Oosterhuis & Berkowitz 1996). I přes to, že se draslík často udává jako třetí nejvýznamnější makroprvek ve výživě rostlin, hnojení draslíkem je v současné době velmi podceňováno. Za posledních 20 let došlo k výraznému poklesu přísunu draselných hnojiv do půdy, hnojení draslíkem je nedostačující a dochází k čerpání draslíku z půdní zásoby (Kulhánek et al. 2014). Průměrné zásoby draslíku v půdě jsou sice velké, ale většina z nich není rostlinám dostupná (Zörb et al. 2013).

#### 3.1 Draslík v půdě

Draslík (K) se v půdě nachází především v anorganických sloučeninách, v organických je obsažen jen zřídka (Prášková & Němec 2016; Vaněk et al. 2012). V půdě se draslík vyskytuje především v primárních a sekundárních křemičitanech.

Fotyma et al. (2012) uvádí, že průměrná koncentrace draslíku v půdě je 1,4 % a pohybuje se mezi 0,01 – 3,7 %. Blake et al. (1999) udává podobné hodnoty, tj. v průměru 1 % celkové rozmezí mezi 0,01 % a 4 %. Zörb et al. (2013) uvádí, že půdy obsahují 0,04 až 3 % K a obsah draslíku se ve vrchních 20 cm zemědělských půd pohybuje mezi 10 a 20 g/kg.

Dostupnost a využití draslíku rostlinami souvisí s obsahem jílu v půdě (Blake et al. 1999), jílové minerály obsahují větší množství draslíku – například illit obsahuje 3,5 – 8,3 % draslíku (Schön 2015), proto půdy s vyšším obsahem jílu obsahují větší množství draslíku. Naopak menší množství K vykazují písčité a rašelinové půdy (Vaněk et al. 2012).

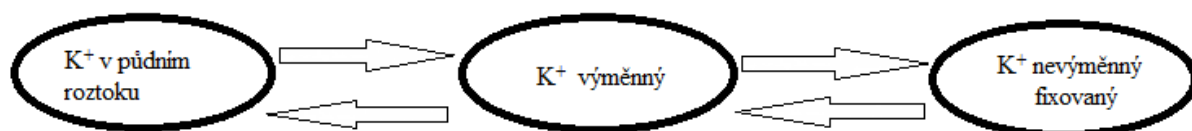
#### 3.2 Formy draslíku v půdě

Draslík v půdě lze rozdělit z hlediska druhu sorpce a přístupnosti draslíku rostlinám do tří skupin/složek:

- a) nevýměnný draslík
- b) výměnný draslík

c) vodorozpustný draslík (Prášková & Němec 2016; Vaněk et al. 2012). Na obrázku č. 1 jsou zobrazeny vztahy mezi složkami draslíku v půdě.

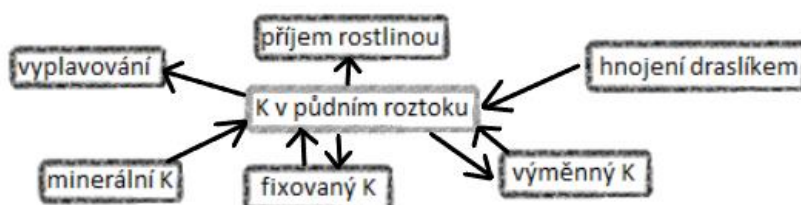
Obrázek č. 1: Vztahy mezi složkami draslíku v půdě (upraveno dle Vaněk et al. 2012)



Manickam & Dhakshinamoorthy (2014) rozdělují draslík do 4 forem – na draslík vodorozpustný, výměnný, nevýměnný (fixovaný) a na minerální draslík. Tyto frakce jsou

v dynamické rovnováze (viz obrázek č. 2). Pořadí dostupnosti draslíku v půdě rostlinám je následující: minerální < nevýměnný < výměnný < vodorozpustný.

Obrázek č. 2: Dynamická rovnováha jednotlivých forem draslíku v půdě (upraveno dle Sparks & Huang 1985)



Většina celkového draslíku v půdě se nachází v minerální formě. Obvykle minerální draslík tvoří přes 90 % celkového obsahu draslíku v půdě, na některých půdách může tvořit až 98 % celkového obsahu draslíku v půdě. Předpokládá se, že minerální draslík je rostlinám dostupný jen pomalu, jeho dostupnost je závislá na množství draslíku v ostatních formách a na stupni zvětvování živců a slídk tvořících minerální frakci (Sparks 2001; Manickam & Dhakshinamoorthy 2014).

Podle Sparks (2001) se pak nevýměnný či fixovaný draslík liší od minerálního draslíku tím, že není vázán uvnitř krystalových struktur minerálních částic v půdě. Nevýměnný/fixovaný draslík je pro rostliny pomalu dostupný a představuje 1-10 % celkového draslíku v půdě (Fotyma et al. 2012).

Uvolňování nevýměnného draslíku do výměnné formy nastává tehdy, když je snížena hladina vyměnitelného draslíku a draslíku v půdním roztoku – například při sklizni plodiny, vyluhování a pravděpodobně také při zvýšení mikrobiální aktivity (Cox et al. 1999; Sparks 2001). Výměnný (snadno dostupný) draslík tvoří přibližně 1-2 % celkového draslíku v půdě a je to hlavní forma přijatelného draslíku pro rostliny. Draslík v půdním roztoku (vodorozpustný K) hraje klíčovou roli ve výživě rostlin – pro rostliny to je nejlépe přijatelná forma draslíku, tvoří však maximálně 0,1 – 0,2 % celkového obsahu draslíku v horní vrstvě půdy (Fotyma et al. 2012; Vaněk et al. 2012).

Formy draslíku a rovnováha draslíku v půdě je ovlivňována fyzikálními, chemickými, biologickými a klimatickými faktory – např. vlhkostí, kationtovou výměnnou kapacitou, jílovou mineralogií, texturou, pH, koncentrací dalších iontů či hnojením a pěstováním plodin (Manickam & Dhakshinamoorthy 2014).

### 3.2.1 Nevýměnný draslík

#### 3.2.1.1 Draslík v primárních a sekundárních minerálech

Nevýměnný draslík se vyskytuje v primárních a sekundárních minerálech. Hlavním potenciálním zdrojem draslíku jsou primární minerály – hlinitokřemičitany (alumosilikáty), zejména živce a slídky – např. ortoklas, biotit, muskovit, sanidin a mikroklin (Vaněk et al. 2012).

Zvětráváním primárních minerálů (živců a slíd) vznikají sekundární jílové minerály, zejména illit, který obsahuje velké množství draslíku (Manning 2010; Murrell et al. 2021). Mezi minerály obsahující draslík řadíme kromě illitu například ortoklas, muskovit, biotit, amfibol a montmorillonit (Manickam & Dhakshinamoorthy 2014). Tabulka č. 1 udává obsahy draslíku v některých minerálech. Podle Vaněk et al. (2012) půdy průměrně obsahují 28 % K v jílové frakci, 25 % ve slídách a 40 % v živcích.

Tabulka č. 1: Obsahy draslíku (%) ve vybraných minerálech (upraveno dle Schön 2015)

| <b>Minerál</b>        | <b>Obsah K (%)</b> |
|-----------------------|--------------------|
| <b>bentonit</b>       | <0,5               |
| <b>biotit</b>         | 6,2 – 10           |
| <b>glaukonit</b>      | 5,08 – 5,3         |
| <b>chlorit</b>        | 0 – 0,3            |
| <b>illit</b>          | 3,8 – 8,3          |
| <b>kaolinit</b>       | 0 – 0,6            |
| <b>mikroclin</b>      | 10,9               |
| <b>montmorillonit</b> | 0,16               |
| <b>muskovit</b>       | 7,8 – 9,8          |
| <b>ortoklas</b>       | 11,8 – 14          |
| <b>plagioklas</b>     | 0,54               |
| <b>smektit</b>        | 0 – 1,5            |

Vaněk et al. (2007) uvádí, že při zvětrávacích procesech dochází k postupnému uvolňování draslíku a ke vzniku jílových minerálů, kde je draslík součástí mřížky. Draslík takto vázaný v mřížce jílových minerálů však může být postupně z mřížky uvolňován a při vhodných podmínkách přecházet do výměnné formy. Do výměnné formy přechází nevýměnná forma draslíku hlavně při zvětrávání. Proces zvětrávání je ovlivňován klimatickými podmínkami stanoviště a je podporován střídáním sucha a vlhka, tepla a chladu a také mrznutím a táním (Kulhánek et al. 2014).

Sekundární jílové minerály mají vrstevnatou strukturu, která je tvořena vrstvami hliníkových oktaedrů a křemíkových tetraedrů a mezi vrstvami se tvoří různě velké mezery. Velikost těchto mezer je ovlivňována vlhkostí (za sucha dochází k přibližování vrstev a za vlhka naopak k oddalování – k rozšiřování mezer), tato skupina minerálů má tedy velký povrch a vysokou sorpční kapacitu (Vaněk et al. 2012).

### 3.2.1.2 Fixovaný draslík

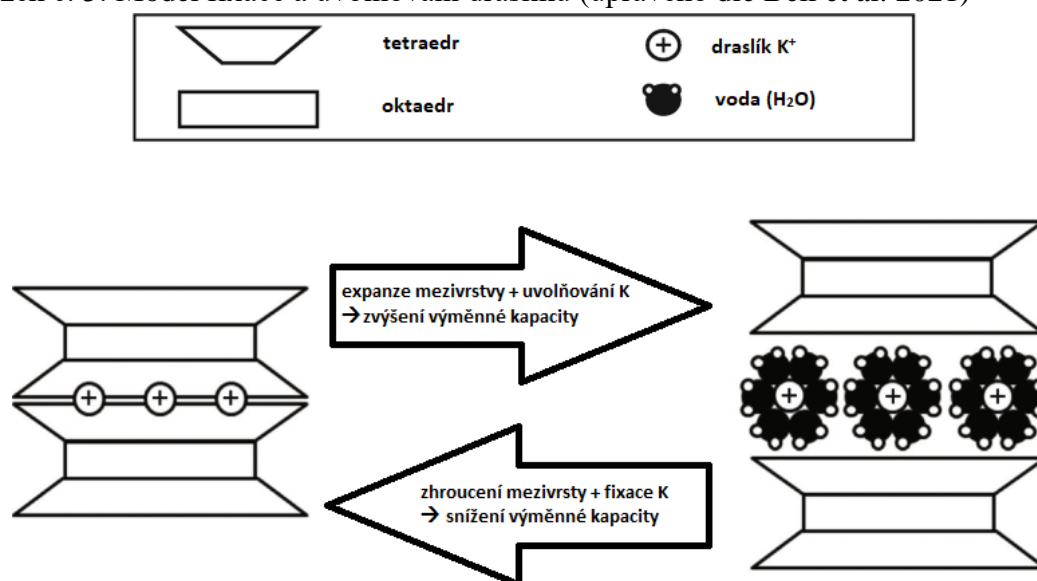
Mezi nevýměnné formy draslíku se zařazuje také fixovaný draslík, který se nachází v mezivrstvách jílových minerálů (illitu, vermikulitu a v suchém období případně i montmorillonitu) a tato forma není vyměnitelná. Fixace draslíku je ovlivňována střídáním období sucha a vlhka, fixace je za sucha vyšší, po vlhkém období může část fixovaného draslíku přejít do výměnné formy (Vaněk et al. 2012).

Při fixaci draslíku se hydratované ionty  $K^+$  přesouvají do mezivrstevních prostor v minerálech a dochází k dehydrataci, jak se minerální vrstvy smršťují. V této pozici není  $K^+$  rostlinám dostupný. K uvolňování draslíku dochází, když minerální vrstvy expandují, ionty  $K^+$  se rehydratují a přechází do půdního roztoku, čímž se stávají biologicky dostupnými pro rostliny (Bell et al. 2021). Fixace draslíku je tedy spojena s dehydratací mezivrstevních prostor – nepřetržitě vlhké půdy s přidaným draslíkem mají tendenci fixovat méně draslíku než půdy sušší (Bouabid et al. 1991). Barré et al. 2008 uvádí, že ionty fixované v mezivrstvě jílových minerálů s typem vrstvy 2:1 přispívají k výživě rostlin draslíkem. Jílové minerály s typem vrstvy 2:1 se nachází nejčastěji v půdách mírného pásma a chovají jako rezervoár draslíku.

Fixace draslíku je také někdy popisována jako obrácené zvětrávání slídy – viz obrázek č. 3 (Florence et al. 2017). Když slídy zvětrávají, rozšiřují se jejich mezivrstvy, ztrácejí draslík a dochází k ekvivalentnímu nárůstu kationtové výměnné kapacity (Reichenbach 1972). Tento jev lze pozorovat na polích, kde půda na nehojených pozemcích časem zvyšuje kationtovou výměnnou kapacitu, protože dochází ke zpřístupnění mezivrstev a draslík je přijímán rostlinami (Bell et al. 2021).

Fixace draslíku je ovlivňována jílovými minerály, pH, organickými látkami, kationtovou výměnnou kapacitou, vlhkostí půdy, teplotou, kultivací a hnojením (Li et al. 2018).

Obrázek č. 3: Model fixace a uvolňování draslíku (upraveno dle Bell et al. 2021)



### 3.2.2 Výměnný draslík

Výměnný draslík je část draslíku v půdě, která je vázána na povrchu jílových minerálů a huminových látek. Výměnný draslík je snadno vyměnitelný s jinými kationty a je také snadno dostupný rostlinám (Mouhamad et al. 2016). Jak už bylo řečeno v úvodu této kapitoly, výměnný draslík tvoří přibližně 1-2 % celkového draslíku v půdě a je to hlavní forma přijatelného draslíku pro rostliny (Fotyma et al. 2012; Vaněk et al. 2012).

Vaněk et al. (2012) uvádí, že výměnný draslík je kationt  $K^+$ , který je navázán na půdní sorpční komplex. Tento kationt může být vyměněn jiným kationtem. Ve vazbě na jílový minerál se draslík může nacházet ve třech pozicích – na hranách a okrajích mezivrstev, uvnitř vrstev a

na povrchu koloidních micel. Draslík je sorbován především vnitřními prostory jílových minerálů (hlavně skupiny illitu a monmorillonitu), protože preferují více draslík oproti ostatním kationtům.

Murrell et al. (2021) definuje vyměnitelný draslík jako draslík extrahovaný ze vzorku půdy výměnou kationtů za použití roztoku daného složení za daných podmínek. Množství vyměnitelného draslíku extrahovaného z půdy se proto liší podle použitého extrakčního roztoku a podmínek – ty zahrnují vytěsnění  $K^+$  ionty  $NH_4^+$ .

Pokud půdy obsahují významné množství fylosilikátových minerálů s hydratovanými mezivrstvami (např. smektit či vermikulit), vymění se  $NH_4^+$  nejen s povrchově adsorbovaným draslíkem, ale také s proměnlivým množstvím draslíku v mezivrstvě. Přítomnost vody mezi jednotlivými vrstvami umožňuje kationtům difundovat dovnitř a ven z mezivrstev, což umožňuje výměnu kationtů. Amonný kationt je schopný nahradit draslík v mezivrstvách hydratovaných vrstev silikátů, protože má podobnou velikost a hydratační energii jako draslík (Murrell et al. 2021).

Podle Kulhánka et al. (2014) je výměnný draslík důležitý zdroj pro doplnění draslíku odebraného rostlinami z půdního roztoku. Aby se tato forma mohla dostat do kořene rostlin, musí být vytěsněna ze sorpčních míst jinými kationty. K získání této formy draslíku rostlina využívá kontaktní adsorpce – pokud se kořeny rostlin dostanou blízko výměnně sorbovaného draslíku, využijí výměnu za  $H^+$  iont k jeho získání.

Množství výměnného draslíku kolísá v závislosti na druhu a mineralogickém složení půdy, stupni zvětrávání, hnojení, druhu a koncentraci ostatních iontů, pH a vodním režimu půdy. Výměnný K představuje u písčitých půd pouze 0,8 % z celkového množství draslíku v půdě, na půdách humózních (černozemě) představuje až 3 % z celkového obsahu draslíku v půdě. U těžších půd je vyšší sorpční kapacita a také několikanásobně vyšší množství výměnného draslíku oproti půdám lehkým. Lehké půdy mají malou sorpční kapacitu a draslík je proto snadněji odčerpáván rostlinami. Pokud není draslík na lehkých půdách doplňován hnojením, tak tyto půdy neposkytují dostatek draslíku zvláště náročným plodinám při nedostatku vody v půdě. V kationtové výměnné kapacitě má draslík tvořit 3-4 % sorpční kapacity (viz tabulka č. 2), při hodnocení zastoupení draslíku v sorpční kapacitě však musíme dbát na vztahy draslíku k ostatním kationtům – hlavně k hořčíku. Hořčík by měl mít asi třikrát vyšší zastoupení než draslík (Kejř 2007; Vaněk et al. 2012).

Tabulka č. 2: Optimální zastoupení kationtů v KVK (Vaněk et al. 2012)

| Kationtová výměnná kapacita (KVK) |         | % KVK |    |       |
|-----------------------------------|---------|-------|----|-------|
| Označení                          | mmol/kg | Ca    | Mg | K     |
| Nízká                             | < 120   | 60    | 10 | 4-5   |
| Střední                           | 120-180 | 70    | 10 | 3-4   |
| Vysoká                            | > 180   | 80    | 10 | 2,5-3 |

Doporučení pro hnojení draslíkem je obvykle zakládáno na měření vyměnitelného draslíku v půdě (Slaton et al. 2010; Zörb et al. 2013), protože množství výměnného draslíku je výborným ukazatelem schopnosti půdy zásobovat rostliny draslíkem (Vaněk et al. 2012).



Měření výměnného draslíku však může být nedostatečné na půdách s vysokým podílem nevyměnitelného draslíku (Khan et al. 2014), v takových půdách mohou testy založené na nevýměnném draslíku podstatně zlepšit predikci dostupnosti draslíku rostlinám (Moody & Bell 2006).

Monitorování výměnného draslíku tedy podle Madarase (2014) nemusí vytvářet skutečný dojem o vývoji zásob draslíku v půdě. V systémech intenzivního pěstování s nevyváženým hnojením draslíkem se výživa rostlin do jisté míry spoléhá na nevýměnný draslík (Madaras & Koubová 2015).

### 3.2.3 Vodorozpustný draslík

Vodorozpustný draslík je draslík, který se nachází v půdním roztoku a jedná se o rostlinami nejlépe přijatelný draslík. Zároveň je tato forma draslíku nejvíce vyplavována z půdy. Vodorozpustný draslík představují hlavně ve vodě rozpustné soli ( $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_3$  apod). Množství draslíku v půdním roztoku je nízké, pohybuje se mezi 2 – 5 mg K/l v normálních zemědělských půdách vlhkých oblastí a je vyšší v půdách suchých oblastí (Haby et al. 1990; Sparks 2001; Richter 2007).

Vodorozpustný draslík tvoří maximálně 0,1 – 0,2 % celkového obsahu draslíku v horní vrstvě půdy. V půdním roztoku se draslík nachází jako kation  $\text{K}^+$  v hydratované formě a koncentrace draslíku v půdním roztoku se pohybuje v rozmezí 0,1 – 1 mmol/l (Fotyma et al. 2012). Rostlina je schopna přijímat K pouze z půdního roztoku – ve formě kationtu  $\text{K}^+$ . Ionty  $\text{K}^+$  jsou přijímány hlavně prostřednictvím difúze. Elektrická rovnováha tohoto příjmu je pak zajišťována 2 cestami: buď dochází k výměně draslíku za jiný kationt (například za  $\text{H}^+$ ) nebo může být adsorbován na aniont (například  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Půdní roztok není draselnými kationty téměř nikdy nasycen, pozitivní náboj draselných kationtů navíc napomáhá k zajištění elektrické neutrality v rostlinách a v půdě tak, že vyvažuje záporný náboj fosforečnanových aniontů a nitrátů (Kulhánek et al. 2014).

Vaněk et al. uvádí, že by se obsah vodorozpustného draslíku měl pohybovat okolo 20 mg K/l a jeho obsah činí většinou 1-10 % výměnného draslíku. Yawson et al. (2011) považuje draslík v půdním roztoku (1-10 mg/kg) za primární zdroj draslíku, který absorbují kořeny rostlin a koncentrace draslíku v půdním roztoku se odvíjí podle zvětrávání půdy, hnojení draslíkem a podle pěstovaných plodin.

Obsah vodorozpustného draslíku je závislý na typu jílových minerálů, na druhu a koncentraci jiných kationtů a na obsahu vody v půdě. Množství vodorozpustného draslíku v půdě se mění během vegetace – odčerpáváním  $\text{K}^+$  rostlinami, mineralizací a hnojením (Kejř 2007; Richter 2007).

### 3.2.4 Organicky vázaný draslík

Organicky vázaný draslík v půdě představuje jen velmi malou část z celkového obsahu draslíku v půdě. Jedná se zejména o draslík vázaný mikroorganismy a draslík v odumřelých zbytcích rostlin. Organicky vázaný draslík se stává rostlinám přístupným až po mineralizaci (Kejř 2007).



### 3.3 Příjem draslíku rostlinou

Draslík je rostlinami přijímán jako kationt  $K^+$ . Příjem draslíku je uskutečňován jak aktivně, tak i pasivně. Při nízkých koncentracích draslíku v půdním roztoku převládá aktivní příjem, pasivní příjem převažuje při vysokých koncentracích draslíku v půdním roztoku. Draslík se řadí mezi esenciální živiny a je v rostlinách nejhojnějším kationtem. Koncentrace  $K^+$  v cytoplasmě se pohybuje mezi 100 a 200 mmol a koncentrace apoplastického  $K^+$  se pohybuje mezi 10 a 200 mmol a může dosáhnout až 500 mM (Vaněk et al. 2012; Wang et al. 2013).

Přestože jsou koncentrace draslíku v půdním roztoku velmi nízké (0,1-6 mmol), rostliny akumulují velké množství tohoto prvku, což představuje 2-10 % sušiny. Při pasivním příjmu může dojít ke zvýšenému příjmu draslíku a k jeho hromadění v rostlinných pletivech – k „luxusnímu konzumu“, který vede k omezení příjmu jiných kationtů – vápníku, hořčíku a sodíku (Ashley et al. 2006; Vaněk et al. 2012).

Draslík tedy ovlivňuje vstřebávání a využití dalších živin rostlinami (Xu et al. 2020). Vysoké koncentrace draslíku v půdním roztoku inhibují absorpci hořčíku a mohou vyvolat nedostatek draslíku v rostlinách (Tränkner et al. 2018). Naopak deficit draslíku podporuje akumulaci  $Na^+$  a  $Ca^{2+}$  (Du et al. 2017).

