

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Výživa pšenice ozimé hořčíkem a následný vliv hořčíku  
na kvalitu produkce**

**Bakalářská práce**

**Filip Filgas**

**Kvalita produkce**

**Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.**

© 2020 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Výživa pšenice ozimé hořčíkem a následný vliv hořčíku na kvalitu produkce " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16.07. 2020

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

# Výživa pšenice ozimé hořčíkem a následný vliv hořčíku na kvalitu produkce

## Souhrn

Tato bakalářská práce je uvedena literárním přehledem, který přibližuje tematiku hořčíku v půdě, výživy rostlin a pšenice ozimé hořčíkem, hnojiv s hořčíkem a vlivu hořčíku na výživu člověka.

Cílem práce je hodnocení bilance hořčíku v dlouhodobých přesných polních pokusech s osevním postupem brambory, pšenice ozimá, ječmen jarní při různých systémech hnojení. Cílovou plodinou byla pšenice ozimá.

Výzkum se zabýval výběrem hnojiv bez nebo s přidaným hořčíkem a jejich vlivem na pšenici ozimou v letech 1996-2017. Byl sledován účinek těchto hnojiv na výnos zrna a slámy, bilance odběru hořčíku rostlinou a bilance hořčíku v půdě po dobu pokusu. Pokus probíhal na stanicích Humpolec a Praha-Suchdol v České republice. Pro analytické stanovení byly využity metody: extrakce ve vodném výluhu, extrakce octanem amonným a extrakce pomocí Mehlich 3. Obsahy Mg v rostlinném materiálu byly stanoveny na základě výnosu a přepočtových koeficientů.

Výsledky ukázaly, že varianty hnojené minerálními hnojivy měly větší výnos než varianty hnojené organickými hnojivy s obsahem hořčíku. To však umocnilo negativní bilanci Mg v půdě při použití minerálního NPK (bez přidání Mg). Oproti tomu organická hnojiva díky obsahu hořčíku způsobila pozitivní bilanci Mg. I zde byly zaznamenány vyšší výnosy oproti kontrole, i když ne v takové míře, jako u minerálních hnojiv.

Hlavním závěrem této práce je zjištění, že hnojení minerálními hnojivy (NPK) sice dosahovalo nejvyšších výnosů, avšak současně i výrazné záporné bilance Mg v půdě. Proto se jako výhodnější jeví udržitelnější systém kombinace organických hnojiv s obsahem Mg (k udržení bilance živin) s minerálními hnojivy (k dosažení výnosu).

**Klíčová slova:** Výnos, Hořčík, Půda, Pšenice ozimá, Výživa rostlin

# **Magnesium in winter wheat nutrition and subsequent influence of magnesium on production quality**

## **Summary**

This bachelor's thesis starts with a literature review, which introduces the topic of magnesium in soil, plant and winter wheat nutrition with magnesium, fertilizers with magnesium and the effect of magnesium on human nutrition.

The aim of the work was to evaluate the balance of magnesium in precise long-term field experiments with the crop rotation comprised of potatoes, winter wheat, spring barley in various fertilization systems. The target crop was winter wheat.

The research dealt with the selection of fertilizers with and without magnesium and their effect on winter wheat in the years 1996-2017. The following was studied: the effect of these fertilizers on grain and straw yield, the balance of magnesium input - uptake by the plants and the balance of magnesium in the soil during the experiment. The experiment took place at experimental stations in Humpolec and Prague-Suchdol in the Czech Republic. The following methods were used for the analytical determination: extraction with water, extraction with ammonium acetate and extraction using Mehlich 3. The Mg content in the plant material was calculated on the basis of yield and conversion factors

The results showed that the variants fertilized with mineral fertilizers (without Mg) had a higher yield than the variants fertilized with organic fertilizers containing magnesium. This resulted in the deepest negative balance of Mg in the soil when using mineral NPK (without the addition of Mg). In contrast, organic fertilizers caused a positive Mg balance due to the magnesium content. Here, the higher yields were also recorded compared to the control, although not to the same extent as for mineral fertilizers.

The main conclusion is that fertilization with mineral fertilizers (NPK) achieved the highest yields, but also significantly affected negative Mg balance in the soil. Therefore, a more sustainable system is combining organic fertilizers with Mg content (to maintain nutrient balance) with mineral fertilizers (to achieve yield).

**Keywords:** Yield, Magnesium, Soil, Winter wheat, Plant nutrition

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Hypotézy</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Cíle</b> .....	<b>10</b>
<b>4 Literární rešerše</b> .....	<b>11</b>
<b>4.1 Hořčík v půdě</b> .....	<b>11</b>
<b>4.2 Hořčík v rostlině</b> .....	<b>13</b>
<b>4.3 Nedostatek hořčíku</b> .....	<b>14</b>
<b>4.4 Nadbytek hořčíku</b> .....	<b>16</b>
<b>4.5 Hnojiva obsahující hořčík</b> .....	<b>17</b>
<b>4.6 Hnojení pšenice ozimé</b> .....	<b>19</b>
<b>4.7 Hořčík ve výživě člověka</b> .....	<b>22</b>
<b>4.8 Hořčík v potravinách</b> .....	<b>23</b>
<b>5 Metodika</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1 Analytická stanovení</b> .....	<b>27</b>
5.1.1 Extrakce demineralizovanou vodou .....	27
5.1.2 Obsah hořčíku stanovený metodou Mehlich 3 .....	27
5.1.3 Stanovení výměnného hořčíku octanem amonným .....	27
5.1.4 Měření obsahu Mg ve výluhu .....	27
5.1.5 Výnosy rostlin .....	27
5.1.6 Statistické vyhodnocení.....	28
<b>6 Výsledky</b> .....	<b>29</b>
<b>6.1 Výsledky na stanovišti Humpolec</b> .....	<b>29</b>
6.1.1 Výnosy pšenice ozimé.....	29
6.1.2 Bilance hořčíku.....	30
6.1.3 Analýzy půdy.....	32
<b>6.2 Výsledky na stanovišti Praha-Suchdol</b> .....	<b>34</b>
6.2.1 Výnosy u pšenice ozimé.....	34
6.2.2 Bilance hořčíku.....	35
6.2.3 Analýzy půdy.....	36
<b>6.3 Srovnání stanovišť</b> .....	<b>39</b>
6.3.1 Výnosy pšenice .....	39
6.3.2 Bilance hořčíku.....	39
6.3.3 Analýzy půd.....	39

<b>7</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>46</b>

# 1 Úvod

Hořčík patří mezi velmi důležité živiny jak pro rostliny, tak pro člověka. Od 2. poloviny 20. století je však v zemědělství i ve výživě opomíjen po celém světě. V některých publikacích se dokonce o hořčíku mluví jako o zapomenutém prvku.

Velké rozšíření minerálních hnojiv s obsahem draslíku (NPK) bylo příčinou postupného odsunu hořčíku z půdy a tím snižování jeho obsahu v půdě dostupném pro rostliny. Hlavní vliv na to má jeho antagonistický vztah k draslíku, kdy velké množství draslíku může hořčík vytlačet. Navíc jelikož je hořčík v půdě v celku pohyblivý, je náchylný na mnoho abiotických faktorů jako například vyplavení nebo kyselé pH.

Všechny tyto faktory hrají velkou roli ve výživě rostlin i člověka. Nejen pšenice ozimá potřebuje hořčík pro mnoho svých enzymatických pochodů, navíc figuruje jako centrální atom v chlorofylu – důležitou chemickou sloučeninou pro fotosyntézu.

Z toho všeho tedy vyplývá, že i když je hořčík pro rostlinu důležitý, pokud jeho obsah v půdě klesá, klesá i jeho obsah v rostlinách. A jelikož člověk přijímá hořčík hlavně z rostlinné stravy, jeho nedostatek v nich je příčinou špatného pokrytí ve stravě a tím i možných zdravotních problémů.

Proto je nutné se touto problematikou zabývat. V rámci udržitelnosti potřebujeme, aby naše půda obsahovala vyvážené množství živin a organických látek, čímž docílíme pěstování kvalitních plodin. Naše populace stále roste, proto musíme hledat prostředky, jak ji nasýtit. A půda s vyváženým obsahem živin a organických látek pomůže k tomu, abychom pěstovali kvalitní plodiny a dostali živiny jako hořčík zpátky do půdy a tím i do naší stravy.



## 2 Hypotézy

Předpokládá se, že v dlouhodobých přesných pokusech bude možné průkazně určit rozdílný vliv různých systémů hnojení na bilanci hořčíku ve vztahu půda-rostlina (pšenice ozimá).

Výsledky budou pravděpodobně ovlivněny rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami pokusných stanovišť. Dalším předpokladem je negativní bilance Mg v nehnojené variantě a variantě hnojené N, P a K v minerální formě. Pozitivní bilance je naopak očekávána u variant hnojených kalem a hnojem.

Aplikace hořčíku bude mít v Mg-deficitních stanovištích přímý vliv na výnos zrna pšenice ozimé.

### 3 Cíle

Seznámit čtenáře s problematikou hořčíku ve výživě rostlin a s tím související výživě člověka.

Hodnocení bilance hořčíku v dlouhodobých přesných polních pokusech s osevním postupem brambory, pšenice ozimá, ječmen jarní při různých systémech hnojení. Cílovou plodinou byla pšenice ozimá.

## 4 Literární rešerše

### 4.1 Hořčík v půdě

Zastoupení hořčíku v půdě je různorodé a jeho obsah závisí na složení matečné horniny. Celkově se obsah hořčíku v půdě pohybuje kolem 0,4-0,6 % (Škarpa et al. 2010). Převážně je vázán v minerálech. Takový hořčík je méně přístupný a nazývá se nevýměnný. Dle Senbayram et al. (2015) je ho z celkového množství 90-98 %. Výměnný hořčík se vyskytuje jako dvojmocný kationt v půdním roztoku (díky rozpuštěným solím) a sorbovaný na půdní koloidy (Pavlů 2018).

V první řadě je však důležité zmínit, že půda je složitý systém živých a neživých procesů. Výsledkem těchto procesů je pak určitá půdní rovnováha všech látek mezi živou a neživou složkou půdy. Jelikož je výměna látek v půdě podmíněna řadou fyzikálních i chemických vlastností a hořčík v nich figuruje, je dobré složení půdy rozdělit na plynnou, pevnou a kapalnou fázi (Vaněk et al. 2016).

Pevná fáze je rozdělena na minerální část a organickou část. U minerální části se hořčík vyskytuje v primárních a sekundárních minerálech. V primárních minerálech má největší zastoupení. Jelikož má vysokou sorpci, je uvolňován velice pomalým procesem zvětrávání hornin, který je mimo jiné složitější než u vápníku (Vaněk et al. 2016). Výskyt je hlavně u minerálů jako olivín, magnezit, serpentín, biotit, amfibol a pyroxen. Znamená to, že biologicky dostupný hořčík se dle Senbayram et al. (2015) nevyskytuje v písčitéch hrubozrnných půdách ochuzených o tyto minerály. Část hořčíku se vyskytuje i v uhličitanech, jako dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), které mají větší rozpustnost než výše zmíněné horniny. U sekundárních minerálů se Mg vyskytuje v trojvrstevném jílovitém silikátu verminkulitu. Ten je tvořen dvěma vrstvami tetraedrů (jeden atom křemíku obklopený 4 atomy kyslíku), mezi nimiž je vrstva oktaedru. Obvykle je u silikátů oktaedr složen z centrálního atomu hliníku obklopeného 6 skupinami OH. V případě verminkulitu je atom hliníku zaměněn za hořčík, který přejímá funkci vodíkových můstků a udržuje tak jeho soudržnost. Dalším sekundárním minerálem je chlorit, kde je vrstva oktaedrů tvořena  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (Pavlů 2018). Celkově mají sekundární minerály vliv na sorpci kationtů, proudění vody v půdním profilu a pórovitost. Dle Senbayram et al. (2015) se Mg vyskytuje převážně v jílovitých půdách. Písčité půdy jsou na Mg

většinou chudé. Různými výzkumy bylo prokázáno, že obsah hořčíku nelze přímo připisovat jeho výskytu v matečných horninách a jsou důležité i ostatní faktory jako délka a trvání zvětrávání, vlhkost půdy, pH půdy, kořenová a mikrobiální aktivita v půdě (Mayland et Wilkinson 1989). V organické části půd je spolu s ostatními kationty hořčík součástí humusu, a to hlavně vysokomolekulárních huminových kyselin. Ty mají dle Vaněk et al. (2016) 6-7 x vyšší sorpci než sekundární jílové minerály a spolu s nimi tvoří komplexy půdních agregátů, které jsou základem stabilní struktury půdy. (Hlušek et al. 1994). Do pevné fáze můžeme zařadit také hořčík vyskytující se jako součást solí, například síranů, fosforečanů, chloridů, které jsou velmi dobře rozpustné. Díky tomu se řadí mezi hořčík výměnný a na rozdíl od výše zmíněných forem hořčíku je ve své rozpuštěné formě přímo využitelný pro rostliny. Jiná pevná využitelná forma je výměnně sorbovaný  $Mg^{2+}$  na půdní koloidy. Čítá 5-10 % celkového obsahu hořčíku v půdě a měl by zastávat 10-15 % KVK z celkového součtu sorbovaných kationtů (Hlušek et al. 1994). Je důležité, aby byly dodrženy doporučené poměry zastoupení jednotlivých kationtů. Nejdůležitějším je vztah k draslíku, kdy by měl být poměr Mg:K zhruba 3:1 (Vaněk et al. 2016). Je to hlavně z toho důvodu, že má hořčík větší hodnotu hydratačního obalu, než je velikost iontu a koloidy by mohly sorbovat přednostně jiné, zpravidla jednomocné kationty ( $K^+$ ,  $NH_4^+$ ). Mezi ostatní antagonistické kationty patří i  $Ca^{2+}$ , jehož vyšší zastoupení je sice v půdě vyžadováno (zajišťuje rovnovážný příjem ostatních kationtů), ale při příliš vysokých hodnotách může negativně působit na příjem hořčíku (Vaněk et al. 2016).

V kapalně fázi se hořčík vyskytuje ve formě  $Mg^{2+}$  v půdním roztoku. Půdní roztok je pro rostliny velice důležitý. Zastává hlavní přísun živin a minerálních látek v něm rozpuštěných, které mají ideální chemickou a fyzikální strukturu pro následný příjem kořeny.

Při vyšším obsahu solí v půdě bývá množství hořčíku pro rostliny dostatečné. Je však nutné brát v potaz vyšší rozpustnost hořčíku a slabší sorpci než Ca. Proto se může stát, že je Mg z půdy vyplavován a dochází k jeho ztrátám. Dalším kritériem pro správný obsah přístupného hořčíku v půdě je neutrální až mírně zásadité pH půdního roztoku (Vaněk et al. 2016). Dle Senbayram et al. (2015) může být v kyselejších půdách obsah hořčíku vyšší vlivem četného obsahu kyselých kationtů  $H^+$ . V rhizosféře je ovšem příjem Mg pozastaven a může zapříčinit jeho nedostatek v rostlině a snížit tak výnos a kvalitu produkce. V našich půdách je obsah Mg ztrátový. Dle Vaněk et al. (2016) se s odstoupením od používání vápenatých hnojiv obsahující Mg přísun snížil a nyní se vyskytuje na hranici 5 % KVK.

