

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Změny obsahu přístupného hořčíku v půdě po dlouhodobé aplikaci
čistírenských kalů**
Diplomová práce

Autor práce: Bc. Blanka Stará
Vedoucí práce: Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.

© 2014 ČZU v Praze

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Změny obsahu přístupného hořčíku v půdě po dlouhodobé aplikaci čistírenských kalů“ 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.

V Praze dne:

Podpis autora práce:

Poděkování:

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Stejně tak PaedDr. Miloši Bělohoubkovi CSc. za cenné rady.

Změny obsahu přístupného hořčíku v půdě po dlouhodobé aplikaci čistírenských kalů

Changes of bioavailable magnesium contents in soils after long-term sewage sludge application

SOUHRN

Hořčík je z hlediska výživy rostlin důležitým prvkem, který se uplatňuje při mnoha fyziologických dějích, které v rostlinách probíhají. Pro správný růst a vývoj rostlin je vhodné udržovat pro rostliny dostačující obsah tohoto prvku v půdě. Hořčík je možné do půdy dodávat pomocí různých hnojiv, mezi které řadíme i čistírenské kaly.

Téma diplomová práce je zaměřené na změnu obsahu přístupného hořčíku v půdě po dlouhodobé aplikaci čistírenských kalů. Dlouhodobý pokus byl založen v roce 1996 na pokusných stanicích v Humpolci, Hněvčevsi a v Praze – Suchdole (dále jen Suchdol). Každá z oblastí se vyznačuje odlišnými půdně-klimatickými podmínkami. Na pozemku byly pěstovány následující plodiny: brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen v trojhonném osevním sledu. Hnojení organickými hnojivy bylo vždy provedeno pouze k první plodině osevního sledu bramborám. Hnojení je založeno na jednotné dávce dusíku a to tak, aby celková dávka dusíku za tři roky činila 330 kg N/ha. Archivní vzorky půdy (rok 1996, 1999, 2002, 2005, 2008 a 2011) byly extrahovány demineralizovanou vodou a metodou Mehlich 3 na obsah přístupného hořčíku.

Na obsah hořčíku v půdě měla pozitivní vliv aplikace hnoje a čistírenských kalů, a to i přesto, že v čistírenských kalech bylo dodáno celkově vyšší množství hořčíku. Varianta hnojená hnojem dosahovala vyšších obsahů hořčíku v půdě, než varianta hnojená kalem pravděpodobně z důvodu, že hořčík dodaný v kalech byl v obtížně extrahovatelné formě. Jak bylo předpokládáno, během celého pokusu se obsah hořčíku výrazně neměnil u varianty hnojené minerálními hnojivy a nehnojené (kontrolní) varianty. Potvrdila se dlouhodobá účinnost aplikace čistírenských kalů a hnoje. U těchto variant se obsah hořčíku v půdě v průběhu osevního postupu většinou výrazně neměnil nebo i zvyšoval.

Klíčová slova: hořčík, dlouhodobé pokusy, hnojení, čistírenské kaly

SUMMARY

Magnesium is an essential macronutrient, which is applied in many physiological processes that take place in plants. For proper growth and development of plants, it is desirable to maintain the plant sufficient content of this element in the soil. Magnesium can be applied into the soil using different fertilizers, among which we rank and sewage sludge.

Theme of diploma thesis is aimed on the evaluating of soil bioavailable magnesium content changes after long-term application of sewage sludge. Long-term field trial was established at experimental stations in Humpolec, Hněvčeves and Suchdol. Each site has a different soil and climatic conditions. Following crops were grown in three-crop rotation: potatoes, winter wheat and spring barley. Organic fertilizers were applied only to the first crop in crop rotation (potatoes). Fertilization is based on the same total dose of nitrogen for three years (330 kg N/ha). Archive soil samples (years 1996, 1999, 2002, 2005, 2008, 2011) were extracted with demineralised water and with the Mehlich 3 method on the content of bioavailable magnesium.

Fertilizing with farmyard manure had more positiv effect compared to sewage sluge application, despite of higher total magnesium content in sewage. Variant fertilized with farmyard manure reached the higher bioavailable magnesium content in soil, compared to the sewage sludge treatment probably due to the higher content of non-available magnesium in sewage sludge. As expected, the content of magnesium did not significantly changed on the unfertilized treatments during to the experiment. The long-term effectiveness of the application of sewage sludge and manure was confirmed. The content of Mg in the soil during crop rotation usually did not changed or even increased in these treatments.

Keywords: bioavailable magnesium, long-term experiments, fertilization, sewage sludge

1 Úvod.....	- 1 -
2 Cíle práce	- 2 -
3 Hypotéza	- 3 -
4 Literární rešerše.....	- 4 -
4.1 Fyziologie výživy rostlin.....	- 4 -
4.1.1 Příjem živin rostlinami	- 4 -
4.1.2 Faktory ovlivňující příjem živin.....	- 4 -
4.2 Hořčík.....	- 5 -
4.2.1 Hořčík v půdě.....	- 5 -
4.1.2 Hořčík v rostlině.....	- 6 -
4.1.3 Význam a specifické působení hořčíku v rostlinách	- 7 -
4.1.4 Nedostatek hořčíku.....	- 8 -
4.1.5 Odstranění nedostatku hořčíku.....	- 8 -
4.1.6 Nadbytek hořčíku	- 8 -
4.2 Hnojení.....	- 9 -
4.2.1 Organická hnojiva	- 9 -
4.2.1.1 Chlévský hnůj.....	- 10 -
4.2.1.2 Hnojůvka	- 11 -
4.2.1.3 Kejda	- 11 -
4.2.1.4 Močůvka.....	- 11 -
4.2.2 Průmyslová hnojiva.....	- 12 -
4.2.2.1 Hnojiva hořečnatá	- 12 -
4.2.4 Čistírenské kaly a hnojení těmito produkty.....	- 13 -
4.2.4.1 Tekuté a odvodněné kaly	- 17 -
4.2.4.2 Hnojení čistírenskými kaly	- 19 -
5 Metodika	- 20 -
Analytická stanovení.....	- 22 -
6 Výsledky	- 23 -
6.1 Grafické znázornění výsledků.....	- 23 -
6.1.1 Změny obsahu hořčíku na nehnojených variantách dle stanovišť.....	- 23 -
6.2.1.1 Stanoviště Humpolec	- 23 -
6.2.1.2 Stanoviště Hněvčeves.....	- 25 -
6.2.1.3 Stanoviště Suchdol	- 27 -
6.1.2 Změny obsahu vodorozpuštěného a mobilního hořčíku podle variant	- 29 -
6.1.2.1 Stanoviště Humpolec	- 29 -
6.1.2.2 Stanoviště Hněvčeves.....	- 31 -

6.1.2.3 Stanoviště Suchdol	- 33 -
6.1.3 Změny obsahu vodorozpustného a mobilního hořčíku dle plodin	- 35 -
6.1.3.1 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 1999.....	- 35 -
6.1.3.2 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 2002.....	- 37 -
6.1.3.3 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 2005.....	- 39 -
6.1.3.4 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 2008.....	- 40 -
6.1.3.5 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 2011.....	- 41 -
7 Diskuze.....	- 44 -
8 Závěr	- 47 -

1 Úvod

Hořčík je důležitý prvek, který se uplatňuje nejen ve výživě rostlin. Optimální množství hořčíku je důležité pro správný růst a vývoj rostlin, ale uplatňuje se i ve výživě osob. Pokud se hořčík nachází v podlimitním množství, začínají se projevovat příznaky nedostatku této živiny. Z tohoto důvodu je potřeba optimalizovat hnojení a výživu rostlin tak, aby nedocházelo k jeho nedostatku.

Kvalifikovaným hnojením, jak organickými, tak průmyslovými hnojivy je následně zajištěna kvalitní a zdravá zemědělská produkce a výroba. Proto je hnojení považováno za jeden z nejvýznamnějších a nejúčinnějších zásahů na zemědělské půdě.

V České republice vzniká potřeba hnojit následujícími prvky, mezi které patří dusík, fosfor, draslík, vápník a hořčík. Pouze na některých lokalitách je potřebné hnojit např. sodíkem, sírou či zinkem, nebo molybdenem a jen ve speciálních případech se zjišťuje vliv dalších prvků.

Hnojením organickými hnojivy se do půdy dostává mnoho organických látek, které jsou součástí jejich koloběhu. Při hnojení těmito hnojivy, vzniká možnost do půdy vracet živiny a tím zajistit jejich návratnost. Celý koloběh tedy začíná i končí v půdě. Jako nejrozšířenější a nejpoužívanější hnojivo je označován chlévský hnůj. Pokud je chlévský hnůj správně vyzrálý a v dobré kvalitě, je tmavé barvy a velmi snadno se rýpe. Pokud zemědělský podnik vyprodukuje hnůj špatné kvality, je neefektivní a neekonomické zvyšovat dávku. Jako další organická hnojiva se využívá hnojůvka, močůvka, kejda, zelené hnojení, sláma a komposty.

Pokud se chceme zabývat intenzivní rostlinnou produkcí, měla by být průmyslová hnojiva doplňována organickými hnojivy. Používání průmyslových hnojiv je vázáno především na správné skladování, dávkování a používání, a to tak abychom neohrozili životní prostředí.

Jako hnojivo se používají i čistírenské kaly. Jejich používání a aplikaci na zemědělskou půdu upravuje daný zákon a vyhláška. Čistírenské kaly obsahují mnoho mikro i makro prvků, které jsou potřebné pro rostliny. Hnojení je zajištěno tekutými, či odvodněnými kaly.

2 Cíle práce

- Posouzení dlouhodobého vlivu hnojení čistírenskými kaly na změny obsahu přístupného hořčíku v půdě
- Posouzení dlouhodobého vlivu hnojení minerálními hnojivy na změny obsahu přístupného hořčíku v půdě
- Posouzení dlouhodobého vlivu hnojení hnojem na změny obsahu přístupného hořčíku v půdě
- Předpokládáme, že hnojení hořčíkem se projeví na zvýšení obsahů přístupných sledovaných forem hořčíku v půdě, a to v závislosti na obsahu hořčíku v dodávaných hnojivech

3 Hypotéza

- Předpokládáme, že hnojení hořčíkem se projeví na zvýšení obsahů přístupných sledovaných forem hořčíku v půdě, a to v závislosti na obsahu hořčíku v dodávaných hnojivech

4 Literární rešerše

4.1 Fyziologie výživy rostlin

Jak uvádí Straka (1963), rostliny potřebují biogenní prvky, které vyžadují jak ke svému vývoji, tak k růstu. Jednotlivé rostliny potřebují různé množství biogenních prvků. Mezi tyto prvky řadíme uhlík, kyslík, vodík, dusík, síru, fosfor, draslík, vápník a hořčík. V rostlinné výživě se uplatňují i další prvky, které nejsou pro rostliny nezbytné.

4.1.1 Příjem živin rostlinami

Rostlina získává živiny ze svého prostředí. Z ovzduší přijímají rostliny především uhlík a kyslík ve formě oxidu uhličitého, z půdy v podobě vody. Ostatní živiny absorbují rostliny především z půdního prostředí (Baier et Baierová, 1985).

Kořeny lze označit za hlavní orgán, kterými rostlina živiny přijímá. Nejintenzivněji přijímají rostliny vodu a živiny přes kořenové vlásky. Příjem minerálních živin probíhá v několika fázích. Jedná se o tři fáze. Pasivní příjem bývá často označován za první stádium. Při pasivním příjmu se ionty dostávají k plazmatickému povrchu buněk aktivních kořenů. Tyto ionty se zde kumulují a jsou drženy elektrostatickými silami. V následné fázi dochází k aktivní absorpci a akumulaci živin. Živiny se dostávají dovnitř buněk a tam se hromadí. V posledním stádiu dochází k transportu živin z kořenů do stonku a listů (Straka, 1963).

Rostliny jsou také schopny přijímat živiny pomocí listové čepele, konkrétně přes průduchy, které se nachází v pokožce listu. Tento příjem se nazývá mimokořenová výživa rostlin. Pokud rostlina přijímá živiny přes listovou čepel, zapojují se tyto živiny velmi rychle do tvorby organických látek (Baier et Baierová, 1985).

4.1.2 Faktory ovlivňující příjem živin

Jak uvádí Baier (1957), na příjem živin působí mnoho faktorů, které jsou jak exogenní tak endogenní.

Jedním z faktorů ovlivňujícím příjem živin je koncentrace jednotlivých iontů v roztoku. Pokud je koncentrace iontů nízká, rychlost difúze se snižuje a tím se snižuje i jejich absorpce. Pokud je ovšem v roztoku vysoká koncentrace iontů, dochází k působení elektrického náboje na sebe navzájem a tím se zpomaluje pohyb ke kořenovým buňkám.

4.2 Hořčík

Hořčík (lat. magnesium) se nachází v periodické tabulce prvků ve skupině IIA, periodě 3. Tento prvek byl objeven v roce 1800. Pojmenován je latinským názvem, který je odvozen od středověkého pojmenování oxidu hořečnatého „magnesia alba“. Česky byl nazván podle vlastnosti rozpustné hořečnaté soli, kterou je hořká chuť. Protonové číslo hořčíku je 12. Teplota tání je 650°C. Teplota varu je 1090°C. Při 20°C se nachází v pevném skupenství (Straka J., 1998).

Hořčík jako chemický prvek představuje stříbřitě bílý, lesklý a měkký kov. Podle Mohse je tvrdost 2,5. V přírodě se nevyskytuje jako elementární prvek, ale vyskytuje se jako dvojmocný kationt ve sloučeninách. Je uváděn jako osmý nejrozšířenější prvek. V zemské kůře zaujímá tento prvek cca 2,3 % hmoty. Hořčík je významnou složkou mořské vody a společně s vápníkem je nejčastější příčinou tvrdosti přírodních vod.

Mezi nejdůležitější minerály hořčíku vyskytující se v přírodě patří: magnezit, dolomit, serpentinit, spinel, karnalit, kieserit, olivín, azbest, mastek, pyrop, brucit a sepiolit (Anonym, 2009).

Atomy hořčíku se vyskytují ve třech izotopech. Ty se od sebe liší v počtu neutronů, které mají. Izotopy se chovají chemicky stejným způsobem, ale mají různé atomové hmotnosti. Sedmdesát devět procent atomů hořčíku má atomovou hmotnost 24, což představuje 12 neutronů a 12 protonů. Deset procent má atomovou hmotnost 25 a obsahuje 13 neutronů. Jedenáct procent má atomovou hmotnost 26 a zahrnuje 14 neutronů. Hořčík má průměrnou atomovou hmotnost 24,31 (Uttley, 2000).

Tento prvek řadíme do druhé skupiny nepřechodných prvků. Skupina, do které hořčík patří, je nazývána prvky skupiny beryllia (Banýř, 2002).

Hořčík je velmi lehký prvek, jeho hustota činí 1738 kg.m⁻³. Hořčík je využíván mimo jiné ve formě sloučenin v lékařství jako součást léků či různých potravinových doplňků. Tento prvek se využívá i jako kovová forma a to především jako součást lehkých slitin k výrobě automobilů a jiných dopravních prostředků. Kovový hořčík je ovšem z chemického hlediska poměrně reaktivní, a proto je potřeba při výrobě a zpracování využívat ochrannou atmosféru, která obsahuje např. inertní plyny (Vojtěch et al, 2011).

4.2.1 Hořčík v půdě

Celkový obsah hořčíku v půdě je udáván v rozmezí od 0,4 – 10%. V půdě se též nachází výměnný Mg do 5% z celkového Mg a také vodorozpustný Mg 1 – 10% výměnného

Mg. Jako průměrný obsah hořčíku v půdě je označována hodnota 0,4 – 0,6%. Množství hořčíku v půdě je vázáno na typ půdy a zároveň na minerální složení mateční horniny. Velmi malý obsah hořčíku se zpravidla vyskytuje v půdách lehkých písčitých a na rašelinových půdách. Naopak na dolomitech, nebo v půdách, ve kterých se vyskytuje serpentín, olivín, chlorit či amfibol, se hořčík vyskytuje v nadměrném množství. Například v dolomitech se dostáváme až na 10% hořčíku v půdě.

Množství hořčíku je vázáno také na přítomnost dalších prvků. Pokud se v půdním roztoku vyskytuje dostatek hliníku, či železa, je zřejmé, že hodnota pH bude nižší. Při nízkém pH je půda ochuzena o bazické kationty hořčíku a zároveň i vápníku. Vliv má i přítomnost draslíku, který by měl být k hořčíku v poměru ideálně 1:3, nejméně však 1:2. Draslík je vůči hořčíku silně antagonistický.

Mezi hořčíkem v půdním roztoku a výměně sorbovaným hořčíkem v sorpčním komplexu nastává dynamická stabilita. Pokud je dostatek sorbovaného hořčíku, vznikají vhodné dispozice pro výživu rostliny tímto prvkem, protože dochází k rychlému doplňování hořčíku do půdního roztoku. Za odpovídající obsah hořčíku lze považovat hodnotu mezi 10 – 20 mg Mg/l. Pokud dojde k poklesu pod 10 mg Mg/l, což může být způsobeno vlhkým zimním obdobím, přemístí se hořčík do nižších vrstev půdy a následně je pro rostliny hodnota hořčíku v půdě pro rostliny nedostatečná (Vaněk et al. 2012).

4.1.2 Hořčík v rostlině

Jak uvádí Havelka (1988), je hořčík přijímán rostlinou ve formě iontů z půdního roztoku.

