

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů  
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Ověření vlivu agrouhlí na růst a výnos polních plodin a změny  
půdních vlastností**

Diplomová práce

Autor práce: **Bc. Silvie Jančíková**

Obor studia: **Rostlinná produkce**

Vedoucí práce: **prof. Ing. Daniela Pavlíková, CSc.**

Konzultant: **Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.**

© 2018 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Ověření vlivu agrouhlí na růst a výnos polních plodin a změny půdních vlastností" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13. 4. 2018

---

### **Poděkování**

Velmi ráda bych touto cestou poděkovala své vedoucí diplomové práce prof. Ing. Daniele Pavlíkové, CSc. za odborné vedení, cenné rady, vstřícnost, trpělivost a podporu.

Mé poděkování dále patří Ing. Michaele Smatanové, Ph.D., vedoucí Oddělení výživy rostlin ÚKZÚZ v Brně, bez jejíhož souhlasu by diplomová práce nemohla vzniknout, za poskytnutí dalších důležitých informací pro zpracování tématu.

Děkuji také svým kolegům z Oddělení výživy rostlin (Ing. Jaroslavu Hynštovi, Ph.D., Markétě Vodákové a Martinu Obdržálkovi) za to, že mi umožnili aktivně se podílet na pokusu založeném na pracovišti ÚKZÚZ v Brně a za průběžné poskytování dat potřebných pro zhodnocení výsledků.

Ing. Pavlu Němcovi děkuji za pomoc při statistickém zpracování dat.

# Ověření vlivu agrouhlí na růst a výnos polních plodin a změny půdních vlastností

## Souhrn

Diplomová práce se zabývá možností využití biocharu v zemědělské praxi. Jedná se o zuhelnatělou organickou hmotu, která v půdě může plnit podobné žádoucí funkce jako běžně aplikovaná organická hmota (provzdušnění půdy, zlepšení vláhových poměrů, do jisté míry i zdroj živin), jeho specifickou vlastností je však velký specifický povrch, pórovitá struktura a především odolnost k degradaci v půdě, v důsledku čehož setrvává v půdě stovky až tisíce let. Pro jeho produkci může být využito odpadní biomasy.

Literární přehled se zabývá výskytem biocharu v přírodních podmínkách, průmyslovou výrobou biocharu, jeho strukturou a možnostmi pro využití v praxi. Jsou zmiňována i možná rizika spojená s jeho aplikací do půdy. Dále je zmíněna současná situace jeho reálného využívání v praxi.

Část experimentální popisuje vliv agrouhlí na obsah živin v půdě, pH a KVK, na obsah těchto živin v rostlinách a na výnos plodin. Nádobový pokus byl založen jako čtyřletý, prezentovaná data však pochází pouze z prvních dvou let zkoušky, pokus bude pokračovat v následujících letech. V pokusu byly použity dva typy půd, méně úrodná a úrodná pro srovnání možného rozdílného účinku biocharu na těchto půdách, sledovány byly 3 dávky biocharu (0,5 t/ha; 3 t/ha a 30 t/ha) a zkoumány byly varianty nehnojené, tedy pouze s aplikací biocharu oproti nehnojené kontrole (bez biocharu) a varianty hnojené (agrouhlí s digestátem) oproti hnojené kontrole (bez biocharu). V prvním roce zkoušky byla pěstovanou plodinou kukuřice (*Zea mays*), ve druhém pšenice (*Triticum aestivum*). V prvních dvou letech se výnos plodin vlivem biocharu snižoval, a to v obou letech v podobném rozsahu (do 10 %), podobně se snižoval i obsah většiny živin v sušině rostlin. Odlišný vliv biocharu na rozdílných typech půd nebyl patrný. V půdě byla patrná tendence zvyšování pH a KVK.

I přes pozitivní ovlivnění agrochemických vlastností (pH a KVK) se v prvních dvou letech účinek agrouhlí na rostliny projevil negativně. V následujících dvou letech budou data pokusu dále vyhodnocována.

**Klíčová slova:** agrouhlí, kukuřice, pH, půdní úrodnost

# The evaluation of biochar effect on growth and yield of field crops and on changes of soil properties

## Summary

The objective of this work is to evaluate agronomic values of biochar as a soil amendment. Biochar is the charred biomass created by pyrolysis. Various improvements in soil quality are detected in the biochar-amended soils. Some benefits are similar to that provided by organic matter (higher field capacity of water content, enhancement soil fertility by adding nutrients to the soil, aeration of the soil). Biochar has high specific surface area and porous structure and it is resistant to the degradation in soil in contrast to other organic matter in soil. Many studies have found that biochar remains in soil for centuries to millennia. All forms of biomass can be converted to biochar, including waste biomass.

The review of published studies has focused on natural occurrence of biochar, technology for the production of biochar, on its structure and on agronomic benefits. Some negative consequence of biochar use are discussed. The goal of the experimental part of this work is to evaluate the effect of biochar application on the nutrient content in soil and in plants, on the soil pH and CEC value and on the biomass yield. The multiyear effect of biochar application on crop and soil quality was tested in pot experiment. Maize (*Zea mays*) in the first year and wheat (*Triticum aestivum*) in the second year were cultivated. Three different levels of biochar amendment were used (0,5 t/ha; 3 t/ha and 30 t/ha). The experiment was conducted on two different soil types with different fertility (for determination of the variation of biochar effect on different soil properties). The effects of fertilisation in the presence or absence of biochar and the effects of biochar only were investigated. Biochar amendment increases soil pH and CEC. The response of cultivated crops over the two years was very similar. The results showed that the addition of biochar had a negative effect on plant growth. The plant yield was decreased significantly (up to 10 %). Biochar affected plant nutrient uptake by decreasing of the most nutrients in plant tissues. There was no impact of biochar in different soil types obvious.

Although an increase in pH and CEC was seen by biochar application, the addition of biochar to the soil resulted in negative influence on plant growth in the first two years of this study. The next two agricultural seasons will be considered for evaluating biochar effects over a longer period.

**Keywords:** biochar, maize, pH, soil fertility

## Obsah

1.	ÚVOD.....	1
2.	VĚDECKÁ HYPOTÉZA A CÍL PRÁCE .....	2
3.	LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	2
3.1	Biochar – definice a jeho využití v ČR .....	2
3.2	Vznik a složení biocharu .....	2
3.3	Produkce biocharu – proces pyrolýzy .....	3
3.4	Biochar – historie .....	4
3.5	Současné možnosti využití biocharu .....	4
3.6	Fyzikální a chemické charakteristiky biocharu .....	5
3.7	Rizika spojená s aplikací biocharu.....	10
3.8	Vliv biocharu na výnos plodin, na obsah prvků v rostlinách a v půdě .....	10
4.	MATERIÁL A METODY .....	13
4.1	Obecná metodika pro čtyřleté pokusné období.....	13
4.1.1	Podmínky a schéma pokusu .....	13
4.1.2	Způsob provedení pokusu .....	14
4.1.3	Způsob hnojení, chemické složení digestátu a parametry použitých půd .....	15
4.1.4	Charakteristika použitého agrouhlí.....	16
4.1.5	Způsob aplikace agrouhlí a hnojiva (digestátu), použité dávky .....	18
4.1.6	Výsev, ošetření během vegetace, hodnocené parametry .....	18
4.2	První rok zkoušky .....	19
4.2.1	Popis pěstované odrůdy kukuřice.....	19
4.2.2	Metodika zkoušky v prvním roce čtyřletého pokusu .....	19
4.2.3	Sklizeň .....	20
4.3	Druhý rok zkoušky.....	20
4.3.1	Popis pěstované odrůdy pšenice .....	20
4.3.2	Metodika zkoušky ve druhém roce.....	21
4.3.3	Sklizeň .....	22
4.4	Metody použité k chemickým analýzám.....	24
4.4.1	Analýza rostlin .....	24
4.4.2	Analýza půdy.....	26
5.	VÝSLEDKY.....	27
5.1	Hodnocení vlivu agrouhlí na výnosy plodin, na obsah živin (N, P, K, Mg, Ca) v rostlinách a na změnu půdních vlastností .....	27
5.1.1	Výnosy.....	28

5.1.2	Obsah prvků v sušině rostlin.....	29
5.1.3	Obsah prvků v půdě, pH a KVK.....	31
6.	DISKUZE .....	36
7.	ZÁVĚR .....	40
8.	LITERATURA .....	41
9.	SEZNAM PŘÍLOH .....	44

# 1. Úvod

Populační růst a klimatické změny vedou k přetváření přirozené krajiny v krajinu zemědělsky využívanou, při nesprávném hospodaření na půdě dochází k jejímu vyčerpávání, degradaci, erozi, ztrátě organické hmoty a vyplavování živin. Je proto třeba vytvářet takové koncepty hospodaření na půdě, které by umožnily eliminovat tyto negativní environmentální aspekty intenzivního zemědělství.