Plynná fáze půdy se týká hlavně půdních pórů, které jsou vyplněny vzduchem. To znamená, že na tuto fázi má význam hlavně obsah kyslíku a CO<sub>2</sub>, případně fyzikální vlastnosti jako je obsah vodní páry nebo tlak. Právě vyšší tlak CO<sub>2</sub> může dle Vaněk et al. (2016) vést k tvorbě kyseliny uhličitě, která má vliv na mobilitu hořčíku a ostatních kationtů – vyšší kyselost může vést ke snížení pH, což může mít za následek jejich vyplavování.

## 4.2 Hořčík v rostlině

Hořčík hraje v rostlině velice důležitou roli. V první řadě se účastní tvorby chlorofylu. Zde figuruje jako centrální atom v porifirinovém jádře, kde je vázán v chelátové vazbě (Vaněk et al. 2016). Dále je důležitý pro mnoho fyziologických procesů v rostlině. Například zařizuje transport látek ve floému, účastní se Calvinova cyklu, figuruje jako kofaktor a allosterický regulátor pro více než 300 enzymů (kináz, RNA, polymeráz, adenosin trifosfatáz). Díky tomu je Mg zásadní pro transport asimilátů mezi zásobními a ostatními orgány (Senbayram et al. 2015). V sušině rostlin je jeho obsah zpravidla nižší než 0,5 % (Čermák et al. 2010).

Celkově rostlina přijímá hořčík z půdního roztoku ve formě kationtu Mg<sup>2+</sup>, a to hlavně pasivně. Při potřebě minerálních látek začne v rostlině uvnitř buněk převládat záporný elektrický náboj a vyrovná se potřebnými kationty z půdy. Přes vyšší elektrochemický gradient díky zvýšené exkreci protonů z cytoplazmy dokáže rostlina přijímat nutný hořčík a ostatní kationty (Senbayram et al. 2015). Oběh hořčíku v rostlině je bezproblémový, rostlina dokáže využívat uloženého hořčíku z jiných sloučenin v případě nedostatku. Transport hořčíku je zajišťován xylémem a může být závislý na vápníku, celkově je však hořčík 3x pohyblivější než vápník (Richter 2004).

Díky účasti hořčíku v chlorofylu je jeho obsah vysoký hlavně v listech, koncem vegetačního období se přesouvá i do zrna a zde může být ukazatelem kvality. Dokonce i v rostlinách, kde dochází k nedostatku hořčíku, není jeho obsah vázaný na chlorofyl větší než 30 %. Nedostatek se primárně projeví tím, že se zpomalí ostatní biologické a enzymatické pochody. Na deficit Mg v chlorofylu dojde až sekundárně (Hlušek et al. 1994). V zrně se dle Vaněk et al. (2016) vyskytuje zhruba 0,12 % Mg v sušině. Příjem hořčíku vrcholí na konci vegetace na rozdíl od draslíku a dusíku. Negativní vliv na příjem Mg má antagonistický kation draslíku a NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, které mohou při vysoké koncentraci působit inhibičně. Špatný příjem se vyskytuje také v kyselém prostředí.

Hořčík se v rostlině objevuje v chlorofylu, fytinu, oxalátech nebo ve formě chelátů a ostatních sloučenin. Dále se také může vyskytovat sorpčně vázaný nebo ve formě volných iontů. 70 % je vázáno s organickými a anorganickými ionty. 15-20 % hořčíku v rostlině je součástí chlorofylu (Vaněk 2016). Je prokázáno, že více hořčíku obsahují rostliny dvouděložné oproti jednoděložným (Hlušek et al. 1994).

Fyziologické procesy stojí na aktivaci enzymů. Mezi příklady enzymů, kde hořčík figuruje, se můžou zařadit fosfokinázy, dekarboxylázy, dehydrogenázy. Nejen že se Mg účastní fotosyntézy jako součást chlorofylu, ovlivňuje také aktivaci enzymu Rubisco, který řídí karboxylaci CO<sub>2</sub> v temnostní fázi Calvinova cyklu. Ten je součástí sekundární fáze fotosyntézy, kde vzniká glycerinaldehyd-3-fosfát, který se dále přeměňuje na důležité sacharidy, mastné kyseliny a aminokyseliny (Šebánek 1983). Dalším místem účasti Mg je syntéza bílkovin. Dle Vaněk et al. (2016) ovlivňuje oddělení polypeptidických řetězců od bílkovin. Při nedostatku tak může rostlina vykazovat nízké hodnoty bílkovin, naopak vyšší obsah aminokyselin a peptidů. Dalším bílkovinným enzymatickým cyklem ovlivněným Mg je syntéza neesenciální aminokyseliny glutaminu. Hlušek et al. (1994) navíc uvádí, že Mg udržuje koloidní stav protoplazmy.

### **4.3 Nedostatek hořčíku**

V prvních fázích se nedostatek hořčíku viditelně neprojevuje. Rostlina nejprve brzdí své fyziologické a enzymatické procesy a až potom snižuje množství hořčíku v chlorofylu. Proto je počáteční fáze latentní (Vaněk et al. 2016). Vyšší nedostatek je viditelný ve formě chlorózy. Té však může předcházet snižující se kvalita produktů, která se ukáže pouze po analýze požadovaných hodnot kvality sledovaných plodin. Je tak nutné kontrolovat hladiny hořčíku v půdě s předstihem, abychom předešli ztrátě kvality plodiny (Vaněk et al. 2016).

Časným příznakem stresu rostliny při nedostatku hořčíku je narušené rozdělení asimilátů mezi kořeny a ostatními částmi rostliny. Zvyšuje se tak akumulace těchto asimilátů v listech, kde blokují ostatní biologické procesy a snižují růst kořenových orgánů (Cakmak et Kirkby 2008). Zmíněné asimiláty jsou z největší části sacharidy, figurující jako zásobárny pro rostliny. Dle Vaněk et al. (2016) nejsou využívány pro tvorbu biomasy a nejsou ani schopny se transportovat zpátky do kořenů, to je důvod omezeného růstu kořenů. Mimo to také rostlina potřebuje tyto asimiláty dostat do nově rostoucích mladých listů a zrna. Ty však trpí

narušením floemu, a proto i jejich nedostatkem (Gransee et Führs 2013; Cakmak 2013). Kvůli tomu se latentní formy nedostatku ukazují na kvalitě produkce. Dle Vaněk et al. (2016) je to například snížený obsah bílkovin, sacharózy, škrobu.

Z důvodu výše zmíněné blokace floemu a narušení transportních procesů rostliny dochází k akumulaci sacharidů v listech trpících nedostatkem Mg. Často to způsobuje snížení fixace CO<sub>2</sub> Ribulosou-1,5-bisfosfátkarboxylázou (RuBisCO). K tomu dochází dvěma hlavními mechanismy. Prvním je zpětná inhibice syntézy sacharózy (Cakmak et Kirkby 2008), druhým je akumulace škrobu v chloroplastu ovlivňující vodivost CO<sub>2</sub> v chloroplastové membráně a způsobující nižší parciální tlak CO<sub>2</sub> v katalytickém místě Rubisca. Je známo, že syntéza a akumulace škrobu v chloroplastech způsobuje deformaci chloroplastů a snížení rychlosti difúze CO<sub>2</sub> z membrány. Obvykle tedy dochází k nerovnováze mezi zachycením světla a jeho využíváním, kdy nevyužití spouští produkci reaktivních forem kyslíku (ROS-reactive oxygen species) v rostlinách s nedostatkem Mg. To, zda by zesílený ROS mohl způsobit oxidační poškození molekul chlorofylu, závisí na rovnováze mezi produkcí ROS a jejich poutáním (Senbayram et al. 2015; Guo et al. 2016).

Vizuální symptomy u listů trpících nedostatkem Mg se nazývají interveniální chloróza. V důsledku nadměrné produkce ROS dochází k degradaci chlorofylu. Téměř ve všech případech je příčinou takové chlorózy u listů s nedostatkem Mg nadměrné poškození kvůli ROS, nikoli z důvodu nedostatku Mg pro syntézu chlorofylu. K chloróze dochází hlavně u starých listů kvůli omezenému přísunu hořčíku z xylému, jelikož se rostlina snaží přivést hořčík přednostně do mladších tvořících se listů. Kvůli tomu, že ho není dostatek k obnově chlorofylu ve starších listech, dochází k jejich žloutnutí v důsledku nedostatečného množství zeleného barviva. U obilnin se často hovoří o korálkovité mozaice nebo pruhovitosti u kukuřice (Škarpa et al. 2010). Je to z toho důvodu, že na listech zůstávají na rovnoběžné nervatuře tmavší shluky chlorofylu, který působí dojmem „korálků“ a ostatní místa jsou naopak světlejší, žlutá. (Vaněk et al. 2016).

Rostliny pěstované na poli čelí řadě abiotických stresů ve formě sucha, zasolení/kyselosti půdy, horkému/studenému počasí, které mají vliv na jejich správný vývoj a s tím spojené výnosy. Příznaky chlorózy a nedostatku hořčíku se často vyskytují po vlhkých a teplých zimách. Kvůli vyplavení živin z horních částí půdy rostlina musí najít způsob, jak se dostat k hořčíku ve spodnějších místech. Proto dokáže prodloužit kořeny a tím se vypořádat s krátkodobým nedostatkem. Pokud však nemá dostatek již před tím (doplnění například

hnojením), může docházet k tomu, že kořeny nedokáže prodlužovat z důvodu listů zaplněných asimiláty a nedostatečným floemovým transportem právě k jejich prodloužení. Prodlužování kořenů a tvorba tzv. slizové substance neboli anglicky mucilage (Carminati et Vetterlein 2013), která pomáhá k lepšímu zadržení vody, je velmi energicky náročná. To znamená, že snížený tok energie z listů ke kořenům může být pro rostlinu fatální. Dochází pak k silnému nedostatku Mg, který vyústí v nedostatečný vývin orgánu rostlin. Opožděně metají, čímž se podílejí na nerovnoměrnosti případných plánovaných agrotechnologických procesů. Také opožděně zrají, což zapříčiňuje pozdní sklizeň a díky tomu možné zvýšené náklady spojené s nedostatečným pokrytím poptávky. Nedostatek hořčíku může na první pohled vypadat jako nedostatek dusíku. Kromě toho se výskyt chlorózy projevuje nerovnoměrně, což může komplikovat jeho identifikaci. Některé rostliny mohou lépe kořenit a dostat se do spodnějších vrstev půdy, kde je méně draslíku negativně působícího na příjem Mg. Díky tomu mohou hluboko kořenicí rostliny chloróze odolávat (Vaněk et al. 2016).

Hladiny hořčíku by se měly sledovat také při suchu a teplotnímu stresu, jelikož adekvátní hořečnatá výživa je kritická při boji rostliny s těmito abiotickými faktory. Inhibice fotosyntézy suchem zapříčiňuje špatné umístění elektronu na kyslík a způsobuje tak oxidační stres. Jelikož nedostatek Mg může působit podobně, efekty se sčítají. Proto je nutné v takových situacích zvýšit přísun například formou hořečnatých hnojiv (Mengutay et al. 2013). V některých kritických situacích se prokázalo, že s nedostatkem Mg můžeme bojovat i aplikací foliárních hnojiv, která se aplikují přímo na listy. Dle EL-Metwelly et al. (2010) při kombinaci s Cu dochází ke stabilizaci hladin hořčíku ve vysušených půdách. Hlušek et al. (1994) i Vaněk et al. (2016) uvádějí 2-5% postřik síranem hořečnatým přímo na listy postižené chlorózou. V době sucha ale rostlina nemusí pomocí listů hořčík při jeho deficienci dostatečně přijímat. Je to z toho důvodu, že jsou stomata (průduchy) v listech uzavřena a listy se snaží co nejvíce udržet vodu, avšak v tomto ohledu je nutný další výzkum (Eichert et al. 2008). Dochází také ke změnám morfologie – rostliny vytvářejí voskový povrch listu nebo dochází k tloušťnutí listu (Senbayram et al. 2015). I tak je foliární výživa při akutních chlorózách doporučována.

#### **4.4 Nadbytek hořčíku**

Dle Vaněk et al. (2016) v našich podmínkách k nadbytku hořčíku nedochází, a to z důvodu používání hnojiv, která ho obsahují málo (ať už se jedná například o NPK nebo



organická hnojiva). Neděje se tomu však pouze u nás. Kvůli tzv. zelené revoluci v minulém století je obsah Mg v půdě minimální po celém světě. Jak bylo vysvětleno v předešlých kapitolách, K je antagonistou Mg v půdě. Z extrémního navýšení používání minerálních hnojiv s dusíkem doprovázených draslíkem docházelo ke snižování hodnot hořčíku v půdě a tím i v plodinách. K porovnání byl před rokem 1968 obsah hořčíku v sušině pšenice ozimé 115–126 mg/100 g, oproti tomu po roce 1968 byl 91–101 mg/100 g (Guo et al. 2016).

Neznamená to ale, že rostlina na nadbytek Mg nereaguje. Gerendás et Hendrik (2013) sice ve své práci popisují, že přímý vliv na metabolismus rostliny nebyl evidován. Kobayashi et al. (2015) však ve svém experimentu vlivu zvýšeného množství Mg ve formě  $MgCl_2$  a  $MgSO_4$  na růst rýže a ježatky kuří nohy dokázali, že dochází k celkem výraznému snížení růstu. U ježatky se jednalo o 60-67 % a u rýže o 48-56 %. Výsledky ukázaly, že hlavním faktorem je snížení hladiny Ca v celé rostlině. U ježatky docházelo k zoubkování a vyblednutí listů, u rýže nikoliv, jelikož má větší odolnost vůči nadbytku Mg.

Nadbytek Mg tedy může vyústit ve špatné poměrné uspořádání minerálních živin a díky tomu v nežádoucí omezení růstu. Potvrdilo se tak tvrzení Gerendás et Führs (2013), že fyziologické změny nadbytkem Mg jsou možné pouze nevyváženou dodávkou ostatních kationtů. I když je šance na nadbytek hořčíku mizivá, vlivem špatné agrotechnologie může na nedostatečně analyzovaných půdách s vyšším obsahem hořčíku při vysokém hnojení hořečnatými hnojivy, například ještě v kombinaci s foliárním hnojením, docházet k negativním vlivům na případný výnos a kvalitu produkce (Gerendás et Führs 2013).

## **4.5 Hnojiva obsahující hořčík**

Hořčík je důležitý pro vysoký výnos a kvalitu produkce (Wang et al. 2020). Uvolňování z matečné horniny je však malé a často nedostatečné. Příjem Mg je také náchylný na fyzikální a chemické podmínky jako je vysoké či nízké pH, sucho nebo vyšší hladiny antagonistických kationtů v koncentračních poměrech. To má za následek nižší dostupnost Mg pro rostliny, i když je ho v půdním roztoku dostatek. Proto je k optimální produkci důležité používání hořečnatých hnojiv hlavně na půdách s omezeným množstvím dostupného Mg (El-Nour et Shaaban 2012).

Základním kritériem pro správné užití hnojiv je analýza půdy a srovnání jejích výsledků s požadavky určité plodiny. Dle Senbayram et al. (2015) je pro dosažení 90 % relativního výnosu potřeba 2,1 mmol<sup>+</sup>/kg výměnného hořčíku.