Richter et al. (2004) uvádí, že rostoucí koncentrace draslíku snižuje příjem  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NH_4^+$  a naopak stimuluje příjem  $H_2PO_4^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  a  $Cl^-$ . Nejméně je z kationtů ovlivněn příjem  $NH_4^+$  – díky velikosti hydratovaného obalu obou iontů. Příjem draslíku ovlivňuje i řada vnějších podmínek – teplota půdy, přístup vzduchu a intenzita osvětlení. Vaněk et al. (2012) uvádějí, že vyšší příjem draslíku rostlinou nastává při vyšší teplotě a vyšší vlhkosti půdy. Rostliny, které se pěstují v podmínkách nižší intenzity slunečního záření, potřebují více draslíku, a naopak. Celková potřeba draslíku se liší v závislosti na druhu rostlin. Vyšší nároky a vyšší odběr mají některé zeleniny (zelí, kapusta, květák, celer), či například řepa a řepka. Naopak menší odběr vykazují plodiny s nižší produkcí biomasy – například ředkvička, hrách a fazol. V tabulce č. 3 jsou zobrazeny odběry draslíku hlavními produkty u některých zemědělských plodin. Z tabulky je patrné, že velké množství draslíku odebere například celer, mrkev či cukrovka a tyto plodiny jsou tedy na draslík náročné. Naopak méně draslíku odebere například mák, hrách či oves.

Tabulka č. 3: Odběry draslíku hlavními produkty u vybraných zemědělských plodin

| <b>Plodina</b>           | <b>Produkt</b> | <b>Průměrný odběr draslíku (kg/ t)</b> | <b>Celkový odběr K (kg/ha)*</b> |
|--------------------------|----------------|--|---------------------------------|
| <b>Pšenice ozimá</b>     | zrno           | 3,7                                    | <b>23</b>                       |
| <b>Ječmen ozimý</b>      | zrno           | 5                                      | <b>30</b>                       |
| <b>Žito ozimé</b>        | zrno           | 5                                      | <b>27</b>                       |
| <b>Tritikale</b>         | zrno           | 4,6                                    | <b>23</b>                       |
| <b>Oves</b>              | zrno           | 5                                      | <b>20</b>                       |
| <b>Kukuřice na zrno</b>  | zrno           | 4,5                                    | <b>43</b>                       |
| <b>Kukuřice na siláž</b> | siláž          | 3,8                                    | <b>148</b>                      |
| <b>Řepka ozimá</b>       | semeno         | 8,3                                    | <b>28</b>                       |
| <b>Slunečnice</b>        | semeno         | 19,9                                   | <b>51</b>                       |
| <b>Mák</b>               | semeno         | 8                                      | <b>5,7</b>                      |
| <b>Brambory rané</b>     | hlízy          | 4,4                                    | <b>96</b>                       |
| <b>Cukrovka</b>          | bulvy          | 2                                      | <b>123</b>                      |
| <b>Hrách</b>             | zrno           | 8,3                                    | <b>22</b>                       |
| <b>Zelí</b>              | hlávký         | 2,7                                    | <b>108</b>                      |
| <b>Cibule</b>            | cibule         | 1,7                                    | <b>50</b>                       |
| <b>Celer</b>             | bulvy          | 5                                      | <b>200</b>                      |
| <b>Mrkev</b>             | kořen          | 3,7                                    | <b>159</b>                      |

\*Vypočítáno z průměrných výnosů zemědělských plodin za rok 2020 (ČSÚ 2020) a odběrových normativů (Klír et al. 2008)

### 3.4 Draslík v rostlině

Od klíčení až po produkci semen rostliny vyžadují různé makro a mikroživiny a spolu s dusíkem a fosforem se draslík řadí mezi nejdůležitější z makroživin. Draslík je pro rostliny nezbytný jak za normálních, tak i stresových podmínek – je nezbytný pro různé biochemické a fyziologické procesy, které jsou odpovědné za růst a vývoj rostlin. Podílí se na syntéze bílkovin, metabolismu sacharidů, fotosyntéze a aktivaci enzymů. Pomáhá při rovnováze kationtů a aniontů, osmoregulaci, pohybu vody, přenosu energie a mnoha dalších procesech. Draslík hraje také roli při zmírňování účinků abiotického stresu jako je například zasolení, sucho, toxicita kovů, vysoké či nízké teploty, vysoké světelné záření apod. (Hasanuzzaman et al. 2018; Wang et al. 2013; Waraich et al. 2012). Draslík je navíc jednou z hlavních živin, které se podílí na výnosu zrna (Blake et al. 1999).

V rostlinách je draslík přítomen výhradně ve své iontové formě ( $K^+$ ) nebo ve slabých komplexech, ze kterých se snadno uvolňuje. V buňkách se draslík nachází zejména ve vakuolách a cytosolu (Tränkner et al. 2018).

Jak už bylo řečeno, draslík v rostlinách plní řadu důležitých funkcí. Výrazně ovlivňuje například osmotický tlak, a tedy i turgor buněk a tím ovlivňuje i hospodaření s vodou. Podporuje příjem vody kořeny a průchod vody z parenchymatických buněk do xylému. Draslík snižuje transpiraci – nachází se ve svěracích buňkách průduchů a ovlivňuje jejich otevírání a

zavírání a díky tomu rostlina lépe využívá vodu potřebnou na produkci látek. Když je rostlina dobře zásobována draslíkem, snižuje se transpirační koeficient (Vaněk et al. 2012).

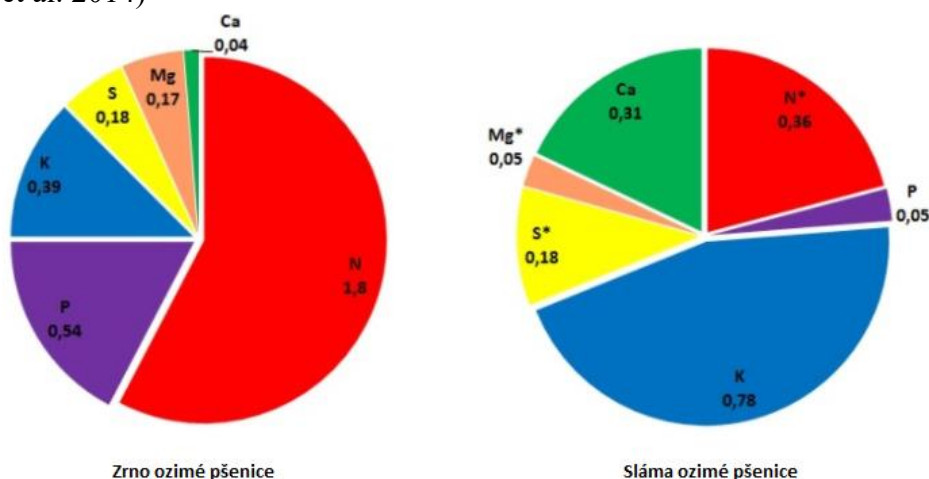
Draslík výrazně ovlivňuje fotosyntézu, pokud není přítomen v dostatečném množství v pletivech, dochází ke snížení asimilace uhlíku (Tränkner et al. 2018).

Draslík hraje významnou roli pro růst buněk – stimuluje a řídí cyklus ATPázy v buňce. Je důležitý pro syntézu bílkovin a sacharidů, takže může nepřímo ovlivnit růst buněk regulováním produkce hlavních složek využívaných v metabolismu buněčné stěny. Dostupnost draslíku má vliv na aktivitu více než 60 enzymů zapojených do různých metabolických procesů, které se týkají právě syntézy bílkovin a sacharidů (Oosterhuis et al. 2014).

### 3.4.1 Role draslíku u ozimé pšenice

Draslík je pro pšenici ozimou důležitý hlavně díky jeho fyziologickému působení v metabolismu rostlin, což následně působí také na tvorbu výnosu. Draslík v rostlině má vliv na transport asimilátů – z listů do semen a také do kořenů, čímž je ovlivněna tvorba kořenů. Draslík má také vliv na lepší přezimování rostlin a hospodaření s vodou, ovlivňuje pevnost stébel, zvyšuje odolnost proti poléhání a příznivě působí na kvalitu zrna, ovlivňuje například HTZ, obsah lepku či číslo poklesu. Celkový odběr draslíku porostem ozimé pšenice představuje více než 100 kg K/ha, v podzimním a zimním období je potřeba draslíku nižší, a naopak v jarním období je dostupnost draslíku rostlinám velmi důležitá. Ozimá pšenice totiž přijímá nejvíce draslíku v době intenzivního růstu (odnožování a sloupkování) a příjem draslíku vrcholí v době metání. Během zrání se draslík ukládá ve slámě a jeho menší část je transportována do zrna. Na obrázku č. 4 se nachází průměrný obsah jednotlivých živin v zrna a ve slámě pšenice ozimé (Černý et al. 2014, Hřivna 2012).

Obrázek č. 4: Průměrný obsah jednotlivých živin (%) v zrna a ve slámě ozimé pšenice (Černý et al. 2014)



### 3.4.2 Nedostatek draslíku v rostlinách

Nedostatek draslíku se může u rostlin projevit i na stanovištích, kde je draslíku relativní dostatek, pokud jsou pro jeho příjem nepříznivé podmínky (například sucho a chlad). U obilnin, hlavně ozimých, se nedostatek draslíku často vyskytuje v jarním období při chladném a vlhkém

počasí, porosty s nedostatkem draslíku jsou snadněji ničeny mrazem, dochází k obtížné regeneraci rostlin a ty jsou více napadány houbovými chorobami. Příčinou nedostatečného příjmu draslíku rostlinami mohou být již zmíněné povětrnostní podmínky či také nízký obsah draslíku v půdě a pevná vazba v půdě (fixace). Mírný nedostatek K způsobuje omezenou tvorbu vysokomolekulárních látek (bílkovin a sacharidů), zatímco v rostlinách dochází ke hromadění nízkomolekulárních látek (amidů, aminokyselin, jednoduchých sacharidů apod.). Nedostatek draslíku snižuje stabilitu bílkovin, brání příjmu dusíku a v důsledku toho také růstu asimilační listové plochy a snižuje absorpci a transport dusičnanů v rostlinách (Gaj et al. 2012; Richter 2004; Vaněk et al. 2012).

Nedostatek draslíku ovlivňuje řadu fyziologických a metabolických funkcí rostliny, které jsou spojené s poklesem a s kvalitou výnosu. Výrazný nedostatek K se projevuje tím, že zasychají okraje spodních listů, dochází k nekrotizaci (s následným usycháním a případně až opadem spodních listů), protože jsou draslíkem přednostně zásobeny meristémy a mladší listy. U kukuřice dochází ke žloutnutí až nekrotizaci okrajů listů a nedostatek draslíku se projevuje na starších listech (viz obrázek č. 5). Příznaky nedostatku draslíku u kukuřice začínají na špičkách listů a postupují po okraji směrem k bázím listů. U obilnin dochází ke snižování pružnosti stébla, zvyšuje se nebezpečí poléhání a snižuje se odolnost proti suchu, nízkým teplotám apod. Může také docházet ke změnám v habitu u některých rostlin: obiloviny, hrách, rajčata či brambory mohou nabývat keřovitý či metlovitý vzhled. U jetelovin se při nedostatku draslíku objevují světlejší tečky a skvrny na okrajích listů a časem dochází k zasychání okrajů či celých listů. U rostlin bramboru může nedostatek draslíku způsobit zakrňlost rostlin, zvlnění mladých listů a na starších listech se mohou na okrajích objevit nekrotické skvrny (Westermann & Tindall 2000; Sawyer & Mallarino 2002; Richter 2004; Vaněk 2012).

Obrázek č. 5: Nedostatek draslíku u kukuřice (Sawyer & Mallarino 2002)



### 3.4.3 Nadbytek draslíku v rostlinách

Na místech, kde se skladují organická hnojiva (poblíž polních hnojišť a silážních jam) a na pozemcích, kde se aplikují vyšší dávky močůvky či kejdy, se může vyskytovat nadbytek draslíku. Přehnojení draslíkem vede k luxusnímu příjmu, pokud se draslík hromadí v rostlinných pletivech v nadměrném množství, může to mít nepříznivý dopad na příjem ostatních kationtů – dochází k antagonismu, snižuje se příjem Na, Ca, Mg, Zn a Mn a na rostlinách se mohou projevit příznaky nedostatku těchto prvků. Dochází také ke zvýšení koncentrací solí v půdě a může docházet až k zasolení půd. Rostlinám vadí nadbytek draslíku spíše na počátku vegetace, protože vysoká koncentrace draslíku snižuje klíčivost a omezuje vzháživost semen, zvláště u citlivých rostlin – u cukrovky, salátu, jetelovin či brukvovitých rostlin. Nadbytek draslíku v rostlinách se projevuje tím, že jsou sytě zelené, bujně rostou a pozvolně jim zasychají a následně odumírají starší listy. Rostliny jsou také více náchylné k poléhání a vyvracení (Richter 2004; Vaněk et al. 2012).

### 3.5 Možnosti hnojení draslíkem

Nedostatek draslíku je celosvětový problém, obsah draslíku v zemědělských půdách klesá napříč kontinenty – od Evropy po Afriku, Asii až Severní Ameriku (Tan et al. 2012). Narozdíl od dusíkatých a fosforečných hnojiv se draselná hnojiva aplikují v mnohem menší míře a doplňuje se jimi méně než 50 % draslíku odebraného sklizní plodin (Zörb et al. 2013).

Jedním z hlavních důvodů nedostatku draslíku je odstraňování biomasy z půdy a dále ke snížení obsahu draslíku v půdě přispívá také vyplavování a eroze (Dhillon et al. 2019).

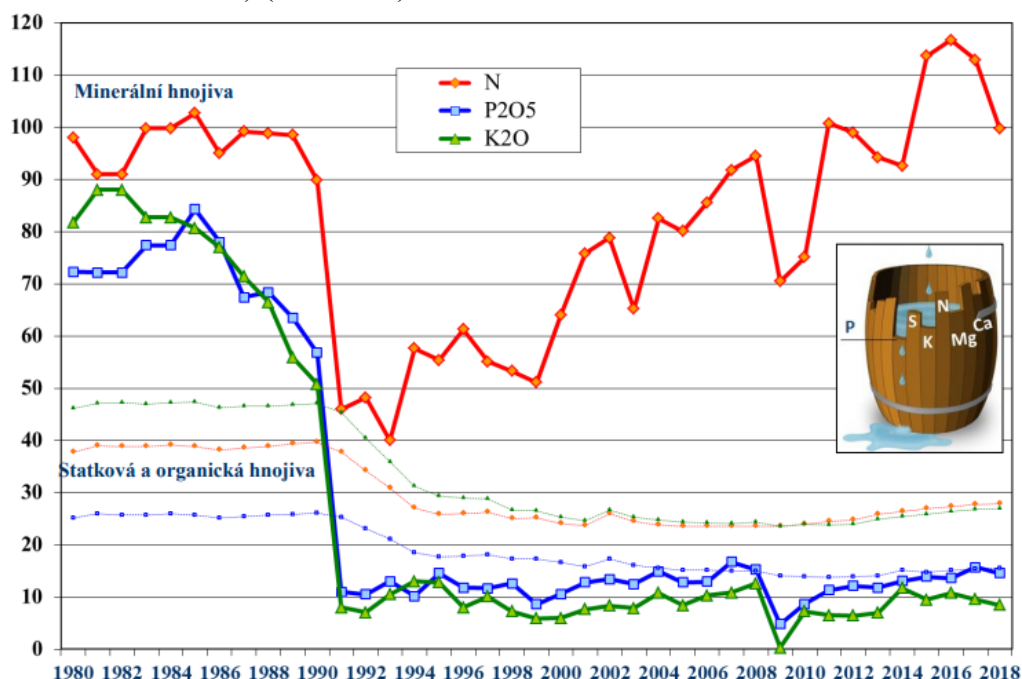
Draslík se řadí mezi nejdůležitější živiny ve výživě rostlin, ale jelikož v půdách klesá zásoba přijatelného draslíku, draslík se stává dalším limitujícím prvkem výnosu a kvality produkce.

V České republice dochází při současném nedostatečném hnojení statkovými, organickými a minerálními hnojivy ke snižování obsahu přístupného draslíku v půdě. Z důvodu dlouhodobého bilančního deficitu v používání draselných hnojiv dochází ke zvýšenému čerpání draslíku z půdy a tím ke snižování půdní úrodnosti (Kunzová 2010).

V opačném případě – při nadměrném hnojení by mohlo docházet k nízké účinnosti využití živin a ke zvýšení ztrát draslíku erozí a vyplavováním (Steiner & Lana 2018).

V grafu č. 1 je zobrazen vývoj průměrné spotřeby hnojiv v ČR – po roce 1989 došlo v ČR k prudkému poklesu v používání draselných hnojiv.

Graf č. 1: Průměrná spotřeba hnojiv v ČR (kg živin na 1 ha využívané zemědělské půdy: 3,5 mil. ha v roce 2018) (Klír 2019)



### 3.5.1 Hnojení draslíkem

Hnojení draslíkem vychází hlavně z půdních vlastností, v rámci agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP) se stanovuje obsah přístupného draslíku v půdě s využitím extrakčního činidla Mehlich 3. Na základě hodnoty obsahu přístupného draslíku, druhu půdy a výnosové úrovně (průměrného výnosu produktu), druhu plodiny, hnojení statkovými hnojivy, zaorávání posklizňových zbytků a zvětrávání půdního substrátu, se určuje dávka draslíku, která se bude aplikovat. Při odhadu přesné dávky hnojiv je důležité monitorování půdních rezerv. Musí se dbát ale i na poměr draslíku a hořčíku (viz tabulka č. 4). Zastoupení draslíku v sorpčním komplexu by mělo být třikrát menší než u hořčíku, aby nedocházelo k antagonismu. Optimální hodnota K : Mg by se měla pohybovat okolo 1,5 : 1, nejvýše 2:1 (Černý et al. 2020; Kulhánek et al. 2014; Kunzová 2010; Troeh & Thompson 2005).

Tabulka č. 4: Hodnocení poměru K:Mg v zemědělských půdách (hmotnostní poměr) (Smatanová 2020)

| Poměr        | Hodnota K : Mg | Hodnocení  |
|--------------|----------------|--|
| dobrý        | do 1,6         | nelze očekávat problémy s výživou hořčíkem   |
| vyhovující   | 1,6-3,2        | ke hnojení draslíkem je třeba přistupovat opatrně, problémy se mohou vyskytnout především u krmných plodin |
| nevyhovující | nad 3,2        | jedná se o špatný poměr, který způsobuje nadměrný příjem draslíku—je třeba vypustit draselné hnojení       |



Při hnojení draslíkem musíme zohlednit také půdní druh – na každém půdním druhu by se měla kategorie zásobenosti draslíkem udržovat na dobrém obsahu (viz tabulka č. 5). Na těžších půdách je draslík vázán pevněji na půdní sorpční komplex a do jílových minerálů a snižuje se tím jeho mobilita v půdě. Draslík je pak rostlinám hůře přijatelný, hlavně v období s nedostatkem srážek. Naopak, pokud je půda lehčí, je větší podíl draslíku v půdním roztoku. Draslík v půdním roztoku je lépe přijatelný rostlinami, ale při vyšších srážkách může docházet k jeho vyplavování (Černý et al. 2020).

Tabulka č. 5: Hodnocení obsahu přijatelného draslíku na orné půdě (Smatanová 2020)

| Obsah        | Půdní druh      |         |         |
|--------------|-----------------|---------|---------|
|              | lehká           | střední | těžká   |
|              | Obsah K (mg/kg) |         |         |
| nízký        | do 100          | do 105  | do 170  |
| vyhovující   | 101-160         | 106-170 | 171-260 |
| dobrá        | 161-275         | 171-310 | 261-350 |
| vysoký       | 276-380         | 311-420 | 351-510 |
| velmi vysoký | nad 381         | nad 420 | nad 510 |

Jak už bylo řečeno na začátku této kapitoly, v rámci AZPP se stanovuje průměrný obsah přístupného draslíku na zemědělských půdách ČR. V současné době tento obsah činí 252 mg/kg. Průměrné obsahy podle jednotlivých krajů jsou uvedeny v tabulce č. 6. Zemědělská půda s vyhovující zásobou draslíku a s potřebou mírného dosycení draslíkem představuje 26,5 % výměry. Velmi vysoká a vysoká zásoba draslíku se nachází na 24,3 % výměry. Zemědělské půdy s nízkou zásobou draslíku (půdy vyžadující hnojení) představují 7,9 % výměry. Hnojení draslíkem tedy v současné době vyžaduje cca 34,4 % výměry ČR (Smatanová 2020). Při stanovení dávky K v minerálních hnojivech je na půdách s vyhovující zásobou draslíku důležité navýšit dávku draslíku o 20-30 %. Na půdách s nízkou zásobou draslíku je důležité navýšit dávku až o 50 % (Černý et al. 2015).

Hnojení draselnými hnojivy je výhodnější na podzim, často v kombinaci či návaznosti na hnojení organickými hnojivy. Pokud se hnojení na podzim neuskuteční, je možné hnojit před výsadbou či setím. Při hnojení na jaře se dobře uplatňují vícesložková hnojiva. Z ekonomického hlediska je u většiny plodin výhodnější použití hnojiv s chloridovou formou draslíku – například KCl. S aplikací těchto hnojiv však souvisí možnost negativního působení doprovodného iontu – chloru, který navíc může omezit příjem síry. Některé rostliny jsou na chlor citlivé (například bobuloviny, většina ovocných stromů, vinná réva, chmel, plodová zelenina, cibuloviny či brambory) a může dojít k jejich poškození. Proto by se měla dodržovat zásada používání síranového typu hnojiv či dodržování dostatečného odstupu mezi hnojením a vlastní vegetací, obzvláště u těchto rostlin. Pokud jsou draselná hnojiva aplikována už na podzim, většinou nehrozí poškození ani u rostlin na chlor citlivých (Vaněk et al. 2012).

Tabulka č. 6: Průměrné hodnoty přístupného draslíku, podíl půd s nízkým, vysokým a velmi vysokým obsahem draslíku v jednotlivých krajích ČR (Smatanová 2020)

| Kraj                   | Vážený průměr K (mg/kg) | Podíl půd - % výměry (vážené průměry) |                             |
|------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|                        |                         | Nízký obsah                           | Vysoký a velmi vysoký obsah |
| Praha – hl. město      | 245                     | 7,11                                  | 20,0                        |
| Středočeský            | 272                     | 7,47                                  | 27,7                        |
| Jihočeský              | 208                     | 15,6                                  | 14,4                        |
| Plzeňský               | 226                     | 9,68                                  | 19,3                        |
| Karlovarský            | 329                     | 6,16                                  | 43,9                        |
| Ústecký                | 408                     | 2,91                                  | 59,7                        |
| Liberecký              | 185                     | 9,62                                  | 16,7                        |
| Královéhradecký        | 259                     | 6,34                                  | 25,6                        |
| Pardubický             | 202                     | 9,69                                  | 10,7                        |
| Vysočina               | 221                     | 6,94                                  | 16,3                        |
| Jihomoravský           | 276                     | 2,26                                  | 30,1                        |
| Olomoucký              | 237                     | 8,57                                  | 19,7                        |
| Moravskoslezský        | 202                     | 10,7                                  | 13,5                        |
| Zlínský                | 275                     | 5,72                                  | 26,7                        |
| <b>Česká republika</b> | <b>253</b>              | <b>7,87</b>                           | <b>24,3</b>                 |

### 3.5.2 Draselná minerální hnojiva

Draselná hnojiva se používají v zemědělství po celém světě (Barré et al. 2008). Jsou to převážně ve vodě rozpustné soli. Koncentrace draslíku v hnojivech je vyjadřována (například z obchodních důvodů) jako procento  $K_2O$  i přesto, že živina jako taková neexistuje ve formě  $K_2O$  v půdě, v rostlinách a ani v hnojivech. Draslík se v rostlinách a v půdě vyskytuje jako draselný iont  $K^+$  a v hnojivech se vyskytuje jako chemická sloučenina ( $KCl$ ,  $K_2SO_4$ ).