Jednou z možností zlepšení stavu degradované půdy je uchovávání či zvýšení obsahu organické hmoty, která příznivě ovlivňuje ekosystém v mnoha aspektech (zvýšení produktivity, zadržování živin a vláhy, provzdušnění půdy, osídlení mikroorganismy) (Fischer et Glaser, 2012). V mnohých organických materiálech aplikovaných do půdy je však stabilita uhlíku omezena, a proto je nutné hledat nové koncepty sekvestrace organické hmoty, které by zabránily rychlému rozkladu organické hmoty a následnému úniku CO<sub>2</sub> do atmosféry (Fischer et Glaser, 2012). Požadavky relativní inertnosti splňuje zuhelnatělá hmota nazývaná biochar, která může v půdě přetrvat stovky až tisíce let, zatímco posklizňové zbytky (např. obilná sláma) maximálně několik let (Cheng et al., 2017).

V současné době existuje mnoho studií prokazujících pozitivní účinky biocharu, jeho širšímu použití v zemědělské praxi však zatím brání nedostatečné množství informací, které by umožnily zhodnotit působení biocharu z hlediska dlouhodobého časového horizontu. Správné zhodnocení dlouhodobého účinku je důležité také proto, že možnost následného odstranění biocharu z půdy by bylo jen stěží reálné (Jones et al., 2012).

Pozitivní ovlivnění půdních vlastností není jediným důvodem prosazování produkce biocharu, ale způsob jeho produkce (pyrolýza), představuje zároveň vhodné řešení likvidace odpadu, především z důvodu využitelnosti široké škály vstupních surovin (odpady ze zemědělství, lesnictví, potravinářského průmyslu a komunální odpad). Za účelem jeho produkce není proto třeba pěstovat plodiny, které by měly primárně sloužit k zabezpečení výživy lidstva (Graber et Elad, 2013).

Biochar je v současné době předmětem celosvětového výzkumu, zejména pro svůj potenciál přispívat k rozvoji udržitelného zemědělství (Albuquerque et al., 2013).



## 2. Vědecká hypotéza a cíl práce

Cílem práce je ověřit účinek biocharu na výnos plodin, na obsah živin v rostlinné biomase a na změnu půdních vlastností.

Vědecké hypotézy:

- 1) Aplikace agrouhlí ovlivní agrochemické vlastnosti půd. Důsledkem toho budou změny ve výnosu i obsahu vybraných prvků v pěstovaných rostlinách.
- 2) Významný vliv agrouhlí na půdu i plodiny bude zjištěn především na lehké půdě s nižším obsahem organické hmoty a nižší hodnotou pH.
- 3) Pozitivní účinky agrouhlí na pěstované plodiny se projeví v osevním sledu až u následných plodin

## 3. Literární přehled

### 3.1 Biochar – definice a jeho využití v ČR

Název „biochar“ je odvozen od anglického slova „char“, což v českém překladu znamená „uhel“, předpona „bio“ pak poukazuje na vstupní surovinu, jíž je biomasa. Uhel („char“) se však svou strukturou i dalšími vlastnostmi značně liší od uhlí (anglicky „coal“)(Ust'ak et al., 2015).

V ČR je v současné době registrován biochar jako pomocná půdní látka pod různými názvy – „Agrouhel“, „AGRO – PROTECT –SOIL“ a „Aktivní uhlí“. Registrace se zatím týká pouze několika výrobců, ale další subjekty podávají žádost o registraci. V souladu s legislativou ČR však nemůže být uveden název „Biochar“, neboť zákon 156/1998 Sb. („zákon o hnojivech“) nedovoluje používat předpony bio apod. (§ 7 Označování a balení hnojiv a pomocných látek).

Velkoobchodní cena se pohybuje v současné době okolo 12 000 Kč/t, maloobchodní cena pak činí asi 9 Kč za litr (0,35 kg).

### 3.2 Vznik a složení biocharu

Biochar je zuhelnatělá hmota, je produktem termální degradace organického materiálu za nepřístupu vzduchu tzv. pyrolýzy, při níž vznikají složky bioolej, plyn a pevný podíl (biochar) (Hagemann et al., 2017). K pyrolýze dochází běžně v přírodě při požárech (při hoření biomasy.) Biochar tak proniká do všech složek životního prostředí (půdy, mořské

vody, do sedimentů i atmosféry), kde se nachází v různých formách – jako částečně ohořelý rostlinný materiál, jako dřevěné uhlí nebo saze a grafitové částičky (Schmidt et al., 2001; Lehmann et al., 2011).

Kompozici biocharu lze zhruba rozdělit na tyto složky: uhlík relativně stabilní, uhlík labilní a popel. Biochar se od ostatní organické hmoty v půdě (jako např. lignin), liší svou chemickou strukturou. Obsahuje mnohem více aromatického uhlíku a především kondenzované uhlíkaté cykly. Aromatická struktura je důvodem relativní chemické stability biocharu. Uhlík (případně dusík a další živiny) obsažené v uhlíkaté struktuře stabilní frakce biocharu není mikroorganismy využitelný jako zdroj energie. Labilní (volatilní) frakce představuje mikroorganismy využitelný uhlík i živiny, tato frakce je lehce vyluhovatelná, a tedy i mineralizovatelná a může být kvantifikována např. inkubačními testy. Třetí komponenta biocharu je tvořena minerály, které jsou v biocharu přítomny jako částičky popela. Tyto minerály obsahují některé důležité makro a mikroprvky, které jsou pak v půdě zdrojem živin a ostatních biologicky využitelných látek. Ve vodném roztoku kyseliny byla prokázána extrahovatelnost Si, Fe, S, P, K, Mg a Ca, z čehož lze usuzovat na dostupnost těchto prvků rostlinám a mikroorganismům (Lehmann et al., 2011).

### **3.3 Produkce biocharu – proces pyrolýzy**

Průmyslová výroba biocharu probíhá v pyrolýzních reaktorech. Podíl a vlastnosti pyrolýzních produktů závisí na pyrolýzních podmínkách – konstrukci reaktoru, teplotě reaktoru, rychlosti ohřevu, tlaku, době zdržení produktů v reakčním prostoru. Při nižší teplotě (< 600°C) vzniká přednostně pyrolýzní olej (fenolové sloučeniny, organické kyseliny, furfural a jeho deriváty aj.) a biochar, při vyšších teplotách (> 600 °C) vzniká přednostně pyrolýzní plyn (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>) (Guizani et al., 2017; Jílková et al., 2012).

Tyto pyrolýzní produkty mohou být využity samostatně - bioolej jako palivo k vytápění, nebo k produkci chemikálií, plyn může být energeticky využit k vytápění nebo produkci elektřiny, lze jej upravit dále jako biopalivo. Zuhelnatělý zbytek může být využit k produkci aktivního uhlí, pro produkci grafénů, jako aditivum do kompostu nebo hnoje, pro aplikaci do půdy za účelem zvýšení půdní úrodnosti nebo pro remediaci půd. (Hagemann et al., 2017).