Hladiny dostupného Mg uvolněného z hnojiv do půdy jsou podmíněny fyzikálním a chemickým složením, které stojí na velikosti částic a rozpustnosti ve vodě. Proto hnojiva s hořčíkem můžeme rozdělit na dvě skupiny: rozpustné a málo rozpustné (Senbayram et al. 2015). Z málo rozpustných je známá například hornina dolomit, ve které se přirozeně vyskytuje uhličitán hořečnatý. Řadí se mezi hnojiva s minimálním zpracováním. Rozdrcený se využívá k vápnění půdy, což přispívá k úpravě pH kyselých půd (Škarpa et al. 2016; Vaněk et al. 2016). Jelikož je v tomto případě vápnění většinou primárním důvodem jeho použití, uvolňování Mg a Ca do půdy je sekundárním benefitem pro udržování správné hladiny živin v půdě. Jedním z negativ však je, že z důvodu nižší rozpustnosti je jejich uvolňování pozvolné. Proto není jako hnojivo využitelný při akutnějších nedostacích Mg nebo situacích, kdy je potřeba zvýšit množství Ca a Mg za kratší časový úsek.

Mezi rozpustná hnojiva se díky obsahu Mg v hydratované formě MgSO<sub>4</sub>x7H<sub>2</sub>O řadí Kieserit. Znovu se jedná o přirozeně se vyskytující minerál. V přirozené formě se však netěží, získává se flotací z tvrdé soli (Hlušek et al. 1994). Nejčastěji se prodává ve formě granulí, někdy i ve formě krystalické. Díky výše uvedené rozpustnosti se využívá k celkovému základnímu hnojení, ale i přihnojování. Doporučená je aplikace na neutrální až zásadité a písčité půdy s dostatečným obsahem draslíku a nízkou zásobou hořčíku. Vaněk et al. (2016) uvádí obsah 15 % hořčíku, 21 % síry a 3 % Cl a doporučuje hnojit jařiny až při předseťové přípravě půdy na lehkých písčitých půdách, kde může hrozit vyplavení. Kieserit je možno vyrobit chemickou reakcí oxidu hořečnatého s kyselinou sírovou, kdy pak vzniká syntetický MgSO<sub>4</sub> (Senbayram et al. 2015).

Další rozpustné hnojivo bohaté na Mg je hořká sůl. Hlušek et al. (1994) uvádí obsah MgO 16,5 %. Vyrábí se krystalizováním Kieseritu a jedná se o nejlépe rozpustné a nejčistší hořečnaté hnojivo. Díky tomu se využívá hlavně ve formě postřiku při akutním nedostatku hořčíku (blíže vysvětleno v kapitole nedostatek hořčíku). Pokud se objevují viditelné známky, je možné po intervalech 10-14 dní aplikovat 2-3 x denně ve formě postřiku. Je však nutné si dát pozor při vyšších teplotách a vyšší vzdušné vlhkosti, kdy by se měla snížit koncentrace postřiku (Vaněk et al. 2016). Dále je také možná kombinace s jinými rozpustnými hnojivy jako DAM 390. Na podobné bázi se vyskytuje i hnojivo s názvem Microtop, které navíc obsahuje

bór a mangan. Hnojivo je ihned vstřebatelné, doporučuje se však dávat pozor u rostlin citlivých na bór (Hlušek et al. 1994).

Kromě anorganických hnojiv se hořčík v menších koncentracích vyskytuje i v organických hnojivech. Parnes (2013) sice uvádí, že chlěvský hnůj dokáže teoreticky pokrýt potřeby rostliny v ohledu na hořčík. Uvádí ale také, že se živiny poskytnuté z těchto organických hnojiv rychle vyplavují. Navíc obsahují několikanásobné množství draslíku, například u kravského a prasečího hnoje je tomu až 4:1 (K:Mg). Proto by aplikace větších dávek organických hnojiv při nedostatku hořčíku mohla situaci ještě zhoršit hlavně z důvodu antagonismu K a Mg.

Z kombinovaných vícesložkových tuhých hnojiv je důležité zmínit Campofort, což je hnojivo kombinující močovinu a síran hořečnatý, které obsahuje 4,8 % Mg. Dalším je Duslofert extra 12-8-5 S + 5 MgO, bezchloridové hnojivo používané pro zahradní plodiny (Vaněk et al. 2016).

Hořčík se často vyskytuje v kapalných kombinovaných hnojivech aplikovatelných foliárně. Objevují se hlavně kombinace hořčíku s dusíkem. Patří sem MgN-sol, Folimag, Premag. Tato hnojiva jsou užívána hlavně pro foliární přihnojování nebo závlaku. Dvousložková hnojiva používaná jako základní hnojivo vpravované do půdy jsou Dammag 1,2,3 a Dumag (Vaněk et al. 2016).

V neposlední řadě lze k hnojení využít čistírenské kaly (Vaněk et al. 2016). Jsou suspenzí odpadních látek z čistíren odpadních vod, obsahující velké množství organických i anorganických látek. Pokud nepřesahují hraniční hodnoty toxických látek (například pesticidů, polyfenolů) a těžkých kovů (těch cizorodých – například Hg, Pb), lze je využít pro hnojení rostlin (Hýblerová 2005). Kaly z různých čistíren mají odlišné obsahy látek, je proto nutné vybrat tu správnou kombinaci. Dle Hýblerová (2005) docházelo při testování hnojení topolů k velice dobrým výsledkům nárůstu biomasy a zlepšení růstu. Kromě velkého zvýšení množství přístupného dusíku v půdě docházelo i k vybalancování ostatních živin včetně hořčíku.

## **4.6 Hnojení pšenice ozimé**

Ozimá pšenice patří mezi plodiny náročné na pěstování. Dle Hřivna (2012) odčerpá z půdy 25 kg dusíku (N), 5 kg fosforu (P), 20 kg draslíku (K), 2,4 kg hořčíku (Mg), 4 kg síry (S) a díky tomu se řadí k plodinám se středním odběrem živin.

Jedním z prvních faktorů nutných pro vysoké výnosy je druh půdy. Pšenice ozimá obecně vyžaduje spíše neutrální až mírně alkalické půdy. Nejlépe se jí daří na černozemi či hnědozemi v hlinitých až jílovitohlinitých půdách. I když se pšenice pěstuje po celé republice, Vaněk et al. (2016) uvádí, že vysoké výnosové kvality zrna a potravinářské jakosti mouky je dosahováno hlavně v teplých oblastech. Proto je nutné si v oblastech s horšími podmínkami dávat pozor na správnou rostlinnou výživu.

Základem správné výživy je obsah organických sloučenin ve formě humusových látek. Pšenice se sama o sobě organickými hnojivy jako je kejda nebo močůvka nehnojí. Je proto důležité zvolit předplodinu hnojenou organickými hnojivy nebo využít posklizňových zbytků (například slámy) a zaorat je do půdy. Tímto bude v půdě docíleno dobrého vázání vody a pohybu živin (Hřivna 2012).

Výživa pšenice ozimé začíná s ohledem na jednotlivé živinné potřeby chemickou analýzou půdy. Díky tomu můžeme korigovat množství potřebného hnojiva vůči již obsaženým živinám v půdě. Samotné hnojení se rozděluje na základní hnojení, hnojení během vegetace, regenerační, produkční a kvalitativní (Hřivna 2012).

Základní neboli předseťové hnojení probíhá, jak název napovídá, před zasetím na podzim. I když, jak uvádí Hřivna (2012), pšenice na podzim odebírá minimum živin, je to období kdy si vytváří zásoby na přezimování a je tak dobré ho nepodcenit. Deficit se může ukázat už zde a rostliny tak nedokážou přezimovat nebo je na jaře čeká problém s růstem. Proto je doporučeno na podzim odebrat vzorky rostlin a po analýze porovnat s tabulkou optimálního obsahu živin v podzimním období u porostů pšenice. Dusík, který má nejvyšší vliv na výnos, kvalitu (obsah bílkovin v zrna-dobré vlastnosti lepku) a řadí se mezi hlavní limitující prvky ve výživě rostlin, se v tomto období zpravidla neaplikuje (Hřivna 2012). Jelikož rostlina odebírá pouze zhruba 10 % celkového odběru dusíku v podzimním období, postačí jí dusík poskytnutý v půdě z posklizňových zbytků. Může se ale stát, že nebyla vhodně zvolená předplodina, kterou se rozumí například jetelovina přirozeně bohatá na dusíkaté látky nebo předplodina v minulosti hnojená statkovými hnojivy. Také mohlo dojít k negativním fyzikálním procesům zpomalení mineralizace například vlivem počasí a dusíku je na podzim v půdě málo. To lze zjistit pomocí laboratorního testu  $N_{min}$  na množství minerálního dusíku v půdě (Černý et al. 2014). Při hodnotách nižších než 25-30 kg  $N_{min}$  na hektar je možné dusíkem přihnojit. Vaněk et al. (2012) doporučuje například síranem amonným. Jednotlivé živiny, které se doplňují

základním hnojením jsou převážně fosfor, draslík, hořčík a případně síra. Hlavním důvodem je, že jejich správná hladina pozitivně působí na budoucí využití dusíku při růstu (Hřivna 2012).

Hnojení během vegetace začíná na jaře, kdy se podporuje hlavní růst biomasy rostliny. Protože hlavní hraniční živinou pro správný nárůst biomasy je dusík, Vaněk et al. (2016) radí použít LAV nebo z tekutých hnojiv například DAM. První hnojení hned po zimě se nazývá regenerační. Jak název napovídá, napomáhá po mrazech zregenerovat rostlinná pletiva, urychlit růst a podpořit odnožování (vznik produktivních stébel). Tento typ hnojení má největší vliv na výnos. Dalším typem přihnojení je produkční, které zajišťuje dostatek N v době sloupkování a má přímý vliv na počet zrn v klasu. Posledním je kvalitativní hnojení, díky kterému může být zvýšena kvalita zrna a další kvalitativní jakostní údaje jako hmotnost 1000 zrn. Jedná se o pozdní přihnojení, které nemá takový vliv na výnos, může při něm navíc při velkém množství srážek docházet k vyššímu výskytu houbových chorob a tím naopak k nižší kvalitě zrna.

Co se týká hnojení hořčíkem, nejčastější je jeho kombinace s tekutými dusíkatými hnojivy a aplikuje se tak na jaře při regeneračním hnojení. I když je odběr rostlinami zhruba 10x menší než v případě dusíku nebo draslíku, je důležité ho nevynechat (Černý et al. 2014). Při viditelných chlorózách, zapříčiněných nedostatkem hořčíku, pak existují přípravky, které můžeme využít v celém období růstu. Doporučuje se například hořká sůl. Z kombinovaných tekutých hnojiv je také možné použít Lamag, který se vyskytuje v několika kombinacích s ostatními živinami, jako je bór nebo síra. Z pohledu kontroly fyzikálních vlastností půdy a množství živin v půdě před setím lze také hořčík doplnit při vápnění ve formě mletého dolomitu (blíže vysvětleno v kapitole hnojiva s hořčíkem). Je však nutné počítat s tím, že se takto doplnění hořčík vyskytuje v méně rozpustných uhličitanech a uvolňuje se tak do půdy pomaleji (Senbayram et al. 2015). Pokud nedocházelo k vápnění nebo je v půdě stále nedostatek Mg, Černý et al. (2014) doporučuje při podzimním základním hnojení použít například hnojivo Kamex, což je draselné hnojivo kombinované s hořčíkem.

Dle Chwil (2014), který ve svém výzkumu porovnával základní hnojení a hnojení na list u pšenice ozimé, je aplikace základních hnojiv v podzimních měsících důležitější pro výnos. Jako jedno z nejefektivnějších se ukázalo ošetření půdy před acidifikací ve formě vápnění, což omezilo množství negativně působícího hliníku v půdě ze 140 na 28 mg/kg zeminy a mělo pozitivní vliv na biologickou aktivitu půdy. V kombinaci s užitím NPK jako základním hnojivem docházelo k dobrému zastoupení živin v rostlině a nejlepším výnosovým hodnotám. Tato

kombinace však způsobila také největší odběr minerálů z půdy. Studie Hlisnikovský et al. (2019) toto potvrzuje. I když se v jejich výzkumu ukázal dusík jako limitní živina pro výnos a obsah bílkovin pšenice ozimé, odsun ostatních živin, který se nemusí projevit v prvních letech pěstování může být fatální pro půdní vlastnosti v budoucnosti. Nedostatek těchto živin v půdě a tím i v rostlinách můžeme vidět v praxi, Guo et al. (2016) dává do souvislosti historické zanedbávání hnojení hořčíkem v zemích třetího světa s nízkou hladinou hořčíku ve výživě místní populace nedosahující minimálních doporučených dávek Mg. Ve studii Chwil (2014), mělo foliární hnojení dobré výsledky na zvýšení kvality zrna, ale v ohledu na bílkoviny bylo výhodnější základní hnojení (i když obsah bílkovin byl v obou případech podobný). Je také vhodné zmínit, že dobré výsledky foliárních hnojiv lze připsat spíše jejich zásadnímu vlivu na zlepšení utilizace ostatních živin a podpoření fotosyntézy než samotnému zvýšení obsahu živin, jako je tomu u základních hnojiv. Ve studii Gaj et al. (2013) se ukázalo, že minerální hnojiva zásadně působí na obsah bílkovin a lepku, což potvrzuje výsledky studie Chwil (2014). Navíc se objevil vztah přímé úměrnosti obsahu hořčíku v listech s hodnotou bílkovin a lepku. Dalším důležitým objevem bylo, že na kvalitativní znak uniformity velikosti zrna, nemělo vliv hnojení, ale pouze počasí (Gaj et al. 2013).

## 4.7 Hořčík ve výživě člověka

Hořčík je nepostradatelný nejen ve výživě rostlin, ale i ve výživě člověka. Podle Haraminac (2012) se vyskytuje jako čtvrtý nejhojnější minerál v těle a je nepostradatelný pro život. V dospělosti máme v těle zhruba 25 g hořčíku (existují odlišnosti u ženského a mužského pohlaví). Ze 30-40 % se vyskytuje v buňkách a měkkých tkání, z 1 % v krvi a zbytek je v kostech (fao 2002). Z toho plyne, že hlavní úlohou hořčíku je stavba kostí (Ornstová 2008). V měkkých tkáních a krvi figuruje jako kofaktor enzymů, účastní se metabolických dějů, proteosyntézy, syntézy DNA a RNA, udržuje správný elektrický potenciál nervové soustavy (fao 2002, Čížková 2009). Mimo jiné také úzce souvisí s tokem draslíku v těle. Proto může nedostatek Mg zapříčinit problémy s jeho hladinou.

Nedostatek hořčíku může vznikat buď jako deplece, což je poruchou metabolismu nebo jako deficit. Deficitem se rozumí nedostatek hořčíku důsledkem nedostatečného příjmu potravou, nadměrného vylučování ledvinami (selhání ledvin, nadměrná konzumace alkoholu, nadměrná konzumace kofeinových nápojů), nemoci nebo například při růstu (jeho ukládání

do kostí). Deficit může také nastat při těhotenství, kojení nebo vyšší fyzické zátěži, případně mohou negativně působit i různé léky (antikoncepce, inzulin). Příznaky jsou různé. Je to dané i tím, že je hořčík přítomen v buňkách. Proto je nutné nejdříve zkontrolovat hladinu hořčíku, aby se potvrdilo, jestli jde opravdu o jeho deficienci. Samotné příznaky jsou pak migrény, bolesti temene, bolesti u srdce, deprese, úzkosti, strach, nervozita, průjmy, bolesti břicha, zvracení, bolesti svalů, svalový třes (u alkoholiků). Příznaky tedy souvisí s nervovou, svalovou, pohybovou a srdeční soustavou. K vyléčení nedostatku hořčíku se podávají tablety, může se doplnit i nitrožilně infuzí (Čížková 2009). Hlavním cílem je však tomuto předejít a zvýšit příjem správnou stravou, složením stravy, případně užíváním suplementů například při těhotenství.