Kationty Mg^{2+} jsou rostlinou přijímány především pasivně. Jedná se o proces, který je založen na elektrochemickém gradientu. Uvnitř buňky se nachází záporný náboj a rostlina se snaží dosáhnout jeho vyrovnání pomocí kationtů. Příjem hořčíku je v období vegetace vyrovnaný a zvyšuje se až před zralostí a sklizní.

Transport v rostlině je vyhovující a jeho opětovné využití tzv. reutilizace je taktéž dobrá.

Množství hořčíku je podmíněno druhem rostliny a jejím stářím. Jako příklad je možné uvést listy jetele, vojtěšky, cukrovky či špenátu, které obsahují vysoké procento hořčíku. Pokud se jedná o semennou kulturu, dochází ke konci vegetačního období k transportu do semen. V semenech se průměrně nachází 0,12% hořčíku.

V rostlinách se nachází hořčík ve formě sloučenin. Jako příklad je možné uvést chlorofyl, ve kterém je vázáno 15 – 20% hořčíku z celkového množství v rostlině. Pokud je ho nedostatek, rostlina je schopna takto navázat až 30%. Dále se nachází ve fyтину a oxalátu. Hořčík je vázán také sorpčně, nebo volně, či ve formě chelátů. Hořčík se také váže s organickými, či anorganickými anionty. Touto vazbou je vázáno více než 70% z celkového množství hořčíku.

4.1.3 Význam a specifické působení hořčíku v rostlinách

Hořčík je důležitý prvek, který se podílí na výživě rostlin.

Množství hořčíku v rostlině závisí na růstové fázi, podmínkách výživy a dalších faktorech. V sušině bývá obvykle obsah hořčíku mezi hodnotou 0,013 – 3,015%. Tento prvek se hromadí především v tkáních, ve kterých dochází k intenzivnímu dělení buněk. Vysoký obsah hořčíku je v semenech. Semena obilovin obsahují 2/3 a více hořčíku.

Přesun hořčíku v rostlině je diskutabilní. Existují různé teorie jednotlivých autorů. Někteří tvrdí, že se hořčík přesouvá při nedostatku ze starších listů do mladších s aktivní výměnou látek. Jiní zastávají názor, že hořčík v rostlinách nemigruje. Proto projev nedostatku na starších listech nemůže být důkazem o přesunu hořčíku do mladších listů.

Hořčík má tendenci snadno vstupovat do reakcí se snadno rozpustnými solemi, hydráty a komplexními sloučeninami. Příkladem takové komplexní vazby může být chlorofyl vyšších rostlin. Hořčík má vliv také na stabilizaci jiných buněk a buněčných struktur.

Hořčík se také uplatňuje v chromozomech, kde jeho ionty váží molekuly nukleoproteinů v chromozomech, a to při tvorbě chelátů, či specifických komplexů.

Rovněž se podílí na syntéze RNK a DNK.

Je důležitou složkou enzymů chloroplastů, proteolytických enzymů, karboxylázy. Ovlivňuje reakce i přesto, že není složkou enzymu galaktokinázy, fruktokinázy, glukokinázy, hexokinázy atd.

Tento prvek má vliv i na kvalitu semen. Ovlivňuje činnost dehydrogenázy v rostlině. Hořčík působí jako stimulant růstu, urychluje růst a zvyšuje energii klíčivosti (Fecenko, 1986).

Jak uvádí Baier et Baierová (1985), je hořčík potřebný při procesu fotosyntézy, tj. při přeměně světelné energie na chemickou.

4.1.4 Nedostatek hořčíku

Pokud má rostlina omezený přísun hořčíku, aktivuje nejprve své rezervy. Až dlouhodobý deficit vyvolá příznaky nedostatku této živiny (Vaněk et al. 2012).

Jak uvádí Baier (1957) rostlinám na starších listech vznikají žlutá místa především mezi žilnatinou čepelí. Zelený chlorofyl tvoří shluky a podobá se korálkům, které jsou navlečené na šňůrce. Tato mozaika se postupem času mění v souvislé pruhovité chlorózy až nekrózy. Tento jev je způsoben především tím, že dochází ke snížení tvorby chlorofylu a karotenoidů. Dochází k narušení fotosyntézy. V nadzemní části se hromadí sacharidy. Následně se omezuje proces tvorby kořenů. Pokud je hořčíku v půdě značný nedostatek, začnou se příznaky projevovat i na mladých listech.

Častým nedostatkem hořčíku trpí především obilniny a to i přes to, že nemají vysoké nároky na hořčík. Méně častý nedostatek hořčíku se vyskytuje u řepy, zeleniny a jetelovin. Tento jev je možné vysvětlit tím, že tyto plodiny hnojíme především hnojivy organickými, kde je hořčík již obsažen (Vaněk et al. 2012).

Pokud se vyskytuje v rostlině hořčík v nadbytečném množství, dochází ke zvýšení příjmu fosforu. Současně se omezuje příjem vápníku a draslíku (Vaneková et Synak, 1988).

4.1.5 Odstranění nedostatku hořčíku

Upravení půdních podmínek je považováno za základní princip, který vede k odstranění nedostatku hořčíku. Za základní úpravu půdních podmínek se považuje vápnění půd, které jsou kyselé. Především se používají vápenatá hnojiva s obsahem hořčíku, jako jsou například dolomity, dolomitické vápence, či strusky. Tato hnojiva zajišťují dvojí efekt. Za prvé se upraví hodnota pH a současně se půda obohatí o potřebný hořčík.

V dalším kroku je důležité, aby se upravil poměr mezi obsahem hořčíku a draslíku. Je důležité, aby množství draslíku nebylo vyšší, než množství hořčíku.

Pokud je zjištěn nedostatek hořčíku na počátku vegetace, doporučuje se přihnojení na list. Pro tento účel se využívá především hnojivo Kieserit, nebo hořká sůl (Fecenko, 1986).

4.1.6 Nadbytek hořčíku

Uvádí se, že v přirozených podmínkách České republiky se nadbytek hořčíku nevyskytuje. Hořčík je velmi dobře sorbován půdou. V půdě, či ve vápenatém hnojivu, se hořčík nachází především v málo rozpustných formách (Vaněk et al. 2012).

Při nadbytku hořčíku, dochází ke zvýšenému příjmu vápníku a naopak ke sníženému příjmu fosforu (Vaneková et Synak, 1988).

Dle Jonese (1998) neexistují žádné specifické příznaky, které by charakterizovaly nadbytek hořčíku. Obsah hořčíku v rostlině může být vyšší, a přesto nebude docházet k projevům příznaků nadbytku této živiny. Pokud se bude v rostlině vyskytovat vysoký obsah hořčíku, který bude už i pro rostlinu nadlimitní, projeví se tento nadbytek nejspíše sníženým růstem rostliny.

4.2 Hnojení

Aby bylo dosaženo kvalitní a zdravé zemědělské produkce a výroby, je potřeba uplatnit kvalifikované a především účinné hnojení jak organickými, tak i průmyslovými hnojivy. Hnojení se považuje za jedno z nejvýznamnějších a nejučinnějších agrotechnických opatření.

V běžných polních podmínkách vzniká potřeba hnojení především dusíkem, fosforem, draslíkem, vápníkem a hořčíkem. Pouze na některých lokalitách vzniká potřeba hnojit např. sodíkem, sírou či zinkem, nebo molybdenem. Pouze ve speciálních případech se zjišťuje vliv dalších prvků (Neuberg et al. 1995).

4.2.1 Organická hnojiva

Organické látky představují 2 – 5% z tuhé fáze půdy. K tomu, aby byla půda úrodná a zachovala si své fyzikálně chemické vlastnosti, je potřeba organických látek několikanásobně více. Z tohoto důvodu je vhodné hnojit organickými hnojivy.

Organické látky, které dodáváme do půdy, jsou významnou součástí koloběhu látek a hnojením organickými hnojivy vzniká možnost zajistit určitou návratnost živin zpět do půdy. Příkladem může být koloběh hnojivých látek. Celý koloběh živin začíná a končí v půdě. Rostliny čerpají živiny z půdy a část těchto živin uloží rostliny do hlavního nebo vedlejšího produktu. Jedna část rostlin je využita pro trh a zbytek se zkrmuje. Následně se vrací organické látky zpět do půdy pomocí hnojení organickými hnojivy.

V České republice je ročně obohaceno o cca 4 – 4,5 tun organických látek na 1 hektar půdy. Přibližně polovina je tvořena posklizňovými zbytky rostlin a druhou polovinu tvoří organická hnojiva.

Organická hnojiva dělíme na hnojiva statková a ostatní. Do statkových hnojiv je možné zařadit hnůj, hnojůvku, močůvku a kejdu. Dále sem spadá zelené hnojení, sláma, komposty a silážní šťávy.

Do ostatních organických hnojiv patří průmyslové komposty a karbo hnojiva (Richter et Římovský, 1996).

4.2.1.1 Chlévský hnůj

Jak uvádí Škarda (1982), je hnůj považován za nejrozšířenější organické hnojivo.

Chlévská mrva je uskladněna na hnojišti tak, aby na co nejmenší ploše bylo co největší množství. Pokud je chlévská mrva dobře uskladněna, neměla by ztráta na hmotě překročit 35%.

Jaké bude mít hnůj vlastnosti a kolik ho bude vyprodukováno, záleží na druhu zvířete a jeho stáří, způsobu krmení, ustájení a také na tom, jak je s chlévskou mrvou nakládáno a zdali jsou dodrženy podmínky pro skladování.

Správně vyztřelý hnůj je tmavé barvy a je snadno rýpatelný. Je cítit slabě amoniakem. Pokud je hnůj dobře vyztřelý, je možné snížit dávku hnoje. Pokud je hnůj špatné kvality, je neefektivní a neekonomické zvýšit dávku (Kolay, 2007).

Jakost hnoje je znázorněna v následující tab. č. 1

Tab. č. -1 Jakost hnoje a podíl jednotlivých organických látek a živin

Jakost hnoje	Obsah organických látek a živin v %						
	sušina	Organické látky	N	P	K	Ca	Mg
Špatná	18	14	0,29	0,07	0,33	0,25	0,04
Střední	22	17	0,48	0,11	0,51	0,37	0,05
Dobrá	24	18	0,56	0,14	0,58	0,43	0,06

(Richter et Římovský 1996)

Na lehkých půdách, jako jsou půdy písčité či hlinitopísčité, hnojíme v 2. – 3. letém cyklu zejména na jaře a zaoráváme do hlubších vrstev půdy Na těžších půdách, jako jsou půdy hlinité či jílovité, hnojíme v cyklu 3 – 4 let a to především na podzim. Hnojem hnojíme zejména plodiny s delší vegetační dobou, které vyžadují dlouhodobé a plynulé přísuny živin. Řadíme sem okopaniny, jednoleté pícniny, olejniny a zeleninu.

Hnůj se rozmetá rozmetadly a zaorává se ihned po rozmetání. Pokud zapracujeme hnůj do půdy, je třeba dbát na kvalitní a rovnoměrné rozptýlení v takové hloubce orničního profilu, v jaké se nachází nejvhodnější podmínky pro jeho nejvyšší účinnost (Škarda, 1982).

Na hnůj by se mělo pohlížet jako na zdroj živin, nikoliv jako na odpad. I přesto je třeba respektovat při aplikaci tohoto hnojiva skutečnost, že při nesprávné dávce, či špatné aplikaci, může dojít k narušení přírodní rovnováhy daného stanoviště (Burton et Turner, 2003).

4.2.1.2 Hnojůvka

Hnojůvka je charakterizována jako produkt, který vytéká z hnojiště při zrání chlévské mrvy. Obvykle dosahuje hnojůvka 8 – 20% objemu uskladněné mrvy. Hnojůvkou se hnojí především jako dusíkato-draselným hnojivem. Obsah dusíku je 0,11 – 0,14% a obsah draslíku je 0,46 – 0,48%.

Hnojůvkou se hnojí především pastviny a louky a také se využívá k zavlažování kompostu (Richter et Římovský, 1996).

4.2.1.3 Kejda

Jako kejdu je možné označit směs pevných výkalů a moče hospodářských zvířat.

Kvalita kejdy je určena především obsahem vody. Čím vyšší obsah vody bude kejda obsahovat, tím bude tekutější. Pokud je kejda příliš tekutá, dochází následně k rozdělení kejdy na tři vrstvy a organické látky jsou nestejně rozptýleny v těchto třech vrstvách. Tekutější kejda obsahuje nižší koncentrace živin a proto je potřeba zvyšovat dávku. Vysoké dávky ovšem zatěžují půdu.

Kejda se vyznačuje lehce využitelnými organickými látkami, pomocí kterých se zvyšuje dynamika mikrobiální aktivity v půdě (Zavřel, 1988).

4.2.1.4 Močůvka

Močůvka je charakterizována jako zkvašená moč zvířat, která je zředěná vodou. Jaký bude mít močůvka charakter, záleží na několika aspektech. Jedním z faktorů je počet a složení dobytka. Příkladem může být, že vepřová močůvka je živinami chudší, než hovězí. Záleží také na tom, čím je zvíře krmeno. Při systému suchého krmení se dosahuje vyššího obsahu živin, než při zkrmování na vodu bohatého krmení. Na živiny bohatší je i močůvka, která se dlouhou dobu nezdržuje v teplé stáji. Čím déle bude močůvka ve stáji, tím bude docházet k vyšším ztrátám dusíku.

Na půdách lehčích je doporučeno hnojit na jaře a na půdách těžších na podzim. Využití močůvka nachází u okopanin, obilnin a pícein (Kučera, 1948).

4.2.2 Průmyslová hnojiva

Pokud se budeme zabývat intenzivní rostlinnou produkcí, zaujímají první místo organická hnojiva, která je ovšem nutné doplnit hnojivy průmyslovými. Tato kombinace následně zajišťuje optimální podmínky pro intenzivní rostlinnou produkci. Při používání průmyslových hnojiv musíme dbát především na to, abychom je správně skladovali a využívali, aby nedošlo k ohrožení životního prostředí.

Tato hnojiva můžeme charakterizovat jako jednoduché chemické sloučeniny, či jejich soli a minimálně se využívá složitých sloučenin. Průmyslová hnojiva obsahují vyšší obsah živin, než organická hnojiva. Jejich složky ovlivňují půdní reakce. Jejich aplikací je možné zvyšovat výnosy plodin a výnosem hlavního produktu se samozřejmě zvyšuje i výnos vedlejšího produktu (Richter et Hlušek, 1996).

4.2.2.1 Hnojiva hořečnatá

Na trhu se vyskytují čistě hořečnatá hnojiva, ale je jich jen velmi malý počet a hořčík se přidává především do ostatních hnojiv, jako jsou hnojiva draselná či vápenatá.

Hořečnatá hnojiva je možné rozdělit do několika kategorií. Jako první kategorií je možné uvést hnojiva tuhá se síranovou formou hořčíku. Mezi tato hnojiva řadíme výrobky jako Kieserit či hořkou sůl.

Jako další je možné uvést hnojiva tuhá s oxidovanou formou hořčíku, do této kategorie spadá hnojivo Romag. Třetí kategorií jsou tuhá hnojiva ostatní. Patří sem ledek hořečnatovápenatý.

Hnojiva kapalná se síranovou formou hořčíku zahrnují výrobky jako Premag O, Premag N20. Mezi hnojiva kapalná ostatní je možné zařadit Damag, Synmag či Folimag

Při hnojení hořečnatými hnojivy je potřeba respektovat několik aspektů. Hořčík a jeho využití rostlinami je omezeno kyselou půdní reakcí. Pokud hnojíme na kyselých půdách, je nutné upravit půdní reakci, nebo použít hnojivo s hořčíkem v oxidované formě. Hnojiva s hořčíkem v oxidované formě mají vysoké neutralizační schopnosti. Pokud budeme hnojit hnojivy s hořčíkem v síranové formě, je nutné je využívat především na půdách neutrálních až zásaditých, jelikož reagují kyselé. Hořečnatá hnojiva v kapalně formě je možno využít především k preventivním postřikům jako prevence chloróz. Tuhá hnojiva se aplikují z důvodu zvýšení zásoby hořčíku v půdě (Richter et Hlušek, 1996).

Hnojiva, která obsahují hořčík v síranové formě, účinkují rychleji než hnojiva, obsahující hořčík v uhličitanové formě. Síranová forma je ovšem dražší (Mengel et al. 2001).

V následující tabulce č. 2 jsou uvedeny hodnoty hořčíku (g/kg) v jednotlivých hnojivech.

Tab. č. 2 Obsah hořčíku v jednotlivých hnojivech

Název hnojiva	Obsah Mg (g/kg)
Hnojivo s uhličitanovou formou Mg	30-120
Pálené vápno	6-200
Kieserit	160
MgSO ₄ .7 H ₂ O	96
Magnezit	270
K ₂ SO ₄ .MgSO ₄	66

(Mengel et al. 2001)

4.2.4 Čistírenské kaly a hnojení těmito produkty

Díl 4 § 32 a §33 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech definuje, co se pro účely zákona rozumí kalem z čistíren odpadních vod, povinnosti při užívání kalů na zemědělskou půdu. Tento zákon je následně citován:

„§ 32 Pro účely této části zákona se rozumí

a) kalem

1. kal z čistíren odpadních vod zpracovávajících městské odpadní vody nebo odpadní vody z domácností a z jiných čistíren odpadních vod, které zpracovávají odpadní vody stejného složení jako městské odpadní vody a odpadní vody z domácností,

2. kal ze septiků a jiných podobných zařízení,

3. kal z čistíren odpadních vod výše neuvedených,

b) upraveným kalem – kal, který byl podroben biologické, chemické nebo tepelné úpravě, dlouhodobému skladování nebo jakémukoliv jinému vhodnému procesu tak, že se významně sníží obsah patogenních organismů v kalech, a tím zdravotní riziko spojené s jeho aplikací,

c) použitím kalu – zapracování kalu do půdy,

d) programem použití kalů – dokumentace zpracovaná v rozsahu stanoveném prováděcím právním předpisem.