Draslík v běžných hnojivech ( $KCl$ ,  $K_2SO_4$ ) je rozpustný ve vodě – hnojivo se rozpouští v půdním roztoku a disociuje na kationt  $K^+$  a aniont ( $Cl^-$  nebo  $SO_4^-$ ). Kationt  $K^+$  je z velké části zadržován na výměnném komplexu jako vyměnitelný kationt a malé množství je přítomné jako mobilní forma v půdním roztoku (Roy et al. 2006).

Světové zásoby draslíku jsou velké, ložiska surových draselných solí jsou v mnoha zemích (zejména v Kanadě) těžena a využívána k výrobě draselných hnojiv. Ložiska draselných surových solí vznikla před miliony let během procesu vysychání mořské vody v dřívějších oceánských pánvích. Vrstvy běžné soli ( $NaCl$ ) byly překryty menšími vrstvami draselných minerálů, které pod tlakem ztvrdly. Surové draselné soli jsou tedy přírodní mořské minerály, které se nyní těží z velkých hloubek. Mezi země s velkými rezervami draslíku se řadí například Kanada, Bělorusko a Rusko (Roy et al. 2006; Dhillon et al. 2019).

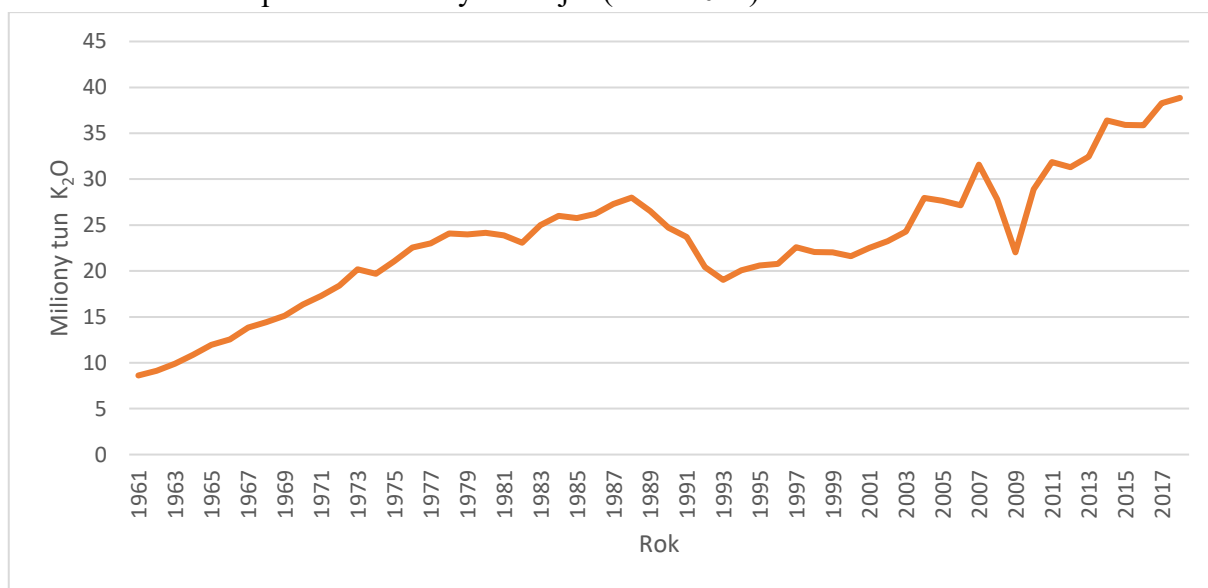


Dochází k postupnému zvyšování světové produkce draselných hnojiv, a to především díky zvýšené produkci draselných hnojiv v Kanadě a v Rusku (viz tabulka č. 7). Světová spotřeba draselných hnojiv v roce 2019 činila přibližně 41 milionů tun  $K_2O$ , přičemž nejvíce roste spotřeba v Asii a Jižní Americe (Jasinski 2021). Vývoj světové spotřeby draselných hnojiv je znázorněn v grafu č. 2.

Tabulka č. 7: Produkce draselných hnojiv ve vybraných státech a ve světě (milióny tun) v roce 2019 a odhadovaná produkce pro rok 2020 (Jasinski 2021)

| Stát                            | 2019        | 2020      |
|---------------------------------|-------------|-----------|
| <b>Bělorusko</b>                | 7,35        | 7,3       |
| <b>Kanada</b>                   | 12,3        | 14        |
| <b>Čína</b>                     | 5           | 5         |
| <b>Německo</b>                  | 3           | 3         |
| <b>Izrael</b>                   | 2,04        | 2         |
| <b>Rusko</b>                    | 7,34        | 7,6       |
| <b>Celý svět (zaokrouhleno)</b> | <b>41,3</b> | <b>43</b> |

Graf č. 2: Světová spotřeba draselných hnojiv (FAO 2021)



### 3.5.2.1 Hnojiva s draslíkem v chloridové formě

Chlorid draselný (draselná sůl,  $KCl$ ) je nejběžnějším draselným hnojivem. Je dobře rozpustný ve vodě a je to účinný a levný zdroj draslíku pro většinu zemědělských plodin. Obsahuje 40–60 %  $K_2O$ , pokud obsahuje 60 %  $K_2O$ , tak se jedná o téměř čistý chlorid draselný obsahující asi 48 %  $Cl$  (Roy et al. 2006). Použití chloridu draselného vede ke zvýšení obsahu chloru v půdě a nadměrná koncentrace chloru pak způsobuje toxicitu u některých plodin a zvyšuje zasolení a kyselost půdy, může docházet také k tvorbě nebezpečných sloučenin s dusičnanem amonným, jedním z nejběžnějších dusíkatých hnojiv (Sharma et al. 2018).

Chlorid draselný je k dispozici ve třech formách – jako 50 %  $K$ , 41 %  $K$  či 33 %  $K$ . Dvě poslední formy obsahují vyšší množství chloridu sodného ( $NaCl$ ) a jsou doporučovány jako

draselná hnojiva pro natrofilní rostliny jako je například cukrová řepa (Scherer 2005; Wakeel et al. 2009).

Dále do těchto hnojiv můžeme zařadit například Kamex a Kainit. Kamex je hnojivo, které obsahuje přibližně 33,3 % K a je vhodné na základní hnojení lehčích a středních půd, kde chybí hořčík. Hnojivo Kainit obsahuje asi 8,2 % K a je vhodné pro hnojení pastvin (Kunzová 2010).

### 3.5.2.2 Ostatní minerální hnojiva

Mezi ostatní minerální hnojiva můžeme zařadit například síran draselný, dusičnan draselný, síran hořečnato-draselný či Patentkali.

**Síran draselný** ( $K_2SO_4$ ) se obvykle vyrábí reakcí chloridu s kyselinou sírovou. Síran draselný obsahuje 43 % K (viz tabulka č. 8, kde jsou uvedeny obsahy draslíku ve vybraných hnojivech) a 18 % S v rostlinám snadno přístupné formě. Síran draselný a **dusičnan draselný** ( $KNO_3$ ) jsou oba vedlejší produkty těžby KCl, jsou komerčně dostupné, ale jsou dražší než chlorid draselný. Jsou vhodné pro použití do plodin, které jsou obzvláště citlivé na chlor – například do brambor a ovocných plodin. Síran draselný se dobře skladuje za vlhkých podmínek, neměl by však být mísen s dusičnanem vápenatým amonným či močovinou. Mezi hnojiva, kde je základní složka  $K_2SO_4$ , se řadí také hnojivo **Patentkali**, které obsahuje 23,7 % K a je vhodné pro všechny typy půd. **Síran hořečnato-draselný** ( $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ ) je pak v podstatě směs síranu draselného a kieseritu s 18 % K a 11 % Mg. Je to opět užitečné hnojivo pro použití do plodin, které jsou na chlor citlivé a potřebují výživu hořčíkem (Scherer 2005; Roy et al. 2006; Zörb et al. 2013).

Tabulka č. 8: Obsahy draslíku (%) ve vybraných hnojivech (Scherer 2005)

| Hnojivo                  | Vzorec                 | Koncentrace draslíku (%) |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Chlorid draselný         | KCl                    | 50, 41, 33               |
| Síran draselný           | $K_2SO_4$              | 43                       |
| Dusičnan draselný        | $KNO_3$                | 37                       |
| Síran hořečnato-draselný | $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ | 18                       |
| Kainit                   | KCl + NaCl + $MgSO_4$  | 10                       |

Další alternativou hnojení draslíkem je jeho dodání prostřednictvím kombinovaných hnojiv. Kombinovaná hnojiva se na trhu nachází v široké škále. Zkoumá se ale také využití jemně namletých draselných minerálů (živců a slíd) jakožto možnosti alternativního hnojiva. Výhodou tohoto hnojiva je nízká cena, ale efekt se nejspíše projevuje až po delším časovém odstupu – při zvětrávání jemně namletých minerálů (Kulhánek et al. 2014).

### 3.5.3 Hnojení statkovými (organickými) hnojivy

Vlivem degradace půdy v důsledku eroze, desertifikace, zpracování půdy a neudržitelných zemědělských postupů, dochází k výraznému poklesu výnosnosti na některých pozemcích. Na druhé straně růst světové populace zvyšuje poptávku po potravinách, což vyžaduje i zvýšení zemědělské produkce. Právě proto je potřebné postupovat tak, aby docházelo

ke zlepšení nebo obnovení kvality zemědělské půdy. Příznivé účinky na půdní úrodnost a mnoho dalších vlastností půdy má například hnůj (Rayne & Aula, 2020), který se řadí mezi statková hnojiva.

Statková hnojiva Vaněk et al. (2012) dělí na stájová hnojiva (hnůj, kejda, močůvka), dále na hnojiva rostlinného původu (sláma, zelené hnojení) a komposty. Statková hnojiva mají vysokou hnojivou hodnotu, dodávají do půdy organické látky, rostlinné živiny, mikroorganismy a látky stimulační, růstové a hormonální. Působení statkových hnojiv je navíc většinou pozvolnější a dlouhodobé, tato hnojiva mají vysokou hnojivou hodnotu a půdy pravidelně hnojené těmito hnojivy jsou úrodnější (Vaněk et al. 2012).

Kombinace minerálního a organického hnojení navíc zvyšuje výnosy plodin více než pouze minerální hnojení. Organické hnojení ovlivňuje výnosy plodin hlavně na hlinitopísčitéch půdách, kde díky snadnějšímu zahřívání půdy, zvýšení mikrobiální aktivity a lepší výměně vzduchu, dochází k lepšímu uvolňování živin obsažených v organických hnojivech (Káš et al. 2016).

Kulhánek et al. (2014) udává jako významný zdroj draslíku chlévský hnůj, který obsahuje 0,52 % draslíku a dále také močůvku a kejdu, které obsahují asi 0,42 % K. Udává také to, že se v budoucnu pravděpodobně bude čím dál více využívat také digestát ze zemědělských bioplynových stanic, který v neseparované formě obsahuje okolo 0,4 % K (Kulhánek et al. 2014). V tabulce č. 9 je uveden průměrný přívod živin do půdy ve vybraných statkových hnojivech.

Tabulka č. 9: Průměrný přívod živin do půdy ve vybraných statkových hnojivech a faremním kompostu (Klír 2006)

| Statkové hnojivo                      | Sušina (%) | N                                 | P       | K       |
|---------------------------------------|------------|-----------------------------------|---------|---------|
|                                       |            | kg/t statkového hnojiva, kompostu |         |         |
| Hnůj skotu                            | 23         | 5                                 | 1,4     | 5,9     |
| Hnůj skotu (hluboká podestýlka)       | 23         | 6                                 | 1,4     | 8,9     |
| Hnůj prasat                           | 23         | 6,2                               | 2,5     | 4,2     |
| Košský hnůj                           | 29         | 5,2                               | 1,4     | 6,1     |
| Močůvka skotu                         | 2,4        | 2,5                               | 0,1     | 4,4     |
| Močůvka prasat                        | 2          | 2,8                               | 0,2     | 2,1     |
| Hnojůvka                              | 2          | 1,2                               | 0,1     | 5,1     |
| Kejda skotu                           | 7,8        | 3,2                               | 0,7     | 4       |
| Kejda prasat                          | 6,8        | 5                                 | 1,3     | 1,9     |
| Suchý drůbeží trus (ztráty N 50 %)    | 73         | 28                                | 15,5    | 18,1    |
| Sláma obilnin (pšenice, ječmen apod.) | 85         | 4,2-6                             | 0,8-1,5 | 10-17,8 |
| Sláma obilnin (kukuřice na zrno)      | 85         | 9                                 | 1,1     | 16      |
| Sláma luskovin (hrách)                | 85         | 15                                | 1,5     | 15      |
| Sláma olejnín (řepka ozimá)           | 85         | 6,6                               | 1,3     | 19      |
| Chrást cukrovky                       | 15         | 4                                 | 0,4     | 4,5     |
| Faremní (zemědělský) kompost          | 45-60      | 5                                 | 1       | 3       |

### 3.5.3.1 Hnůj

Hnůj je považován za vynikající zdroj rostlinných živin – dusíku, fosforu a vápníku. Kromě toho se pomocí hnojení hnojem navrácí do půdy i organická hmota a další živiny, jako je vápník, hořčík a síra, což zvyšuje úrodnost a kvalitu půdy (Payne & Lawrence 2019).

Vaněk et al. 2012 udává, že hnůj působí v půdě 3 až 5 let, v těžších půdách působí déle a v lehčích půdách působí kratší dobu. V prvním roce se využívá hnůj na středních půdách asi z 50 %, ve druhém roce 25 % a ve třetím 12 %. Výhodou hnoje je to, že je část organických látek ve zralém hnoji již stabilizována a nepodléhá v půdě rychlé mineralizaci, hnojení hnojem je trvalejší a pozemky, které jsou pravidelně hnojené hnojem, vykazují vyšší úrodnost. Hnůj se aplikuje nejčastěji koncem léta či na podzim a je nutné ho zapravit do půdy do 48 h po rozmetání.

Winkler et al. (2016) uvádí, že některé plodiny reagují na hnojení chlévským hnojem významným a bujnějším růstem a zvýšením výnosu. Mezi tyto plodiny patří hlavně okopaniny, kukuřice, zelenina, některé olejninny (např. mák a slunečnice) a také žito pěstované na chudých půdách. Hnojení hnojem ovlivňuje biologické procesy v půdě – hlavně rozvoj půdního mikroedafonu (ten tvoří bakterie, prvoci, mikroskopické houby a další organismy). Díky činnosti půdního mikroedafonu dochází k mineralizaci zapraveného hnoje a jsou z něj postupně uvolňovány živiny, které jsou následně využívány plodinami.

Při zrání hnoje dohází ke ztrátám na organických látkách a živinách. Kvalita hnoje lze však zlepšit přidávkem fosforu či například tím, že se bloky hnoje pokryjí zeminou (aby se zamezilo ztrátám – především těkáním amoniaku) či přidávkem zeminy – ta se přidává ke chlévské mrvě v poměru 1:8-10 a následuje její kompostování. Kompostováním chlévské mrvy vzniká velmi kvalitní statkové hnojivo, nedochází ke větším ztrátám na organické hmotě a na živinách a v průběhu kompostování se tvoří větší množství stabilních humusových látek (Černý et al. 2010; Vaněk et al. 2012).

### 3.5.3.2 Močůvka a hnojůvka

Dalším ze statkových hnojiv je močůvka, což je prokvašená moč ustájených hospodářských zvířat, která je zředěná vodou. Močůvka je z hlediska obsahu živin hodnotným dusíkato-draselným hnojivem a využívají ji nejlépe plodiny, které jsou náročnější na dusík a draslík – okopaniny a krmné plodiny. Močůvka je ale vhodná i pro hnojení travních porostů či chmele a zeleniny a obsahuje v průměru 0,44 % K (Černý et al. 2010; Hlušek 2004; Vaněk et al. 2012).

Hnojůvka je označení pro tekutinu, která vytéká z hnoje při jeho zrání na hnojišti, je zachycována v jímkách a činí přibližně 8-20 % z uloženého množství chlévské mrvy. Hnojůvka má podobné složení jako močůvka, ale oproti ní je bohatší na obsah mikroorganismů. Obsah draslíku v hnojůvce se pohybuje mezi 0,46 % K a 0,58 % K (Černý et al. 2010; Hlušek 2004).

### 3.5.3.3 Kejda

Kejda je směs pevných a tekutých výkalů hospodářských zvířat, která je smíchaná s menším či větším množstvím vody, aby se zlepšila její tekutost (Klír 2001). Kejda obohacuje půdu o organické látky a snadno přijatelné živiny, pokud je kejda kvalitní a správně aplikována,

tak jsou živiny rostlinami dobře využity. Kejda skotu obsahuje 0,3 – 0,5 % draslíku (Roy et al. 2006).

Při hnojení kejdou je důležité její urychlené zapravení do půdy – do 24 hodin (stejně jako u močůvky). Kejda se většinou aplikuje při zaorávce slámy, ke krmným plodinám, k zelenému hnojení či k náročným zeleninám, které mají delší vegetační dobu (květák, kapusta, zelí...). Také je výhodné použití kejdy do kompostů (Vaněk et al. 2012).

#### 3.5.3.4 Kompost

Kompost pak můžeme definovat jako organické hnojivo, vyrobené v důsledku aerobního, anaerobního, nebo částečně aerobního rozkladu široké škály rostlinných, živočišných a průmyslových odpadů (Roy et al. 2006). Hlušek (2004) definuje komposty jako směs organických látek a zeminy oživené půdní mikroflórou, ve které probíhají nebo proběhly humusotvorné procesy. Zdrojem organické hmoty mohou být různé organické odpady – například sláma, bramborová nat' a podobně, ke kterým se přidávají anorganické hmoty (např. zemina či rybníční bahno). Jako mikrobiální substrát se používá močůvka, kejda či případně hnůj. Kvalitu kompostu je možno vylepšovat minerálními hnojivy, různými průmyslovými odpady a podobně. Aby se urychlil proces humifikace, je nutné komposty ošetřovat, prokalovat a přehazovat.

Aplikace kompostu zvyšuje mikrobiální aktivitu, obsah dusíku, draslíku, fosforu a organického uhlíku v rhizosféře (Taheri et al. 2012). Komposty jsou univerzálními hnojivy pro rostliny, které vyžadují organické hnojení, či pro travní a trvalé porosty. Dobrý obsah draslíku v kompostech je 1,2 v % sušiny při obsahu vody do 50 % (Vaněk et al. 2012).

#### 3.5.3.5 Zelené hnojení

Zelené hnojení představuje plodiny, které jsou zaorány zpět do půdy za účelem zlepšení růstu následujících plodin, udržuje půdní úrodnost a výnosnost (Adekiya et al. 2017). Zeleným hnojením se dodávají různé živiny do půdy – obsahuje jak makroživiny (N, P, K), tak i mikroživiny (například Ca, Mg, Si, Zn apod) (Islam et al. 2019).

Zároveň zelené hnojení dodává do půdy organickou hmotu, zlepšuje fyzikální a biologické vlastnosti půdy a může pomáhat při ochraně proti chorobám, škůdcům a plevelům. Jako zelené hnojení lze pěstovat široká škála rostlinných druhů – například luštěniny, jeteloviny, trávy, žito či hořčice (Rayns & Rosenfeld 2010).

Rostliny určené pro zelené hnojení lze pěstovat jako podsev, jako hlavní plodiny či jako krycí plodiny, které zvyšují kvalitu půdy a udržují půdní úrodnost pro produkci plodin, aby se s rostoucí populací uspokojila poptávka (Rayns & Rosenfeld 2010; Toungos 2019).

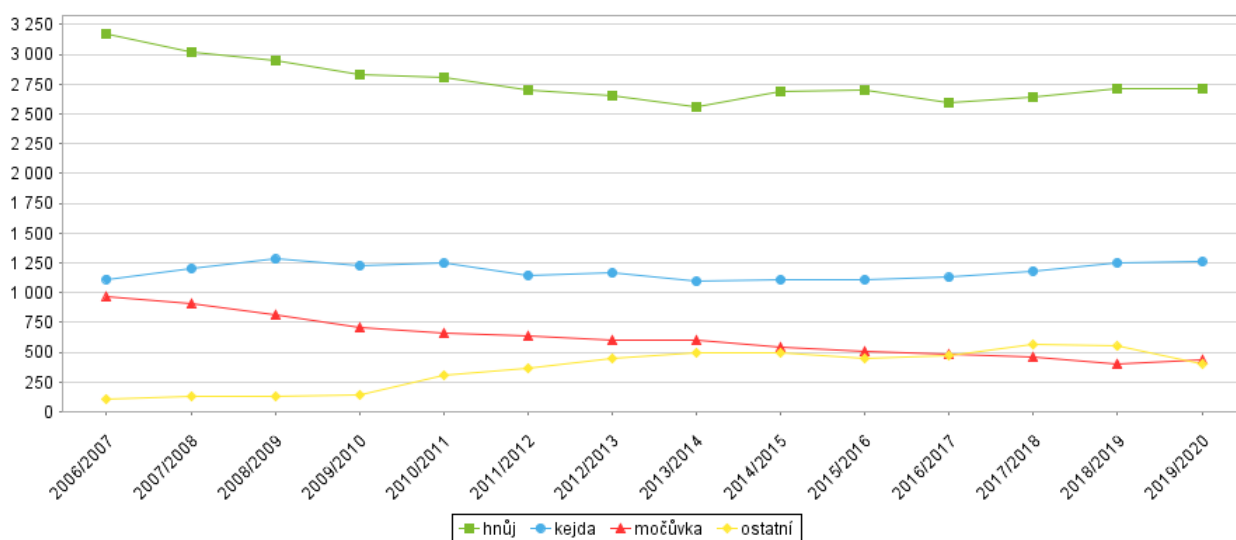
#### 3.5.3.6 Zaorávka slámy

Použití slámy ke hnojení vede ke zvýšení obsahu organických látek a humusu v půdě, její použití také ovlivňuje půdní úrodnost a působí na strukturu půdy. Sláma obsahuje 80-82 % organických látek, z živin je nejbohatší na draslík – sláma obilnin obsahuje 0,79 % K, kukuřičná sláma 1,26 % K, řepková sláma 0,85 % K a sláma luskovin 1,07 % draslíku. Aby byl zajištěn

optimální proces mineralizace a humifikace v půdě, tak je nutné slámu před zapravením pořezat, rozdrtit či rozštípat a také upravit poměr C:N na optimální poměr 20-30:1. K upravení tohoto poměru se používá aplikace kejdy či močůvky nebo minerálních hnojiv s dusíkem v amidové či amonné formě (např. DAM 390, síran amonný, močovina...), hnojiva s ledkovým dusíkem nelze použít a není vhodné aplikovat dusík na stanovištích, kde je vysoký obsah zbytkového minerálního dusíku. Hnojení slámou využívají nejlépe plodiny, které jsou běžně hnojeny chlévským hnojem (Hlušek 2004; Černý et al. 2010).