Průmyslové využití pyrolýzy není novou záležitostí, již v 19. století se takto vyráběly oleje a parafíny. Největšího rozvoje dosáhla pyrolýza ve 20. století za 2. světové války v Německu, kde byly takto získávány pohonné hmoty z uhlí. Později byla paliva vyrobená z uhlí nahrazena ropou a proces pyrolýzy ustoupil do pozadí. (Jílková et al., 2012).

V současné době proces pyrolýzy opět nabývá na významnosti jako vhodná strategie produkce energie z obnovitelných zdrojů, protože pyrolýzní produkty mohou nahrazovat fosilní paliva. Jsou rozvíjeny nové technologie pro termické zpracování biomasy. Problémem těchto procesů je však složení biomasy, která obsahuje velké množství vody a kyslíku, z čehož vyplývají vysoké náklady na dopravu, skladování biomasy a její úpravu před samotným energetickým využitím (Jílková et al., 2012).

### **3.4 Biochar – historie**

Již v minulosti bylo pozorováno pozitivní ovlivnění růstu rostlin na půdách s obsahem biocharu v různých částech světa. Např. koncem 19. století na farmách ve státě Ohio na místech, kde byla spalována biomasa, byla po 20 i více letech stále lepší produkce kukuřice, pšenice, ovesa, zeleniny nebo trávy než na přilehlých pozemcích (Woods et al., 2009).

Na četných místech v Amazonské pánvi se vyskytují půdy, které jsou charakteristické právě značným obsahem vysoce stabilní zuhelnatělé hmoty („Terra preta“ de Indio) (Kloss et al., 2014). Jejich rozloha se pohybuje od několika set do několika tisíc čtverečních metrů a dosahují hloubky až 2 m. Objevují se na místech, kde před 3 000 lety existovaly domorodé vesnice. „Terra preta“ je produktem směsi anorganického (popel, kosti – zejména rybí) a organického (odpadní biomasa, hnůj, exkrementy, moč a biochar) odpadu aplikovaného na neúrodné ferrasoly. Dominantní postavení při mineralizaci jednotlivých složek měly houby (namísto bakterií). Zda jsou tyto půdy produktem záměrné činnosti, není dosud zcela jasné (Joseph et al., 2013). Pozornost vzbudily pro svou agronomickou úrodnost. (Atkinson et al., 2010; Lehman et al., 2011).

V chudých půdách tropů aplikace biocharu významně zvyšuje obsah živin a výnosovou úroveň plodin, stále však chybí dostatek informací o působení biocharu aplikovaného v podmínkách mírného klimatického pásma, kde se mohou na rozdíl od půd tropických jeho účinky projevat odlišně (Kloss et al., 2014).

### **3.5 Současné možnosti využití biocharu**

#### **Ovlivnění půdních vlastností**

Zvýšení výnosové úrovně plodin je odůvodňováno především zvýšením pH u kyselých půd a zadržováním živin způsobeným kationtovou adsorpcí. Existují však i další možné vlivy nepřímé, jako např. změny ve složení půdního mikrobiálního spektra apod. (Lehmann et al., 2011). Je však faktem, že změny půdních vlastností jsou ovlivněny nejen

typem použitého biocharu, ale i typem půdy a jevy pozorované v krátkodobém horizontu mají dynamický charakter. Nemusí být tedy pozorovány během delšího časového úseku (Kraska et al., 2016).

Předpokládá se, že by aplikace biocharu společně s ostatním biogenním materiálem obsahujícím labilní organickou hmotu a živiny mohla být vhodným nástrojem k produkci substrátu s vysokou úrodností a stabilním obsahem organické hmoty, podobně jako „Terra preta“ (Fischer et Glaser, 2012)

### **Snížení emisí**

Existuje také vize, že by biochar díky své aromatické struktuře, a tedy i značné stabilitě a odolnosti vůči mikrobiálnímu rozkladu, bylo možné využít pro dlouhodobou sekvestraci uhlíku v půdě. Došlo by tak k velmi pomalému uvolňování uhlíku do atmosféry (ve formě oxidu CO<sub>2</sub>) což by umožnilo snižovat obsah CO<sub>2</sub> v atmosféře. Společně s omezováním antropogenních emisí by docházelo k efektivní ochraně ovzduší před skleníkovými plyny (Smith et al., 2010).

### **Omezení používání minerálních hnojiv**

Předpokládá se, že aplikace biocharu by mohla pomoci omezit používání minerálních hnojiv, protože biochar lze využít i jako samotný zdroj živin. Obsah živin je variabilní v závislosti na použitých vstupních surovinách, které mohou být na minerály velmi chudé (např. dřevní hmota), nebo naopak poměrně bohaté (hnůj nebo posklizňové zbytky, jako např. lusky aj.) (Lehmann et al., 2011).

Uvažuje se především o omezení či náhradě minerálních fosforečných hnojiv, z nichž většina pochází z těžených fosfátů, tedy z neobnovitelného zdroje. Existují domněnky, že by se zásoby fosfátů mohly vzhledem k populačnímu růstu vyčerpat již koncem tohoto století, vzrůstá tedy potřeba hledat strategie, které by mohly poskytnout rostlinám přístupný fosfor a zároveň nahradily nebo omezily používání fosforečných hnojiv. Mnohé studie potvrdily, že biochar může být rezervoárem fosforu, a že určitá frakce fosforu je též přístupná pro rostliny. Obsah fosforu se liší v závislosti na typu biocharu (tab. 1). (Zhang et al., 2016)

## **3.6 Fyzikální a chemické charakteristiky biocharu**

Využití biocharu je podmíněno jeho strukturálními a fyzikálně – chemickými vlastnostmi, které se mohou měnit v závislosti na teplotě pyrolýzy (obr. 1).

### **Poměr atomů**

Se zvyšující se teplotou se např. mění poměr H/C a C/O (Lehman et al., 2011). Při vyšší teplotě jsou atomy H a O uvolňovány do plynné fáze, některé prvky vytěkají a biochar je tak bohatší na obsah uhlíku (Guizani et al., 2017).

### **pH**

Uplatní se zejména možnost zvýšení pH u kyselých půd u biocharu s vyšším pH, během určitého časového období se však pH biocharu může měnit v závislosti na použité vstupní surovině. Příčinou snížení pH je oxidace uhlíku a vznik kyselých karboxylových skupin, zvýšení pH je způsobeno pravděpodobně rozpuštěním alkalických minerálů přítomných v biocharu (Lehmann et al., 2011).

### **Pórovitost, specifický povrch**

Poréznost je základní fyzikální vlastností určující hydrologické procesy, ovlivňuje především množství vody přístupné rostlinám. Vytváří také prostředí pro růst mikroorganismů, poskytuje ochranu mykorhizním houbám před predátory a následně prostřednictvím mikroorganismů ovlivňuje přístupnost živin rostlinám. Velikost pórů se pohybuje od nanometru po desítky mikrometrů.

### **Kationtová výměnná kapacita**

Vyšší pyrolýzní teplota (od 600 °C) vede ke ztrátě volatilních složek, které mohou obsahovat značnou část negativního náboje, jako např. organické kyseliny. Při ještě vyšších teplotách (nad 1 000 °C), typických pro produkci tzv. „aktivního uhlí“, je uhlík především hydrofobní a nemůže sorbovat znatelné množství živin ani polárních organických látek, jako např. cukry. Takový uhlík sorbuje především nepolární nebo slabě polární rozpuštěné organické látky – enzymy a jiné látky důležité pro mikrobiální procesy v půdě. (Lehmann et al., 2011).