§ 33 Povinnosti při používání kalů

(1) Právnická osoba a fyzická osoba, která užívá půdu, je povinna používat pouze upravené kaly s ohledem na nutriční potřeby rostlin, za podmínek stanovených tímto zákonem a prováděcím právním předpisem a v souladu s programem použití kalů stanoveným původcem kalů tak, aby použitím kalů nebyla zhoršena kvalita půdy a kvalita povrchových a podzemních vod.

(2) Původce kalů je povinen stanovit program použití kalů a v tomto programu doložit splnění podmínek použití kalů stanovených tímto zákonem a prováděcím právním předpisem. Program použití kalů je povinen předat osobě uvedené v odstavci 1.

(3) Použití kalů je zakázáno

a) na zemědělské půdě, která je součástí chráněných území přírody a krajiny podle zvláštního právního předpisu)

b) na lesních porostních půdách běžně využívaných klasickou lesní pěstební činností,

c) v pásmu ochrany vodních zdrojů, na zamokřených a zaplavovaných půdách,

d) na trvalých travních porostech a travních porostech na orné půdě v průběhu vegetačního období až do poslední seče,

e) v intenzivních plodících ovocných výsadbách,

f) na pozemcích využívaných k pěstování polních zelenin v roce jejich pěstování a v roce předcházejícím,

g) v průběhu vegetace při pěstování píce, kukuřice a při pěstování cukrové řepy s využitím chrástu ke krmení,

h) jestliže z půdních rozborů vyplyne, že obsah vybraných rizikových látek v průměrném vzorku překračuje jednu z hodnot stanovených v prováděcím právním předpisu,

i) na půdách s hodnotou výměnné půdní reakce nižší než pH 5,6,

j) na plochách, které jsou využívány k rekreaci a sportu, a veřejně přístupných prostranstvích, nebo

k) jestliže kaly nesplňují mikrobiologická kritéria daná prováděcím právním předpisem. Použití mikrobiálně kontaminovaných kalů může být provedeno pouze po prokázané hygienizaci kalů.

(4) Ministerstvo ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem zdravotnictví stanoví vyhláškou

a) technické podmínky použití upravených kalů na zemědělské půdě,

b) mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v půdě,

c) mezní hodnoty koncentrací těžkých kovů, které mohou být přidány do zemědělské půdy za 10 let,

d) mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v kalech pro použití na zemědělské půdě,

e) mikrobiologická kritéria pro použití kalů,

f) postupy analýzy kalů a půdy, včetně metod odběru vzorků,

g) obsah programu použití kalů“.

Aplikaci na zemědělskou půdu upravuje vyhláška č. 382/2001 Sb, která je následně citována:

„§ 1 - Technické podmínky použití upravených kalů na zemědělské půdě

Upravené kaly lze na zemědělské půdě používat za následujících podmínek:

a) nejpozději do 48 hodin od umístění kalů na zemědělskou půdu musí být kaly zapraveny do půdy;

b) potřeba dodání živin do půdy na pozemku určeném k umístění kalů musí být doložena výsledky rozborů agrochemických vlastností půd uvedenými v evidenčním listu využití kalů v zemědělství podle přílohy č. 1;

c) nesmí se použít více než 5 tun sušiny kalů na jeden hektar v průběhu 3 po sobě následujících let. Toto množství může být zvýšeno až na 10 tun sušiny kalů v průběhu 5 po sobě následujících let, pokud použité kaly obsahují méně než polovinu limitního množství každé ze sledovaných rizikových látek a prvků. Přesné stanovení dávky sušiny se vypočte ze zjištěného obsahu dusíku. Dávka dusíku dodaného v kalech nesmí překročit 70% celkového potřebného množství dusíku pro hnojenou plodinu. Dávka kalů (množství a doba užití) se řídí i požadavkem rostlin na živiny s přihlédnutím k přístupným živinám a organické složce v půdě, jakož i ke stanovištním podmínkám;

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

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

§ 2 - Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v půdě a rizikových látek, které mohou být do zemědělské půdy přidány

(1) V půdě, na které mohou být použity kaly, nesmějí být překročeny mezní hodnoty koncentrace vybraných rizikových látek uvedených v příloze č. 2.

(2) Celkový povolený vnos rizikových látek do zemědělské půdy použitím kalů v průběhu 10 po sobě následujících let je definován povolenou dávkou kalů uvedenou v § 1 písm. c) a mezními hodnotami koncentrací rizikových látek a látek uvedených v příloze č. 3.

§ 3 - Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech a mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě

Na zemědělskou půdu mohou být použity pouze kaly, které vyhovují

a) mezním hodnotám koncentrací vybraných rizikových látek a prvků uvedeným v příloze č. 3, a

b) mikrobiologickým kritériím uvedeným v příloze č. 4.

§ 4 - Postupy odběru vzorků kalů a půdy a metody analýzy kalů a půdy

(1) Odběry a analýzy vzorků půdy (dále jen "monitoring půdy") na pozemcích určených k použití kalů a odběry a analýzy vzorků kalů (dále jen "monitoring kalů") zajišťují původci kalů. Návrh monitoringu půdy a monitoringu kalů na pozemcích určených k použití kalů je součástí programu použití kalů na zemědělskou půdu podle § 5.

(2) Monitoring půdy se provádí vždy před prvním použitím kalu a dále v pravidelných desetiletých intervalech v souladu se zvláštním právním předpisem a v rozsahu uvedeném v přílohách č. 1 a 2.

(3) Při monitoringu kalů se provádí odběry, chemické a mikrobiologické analýzy kalů v rozsahu a četnosti uvedených v přílohách č. 3, 4 a 5. Pro monitoring kalů platí dále tyto požadavky:

a) stanovení adsorbovatelných organických halogenů (AOX) a polychlorovaných bifenylyů v kalech se provádí vždy před prvním použitím kalů;

b) odběry vzorků kalů se provádí podle ČSN EN ISO 5667;

c) vzorky kalů pro mikrobiologická vyšetření musí být odebrány tak, aby nedošlo k sekundární kontaminaci, jejich uchování a přeprava se provádí podle ČSN ISO 10381.

(4) Monitoring půdy provádí osoby pověřené Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským podle zvláštního právního předpisu⁵⁾ postupy uvedenými ve zvláštním právním předpise.

(5) Referenční metody pro analýzy vzorků kalů a půd jsou uvedeny v příloze č. 6.

(6) Výsledky monitoringu kalů a monitoringu půdy se uvádí na evidenčním listu využití kalů v zemědělství podle přílohy č. 1, které je součástí programu použití kalů podle § 5. Přílohami k vyplněnému hlášení jsou vždy protokoly o provedeném monitoringu půdy a monitoringu kalů. Tato hlášení původce kalů archivuje po dobu 30 let. “

Hnojením čistírenskými kaly se do půdy dostává mnoho organických živin, ale také biologicky aktivních látek.

Půdy, které jsou pravidelně hnojeny kaly z čistíren odpadních vod, mají vyšší obsah okamžité půdní vlhkosti, vykazují vyšší maximální kapilární kapacitu, pórovitost a také vyšší sorpční kapacitu.

Vlastnosti kalu záleží na tom, z jaké odpadní vody pochází, ale také ho ovlivňují technologie používané v konkrétní čistírně odpadních vod. Všeobecně lze rozlišovat čistírenské kaly, které vznikají z čištění průmyslových, splaškových a městských vod (Nerudová, 1984).

Čistírenské kaly jsou důležitým zdrojem makroživin, neboli makrobiogenních prvků. Mezi tyto základní prvky je možné řadit dusík, fosfor, draslík, které se v kalech vyskytují v ustáleném poměru. Mikrobiogenní prvky jsou důležitou složkou čistírenských kalů, která také rozhoduje o použitelnosti kalů. V kalech je potřeba sledovat obsah zinku, mědi, niklu, chromu, olova a kadmia. U těchto prvků se sleduje celkový obsah v sušině kalu. Hodnota celkového obsahu těchto prvků je následně rozhodující pro jejich využití na zemědělské půdě. Současně se do půdy dostává mnoho biologicky aktivních látek (Rivandra et al. 2001).

4.2.4.1 Tekuté a odvodněné kaly

Čistírenské kaly je možné dodávat zemědělcům ve dvou variantách. První možností je tekutá forma. Kal je dodáván také již odvodněný, a to buď odvodněný přirozeným způsobem, nebo mechanicky.

Jak popisuje Štráfelda et al. (1984), jsou tekuté vyhnílé kaly charakterizovány jako heterogenní suspenze s hrubě dispergovanými až koloidními částicemi, tmavošedé až černé barvy s typickým mírným zápachem.

Tekuté kaly jsou využívány především pro plodiny, které vyžadují dusík. Tekutý kal je charakteristický vysokým podílem minerálního dusíku, který je okamžitě přijatelný pro rostliny. Výnosová účinnost kalů je dána minerálním ekvivalentem. Tento ekvivalent udává účinnost dávky dusíku v kalech a stejné dávky v průmyslovém hnojivu. Fosfor, který se v čistírenských tekutých kalech vyskytuje, je započítán do bilance fosforečného hnojení.

Tekuté kaly se mohou aplikovat na půdu mechanizačními prostředky, které se využívají pro manipulaci s kejdou. Pro rozstříkávání čistírenských kalů je velmi důležité, aby byl povrch půdy kyprý. Tento aspekt následně zaručí dobré vsakování tekutého kalu do půdy.

Další možností aplikace kalu, je využití podpovrchové injektáže. Tento způsob zapracování kalu do půdy je výhodný především z hlediska aplikace přímo do půdy, při němž

se zabraňuje šíření pachu do okolí a taktéž se nemusí následně kal do půdy zavádět, protože je zapraven přímo při aplikaci (Koukolík et al. 1988).

Tekuté kaly se používají především pro jednoduchost svého použití. Obsah živin je zpravidla vysoký. Tekutý kal není vystaven tepelnému sušení či odvodňování, při kterém se ztrácí velké procento dusíku. Do tekutých kalů se nemusí přidávat žádné přídavné látky, které by mohly způsobit zředění kalu a tím snížit obsah živin (Bishop, 1995).

V následující tab. č. 3 jsou uvedeny orientační dávky tekutého kalu k jednotlivým polním plodinám, pokud obsah N v původním vzorku kalu je 0,28%

Tab. 3 Orientační dávky tekutého kalu k plodinám

Plodina	Obsah N 0,28% v původním vzorku kalu Dávka tekutého kalu m³ . ha⁻¹
Brambory	44
Cukrovka technická	53
Řepa krmná	78
Kukuřice na zrno	57
Oves senážní	53
Trvalé louky	63

(Koukolík et al. 1988)

Charakteristickým vzhledem odvodněných kalů je pastovitá, až drobovitá struktura. Jejich barva je tmavošedá až černá (Štráfelda et al. 1984).

Odvodněné kaly obsahují především organické látky a dusík. Jako zdroj dusíku slouží organická hmota. Pokud je tato hmota mineralizována, dochází k uvolnění dusíku. Minerální dusík se nachází v odvodněném kalu ve velmi malé míře. Hnojivé účinky odvodněného kalu jsou srovnatelné s hnojivými účinky hnoje. Hnojení odvodněnými kaly se doporučuje pro plodiny, které se běžně hnojí statkovými hnojivy. Nedoporučuje se hnojit pouze kaly. Je třeba kombinovat tento typ hnojení nejlépe se statkovými hnojivy, popřípadě s průmyslovými komposty (Nerudová, 1984).

Jak uvádí Koukolík et al. (1988), je možné pro aplikaci odvodněných kalů použít mechanizační prostředky, které se používají při manipulaci s hnojem.

V následující tabulce č. 4 jsou uvedeny hodnoty základních prvků, které jsou obsaženy v kalech po různé úpravě.

Tab. 4 Hodnoty základních prvků ve vyhníých kalech

Prvek	Tekutý kal	Odvodněný kal	Vysušený kal
pH	7,3	7,2	7,0
Koncentrace sušiny VL	7%	25%	40%
Organické látky v sušině	41%	44%	37%
N	3,5%	3,0%	2,4%
P	0,25%	0,24%	0,23%
K	1,5%	0,5%	0,5%
Ca	3,6%	3,0%	2,8%
Mg	0,4%	0,4%	0,4%

(Štráfelda et al, 1984)

4.2.4.2 Hnojení čistírenskými kaly

Při využívání čistírenských kalů je nutné dbát na několik aspektů. Plocha, na kterou je kal aplikován, by měla být mechanizačně a dopravně dobře přístupná. Jako nejvhodnější se jeví pozemky rovinné či mírně svažité. Pokud se svažítost zvyšuje na 8 – 12° je nutné snížit jednorázovou dávku. Pokud se pozemek vyznačuje vyšším svaahem, je nevhodné tuto parcelu hnojit kaly z čistíren odpadních vod.

Čistírenskými kaly se hnojí plochy, které nejsou zamokřené, a hladina podzemní vody je minimálně 0,75 metrů pod povrchem půdy. Pokud by se jednalo o zamokřený pozemek, sníží se hnojením pomocí kalů únosnost půdy. Následně je ohrožena kvalita podzemní vody.

Kaly je možné v rámci České republiky hnojit všechny typy a druhy půd. Pokud má ovšem půda vysoké pH je nutné využít vápnění a upravit tím půdní pH na hodnotu 5,2 – 5,8.

Hnojení je nepřípustné v pásmu hygienické ochrany 1. stupně a ve vnitřní části 2. stupně (Štráfelda et al. 1984).

Hnojení kaly k jednotlivým polním plodinám je následující. Pro ozimé obiloviny se využívá předseťová orba a to až do výše 50% celkové potřeby dusíku. Jařiny se hnojí taktéž tekutými kaly až do výše 60% potřeby dusíku. Zbylá potřeba dusíku se dodá plodinám v průmyslových hnojivech.

Okopaniny velmi dobře zhodnocují dusík z tekutých kalů. Hnojí se na podzim, před orbou a to v celkové výši 60% celkové potřeby dusíku. Na jaře se následně zapraví průmyslová hnojiva, která dodají zbylých 40% N (Nerudová, 1984).

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, Hněvčeves a Praha – Suchdol). Půdně-klimatické charakteristiky jsou patrné z tabulky č. 6 Na parcelách byly pěstovány v tříhonném osevním sledu tyto plodiny: brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen (odrůdy jsou uvedeny v tabulce č. 5).

Tabulka č. 5 Přehled odrůd pěstovaných v dlouhodobých pokusech

Rok	Humpolec a Suchdol			Hněvčeves		
	Brambory	Pšenice	Ječmen	Brambory	Pšenice	Ječmen
1997	Karin	Samanta	Akcent	Karin	Samanta	Akcent
1998	Karin	Samanta	Akcent	Karin	Samanta	Akcent
1999	Karin	Samanta	Akcent	Karin	Samanta	Akcent
2000	Cordoba	Alana	Akcent	Cordoba	Alana	Akcent
2001	Cordoba	Alana	Akcent	Cordoba	Alana	Akcent
2002	Cordoba	Alana	Akcent	Cordoba	Alana	Akcent
2003	Cordoba	Alana	Akcent	Cordoba	Alana	Akcent
2004	Cordoba	Alana	Akcent	Cordoba	Alana	Akcent
2005	Cordoba	Alana	Calgary	Cordoba	Alana	Akcent
2006	Ditta	Alana	Calgary	Ditta	Alana	Jersey
2007	Ditta	Alana	Calgary	Ditta	Alana	Jersey
2008	Ditta	Alana	Calgary	Ditta	Alana	Jersey
2009	Ditta	Alana	Calgary	Ditta	Alana	Calgary
2010	Ditta	Alana	Calgary	Ditta	Alana	Calgary
2011	Ditta	Alana	Calgary	Ditta	Alana	Calgary
2012	Ditta	Alana	Xanadu	Ditta	Alana	Xanadu
2013	Ditta	Alana	Xanadu	Ditta	Alana	Xanadu
2014	Ditta	Alana	Xanadu	Ditta	Alana	Xanadu

Tabulka č. 6 Základní charakteristika pokusných stanovišť.

Stanoviště	Humpolec	Suchdol	Hněvčeves
Severní šířka	49°33'15"	50°07'40"	50°18'46"
Východní délka	15°21'02"	14°22'33"	15°43'01"
Nadmořská výška (m n. m.)	525	286	265
Průměrná roční teplota (°C)	7,0	9,1	8,2
Průměrný roční úhrn srážek (mm)	665	495	573
Půdní typ	kambizem	černozem	hnědozem
Půdní druh	hlinitopísčité	hlinitá	jílovitohlinitá
Podloží	pararula	spraš	
pH¹⁾	5,1	7,5	5,9
P (mg/kg)²⁾	77 (±10)	74 (±9)	87 (±11)
K (mg/kg)²⁾	238 (±47)	209 (±18)	214 (±29)
Ca (mg/kg)²⁾	1625 (±187)	7803 (±1760)	2156 (±251)
Mg (mg/kg)²⁾	112 (±14)	209 (±16)	240 (±24)

¹⁾ Stanoveno 0.01 mol/l CaCl₂, 1:10 w/v

²⁾ 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 hořčíku v hnojivech u jednotlivých variant jsou uvedeny v tabulce č. 7. Pro potřeby pokusu jsou používány čistírenské kaly z Ústřední čistírny odpadních vod Praha Trója. Živiny z průmyslových hnojiv jsou dodávány v LAV (27,5%), trojitým superfosfátu (21% P) a 60% draselné soli (50% K).