I když v posledních letech v ČR klesá spotřeba průmyslových minerálních hnojiv, i nadále jejich spotřeba výrazně převažuje nad spotřebou statkových hnojiv, které jsou pro půdu přínosné z důvodu zlepšení sorpčních vlastností půdy, půdní struktury a zvýšení výskytu půdních organismů (MŽP 2019). V grafu č. 3 je zaznamenána spotřeba statkových hnojiv v kg/ha obhospodařované zemědělské půdy. Jak je z grafu patrné, v ČR dochází ke snížení spotřeby statkových hnojiv – zejména hnoje a močůvky.

Graf č. 3: Spotřeba statkových hnojiv v ČR – kg/ha obhospodařované zemědělské půdy (ČSÚ 2021)



## 4 Metodika

### 4.1 Metodika

Dlouhodobý přesný polní pokus byl založen na stanicích ČZU a VÚRV v.v.i. Ruzyně v roce 1996. Pro účely této diplomové práce byla zvolena stanoviště s různými půdně-klimatickými podmínkami (Hněvčeves, Lukavec a Praha-Suchdol). Charakteristika stanovišť je patrná z tabulky č. 10. Na parcelkách (60 m<sup>2</sup>) jsou pěstovány v tříhonném osevním sledu brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen (viz obrázek č. 6). Cílem práce bylo hodnocení obsahu draslíku u ozimé pšenice. V pokusech byly pěstovány následující odrůdy této plodiny: Samanta (1997-1999), Alana (2000-2015) a RGT Reform (2016-2020).

Tabulka č. 10: Základní charakteristika pokusných stanovišť.

| Stanoviště                         | Hněvčeves                | Lukavec                   | Praha - Suchdol          |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Lokalizace</b>                  | 50°18'46"N,<br>15°43'3"E | 49°33'23"N,<br>14°58'39"E | 50°7'40"N,<br>14°22'33"E |
| <b>Nadmořská výška (m n. m.)</b>   | 265                      | 610                       | 286                      |
| <b>Průměrná roční teplota (°C)</b> | 8,2                      | 7,7                       | 9,1                      |
| <b>Průměrné roční srážky (mm)</b>  | 573                      | 666                       | 495                      |
| <b>Půdní typ</b>                   | Hnědozem                 | Kambizem                  | Černozem                 |
| <b>Půdní subtyp</b>                | <i>modální</i>           | <i>oglejená</i>           | <i>modální</i>           |
| <b>Půdní druh<sup>1)</sup></b>     | prachovitá hlína         | písčítá hlína             | prachovitá hlína         |
| <b>pH<sup>2)</sup></b>             | 6,20 (±0,2)              | 5,25 (±0,17)              | 7,5 (±0,10)              |
| <b>P<sup>3)</sup></b>              | 96 (±12)                 | 183 (±15)                 | 79 (±10)                 |
| <b>K<sup>3)</sup></b>              | 203 (±37)                | 245 (±28)                 | 236 (± 23)               |
| <b>Ca<sup>3)</sup></b>             | 2079 (±251)              | 1220 (±119)               | 7531 (±1710)             |
| <b>Mg<sup>3)</sup></b>             | 125 (±23)                | 74 (±13)                  | 167 (±20)                |

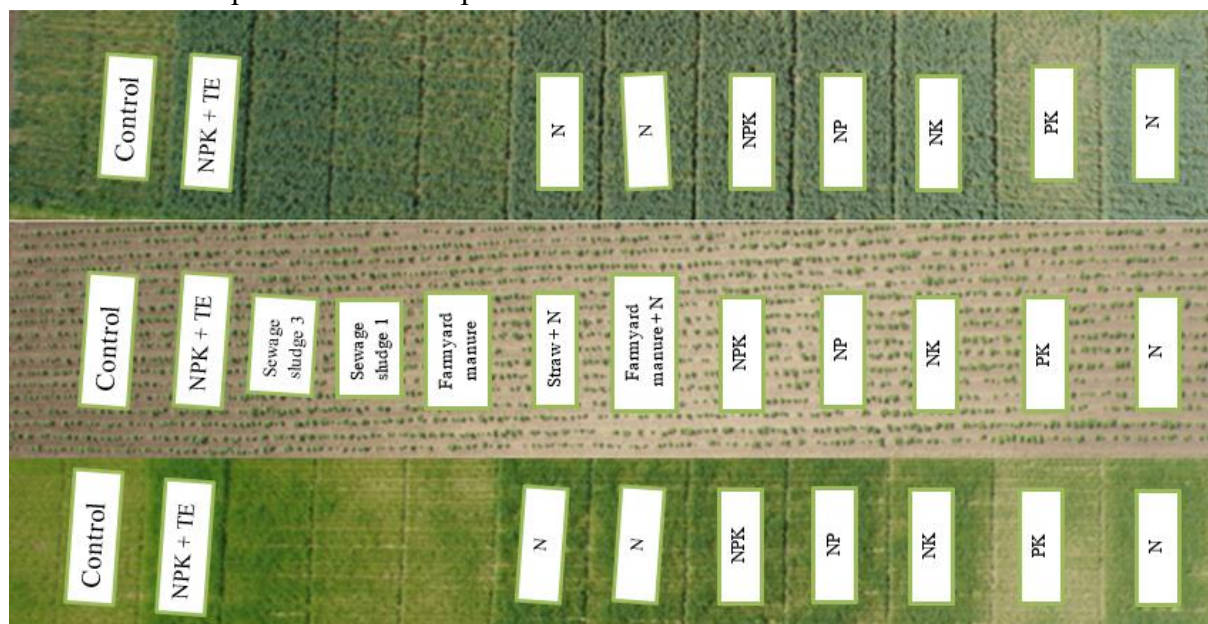
<sup>1)</sup> dle NRSC USDA

<sup>2)</sup> Stanoveno 0.01 mol/l CaCl<sub>2</sub>, 1:10 w/v v archivních vzorcích (1996)

<sup>3)</sup> Průměrné základní hodnoty stanovené metodou Mehlich 3 (rok 1996)



Obrázek č. 6: Mapa dlouhodobého pokusu



Organickými hnojivy je hnojeno pouze k první plodině v osevním sledu, proto je u brambor sledováno přímé působení aplikace organických hnojiv, u ozimé pšenice a jarního ječmene působení následné. Dávky dusíku jako hlavní živiny jsou uvedeny v tabulce č. 11. V téže tabulce jsou uvedeny i roční dávky draslíku, které byly v případě organických hnojiv dopočteny na základě obsahu K. Pro potřeby pokusu jsou používány čistírenské kaly z Ústřední čistírny odpadních vod Praha, Trója. Živiny z minerálních hnojiv (varianty NPK a N) jsou dodávány v LAV (27,5 % N), trojitým superfosfátu (21 % P; 30 kg P/ha/rok ke každé plodině u dané varianty) a 60 % draselné soli (50 % K).

Celý systém byl (s výjimkou nehnojené kontroly) založen na jednotné dávce dusíku tak, aby celková dávka N za 3 roky (brambory + pšenice ozimá + ječmen jarní) činila 330 kg N/ha. To platí pro organická i minerální hnojiva, popřípadě jejich kombinaci. Proto jsou při stejné dávce dusíku hodnoceny rozdíly mezi variantami z hlediska přístupných forem draslíku v půdě a odběr K rostlinami.

Tabulka č. 11: Systém hnojení polního pokusu ČZU (množství živin na 1 ha).

| Varianta                | Brambory | Ozimá pšenice | Jarní ječmen |
|-------------------------|----------|---------------|--------------|
| kontrola                | 0        | 0             | 0            |
| kal                     | 330 kg N | 0             | 0            |
|                         | 55 kg K  | 0             | 0            |
| hnůj                    | 330 kg N | 0             | 0            |
|                         | 352 kg K | 0             | 0            |
| NPK <sup>1)</sup>       | 120 kg N | 140 kg N      | 70 kg N      |
|                         | 100kg K  | 100 kg K      | 100 kg K     |
| N <sup>1)</sup> + sláma | 120 kg N | 140 kg N      | 70 kg N      |
|                         | 52 kg K  | 0             | 0            |



<sup>1)</sup> označené živiny (prvky) byly dodány v minerální formě, pokud je symbol u názvu varianty, byla celá varianta hnojena pouze minerálními hnojivy

Odběr vzorků ornice (0-30 cm) byl proveden po sklizni brambor a pšenice ozimé v roce 2017. Byl tak zjištěn přibližný obsah různých forem draslíku na pozemku před pěstováním pšenice a následně i jeho reálný obsah po sklizni. Ornice byla usušena a přeseta přes síto s velikostí otvorů 2 mm. Pro potřeby diplomové práce byly k analýzám využity archivní vzorky půdy z roku 1996 (před založením pokusu) a posledního ukončeného (sedmého) cyklu osevního postupu, tj. z roku 2017.

## **4.2 Analytická stanovení**

### **4.2.1 Extrakce půdy demineralizovanou vodou**

Extrakt pro stanovení okamžitě přístupného draslíku byly zhotoveny metodou adaptovanou dle Luscombe et al. (1979). Ke 3 g vzorku bylo doplněno 30 ml demineralizované vody. Vzorky byly třepány 1 hodinu a následně odstředěny 5 min. při 9000 g. Vzniklé extrakty byly analyzovány.

### **4.2.2 Obsah výměnného draslíku v půdě stanovený v roztoku octanu amonného**

Extrakce octanem amonným byla pro účely této práce adaptována dle Haby et al. (1990). Principem je vytěsnění draselného kationtu ze sorpčního komplexu prostřednictvím amonného kationtu. Vzorek půdy byl extrahován 1 mol/l roztokem octanu amonného v poměru 1:10 (3 g půdy, 30 ml vyluhovadla), při pH octanu 7,0. Vzorky byly třepány po dobu 2 hodin a následně odstředěny při 8000 g po dobu 5 min. V získaném supernatantu byl měřen obsah výměnného K.

### **4.2.3 Stanovení obsahu reziduálního draslíku lučavkou královskou**

Reziduální obsah K zahrnuje i formy draslíku, které jsou rostlinám prakticky nedostupné, avšak tvoří podstatné množství K v půdě, často i vyšší než 90 %. Postup byl proveden dle normy ISO 11466:1995. Ve stručnosti: 1 g vzorku byl extrahován 10 ml roztoku lučavky královské (konc. HCl a konc. HNO<sub>3</sub> v poměru 3:1) za pomoci nízkotlakého mikrovlnného rozkladu po dobu 40 minut. Výsledné extrakty byly kvantitativně převedeny do 25 ml zkumavek a následně měřeny na obsah K. Vzhledem k tomu, že jsou obsahy draslíku stanovené lučavkou královskou v jednotlivých sezónách udávány jako málo variabilní, byla provedena pouze extrakce archivních vzorků z roku 1996 a vzorků půd po sklizni ječmene, tedy po proběhnutí 7. osevního cyklu.

### **4.2.4 Obsah nevýměnného K stanovený horkou kyselinou dusičnou.**

Tato extrakce byla realizována s cílem získat informace o obsahu nevýměnného K v půdě. Za tímto účelem byla využita metoda dle Helmke & Sparks (2000), kdy bylo 2,5 g jemnozeme navážené do 100 ml Erlenmeyerovy lahvičky zalito 25 ml 2,5 mol/l kyseliny dusičné. Roztok byl na laboratorní plotně přiveden k varu a 10 min. vařen. Po ochlazení byl

vzorek zfiltrován a kvantitativně převeden do objemu 100 ml. Poté následovalo měření obsahu draslíku v extraktu. Obsah nevýměnného K byl vypočten odečtením obsahu výměnného K od hodnoty získané extrakcí horkou kyselinou dusičnou.

#### **4.2.5 Měření obsahu K ve výluzích**

Všechna měření obsahu draslíku v získaných výluzích byla realizována na optickém emisním spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Varian Vista-Pro, Mulgrave, Austrálie).

#### **4.2.6 Výnosy rostlin**

Na všech stanovištích jsou každoročně monitorovány výnosy zrna a slámy pšenice ozimé. Podle odběrových normativů uváděných dle Klír et al. (2008), tj. 3,7 kg K na 1 t výnosu zrna a 10 kg K na 1 t výnosu slámy je tak možné orientačně dopočítat odběr draslíku sklizní.

#### **4.2.7 Statistické vyhodnocení**

Pro statistické vyhodnocení byly využity základní popisné charakteristiky, časové řady a výpočty bilancí draslíku v programu Microsoft Excel.

## 5 Výsledky

Tato diplomová práce se zaměřuje na hodnocení různých systémů hnojení pšenice ozimé v dlouhodobých přesných polních pokusech, a to se zaměřením na vyhodnocení obsahu různých frakcí půdního K, výnosy zrna a odběr K sklizní pšenice.

### 5.1 Hodnocení různých frakcí draslíku v půdě a výnosů pšenice v závislosti na hnojení v různých lokalitách

Pokus byl založen v roce 1996 na stanovištích Hněvčeves, Lukavec a Suchdol. V tomto roce byl změřen obsah okamžitě přístupného draslíku v půdě a obsah draslíku výměnného, nevýměnného a reziduálního. Tyto hodnoty byly poté porovnávány s hodnotami naměřenými v roce 2017, kdy byl opět změřen obsah zmíněných frakcí draslíku v půdě.

Jsou tedy hodnoceny změny obsahu okamžitě přístupného draslíku, který byl stanoven pomocí vodného výluhu (viz kapitola 4.2.1.), změny obsahu výměnného draslíku, který byl stanoven za pomoci roztoku octanu amonného (viz kapitola 4.2.2.). Dále jsou hodnoceny změny obsahu nevýměnného draslíku, který byl stanoven pomocí horké kyseliny dusičné (viz kapitola 4.2.4.) a změny obsahu reziduálního draslíku, který byl stanoven pomocí lučavky královské (viz kapitola 4.2.3.). Zároveň jsou na těchto stanovištích hodnoceny různé systémy hnojení (kal, hnůj, NPK, N + sláma) pšenice ozimé a výnosy zrna pšenice ozimé.

Změny odběru draslíku rostlinami a výnosy zrna pšenice ozimé jsou pozorovány na stanovišti Hněvčeves, Lukavec a Suchdol po dobu 21 let – od roku 1996 do roku 2017 a výsledky jsou znázorněny pomocí grafů v následujících kapitolách.

#### 5.1.1 Stanoviště Hněvčeves

##### 5.1.1.1 Hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku

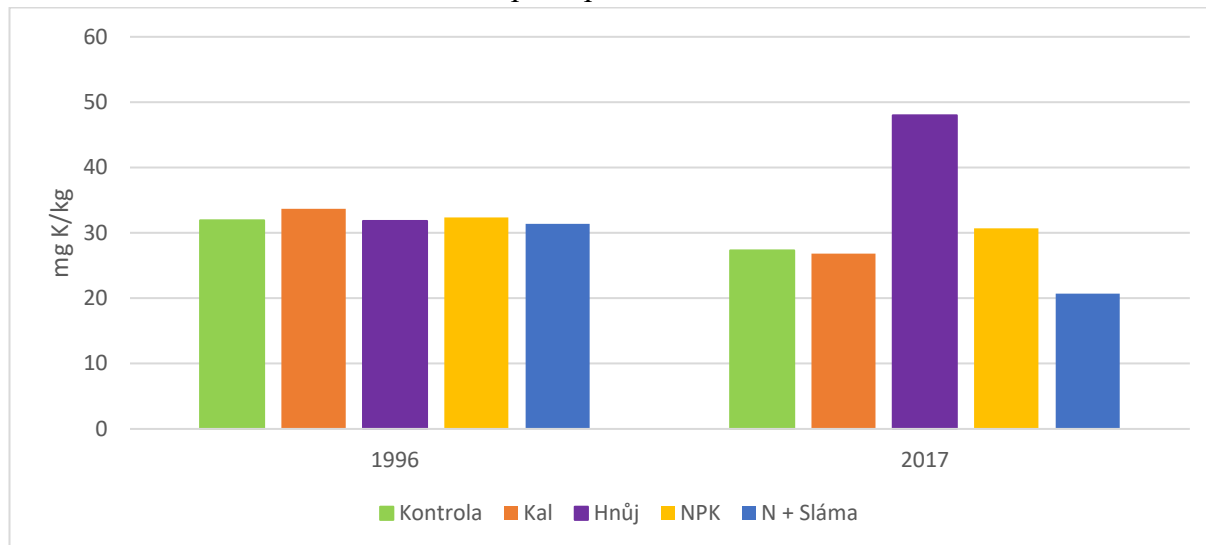
V grafu č. 4 je zobrazeno hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku na stanovišti Hněvčeves v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah okamžitě přístupného draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 31,4 mg K/kg do 33,7 mg K/kg. Průměrný obsah okamžitě přístupného draslíku na tomto stanovišti v roce 1996 činil 32,2 mg K/kg.

Z grafu je patrné to, že u většiny variant hnojení došlo během 21 let ke snížení obsahu okamžitě přístupného draslíku v půdě, až na variantu hnojenou hnojem. U varianty hnojené hnojem došlo naopak k nárůstu okamžitě přístupného draslíku – v roce 1996 byl u této varianty naměřen obsah okamžitě přístupné formy draslíku 31,8 mg K/kg a v roce 2017 byla hodnota vyšší – 48,0 mg K/kg.

Naopak k největšímu snížení obsahu této formy draslíku v půdě došlo u varianty hnojené dusíkem a slámou. Zde se obsah draslíku snížil z 31,4 mg K/kg na 20,7 mg K/kg.

U nehnojené kontroly došlo v průběhu let ke snížení obsahu okamžitě přístupného draslíku z 31,9 mg K/kg na 27,3 mg K/kg. U varianty hnojené kalem došlo ke snížení obsahu této formy draslíku z původního obsahu 33,7 mg K/kg na 26,8 mg K/kg. Nejmenší rozdíl v obsahu okamžitě přístupného draslíku mezi lety 1996 a 2017 byl zaznamenán u varianty hnojené NPK, kde se obsah K v obou sledovaných letech téměř nezměnil.

Graf č. 4: Hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku na stanovišti Hněvčeves



#### 5.1.1.2 Hodnocení obsahu výměnného draslíku

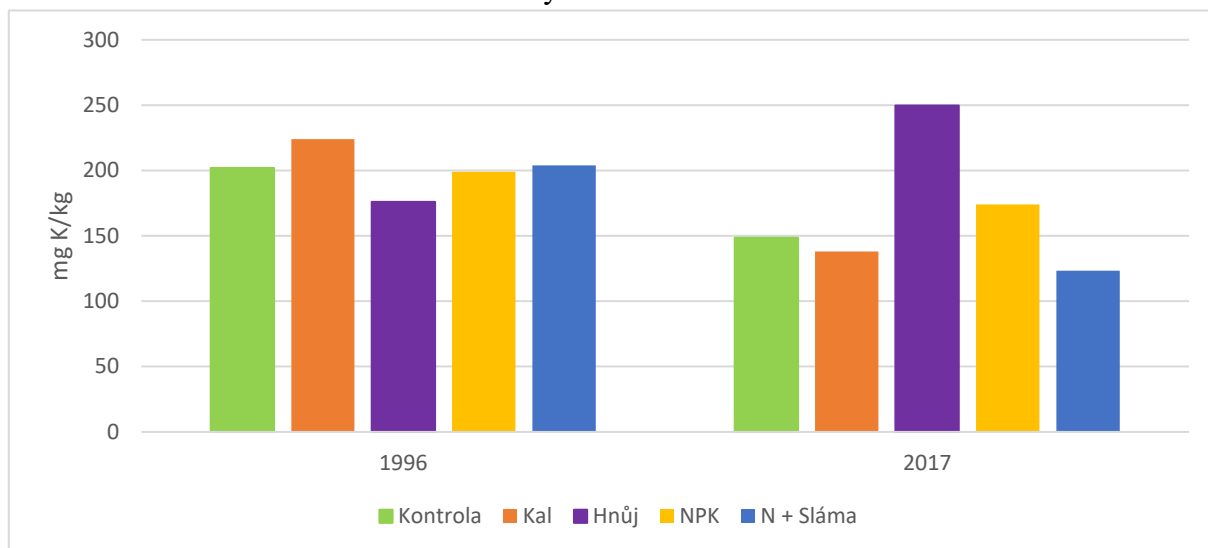
V grafu č. 5 je zobrazeno hodnocení obsahu výměnné formy draslíku na stanovišti Hněvčeves v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah výměnného draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 176 mg K/kg do 224 mg K/kg. V roce 1996 činila průměrná hodnota obsahu výměnného draslíku v půdě 201 mg K/kg.

Stejně jako u hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku, i u obsahu výměnného draslíku došlo u většiny variant hnojení ke snížení obsahu výměnné formy draslíku. Výjimkou byla opět varianta hnojená hnojem, kde došlo v průběhu let ke zvýšení obsahu výměnné formy draslíku z původního obsahu 176 mg K/kg na 250 mg K/kg.

K největšímu snížení obsahu této formy draslíku došlo u varianty, kde byl aplikován kal a u varianty hnojené dusíkem a slámou. U varianty, kde byl aplikován kal došlo v průběhu let ke snížení obsahu výměnného draslíku z 224 mg K/kg na 138 mg K/kg a u varianty hnojené dusíkem a slámou došlo ke snížení z 204 mg K/kg na 123 mg K/kg.

Nejmenší rozdíl v obsahu výměnného draslíku mezi lety 1996 a 2017, byl zaznamenán opět u varianty hnojené NPK, kde došlo k nejmírnějšímu snížení obsahu ze 199 mg K/kg na 174 mg K/kg. U kontrolní nehnojené varianty došlo ke snížení výměnného draslíku z 202 mg K/kg na 149 mg K/kg.

Graf č. 5: Hodnocení obsahu výměnného draslíku na stanovišti Hněvčeves



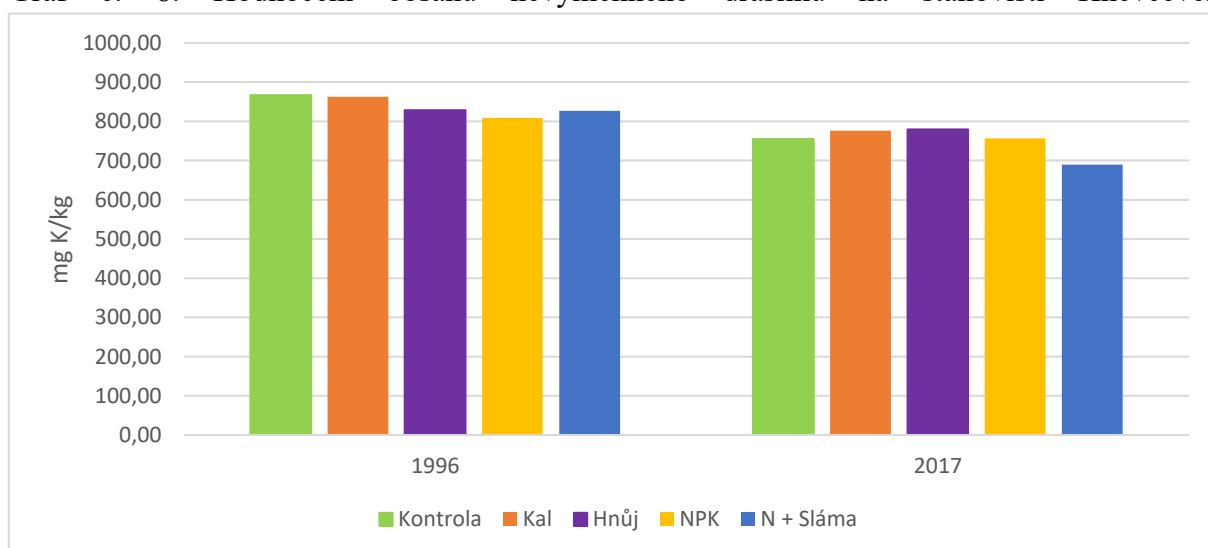
### 5.1.1.3 Hodnocení obsahu nevýměnného draslíku

Graf č. 6 zobrazuje vývoj obsahu nevýměnné formy draslíku na stanovišti Hněvčeves v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah nevýměnného draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 809 mg K/kg do 866 mg K/kg. V roce 1996 činila průměrná hodnota obsahu nevýměnného draslíku v půdě na stanovišti Hněvčeves 839 mg K/kg.