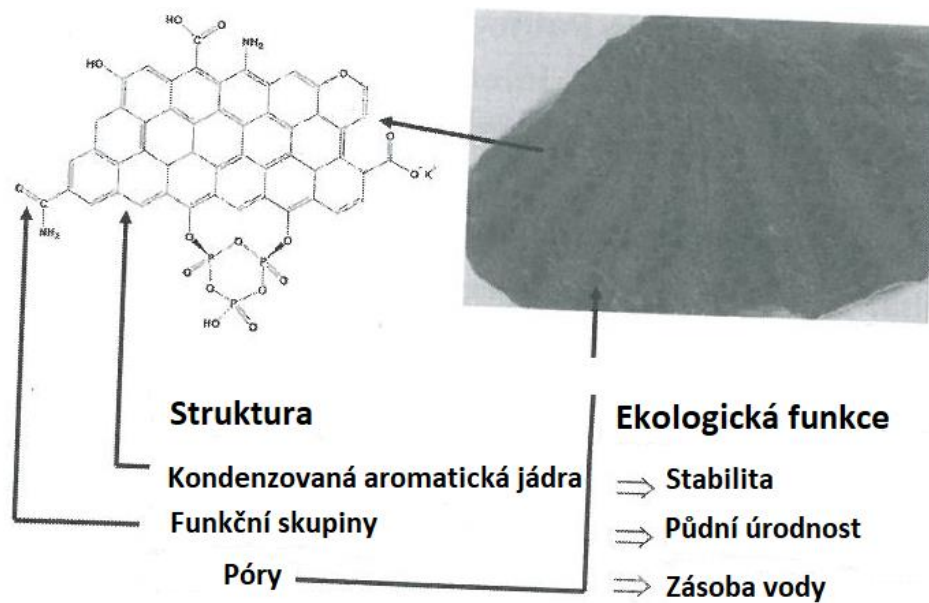
### **Objemová hmotnost**

Biochar má menší objemovou hmotnost než některé minerály, protože obsahuje makro a mikropóry, které mohou zadržovat vodu a vzduch, a tak významně redukovat objemovou hmotnost biocharu (Lehmann et al., 2011).

## Specifický povrch

Velký specifický povrch a sorpční schopnosti umožňují vázat jak živiny, tak mikroorganismy (Ding et al., 2017). Se vzrůstající teplotou pyrolýzy se hodnota specifického povrchu zvětšuje. Velký specifický povrch vykazuje např. biochar z biomasy dřevní směsi (556 m<sup>2</sup>/g) (Břendová et al., 2014). Sorpcí živin je podpořen výnosový potenciál plodin a schopnost sorpce jiných látek lze využít např. k chemické degradaci reziduí herbicidů (Ding et al., 2017). Další možnost využití sorpčních schopností nachází biochar v remediačních technologiích, je prokázána účinnost biocharu v snižování mobility těžkých kovů (Břendová et al., 2014).

Obr. 1 Strukturální a chemické vlastnosti biocharu podmiňující jeho ekologické funkce



Upraveno podle Wiedner et Glaser, 2013.

## Interakce s nitráty

Interakce biocharu s minerálními a organickými formami dusíku, zejména pak s nitráty, je jedním z možných klíčových mechanismů, které významně podporují růst rostlin, a to vlivem pomalu uvolňovaných nitrátů za přítomnosti biocharu. Pomalé uvolňování nitrátů může zabránit jejich vyplavování a zároveň rostlinám zajistit dlouhodobější přísun nitrátů než

hnojené půdy nebo kompost bez přidavku biocharu. Podstata vazby nitrátů („nitrate capture“) na biochar není dosud zcela jasná a vzhledem k negativnímu povrchovému náboji biocharu nemůže být vysvětlitelná aniontovou výměnnou kapacitou, předpokládá se vliv nekonvenční iontové vazby vody nebo vodíkové vazby. (U kationtu  $\text{NH}_4^+$  se neprokázal vliv biocharu na jeho uvolněné množství). Vzhledem k těmto poznatkům je možné uvažovat o biocharu jako o složce pomalu působících hnojiv, v této oblasti je však třeba ještě dalšího výzkumu (Hagemann et al., 2017).

### **Obsah a sorpce fosforu**

V případě fosforu byla potvrzena jeho sorpce z půdního roztoku, výrazně však závisí na typu biocharu (např. sorpce okolo 5 % při koncentraci 100 mg P/l pro biochar z *Eucalyptus polybractea*). Některý biochar fosfor nesorbuje vůbec. Dále je sorpce fosforu ovlivněna koncentrací tohoto prvku v půdním roztoku (větší sorpce při vyšší počáteční koncentraci v roztoku) Existuje více možných sorpčních mechanismů, kromě kompetice o vazebná místa lze uvést vliv obsahu  $\text{CaCO}_3$  v biocharu. Dle zjištění Zhang et al. (2016) je ve vodném roztoku  $\text{Ca}^{2+}$  ionty, které jsou v povrchové vrstvě biocharu, přednostně sorbován fosfor za vzniku  $\text{CaHPO}_4$ , neboť součin rozpustnosti pro  $\text{CaHPO}_4$  je nižší než pro  $\text{Ca(OH)}_2$  a  $\text{CaHCO}_3^+$ .

### **Vliv biocharu na mikrobiální biomasu**

Mnohé studie prokázaly nárůst mikrobiální biomasy po aplikaci biocharu do půdy s prokazatelnými změnami spektra mikroorganismů a enzymové aktivity. Tyto změny mohou ovlivňovat biogeochemické cykly prvků, rostlinné patogeny a velikost úrody. O tom, jak biochar ovlivňuje počet a složení mikroorganismů není dosud mnoho známo, je však zřejmé, že zásadní vliv má několik faktorů:

a) schopnost sorpce – sorpce mikroorganismů na povrch biocharu je umožněna různými procesy, (např. hydrofobními a elektrostatickými interakcemi), také schopnost sorpce a inaktivace růstových inhibičních látek pravděpodobně pozitivně působí na nárůst počtu mikroorganismů

b) vliv pH – projevuje se odlišně u bakterií a hub. Bakterie navyšují populaci s rostoucím pH – do hodnoty 7, houby buď nevykazují změnu, nebo s nárůstem pH svůj počet redukují. Hodnoty pH se pohybují v rozmezí 4 -12, v důsledku čehož může být mikrobiální spektrum velmi rozmanité, u dvou nejčastěji se vyskytujících mykorrhizních hub – arbuskulárních a ektomykorrhizních byl zjištěn pozitivní vliv biocharu na nárůst kolonizace kořenů hyfami houby. Možným vysvětlením je mechanická ochrana mimokořenového

mycelia systémem vnitřních pórů v částicích biocharu, nebo např. sorpce signálních molekul, detoxifikace alelopaticky působících chemických látek a také např. nepřímé ovlivnění změnou mikrobiální populace, pozorovány jsou však i jevy opačné, tedy pokles kolonizace hostitelských rostlin houbou, což ale může být důsledkem vzrůstu dostupnosti živin a vody rostlině, a tedy menší potřebou symbiomy vyšší rostliny a houby. (Lehmann et al., 2011).

c) fyzikální vlastnosti biocharu – pórovitá struktura. Uvádí se, že pro optimální adhezi by měly být póry 2 – 5x větší než buněčné stěny mikroorganismů, např. okolo 2 – 4  $\mu\text{m}$  pro *Bacillus mucilaginosus* a *Acinetobacter* sp (Lehmann et al., 2011).

### Různorodé vlastnosti biocharu

Následující tabulka (tab. 1) je uvedena pro ilustraci variability některých parametrů biocharu v závislosti na odlišné vstupní surovině a teplotě pyrolýzy.