## 4.8 Hořčík v potravinách

Kromě příjmu z pitné vody nebo z minerálních vod přirozeně bohatých na Mg je z hlediska potravin hořčík nejvíce obsažen v rostlinné stravě. Z důvodu jeho značného množství v chlorofylu se hojně vyskytuje v zelené zelenině jako je například špenát. Vysoké hodnoty Mg se také objevují v ořechách, luštěninách, obilninách, některých mořských plodech. Naopak v mase, vejcích, mléčných výrobcích, bílé mouce, ovoci se tolik nevyskytuje. Tuky, oleje a cukr mohou působit proti jeho vstřebávání. Podle fao (2002) navíc snižuje vstřebávání také vláknina. Potraviny s vysokým podílem vlákniny však zároveň obsahují i vyšší množství Mg, což kompenzuje negativní efekt vlákniny. Dle Haraminac (2012) je také velká ztráta hořčíku způsobena vařením a dalším zpracováním. Pokud je v potravině hořčík umístěn převážně ve vodě rozpustných sloučeninách, může pařením, blanšírováním nebo vařením docházet k jeho vyplavení. U špenátu se po blanšírování vyplaví až jedna třetina Mg, u fazolí po vaření dojde ke ztrátě až 65 % Mg.

S ohledem na kvalitu potravin je dle Gerendás et Führs (2013) míra kvalitativních znaků jako je skladovatelnost, textura, pevnost (například u zeleniny, ovoce) zapříčiněná poměrem Mg:Ca a Mg:K, samotný obsah Mg není tak důležitý. Poměr Mg:Ca má vliv na výše zmíněné vlastnosti, poměr Mg:K pak hlavně na organoleptické vlastnosti, protože přímo reguluje iontovou rovnováhu a organické kyseliny uvnitř buněk čímž ovlivňuje hodnotu pH.

Pšeničná mouka patří mezi dobré zdroje hořčíku. Čím více je ale rafinovaná, tím méně má minerálů. Obsah u pšenice je tak velice rozmanitý (od 200-1300 mg.kg<sup>-1</sup>) a závisí na druhu použité mouky (Ornstová 2008). Nejnižší obsahu má bílá mouka, nejvyšších pak celozrnná.

Hussain et al. (2010) zkoumal obsahy minerálních látek v mouce u různých genotypů pšenice, byl porovnán denní příjem pšeničné mouky (z průměru zhruba 200 g na osobu) s tabulkou pokrytí minerálních potřeb člověka. Při vybrání vhodného genotypu docházelo k pokrytí ze 72-84 %. Je důležité zmínit, že se jednalo o rostliny organicky hnojené. Výzkum ale ukázal, že více záleželo na zvoleném genotypu pšenice než typu hnojení.



## 5 Metodika

Experiment byl založen na pokusných stanicích ČZU a VÚRV v.v.i. Ruzyně v roce 1996. Jedná se o stanoviště s různými půdně-klimatickými podmínkami (Humpolec a Praha-Suchdol). Charakteristika stanovišť je patrná z tabulky č. 1. Na parcelkách jsou pěstovány v tříhonném osevním sledu tyto plodiny: brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen. Cílem práce bylo hodnocení obsahu hořčíku u ozimé pšenice, kde byly pěstovány následující odrůdy: Samanta (1996-1999), Calgary (1999-2015) a RGT Reform (2015-2017).

Tabulka č. 1: Základní charakteristika pokusných stanovišť.

Stanoviště	Humpolec	Praha-Suchdol
GPS souřadnice	49°33'16"N, 15°21'02"E	50°7'40"N, 14°22'33"E
Nadmořská výška (m. n. m.)	525	286
Průměrná roční teplota (°C)	7,0	9,1
Průměrné roční srážky (mm)	665	495
Půdní typ	Kambizem	Černozem
Půdní subtyp	<i>modální</i>	<i>modální</i>
Půdní druh <sup>1)</sup>	píščito hlinitá	prachovitá hlína
pH <sup>2)</sup>	5,1 (±0,09)	7,5 (±0,10)
P <sup>3)</sup>	115 (±14)	79 (±10)
K <sup>3)</sup>	191 (±26)	236 (± 23)
Ca <sup>3)</sup>	1785 (±247)	7531 (±1710)
Mg <sup>3)</sup>	114 (±17)	167 (±20)

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

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

<sup>2)</sup> Průměrné základní hodnoty stanovené metodou Mehlich 3 (rok 1996)

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 a hořčíku v hnojivech u jednotlivých variant jsou uvedeny v tabulce č. 2. 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 %), trojitým superfosfátu (21 % P) 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 Mg v půdě a jejich odběr rostlinami.

Tabulka č. 2: Systém hnojení polního pokusu ČZU (množství dodaných živin na 1 ha).

Varianta	Brambory	Ozimá pšenice	Jarní ječmen
kontrola	0	0	0
kal	330 kg N	0	0
	70 kg Mg	0	0
hnůj	330 kg N	0	0
	30 kg Mg	0	0
Hnůj½ + N	165 kg N	115 kg N	50 kg N
	15 kg Mg	0 kg Mg	0 kg Mg
NPK <sup>1)</sup>	120 kg N	140 kg N	70 kg N
	0 kg Mg	0 kg Mg	0 kg Mg
N	120 kg N	140 kg N	70 kg N
	0 kg Mg	0 kg Mg	0 kg Mg

<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 prováděn každoročně po sklizni pšenice. Bylo tak zjištěno, kolik přístupných živin zbývá v půdě při testovaných systémech hnojení. Ornice byla usušena a přeseta přes síto s velikostí otvorů 2 mm. Pro potřeby bakalářské práce byly k analýzám využity archivní vzorky půdy z roku 1996 (před založením pokusu) a posledního ukončeného cyklu osevního postupu, tj. z roku 2017.

## 5.1 Analytická stanovení

### 5.1.1 *Extrakce demineralizovanou vodou*

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

### 5.1.2 *Obsah hořčíku stanovený metodou Mehlich 3*

Ke stanovení obsahu potenciálně přístupného hořčíku byl použit extrakční roztok Mehlich 3 (Mehlich, 1984) složený z  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (0,2 mol/l),  $\text{NH}_4\text{F}$  ( $c=0,015$  mol/l),  $\text{HNO}_3$  ( $c=0,013$  mol/l),  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ( $c=0,25$  mol/l) a EDTA ( $c=0,001$  mol/l). Poměr zeminy a vyluhovadla činil 1:10 (10g zeminy, 100 ml vyluhovadla). Třepání probíhalo po dobu 5 min. Získaný roztok byl filtrován.

### 5.1.3 *Stanovení výměnného hořčíku octanem amonným*

Metoda byla realizována dle postupu Haby et al. (1990). Byly naváženy 3,00 g suché jemnozeme, ke kterým bylo přidáno 30 ml 1 mol/l roztoku octanu amonného, upraveného na pH 7,0. Po 120 min. třepání byly vzorky odstředěny (6000 g) a v supernatantu byl měřen obsah hořčíku. Získaná data byla využita pro výpočet podílu hořčíku na kationtové výměnné kapacitě (KVK).

### 5.1.4 *Měření obsahu Mg ve výluhu*

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

### 5.1.5 *Výnosy rostlin*

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

### 5.1.6 *Statistické vyhodnocení*

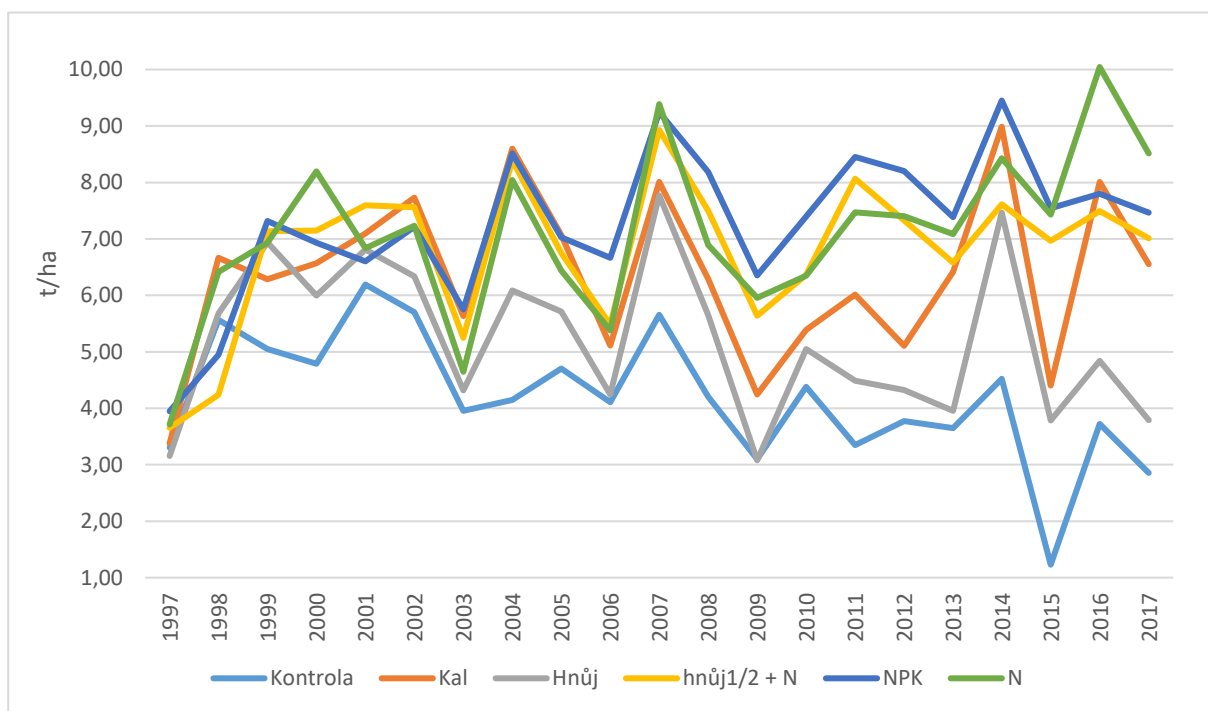
Pro statistické vyhodnocení byly využity základní popisné charakteristiky, časové řady a výpočty bilancí hořčíku v programu Microsoft Excel (Excel 2007).

## 6 Výsledky

### 6.1 Výsledky na stanovišti Humpolec

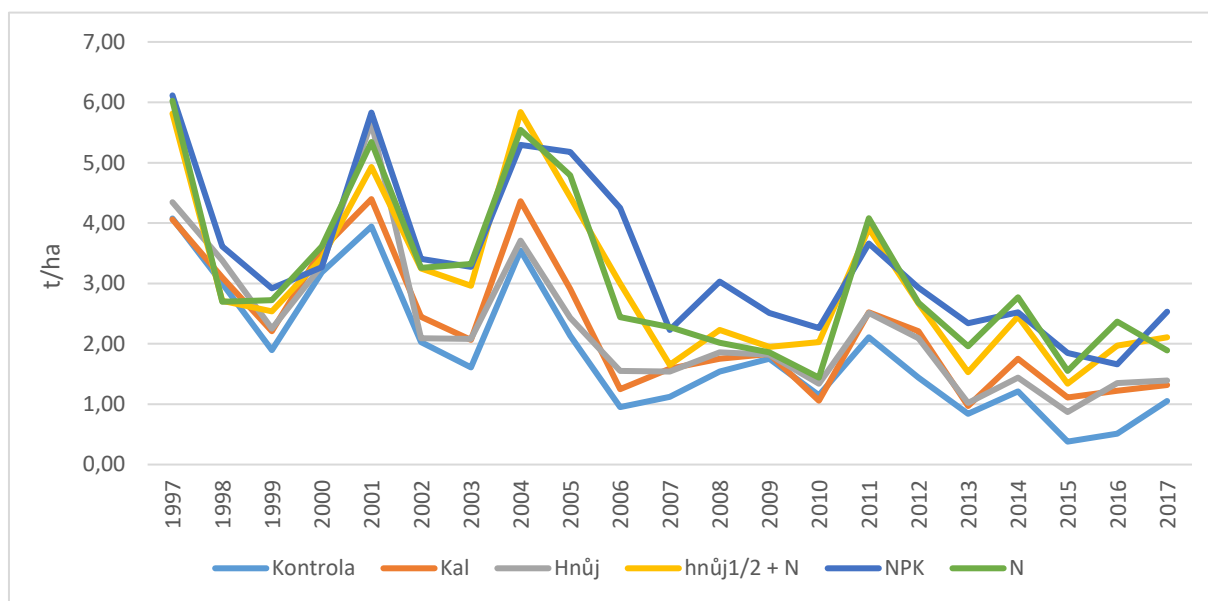
#### 6.1.1 Výnosy pšenice ozimé

Graf č. 1 ukazuje změny výnosových hodnot zrna (tuna na hektar). Z trendu je vidět, že největší výnos zajistila varianta NPK s průměrnou hodnotou 7,55 t/ha a výnos zrna se od roku 1997 do roku 2017 zvýšil o 91,1 %. Další byla varianta N s průměrem 7,3 t/ha, zvýšila výnos o 96,2 %. Varianta hnůj + N dosáhla průměrného ročního výnosu 7,09 t/ha a procentuálního zvýšení 93,7 %. Hodnota výnosu u kalu byla 6,5 t/ha, procentuální zvýšení oproti roku 1997 je 92,3 %. Nejmenší výnos zrna dosáhl hnůj a to 5,3 t/ha, kde se výnos od založení pokusu zvýšil o 67,7 %. Všechna hnojiva poskytla větší výnos než kontrola, u které se dosáhlo výnosu 4,16 t/ha, což představuje nárůst o 26 %. Z grafu je vidět, že má výnos zrna u všech hnojených variant stoupající tendenci. Většina hnojiv kopíruje výkyvy vyskytující se v několika ročnících. Ty jsou pravděpodobně způsobeny průběhem počasí v daném roce. V prvních letech došlo k nejstrmějšímu nárůstu výnosu zrna ze všech sledovaných hnojiv zejména u varianty N.