Celý systém byl založen na jednotné dávce dusíku tak, aby celková dávka dusíku za 3 roky (brambory + pšenice ozimá + ječmen jarní) činila 330 kg N/ha. To platí pro organická i minerální hnojiva, popřípadě jejich kombinaci.

Tabulka č. 7 : Systém hnojení polního pokusu ČZU (množství dodaných živin na 1 ha)

Varianta	Brambory	Ozimá pšenice	Jarní ječmen
kontrola	0	0	0
kal 1	330 kg N 70 kg Mg	0	0
hnůj 1	330 kg N 30 kg Mg	0	0
NPK ¹⁾	120 kg N	140 kg N	70 kg N
	30 kg P	30 kg P	30 kg P
	100 kg K	100 kg K	100 kg K

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

Odběr vzorků je prováděn každoročně. Na podzim po sklizni obilnin a brambor byl vždy proveden odběr ornice (0-30 cm). Ta byla usušena a přeseťa 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 z každého ukončení cyklu osevního postupu, tj. z let 1999, 2002, 2005, 2008 a 2011.

Analytická stanovení

Extrakce demineralizovanou vodou

Extrakt byly zhotoveny dle Luscombe et al. (1979). Ke 2 g vzorku bylo doplněno 20 ml demineralizované vody. Vzorky byly třepány 2 hodiny a následně odstředěny při 9500 otáčkách za minutu. Vzniklé extrakty byly analyzovány.

Obsah hořčíku stanovený metodou Mehlich 3

Ke stanovení obsahu přístupného hořčíku byl použit extrakční roztok Mehlich 3 (Mehlich, 1984) složený z CH₃COOH (0,2 mol/l), NH₄F (c=0,015 mol/l), HNO₃ (c=0,013 mol/l), NH₄NO₃ (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 na třepačce VWR®Advanced 15000 Orbital Shaker probíhalo po dobu 10 min. Získaný roztok byl filtrován (filtrační papíry č. 388). Pro vyloučení chyby měření byly extrakty zhotoveny ve dvou opakováních.

Měření obsahu hořčíku ve vyluhu

Všechna měření obsahu hořčíku v získaných vyluzích byla realizována na optickém emisním spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)

6 Výsledky

Následující kapitola se zabývá výsledky, které byly naměřeny na jednotlivých stanovištích. Hodnotí se vodorozpustný hořčík, který byl stanoven pomocí extrakce demineralizovanou vodou a mobilní hořčík. Pro mobilní hořčík bylo využito měření dle Mehlicha 3. Obsahy hořčíku jsou uváděny v mg/kg.

6.1 Grafické znázornění výsledků

6.1.1 Změny obsahu hořčíku na nehnojených variantách dle stanovišť

Následující grafy porovnávají změny na jednotlivých stanovištích u kontrolních nehnojených variant. Grafy č. 1, 3 a 5 zobrazují a porovnávají změny obsahu vodorozpustného hořčíku. Grafy č. 2, 4 a 6 srovnávají změny obsahu mobilního hořčíku.

6.2.1.1 Stanoviště Humpolec

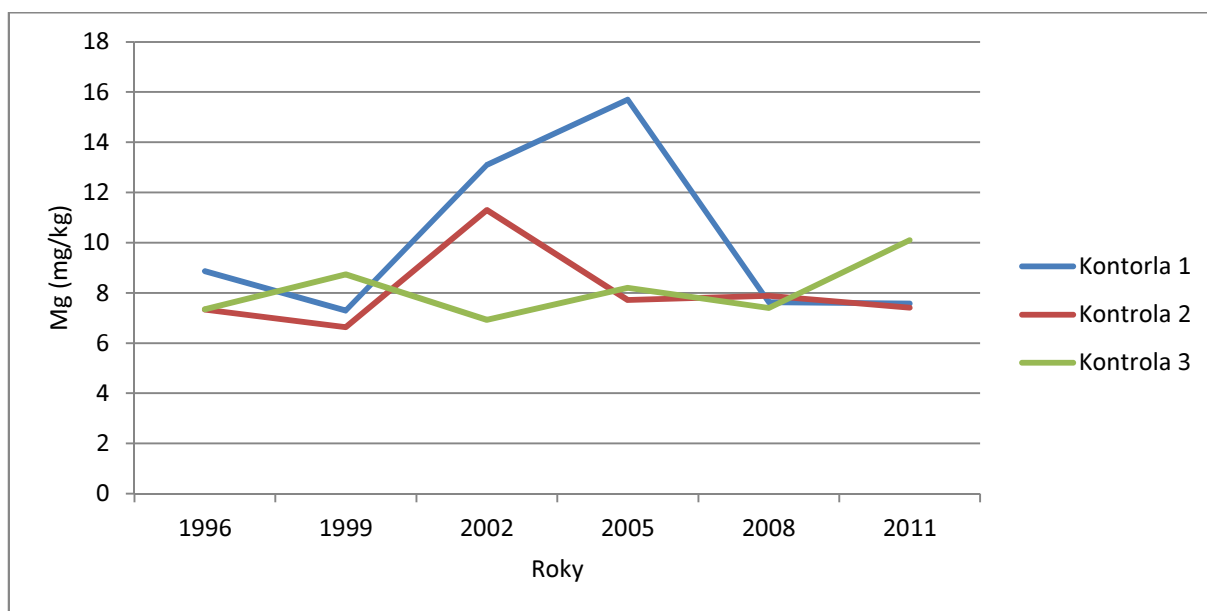
Graf č. 1 zobrazuje změnu obsahu vodorozpustného hořčíku na stanovišti Humpolec. Na začátku pokusu, byla u kontroly 1, v roce 1996 naměřena hodnota 8,87 mg/kg, následující rok hodnota poklesla na 7,29 mg/kg. Ovšem v roce 2002 už hodnota obsahu hořčíku rostla až do maxima s hodnotou 15,7 mg Mg/kg (2005). Do roku 2011 obsah hořčíku klesal na 7,57 mg/kg.

U kontroly č. 2 byla v roce 1996 naměřena hodnota 7,33 mg/kg. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána v roce 2002 (11,3 mg/kg). V roce 2011 byla naměřena hodnota 7,41 mg/kg.

U kontroly č. 3 byl zaznamenán kolísavý průběh během celého měření. Při prvním měření v roce 1996 byla stanovena hodnota 7,34 mg/kg. Následující rok hodnota poklesla a další měření se zvýšila. V roce 2011 byla naměřena nejvyšší hodnota a to 10,1 mg/kg

Z celkového hodnocení není možné vývoj obsahu hořčíku na nehnojených variantách jednoznačně určit. Obsah hořčíku značně kolísal a hodnoty kontrol se pohybovaly v rozmezí 6,92-15,7 mg Mg/kg půdy. Výše uvedené výkyvy lze přisuzovat různým faktorům, jako je průběh počasí v daném ročníku, přirozená variabilita stanoviště či odběr rostlinami na sledované kontrole.

Graf č. 1 Obsah hořčíku v kontrolních variantách během pokusu



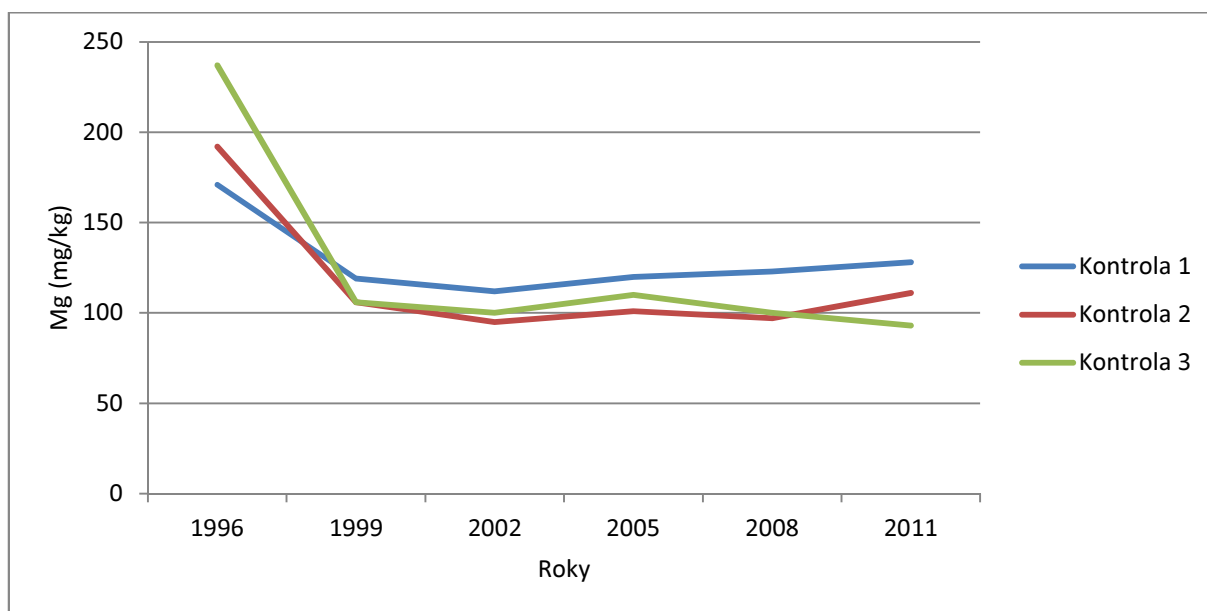
V grafu č. 2 jsou srovnávané hodnoty obsahu mobilního hořčíku, které byly získané extrakcí Mehlich 3. U kontroly 1 byla zjištěna hodnota 171 mg/kg, která byla zároveň nejvyšší ze všech měření. V následujících letech došlo k výraznému poklesu obsahu hořčíku, který přetrvával až do posledního měření. V roce 2011 byla naměřena hodnota 128 mg Mg/kg.

U kontroly 2 byl zaznamenán podobný průběh jako u kontroly 1. První hodnota, měřená v roce 1996 byla 192 mg/kg. Následující roky došlo k poklesu obsahu mobilního hořčíku v půdě a poslední hodnota měřená v roce 2011 dosahovala pouze 111 mg/kg.

U kontroly 3 byl sledován obdobný průběh. Obsah hořčíku u kontroly 3 v roce 1996 dosahoval hodnoty 237 mg/kg. Poté se obsah hořčíku snižoval. Výjimku tvořil rok 2005, kdy došlo k mírnému zvýšení. Poslední rok měření, byla naměřena hodnota 93 mg/kg mobilního hořčíku v půdě. Zároveň se jednalo o nejnižší hodnotu.

Dle celkového hodnocení je možné určit následující průběh obsahu mobilního hořčíku v půdě u kontrolních variant. Při prvním odběru (1996) byl zjištěn nejvyšší obsah mobilního hořčíku. Následující rok (1999) došlo k výraznému snížení obsahu prvku v půdě. Poté se obsah hořčíku pohyboval přibližně na stejné úrovni až do konce pokusu (2011).

Graf č. 2 Obsah hořčíku v kontrolních variantách během pokusu



6.2.1.2 Stanoviště Hněvčeves

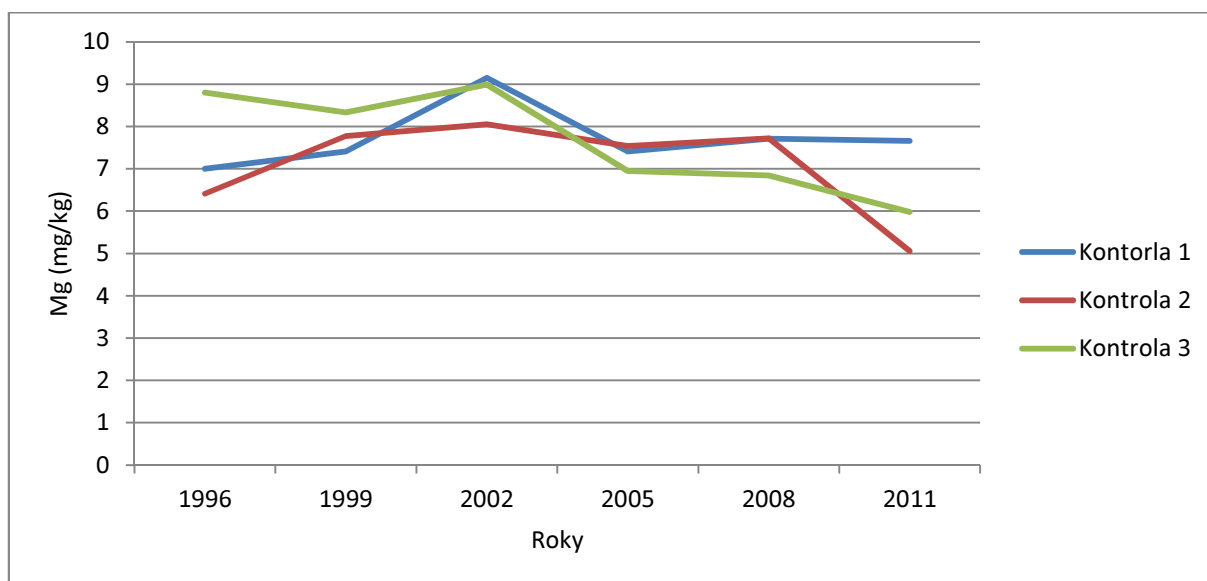
Graf č. 3 srovnává hodnoty vodorozpustného hořčíku. Měření probíhalo ve vzorcích ze stanoviště Hněvčeves. U kontroly č. 1 byla naměřena hodnota 7 mg/kg. Následně se obsah hořčíku zvyšoval až do roku 2002. V roce 2002 byla naměřena nejvyšší hodnota 9,15 mg/kg. Při posledním měření bylo stanoveno 7,66 mg/kg.

U kontroly 2 byl v roce 1996 naměřen obsah 6,41 mg/kg. Jako u kontroly 1 se hodnota zvyšovala až do měření, které proběhlo v roce 2002. V tomto roce byl zároveň naměřen nejvyšší obsah hořčíku v půdě s hodnotou 8,05. Poslední měření zaznamenalo hodnotu 5,06 mg/kg.

V roce 1996 byl u kontroly 3 stanoven obsah hořčíku na 8,8 mg/kg. V roce 2002 byla jako u předchozích kontrol naměřena nejvyšší hodnota, která činila 8,99 mg/kg. V následujících měřeních obsah hořčíku klesal až na hodnotu 5,9 mg/kg, která byla naměřena v roce 2011.

Celkové hodnocení nehnojených variant je následující. Obsah vodorozpustného hořčíku se pohyboval u všech tří kontrol v rozmezí 5,06-9,15 mg Mg/kg. V lokalitě Hněvčeves nelze určit přesný vývoj obsahu hořčíku, protože jeho obsah během celého pokusu kolísal.

Graf č. 3 Obsah hořčíku v kontrolních variantách během pokusu.



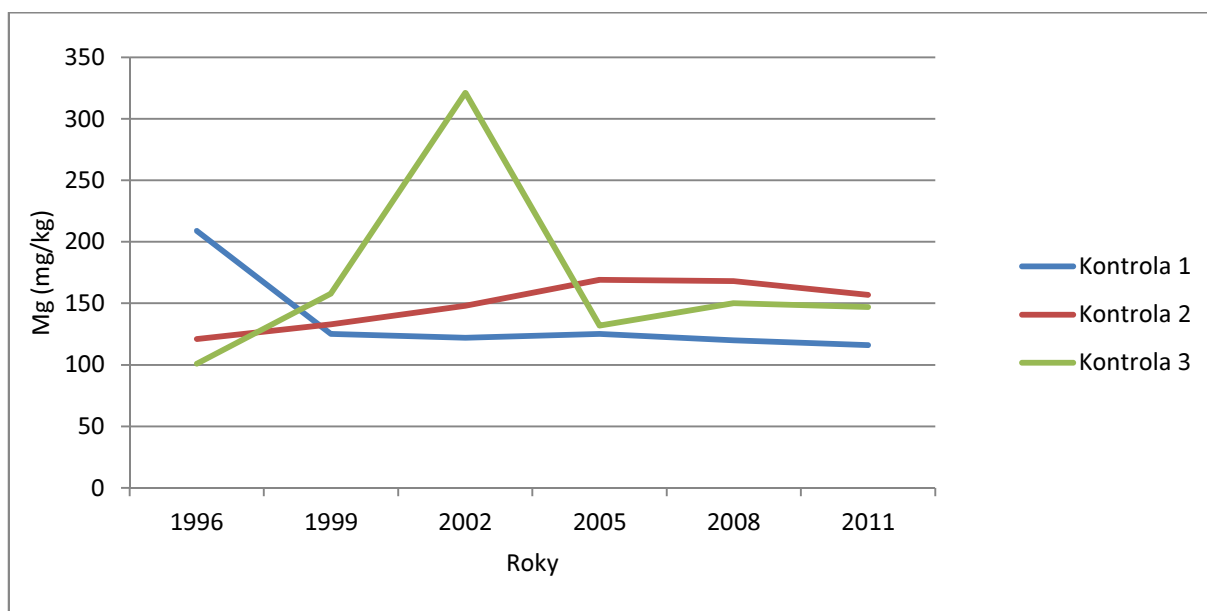
Následující graf č. 4 zobrazuje obsah mobilního hořčíku v oblasti Hněvčeves. U kontroly 1 bylo v roce 1996 stanoveno 209 mg Mg/kg. Jednalo se o nejvyšší hodnotu během celého pokusu, protože následujícím měření byl obsah mobilního hořčíku nižší. Při posledním stanovení v roce 2011 byl změřen obsah tohoto prvku 116 mg/kg.