Tab. 1

Surovina	Pyrolýzní teplota (°C)	pH aktuální	Celkový obsah C (%)	Celkový obsah N (%)	Celkový obsah P (mg/kg)	Specifický povrch (m <sup>2</sup> /g)
<i>Eucalyptus pilularis</i> (po lesním požáru)	350 - 500	3,1	69,7	0,22	15	109
Řízky z cukrové třtiny ( <i>Saccharum officinarum</i> )	350	5,9	70,8	0,34	1761	Nezjištěno
Skořápky podzemnice olejné ( <i>Arachis hypogaea</i> )	450	8,7	35,1	0,73	640	112
Odpadní biomasa	450	9,6	59,7	0,51	1596	271
<i>Imperata cylindrica</i> ( <i>Poaceae</i> )	450	7,1	64,0	1,24	1810	Nezjištěno
<i>Eucalyptus marginate</i>	750	10,8	86,0	0,23	61	206
<i>Eucalyptus polybractea</i>	750	10,2	69,0	0,43	1877	233
<i>Pinus radiata</i>	750	8,6	84,2	0,15	266	322
Měkké stavební dřevo	750	9,6	84,7	0,23	236	382

Zhang et al., 2016



### **3.7 Rizika spojená s aplikací biocharu**

Přídavek biocharu do půdy může způsobit zvýšenou mineralizaci již přítomného půdního uhlíku a zvýšit i produkci např.  $N_2O$  a  $CH_4$ , což může být kontraproduktivní vzhledem k zamýšlené možnosti snižovat aplikací biocharu emise skleníkových plynů. Stále není dostatečně prozkoumáno, jakou roli může v tomto procesu mít různé složení mikrobiální populace a půdní fauny. (Lehmann et al., 2011). Je také možné ovlivnění účinku preemergentních herbicidů, a hrozí tedy riziko snížení jejich účinnosti. Uvažuje se i o možné ztrátě původní přirozené organické hmoty po aplikaci biocharu.

Také samotná technologie produkce biocharu může znečišťovat životní prostředí, a pokud by se jeho využívání výrazněji rozšířilo, je třeba také uvažovat o možném riziku odlesňování ploch za účelem získávání tohoto produktu (Jones et al., 2012). Dalším závažným problémem by mohl být obsah polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH), volatilních organických částic (VOCs) a uhlíkatých nanočástic, které jsou nevyhnutelně generovány během procesu pyrolýzy, a které mohou mít negativní vliv na růst rostlin stejně jako na mikrobiální osídlení půdního prostředí.

Perzistence těchto částic v životním prostředí a přestup rizikových látek do živých organismů by tak byl další možný negativní důsledek aplikace biocharu do půd. PAH patří mezi karcinogenní polutanty a VOCs, zejména ethylen, „napodobují“ rostlinné hormony a mohou tak vyvolat nejrůznější reakce rostlin a mikroorganismů. VOCs mohou v hodnotách ppm snižovat klíčivost a dohromady s PAHs mohou implikovat dodatečný fyto toxický efekt. Před případným doporučením biocharu k použití je třeba tyto látky důkladně charakterizovat a zkoumat principy jejich sorpce nebo uvolňování a možné interakce s půdní biotou. (Dutta et al., 2017).

### **3.8 Vliv biocharu na výnos plodin, na obsah prvků v rostlinách a v půdě**

Sledování vlivu biocharu na výnos plodin, obsah prvků v rostlině a v půdě poskytuje značně nejednotné výsledky. Příčinou je zřejmě rozmanitost vstupních surovin pro výrobu biocharu, možnost kombinace biocharu a různých typů hnojiv a odlišné interakce biocharu s různými půdními typy.

Pozitivní vliv agrouhlí na výnos uvádějí např. Trupiano et al. (2017), biochar (vyrobený ze švestkového dřeva) aplikovaný do půdy (65 g/kg) méně zásobené živinami (slabě alkalická půda s jílovitou texturou, s nízkou KVK a nízkým obsahem uhlíku) zvýšil také obsah dusíku a fosforu v půdě, obsah celkového uhlíku a zvýšil počet mikroorganismů

podobně jako kompost, při současné aplikaci kompostu (50 g/kg) a biocharu (65 g/kg) se však neprojevil žádný synergický ani kumulativní efekt.

Rogovska et al. (2016), uvádějí, že biochar aplikovaný společně s posklizňovými zbytky může zvýšit výnos pravděpodobně díky sorpci alelopaticky působících látek (použita byla dávka biocharu 18,4 t/ha). Zvýšil se celkový obsah uhlíku a hodnota pH o 0,5. Žádný efekt nebyl pozorován u celkové koncentrace dusíku, koncentrace živin. Hodnocena byla i stabilita půdních agregátů, ani zde se neprojevila žádná změna (zřejmě z důvodu dominantní úlohy labilní organické hmoty při tvorbě agregátové struktury). Biochar sice zvýšil obsah půdního uhlíku, ale z velké části šlo o uhlík rekalitrantní, který nepřispěl k tvorbě makroagregátů).

Účinek stupňované dávky agrouhlí na výnos a zaplevelení byl sledován v pokusu s žitem ozimým (Kraska et al., 2016). Zkoušený biochar byl vyroben z pšeničné slámy při pyrolýzní teplotě 350 – 650 °C, obsah přístupného P = 235,6 mg/kg, K = 2344,6 mg/kg, Mg = 163,2 mg/kg, C = 53,87 %, H = 1,76 %, N = 0,91%, popel 41,2 %. Byl aplikován do půdy (podzol) ve 3 dávkách (10, 20 a 30 t/ha). Projevil se pozitivní efekt na výnos zrna, tento pozitivní účinek je přisuzován vstupu živin dodaných do půdy ve formě biocharu. Nejvyšší výnos zrna byl pozorován při dávce biocharu 20 t/ha (o 19,7 % oproti kontrole) a při dávce 10 t/ha o 14,4 %, při dávce 30 t/ha o 11,3 %. Na pozemcích obsahujících byl pozorován menší nárůst biomasy plevelů než na kontrolních pozemcích. Dále byl pozorován při dávce 20 a 30 t/ha značný nárůst obsahu uhlíku a dostupného P, K, Mg, Fe a B oproti kontrolním variantám. Půdy obohacené o biochar vykazovaly vyšší pH (pH<sub>KCl</sub> 9,9) Testy toxicity substrátu při dávce biocharu 10 a 20 t/ha neprokázaly žádný negativní vliv na klíčení *Lepidium sativum* L.

V tříletém polním pokusu (Jones et al., 2012) byl sledován vliv biocharu, vstupní surovinou byly větve *Fraxinus excelsior*, *Fagus sylvatica* a *Quercus robur*, dávka 0, 25 a 50 t/ha, rostliny (*Zea mays* v 1. roce a *Dactylis glomerata* ve 2. a 3. roce) byly hnojeny minerálním hnojivem a herbicidně ošetřeny. Předpokladem byl větší účinek biocharu na agroekosystém v prvním roce, především vzhledem k očekávané rychlé změně pH a k zvýšené přístupnosti živin, v dalších letech se očekával účinek menší. V prvním roce se oproti očekávání neprojevil žádný vliv na růst rostlin kukuřice, ani na obsah prvků v rostlině. I přes prokazatelnou větší extrahovatelnost živin v prvním roce se účinek neprojevil pravděpodobně kvůli dostatečné zásobenosti rostlin živinami dodaných v minerálním hnojivu. Ve druhém a třetím roce byl ale pozorován nárůst hmoty i výrazné zvýšení obsahu N v listech *Dactylis glomerata* a byla pozorována malá, ale zřetelná změna pH (zvýšení o 0,32 jednotek). Příčina většího efektu biocharu na výnos ve 2. roce (oproti očekávání) je spatřována

v odlišné hloubce uložení kořenového systému rostlin. Mělčejí kořenící *Dactylis glomerata* byla tak aplikací biocharu zasažena více a jeho efektivita spočívala zřejmě v odstranění reziduí herbicidů nebo jiných alelopaticky působících látek.

Nejvyšší aplikovaná dávka (50 t/ha) negativně ovlivnila růst rostlin v nádobovém experimentu (chlorózy, nízký obsah N v listech, redukovaná délka kořenů). Předpoklad, že nedostatek N je způsoben jeho zvýšenou sorpcí (jako  $\text{NH}_4^+$ ) se však nepotvrdil, neboť biochar ze dřeva sorboval poměrně malé množství tohoto kationtu (max. 3 kg N/ha).