U všech variant hnojení došlo v průběhu let ke snížení obsahu nevýměnného draslíku v půdě. K nejmenšímu snížení obsahu nevýměnného draslíku došlo u varianty hnojené hnojem, kde se obsah snížil z 828 mg K/kg na 780 mg K/kg (tedy o cca 48 mg K/kg) a u varianty hnojené NPK, kde došlo ke snížení obsahu nevýměnného draslíku z 809 mg K/kg na 757 mg K/kg, tedy o cca 52 mg K/kg.

Naopak k největšímu snížení obsahu nevýměnné formy draslíku došlo u varianty hnojené dusíkem a slámou, kde došlo ke snížení obsahu z 827 mg K/kg na 689 mg K/kg. U nehnojené kontroly došlo ke snížení obsahu z 866 mg K/kg na 755 mg K/kg.

Graf č. 6: Hodnocení obsahu nevýměnného draslíku na stanovišti Hněvčeves



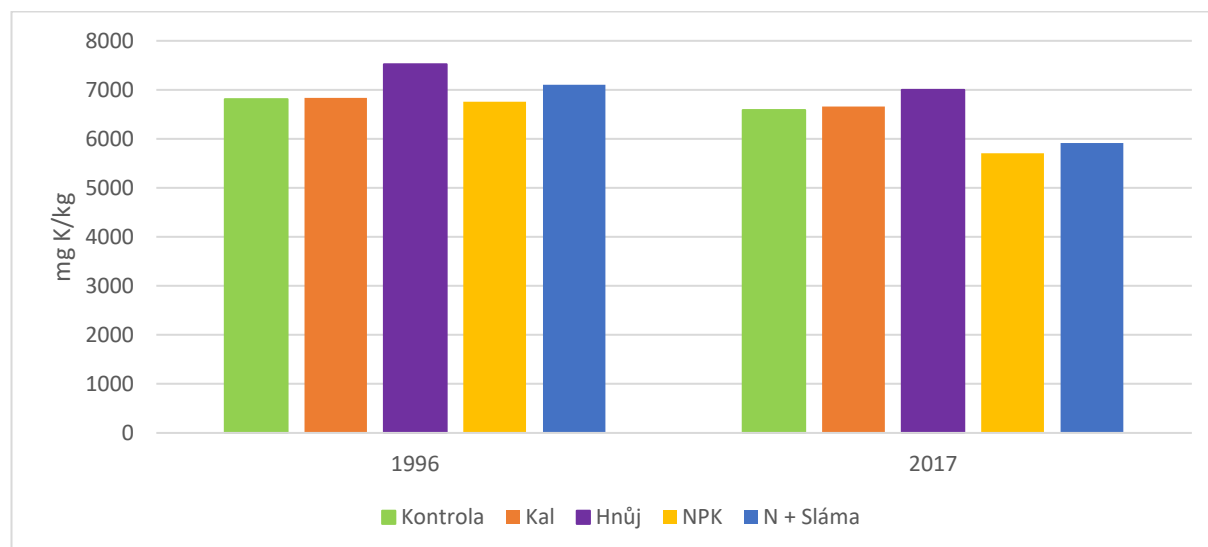
#### 5.1.1.4 Hodnocení obsahu reziduálního draslíku

V grafu č. 7 je zobrazeno hodnocení obsahu reziduálního draslíku na stanovišti Hněvčeves v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah reziduálního draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 6760 mg K/kg do 7519 mg K/kg. Průměrný obsah reziduálního draslíku na tomto stanovišti v roce 1996 činil 7006 mg K/kg.

U všech variant hnojení došlo v průběhu let ke snížení obsahu reziduálního draslíku v půdě. K nejmenšímu snížení obsahu reziduálního draslíku došlo u varianty hnojené kaly, kde se obsah snížil z 6837 mg K/kg na 6656 mg K/kg. Podobně na tom byl obsah draslíku u nehnojené kontroly, kde došlo ke snížení obsahu z 6810 mg K/kg na 6590 mg K/kg.

Naopak během let došlo k největšímu snížení obsahu reziduálního draslíku v půdě u varianty hnojené dusíkem a slámou, kde došlo ke snížení obsahu ze 7105 K/kg na 5916 mg K/kg. K výraznějšímu snížení obsahu reziduálního draslíku došlo i na variantě NPK, kde se obsah snížil z 6760 mg K/kg na 5704 mg K/kg.

Graf č. 7: Hodnocení obsahu reziduálního draslíku na stanovišti Hněvčeves



#### 5.1.1.5 Hodnocení výnosů zrna a slámy pšenice ozimé, odběry draslíku

V grafu č. 8 jsou znázorněny výnosy zrna pšenice ozimé na stanovišti Hněvčeves v závislosti na různých typech hnojení, a to od roku 1997 do roku 2017. Výnos zrna ozimé pšenice je udáván v t/ha a je přepočítán na 85 % sušiny.

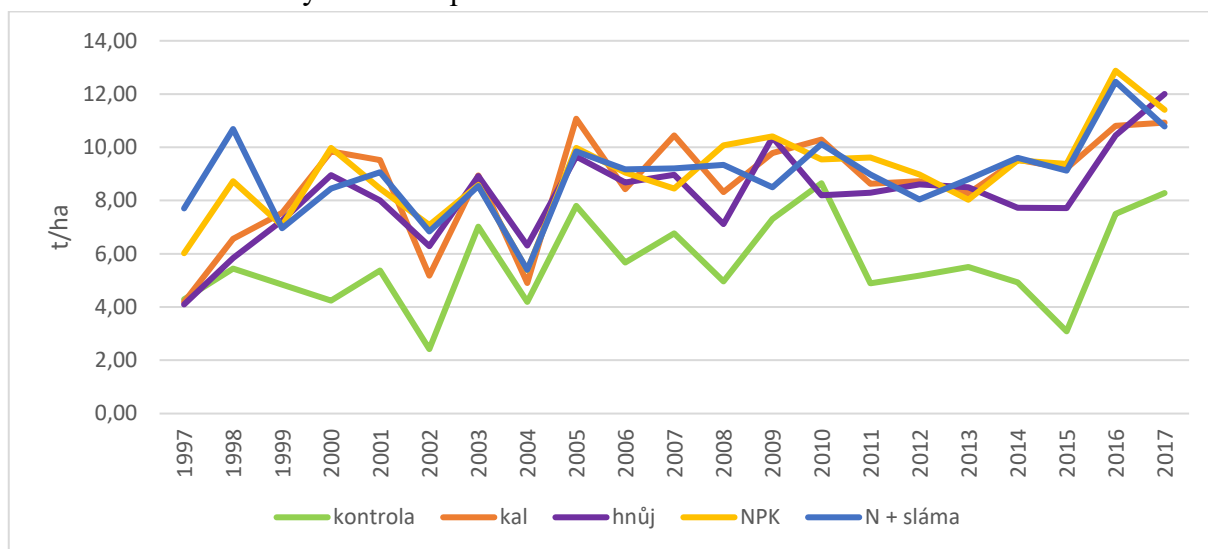
Jak je z grafu patrné, všechny systémy hnojení vykazovaly lepší výsledky než nehnojená kontrola, u které byly nejnižší výnosy. Z hnojených variant pak nejnižší výnosy vykazovala varianta hnojená hnojem.

Vyšší výnosy byly zaznamenány u varianty hnojené NPK a u varianty hnojené dusíkem a slámou a také u varianty hnojené kaly. Nejvyššího výnosu bylo dosaženo v roce 2016 u varianty hnojené NPK, kdy bylo dosaženo výnosu 12,9 t/ha.

Při porovnání roku 1997 (začátek monitorování) a roku 2017 (konec monitorování) je patrné to, že u všech variant hnojení (a i u nehnojené kontroly) došlo během sledovaných let ke

zvýšení výnosů zrna pšenice ozimé, a to pravděpodobně v důsledku postupného zařazování výkonnějších odrůd pšenice.

Graf č. 8: Hodnocení výnosů zrna pšenice ozimé na stanovišti Hněvčeves



Nejnižších výnosů zrna bylo dosaženo na nehnojené kontrole, kde výnos činil 5,64 t/ha. Naopak nejvyšších výnosů bylo dosaženo u varianty hnojené NPK, kde byl průměrný výnos zrna 8,98 t/ha. Vysokých výnosů bylo dosaženo i u varianty hnojené dusíkem a slámou, kde průměrný výnos zrna činil 8,93 t/ha. Nejnižší výnos zrna z hnojených variant byl zaznamenán u varianty hnojené hnojem, kde byl průměrný výnos zrna 8,19 t/ha.

V tabulce č. 12 je zobrazen také průměrný výnos slámy pšenice, přičemž největší výnos slámy byl zaznamenán opět u varianty hnojené NPK, kde výnos slámy činil 7,71 t/ha a nejnižší výnos (4,55 t/ha) slámy byl zaznamenán u nehnojené kontroly. Z hnojených variant byl nejnižší výnos slámy u varianty hnojené hnojem, kde činil 6,55 t/ha.

Zároveň byl hodnocen také celkový odběr draslíku zrnem a slámou ozimé pšenice za 21 let pokusu, největší odběr draslíku byl zaznamenán opět u varianty hnojené NPK, kde celkový odběr činil 2316 kg K/ha. nejmenší odběr draslíku byl zaznamenán opět u nehnojené kontroly (1393 kg K/ha).

V poslední řadě byla hodnocena také bilance draslíku za 21 let pokusu (viz tabulka č. 12). U varianty hnůj bylo dosaženo kladné bilance, zatímco u ostatních variant záporné a dochází tedy k postupnému prohlubování deficitu draslíku v půdě. Nezápornější bilance byla zaznamenána u varianty hnojené dusíkem a slámou.

Tabulka č. 12: Výnosy zrna a slámy a odběry draslíku zrnem a slámou ozimé pšenice na stanovišti Hněvčeves

| Hněvčeves        | Výnos t/ha/rok |       | Odběr K kg/ha/21 let |       |        | Bilance K (kg/ha/21 let) |         |
|------------------|----------------|-------|----------------------|-------|--------|--------------------------|---------|
|                  | Zrno           | Sláma | Zrno                 | Sláma | Celkem | Vstupy                   | Bilance |
| <b>kontrola</b>  | 5,64           | 4,55  | 438                  | 955   | 1393   | 0                        | -1393   |
| <b>kal</b>       | 8,62           | 6,86  | 670                  | 1441  | 2111   | 385                      | -1726   |
| <b>hnůj</b>      | 8,19           | 6,55  | 636                  | 1376  | 2012   | 2464                     | 452     |
| <b>NPK</b>       | 8,98           | 7,71  | 698                  | 1619  | 2316   | 2100                     | -216    |
| <b>N + sláma</b> | 8,93           | 7,57  | 694                  | 1590  | 2285   | 364                      | -1921   |

## 5.1.2 Stanoviště Lukavec

### 5.1.2.1 Hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku

V grafu č. 9 je zobrazeno hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku na stanovišti Lukavec v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah okamžitě přístupného draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 43,7 do 47,2 mg K/kg. Průměrný obsah okamžitě přístupného draslíku na tomto stanovišti v roce 1996 činil 45,7 mg K/kg. V porovnání se stanovištěm Hněvčeves, kde průměrný obsah okamžitě přístupného draslíku činil 32,2 mg K/kg, byl na stanovišti Lukavec naměřen vyšší obsah této formy draslíku.

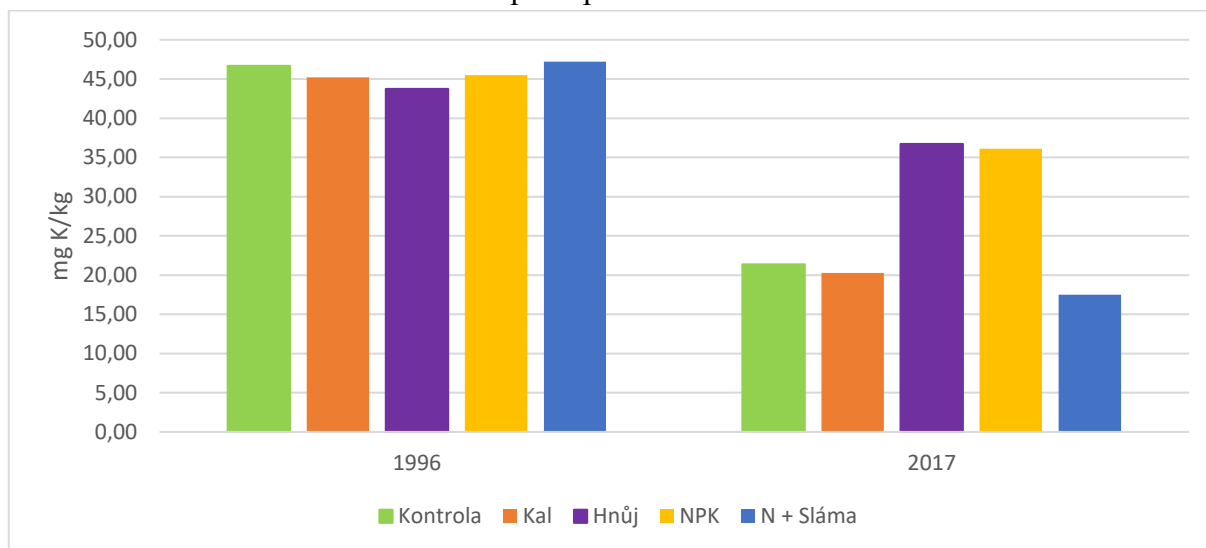
U všech variant hnojení došlo na stanovišti Lukavec během sledovaných 21 let ke snížení obsahu okamžitě přístupného draslíku v půdě. Nejvýraznější rozdíl byl zaznamenán u varianty hnojené dusíkem a slámou, kde došlo ke snížení obsahu okamžitě přístupného draslíku z 47,2 mg K/kg na 17,5 mg K/kg.

Výrazné snížení obsahu této formy draslíku bylo zaznamenáno také u nehnojené kontroly a u varianty hnojené kaly. U nehnojené kontroly došlo ke snížení obsahu okamžitě přístupného draslíku z 46,7 na 21,4 mg K/kg a u varianty hnojené kaly se obsah této formy draslíku snížil z původní hodnoty 45,2 na 20,3 mg k/kg.

K mírnému snížení obsahu okamžitě přístupného draslíku došlo u varianty hnojené hnojem, kde se obsah snížil z 43,7 na 36,7 mg/kg a podobně i u varianty NPK – z 45,5 mg K/kg na 36 mg K/kg.



Graf č. 9: Hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku na stanovišti Lukavec



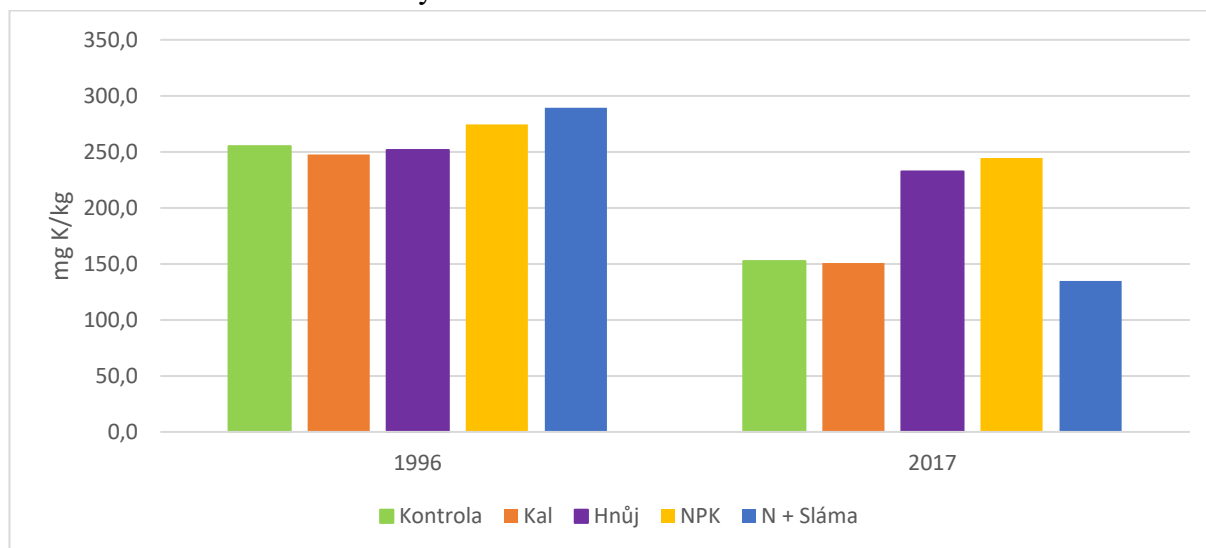
### 5.1.2.2 Hodnocení obsahu výměnného draslíku

V grafu č. 10 je zobrazeno hodnocení obsahu výměnné formy draslíku na stanovišti Lukavec v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah výměnného draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 248 do 289 mg K/kg. Průměrná hodnota přitom činila 264 mg K/kg. V porovnání s lokalitou Hněvčeves, kde průměrný obsah výměnného draslíku v roce 1996 činil 201 mg K/kg, byl tedy obsah výměnné formy draslíku v půdě na lokalitě Lukavec rovněž vyšší.

Na stanovišti Lukavec došlo u všech variant hnojení v průběhu let ke snížení obsahu výměnné formy draslíku. Největší rozdíl byl zaznamenán u varianty hnojené dusíkem a slámou, kde v roce 1996 činil obsah výměnného draslíku 289 mg K/kg a v roce 2017 pouze 135 mg K/kg. Výrazný rozdíl byl zaznamenán také u nehnojené kontroly a u varianty, kdy byly aplikovány kaly. U nehnojené kontroly se snížil obsah výměnného draslíku o 102,5 mg K/kg a u varianty, kde byly aplikovány kaly o 97 mg K/kg.

Naopak malé rozdíly v obsahu výměnného draslíku byly zaznamenány u varianty hnojené hnojem, kde došlo ke snížení obsahu K o 19 mg K/kg. Podobně tomu bylo i u varianty NPK (snížení o 30 mg K/kg).

Graf č. 10: Hodnocení obsahu výměnného draslíku na stanovišti Lukavec



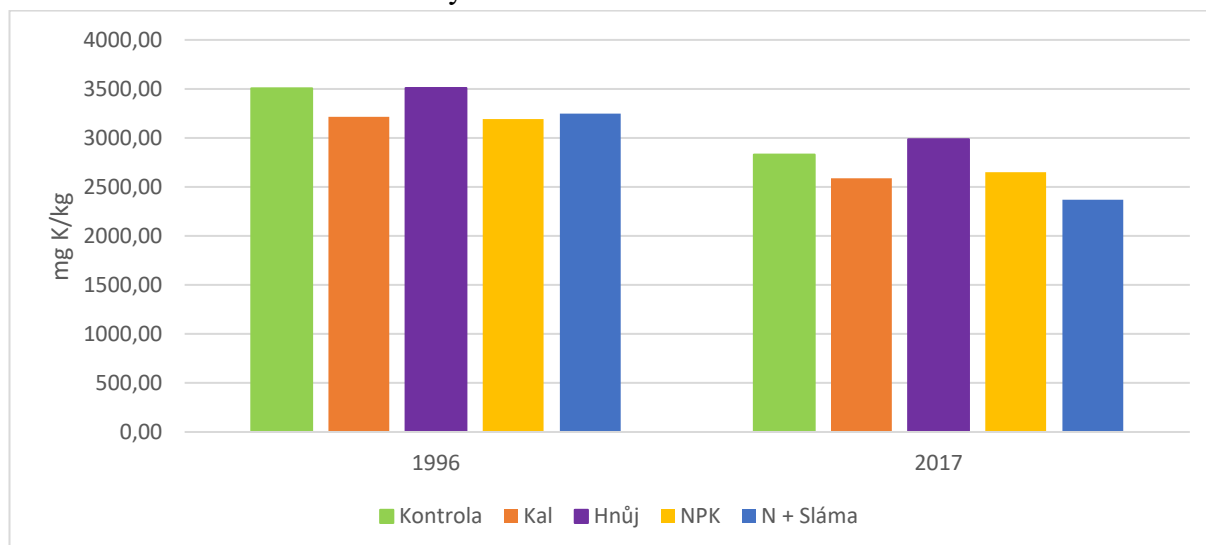
### 5.1.2.3 Hodnocení obsahu nevýměnného draslíku

Graf č. 11 zobrazuje hodnocení obsahu nevýměnné formy draslíku na stanovišti Lukavec v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah nevýměnného draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 3193 mg K/kg do 3508 mg K/kg, průměrná hodnota obsahu nevýměnného draslíku v půdě na stanovišti Lukavec v roce 1996 činila 3334 mg K/kg. V porovnání s lokalitou Hněvčeves, kde byl průměrný obsah nevýměnné formy draslíku v roce 1996 pouze 839 mg K/kg, byl tedy obsah nevýměnného draslíku výrazně vyšší.

Z grafu lze vyčíst, že na stanovišti Lukavec došlo u většiny variant hnojení v průběhu let k rovnoměrnému poklesu obsahu nevýměnného draslíku. Jen u varianty hnojené dusíkem a slámou byl pokles obsahu této formy draslíku výraznější – z 3249 mg K/kg se snížil na 2370 mg K/kg.

Naopak nejmenší rozdíl byl zaznamenán u varianty hnojené hnojem, kde se snížil obsah nevýměnného draslíku z 3508 mg K/kg na 2985 mg K/kg.

Graf č. 11: Hodnocení obsahu nevýměnného draslíku na stanovišti Lukavec



#### 5.1.2.4 Hodnocení obsahu reziduálního draslíku

Graf č. 12 zobrazuje hodnocení obsahu reziduálního draslíku na stanovišti Lukavec v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah reziduálního draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 7615 mg K/kg (u nehnojené kontroly) do 9298 mg K/kg (u varianty hnojené N + slámou), průměrná hodnota obsahu reziduálního draslíku v půdě na stanovišti Lukavec v roce 1996 činila 8373 mg K/kg, tj. o 1367 mg K/kg vyšší hodnota než u stanoviště Hněvčeves.