Graf č. 1: Výnos zrna (v t/ha) od roku 1997 do roku 2017 (Humpolec)

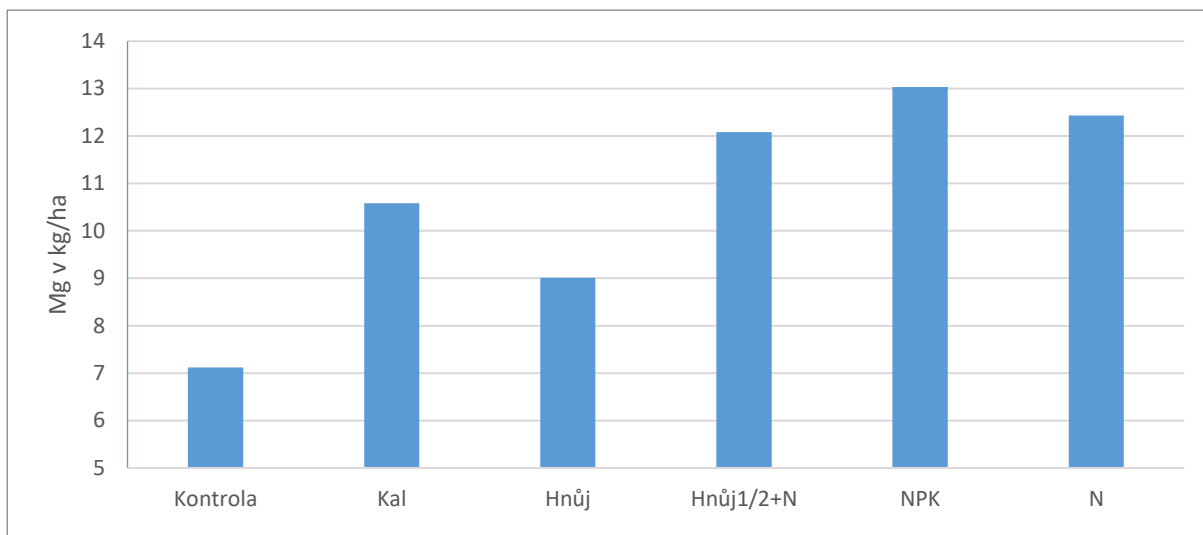
V grafu č. 2 jsou zaneseny průměrné hodnoty výnosu slámy. Ten v průběhu let na rozdíl od výnosu zrna klesá. Nejvyšší průměrný výnos má varianta NPK s průměrnou hodnotou 3,21 t/ha a procentuálním poklesem mezi lety 1997 a 2017 o 47,5 %. Další je varianta N s hodnotou 2,94 t/ha a poklesem 51,2 %. U varianty hnůj + N je výnos 2,84 t/ha s procentuálním poklesem o 51 %. Varianty Kal i hnůj mají podobný výnos a to zhruba 2,13 t/ha. Pokles činí 47,54 % u kalu a 51,2 % u hnoje. U kontroly vyšly výsledky výnosu slámy 1,9 /ha se ztrátou 58,3 %. Z grafu tedy vyplývá, že všechna hnojiva měla procentuální pokles kolem 50 %. Pokles výnosu slámy je dán pravděpodobně změnami odrůd v průběhu pokusu.



Graf č. 2: Výnos slámy (v t/ha) od roku 1997 do roku 2017 (Humpolec)

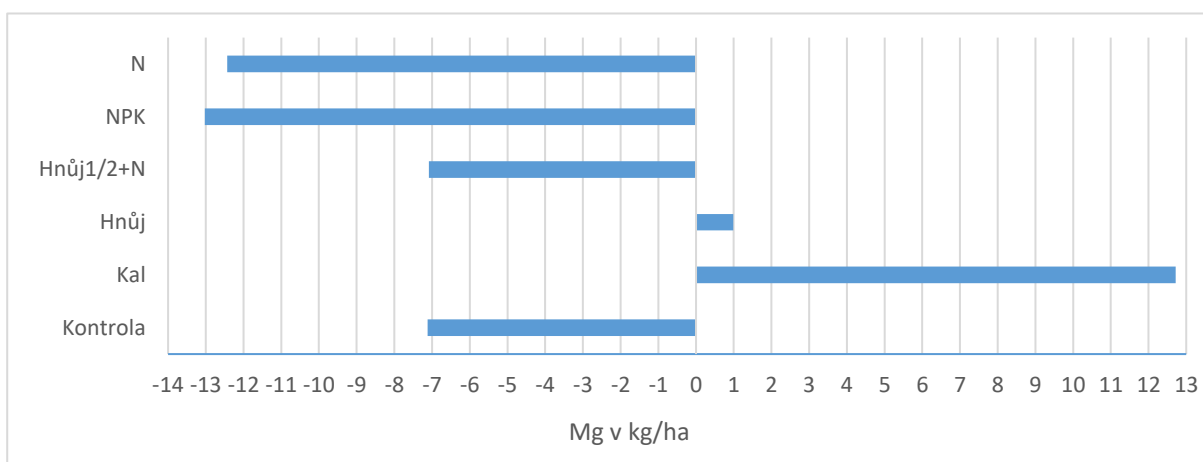
### 6.1.2 *Bilance hořčíku*

Graf č. 3 vykresluje průměrný roční odběr hořčíku zrnem a slámou v kg/ha. Ten byl vypočten na základě koeficientů dle Klír et al. (2008) – viz metodika. Poměr sklizené slámy a zrna vychází v průměru 1:3,3. Největší odběr Mg lze vidět u minerálního NPK, varianty N a varianty hnůj + N. U NPK se jedná o 13 kg/ha, u varianty N 12,4 kg/ha a varianta hnůj + N dosáhla 12,1 kg/ha. Nižší odběr vyšel u kalu, a to 10,6 kg/ha, nejnižší odběr měl hnůj 9 kg/ha. Oproti kontrole vyšel odběr vyšší než u variant s hořčíkem, tak u variant bez jeho aplikace.



Graf č. 3: Průměrný roční odběr hořčíku (kg/ha) na stanovišti (Humpolec)

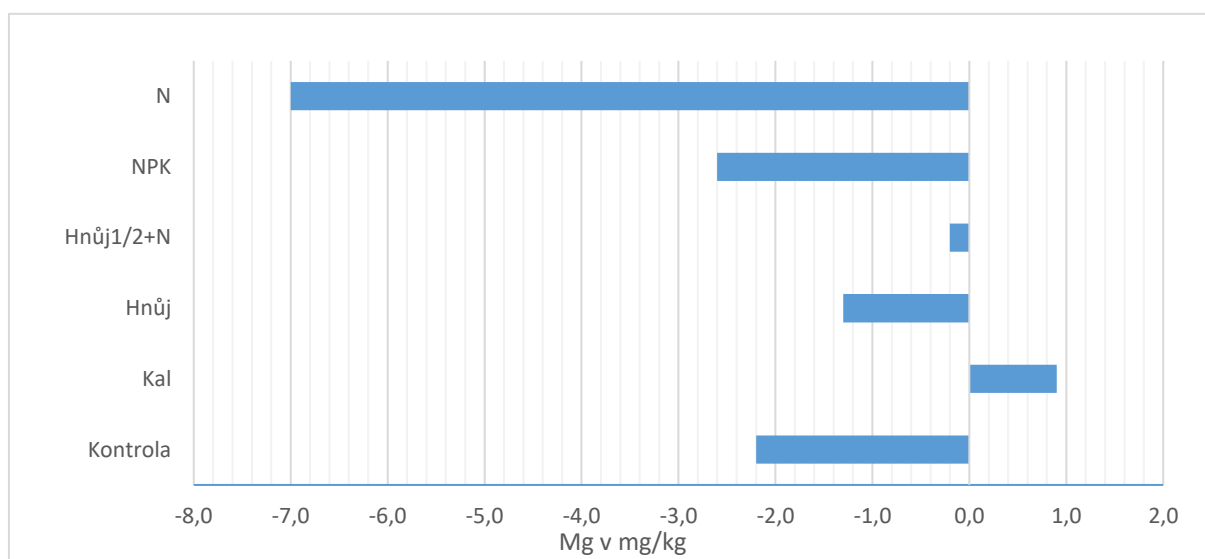
Graf č. 4 vyznačuje jednoduchou roční bilanci přísunu a odběru hořčíku v kg/ha. Šlo o porovnání toho, kolik rostlina odebrala hořčíku z půdy a kolik jsme doplnili hnojením. Přísun vychází z metodiky (tabulka 1), odběr z grafu č. 5. Zde lze vidět, že nejvyšší bialnce dosáhla varianta kal a to +12,7 kg/ha. Další kladná bilance byla zaznamenána u varianty hnůj s hodnotou +0,99 kg/ha. Varianta hnůj + N obsahovala hořčík dodaný v hnoji, i tak ale takto hnojená pšenice odebrala více Mg, než činila aplikační dávka. Bilance vykazovala hodnotu -7,08 kg/ha. Nejnižších hodnot dosáhla varianta NPK (-13,03 kg/ha) a varianta N (-2,43 kg/ha). Z grafu také vychází, že kal, ve kterém při aplikační dávce bylo nejvíce Mg, měl jeho nejlepší bilanci. Kontrola vykazovala zápornou bilanci -7,12 kg/ha, to znamená podobně jako varianta hnůj + N.



Graf 4: Bilance hořčíku (přísun - odběr) (Humpolec)

### 6.1.3 Analýzy půdy

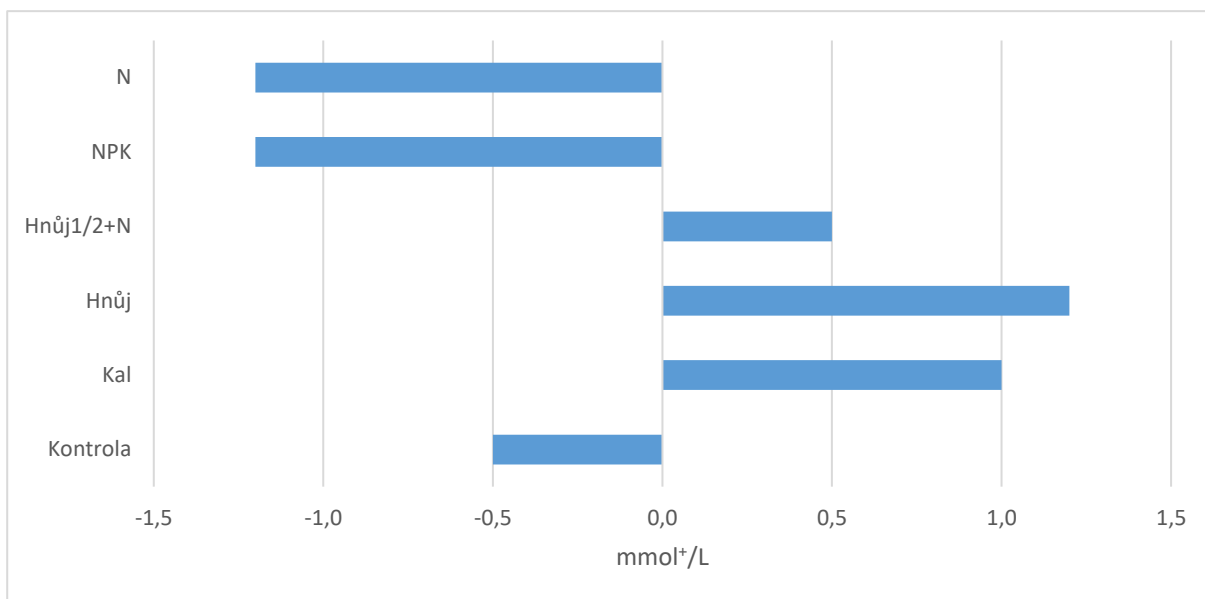
Graf č. 5 ukazuje rozdíl obsahu hořčíku v půdě mezi rokem 2017 a 1996, kde bylo výsledků dosaženo pomocí extrakce demineralizovanou vodou, která vypovídá o obsahu rostlinám okamžitě přístupného Mg. Z grafu je vidět, že kladná změna nastala pouze po hnojení variantou kal s hodnotou +0,9 mg/kg. V ostatních případech bylo na konci pokusu méně hořčíku než na jeho počátku. Nejvíce hořčíku se vyčerpalo u varianty N, která dosáhla hodnoty -7 mg/kg. Následovala varianta NPK, kde byl výsledek rozdílu -2,6 mg/kg. Podobně na tom byla půda v kontrole bez použití hnojiv, zde byla změřena hodnota -2,2 mg/kg. Hodnota u varianty hnůj dosáhla -1,3 mg/kg, k nejnižší změně došlo u varianty hnůj + N s výsledkem -0,2 mg/kg. Z grafu je vidět, že varianty N a NPK zapříčinily nejvyšší úbytek hořčíku v půdě.



Graf č. 5: Bilance obsahu hořčíku v půdě mezi rokem 2017 a 1996 ve vodném výluhu (Humpolec)

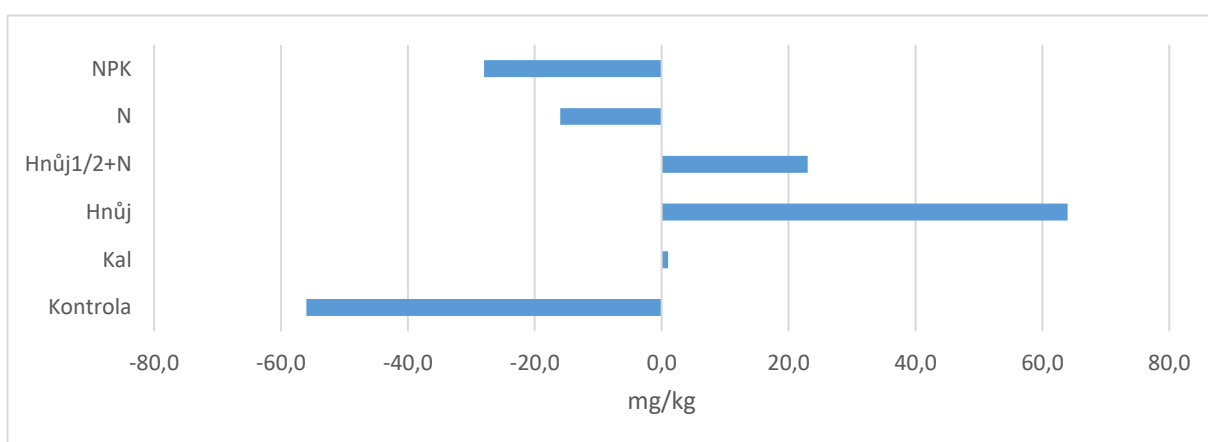
V grafu č. 6 je ukázána změna obsahu hořčíku před začátkem a po ukončení pokusu (mezi roky 1996 a 2017), která byla stanovena octanem amonným, umožňujícím výpočet podílu hořčíku v KVK. Hnojiva s hořčíkem dopadla v bilanci kladně. Nejvyšší hodnotu měla varianta hnůj s hodnotou +1,2 mmol<sub>+</sub>/kg, a podíl Mg v KVK činil 11,3 %. Následovala varianta kal s bilancí obsahu +1 mmol<sub>+</sub>/kg a procentuálním zastoupením v KVK 8,36 %. Bilance varianty hnůj + N měla hodnotu +0,5 mmol<sub>+</sub>/kg a podíl v KVK 9,75 %. Kontrola dosáhla negativní bilance 0,5 mmol<sub>+</sub>/kg hořčíku, podíl v KVK činil 8,74 %. U varianty NPK a N byly hodnoty nižší než u kontroly, a to -1,2 mmol<sub>+</sub>/kg. Podíl Mg v KVK byl u NPK 6,77 %, u varianty N 8,19 %.





Graf č. 6: Změna obsahu hořčíku (mmol<sup>+</sup>/kg) extrahovaným octanem amonným mezi začátkem a koncem pokusu (Humpolec)

V grafu č. 7 je bilance obsahu hořčíku v půdě získaná pomocí výsledků metody Mehlich 3, která poskytuje nejstabilnější hodnoty udávající obsahy rostlinám potenciálně přístupného Mg. Nejvyšších hodnot dosáhl hnůj, měl kladnou bilanci +64 mg/kg oproti začátku pokusu. Další kladnou bilanci zastoupila varianta hnůj + N s hodnotou +23 mg/kg. Kal měl spíše neutrální hodnotu +1 mg/kg. Negativní výsledky vyšly u varianty N (-16 mg/kg) a nejnižší u NPK (-28 mg/kg). I tak zůstalo v půdě nejméně hořčíku u kontroly, kde vyšel výsledek negativní bilance -56 mg/kg. Nejvyšší bilance potenciálně přístupného hořčíku v půdě byla u varianty hnůj.