## 4. Materiál a metody

### 4.1 Obecná metodika pro čtyřleté pokusné období

Nádobová zkouška byla založena za účelem sledování účinku stupňované dávky agrouhli na výnos plodin, na obsah živin v rostlinách a na agrochemické vlastnosti půd. Zkouška byla založena jako čtyřletá s následujícím sledem plodin v osevním postupu:

1. rok: kukuřice
2. rok: pšenice ozimá
3. rok: řepka ozimá
4. rok: kukuřice

Celkové vyhodnocení a ukončení pokusu proběhne v následujících letech, v diplomové práci jsou proto zpracovány výsledky z prvních dvou let probíhajícího čtyřletého pokusu.

#### 4.1.1 Podmínky a schéma pokusu

Pokus byl založen ve vegetační hale ÚKZÚZ Brno. Jeho provedení vychází z Metodického pokynu ÚKZÚZ č. 23/SZV (sekce zemědělských vstupů) – Základní metodika přesných polních a nádobových zkoušek. Prostředí vegetační haly umožňuje provádět nádobové zkoušky v unifikovaných a částečně kontrolovaných podmínkách, je zde zajištěna ochrana proti přívalovým srážkám průhlednou střechou. Schéma pokusu uvádí následující tabulka (tab. 2).

Tabulka 2 Schéma pokusu

<b>Nehnojené varianty</b>	Počet opakování
1. Kontrola (agrouhli 0), nehnojeno	8
2. Agrouhli 0,5 t/ha, nehnojeno	8
3. Agrouhli 3 t/ha, nehnojeno	8
4. Agrouhli 30 t/ha, nehnojeno	8
<b>Hnojené varianty</b>	
5. Kontrola (agrouhli 0) + digestát	8
6. Agrouhli 0,5 t/ha + digestát	8
7. Agrouhli 3 t/ha + digestát	8
8. Agrouhli 30 t/ha + digestát	8

Účinek agrouhlí je ověřován na 2 odlišných typech půd. Pro každou půdu je tedy testováno 8 variant po 8 opakováních, tj.  $2 \times 8 \times 8 = 128$  vegetačních nádob. (Pokus na ÚKZÚZ Brno byl založen ve větším rozsahu, testován je navíc další odlišný typ agrouhlí a ještě jedna varianta s aplikací popela, který je obdobou minerálního hnojení) Z tohoto důvodu jsou na fotografiích zobrazeny hodnocené varianty společně s variantami v této práci nehodnocenými

Obr. 2 – Rozmístění a označení pokusu (2. rok, pšenice) ve vegetační hale ÚKZÚZ Brno

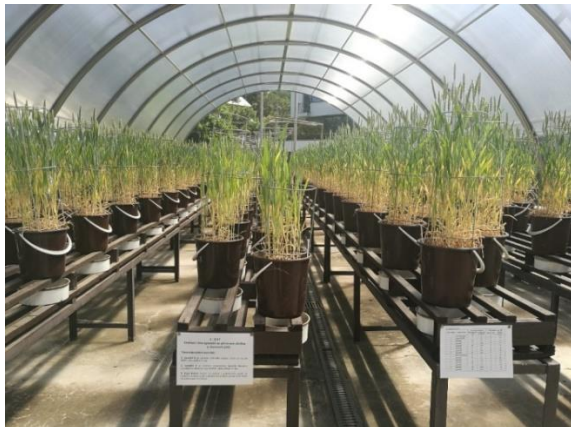


Foto S. Jančíková, 2017

#### 4.1.2 Způsob provedení pokusu

Podle druhu pěstované plodiny a účelu zkoušky se zvolí odpovídající velikost vegetačních nádob. Vegetační nádoby se umísťují na kovové stoly a dřevěné rošty (obr. 2). Pro přesnou identifikaci se každá nádoba označuje číslicí. Kombinace v porostu se identifikuje plastovou jmenovkou, která se umísťuje vždy do první nádoby dané kombinace (obr. 3). Je opatřena číslem a výstižným popisem hnojení, plodiny apod. Každá zkouška se označuje základními údaji, popis se umísťuje na první stůl (počátek zkoušky).

Obr. 3 – Označení kombinace



Foto S. Jančíková, 2017

#### 4.1.3 Způsob hnojení, chemické složení digestátu a parametry použitých půd

Rostliny jsou hnojeny digestátem ve třech stupňujících se dávkách. Pro sledování účinnosti agrouhlí v závislosti na různých půdních vlastnostech byly použity dva typy půd – úrodnější a méně úrodná. Digestát pochází z bioplynové stanice zemědělské společnosti Lípa u Havlíčkova Brodu. Analýzy digestátu (tab. 3) byly provedeny v NRL ÚKZÚZ Plzeň

Tab. 3 – Chemické složení digestátu

Parametr	Hodnota v sušině
sušina OH (%)	4,82
spalitelné látky (%)	79,05
N celkový (%)	5,60
pH	8,23
K (%)	2,77
P (%)	1,192
vlhkost (%)	94,35
As (mg/kg)	<1
Cd (mg/kg)	0,42
Cr (mg/kg)	3,482
Cu (mg/kg)	56,81
Hg (mg/kg)	0,015
Mo (mg/kg)	1,043
Ni (mg/kg)	3,553
Pb (mg/kg)	1,5
Zn (mg/kg)	302,8

Charakteristika půdy (tab. 4 a 5):

Tab. 4 – Chemické parametry (lehčí a méně úrodná půda z lokality Žabčice: 49°00'41.8"N 16°36'09.3"E -písčité půda)

Obsah živin ve výluhu Mehlich III (mg/kg) a hodnocení kategorií zásobenosti přístupnými živinami				Půdní reakce pH/CaCl <sub>2</sub>	Obsah CaCO <sub>3</sub>
P	K	Mg	Ca	5,4	půda nevápnitá
72,0	105,1	97	1391		
vyhovující	nízký	nízký	vyhovující		

Kritéria hodnocení dle Metodického pokynu ÚKZÚZ č. 9/SZV

Tab. 5 – Chemické parametry (úrodnější půda z lokality Šlapanice u Brna: 49°10'07.1"N 16°43'38.3"E - hlinitá půda typu černozem)

Obsah živin ve výluhu Mehlich III (mg/kg) a hodnocení kategorií zásobenosti přístupnými živinami				Půdní reakce pH/CaCl <sub>2</sub>	Obsah CaCO <sub>3</sub>
P	K	Mg	Ca	7,2	půda nevápnitá
93,1	454	350	4000	neutrální	
dobry	velmi vysoký	velmi vysoký	vysoký		

Kritéria hodnocení dle Metodického pokynu ÚKZÚZ č. 9/SZV

#### 4.1.4 Charakteristika použitého agrouhli

Agrouhli (obr. 4) bylo vyrobeno z anaerobního digestátu kukuřice a celulóзовých vláken při teplotě 470 °C s dobou zdržení 25 min. Pro jeho výrobu bylo využito odpadního tepla z bioplynové stanice. Celulóзовá vlákna jsou odpadem z výroby papíru. Základní chemické analýzy, obsah živin a rizikových prvků uvádí tabulka 6. (Analýzy agrouhli byly provedeny v NRL ÚKZÚZ Plzeň a Opava)

Obr. 4 – Agrouhli



Foto S. Jančíková, 2017

Tab.6 – Základní chemické analýzy, obsah živin a rizikových prvků agrouhlí

Parametry	Agrouhlí
Sušina OH	48,09
Spalitelné látky v sušině	65,44
Popel v sušině	34,56
Hodnota pH v H <sub>2</sub> O	9,68
Hodnota pH v CaCl <sub>2</sub>	9,11
Vodivost (mS/cm)	0,74
N Celkový organický v sušině (%)	1,42
C celkový jako (%)	62,55
C:N	43,9
Al celkový v sušině (mg/kg)	7165
Be celkové v sušině (mg/kg)	0,141
Co celkový v sušině (mg/kg)	2,488
Ca celkový v sušině (mg/kg)	5,30
K celkový v sušině (%)	1,65
Mg celkový v sušině (%)	0,42
P celkový v sušině (%)	0,64
Na celkový v sušině (mg/kg)	409,2
Mn celkový v sušině (mg/kg)	174,2
Fe celkové v sušině (mg/kg)	3455
V celkový v sušině (mg/kg)	5,713
As celkový v sušině (mg/kg)	1,019
Cd celkové v sušině (mg/kg)	<0,1
Cr celkový v sušině (mg/kg)	26,92
Cu celková v sušině (mg/kg)	25,39
Hg celková v sušině (mg/kg)	0,006
Mo celkový v sušině (mg/kg)	1,842
Nikl celkový v sušině (mg/kg)	14,74
Olovo celkové v sušině (mg/kg)	7,383
Zn celkové v sušině (mg/kg)	73,88