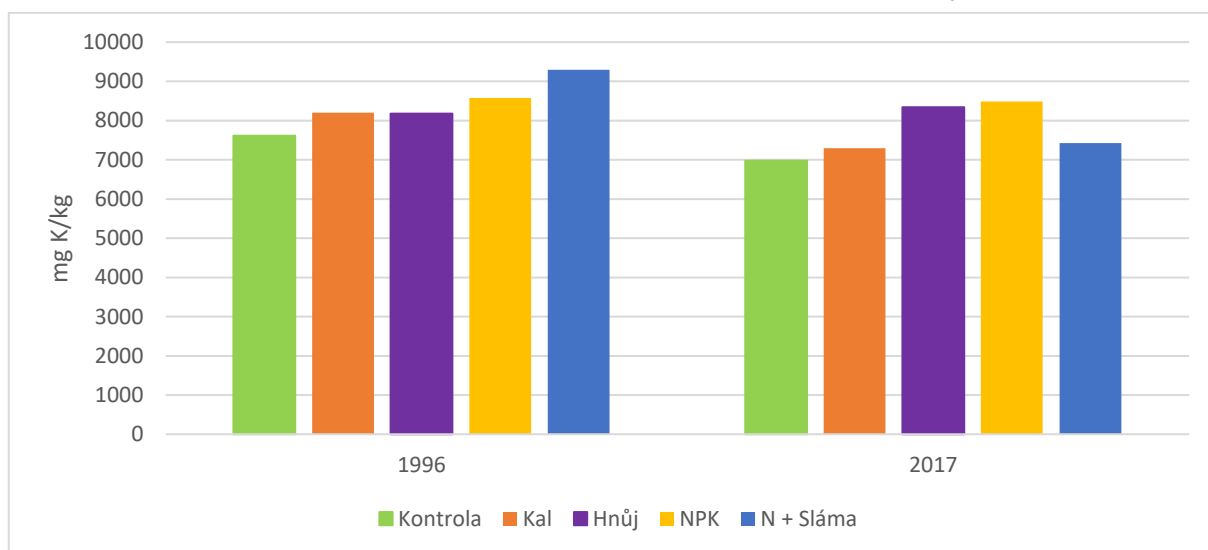
Z grafu je patrné, že na stanovišti Lukavec došlo u většiny variant hnojení v průběhu let k poklesu obsahu reziduálního draslíku. Jedinou výjimkou byla varianta hnojená hnojem, kde došlo naopak k mírnému zvýšení obsahu této formy draslíku z původního obsahu 8179 mg K/kg na 8340 mg K/kg.

U varianty hnojené dusíkem a slámou byl zaznamenán naopak nejvýraznější pokles obsahu reziduálního draslíku – z původního obsahu 9298 mg K/kg se snížil na 7428 mg K/kg.

Nejmenší pokles obsahu reziduálního draslíku byl zaznamenán u varianty hnojené NPK, kde se obsah snížil z 8573 mg K/kg na 8487 mg K/kg.

U nehnojené kontroly se obsah reziduálního draslíku snížil z 7615 mg K/kg na 6974 mg K/kg. U varianty hnojené kaly obsah této formy draslíku poklesl z původního obsahu 8198 mg K/kg na 7297 mg K/kg.

Graf č. 12: Hodnocení obsahu reziduálního draslíku na stanovišti Lukavec



#### 5.1.2.5 Hodnocení výnosů zrna a slámy pšenice ozimé, odběry draslíku

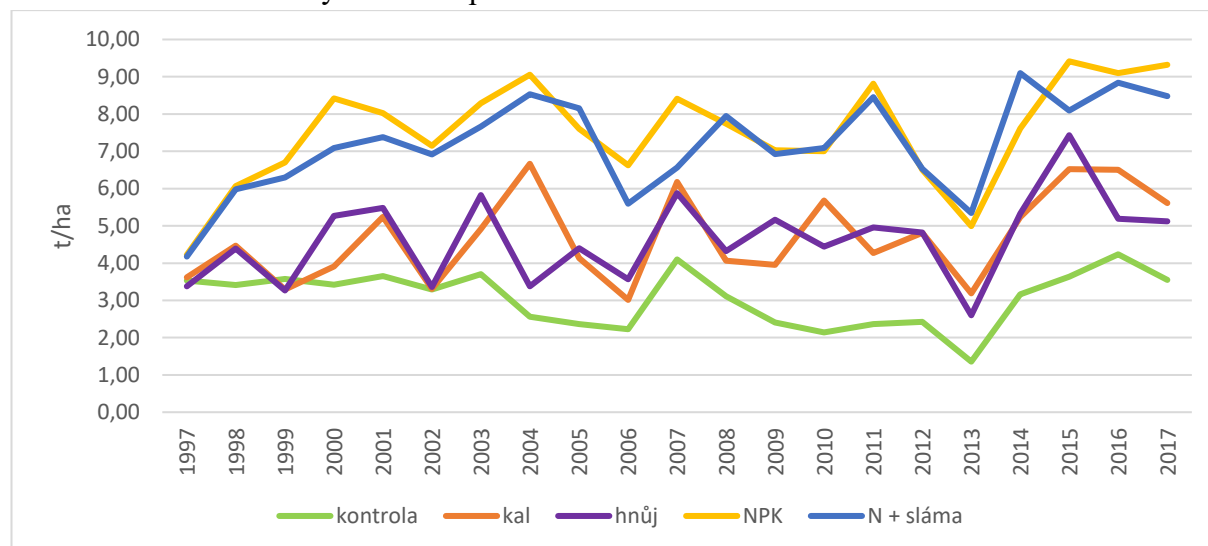
Graf č. 13 znázorňuje výnosy zrna pšenice ozimé na stanovišti Lukavec v závislosti na různých typech hnojení, a to od roku 1997 do roku 2017. Výnos zrna ozimé pšenice je udáván v t/ha a je přepočítán na 85 % sušiny.

Jak je z grafu patrné, většinou systémy hnojení vykazovaly lepší výsledky než nehnojená kontrola, u které byly zpravidla nejnižší výnosy.

Nejvyšší výnosy byly zaznamenány u varianty hnojené NPK a u varianty hnojené dusíkem a slámou. Nejvyššího výnosu bylo dosaženo v roce 2015 u varianty hnojené NPK, kdy bylo dosaženo výnosu 9,41 t/ha.

Při porovnání roku 1997 (začátek monitorování) a roku 2017 (konec monitorování) je patrné to, že u nehnojené kontroly zůstaly výnosy zrna přibližně stejné, zatímco u všech hnojených variant došlo v průběhu času k výraznému zvýšení výnosů zrna pšenice ozimé, opět v důsledku změny odrůd během pokusu.

Graf č. 13: Hodnocení výnosů zrna pšenice ozimé na stanovišti Lukavec



Jak je z tabulky 13 patrné, nejnižších výnosů zrna na stanovišti Lukavec bylo dosaženo na nehnojené kontrole, kde průměrný výnos činil 3,06 t/ha. Naopak nejvyšších výnosů bylo dosaženo u varianty hnojené NPK, kde byl průměrný výnos 7,53 t/ha. Vysokých výnosů bylo dosaženo také u varianty hnojené dusíkem a slámou, kde průměrný výnos zrna činil 7,2 t/ha. Nejnižší průměrný výnos z hnojených variant byl zaznamenán u varianty hnojené hnojem, kde činil pouze 4,65 t/ha.

V tabulce č. 13 je zobrazen také výnos slámy pšenice, přičemž největší výnos slámy byl zaznamenán opět u varianty hnojené NPK (5,9 t/ha) a nejnižší u nehnojené kontroly (3,2 t/ha). Z hnojených variant byl nejnižší výnos slámy u varianty hnojené kaly, kde činil 4,1 t/ha.

Byl hodnocen také celkový odběr draslíku zrnem a slámou ozimé pšenice (za 21 let pokusu), největší odběr draslíku byl zaznamenán opět u varianty hnojené NPK, kde celkový odběr činil 1825 kg K/ha. Nejmenší odběr draslíku byl zaznamenán opět u nehnojené kontroly, kde byl prakticky poloviční. Z hnojených variant byl nejmenší odběr draslíku zrnem a slámou pšenice zaznamenán u varianty hnojené kaly, kde činil 1226 kg K/ha.

Zároveň byla hodnocena také bilance draslíku za 21 let pokusu. U varianty hnůj a NPK bylo dosaženo kladné bilance, zatímco u ostatních variant záporné. Dochází tedy k postupnému prohlubování deficitu draslíku v půdě. Nejzápornější bilance byla opět zaznamenána u varianty hnojené dusíkem a slámou.

Tabulka č. 13: Výnosy zrna a slámy a odběry draslíku zrnem a slámou ozimé pšenice na stanovišti Lukavec

| Lukavec          | Výnos t/ha/rok |       | Odběr K kg/ha/21 let |       |        | Bilance K (kg/ha/21 let) |         |
|------------------|----------------|-------|----------------------|-------|--------|--------------------------|---------|
|                  | Zrno           | Sláma | Zrno                 | Sláma | Celkem | Vstup                    | Bilance |
| <b>kontrola</b>  | 3,06           | 3,20  | 238                  | 671   | 909    | 0                        | -909    |
| <b>kal</b>       | 4,69           | 4,10  | 365                  | 861   | 1226   | 385                      | -841    |
| <b>hnůj</b>      | 4,65           | 4,26  | 361                  | 894   | 1255   | 2464                     | 1209    |
| <b>NPK</b>       | 7,53           | 5,90  | 585                  | 1240  | 1825   | 2100                     | 275     |
| <b>N + sláma</b> | 7,20           | 5,56  | 559                  | 1169  | 1728   | 364                      | -1364   |

### 5.1.3 Stanoviště Suchdol

#### 5.1.3.1 Hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku

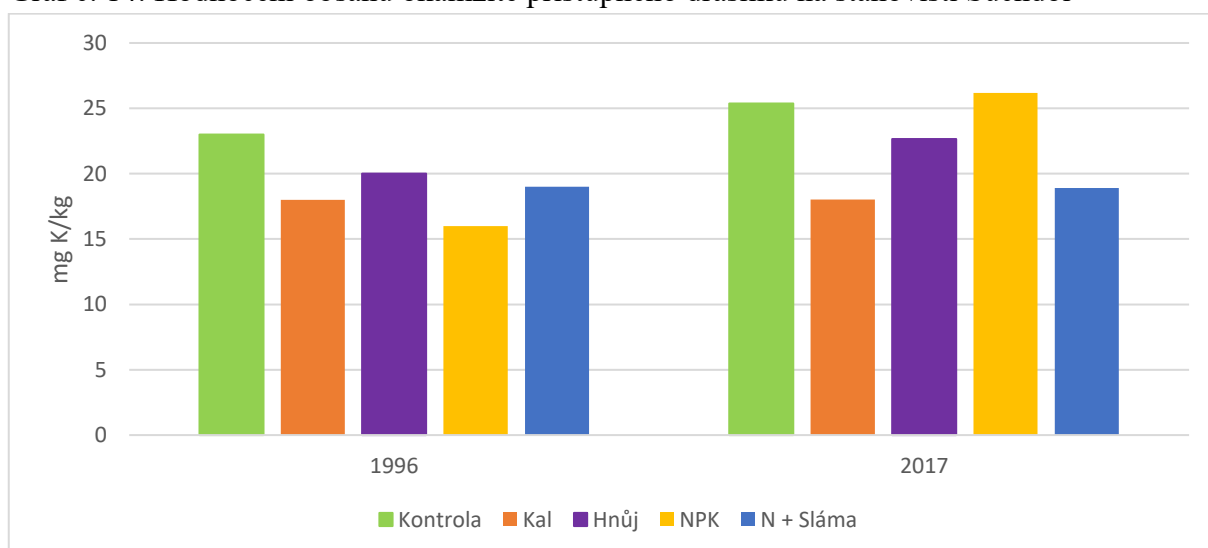
V grafu č. 14 je zobrazeno hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku na stanovišti Suchdol v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah okamžitě přístupného draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 16 mg K/kg do 23 mg K/kg. Průměrný obsah okamžitě přístupného draslíku na tomto stanovišti v roce 1996 činil 19 mg K/kg. V porovnání s lokalitami Hněvčeves i Lukavec zde byl zaznamenán nejmenší průměrný obsah této formy draslíku ze všech tří stanovišť.

Na stanovišti Suchdol došlo během sledovaných 21 let u většiny variant hnojení ke zvýšení obsahu okamžitě přístupného draslíku v půdě, jen u varianty hnojené kaly a u varianty hnojené dusíkem a slámou se obsah této formy draslíku v průběhu let téměř nezměnil.

Nejvýraznější rozdíl byl zaznamenán u varianty hnojené NPK, kde došlo ke zvýšení obsahu okamžitě přístupného draslíku z 16 na 26,2 mg K/kg.

U nehnojené kontroly se obsah okamžitě přístupného draslíku v půdě nepatrně zvýšil z 23,0 na 25,4 mg K/kg. U varianty hnojené hnojem došlo ke zvýšení obsahu této formy draslíku z 20 na 22,6 mg K/kg.

Graf č. 14: Hodnocení obsahu okamžitě přístupného draslíku na stanovišti Suchdol



### 5.1.3.2 Hodnocení obsahu výměnného draslíku

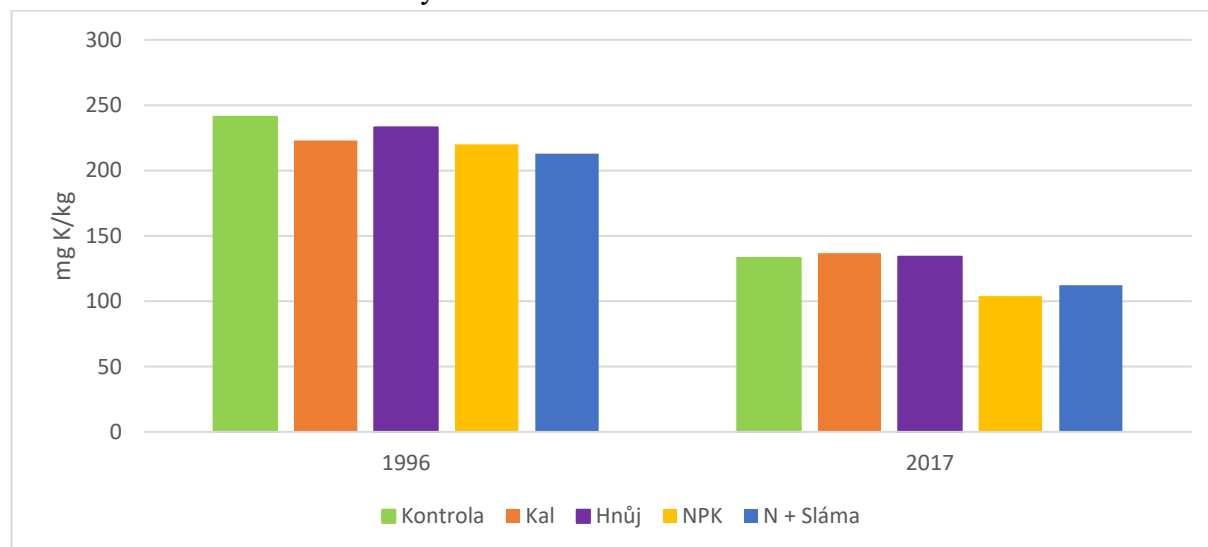
Graf č. 15 zobrazuje hodnocení obsahu výměnné formy draslíku na stanovišti Suchdol v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah výměnného draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 213 do 241 mg K/kg, s průměrem 226 mg K/kg. V porovnání s lokalitou Lukavec, byl obsah výměnného draslíku na tomto stanovišti v roce 1996 nižší a v porovnání s lokalitou Hněvčeves naopak vyšší.

Na stanovišti Suchdol došlo u všech variant hnojení v průběhu let ke snížení obsahu výměnné formy draslíku. Největší rozdíl byl zaznamenán u varianty hnojené NPK, kde v roce 1996 činil obsah výměnného draslíku 220 mg K/kg a v roce 2017 pouze 104 mg K/kg. U nehnojené kontroly došlo také k výraznému snížení obsahu výměnné formy draslíku – z 241 na 133 mg K/kg.

Nejmenší rozdíl v obsahu výměnného draslíku na tomto stanovišti byl zaznamenán u varianty hnojené kaly, kde došlo ke snížení obsahu z 223 na 137 mg K/kg.

U varianty hnojené hnojem se obsah této formy draslíku snížil z 233 mg K/kg na 134 mg K/kg a u varianty hnojené dusíkem a slámou došlo v průběhu let ke snížení obsahu výměnné formy draslíku z 213 mg K/kg na 112 mg K/kg.

Graf č. 15: Hodnocení obsahu výměnného draslíku na stanovišti Suchdol



### 5.1.3.3 Hodnocení obsahu nevýměnného draslíku

V grafu č. 16 je zobrazeno hodnocení obsahu nevýměnné formy draslíku na stanovišti Suchdol v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah nevýměnného draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 1579 mg K/kg do 1677 mg K/kg, průměrná hodnota obsahu nevýměnného draslíku v půdě na stanovišti Suchdol v roce 1996 činila 1639 mg K/kg.

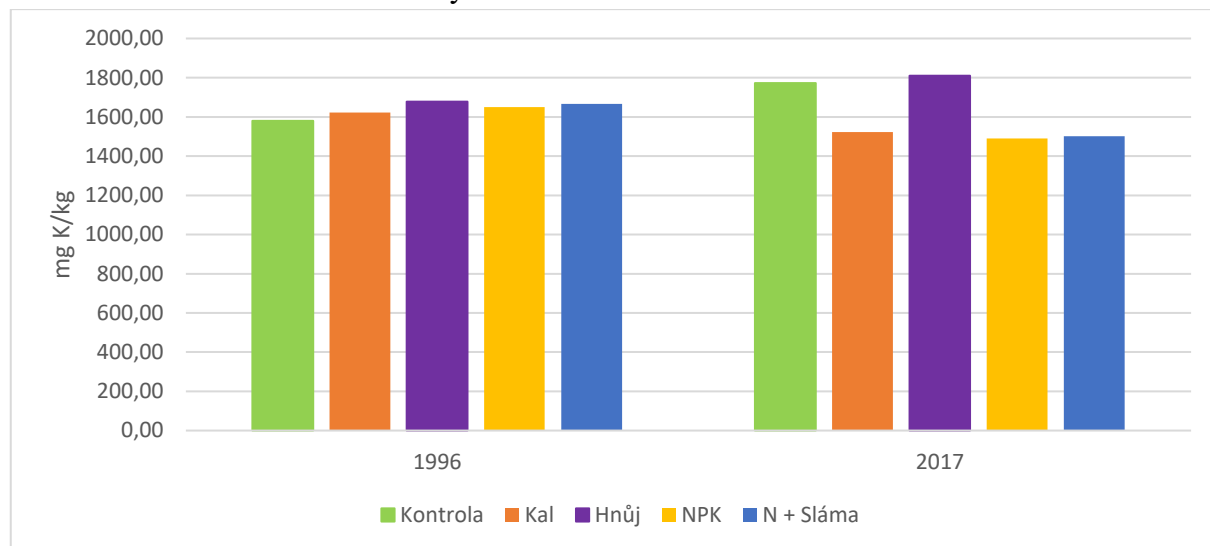
V porovnání s lokalitou Hněvčeves byl zde obsah výrazně vyšší. Obsah nevýměnného draslíku byl však nižší než u lokality Lukavec.

Z grafu č. 16 lze vyčíst, že na stanovišti Suchdol došlo u většiny variant hnojení v průběhu let k rovnoměrnému poklesu obsahu nevýměnného draslíku, ale u nehnojené kontroly a u varianty hnojené hnojem došlo ke zvýšení obsahu nevýměnného draslíku. U

kontroly došlo ke zvýšení obsahu z 1579 mg K/kg na 1772 mg K/kg a u varianty hnojené hnojem se zvýšil obsah nevýměnného draslíku z původního obsahu 1677 mg K/kg na 1810 mg K/kg.

Naopak nejvýraznější pokles obsahu nevýměnného draslíku v půdě byl zaznamenán u varianty hnojené dusíkem a slámou – obsah se z původních 1666 mg K/kg snížil o 165 mg K/kg. K podobnému poklesu obsahu došlo i u varianty NPK, kde se obsah nevýměnného draslíku snížil o 160 mg K/kg.

Graf č. 16: Hodnocení obsahu nevýměnného draslíku na stanovišti Suchdol



#### 5.1.3.4 Hodnocení obsahu reziduálního draslíku

Graf č. 17 zobrazuje hodnocení obsahu reziduálního draslíku na stanovišti Suchdol v roce 1996 a v roce 2017. V roce 1996 se obsah reziduálního draslíku pohyboval v rozmezí hodnot od 8226 mg K/kg do 8955 mg K/kg a průměrná hodnota činila 8636 mg K/kg.

Při porovnání se stanovištěm Lukavec se jednalo o podobnou průměrnou hodnotu. Naopak tomu bylo při srovnání se stanovištěm Hněvčeves, kdy lokalita Suchdol vykazovala výrazně vyšší hodnotu.

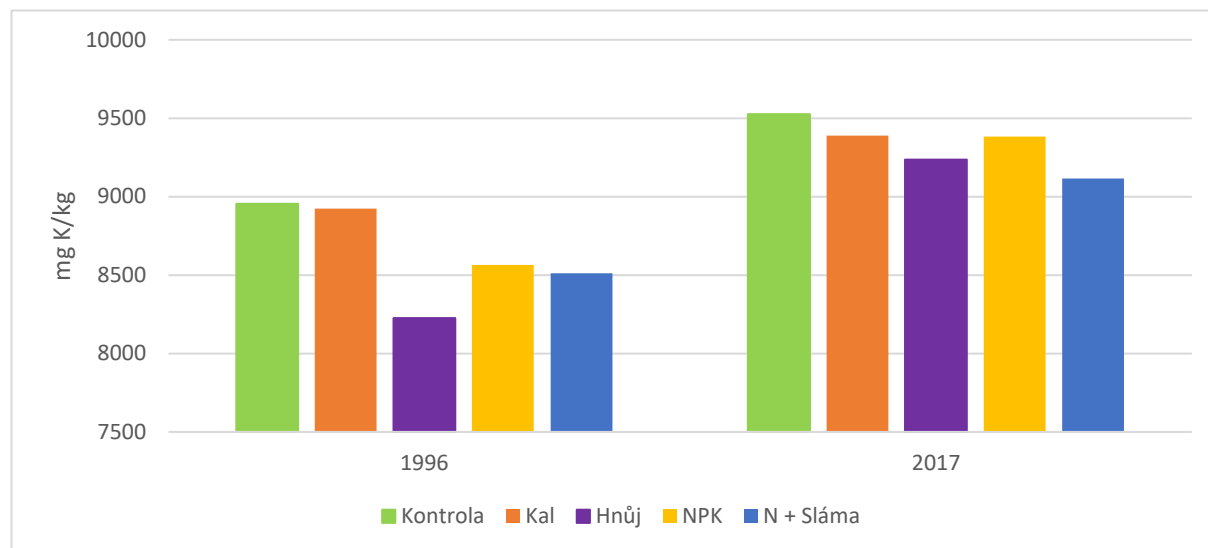
Z grafu je dále patrné, že na stanovišti Suchdol došlo u všech variant hnojení v průběhu let ke zvýšení obsahu reziduálního draslíku v půdě.

Největší zvýšení obsahu reziduálního draslíku v průběhu let bylo zaznamenáno u varianty hnojené hnojem, kde se původní obsah zvýšil o 1010 mg K/kg – z 8226 na 9236 mg K/kg. K výraznému zvýšení (o 819 mg K/kg) došlo také u varianty hnojené NPK.

K nejmenšímu zvýšení obsahu této formy draslíku došlo u varianty hnojené kaly, kde došlo k navýšení obsahu z 8925 mg K/kg na 9389 mg K/kg.