Kontrola 2 obsahovala při prvním měření (1996) nejnižší hodnotu 121 mg/kg. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána v roce 2005. Obsah hořčíku v tomto roce byl 169 mg/kg.

Kontrola 3 obsahovala na začátku měření v roce 1996 101 mg/kg. V roce 2002 byla naměřena nejvyšší hodnota obsahu hořčíku 321 mg/kg. Následující rok došlo k významnému poklesu na 132 mg/kg. Poslední rok měření (2011) byl stanoven obsah 147 mg Mg/kg.

Hodnoty obsahu mobilního hořčíku u kontrolních variant se pohybovaly v rozmezí 101-321 mg Mg/kg půdy. Nelze určit jednoznačný průběh obsahu mobilního hořčíku v půdě, především proto, že hořčík u kontroly 1 klesal, naopak u kontroly 3 prudce stoupal, až do roku 2002 kdy dosáhl nejvyšší hodnoty a následně jeho obsah prudce klesal. Za příčinu výše uvedených výkyvů je možné považovat přirozenou variabilitu stanoviště, průběh počasí v daném ročníku, či odběr rostlinami na sledované kontrole. Další možností je, že odlehlé pozorování v roce 2002 bylo způsobeno chybou při odběru vzorku.

Graf č. 4 Obsah hořčíku v kontrolních variantách během pokusu



6.2.1.3 Stanoviště Suchdol

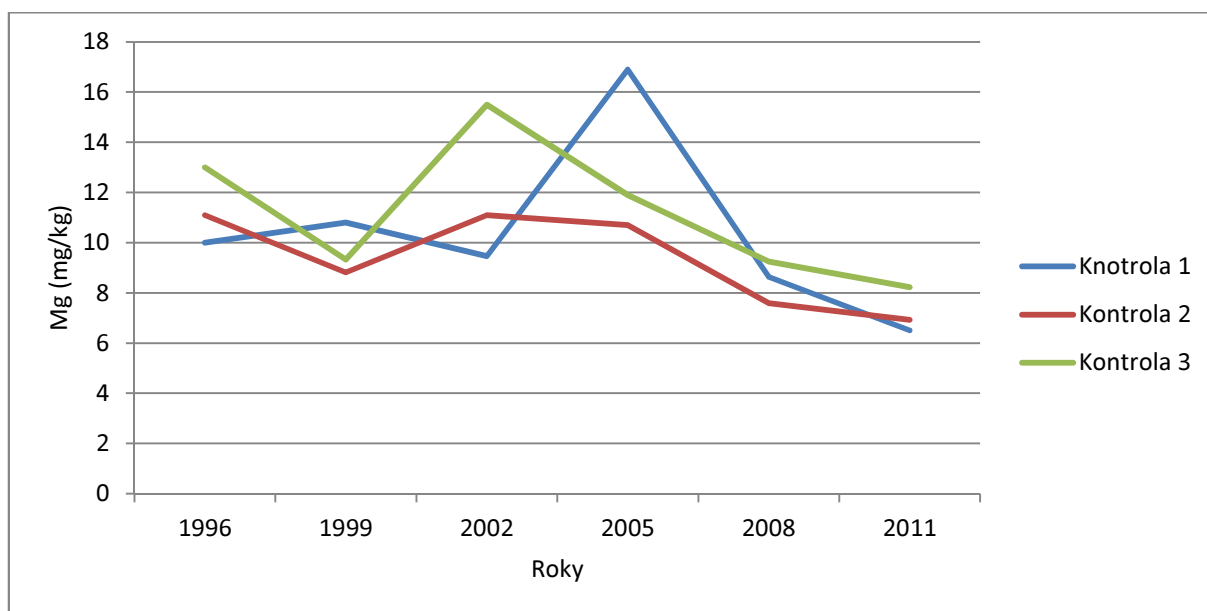
Graf č. 5 srovnává obsah vodorozpustného hořčíku na stanovišti Suchdol. Kontrola č. 1 obsahovala při prvním měření 10 mg/kg. Nejvyšší obsah byl stanoven v roce 2005, kdy hodnota vodorozpustného hořčíku dosahovala 16,9 mg/kg. Následující měření obsah hořčíku klesal, až na hodnotu 6,5 mg/kg, která byla naměřena v roce 2011.

Na počátku obsahovala druhá varianta 11,1 mg/kg hořčíku. Na konci měření, v roce 2011, byl obsah hořčíku 6,92 mg/kg.

Při prvním měření bylo u třetí kontroly stanoveno 13 mg Mg/kg. Nejvyšší hodnota byla naměřena v roce 2002, kdy obsah hořčíku byl 15,5 mg/kg. Z grafu je patrné, že následující roky hodnota klesala až na 8,23 mg/kg (2011).

Jednoznačný celkový průběh obsahu vodorozpustného hořčíku v půdě nelze určit ani na stanovišti Suchdol. Obsah hořčíku opět značně kolísal a u všech kontrolních variant dosahoval hodnot v rozpětí 6,92-16,9 mg Mg/kg půdy. Jak je výše popsáno, je možné, že tyto výkyvy byly způsobeny počasím, variabilitou stanoviště či rozdílným odběrem hořčíku rostlinami.

Graf č. 5 Obsah hořčíku v kontrolních variantách během pokusu



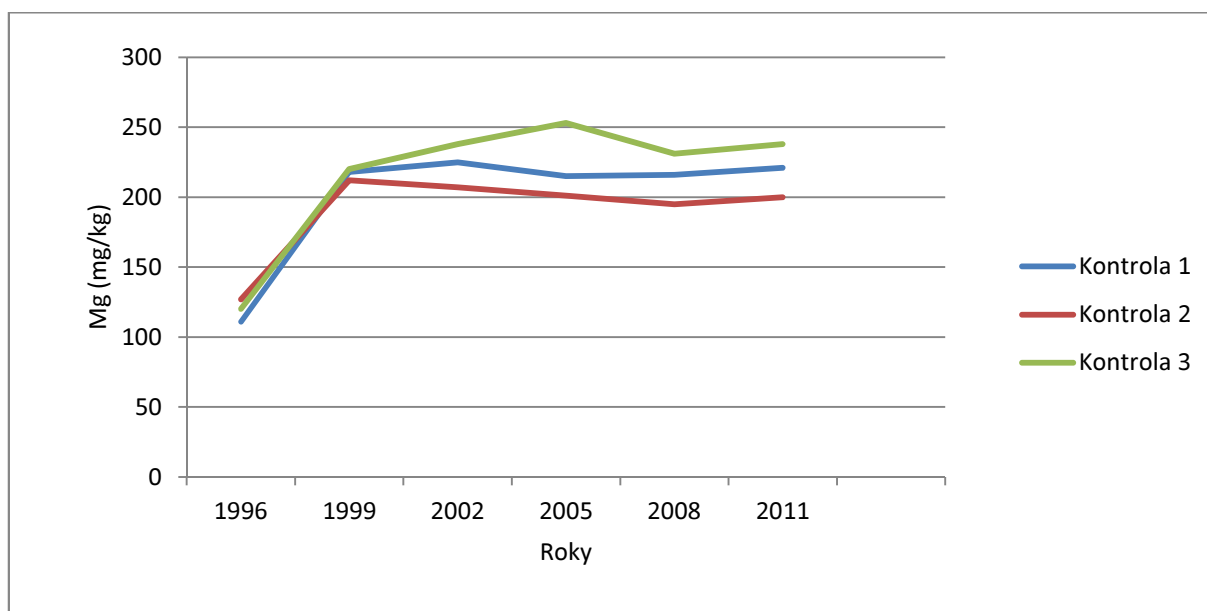
Graf č. 6 porovnává obsah mobilního hořčíku, který byl stanoven pomocí Mehlicha 3 na stanovišti Suchdol. Kontrola 1 měla na začátku měření v roce 1996 nejnížší hodnotu obsahu hořčíku, který činil 111 mg/kg. Následující rok měření dosáhl 218 mg/kg. U všech dalších měření se hodnota pohybovala vždy nad 200 mg/kg, kdy poslední naměřená hodnota v roce 2011 dosahovala 221 mg/kg.

U kontroly 2 byl průběh obsahu hořčíku obdobný. První měření v roce 1996 obsahovalo nejnížší množství hořčíku 127 mg/kg. Následující měření se pohybovala okolo 200 mg/kg a výjimkou měření v roce 2008, kdy bylo stanoveno 195 mg Mg/kg. Poslední měření vykazovalo 200 mg Mg/kg (2011).

Z grafu je patrné, že obdobný průběh byl stanoven i u kontroly 3. Při prvním měření (1996) byl obsah hořčíku 120 mg/kg. Následující měření přesahovala vždy hodnotu 200 mg/kg. Poslední rok měření bylo stanoveno 238 mg/kg mobilního hořčíku.

Obsah mobilního hořčíku lze dle celkového hodnocení na stanovišti Suchdol vyhodnotit přesněji. Nejnížší obsah byl zaznamenán v roce 1996, následující měření (1999) došlo k jeho zvýšení a až do konce pokusu (2011) se obsah mobilního hořčíku pohyboval kolem hodnoty 200 mg/kg hořčíku. Celkové průměry ze všech nehojených variant se pohybovaly od 120 mg/kg do 253 mg/kg hořčíku.

Graf č. 6 Obsah hořčíku v kontrolních variantách během pokusu



6.1.2 Změny obsahu vodorozpustného a mobilního hořčíku podle variant

Následující kapitola hodnotí vliv jednotlivých variant hnojení na změny obsahu vodorozpustného a mobilního hořčíku v půdních vzorcích. Hnojení polních plodin probíhalo pomocí hnoje, čistírenského kalu a minerálních hnojiv. Varianty hnojení jsou zde srovnávány s kontrolní variantou, která nebyla hnojena. Na stanovištích byly pěstovány brambory, pšenice a ječmen. Pro grafické znázornění byl použit průměrný obsah hořčíku, který se vyskytoval v půdních vzorcích vždy po sklizni těchto tří plodin.

6.1.2.1 Stanoviště Humpolec

Graf č. 7 srovnává vliv jednotlivých variant hnojení na obsah vodorozpustného hořčíku. Ve vzorcích z roku 1996 dosahoval hořčík v půdě hodnoty 7,84 mg/kg. Nejvyšší hodnota byla stanovena v roce 2002, kdy dosáhla 10,5 mg Mg/kg. Následující měření byly již nižší a v posledním roce měření (2011) byl obsah hořčíku 8,30 mg/kg. Průměrný obsah hořčíku u varianty hnojení kaly byl 9,10 mg/kg.

U varianty hnojené hnojem byl zjištěn průměrný obsah vodorozpustného hořčíku za celou dobu pokusu, který činil 10,9 mg/kg. Nejvyšší hodnoty dosáhla varianta hnojená hnojem v roce 2005 s obsahem 14,3 mg/kg.

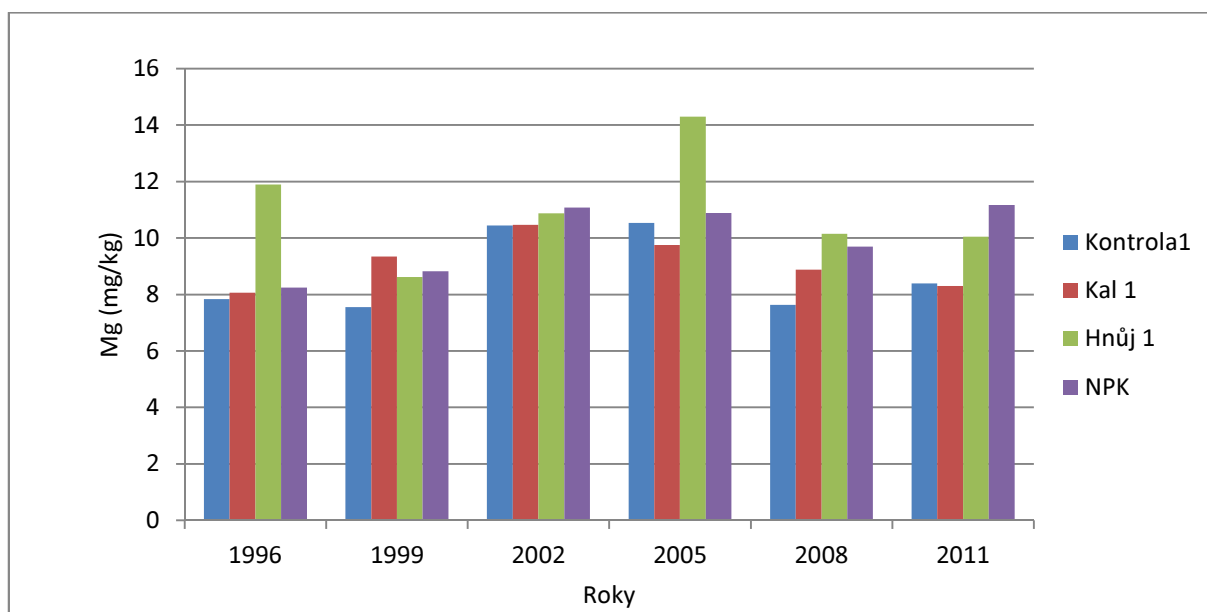
Varianta, která byla hnojena NPK hnojivem dosáhla průměrné hodnoty 8,31 mg/kg. Z hnojených variant je to nejnižší průměrný obsah hořčíku za celý pokus na tomto stanovišti.

První naměřená hodnota byla 8,24 mg/kg. Poslední měření v roce 2011 obsahovalo 11,2 mg/kg, což byla zároveň nejvyšší hodnota obsahu vodorozpustného hořčíku u této varianty.

Kontrolní varianta obsahovala v průměru 8,73 mg Mg/kg.

Z výše uvedeného vyplývá, že na obsah vodorozpustného hořčíku v půdě měl nejlepší vliv hnůj a následně čistírenské kaly a to i přesto, že v čistírenských kalech byl dodán vyšší obsah hořčíku do půdy.

Graf č. 7 Obsah vodorozpustného hořčíku ve variantách během pokusu (Humpolec)



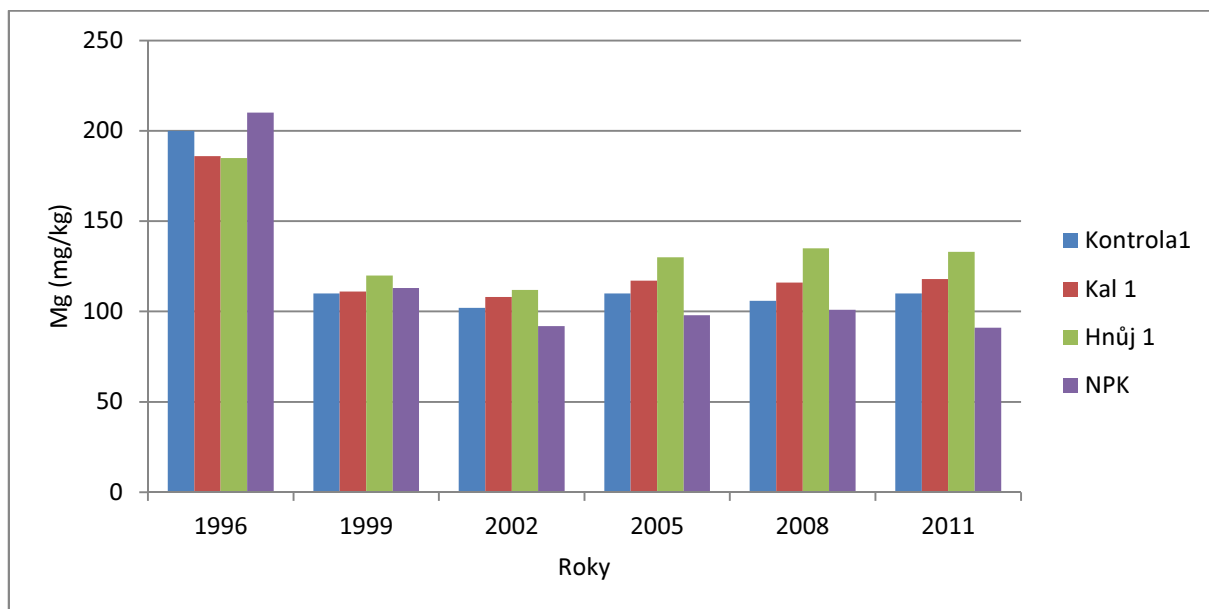
Graf č. 8 zobrazuje srovnání jednotlivých variant pro mobilní hořčík v půdě. Při prvním měření u varianty hnojení čistírenskými kaly byla naměřena hodnota 186 mg/kg. Následně se obsah mobilního hořčíku snižoval až do posledního měření, kdy bylo stanoveno 118 mg/kg. Průměrný obsah mobilního hořčíku za celý pokus byl 126 mg/kg.

Varianta hnojená hnojem dosahovala opět nejvyššího průměrného množství hořčíku, které činilo 135 mg/kg. Je možné konstatovat, že hnojení hnojem mělo ze všech variant nejpriznivější vliv na obsah mobilního hořčíku v půdě.