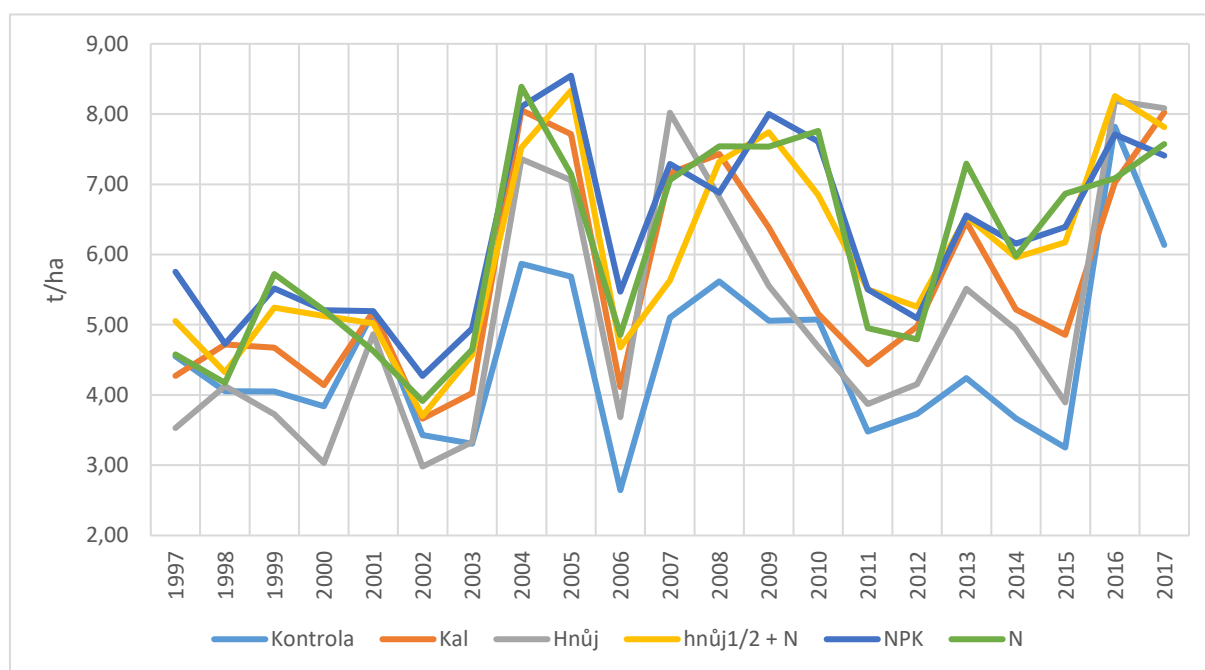


Graf 7: Bilance množství hořčíku v mg/kg od roku 1996 do 2017 získaná pomocí metody Mehlich 3 (Humpolec)

## 6.2 Výsledky na stanovišti Praha-Suchdol

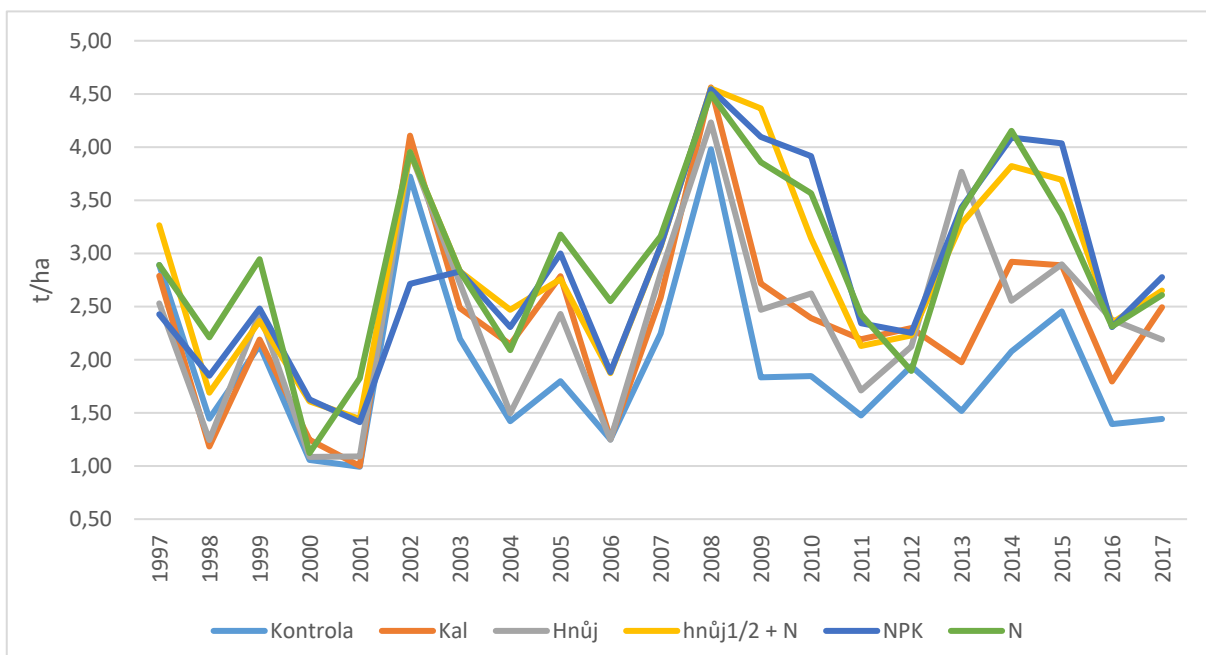
### 6.2.1 Výnosy u pšenice ozimé

Graf č. 8 udává výnosy na stanovišti Praha-Suchdol. Největšího průměrného výnosu dosáhla varianta NPK, a to 6,41 t/ha. Procentuálně se jednalo o 11,5% zvýšení od roku 1997 do roku 2017. U varianty hnůj + N byl zjištěn 22,2% přírůstek; průměrný výnos zrna byl 6,17 t/ha. Další je varianta N, kde se docílilo výnosu 6,26 t/ha a procentuálního přírůstku 36,7 %. U varianty kal činil přírůstek výnosu 34 % s průměrným výnosem zrna 5,72 t/ha. Varianta hnůj dosáhla průměrného výnosu zrna 5,25 t/ha. Výnos tak byl sice nejmenší, avšak se zvýšením oproti začátku pokusu o 48,7 %. Graf má u většiny hnojiv spíše stoupající trend. Také došlo k mírnému zvýšení výnosu u kontroly, jednalo se o 0,88% nárůst.



Graf č. 8: Výnos zrna od roku 1997 do roku 2017 (Praha-Suchdol)

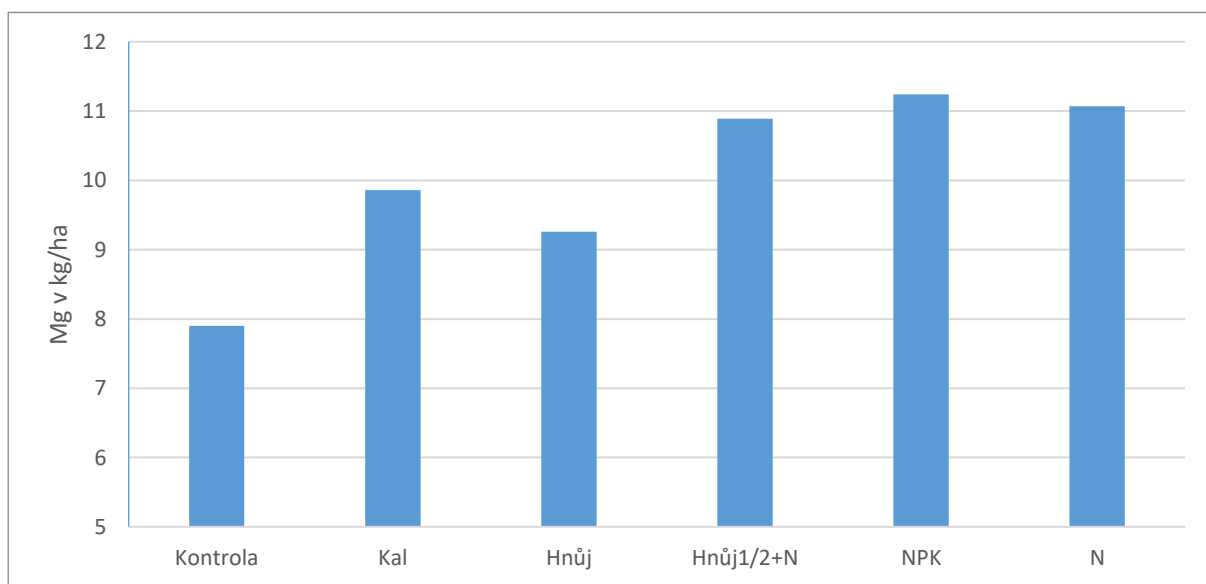
Graf č. 9 pojednává o výnosech slámy. Zde má spojnice grafu spíše stagnující, mírně klesající trend. Varianta NPK, dusíkaté hnojivo a hnůj + N mají podobné průměrné výnosy průměrně 2,9 t/ha. Kal a hnůj dosáhly velmi podobného průměrného výnosu okolo 2,43 t/ha. Kromě varianty NPK s nárůstem 19,3 % a varianty N s nárůstem 1,38 %, vykázaly ostatní varianty ztrátu. Varianty hnůj měla 3,95% ztrátu, varianta hnůj + N 12,23% ztrátu a varianta kal nejvyšší 13,3% ztrátu.



Graf č. 9: Výnos slámy od roku 1997 do roku 2017 (Praha-Suchdol)

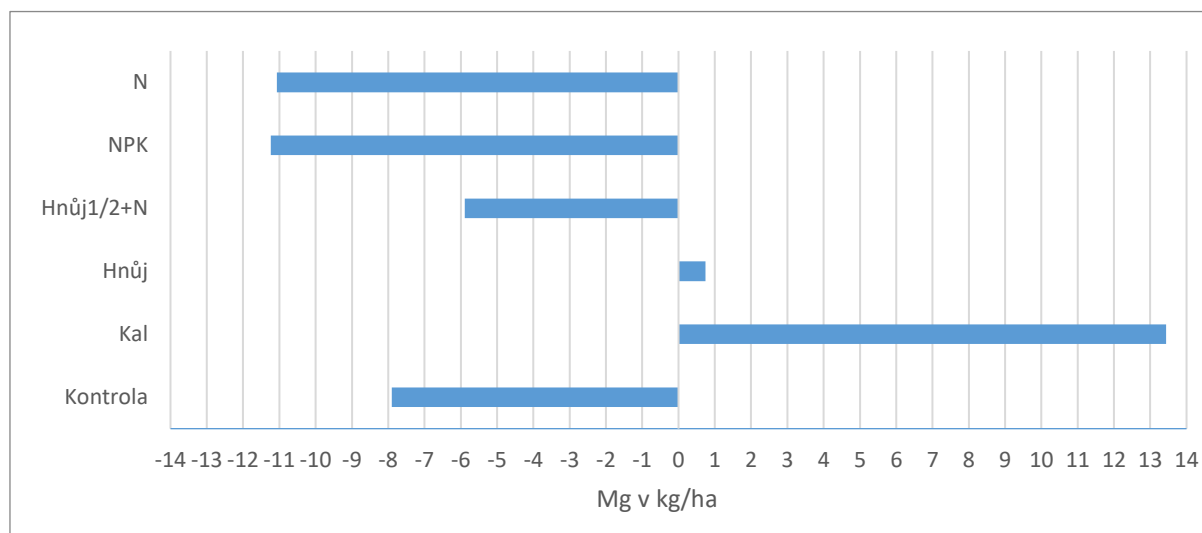
### 6.2.2 *Bilance hořčíku*

Výsledky výzkumu zanesené v grafu č. 10 ukazují průměrný roční odběr hořčíku pšenicí. Průměrný poměr sklizené slámy a zrna je 1:2,89. Varianta NPK měla největší odběr Mg, a to 11,24 kg/ha, následuje varianta N s hodnotou 11,07 kg/ha, kombinace hnoje a dusíku 10,89 kg/ha, kal měl 9,86 kg/ha a hnůj 9,26 kg/ha.



Graf č. 10: Průměrný roční odběr hořčíku (kg/ha) na stanovišti (Praha-Suchdol)

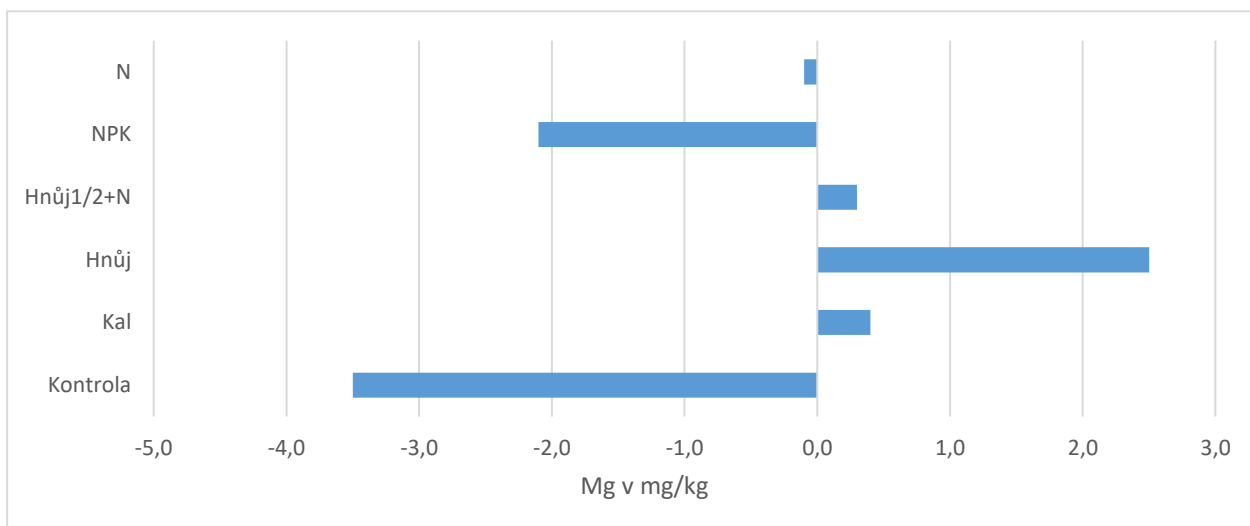
Graf č. 10 znázorňuje jednoduchou roční bilanci Mg mezi rokem 1996 a průměry u jednotlivých variant z období 1997-2017. U variant s obsahem hořčíku došlo k dostatečnému doplnění Mg a dosáhly kladné bilance kromě varianty hnůj + N. Varianta kal měla hodnotu bilance +13,4 kg/ha, varianta hnůj +0,74 kg/ha. Varianta hnůj + N dosáhla negativní bilance -5,89 kg/ha. U variant bez obsahu hořčíku došlo k jeho nejvyššímu odběru a vykázaly tak nejnižší negativní bilanci -11,2 kg/ha (varianta NPK) a -11,1 kg/ha (varianta N).