#### 4.1.5 Způsob aplikace agrouhlí a hnojiva (digestátu), použité dávky

Agrouhlí bylo při založení pokusu promícháno s objemem půdy v nádobě v celé aplikační dávce vždy v dané úrovni (0,5 t/ha = 2,1 g/nádoba; 3 t/ha = 12,3 g/nádoba; 30 t/ha = 123 g/nádoba). Digestát byl aplikován dle potřeby plodiny před výsevem nebo i během vegetace. Aplikační dávka se stanovuje dle obsahu dusíku v sušině digestátu. (Ve druhém pokusném roce bylo rozhodnuto hnojit i „nehnojené varianty“ nižší dávkou digestátu z důvodu pozorování velmi nízkého výnosu původně nehnojených variant.)

#### 4.1.6 Výsev, ošetření během vegetace, hodnocené parametry

Do každé nádoby bylo vyseto příslušné množství semen, po vzejití bylo provedeno jednocení na potřebný počet vyrovnaných rostlin. Pod každou nádobu byla umístěna miska pro zachycení přebytečné závlivkové vody. Během vegetace bylo prováděno preventivní ošetření pesticidy. Bylo prováděno vegetační pozorování, zaznamenány byly rozdíly v nástupu jednotlivých fenologických fází a změny morfologie rostlin v závislosti na jednotlivých úrovních hnojení. Růstové rozdíly byly vyfotografovány (příloha 3 a 4). Dle potřeby byla prováděna pravidelná závlivka demineralizovanou vodou upravenou reverzní osmózou MID 50 K na hodnotu 60 % maximální vodní kapacity (obr.5). Po sklizni byl hodnocen výnos sušiny příslušné plodiny, obsah živin v rostlinách a v půdě a byl proveden agrochemický rozbor půdy.

Obr. 5 – Zařízení na úpravu vody  
Pharmapur řady Aqua Complet, firma GORO, s. r. o., ČR



Foto S. Jančíková, 2017

## 4.2 První rok zkoušky

### 4.2.1 Popis pěstované odrůdy kukuřice

V prvním roce zkoušky byla pěstovanou plodinou kukuřice, odrůda Pesandor (kukuřice na siláž). Jedná se o dvouliniový (Sc), středně pozdní až středně raný hybrid s číslem ranosti cca 300 S. Rostliny jsou vysoké, palice mají nasazeny středně vysoko až vysoko, počet řad zrn je vysoký až velmi vysoký, typ zrna mezityp až koňský zub. Výnos celkové suché hmoty je velmi vysoký, výnos celkové zelené hmoty vysoký, obsah škrobu středně vysoký, stravitelnost - ELOS (odhad stravitelnosti na základě stanovení podílu enzymaticky rozpustné organické hmoty) (de Boever a kol., 1986, stanovena s využitím NIRS) je definována jako středně vysoká až vysoká, stravitelnost – IVDOM (odhad stravitelnosti organické hmoty (Tilley and Terry, 1963, stanovena s využitím NIRS) středně vysoká. Hybrid je určen pro pěstování na siláž v zemědělských výrobních oblastech kukuřičné a řepařské.

### 4.2.2 Metodika zkoušky v prvním roce čtyřletého pokusu

Plastové nádoby o objemu 10 l (12 l u půdy Šlapanice z důvodu většího objemu zeminy) byly naplněny zhomogenizovanou zeminou, současně bylo aplikováno agrouhlí a digestát v množství 23 g na nádobu, což odpovídá hektarové dávce 56 t digestátu /ha, dodáno tak bylo 150 kg N/ha (tab. 7).

Tab. 7 – aplikace digestátu - plodina kukuřice

Hnojení	Dávka	Termín aplikace
Před výsevem	23 g/nádoba	7. 4. 2016
	56 t/ha	
	150 kg N/ha	
Regenerační hnojení I	0	
Regenerační II	0	
Produkční hnojení	0	

Do každé nádoby bylo vyseto 9 semen kukuřice, po vzejití bylo provedeno vyjednocení na 4 vyrovnané rostliny v každé nádobě (17. 5. 2016). Během vegetace bylo provedeno preventivní ošetření insekticidem Karate Zeon proti bzunce ječné (3 týdny po výsevu). Růstové rozdíly byly vyfotografovány ve dvou termínech – 4 týdny po výsevu (1. 6. 2016) a 9 týdnů po výsevu (8. 7. 2016) (příloha č. 7).

### 4.2.3 Sklizeň

Sklizeň byla provedena 25. 7. 2016. Půda z jednotlivých nádob byla promíchána v celém objemu, z každé kombinace byl odebrán vzorek 400 ml (8 x 50 ml z každé nádoby přes síto 2 mm) pro provedení chemických analýz. Na dno nádoby byla navrstvena organická hmota kořenů a zbytků rostlin po sklizni kukuřice, poté byly nádoby opět naplněny zeminou a ponechány do následného výsevu pšenice ozimé (5. 10. 2016) (tab. 8)

Tab. 8 – Termíny mechanických zásahů, vegetační pozorování

plnění nádob	06.04.2016	
vyhnojení	07.04.2016	
výsev 9 semen	3.5.	
vzcházení	11.5.	
Jednocení na 4 rostl.	17.5.	
preventivní postřik	23.5.	Karate 0,2%
počátek metání	13.7.	
počátek kvetení	17.7.	
sklizeň	25.7.	

## 4.3 Druhý rok zkoušky

### 4.3.1 Popis pěstované odrůdy pšenice

Ve druhém roce byla zkoušenou plodinou Pšenice ozimá, odrůda Gordian. Jedná se o pekařskou polopozdní odrůdu. Rostliny jsou nízké, odolné proti poléhání, zrno malé. Odrůda je středně odolná až odolná proti napadení padlím travním na listu, středně odolná až odolná proti napadení padlím travním v klasu, středně odolná proti napadení listovými skvrnitostmi, středně odolná proti napadení braničnatkou plevovou v klasu, středně odolná až odolná proti napadení rží pšeničnou.

Dle provokačních testů je středně odolná proti napadení rží travní, středně odolná proti napadení rží plevovou, méně odolná proti napadení fuzariózami klasů pšenice, středně odolná proti vymrzání. Výnos zrna v neošetřené variantě je ve všech zemědělských výrobních oblastech velmi vysoký, v ošetřené variantě v zemědělské výrobní oblasti kukuřičné středně vysoký až vysoký, v zemědělské výrobní oblasti řepařské velmi vysoký, v zemědělské výrobní oblasti obilnářské a bramborářské vysoký.

Odrůda vykazuje Pekařskou jakost chlebovou (kategorie B). Objem pečiva je nízký, obsah dusíkatých látek nízký, hodnota Zeleného testu středně vysoká až nízká, vaznost mouky středně vysoká, hodnota čísla poklesu vysoká, objemová hmotnost vysoká.