Naopak hnojení minerálním hnojivem mělo nejnižší průměrný obsah hořčíku a to i oproti nehnojené variantě. Průměr dosahoval 117 mg/kg. Nehnojená kontrola obsahovala 123 mg/kg. Nižší průměrný obsah hořčíku v půdě u varianty NPK byl pravděpodobně způsoben tím, že ve srovnání s kontrolní variantou zde bylo během pokusů dosaženo výrazně vyšších výnosů, a tedy zřejmě i odběrů hořčíku rostlinami.

Z výše uvedeného je možné vyvodit závěr, že hnojení NPK má omezený vliv na obsah mobilního hořčíku v půdě a že zároveň nejvyšší vliv má hnojení hnojem. Dále je možné konstatovat, že vliv na mobilní obsah hořčíku mají i čistírenské kalý.

Graf č. 8 Obsah mobilního hořčíku ve variantách během pokusu (Humpolec)



6.1.2.2 Stanoviště Hněvčeves

Graf č. 9 zobrazuje srovnání variant pro stanoviště Hněvčeves a vodorozpustný hořčík. Varianta hnojená kalem obsahovala při prvním měření 7,38 mg/kg. Následně docházelo k postupnému zvyšování obsahu vodorozpustného hořčíku, až do roku 2005, kdy byla naměřena nejvyšší hodnota 10,1 mg/kg. Následující měření byla již nižší a při posledním měření byl stanoven obsah hořčíku 7,20 mg/kg. Průměrný obsah činí 8,51 mg Mg/kg.

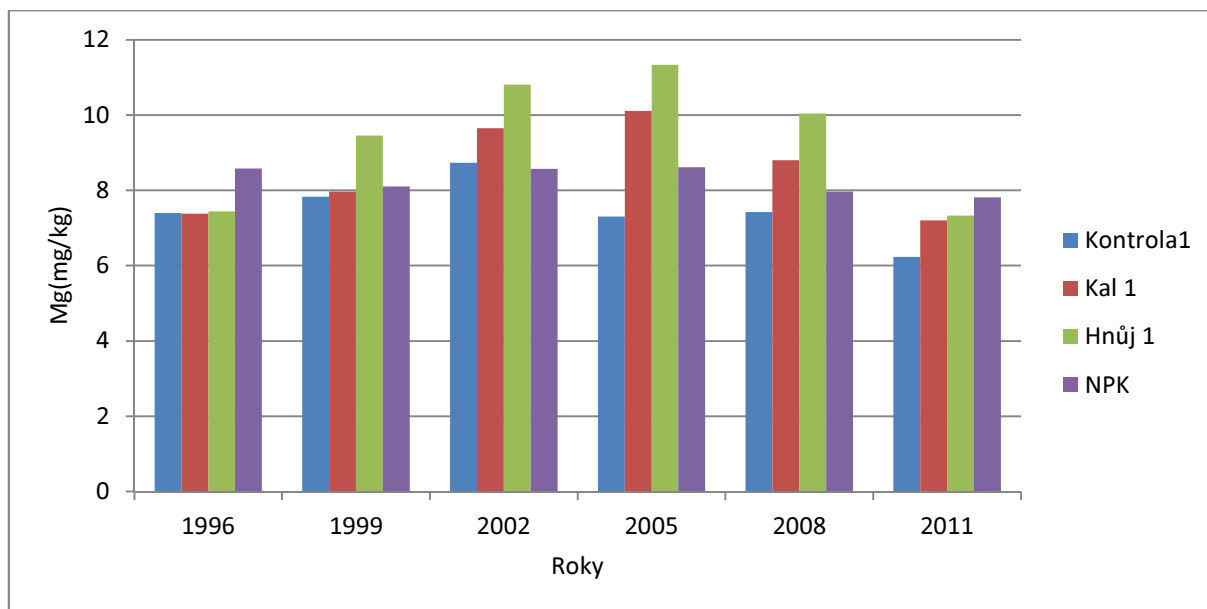
Hnojení hnojem opět dosahovalo nejvyššího průměrného obsahu hořčíku v půdě. Průměrný obsah byl 9,39 mg/kg. První měření (1996) dosahovalo 7,44 mg/kg a obsah hořčíku rostl, až do roku 2005, kdy dosáhl nejvyšší hodnoty 11,3 mg/kg. Následující roky došlo k jeho poklesu v půdě a v posledním měření byl stanoven obsah 7,33 mg/kg.

Hnojení minerálním hnojivem přineslo opět nejnižší průměr ze všech hnojených variant. Průměrný obsah byl 8,27 mg/kg. Při prvním měření bylo stanoveno 8,24 mg/kg. Poslední měření dosáhlo hodnoty 11,2 mg/kg.

Kontrolní (nehnojená) varianta obsahovala průměrně 8,73 mg/kg.

Z uvedeného vyplývá, že nejvyšší vliv na obsah hořčíku v půdě měla varianta hnojená hnojem. I hnojení čistírenskými kaly vykazovalo pozitivní výsledky. Varianta hnojení NPK měla minimální vliv na obsah vodorozpustného hořčíku.

Graf č. 9 Obsah vodorozpustného hořčíku ve variantách během pokusu (Hněvčeves)



Graf č. 10 znázorňuje varianty hnojení pro mobilní hořčík v půdě. Při prvním měření byl obsah hořčíku u varianty hnojení kalem 155 mg/kg. V roce 2005 dosáhl maxima s hodnotou 216 mg/kg. V následujícím měření už obsah hořčíku klesal a při posledním měření byl stanoven obsah 138 mg/kg. Průměrný obsah za celé období činil 157 mg Mg/kg.

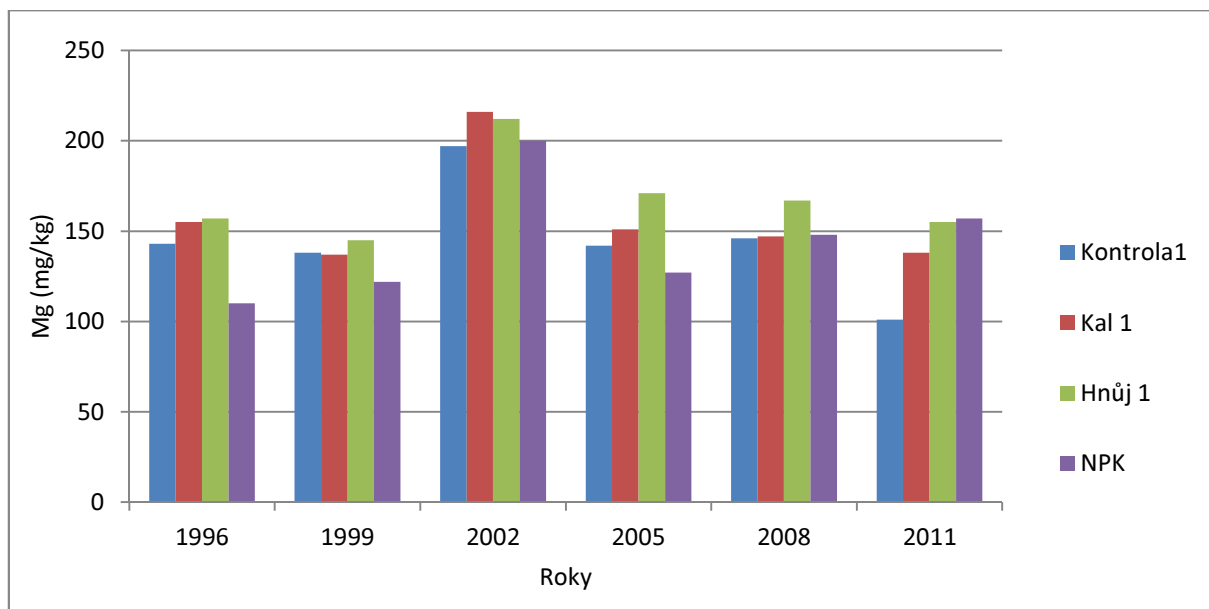
Varianta hnojená hnojem obsahovala při prvním měření 157 mg/kg. Maximálního množství bylo dosaženo v roce 2002 s hodnotou 212 mg/kg. Následně jako u varianty s hnojením čistírenskými kaly docházelo ke snižování obsahu mobilního hořčíku až na hodnotu 155 mg/kg, která byla naměřena v roce 2011. Průměrný obsah hořčíku činil 167 mg/kg.

Při prvním měření u varianty NPK byl obsah hořčíku 110mg/kg. Z grafu je patrné, že docházelo ke zvyšování obsahu hořčíku do roku 2002. V tomto roce byla naměřena nejvyšší hodnota 200 mg/kg. V roce 2005 došlo ke snížení na 127 mg/kg, ale v následujícím měření opět obsah hořčíku rostl, a při posledním měření bylo zaznamenáno 157 mg Mg/kg hořčíku. Průměrný obsah byl 144 mg Mg/kg.

Kontrolní varianta obsahovala průměrné množství 144 mg/kg hořčíku.

Nejpříznivější vliv na obsah hořčíku v půdě měla varianta hnojená hnojem, ovšem u hnojení kalem lze potvrdit pozitivní vliv na obsah hořčíku. Varianta NPK neměla zásadní vliv na obsah hořčíku v půdě.

Graf č. 10 Obsah mobilního hořčíku ve variantách během pokusu (Hněvčeves)



6.1.2.3 Stanoviště Suchdol

Graf č. 11 porovnává varianty pro vodorozpustný hořčík. Obsah hořčíku při prvním měření u varianty hnojené kalem byl 9,8 mg/kg. V následujících odběrech se obsah hořčíku zvyšoval, až do roku 2002, kdy dosáhl svého maxima 16,7 mg/kg. Poté docházelo k jeho postupnému snižování. Poslední vzorek z roku 2011 obsahoval 9,27 mg Mg/kg. Průměrný obsah hořčíku u varianty hnojené kalem byl 11,3 mg/kg.

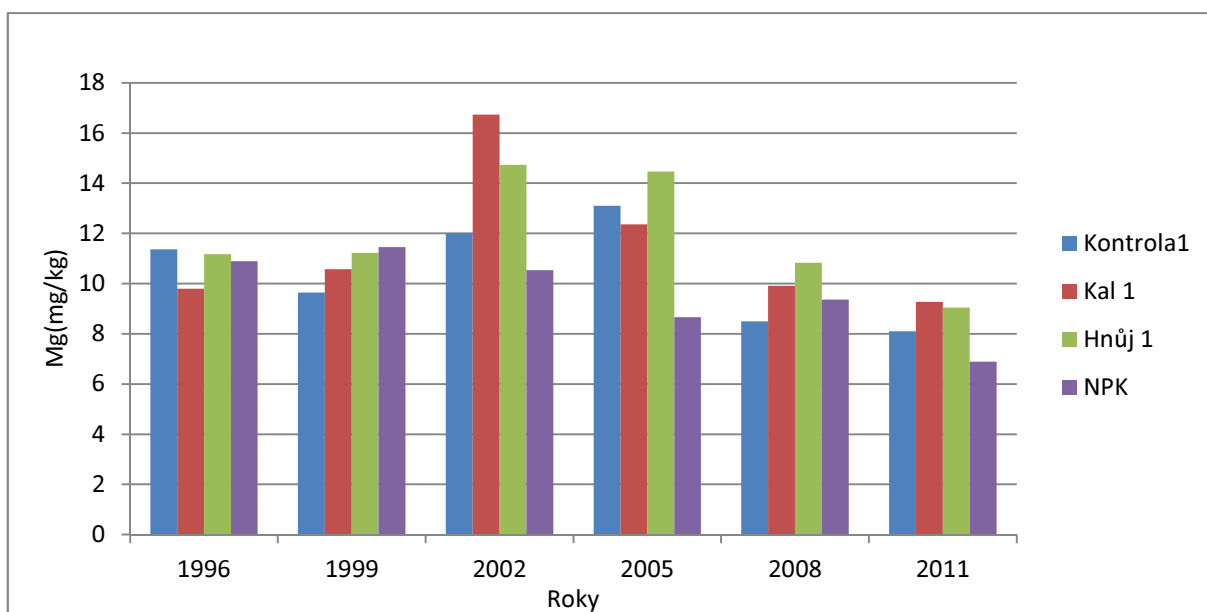
Varianta hnojená hnojem obsahovala při prvním oděru (1996) 11,2 mg/kg. Následně se hodnota obsahu vodorozpustného hořčíku zvyšovala až na hodnotu 14,7 mg Mg/kg, která byla naměřena v roce 2002. Poté se obsah hořčíku snižoval a poslední rok odběru dosáhl na hodnotu 9,05 mg/kg. Průměr za celý pokus činil 11,9 mg/kg.

Množství hořčíku stanovené při prvním odběru u varianty hnojené minerálním hnojivem bylo 10,9 mg/kg. Nejvyšší obsah byl zjištěn v roce následujícím (1999), který byl 11,5 mg/kg. Až do posledního měření obsah hořčíku postupně klesal. Poslední odběr obsahoval pouze 6,9 mg/kg hořčíku. Průměr byl 9,6 mg/kg.

Nehnojená varianta obsahovala při prvním měření 11,4 mg, poslední odběru bylo dosaženo hodnoty 8,1 mg Mg/kg. Obsah hořčíku kolísal během celého pokusu. Průměrná hodnota byla 10,5 mg/kg.

Z předchozího textu je patrné, že na obsah hořčíku v půdě má pozitivní vliv varianta, která je hnojena čistírenskými kaly zároveň s variantou, hnojenou hnojem. Minimální vliv na obsah hořčíku má hnojení NPK hnojivem.

Graf č. 11 Obsah vodorozpustného hořčíku ve variantách během pokusu (Suchdol)



Graf č. 12 srovnává jednotlivé varianty a jejich vliv na mobilní hořčík v půdě. U varianty hnojené kalem bylo stanoveno 119 mg/kg hořčíku při prvním odběru (1996). V následujících letech se obsah hořčíku zvyšoval až na 234 mg/kg (2011). Průměrný obsah byl 209 mg/kg.

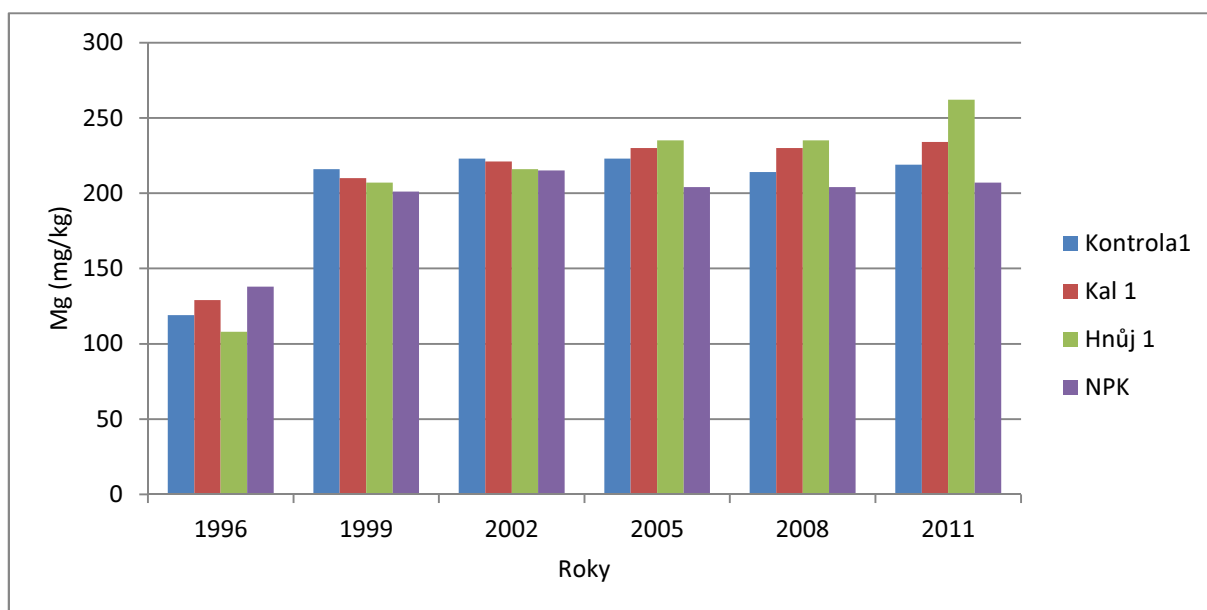
Varianta hnojená hnojem měla podobný průběh obsahu hořčíku. Při prvním měření byl obsah mobilního hořčíku 108 mg/kg a jeho obsah se zvyšoval. Při posledním měření byl stanoven obsah hořčíku 262 mg/kg. Průměrný obsah byl 210 mg/kg.

Hnojení pomocí NPK hnojiva zaznamenalo následující výsledky. První měření obsahovalo 138 mg Mg/kg. Nejvyšší hodnoty dosáhl obsah mobilního hořčíku v roce 2002, kdy jeho hodnota byla 215 mg/kg. Následující dvě měření (2003 a 2005) měla stejný obsah 204 mg Mg/kg a v roce 2011 bylo naměřeno 207 mg/kg hořčíku. Průměrná hodnota činila 194 mg Mg/kg.

Kontrolní varianta měla při prvním měření obsah hořčíku 119 mg/kg. Až do roku 2005 se jeho obsah zvyšoval až na hodnotu 223 mg/kg, která byla zjištěna v letech 2002 a 2005. Na konci pokusu bylo množství hořčíku 219 mg/kg. Průměrný obsah byl 202mg/kg.