Graf č. 10: Bilance hořčíku (přísun - odběr) (Praha-Suchdol)

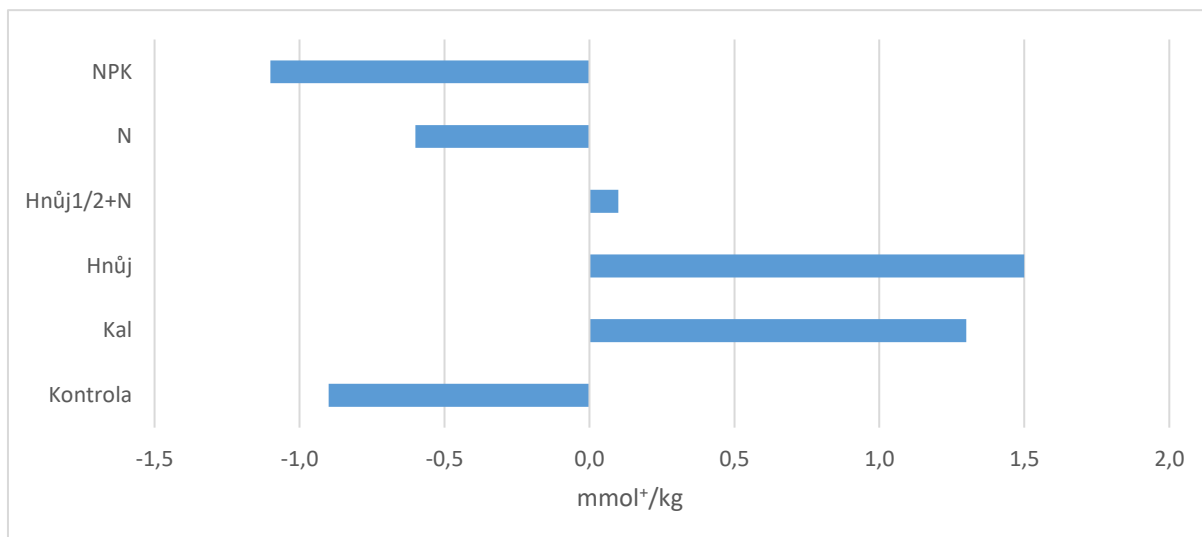
### 6.2.3 Analýzy půdy

V grafu č. 11 je uveden rozdíl v obsahu hořčíku v půdě mezi rokem 2017 a 1996, kde bylo výsledků dosaženo pomocí extrakce demineralizovanou vodou. NPK mělo negativní bilanci -2,1 mg/kg, varianta N -0,1 mg/kg. Kladnou bilanci měla varianta hnůj + N s hodnotou +0,3 mg/kg, podobně varianta kal s hodnotou +0,4 mg/kg a varianta hnůj s bilancí +2,5 mg/kg. Největší ztráta byla zaznamenána u kontroly, a to -3,5 mg/kg.



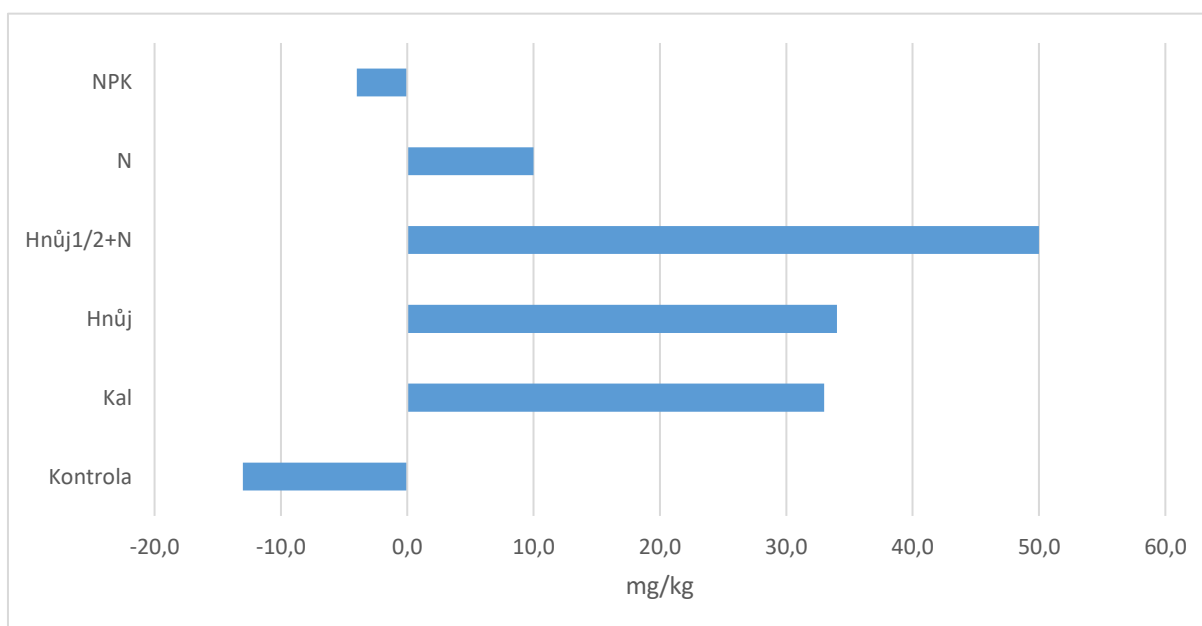
Graf č. 11: Bilance rozdílu obsahu hořčíku v půdě v roce 2017-1996 ve vodném výluhu (Praha-Suchdol)

U grafu č. 12 byla využita metoda stanovení hořčíku octanem amonným. Je ukázána změna obsahu hořčíku před začátkem pokusu a v roce 2017. Varianty s hořčíkem dosahovaly kladné bilance. Ve srovnání s rokem 1996 bylo v půdě v roce 2017 o 1,5 mmol<sub>+</sub>/kg více hořčíku při hnojení variantou hnůj se zastoupením v KVK 3,7 %, varianta kal dosáhla hodnoty +1,3 mmol<sub>+</sub>/kg a zastoupení 3,72 % v KVK, varianta hnůj + N měla hraniční kladnou bilanci +0,1 mmol<sub>+</sub>/kg se zastoupením 3,28 % v KVK. U variant bez hořčíku se projevil pokles obsahu Mg za dobu sledování. Varianta N měla bilanci -0,6 mmol<sub>+</sub>/kg a zastoupení 3 % v KVK, největší ztráta hořčíku byla zaznamenána u varianty NPK a to -1,1 mmol<sub>+</sub>/kg s konečným zastoupením 2,9 % v KVK. Kontrola také vykazovala negativní bilanci -0,9 mmol<sub>+</sub>/kg s nejvyšším zastoupením hořčíku v KVK 3,73 %.



Graf č. 12: Změna obsahu hořčíku (mmol<sup>+</sup>/kg) extrahovaná octanem amonným mezi začátkem a koncem pokusu (Praha-Suchdol)

V grafu č. 13 je uvedena bilance hořčíku v mg/kg mezi rokem 1996 a 2017 vypočtená z hodnot získaných pomocí metody Mehlich 3. Nejvyšší bilance dosáhla varianta hnůj + N, a to +50 mg/kg, následuje varianta hnůj s výsledkem +34 mg/kg, podobně i varianta kal s hodnotou +33 mg/kg. Nejnižší pozitivní bilanci vykazovala varianta N s hodnotou +10 mg/kg. Varianta NPK pak měla o 4 mg/kg méně hořčíku než na počátku pokusu, kontrola měla nejnižší bilanci -13 mg/kg.



Graf č. 13: Bilance množství hořčíku (mg/kg) od roku 1996 do 2017 získaná pomocí metody Mehlich 3 (Suchdol)

## 6.3 Srovnání stanovišť

### 6.3.1 Výnosy pšenice

Výsledky výnosů zrna pšenice ozimé, na stanovišti v Humpolci ukazují na průměrné zvýšení výnosů u hnojených variant o 88,2 %. Oproti tomu na stanovišti Praha-Suchdol se jednalo o 30,6% zvýšení, což je rozdíl 57,6% zvýšení ve prospěch stanoviště v Humpolci. Oba grafy č. 1 a 8 mají tedy stoupající trend, i když spojnice grafu č. 1 z pokusu v Humpolci je strmější. Nejvyšší procentuální rozdíl nastal u varianty NPK a varianty hnůj + N. Na stanovišti v Humpolci byl nárůst výnosu vyšší o 79,6 % (varianta NPK) a o 71,5 % (varianta N), než na stanovišti Praha-Suchdol.

Na stanovišti Humpolec došlo ke snížení výnosu slámy u všech hnojených variant i kontroly. Naopak na stanovišti Praha-Suchdol došlo pouze k menšímu poklesu u variant hnojených hořčíkem a kontroly, u varianty NPK a N došlo naopak k mírnému nárůstu.

### 6.3.2 Bilance hořčíku

Z grafů č. 3 a 10 je jasné, že oproti Humpolci docházelo na půdách v Suchdole k průměrně nižšímu odběru, ale spojnice trendů a poměr odběru u slámy a zrna je v obou případech velmi podobný. Bilance hořčíku ve smyslu přísun – odběr byla v obou stanovištích analogická.

### 6.3.3 Analýzy půd

Při užití metody extrakce demineralizovanou vodou došlo k rozdílným výsledkům bilance Mg. Na stanovišti Humpolec dosáhla kladných hodnot pouze varianta kal. Oproti tomu na stanovišti Suchdol měla nejvyšší hodnotu varianta hnůj, ostatní varianty s hořčíkem vykazovaly rovněž kladné hodnoty. Na stanovišti Humpolec došlo k nejvyšším ztrátám hořčíku u varianty N. Na stanovišti Praha-Suchdol u kontroly, kterou následovala varianta NPK.

U obsahů hořčíku získaných octanem amonným byly grafy podobné, na konci pokusu se zvýšila koncentrace u hnojiv obsahujících hořčík, u variant NPK a N došlo k jejich poklesu na obou stanovištích. V kontextu hořčíku v KVK se na stanovišti v Humpolci u variant s hořčíkem zvýšilo jeho zastoupení o průměrně 1,2 %, naopak u variant bez hořčíku kleslo o 1,3 %. V Suchdole došlo ke zvýšení zastoupení Mg v KVK u varianty kal o 0,15 % a hnůj o 0,2 %, k poklesu docházelo u hnojených variant bez hořčíku (průměrně o 0,53 %). Na rozdíl

od stanoviště Humpolec ale došlo k poklesu i u varianty hnůj + N (o 0,19 %). Průměrné hodnoty zastoupení hořčíku v KVK v Humpolci dosahují 8,85 % včetně kontroly oproti 3,39 % v Suchdole. Vhodné procentuální zastoupením hořčíku v KVK je 10 %. Při méně než 10 % je doporučeno Mg doplnit hnojením.

Dle výsledků dosažených metodou Mehlich 3 na stanovišti v Humpolci vykazovala nejvyšší bilanci varianta hnůj. Při hnojení variantou kal nedošlo ke zvýšení, ale udržení stejného obsahu Mg jako před započítáním pokusu. Varianty nehnojené hořčíkem měly znovu negativní bilanci. Na stanovišti Praha-Suchdol došlo, podobně jako v Humpolci, k pozitivní bilanci u hnojiv s hořčíkem, nejvyšší však byla u varianty hnůj + N. Varianta kal dosáhla namísto neutrální bilance pozitivní bilanci +33 mg/kg. Oproti Humpolci také došlo ke zvýšení obsahu hořčíku u varianty N.

Obecně tak lze konstatovat, že na méně úrodném stanovišti (Humpolec) má hnojení vyšší efekt ve srovnání s úrodnějším stanovištěm Praha-Suchdol. Toto zjištění však zároveň podporuje skutečnost, že při nevyrovnané výživě (nehnojení Mg) dochází k výraznějšímu prohloubení deficitu tohoto prvku v půdě.



## 7 Diskuze

Hlavní vliv na výnos zrna mělo použití hnojiv na obou pozemcích. V obou případech došlo ke zvýšení výnosu zrna oproti kontrole. Na rozdíl od půdy s horší kvalitou v Humpolci však na černozemi v Suchdole nedocházelo k tak rapidnímu nárůstu výnosu (90% nárůst oproti 30 %).

Na stanici Humpolec došlo ke zvýšení u všech hnojených variant (zhruba o 90 %), jediný hnůj měl nižší výnosy (o 67,7 %). Hnůj zlepšuje půdní vlastnosti hlavně na písčitéch půdách, ale k vysokému výnosu dochází hlavně při jeho kombinaci s minerálním dusíkem. U varianty hnůj + N, která je kombinací hnoje a minerálního dusíku byl výnos o 93,7 % vyšší. Potvrdil se tím výzkum Zeidan et Kramany (2001), kde bylo sice užitím hnoje na písčitéch půdách dosaženo nárůstu výnosů, avšak kombinace hnoje a minerálního dusíku vykazovala lepších výsledků. Nejvyššího přírůstu výnosu o 96,2 % dosáhla varianta N (minerální dusík). Stejný fakt potvrzuje i výzkum Hlisnikovský et al. (2019), kde byl zkoumán vliv N, K, Mg, S na výnos a ukázalo se, že N je limitujícím faktorem, což dokládá i výzkum Hřivna (2012). Naopak na neutrální černozemi v Suchdole došlo k největšímu procentuálnímu nárůstu u hnoje. Lze tak usoudit, že užívání organických hnojiv ve formě kvalitního hnoje dokáže udržovat úrodnost půdy a zvyšovat výnosy plodiny (Vaněk et al. 2016). Potvrzuje to i výzkum Gong et al. (2018), kde došlo na kvalitní černozemi k vyšším výnosům a zlepšení půdní úrodnosti u hnoje oproti NPK.

Vliv Mg na výnos zrna se na půdách s jeho nedostatkem nepodařilo prokázat, i když ve výzkumu Wang et al. (2020) se hovoří o průměrném 8,2% nárůstu výnosu u obilovin celosvětově. Pokud se podíváme na pozemek v Humpolci, většina hnojených variant zde měla nárůst výnosu o více než 90 % kromě hnoje. Varianta kal a hnůj + N s obsahem hořčíku sice měla lepší výnos než NPK, což by podpořilo toto tvrzení, avšak nejvyšší výnos měl i tak minerální dusík (96 %), takže nelze jednoznačně vyvodit vliv Mg na výnos.

Důležitým tématem jsou také výkyvy křivek v grafech u výnosu zrna a slámy pšenice na obou stanovištích. Tyto výkyvy jsou podobné a vyskytují se vždy ve stejné sezóně, a to u všech variant včetně kontroly. Je to pravděpodobně dáno suchem nebo vyšším množstvím srážek v daných sezónách, které dle Zampieri et al. (2017) mohou mít klíčový vliv na výnos pšenice. To jen dokládá význam dlouhodobého sledování.

Dalšími jsou výsledky výnosu slámy u pšenice ozimé. Na pozemku v Humpolci měly značnou klesající tendenci, na pozemku v Suchdole stagnovaly. To se dá částečně vysvětlit fyziologií pšenice ozimé, která při větším přísunu živin dá přednost jejich ukládání do zrna. Tento efekt se pak násobí na půdách s horšími podmínkami, kde rostlina dá přednost správnému vývinu zrna před nárůstem biomasy. Nejvyšší nárůst výnosu nastal u NPK (19,3 %), zřejmě kvůli zvýšenému přísunu draslíku, který má dle Černý et al (2014) velký vliv v době intenzivního růstu na tvorbu biomasy při odnožování a sloupkování a je ukládán hlavně do slámy. Celková klesající tendence se dá rovněž vysvětlit změnami odrůd během pokusu. Modernější odrůdy tvoří většinou méně slámy (Bean et al. 2016; Bruening 2013).