U nehnojené kontroly se obsah této formy draslíku zvýšil z 8955 mg K/kg na 9525 mg K/kg, tedy o 570 mg K/kg.

Graf č. 17: Hodnocení obsahu reziduálního draslíku na stanovišti Suchdol



#### 5.1.3.5 Hodnocení výnosů zrna a slámy pšenice ozimé, odběry draslíku

Graf č. 18 znázorňuje výnosy zrna pšenice ozimé na stanovišti Suchdol v závislosti na různých typech hnojení, a to od roku 1997 do roku 2017. Výnos zrna ozimé pšenice je udáván v t/ha a je přepočítaný na 85 % sušiny.

Z grafu je patrné to, že u stanoviště Suchdol nebyl rozdíl mezi výnosy na nehnojené kontrole a výnosy u varianty hnojené hnojem tak výrazný, jako u stanoviště Lukavec, nicméně i tak byly u nehnojené kontroly zaznamenány téměř vždy nižší výnosy než u hnojených variant.

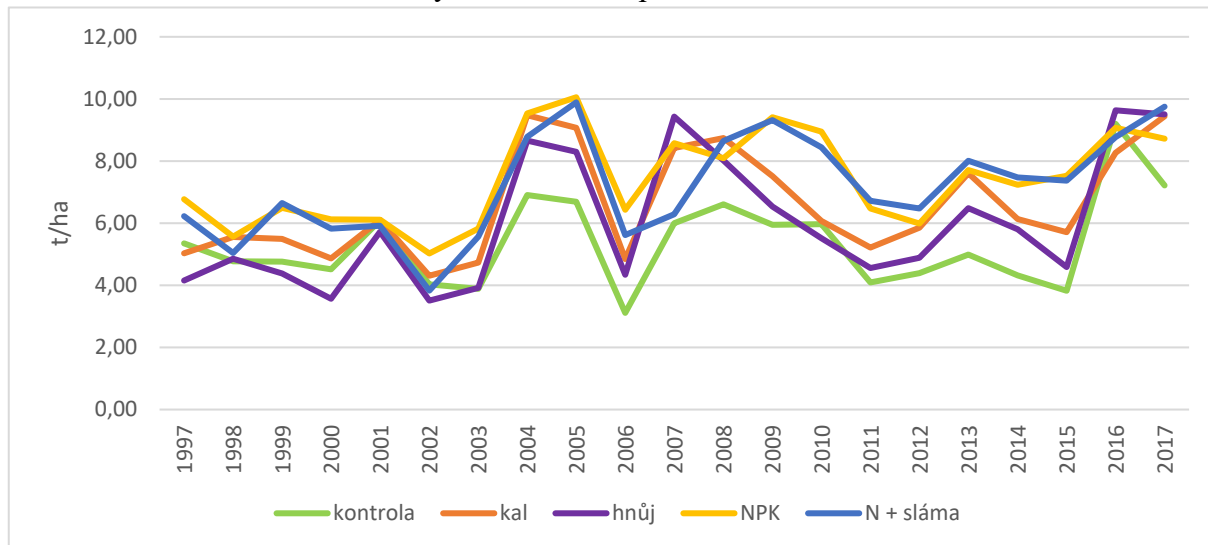
U varianty hnojené hnojem byly zejména v prvních 6 letech monitorování zaznamenány nižší výnosy zrna ozimé pšenice než u nehnojené kontroly, po roce 2002 už však došlo k postupnému zvyšování výnosů zrna ozimé pšenice, vedoucímu k vyšším hodnotám než u kontroly.

Nejvyšší výnosy byly zaznamenány u varianty hnojené NPK a u varianty hnojené dusíkem a slámou. Nejvyšší výnos byl zaznamenán v roce 2005 u varianty hnojené NPK, kdy bylo dosaženo výnosu 10,1 t/ha.

Při porovnání roku 1997 (začátek monitorování) a roku 2017 (konec monitorování) je patrné to, že u všech variant hnojení (i u nehnojené kontroly) došlo v průběhu času ke zvýšení výnosů zrna ozimé pšenice, a to pravděpodobně ze stejného důvodu (změny odrůd) jako u ostatních stanovišť.



Graf č. 18: Hodnocení výnosů zrna pšenice ozimé na stanovišti Suchdol



V tabulce č. 14 jsou zobrazeny průměrné hodnoty výnosů zrna a slámy ozimé pšenice a odběry draslíku zrnem a slámou u různých systémů hnojení.

Na stanovišti Suchdol bylo dosaženo nejnižších výnosů zrna dosaženo na nehnojené kontrole, kde průměrný výnos činil 5,37 t/ha. Naopak nejvyšších výnosů bylo dosaženo u varianty hnojené NPK, kde průměrný výnos činil 7,41 t/ha. Vysokých výnosů bylo dosaženo také u varianty hnojené dusíkem a slámou, kde průměrný výnos zrna činil 7,17 t/ha. Nejnižší průměrný výnos z hnojených variant byl zaznamenán u varianty hnojené hnojem, kde výnos činil 6,02 t/ha. U varianty, kde byly aplikovány kaly činil průměrný výnos zrna pšenice 6,59 t/ha.

V tabulce č. 14 je zobrazen i výnos slámy pšenice ozimé. Největší výnos slámy byl zaznamenán u varianty hnojené dusíkem a slámou, kde výnos slámy činil 6,46 t/ha a nejnižší výnos (3,99 t/ha) slámy byl zaznamenán u nehnojené kontroly. Z hnojených variant byl nejnižší výnos slámy u varianty hnojené hnojem, kde činil 4,95 t/ha.

Zároveň byl hodnocen také celkový odběr draslíku zrnem a slámou ozimé pšenice za 21 let pokusu, největší odběr draslíku byl zaznamenán u varianty hnojené dusíkem a slámou, kde celkový odběr činil 1913 kg K/ha. Nejmenší odběr draslíku byl zaznamenán u nehnojené kontroly, kde činil 1254 kg K/ha. Z hnojených variant byl nejmenší odběr draslíku zrnem a slámou pšenice zaznamenán u varianty hnojené hnojem, kde činil 1508 kg K/ha.

V poslední řadě byla hodnocena také bilance draslíku za 21 let pokusu. U varianty hnůj a NPK bylo opět dosaženo kladné bilance, zatímco u všech ostatních variant bilance záporné. Dochází tedy k postupnému prohlubování deficitu draslíku v půdě. Nejzápornější bilance byla opět zaznamenána u varianty hnojené dusíkem a slámou.

Tabulka č. 14: Výnosy zrna a slámy a odběry draslíku zrnem a slámou ozimé pšenice na stanovišti Suchdol

| Suchdol          | Výnos t/ha/rok |       | Odběr K kg/ha/21 let |       |        | Bilance K (kg/ha/21 let) |         |
|------------------|----------------|-------|----------------------|-------|--------|--------------------------|---------|
|                  | Zrno           | Sláma | Zrno                 | Sláma | Celkem | Vstup                    | Bilance |
| <b>kontrola</b>  | 5,37           | 3,99  | 417                  | 837   | 1254   | 0                        | -1254   |
| <b>kal</b>       | 6,59           | 5,43  | 512                  | 1141  | 1653   | 385                      | -1268   |
| <b>hnůj</b>      | 6,02           | 4,95  | 468                  | 1040  | 1508   | 2464                     | 956     |
| <b>NPK</b>       | 7,41           | 6,33  | 576                  | 1328  | 1904   | 2100                     | 196     |
| <b>N + sláma</b> | 7,17           | 6,46  | 557                  | 1356  | 1913   | 364                      | -1549   |

## 6 Diskuze

Hnojení draslíkem je bohužel na většině území ČR výrazně podceňováno a odběry draslíku rostlinami jsou často vyšší než přísun draslíku do půdy, tím pádem dochází k čerpání draslíku z jeho půdních zásob (Kulhánek et al. 2014).

V této diplomové práci jsou hodnoceny různé systémy hnojení pšenice ozimé v dlouhodobých přesných polních pokusech, a to se zaměřením na vyhodnocení různých frakcí půdního draslíku a výnosy zrna.

### 6.1 Hodnocení frakcí půdního draslíku

V rámci této diplomové práce byly porovnávány obsahy různých forem draslíku na stanovištích Hněvčeves, Lukavec a Suchdol, v závislosti na různých variantách hnojení (kal, hnůj, NPK, N + sláma) a na nehnojené kontrole v roce 1996 a 2017. Byly sledovány obsahy okamžitě přístupného draslíku, výměnného, nevýměnného a reziduálního draslíku.

Jibrin (2010) udává, že koncentrace **okamžitě přístupných forem** draslíku v půdě jsou relativně malé. Jelikož u sledovaných stanovišť činil podíl okamžitě přístupného draslíku z reziduálního draslíku přibližně 0,38 %, můžeme toto tvrzení potvrdit. Obsahy okamžitě přístupného draslíku v půdě se v roce 1996 na sledovaných stanovištích pohybovaly v rozmezí od 16 do 47,2 mg K/kg, průměrný obsah okamžitě přístupného draslíku v půdě v roce 1996 (počítáno ze všech stanovišť) činil 32,4 mg K/kg. V roce 2017 byl průměrný obsah okamžitě přístupného draslíku nižší – 26,4 mg K/kg.

Po 21 letech pokusu bylo u stanovišť Lukavec a Hněvčeves zaznamenáno snížení obsahu okamžitě přístupného draslíku u téměř všech variant hnojení. Jedinou výjimkou byla varianta hnojená hnojem na stanovišti Hněvčeves, kde došlo po 21 letech pokusu naopak ke zvýšení obsahu okamžitě přístupného draslíku v půdě.

U stanoviště Suchdol došlo u většiny variant hnojení ke zvýšení obsahu této formy draslíku, ale u varianty hnojené N a slámou a u varianty hnojené kaly zůstal obsah okamžitě přístupného draslíku stejný. Na tomto stanovišti došlo ke zvýšení obsahu u většiny variant hnojení nejspíše z toho důvodu, že se na tomto stanovišti nachází černozem. Kunzová a Hejzman (2009) uvádí, že černozem prokazuje vysokou a dlouhodobě stabilní půdní úrodnost – v jejich pokusech na černozemí byly koncentrace rostlinných živin (P, K a Mg) i po 50 nehnojených letech stále optimální pro produkci ozimé pšenice.

U varianty hnůj tedy po 21 letech pokusu došlo na stanovištích Hněvčeves a Suchdol ke zvýšení obsahu okamžitě přístupného draslíku v půdě a na stanovišti Lukavec bylo u varianty hnůj zaznamenáno nejnižší snížení obsahu přístupného draslíku ze všech sledovaných variant hnojení na tomto stanovišti. Kondratowicz-Maciejewska & Kobierski (2011) potvrzují, že dlouhodobá aplikace hnoje zvyšuje obsah přístupného draslíku v půdě.

Předpokládalo se, že různé systémy hnojení průkazně ovlivní obsah přístupného draslíku v půdě. U variant hnojených hnojem opravdu docházelo k ovlivnění obsahu přístupného draslíku v půdě, docházelo ke zvýšení jeho obsahu. Největší snížení obsahu přístupného draslíku bylo zaznamenáno u variant hnojených dusíkem a slámou, a to na všech 3 sledovaných stanovištích. Nejmenší vliv na obsah okamžitě přístupného draslíku mělo hnojení kaly, kde byly u všech stanovišť naměřeny podobné hodnoty jako u nehnojené kontroly, to ale mohlo být

způsobeno menším množstvím dodaného draslíku v kalech. Obsah draslíku v kalech je totiž většinou nízký – Černý et al. (2019) uvádí, že je nižší než 0,5 %, Kirchmann et al. (2016) dokonce udává koncentraci 0,1 % draslíku v sušíně kalu. Celkové množství dodaného draslíku u variant hnojených kaly činilo 55 kg K/ha (na jednu rotaci plodin – tříletý osevní postup), zatímco u varianty hnojené NPK činila dávka draslíku na tři roky 300 kg K/ha a u varianty hnůj dokonce 352 kg K/ha.

**Výměnný draslík** je vázán na půdní sorpční komplex a může být vyměněn jiným kationtem, jedná se o hlavní formu přijatelného draslíku pro rostliny. Množství výměnného draslíku se většinou pohybuje v rozmezí 1-10 % celkového draslíku v půdě (Vaněk et al. 2012). Obsahy výměnné formy draslíku se na sledovaných stanovištích v roce 1996 pohybovaly od 103,8 do 289 mg K/kg, průměrná hodnota výměnného draslíku v půdě v roce 1996 (počítáno ze všech 3 stanovišť) činila 230,2 mg K/kg. V roce 2017 byl pak průměrný obsah výměnného draslíku nižší o 72,3 mg K/kg.

U všech stanovišť a u většiny variant hnojení bylo po 21 letech pokusu zaznamenáno snížení obsahu výměnného draslíku v půdě. Jedinou výjimku tvořila aplikace hnoje na stanovišti Hněvčeves, kde došlo naopak ke zvýšení obsahu výměnného draslíku v půdě, a to o 73,8 mg K/kg.

Balík et al. (2019) ve svých pokusech uvádí, že aplikace hnoje vede k významnému zvýšení obsahu výměnného draslíku, což dokládají také výsledky dlouhodobých pokusů Liu et al. (2010). Kulhánek et al. (2014) uvádí, že dlouhodobá aplikace statkových hnojiv zvyšuje sorpční kapacitu půdy. Blake et al. (1999) doplňuje, že když se zvyšuje kapacita půdy, zlepšuje se navíc také využití draslíku tam, kde nebyl vyplavován či fixován.

Podle Balík et al. (2019) rostliny nepřijímají pouze draslík z půdního roztoku a výměnný draslík, ale jsou schopny absorbovat také část nevýměnného draslíku. V pokusech Akbas et al. (2017) se hodnoty **nevýměnné** formy draslíku pohybovaly od 229 do 3135 mg K/kg. U našich stanovišť se nacházel podobně široký obsah nevýměnné formy draslíku, v roce 1996 se pohyboval od 809 do 3507 mg K/kg a v roce 2017 od 689 do 2985 mg K/kg. Nejnižší obsah se nacházel na stanovišti Hněvčeves (v roce 1996 byl průměrný obsah nevýměnného draslíku 839 mg K/kg), nejvyšší na stanovišti Lukavec, kde byl v roce 1996 průměrný obsah této formy draslíku 3334 mg K/kg. Mezi stanovišti byl velký rozdíl v obsahu nevýměnného draslíku zapříčiněn vlivem půdotvorných materiálů. Balík et al. (2019) udává, že mateční horninou kambizemě (Lukavec) je pararula a v procesu zvětrávání se z ní draslík uvolňuje ve velkém množství, stanoviště Hněvčeves má naopak výrazně nižší potenciál uvolňování draslíku.

Po 21 letech pokusu bylo na stanovištích Hněvčeves a Lukavec zaznamenáno snížení obsahu nevýměnné formy draslíku u všech variant hnojení. U stanoviště Suchdol však došlo naopak ke zvýšení nevýměnné formy draslíku u nehnojené kontroly a u varianty hnojené hnojem.

**Reziduální** obsah draslíku zahrnuje i formy draslíku, které jsou rostlinám prakticky nedostupné, ale tvoří podstatné množství draslíku v půdě, často i vyšší než 90 %. Obsah reziduálního draslíku se na sledovaných stanovištích v roce 1996 nacházel v rozmezí od 6760 do 9298 mg K/kg a v roce 2017 od 5704 do 9525 mg K/kg, nejvyšší obsah se nacházel na stanovišti Suchdol, nejnižší na stanovišti Hněvčeves.

Po 21 letech pokusu bylo u stanovišť Lukavec a Hněvčeves zaznamenáno snížení obsahu reziduálního draslíku u téměř všech variant hnojení. Jedinou výjimkou byla varianta

hnojená hnojem na stanovišti Lukavec, kde došlo po 21 letech pokusu naopak ke zvýšení obsahu reziduálního draslíku v půdě. Ke zvýšení obsahu reziduálního draslíku došlo u všech variant hnojení na stanovišti Suchdol. Pravděpodobnou příčinou zvýšení obsahu reziduálního draslíku na tomto stanovišti může být extrakce některých forem draslíku, které ve vzorcích z roku 1996 ještě nebylo možné výluhem lučavky královské stanovit.

Předpokládalo se, že nepřístupné formy draslíku nebudou tak výrazně ovlivněny různými systémy hnojení, jako tomu bylo u přístupného draslíku. Toto tvrzení můžeme potvrdit. U každého stanoviště se obsah reziduálního draslíku u různých variant hnojení vyvíjel jinak, nejspíše v závislosti na stanovišti a na mateční hornině.

U našich pokusů byly zpravidla u všech stanovišť pozorovány nejlepší výsledky obsahu draslíku v průběhu 21 let pokusu (nárůst obsahu draslíku či nejmenší snížení obsahu draslíku z hnojených variant) u variant hnojených hnojem, což je v souladu s tvrzením, že je aplikace chlévského hnoje zdrojem stabilnějších forem K a představuje tak zdroj draslíku na delší období. Hnůj je totiž významným zdrojem organické hmoty, ve které se tvoří stabilní agregáty (Haynes a Naidu 1998). To, že chlévský hnůj představuje zdroj draslíku na delší období potvrzuje také Vaněk et al. (2012), který udává, že hnůj působí v půdě více let, hnojení hnojem je navíc trvalejší a pozemky, které jsou hnojem dlouhodobě hnojeny, vykazují vyšší úrodnost.

## 6.2 Hodnocení výnosů zrna a slámy a bilancí draslíku

Výnosy zrna ozimé pšenice byly nejvyšší na stanovišti Hněvčeves a nejnižší na stanovišti Lukavec. Při porovnání roku 1997 (začátek monitorování) a roku 2017 (konec monitorování) bylo patrné to, že u všech variant hnojení došlo v průběhu času ke zvýšení výnosů zrna ozimé pšenice, a to pravděpodobně v důsledku postupného zařazování výkonnějších odrůd pšenice.

Nejvyšší průměrné výnosy zrna byly zaznamenány u všech stanovišť na variantách hnojených NPK. Podobně vysoký výnos zrna ozimé pšenice byl zaznamenán i u variant hnojených dusíkem a slámou. Naopak nejnižší výnos byl zaznamenán u nehnojených kontrol. Seřazení výše výnosů zrna podle variant hnojení je tedy následující:

kontrola < hnůj < kal < N + sláma < NPK.

Lin et al. (2015) udává, že dlouhodobé hnojení pomocí statkových či minerálních hnojiv má významné účinky na zlepšení výnosů plodin a rovněž zlepšuje také vlastnosti půdy, mikrobiální složení a enzymatickou aktivitu půdy. Můžeme potvrdit, že dlouhodobé hnojení pomocí statkových či minerálních hnojiv má významné účinky na zlepšení výnosů plodin.

Výnosy slámy byly opět nejvyšší na stanovišti Lukavec a nejnižší na stanovišti Suchdol. Stejně jako výnosy zrna, tak i výnosy slámy byly nejvyšší u variant hnojených NPK a variant hnojených N + slámou. Nejnižší výnos slámy byl zaznamenán u nehnojené kontroly.

Zároveň byl hodnocen také celkový odběr draslíku zrnem a slámou ozimé pšenice za 21 let pokusu. Jak udává Černý et al. (2010), během zrání pšenice se draslík ukládá ve slámě a jeho menší část je transportována do zrna. Největší odběry draslíku zrnem a slámou ozimé pšenice byly zaznamenány u variant hnojených NPK a u variant hnojených dusíkem a slámou, nejmenší odběr draslíku byl zaznamenán u nehnojené kontroly.

V neposlední řadě byla hodnocena také bilance draslíku za 21 let pokusu. U varianty hnůj a u varianty NPK bylo dosaženo na většině stanovišť kladné bilance, zatímco u všech ostatních

variant hnojení bilance záporné. U ostatních variant hnojení tedy docházelo k postupnému prohlubování deficitu draslíku v půdě. Nejzápornější bilance byla zaznamenána u variant hnojených dusíkem a slámou, což je nejspíše způsobeno nízkým množstvím draslíku dodaného ve slámě (52 kg K/ha na tři roky pokusu).

Balík et al. (2020) uvádí, že v rostlinné výrobě v posledních 30 letech dochází k záporné bilanci draslíku. Průměrná roční dávka draslíku dodaná v minerálních hnojivech v ČR dosahuje pouhých 11,2 kg K/ha a v organických hnojivech 22 kg K/ha, zatímco celkový odběr produkcí je v průměru 71 kg K/ha. Fungování tohoto systému, kdy dochází k deficitu draslíku, je pravděpodobně možné pouze díky zbytkovému účinku dříve aplikovaného draslíku nebo díky uvolňování draslíku z méně dostupných forem.

## 7 Závěr

Cílem práce bylo vyhodnotit různé systémy hnojení pšenice ozimé v dlouhodobých přesných polních pokusech, a to se zaměřením na vyhodnocení obsahu různých frakcí půdního K a výnosy zrna.

Předpokládalo se, že různé systémy hnojení průkazně ovlivní obsah přístupného draslíku v půdě. Naopak nepřístupné formy draslíku nebudou ovlivněny tak výrazně. Dalším předpokladem bylo, že je aplikace chlévského hnoje zdrojem stabilnějších forem K a představuje tak zdroj draslíku na delší období.

Různé systémy hnojení skutečně ovlivnily obsah přístupného draslíku v půdě. U variant hnojených hnojem docházelo ke zvýšení obsahu přístupného draslíku v půdě. Naopak k největšímu snížení obsahu přístupného draslíku docházelo u variant hnojených dusíkem a slámou, a to u všech sledovaných stanovišť. Nejmenší vliv na obsah okamžitě přístupného draslíku v půdě mělo hnojení čistírenskými kaly. Zároveň můžeme potvrdit to, že nepřístupné formy draslíku nebyly ovlivněny různými systémy hnojení tak výrazně.

Nejlepší výsledky z hlediska změn obsahu draslíku za 21 let pokusu (nárůst obsahu draslíku či nejmenší snížení obsahu draslíku z hnojených variant) byly zaznamenány u variant hnojených hnojem. Prokázalo se tak, že aplikace chlévského hnoje představuje zdroj draslíku na delší období.

Zároveň byly hodnoceny také výnosy ozimé pšenice. Nejvyšší výnosy zrna a slámy byly zaznamenány na variantách hnojených NPK a na variantách N + sláma. Nejnižší výnosy byly zaznamenány u nehnojené kontroly. Všechny varianty hnojení tedy měly pozitivní vliv na výnos ozimé pšenice.

V neposlední řadě byla hodnocena i bilance draslíku za 21 let pokusu, která u většiny variant hnojení vycházela záporná, pouze u varianty hnůj a u varianty NPK bylo dosaženo na většině stanovišť kladné bilance. U ostatních variant hnojení tedy docházelo k postupnému prohlubování deficitu draslíku v půdě.

Při hnojení minerálními hnojivy (NPK) bylo dosaženo nejvyšších výnosů a většinou také kladné bilance draslíku v půdě. Přesto se jako výhodnější a udržitelnější jeví systém kombinace hnojení hnojem s minerálními hnojivy (NPK). Pomocí hnojení hnojem se totiž do půdy navrací také organická hmota a další živiny, což zvyšuje úrodnost a kvalitu půdy, navíc hnůj v půdě působí delší časové období.