Lze konstatovat, že nejpříznivěji na obsah hořčíku v půdě působilo hnojení hnojem. Čistírenské kaly měly menší efekt, ale stále pozitivní efekt. Hnojení minerálními hnojivy mělo negativní vliv na obsah mobilního hořčíku v půdě, jelikož naměřené hodnoty byly, až na výjimku prvního měření, nižší, než hodnoty u nehnojené (kontrolní) varianty.

Graf č. 12 Obsah mobilního hořčíku ve variantách během pokusu (Suchdol)



6.1.3 Změny obsahu vodorozpuštěného a mobilního hořčíku dle plodin

V následující kapitole je popsáno srovnání obsahu hořčíku u jednotlivých plodin. Vliv je hodnocen dle způsobu hnojení na průměru ze tří stanovišť. Všechny uvedené hodnoty jsou v mg/kg.

6.1.3.1 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 1999

V pokusu jsou brambory, pšenice a ječmen pěstovány v osevním sledu. Lze tedy předpokládat, že u varianty NPK a kontroly nebudou zaznamenány výrazné rozdíly mezi obsahy Mg u těchto plodin. Důvodem je každoroční aplikace minerálních hnojiv u varianty NPK a nehnojení kontrolní varianty. Naopak u variant hnojených organickými hnojivy lze očekávat výraznější změny v obsahu hořčíku u jednotlivých plodin z důvodu aplikace hnojení čistírenských kalů a hnoje pouze k bramborám. U brambor je tedy sledováno přímé působení

organických hnojiv (prvním rokem), u pšenice druhým rokem a u ječmene třetím rokem. Vzhledem k podobným trendům ve změnách obsahu vodorozpustného i mobilního Mg v závislosti na variantě hnojení a osevním postupu jsou vypočteny průměrné hodnoty ze tří sledovaných stanovišť.

Obsahy vodorozpustného hořčíku v roce 1999 jsou uvedeny v tabulce 8. Zde se potvrdil předpoklad, že se obsah Mg nebude u kontrolní varianty během osevního postupu výrazně měnit. Hodnoty zde dosahovaly rozmezí 7,73-8,79 mg Mg/kg půdy. Nižší hodnotu u pšenice lze přičíst jejím vyšším nárokům na hořčík ve srovnání s bramborami a ječmenem. Sláma obilovin byla z pole po sklizni odvezena, a proto nedošlo k návratu Mg tímto vedlejším produktem. Nať brambor byla naopak zaorána.

U varianty kal došlo ke zvýšení obsahu vodorozpustného Mg v druhém roce po aplikaci, tj. u pšenice. To je možné přičíst dlouhodobému uvolňování Mg z čistírenských kalů.

Varianta hnůj obsahovala u všech plodin průměrné hodnoty od 9,12-10,8 mg Mg/kg. Nejvyšší obsah vodorozpustného hořčíku byl zaznamenán u ječmene.

Průměrné obsahy hořčíku u varianty NPK u všech plodin byly v rozmezí 8,34-11,0 mg Mg/kg. Ječmen obsahoval opět nejvyšší obsah hořčíku, což by mohlo být způsobeno tím, že ječmen má nižší nároky na hořčík. Nižší obsah hořčíku u brambor byl pravděpodobně způsoben variabilitou stanoviště.

Tab. 8 Obsah vodorozpustného hořčíku (rok 1999); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	8,50	7,73	8,79
Kal	8,96	9,94	8,99
Hnůj	9,15	9,12	10,8
NPK	8,34	9,02	11,0

Obsahy mobilního hořčíku v roce 1999 jsou uvedeny v tabulce č. 9. I u obsahu mobilního hořčíku se potvrdil předpoklad, že se jeho obsah nebude výrazně měnit (kontrolní varianta) během osevního postupu. Hodnoty zde dosahovaly rozmezí 150-161 mg Mg/kg. Nejvyšší hodnota byla stanovena u ječmene.

Varianta kal obsahovala u všech plodin průměrné hodnoty mobilního hořčíku od 137-162 mg/kg. Po bramborách došlo ke snížení obsahu hořčíku v půdě ze 152 na 137 mg Mg/kg. U třetí plodiny osevního postupu, tedy ječmene, naopak ke zvýšení.

U varianty hnůj bylo zjištěno, že u brambor a ječmene dosahoval mobilní hořčík nejvyšších hodnot ze všech variant hnojení. Pouze u pšenice byl zjištěn nižší obsah. Je celkem možné, že nižší obsah byl způsoben vyššími nároky pšenice na hořčík. Průměrné hodnoty dosahovaly 147-169 mg/kg hořčíku.

Varianta NPK obsahovala u všech plodin průměrné hodnoty mobilního hořčíku 131-155 mg Mg/kg s tím, že nejnižší obsah byl zaznamenán opět u pšenice. Po sklizni brambor a ječmene byly obsahy mobilního Mg v půdě téměř shodné.

Tab. 9 Obsah mobilního hořčíku (rok 1999); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	154	150	161
Kal	152	137	162
Hnůj	156	147	169
NPK	150	131	155

6.1.3.2 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 2002

Obsahy vodorozpustného hořčíku v roce 2002 jsou uvedeny v tabulce č. 10. V kontrolní variantě byl potvrzen předpoklad, že se obsahy hořčíku nebudou u jednotlivých plodin výrazně lišit. Průměrné hodnoty se pohybovaly v úzkém rozmezí 10,2-10,6 mg Mg/kg. Nejnižší obsah hořčíku byl zjištěn u pšenice, nejvyšší u brambor.

Varianta kal u všech plodin obsahovala průměrné množství 9,22-16,7 mg Mg/kg. Výrazné zvýšení obsahu hořčíku bylo zaznamenáno u ječmene.

Varianta hnojená hnojem obsahovala průměrné množství hořčíku u všech plodin v rozmezí 11,3-12,9 mg Mg/kg. Nejvyšší množství hořčíku bylo stanoveno opět u ječmene.

Průměrné hodnoty u varianty NPK se u všech plodin se pohybovaly v rozmezí 8,61-10,3 mg Mg/kg. V porovnání s kontrolní variantou bylo zjištěno, že se obsahy vodorozpustného hořčíku mírně zvýšily u brambor a ječmene. U pšenice byl naopak pozorován pokles, což by mohlo být způsobeno vyššími nároky této plodiny na obsah hořčíku, které se potvrdily i u ostatních variant hnojení.

Tab. 10 Obsah vodorozpustného hořčíku (rok 2002); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	10,6	10,2	10,5
Kal	10,9	9,22	16,7
Hnůj	12,2	11,3	12,9
NPK	11,3	8,61	10,3

Obsahy mobilního hořčíku v roce 2002 jsou uvedeny v tabulce č. 11. U kontrolní varianty byly zjištěny průměrné hodnoty v rozmezí 150-219 mg Mg/kg u všech plodin. Nejvyšší obsah byl pozorován u ječmene (219 mg Mg/kg). Obsah hořčíku u brambor a pšenice byl téměř shodný. Bylo předpokládáno, že se hodnoty u osevního postupu u kontrolní varianty nebudou výrazně lišit, ovšem dle získaných hodnot je možné pozorovat rozdíly způsobené zřejmě nižší potřebou hořčíku, přirozenou variabilitou stanoviště, popřípadě vlivu jiných faktorů.

Varianta kal obsahovala průměrné hodnoty u všech plodin od 151-216 mg Mg/kg, přičemž během osevního postupu docházelo k jeho zvýšení. To bylo pravděpodobně způsobeno následným postupným uvolňováním hořčíku z čistírenských kalů do přístupné formy.

Varianta hnojená hnojem zaznamenala průměrné obsahy mobilního hořčíku u všech plodin v rozpětí 158-213 mg Mg/kg. Nejvyšší obsah byl zjištěn u ječmene. Nejnižší opět u pšenice.

U varianty hnojené minerálním hnojivem byly zjištěny průměrné obsahy hořčíku u všech plodin v rozmezí od 138-208 mg Mg/kg. Bylo předpokladem, že se hodnoty obsahu hořčíku nebudou výrazně lišit, ovšem u hnojení minerálním hnojivem nebyl tento předpoklad v roce 2002 potvrzen. Nejvyšší obsah hořčíku byl zjištěn u ječmene a nejnižší u pšenice.

Tab. 11 Obsah mobilního hořčíku (rok 2002); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	153	150	219
Kal	151	179	216
Hnůj	170	158	213
NPK	161	138	208

6.1.3.3 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 2005

Obsahy vodorozpustného hořčíku v roce 2005 jsou uvedeny v tabulce č. 12. Kontrolní varianta obsahovala u všech plodin průměrné hodnoty od 8,65-13,3 mg Mg/kg. Nejvyšší obsah vodorozpustného hořčíku byl u brambor a nejnižší u pšenice.

U varianty hnojené kalem byl zaznamenán mírný nárůst obsahu hořčíku u pšenice a ječmene. Naopak u brambor byl stanoven obsah vodorozpustného hořčíku nižší v porovnání s kontrolní variantou. Je možné domnívat se, že snížení obsahu hořčíku u brambor bylo způsobeno variabilitou prostředí, popřípadě se hořčík nachází v čistírenských kalech ve formě, která je špatně přístupná pro tuto plodinu. Průměrné hodnoty u všech plodin činily 10,6-11,5 mg Mg/kg, to znamená, že se jednalo o velmi vyrovnané obsahy a termín aplikace kalu tedy nezpůsobil výraznou změnu během osevního postupu.

Varianta hnojená hnojem obsahovala u všech plodin nejvyšší obsah vodorozpustného hořčíku ze všech variant. Průměrné hodnoty u všech plodin byly od 11,3-16,6 mg Mg/kg. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny u ječmene, nejnižší opět u pšenice.

U varianty hnojené NPK se potvrdil předpoklad, že se hodnota nebude během pokusu výrazně lišit. Průměrné hodnoty u všech plodin byly 9-9,63 mg Mg/kg.

Tab. 12 Obsah vodorozpustného hořčíku (rok 2005); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	13,3	8,65	9,01
Kal	10,6	10,5	11,5
Hnůj	15,4	11,3	16,6
NPK	9,63	9,00	9,54

Obsahy mobilního hořčíku v roce 2005 jsou uvedeny v tabulce č. 13. Z tabulky je patrné, že se opět potvrdila domněnka, že se obsahy hořčíku u kontrolní varianty nebudou během osevního postupu výrazně měnit. Průměrné obsahy u všech plodin byly v rozmezí od 153-165 mg Mg/kg.

U varianty kal došlo v porovnání s kontrolou k mírnému zvýšení obsahu hořčíku. Průměrné obsahy u všech plodin se pohybovaly mezi 154-174 mg Mg/kg. Nejvyšší obsah mobilního hořčíku byl stanoven u pšenice a nejnižší naopak u brambor.

Varianta hnojená hnojem vykazovala u všech plodin nejvyšší průměrné obsahy mobilního hořčíku. Hodnoty dosahovaly v úzkém rozmezí 172-186 mg Mg/kg. Nejvyšší hodnota byla stanovena u ječmene.

U varianty hnojené minerálním hnojivem došlo taktéž k potvrzení hypotézy, že hodnoty obsahu hořčíku nebudou výrazně kolísat. U všech plodin byly stanoveny průměrné obsahy hořčíku v rozmezí 136-144 mg Mg/kg.

Tab. 13 Obsah mobilního hořčíku (rok 2005); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	153	157	165
Kal	154	174	170
Hnůj	179	172	186
NPK	141	136	144

6.1.3.4 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 2008

Obsahy vodorozpustného hořčíku v roce 2008 jsou uvedeny v tabulce č. 14. U kontrolní varianty byly obsahy vodorozpustného hořčíku velmi podobné, čímž se opět potvrdil předpoklad, že se hodnoty nebudou od sebe výrazně lišit. Obsahy vodorozpustného hořčíku byly v průměru 7,73-8,00 mg Mg/kg.

Průměrné hodnoty u všech plodin se u varianty hnojené kalem pohybovaly mezi 8,45-9,26 mg Mg/kg. V porovnání s kontrolou došlo u všech plodin ke zvýšení obsahu vodorozpustného hořčíku.

Varianta hnojená hnojem obsahovala opět nejvyšší průměrné hodnoty u všech plodin. Bylo stanoveno 9,36-11,7 mg Mg/kg. Nejvyšší hodnota byla stanovena u ječmene, nejnižší u pšenice.

Hnojení NPK v tomto roce nepotvrdilo domněnku, že se obsahy hořčíku nebudou výrazně lišit. Hodnoty zde dosahovaly rozmezí 7,15-11,0 mg Mg/kg. V porovnání s kontrolní variantou působilo hnojení tímto hnojivem pozitivně především u ječmene.

Tab. 14 Obsah vodorozpustného hořčíku (rok 2008); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	8,00	7,73	7,83
Kal	9,26	8,45	9,89
Hnůj	9,95	9,36	11,7
NPK	8,90	7,15	11,0

Obsahy mobilního hořčíku v roce 2008 jsou uvedeny v tabulce č. 15. V roce 2008 se opět potvrdil předpoklad, že se obsah hořčíku nebude u kontrolní varianty během osevního postupu výrazně měnit. Hodnoty zde dosahovaly rozmezí 153-160 mg Mg/kg půdy.

Hodnoty obsahu hořčíku se také výrazně neměnily u varianty hnojené kalem. Průměrné hodnoty zde dosahovaly rozmezí 163-167 mg Mg/kg půdy. V porovnání s kontrolou nebyly rovněž zaznamenány výrazné rozdíly v obsahu Mg v půdě.

Varianta hnojená hnojem dosahovala hodnot 166-187 mg Mg/kg. Nejvyšší obsahy byly zaznamenány u obou obilovin a nejnižší naopak u brambor.

Varianta NPK obsahovala u všech plodin průměrné hodnoty hořčíku v následujícím rozmezí 139-163 mg Mg/kg.

Tab. 15 Obsah mobilního hořčíku (rok 2008); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	153	160	160
Kal	167	166	163
Hnůj	166	187	186
NPK	139	161	163

6.1.3.5 Obsah hořčíku v půdě v závislosti na hnojení a osevním postupu – rok 2011

Obsahy vodorozpustného hořčíku v roce 2011 jsou uvedeny v tabulce č. 16. Obsah vodorozpustného hořčíku se u kontrolní varianty vyskytoval v rozmezí 6,46-8,10 mg Mg/kg. Opět došlo k potvrzení předpokladu, že se obsah prvku nebude výrazně lišit.

Varianta hnojená kalem vykazovala průměrné hodnoty obsahu hořčíku v rozpětí 7,74-9,02 mg Mg/kg půdy. Nejvyšší obsah hořčíku byl zaznamenán u brambor.

Varianta hnojená hnojem vykazovala průměrné hodnoty v rozmezí od 7,78 mg Mg/kg do 9,61 mg Mg/kg. Půdy po sklizni brambor obsahovala nejvyšší obsah vodorozpustného hořčíku.

Hnojení minerálním hnojivem vykazovalo průměrné hodnoty 7,78-10,3 mg Mg/kg. V porovnání s kontrolou bylo zjištěno, že půda po bramborách hnojených N, P a K – v minerální formě, obsahovaly nejvyšší obsah vodorozpustného hořčíku.

Tab. 16 Obsah vodorozpustného hořčíku (rok 2011); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	7,24	6,46	8,10
Kal	9,02	7,74	8,05
Hnůj	9,61	7,78	9,05
NPK	10,3	7,80	7,78

Obsahy mobilního hořčíku v roce 2011 jsou uvedeny v tabulce č. 17. Průměrné hodnoty měřené u kontrolní varianty nevykazovaly výrazné rozdíly. Došlo k potvrzení předpokladu, že se hodnoty lišit nebudou. Průměr u všech plodin se pohyboval v rozmezí od 155 mg Mg/kg do 159 mg Mg/kg.

Výrazné rozdíly v průměrných hodnotách nebyly pozorovány ani u varianty kal. Hodnoty zde dosahovaly rozpětí 156-169 mg Mg/kg půdy.

Varianta hnojená hnojem již vykazovala vyšší rozpětí průměrných hodnot. Hodnoty byly stanoveny od 170 mg Mg/kg do 201 mg Mg/kg. Nejvyšší obsah mobilního hořčíku byl zjištěn u ječmene. Potřeba hořčíku je u této plodiny menší než u pšenice. Je možné, že obsah hořčíku u ječmene byl nejvyšší především z tohoto důvodu.

Hnojení minerálními hnojivy vykazovalo u plodin následující průměrné hodnoty: 143-164 mg Mg/kg. V porovnání s kontrolní (nehnojenou) variantou byl zjištěn pokles mobilního hořčíku u brambor a pšenice, naopak mírný nárůst byl pozorován u ječmene. V průběhu osevního postupu zde docházelo k postupnému zvyšování obsahu hořčíku v půdě.

Tab. 17 Obsah mobilního hořčíku (rok 2011); průměr ze tří stanovišť

Varianta	Brambory	Pšenice	Ječmen
Kontrola	155	156	159
Kal	165	156	169
Hnůj	179	170	201
NPK	143	150	164

7 Diskuze

Téma diplomové práce je zaměřeno na obsah vodorozpustného a mobilního hořčíku na stanovištích Humpolec, Hněvčeves a Suchdol. Práce se zabývá změnami jeho obsahu po aplikaci čistírenského kalu, hnoje a minerálních hnojiv (NPK) ve srovnání s nehnojenou variantou.