Vysoký odběr hořčíku zrnem a slámou lze u grafu č. 3 a 10 sledovat hlavně u variant s nejvyšším výnosem. Při vyšším výnosu rostlina spotřebuje více živin, proto je pravděpodobný i větší odběr nejen hořčíku ale i ostatních živin. I když u slámy ke zvýšení výnosu nedošlo, průměrný poměr odběru 2,5 t/ha u slámy ku 8 t/ha u zrna ukazuje, že rostlina spíše využívá své prostředky na růst zrna. Na druhou stranu na obou stanovištích byly přes rozdílné parametry půdy oba odběry ve velmi podobných hladinách, což je vidět při porovnání spojnice trendu. To je pravděpodobně dáno obecnou náročností pšenice ozimé na živiny (Hřivna 2012).

Bilance hořčíku v půdě pak dopadla velmi dobře u hnojiv, kde byl doplňován hořčík. V největší míře byl doplňován u varianty kal. Tato skutečnost poukazuje na to, že pokud je v půdě menší obsah hořčíku, hnojiva bez Mg mohou půdu postupem času výrazně ochuzovat. To potvrdil výzkum Hlisnikovský et al. (2019), který poukazuje na fakt, že i když doplňující živiny nemusí mít přímý vliv na výnos, mohou do budoucna zlepšit kvalitativní parametry půdy. Toto se potvrdilo i v našich analýzách. Bilance Mg ve vodném výluhu ukazuje, že při použití hnojiv bez hořčíku se opravdu Mg postupně z půdy ztrácel. Ze všech půdních analýz v tomto výzkumu vycházela s nejnižší bilancí hořčíku převážně varianta NPK (v jednom případě bylo zhoršení oproti počátku pokusu nejvyšší u varianty N). Potvrdilo se tak i tvrzení Guo et al (2016), že nadměrné užívání NPK (zejména pak N) po celém světě může mít za následek celosvětový nedostatek hořčíku v půdách.

Výsledky extrakce octanem amonným ukázaly, že podíl hořčíku z KVK se zvýšil při hnojení variantami s hořčíkem, čímž se přímo potvrzují výsledky ostatních analýz půdy. Celkově nižší zastoupení hořčíku v KVK na stanovišti Praha-Suchdol i přes jeho vyšší obsah v půdě a vyšší hodnotu KVK lze vysvětlit vyšším obsahem Ca a K (viz tabulka 1). Proto hodnoty zastoupení hořčíku v KVK v Humpolci dosahují průměrně 8,85 % včetně kontroly oproti 3,39 %

v Suchdole. Náš výzkum tak potvrdil důležitost poměrů Mg:Ca a Mg:K v půdě na dostupnost Mg rostlinám, která koreluje se zdroji Vaněk et al. (2016), Gransee et Führs (2013) a Diem et Godbold (1993).

## 8 Závěr

Cílem této práce bylo seznámit čtenáře s problematikou hořčíku ve výživě rostlin a s tím i související výživě člověka a vypočítat jednoduché bilance hořčíku v dlouhodobých přesných polních pokusech s osevním postupem brambory, pšenice ozimá, ječmen jarní při různých systémech hnojení. Cílovou plodinou byla pšenice ozimá.

Dlouhodobý pokus probíhal na stanicích v Humpolci a v Praze-Suchdole v České republice. Výzkum se zabýval výběrem různých organických i minerálních hnojiv s obsahem hořčíku i bez Mg a jejich vlivem na výnosy pšenice ozimé v letech 1996-2017, včetně odběrů Mg touto plodinou. Pro analytické stanovení Mg v půdě byly využity následující metody: 1) extrakce ve vodném výluhu, 2) extrakce octanem amonným a 3) extrakce pomocí Mehlich 3. Obsahy Mg v rostlinném materiálu byly stanoveny na základě výnosu a přepočtových koeficientů.

Výnos zrna na stanovišti Humpolec měl stoupající tendenci. Oproti založení pokusu došlo ke zvýšení u všech hnojených variant průměrně o 88,2 % od počátku pokusu. Výnos slámy klesl v průběhu let průměrně o 50 % u všech hnojených variant. Odběr Mg pšenicí byl nejvyšší u varianty NPK, nejnižší u kontroly. V roční bilanci přísun Mg - odběr dopadla pozitivně varianta kal (+12,7 mg/kg) a varianta hnůj (+0,99 mg/kg). Negativní bilanci měla varianta NPK a N.

Bilance obsahu hořčíku v půdě demineralizovanou vodou dopadla kladně pouze u varianty kal. Koncentrace získaná pomocí octanu amonného měla pozitivní bilanci u variant s hořčíkem (průměrně +0,9 mmol+/kg), stejně tak u těchto variant došlo ke zvýšení zastoupení Mg v KVK (průměrně o 1,2 %). U bilance obsahu získané pomocí metody Mehlich 3 došlo k pozitivním hodnotám u variant hnůj a hnůj + N, kal byl spíše neutrální (+1 mg/kg).

Výnos zrna na stanovišti Suchdol měl rovněž stoupající tendenci, došlo průměrně k 30,6% navýšení od počátku pokusu. Výnos slámy se v případě varianty NPK a N zvýšil průměrně o 10,3 %, u zbylých variant došlo k poklesu. Odběr Mg pšenicí byl v průměru přibližně o 0,8 kg nižší než v Humpolci, jinak byl ale srovnatelně nejvyšší u NPK a nejnižší u kontroly. V bilanci přísun Mg - odběr dopadla pozitivně varianta kal a hnůj, podobně jako v Humpolci.

Bilance obsahu Mg ve vodném výluhu byla nejvyšší u varianty hnůj, u varianty hnůj + N byla naopak negativní. Bilance obsahu Mg v octanu amonném byla pozitivní u hnojiv

s hořčíkem, nejvyšší bilanci měl hnůj (1,5 mmol<sub>+</sub>/kg), zastoupení v KVK zvýšily varianty hnojené hořčíkem kromě varianty hnůj + N. Bilance obsahu Mg dle metody Mehlich 3 byla kladná u variant s hořčíkem, nejvyšší byla u varianty hnůj + N (50 mg/kg).

Z výsledků lze konstatovat, že na půdě s horšími vlastnostmi vykazovaly průkaznější efekt (na výnos i zlepšení zastoupení hořčíku v KVK) zejména varianty kal a hnůj + N, navíc zde organická hnojiva působí zlepšením půdních vlastností. Na úrodnějších stanovištích neměly tyto varianty hnojení tak výrazný efekt.

Hlavním závěrem této práce je zjištění, že hnojení minerálními hnojivy (NPK) bylo sice dosaženo nejvyšších výnosů, avšak současně i výrazně záporné bilance Mg v půdě. Proto se jako výhodnější jeví udržitelnější systém kombinace organických hnojiv s obsahem Mg (k udržení bilance živin) s minerálními hnojivy (k dosažení výnosu).

## 9 Seznam literatury

- Bruening B, Lee Ch. 2013. Cereal Straw Production. Kentucky Cooperative Extension, Kentucky. Available from <https://www.uky.edu/ccd/sites/www.uky.edu.ccd/files/straw.pdf> (accessed July 2020)
- Cakmak I, Kirkby EA. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia Plantarum* **133**:692-704.  
DOI: 10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x
- Cakmak I. 2013. Magnesium in crop production, food quality and human health. *Plant and Soil* **368**:1-4. DOI: 10.1007/s11104-013-1781-2
- Carminati A, Vetterlein D. 2013. Plasticity of rhizosphere hydraulic properties as a key for efficient utilization of scarce resources. *Annals of Botany* **112**:277-290.  
DOI: 10.1093/aob/mcs262
- Černý J, Shejbalová Š, Kovařík J, Kulhánek M. 2014. Předsetřové a podzimní hnojení pšenice ozimé. *agromanual.cz*, Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime> (accessed July 2020)
- Čížková S. 2009. Hořčík a jeho význam ve výživě [MSc. Thesis]. Masarykova univerzita, Brno
- Diem B, Godbold DL. 1993. Potassium, calcium and magnesium antagonism in clones of *Populus trichocarpa*. *Plant and Soil* **155/156**:411-414. DOI: 10.1007/BF00025070
- El-Nour E-ZAAA, Shaaban M. 2012. Response of Wheat Plants to Magnesium Sulphate Fertilization. *American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology* **2**:56-63.  
DOI: 10.3923/ajpnft.2012.56.63
- El-Metwelly AE, Abdalla, FE, El-Saady AM, Safina S, Ei-sawy SS. 2010. Response of Wheat to Magnesium and Copper Foliar Feeding under Sandy Soil Condition. *Journal of American Science* **6**:818-823.
- EXCEL. Microsoft Office Excel 2007. Microsoft office Enterprise 2007. USA. release SP2
- Eichert T, Kurtz A, Steiner U, Goldbach HE. 2008. Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar uptake pathway for aqueous solutes and water-suspended nanoparticles. *Physiologia Plantarum* **134**:151-160.  
DOI: 10.1111/j.1399-3054.2008.01135.x

- FAO. 2002. Chapter 14. Magnesium. FAO/WHO, Rome. Available from <http://www.fao.org/3/Y2809E/y2809e0k.htm> (accessed July 2020)
- Gaj R, Górski D. 2013. Effects of different phosphorus and potassium fertilization on contents and uptake of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg) in winter wheat. *Journal of Elementology* **18**:55-67. DOI: 10.5513/JCEA01/15.4.1528
- Gerendás J, Führs H. 2013. The significance of magnesium for crop quality. *Plant and Soil* **368**:101-128. DOI: 10.1007/s11104-012-1555-2
- Gong H, Fu H, Xu M, Gao H, Zhu P. 2018. Substitution rate of organic fertilizer under long-term fertilization in black soils. *Chinese journal of agriculture* **26**:1398-1406  
DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.180146
- Granssee A, Führs H. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil* **368**:5-21. DOI: 10.1007/s11104-012-1567-y
- Guo W, Nazim H, Liang Z, Yang D. 2016. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. *Crop Journal*, **4**:83-91. DOI: 10.1016/j.cj.2015.11.003
- Haby VA, Russelle MP, Skogley EO. 1990. Testing soils for potassium calcium and magnesium. Pages 181-227 in Westerman RL, editor. *Soil Testing and Plant Analysis* (3rd ed.). SSSA Book Series. No. 3. Soil Science Society of America, Wisconsin, Madison  
DOI: 10.2136/sssabookser3.3ed.c8
- Haraminac E. 2012. Magnesium is essential to good health. Michigan State University, Michigan. Available from [https://www.canr.msu.edu/news/magnesium\\_is\\_essential\\_to\\_good\\_health](https://www.canr.msu.edu/news/magnesium_is_essential_to_good_health) (accessed July 2020)
- Hlisnikovský L, Čermák P, Kunzová E, Barlóg P. 2019. The effect of application of potassium, magnesium and sulphur on wheat and barley grain yield and protein content. *Agronomy Research* **17**:1905-1917. DOI: 10.15159/ar.19.182
- Hřivna L. 2012. Výživa a hnojení porostů pšenice ozimé a kvalita produkce. Šlechtitelské listy, Brno. Available from [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 July 2020)

- Hussain A, Larsson H, Kuktaite R, Johansson E. Mineral Composition of Organically Grown Wheat Genotypes: Contribution to Daily Minerals Intake. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **7**:3442-3456 DOI: 10.3390/ijerph7093442
- Hýblerová K. 2005. Hnojivé účinky čistírenských kalů pro topoly. České sdružení pro biomasu Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/hnojive-ucinky-cistirenskych-kalu-pro-topoly> (accessed July 2020)
- Chwil S. 2014. Effects of foliar feeding under different soil fertilization conditions on the yield structure and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agrobotanica* **67**:135-144. DOI: 10.5586/aa.2014.059
- Klír J, Kunzová E, Čermák P. 2008. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně. Available from <https://www.vurv.cz/sites/File/Publications/ISBN978-80-87011-61-4.pdf> (accessed July 2020)
- Kobayashi H, Masaoka Y, Sato S. 2005. Effects of excess magnesium on the growth and mineral content of rice and *Echinochloa*. *Plant Production Science*, **8**:38-43. DOI: 10.1626/pps.8.38
- 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. DOI: 10.1080/00103627909366991
- Mayland HF, Wilkinson SR. 1989. Soil factors affecting magnesium availability in plant–animal systems: a review. *Journal of Animal Science* **67**:3437-3444. DOI: 10.2527/jas1989.67123437x
- Mengutay M, Ceylan Y, Kutman UB, Cakmak I. 2013. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. *Plant and Soil* **368**:57-72. DOI: 10.1007/s11104-013-1761-6
- Ornstová M. 2008. Makroelementy ve výživě [BSc. Thesis]. Masarykova univerzita, Brno
- Parnes. 2013. Chapter 15. Magnesium. Northeast Organic Farming Association. Available from <https://www.nofa.org/soil/html/magnesium.php> (accessed July 2020)
- Pavlů L. 2018. Základy Pedologie a Ochrany Půdy. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.



- Richter R. 2004. Význam makroelementů: HOŘČÍK. Ústav agrochemie a výživy rostlin, Brno.  
Available from  
[http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/biogenni\\_prvky/a\\_index\\_biogen.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/a_index_biogen.htm) (accessed July 2020)
- Hlušek J, Richter R, Fryščíková E, Ryant P. 1994. Výživa a hnojení rostlin. VŠZ, Brno
- Senbayram M, Gransee A, Wahle V, Thiel, H. 2015. Role of magnesium fertilisers in agriculture: Plant-soil continuum. *Crop and Pasture Science* **66**:1219-1229.
- Šebánek J, Sladký Z, Procházka S. 1983. Experimentální morfologie rostlin. Academia, Praha
- Škarpa P, Ryant P, Antošovský J. 2016. Základní hnojení pšenice ozimé. [agromanual.cz](http://agromanual.cz), Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime> (accessed July 2020)
- Škarpa P, Čermák P, Lošák T, Hlušek J, Richter R. 2010. Hnojení polních plodin draslíkem a hořčíkem. K+S Gruppe. Available from [http://www.ks-cz.com/cs-data/documents/broschures/cz-vegetables-field-A4-1010.pdf?fbclid=IwAR3dL\\_I3MJn5EYwYN0dRSKdxVF27ZGAXQrIxVIQ\\_HjKT4TVz-pzJ6syWuoM](http://www.ks-cz.com/cs-data/documents/broschures/cz-vegetables-field-A4-1010.pdf?fbclid=IwAR3dL_I3MJn5EYwYN0dRSKdxVF27ZGAXQrIxVIQ_HjKT4TVz-pzJ6syWuoM) (accessed July 2020)
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press s.r.o., Praha
- Wang Z, Hassan MU, Nadeem F, Wu L, Zhang F, Li X. 2020. Magnesium Fertilization Improves Crop Yield in Most Production Systems: A Meta-Analysis. *Frontiers in Plant Science* **10**:1-10. DOI: 10.3389/fpls.2019.01727
- Zampieri M, Ceglar A, Dentener F, Toreti A. 2017. Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales. *Environmental Research Letters* **12**:064008. DOI: 10.1088/1748-9326/aa723b
- Zeidan MS, El Kramany. 2005. Effect of organic manure and slow-release n-fertilizers on the productivity of wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Acta Agronomica Hungarica*, **49**:379-385  
DOI: 10.1556/AAgr.49.2001.4.9