## 8 Literatura

Adekiya AO, Agbede TM, Aboyeji CM, Dunsin O, Ugbe JO. 2017. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* **18**:218-223. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1658077X16302193> (accessed April 26, 2021).

Akbas F, Gunal H, Acir N. 2017. Spatial variability of soil potassium and its relationship to land use and parent material. *Soil and Water Research* **12**:202-211.

Ashley MK, Grant M, Grabov A. 2006. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. *Journal of Experimental Botany* **57**:425-436. Available at <http://academic.oup.com/jxb/article/57/2/425/489977/Plant-responses-to-potassium-deficiencies-a-role> (accessed April 26, 2021).

Balík J, Černý J, Kulhánek M, Sedlář O, Suran P. 2019. Balance of potassium in two long-term field experiments with different fertilization treatments. *Plant, Soil and Environment* **65**:225-232.

Balík J, Kulhánek M, Černý J, Sedlář O, Suran P. 2020. Potassium fractions in soil and simple K balance in long-term fertilising experiments. *Soil and Water Research* **15**:211-219.

Barré P, Montagnier C, Chenu C, Abbadie L, Velde B. 2008. Clay minerals as a soil potassium reservoir: observation and quantification through X-ray diffraction. *Plant and Soil* **302**:213-220. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11104-007-9471-6> (accessed April 26, 2021).

Bell MJ, Ransom MD, Thompson ML, Hinsinger P, Florence AM, Moody PW, Guppy CN. 2021. Considering Soil Potassium Pools with Dissimilar Plant Availability. *Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops*:163-190. Springer International Publishing, Cham. Available at [http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-59197-7\\_7](http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-59197-7_7) (accessed April 26, 2021).

Blake L, Mercik S, Koerschens M, Goulding KWT, Stempen S, Weigel A, Poulton PR, Powlson DS. 1999. Potassium content in soil, uptake in plants and the potassium balance in three European long-term field experiments. *Plant and Soil* **216**:1-14. Available at <http://link.springer.com/10.1023/A:1004730023746> (accessed April 26, 2021).

Bouabid R, Badraoui M, Bloom PR. 1991. Potassium Fixation and Charge Characteristics of Soil Clays. *Soil Science Society of America Journal* **55**:1493-1498. Available at <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj1991.03615995005500050049x> (accessed April 26, 2021).



Burke R. 2003. Hazardous materials chemistry for emergency responders. 2nd ed. Lewis Publishers, Boca Raton.

Cox AE, Joern BC, Brouder SM, Gao D. 1999. Plant-Available Potassium Assessment with a Modified Sodium Tetraphenylboron Method. *Soil Science Society of America Journal* **63**:902-911. Available at <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj1999.634902x> (accessed April 26, 2021).

Černý J, Vaněk V, Kulhánek M. 2010. Význam hnojiv v systému výživy rostlin. *Zemědělec. Česká zemědělská univerzita*. Available at <https://www.zemedelec.cz/vyznam-hnojiv-v-systemu-vyzivy-rostlin/> (accessed April 26, 2021).

Černý J, Schejbalová Š, Kovářik J, Kulhánek M. 2014. Předset'ové a podzimní hnojení pšenice ozimé. *Agromanual. Česká zemědělská univerzita*. Available at <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime> (accessed April 26, 2021).

Černý J, Peklová L, Kulhánek M, Kovářik J, Balík J. 2015. Bilance draslíku při pěstování ozimé řepky. *Úroda. Česká zemědělská univerzita*. Available at <https://energie21.cz/wp-content/uploads/pdf/uroda/U0315.pdf> (accessed April 26, 2021).

Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlář O. 2019. Využití čistírenských kalů jako zdroje organických látek. *Sborník z 25. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv*.

Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlář O. 2020. Základní hnojení ozimé řepky draslíkem. *Agromanual. Česká zemědělská univerzita*. Available at <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zakladni-hnojeni-ozime-repy-draslikem> (accessed April 26, 2021).

ČSÚ. 2020. Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní zemědělských plodin. Available at [https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM02G&z=T&f=TABULKA&skupId=386&katalog=30840&pvo=ZEM02G&evo=v1442 ! ZEM02G-vynos\\_1](https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM02G&z=T&f=TABULKA&skupId=386&katalog=30840&pvo=ZEM02G&evo=v1442 ! ZEM02G-vynos_1) (accessed April 26, 2021).

ČSÚ. 2021. Spotřeba statkových hnojiv – kg/ha obhospodařované zemědělské půdy. *Veřejná databáze*. Available at [https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM11&z=G&f=GRAFICKY OBJEKT&skupId=2542&katalog=30840&pvo=ZEM11&ds=ds381&u=v309 VUZEMI\\_97\\_19](https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM11&z=G&f=GRAFICKY OBJEKT&skupId=2542&katalog=30840&pvo=ZEM11&ds=ds381&u=v309 VUZEMI_97_19) (accessed April 26, 2021).

Dhillon JS, Eickhoff EM, Mullen RW, Raun WR. 2019. World Potassium Use Efficiency in Cereal Crops. *Agronomy Journal* **111**:889-896. Available at <http://doi.wiley.com/10.2134/agronj2018.07.0462> (accessed April 26, 2021).

Du Q, Zhao X, Jiang C, Wang X, Han Y, Wang J, Yu H. 2017. Effect of Potassium Deficiency on Root Growth and Nutrient Uptake in Maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Sciences* **08**:1263-1277. Available at <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/as.2017.811091> (accessed April 26, 2021).

FAO. 2021. Fertilizers by Nutrient. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN> (accessed April 26, 2021).

Florence A, Ransom M, Mengel D. 2017. Potassium Fixation by Oxidized and Reduced Forms of Phyllosilicates. *Soil Science Society of America Journal* **81**:1247-1255. Available at <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2016.12.0420> (accessed April 26, 2021).

Fotyma M, Ochal P, Łabetowicz J. 2012. Potassium in Soils of Glacial Origin. *Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment*. InTech. Available at <http://www.intechopen.com/books/soil-processes-and-current-trends-in-quality-assessment/potassium-in-soils-of-glacial-origin> (accessed April 26, 2021).

Gaj R, Górski D, Przybył J. 2012. Effect of differentiated phosphorus and potassium fertilization on winter wheat yield and quality. *Journal of Elemntology*. Available at <http://jsite.uwm.edu.pl/articles/view/368/> (accessed April 26, 2021).

Haby VA, Russelle MP, Skogley EO. 1990. Testing Soils for Potassium, Calcium, and Magnesium. *Soil Testing and Plant Analysis*:181-227. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. Available at <http://doi.wiley.com/10.2136/sssabookser3.3ed.c8> (accessed April 26, 2021).

Hasanuzzaman M, Bhuyan M, Nahar K, Hossain M, Mahmud J, Hossen M, Masud A, Moumita, Fujita M. 2018. Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. *Agronomy* **8**. Available at <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/3/31> (accessed April 26, 2021).

Haynes RJ, Naidu R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **51**:123-137. Available at <http://link.springer.com/10.1023/A:1009738307837> (accessed April 26, 2021).

Helmke PA, Sparks DL. 2000. Potassium, Rubidium, and Cesium. *Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods*, Wisconsin, Madison. Soil Science Society of America.

ISO 11466:1995: Soil quality - Extraction of trace elements soluble in aqua regia, 1:1-6.

Hlušek J. 2004. Statková hnojiva. Ústav agrochemie a výživy rostlin. MZLU v Brně. Available at [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/hnojiva\\_statkova.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/hnojiva_statkova.htm).

Hřivna L. 2012. Výživa a hnojení porostů pšenice ozimé a kvalita produkce. Šlechtitelské listy. Družstvo vlastníků odrůd. Available at [http://farmseed2.druvod.cz/files/aktuality/vyziva\\_a\\_hnojeni\\_porostu\\_psenice\\_ozime\\_a\\_kvalita\\_produkce.pdf](http://farmseed2.druvod.cz/files/aktuality/vyziva_a_hnojeni_porostu_psenice_ozime_a_kvalita_produkce.pdf) (accessed April 26, 2021).

Islam MM, Urmi TA, Rana MS, Alam MS, Haque MM. 2019. Green manuring effects on crop morpho-physiological characters, rice yield and soil properties. *Physiology and Molecular Biology of Plants* **25**:303-312. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s12298-018-0624-2> (accessed April 26, 2021).

Jasinski SM. 2021. Potash. Potash Statistics and Information. National Minerals Information Center. Available at: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/potash-statistics-and-information> (accessed April 26, 2021).

Jibrin, J.M. 2010. Forms of potassium and potassium sorption in some fadama soils of Nigeria. *Savannah Journal of Agriculture* **5**: 53-60. Available at [http://savannahjournalofagriculture.org/sites/default/files/previous\\_issues/2010%20June%20Volume%205/Forms%20of%20Potassium%20and%20Potassium%20Sorption%20in%20Some%20Fadama%20Soils%20of%20Nigeria%20Jibrin,%20J.%20M.pdf](http://savannahjournalofagriculture.org/sites/default/files/previous_issues/2010%20June%20Volume%205/Forms%20of%20Potassium%20and%20Potassium%20Sorption%20in%20Some%20Fadama%20Soils%20of%20Nigeria%20Jibrin,%20J.%20M.pdf) (accessed April 26, 2021).

Káš M, Mühlbachová G, Kusá H, Pechová M. 2016. Soil phosphorus and potassium availability in long-term field experiments with organic and mineral fertilization. *Plant, Soil and Environment* **62**:558-565.

Kejř L. 2007. Ověření účinnosti stupňovaných dávek dusíku při konstantních hladinách fosforu a draslíku. Závěrečná zpráva ze stacionární zkoušky za roky 1996-2004. ÚKZÚZ. 130 s. Available at [http://eagri.cz/public/web/file/247393/N\\_stacionar\\_zaverecna\\_zprava\\_1996\\_2004.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/247393/N_stacionar_zaverecna_zprava_1996_2004.pdf) (accessed April 26, 2021).

Khan SA, Mulvaney RL, Ellsworth TR. 2014. The potassium paradox: Implications for soil fertility, crop production and human health. *Renewable Agriculture and Food Systems* **29**:3-27. Available at [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S1742170513000318/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S1742170513000318/type/journal_article) (accessed April 26, 2021).

Kirchmann H, Börjesson G, Kätterer T, Cohen Y. 2017. From agricultural use of sewage sludge to nutrient extraction: A soil science outlook. *Ambio* **46**:143-154. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s13280-016-0816-3> (accessed April 26, 2021).

Klír J. 2001. Organické hnojení v osevních postupech s cukrovkou. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Úroda. Available at: <https://www.uroda.cz/organicke-hnojeni-v-osevnich-postupech-s-cukrovkou/> (accessed April 26, 2021).

Klír J. 2006. Evidence hnojení: Pomocný sešit. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha, 59 s., ISBN 80-86555-60-7

Klír J, Kunzová E, Čermák P. 2008. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně. 45 s., ISBN 978-80-87011-61-4

Klír J. 2019. Hospodaření se živinami, plány hnojení a bilance. Výzkumný ústav rostlinné výroby, 62 s.

Kondratowicz-Maciejewska K, Kobierski M. 2011. Content of available magnesium, phosphorus and potassium forms in soil exposed to varied crop rotation and fertilisation. *Journal of Elemntology*. Available at <http://jsite.uwm.edu.pl/articles/view/75/> (accessed April 26, 2021).

Kulhánek M, Černý J, Madaras M, Vašák F, Balík J. 2014. Draslík – podceňovaný prvek ve výživě rostlin. *Úroda* 62/3. s.64-66. ISSN: 0139-6013.

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**:151-157.

Kunzová E. 2010. Výživa rostlin a hnojení draslíkem. Výzkumný ústav rostlinné výroby. 22 s. ISBN: 978-80-7427-066-6.

Li N, Guo C, Wang Y, Gao T, Yang J, Han X. 2018. Effects of Long-term Fertilization on Potassium Fixation Capacity in Brown Soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **108**. Available at <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/108/3/032036> (accessed April 26, 2021).

Lin Z, Chang X, Wang D, Zhao G, Zhao B, Han X. 2015. Long-term fertilization effects on processing quality of wheat grain in the North China Plain. *Field Crops Research* **174**:55-60. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429015000192> (accessed April 26, 2021).

Luscombe PC, Syers JK, Gregg PEH. 1979. Water extraction as a soil testing procedure for phosphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **10**:1361-1369.

- Madaras M. 2014. Effect of Potassium Budget on Evolution of Soil Potassium in Different Crop Sequences and Site Conditions. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)* **60**:121-131. Available at <http://content.sciendo.com/view/journals/agri/60/4/article-p121.xml> (accessed April 26, 2021).
- Madaras M, Koubová M. 2015. Potassium availability and soil extraction tests in agricultural soils with low exchangeable potassium content. *Plant, Soil and Environment* **61**:234-239.
- Manickam L, Dhakshinamoorthy M. 2014. Forms of soil potassium-A review. *Agricultural Reviews*. **35**:64-68.
- Manning DAC. 2010. Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **30**:281-294. Available at <http://link.springer.com/10.1051/agro/2009023> (accessed April 26, 2021).
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **15**:1409-1416
- Moody PW, Bell MJ. 2006. Availability of soil potassium and diagnostic soil tests. *Soil Research* **44**: 265-275. Available at <http://www.publish.csiro.au/?paper=SR05154> (accessed April 26, 2021).
- Mouhamad R, Alsaede A, Iqbal M. 2016. Behavior of potassium in soil: a mini review. *Chemistry International* **2**:47-58. Available at [https://www.researchgate.net/publication/310842288\\_Behavior\\_of\\_potassium\\_in\\_soil\\_a\\_mini\\_review](https://www.researchgate.net/publication/310842288_Behavior_of_potassium_in_soil_a_mini_review) (accessed April 26, 2021).
- Murrell T, Mikkelsen R, Sulewski G, Norton R, Thompson M. 2021. Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops. Available at [https://www.researchgate.net/publication/348129277\\_Improving\\_Potassium\\_Recommendations\\_for\\_Agricultural\\_Crops](https://www.researchgate.net/publication/348129277_Improving_Potassium_Recommendations_for_Agricultural_Crops) (accessed April 26, 2021).
- MŽP. 2019. Zpráva o životním prostředí České republiky. Ministerstvo životního prostředí. Available at <https://www.cenia.cz/publikace/zpravy-o-zp/>
- Oosterhuis DM, Berkowitz GA. 1996. *Frontiers in potassium nutrition: New Perspectives on the Effects of K on Physiology of Plants*. Potash and Phosphorus Institute of Canada. Norcross, GA, USA.
- Oosterhuis DM, Loka DA, Kawakami EM, Pettigrew WT. 2014. *The Physiology of Potassium in Crop Production*. **126**:203-233. Elsevier. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128001325000031> (accessed April 26, 2021).

Payne JB, Lawrence J. 2019. Manure as a Source of Crop Nutrients and Soil Amendment. Livestock and poultry environmental learning community. Available at <https://lpelc.org/manure-as-a-source-of-crop-nutrients-and-soil-amendment/> (accessed April 26, 2021).

Prášková L, Němec P. 2016. Bazální monitoring zemědělských půd – pH a obsah živin 1995 – 2013. ÚKZÚZ Brno. Available at [http://eagri.cz/public/web/file/458807/BMP\\_ZIVINY\\_text\\_opr.pdf#page=32&zoom=100,90,377](http://eagri.cz/public/web/file/458807/BMP_ZIVINY_text_opr.pdf#page=32&zoom=100,90,377) (accessed April 26, 2021).

Rayne N, Aula L. 2020. Livestock Manure and the Impacts on Soil Health: A Review. Soil Systems 4. Available at <https://www.mdpi.com/2571-8789/4/4/64> (accessed April 26, 2021).

Rayns F, Rosenfeld A. 2010. Green manures – effects on soil nutrient management and soil physical and biological properties. Soil Grown Crops. Horticulture Development Company. Available at [https://www.organicresearchcentre.com/manage/authincluds/article\\_uploads/iota/technical-leaflets/green-manures-effects-on-soil-nutrient-management-and-soil-physical-and-biological-properties.pdf](https://www.organicresearchcentre.com/manage/authincluds/article_uploads/iota/technical-leaflets/green-manures-effects-on-soil-nutrient-management-and-soil-physical-and-biological-properties.pdf) (accessed April 26, 2021).

von Reichenbach HG. 1972. Factors of mica transformation. Proc. Colloq. Int. Potash Inst. 9: 33-42.

Richter R. 2007. Draslík v půdě. Živinný režim půd. Ústav agrochemie a výživy rostlin. Available at [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/agrochemie\\_pudy/puda\\_k.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_k.htm) (accessed April 26, 2021).

Richter R. 2004. Draslík. Význam draslíku. Ústav agrochemie a výživy rostlin. Available at [https://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/biogenni\\_prvky/k.htm](https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/k.htm) (accessed April 26, 2021).

Roy RN, Finck A, Blair GJ, Tandon HLS. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. FAO. Available at [http://www.fao.org/fileadmin/templates/soilbiodiversity/Downloadable\\_files/fpnb16.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/soilbiodiversity/Downloadable_files/fpnb16.pdf) (accessed April 26, 2021).

Sawyer J, Mallarino A. 2002. Corn leaf potassium deficiency symptoms. Iowa State University. Available at: <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/corn-leaf-potassium-deficiency-symptoms> (accessed April 26, 2021).

Sharma PP, Yadav V, Rajput A, Kulshrestha V. 2018. Synthesis of Chloride-Free Potash Fertilized by Ionic Metathesis Using Four-Compartment Electrodialysis Salt Engineering. ACS Omega **3**:6895-6902. Available at <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.8b01005> (accessed April 26, 2021).

Scherer HW. 2005. FERTILIZERS AND FERTILIZATION. Encyclopedia of Soils in the Environment:20-26. Elsevier. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B0123485304002290> (accessed April 26, 2021).

Schön JH. 2015. Nuclear/Radioactive Properties. Physical Properties of Rocks - Fundamentals and Principles of Petrophysics. Elsevier. Developments in Petroleum Science 65:119-166 Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081004043000056> (accessed April 26, 2021).

Slaton NA, Golden BR, DeLong RE, Mozaffari. 2010. Correlation and calibration of soil potassium availability with soybean yield and trifoliolate potassium. Soil Science Society of America Journal **74**:1642-1651. Available at <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2009.0197> (accessed April 26, 2021).

Smatanová M. 2020. Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2014–2019. ÚKZÚZ. 32 s. ISBN: 978-80-7401-191-7. Available at <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/agrochemicke-zkouseni-zemed-pud/azzp-neviditelny/azzp-2014-2019.html> (accessed April 26, 2021).

Sparks DL, Huang PM. 1985. Physical Chemistry of Soil Potassium. Potassium in Agriculture:201-276. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. Available at <http://doi.wiley.com/10.2134/1985.potassium.c9> (accessed April 26, 2021).

Sparks DL. 2001. Dynamics of K in Soils and Their Role in Management of K Nutrition, Department of Plant and Soil Sciences, University of Delaware, Newark. Available at <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/Dynamics%20of%20K%20in%20Soils%20and%20Their%20Role%20in%20Management%20of%20K%20Nutrition.pdf> (accessed April 26, 2021).

Steiner F, Lana M do C. 2018. Contribution of non-exchangeable K in soils from Southern Brazil under potassium fertilization and successive cropping. REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA **49**. Available at <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1806-6690.20180062> (accessed April 26, 2021).

Taheri N, Sharif-Abad HH, Yousefi K, Roholla-Mousavi S. 2012. Effect of compost and animal manure with phosphorus and zinc fertilizer on yield of seed potatoes. *Journal of soil science and plant nutrition* **12**:705-714. Available at [https://www.researchgate.net/publication/255709316\\_Effect\\_of\\_compost\\_and\\_animal\\_manure\\_with\\_phosphorus\\_and\\_zinc\\_fertilizer\\_on\\_yield\\_of\\_seed\\_potatoes](https://www.researchgate.net/publication/255709316_Effect_of_compost_and_animal_manure_with_phosphorus_and_zinc_fertilizer_on_yield_of_seed_potatoes) (accessed April 26, 2021).

Tan D, Jin J, Jiang L, Huang S, Liu Z. 2012. Potassium assessment of grain producing soils in North China. *148*:65-71. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880911003963> (accessed April 26, 2021).

Toungos M. 2019. COVER CROPS DUAL ROLES: GREEN MANURE AND MAINTENANCE OF SOIL FERTILITY, A REVIEW. Available at [https://www.researchgate.net/publication/332112218\\_COVER\\_CROPS\\_DUAL\\_ROLES\\_GREEN\\_MANURE\\_AND\\_MAINTENANCE\\_OF\\_SOIL\\_FERTILITY\\_A\\_REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/332112218_COVER_CROPS_DUAL_ROLES_GREEN_MANURE_AND_MAINTENANCE_OF_SOIL_FERTILITY_A_REVIEW) (accessed April 26, 2021).

Tränkner M, Tavakol E, Jákl B. 2018. Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum* **163**:414-431. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/ppl.12747> (accessed April 26, 2021).

Troeh, F. R., Thompson, L. M., 2005. *Soils and soil fertility*, sixth edition. Blackwell Publishing Professional. Iowa. USA. 489 str. ISBN: 0-8138-0955-X.

Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin*. Praha: Profi Press, Praha. 167s. ISBN 978-80-86726-25-0.

Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. *Výživa zahradních rostlin*. ACADEMIA Praha. 568s. ISBN 978-80-200-2147-2

Wakeel A, Abd-El-Motagally F, Steffens D, Schubert S. 2009. Sodium-induced calcium deficiency in sugar beet during substitution of potassium by sodium. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **172**:254-260. Available at <http://doi.wiley.com/10.1002/jpln.200800236> (accessed April 26, 2021).

Wang M, Zheng Q, Shen Q, Guo S. 2013. The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *International Journal of Molecular Sciences* **14**:7370-7390. Available at <http://www.mdpi.com/1422-0067/14/4/7370> (accessed April 26, 2021).

Waraich EA, Ahmad R, Halim A, Aziz T. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of soil science and plant nutrition* **12**:221-244.



Westermann DT, Tindall TA. 2000. Potassium Diagnostic Criteria for Potato Plants. IDAHO. Available at [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/853794C11D35FF14852579800081FC55/\\$FILE/Better%20Crops%202000-3%20p06.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/853794C11D35FF14852579800081FC55/$FILE/Better%20Crops%202000-3%20p06.pdf) (accessed April 26, 2021).

Winkler J, Rypová I, Dvořák J. 2016. Plevela a hnojení chlěvským hnojem. Mendelova univerzita v Brně. Available at <https://www.profiexpress.cz/archiv/uroda-3/#page/97> (accessed April 26, 2021).

Xu X, Du X, Wang F, Sha J, Chen Q, Tian G, Zhu Z, Ge S, Jiang Y. 2020. Effects of Potassium Levels on Plant Growth, Accumulation and Distribution of Carbon, and Nitrate Metabolism in Apple Dwarf Rootstock Seedlings. *Frontiers in Plant Science* **11**. Available at <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2020.00904/full> (accessed April 26, 2021).

Yawson D, Kwakye P, Armah F, Frimpong K. 2011. The Dynamics of Potassium (K) in Representative Soil Series of Ghana. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. **6**: 48-55.

Zörb C, Senbayram M, Peiter E. 2013. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* **171**:656-669. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0176161713003611> (accessed April 26, 2021).