Během celého pokusu dosahovaly hodnoty obsahu vodorozpustného hořčíku na nehnojeném stanovišti Humpolec následujících hodnot: 6,63-15,7 mg Mg/kg, na stanovišti Hněvčeves 5,06-9,15 mg Mg/kg a na stanovišti Suchdol 6,5-16,9 mg Mg/kg půdy. Dle Vaňka et al. (2012) je stanoven průměrný obsah hořčíku v rozmezí 0,4 – 0,6%. Po přepočtu činí jeho obsah v průměru 4000 – 6000 mg Mg/kg. Přístupný hořčík představuje z celkového v závislosti na půdních vlastnostech většinou přibližně 5% a vodorozpustný zpravidla méně než 0,5% (Blume et al. 2002). To znamená, že obsah přístupného Mg přepočtený a mg/kg tvoří 200 – 300 mg/kg a z toho vodorozpustný pouze desetinu. Obsah hořčíku je variabilní a jeho množství je závislé především na mateční hornině, pH a samozřejmě na dalších vlivech (Troeh et Thompson, 2005). V pokusu bylo stanoveno nižší množství vodorozpustného Mg v rozmezí 5,06-16,9 mg Mg/kg, kde rozdíly v obsahu byly pravděpodobně způsobené variabilitou stanovišť.

Za celý pokus bylo zjištěno, že obsah mobilního hořčíku na nehnojených variantách stanoviště Humpolec dosahoval hodnot 93-237 mg Mg/kg, na stanovišti Hněvčeves byl zjištěn obsah mobilního hořčíku v rozmezí 101-321 mg Mg/kg. Na stanovišti Suchdol byl stanoven obsah mobilního hořčíku za celou dobu pokusu v rozmezí 111-253 mg Mg/kg. Jak uvádí Ministerstvo zemědělství, průměrný celorepublikový průměr mobilního hořčíku je stanoven na hodnotu 175 mg Mg/kg půdy (ÚKZÚZ). V našem pokusu se pohyboval obsah mobilního hořčíku v rozmezí 93-321 mg Mg/kg. Jak uvádí Gowariker et al. (2009) je obsah hořčíku závislý především na geologických a pedologických podmínkách stanoviště, kde pokus probíhá. Jak dále uvádí Richter et Hlušek (1996), je možné za další vlivy ovlivňující výskyt hořčíku v půdě považovat průběh počasí či rozdílný odběr rostlinami na zemědělské půdě. Z výše uvedeného důvodu je pravděpodobné, že obsah hořčíku v půdě může být značně variabilní.

Varianta hnojená kalem přinesla u obsahu vodorozpustného hořčíku následující výsledky. Jeho obsah se na stanovišti Humpolec pohyboval v rozpětí 5,78-13,2 mg Mg/kg, na stanovišti Hněvčeves 5,62-11,9 mg Mg/kg a na stanovišti Suchdol 8,16-27,4 mg Mg/kg. Při hnojení kalem byly zaznamenány pozitivní výsledky na vliv hořčíku v půdě. Pozitivní vliv

hnojení čistírenskými kaly je uváděn i v práci Hýblerové (2005). Jak uvádí Kubík (2009), považuje se využití upravených čistírenských kalů na zemědělské půdě za nejrozšířenější způsob jejich využití. Pokud ovšem dochází k aplikaci kalů na zemědělskou půdu, je potřeba kontrolovat obsahy rizikových prvků v půdě. Jak uvádí Kubík (2009), mezi základní hlídané prvky je možné zařadit As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn. Pokud se ovšem kal správným způsobem zpracuje a stabilizuje se, je uváděn jako vhodné hnojivo nejen z hlediska hořčíku, ale i dalších prvků.

Varianta hnojená kalem obsahovala mobilní hořčík v půdě v následujících rozmezích: na stanovišti Humpolec 101-135 mg Mg/kg, na stanovišti Hněvčeves v rozpětí 107-307 mg Mg/kg a na stanovišti Suchdol 192-255 mg Mg/kg. Hnojení kalem bylo dosaženo pozitivních výsledků, ovšem hodnoty hořčíku byly nižší než u varianty hnojené hnojem. Potvrdil se tedy předpoklad, že hnojení kalem bude mít vliv na obsah hořčíku v půdě. Hnojení kalem přineslo podobné výsledky jako u práce Kulhánka et al. (2014), kteří sledovali změny obsahu mobilního hořčíku pouze na stanovištích Humpolec a Suchdol. Obsah hořčíku v půdě se po aplikaci kalů zvyšoval.

Celková dávka hořčíku, která byla aplikována na zemědělskou půdu ve formě kalů, byla v porovnání s hnojem vyšší. I přesto vykazovala varianta hnojená hnojem vyšší obsah hořčíku v půdě, než varianta hnojená kalem. Tento jev se vyskytoval na všech stanovištích.

Mírné odchylky mezi obsahem hořčíku v půdě po aplikaci kalu či hnoje tvořily pouze některé plodiny. Většinou však převažoval vyšší obsah hořčíku u varianty hnojené hnojem. U konkrétní plodiny v konkrétním roce je pak možné přisuzovat odchylky variabilitě stanoviště, průběhu počasí v daném roce, či rozdílnému odběru rostlinami. Dále je možné domnívat se, že se hořčík v čistírenských kálech vyskytoval ve formě, která je málo dostupná, popř. nedostupná pro rostliny a tedy použitými metodami neextrahovatelná.

Hnojení hnojem přineslo u obsahu vodorozpustného hořčíku následující výsledky. Na stanovišti Humpolec byl jeho obsah od 7,36 mg Mg/kg do 19 mg Mg/kg, na Hněvčevsi bylo stanoveno rozmezí 5,51-13,9 mg Mg/kg a na Suchdole bylo zjištěno rozmezí 7,69-20,6 mg Mg/kg. Hnojení hnojem mělo ve srovnání s ostatními hnojivy nejprůzračivější vliv na obsah vodorozpustného hořčíku v půdě ze všech variant. Pozitivní vliv na výnos plodin, půdní vlastnosti i obsah živin v půdě při aplikaci statkového hnojiva uvádí i Barzegar et al. (2002).

Obsah mobilního hořčíku na stanovišti Humpolec (hnojení hnojem) činil 93-154 mg Mg/kg, na stanovišti Hněvčeves 117-195 mg Mg/kg a na stanovišti Suchdol 177-311 mg Mg/kg. Obsah mobilního hořčíku vykazoval opět nejvyšší hodnoty ze všech variant.

Jak uvádí Kulhánek et al. (2014) ve své práci, nejpříznivější vliv na hnojení měl taktéž hnůj, kdy došlo ke zvýšení obsahu hořčíku o 30% v porovnání s prvním měření.

Jak uvádí Kolay (2007) je nutné, aby k hnojení byl používán pouze dobře vyzrálý hnůj. Pokud by byl hnůj špatné kvality, není vhodné zvyšovat jeho dávku, protože by mohlo dojít i k poškození životního prostředí.

Konkrétně na hořčík má zřejmě v našem pokusu nejlepší vliv varianta hnojená hnojem. Ovšem jak uvádí Neuberger et al. (1995), pokud je potřeba zajištění zdravé rostlinné produkce, především pro intenzivní hospodaření, je třeba kombinace organického a minerálního hnojení.

Během celého pokusu dosahovaly hodnoty obsahu vodorozpustného hořčíku na stanovištích hnojených minerálním hnojivem následujících hodnot: stanoviště Humpolec 5,91-16,6 mg Mg/kg, na stanovišti Hněvčeves 6,6-9,79 mg Mg/kg a na stanovišti Suchdol 5,8-16,2 mg Mg/kg půdy. Předpokladem bylo, že se hodnoty obsahu hořčíku nebudou během pokusu výrazně měnit, popřípadě snižovat, a to z důvodu, že hořčík nebyl v minerálních hnojivech dodáván. V porovnání s kontrolou je opravdu patrné, že se hodnoty obsahu hořčíku nijak zvláště nezvyšovaly a měly spíše konstantní průběh.

Hnojení minerálním hnojivem přineslo za celý pokus u obsahu vodorozpustného hořčíku následující výsledky. Na stanovišti Humpolec byl jeho obsah od 86 mg Mg/kg do 129 mg Mg/kg, na Hněvčevsi bylo stanoveno rozmezí 105-281 mg Mg/kg a v Praze-Suchdol bylo zjištěno rozmezí 174-253 mg Mg/kg. Stejně tak jako u vodorozpustného hořčíku bylo předpokládáno i u mobilního hořčíku, že se hodnoty obsahu tohoto prvku nebudou výrazně lišit v porovnání s kontrolou z výše uvedených důvodů. Tento předpoklad byl následně potvrzen. Ve své studii uvádí podobný náhled na věc i Kulhánek et al (2014). Podobná teorie a výsledky byly zaznamenány taktéž ve studii Chowaniak et Gondek (2009). Oproti práci Kulhánek et al. (2014) bylo navíc hodnoceno i stanoviště Hněvčeves, kde byly u varianty NPK zjištěny velmi podobné tendence v obsahu přístupného hořčíku v půdě, jako na stanovišti Humpolec a Praha-Suchdol.

8 Závěr

Hořčík je z hlediska výživy rostlin důležitým prvkem, který se uplatňuje při mnoha fyziologických dějích, které v rostlinách probíhají. Pro správný růst a vývoj rostlin je vhodné udržovat pro rostliny dostačující obsah tohoto prvku v půdě. Hořčík je možné do půdy dodávat pomocí různých hnojiv, mezi které řadíme i čistírenské kaly.

Dlouhodobý pokus byl založen v roce 1996 na pokusných stanicích v Humpolci, Hněvčevsi a v Suchdole. Každá z oblastí se vyznačuje odlišnými půdně-klimatickými podmínkami. Na pozemku byly pěstovány následující plodiny: brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen v trojhonném osevním sledu. Hnojení organickými hnojivy bylo vždy provedeno pouze k první plodině osevního sledu bramborám. Hnojení je založeno na jednotné dávce dusíku a to tak, aby celková dávka dusíku za tři roky činila 330 kg N/ha. Archivní vzorky půdy (rok 1996, 1999, 2002, 2005, 2008 a 2011) byly extrahovány demineralizovanou vodou a metodou Mehlich 3 na obsah přístupného hořčíku.

V diplomové práci byly zjištěny následující poznatky:

- Hnojení hnojem mělo nejvyšší pozitivní vliv na obsah vodorozpustného i mobilního hořčíku v půdě ve srovnání s ostatními sledovanými variantami.
- Hnojení čistírenským kalem bylo označeno jako druhá nejvhodnější varianta z hlediska hnojení a obsahu hořčíku v půdě. Byl potvrzen předpoklad pro vhodné využití čistírenských kalů na zemědělské půdě z hlediska obsahu přístupného hořčíku.
- I přesto, že celková dávka hořčíku byla u čistírenských kalů vyšší, byl u varianty hnůj zaznamenán vyšší obsah vodorozpustného i mobilního hořčíku v půdě. Je pravděpodobné, že tento jev byl způsoben tím, že čistírenské kaly zřejmě obsahovaly hořčík ve formě nepřístupné pro rostliny, tedy i neextrahovatelné použitými metodami.
- Ve většině případů bylo prokázáno dlouhodobé působení čistírenských kalů a hnoje.
- Obsahy hořčíku v půdě se na nehnojené variantě v průběhu pokusu zpravidla výrazně neměnily, popřípadě mírně klesaly.
- Varianta NPK vykazovala podobné tendence jako nehnojená varianta.

SEZNAM LITERATURY

Baier, J. 1979. Soustava hnojení polních plodin. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 289 str. ISBN: 07-093-79.

Baier, J. 1957. Malá abeceda výživy rostlin. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 202 str.

Baier, J., Baierová V. 1985. Abeceda výživy rostlin a hnojení. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 360 str. ISBN: 07-033-85-04/17.

Banýř, J. 2002. Chemie kovových prvků. Univerzita Karlova v Praze. Praha. 160 str. ISBN: 80-7290-097-8.

Barzegar, A. R., Yousefi, A., Daryashenas, A. 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil* 247: 295–301 str.

Bishop, P. 1995. *Municipal Sewage Sludge: Management, Processing and Disposal*. CRC Press. Lancaster, Pennsylvania, USA. 688 str. ISBN: 0877629307.

Blume, H.-P., Brümmer, G. W., Schwertmann, U., Horn R., Knabner et al. 2002. Scheffer/Schachtschabel: *Lehrbuch der Bodenkunde*. Spektrum Akademischer Verlag. Stuttgart, SRN. 607 str. ISBN: 3-8274-1324-9.

Burton, C. H., Turner C. 2003. *Manure Management: Treatment Strategies for Sustainable Agriculture*. Editions Quae. Bedford, UK. 451 str. ISBN: 0953128261.

Fecenko, J. 1986. Optimalizácia výživy rastlín horčíkom v podmienkách vysokej intenzity hnojenia. *Polnohospodárska veda*. Bratislava. 168 str.

Gowariker, V., Krishnamurthy, V. N., Gowariker, S., Dhanorkar, M., Paranjape, K. 2009. *The Fertilizer Encyclopedia*. John Wiley & Sons. USA. 872 str. ISBN: 9780470431764.

Havelka, B. 1988. *Výživa a hnojení rostlin*. Vysoká škola báňská. Brno. 314 str.

Chowaniak, M., Gondek, K. 2009. Changes in the available magnesium and zinc contents of soils after the application of sewage sludges and sewage sludge – peat mixtures. *Journal of Central European Agriculture* 10: 79–87 str.

Jones, B. J. 1998. *Plant Nutrition Manual*. CRC Press. USA. 230 str. ISBN: 1-884015-31-X.

- Kolay, A. K. 2007. Manures and Fertilizers. Atlantic Publishers & Dist, New Delhi, Indie. 173 str. ISBN: 8126908106.
- Koukolík, O., Nerudová, M., Pardus, I. 1988. Hnojení zemědělských pozemků kaly z čistíren odpadních vod. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR. Praha. 31 str.
- Kučera, C. 1948. Statková hnojiva, jejich výroba, ošetřování a použití. Brázda. Praha. 185 str.
- 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
- Lakota, V. 1964. Výroba kombinovaných hnojiv. Státní nakladatelství technické literatury. Praha. 165 str. ISBN: 04617-64.
- Mengel, K., Kirkby, E., Kosegarten, H., Appel, T. 2001. Principles of Plant Nutrition. Springer Science & Business Media. Dordrecht, Nizozemsko. 849 str. ISBN: 1-4020-0008-1.
- Nerudová, M. 1984. Komplexní systém hnojení kaly z čistíren odpadních vod veřejných kanalizací. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Praha. 49 str.
- Neuberg, J., Jedlička, J., Červená, H. 1995. Výživa a hnojení plodin. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 64 str. ISSN: 0231-9470.
- Richter, R., Hlušek, J. 1996. Průmyslová hnojiva, jejich vlastnosti a použití. Institut výchovy a vzdělání Ministerstva zemědělství ČR. Praha. 50 str. ISBN: 80-7105-121-7.
- Richter, R., Římovský, K. 1996. Organická hnojiva, jejich výroba a použití. Institut výchovy a vzdělání Ministerstva zemědělství ČR. Praha. 40 str. ISBN: 80-7105-117-9.
- Rivandra, K., Limbachia, C., McCarthy, J. M. 2001. Recycling and Reuse of Sewage Sludge: Proceedings of the International Symposium Organised by the Concrete Technology Unit and Held at the University of Dundee. Skotsko. 370 str. ISBN: 0727729926.
- Straka, L. 1963. Výživa zahradních plodin. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 201 str.
- Škarda, M. 1982. Hospodaření s organickými hnojivy. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. Praha. 324 str. ISBN: 07-109-82-04/17.
- Štráfelda, J., Velich, J., Pardus, I. 1984. Hnojení travních porostů kaly z čistíren odpadních vod. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR. Praha. 42 str.

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

Uttley, C. 2000. Magnesium. Cavendish Marshall. New York, USA. 32 str. ISBN: 0761408894.

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

Vaneková, Z., Synak, J. 1988. Praktická příručka hnojenia. Příroda. Bratislava. 53 str.

Zavřel, V. 1988. Efektivní využití organických hnojiv. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR. Praha. 34 str.

INTERNETOVÉ ZDROJE

Anonym. Periodická tabulka [online]. 2009 [cit. 2015-02-01]. Dostupné z <<http://www.prvky.com/12.html>>

Hýblerová, K. Hnojivé účinky čistírenských kalů pro topoly. Biom.cz [online]. 2005-01-24 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/hnojive-ucinky-cistirenskych-kalu-pro-topoly>>. ISSN: 1801-2655

Kubík, L. Rizikové prvky v kalech z čistíren odpadních vod (ČOV). Biom.cz [online]. 2009-02-09 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rizikove-prvky-v-kalech-z-cistiren-odpadnich-vod-cov>>. ISSN: 1801-2655.

Straka, J. Periodická tabulka prvků [online]. 1998 [cit. 2015-02-01]. Dostupné z <<http://www.tabulka.cz/prvky/ukaz.asp?id=12>>

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Vývoj základních agrochemických vlastností zemědělských půd v České republice [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/agrochemicke-zkouseni-zemed-pud/vyvoj-zakladnich-agrochemickych.html>>

Vojtěch, D., Knotek, V., Čapek, J., Kubásek, J. Horčík – kov pro medicínu i pro skladování vodíku. 04. 05. 2011 [cit. 2015-02-01]. Dostupné z <http://chemicke-listy.cz/docs/full/2011_09_678-683.pdf>