#### 4.3.2 Metodika zkoušky ve druhém roce

Po sklizni předplodiny (25. 7. 2016) a homogenizaci zeminy v nádobách byl aplikován digestát v celkové dávce 32 g na nádobu, což odpovídá dávce hnojiva 8 t/ha, N (30 kg/ha). Množství bylo stanoveno na základě obsahu dusíku v sušině digestátu, tj. 40 kg N/ha. Během vegetace byl digestát aplikován v rámci regeneračního hnojení N 2 x (50 kg/ha) (52 g hnojiva na nádobu) (12,56 t hnojiva/ha), dále pak 1 x v rámci produkčního hnojení v následujících dávkách: 50 kg N/ha (52 g hnojiva na nádobu) (12,56 t hnojiva/ha), v rámci druhé dávky regeneračního hnojení bylo rozhodnuto hnojit i původně nehnojenou kontrolu z důvodu pozorovaného nízkého nárůstu biomasy, aplikována byla stejná dávka digestátu jako u hnojené varianty, také v rámci produkčního hnojení byla hnojena i původně nehnojená kontrola stejnou dávkou jako kontrola hnojená, celková dávka dusíku tedy byla 180 kg/ha u variant hnojených a 100 kg/ha dusíku u variant nehnojených (tab. 9).

Tab. 9 – aplikace digestátu - plodina pšenice

	Hnojená kontrola	„Nehnojená“ kontrola	
Hnojení	Dávka	Dávka	Termín aplikace
Před výsevem	32 g/nádoba	0	5. 9. 2016
	7,79 t/ha	0	
	30 kg N/ha	0	
Regenerační I	52 g/nádoba	0	17. 3. 2017
	12,56 t/ha	0	
	50 kg/ha	0	
Regenerační II	52 g/nádoba	52 g/nádoba	31. 3. 2017
	12,56 t/ha	12,56 t/ha	
	50 kg N/ha	50 kg N/ha	
Produkční hnojení	52 g/nádoba	52 g/nádoba	18. 4. 2017
	12,56 t/ha	12,56 t/ha	
	50 kg N/ha	50 kg N/ha	

Do každé nádoby bylo vyseto 28 zrn pšenice ozimé (5. 10. 2016), po vzejtí bylo provedeno jednocení na 21 stejných rostlin.

Pod každou nádobu byla umístěna miska pro zachycení přebytečné závlivkové vody (shodné s 1. rokem zkoušky). K ošetření proti padlí travnímu byl použit přípravek SEGURIS, 0,1%, 20. 3. 2017 a 12. 4. (padlí, plíseň) + 26. 5. 2017. Boogie Xpro (padlí travní) 0,1%, 20. 3. 2017, 2. 5. 2017. Bylo prováděno vegetační pozorování (příloha 4), sledování rozdílů v nástupu jednotlivých fenologických fází a morfologie rostlin v závislosti na jednotlivých úrovních hnojení. Růstové rozdíly byly vyfotografovány ve 2 termínech (1. 6. 2017) a (30. 6. 2017) (příloha č. 8). Dle potřeby byla prováděna pravidelná závlivka demineralizovanou vodou upravenou reverzní osmózou MID 50 K na hodnotu 60 % maximální vodní kapacity (tab. 10).

Tab. 10 – Termíny mechanických zásahů a vegetační pozorování (pšenice)

Výsev 28 zrn	5. 10. 2016	
vzcházení	17. 10. 2016	
Jednocení na 21 rostl.	6. 3. 2017	
Postřik	20. 3.	SEGURIS 0,1%, Boogie Xpro 0,1%
	12. 4.	SEGURIS 0,1%
	2. 5.	Boogie Xpro 0,1%
	26. 5.	SEGURIS 0,1%
počátek metání	23. 5 2017	Hnojené rostliny ve fázi metání
	27. 5. 2017	Nehnojené rostliny počátek metání
počátek kvetení	31.5.	
sklizeň	10.7.	

#### 4.3.3 Sklizeň

Sklizeň byla provedena 10. 7. 2017 (obr. 6). Byla zvážena celá sušina z každé nádoby, rostliny byly roztrženy dle jednotlivých kombinací, byla stanovena hmotnost zrna a vyhodnocen výnos sušiny.

Obr. 6 – Sklizeň pšenice (10. 7. 2017)



Foto S. Jančíková, 2017

12. 7. byla půda z jednotlivých nádob promíchána v celém objemu, z každé kombinace byl odebrán vzorek 400 ml (8 x 50 ml z každé nádoby přes síto 2 mm) pro provedení chemických analýz (obr. 7). Na dno nádoby byla navrstvena organická hmota kořenů a zbytků rostlin po sklizni pšenice, poté byly nádoby znovu naplněny zeminou a ponechány do následného výsevu řepky ozimé.

Obr. 7 – Odběr půdních vzorků pro chemické analýzy



Foto S. Jančíková, 2017

## 4.4 Metody použité k chemickým analýzám

### 4.4.1 Analýza rostlin

**Obsah živin:** N, P, K, Mg, Ca – rostliny byly vysušeny a rozemlety (obr. 9). Prvky byly stanoveny ve vzorku mineralizovaném mokrou cestou směsí kyseliny sírové,  $H_2O_2$  a Se.

#### Princip

Navážka upraveného vzorku se oxiduje peroxidem vodíku v prostředí koncentrované kyseliny sírové. Po rozložení peroxidu vodíku a oddestilování vody se mineralizace dokončí varem s kyselinou sírovou za katalytického působení selenu.

#### Postup

Do spalovací tuby mineralizačního bloku (obr. 8) se naváží upravený a vysušený materiál. Přidá se mineralizační směs – kyseliny sírové se selenem, nechá se stát. Pak se opatrně přidává peroxid vodíku až do vyčerení mineralizátu. Takto připravený vzorek se umístí do mineralizačního bloku a mineralizace pokračuje podle následujícího režimu: 20 min na 250 °C, 10 min na 370 °C, 90 min na 400 °C. Po úplném vychladnutí se přidá voda a obsah se kvantitativně převede do odměrné baňky. Po nejméně 18 h stání při laboratorní teplotě se baňka doplní vodou po značku, promíchá a obsah baňky se přefiltruje do plastové lahvičky. (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40020.1 dle Zbírala a kol., 2014).

Obr.9 – Mineralizační blok Gerhardt dvacetipozicové zařízení, otevřený systém mineralizace za atmosférického tlaku s regulátorem teploty, Německo

Obr. 8 – Příprava vzorků rostlin k mineralizaci



Foto S. Jančíková, 2017



Foto S. Jančíková, 2017.

Obsah N byl stanoven metodou dle Kjehldala (obr. 10), kyselý mineralizát se alkalizuje roztokem hydroxidu sodného, uvolněný amoniak se jímá do roztoku kyseliny borité, standardním odměrným roztokem kyseliny sírové se titračně stanoví amoniak (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40053.1 dle Zbírala a kol., 2014).

Obr. 10 – Automatická destilační jednotka Kjeltec<sup>TM</sup> 2300 firma Tecator FOSS, Švédsko



Foto S. Jančíková, 2017

Obsah P, K, Mg a Ca byl stanoven metodou ICP-OES (obr. 11). Měří se záření prvků po jejich termické excitaci v argon – argonovém plazmatu, získaná data se vyhodnotí metodou kalibrační křivky a stanoví se koncentrace. (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40090.1 dle Zbírala a kol., 2014).

Obr. 11 – Optický emisní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem (ICP – OES) (Spectro Blue), výrobce Spectro, Kleve, Německo



Foto NRL (Národní referenční laboratoř), ÚKZÚZ Brno



#### 4.4.2 Analýza půdy

Obsah P, K, Mg, Ca a S byl stanoven ve výluhu dle Mehlicha 3 (půdní vzorek jemnozlem I), extrakční činidlo (dusičnan amonný, fluorid amonný a EDTA, kyselina octová, kyselina dusičná) (obr. 12). (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30068.1 dle Zbírala a kol., 2016) metodou ICP-OES (viz výše) (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30074.1 dle Zbírala a kol., 2016).

Obr. 12 – Stanovení koncentrace prvků v půdě metodou ICP – OES(kalibrační roztoky a výluhy půdních vzorků metodou Mehlich III)



Foto S. Jančíková, 2017

Kationtová výměnná kapacita (KVK) a obsah výměnných kationtů byly stanoveny v extraktu půdy roztokem  $BaCl_2$ , celkový obsah dusíku ( $N_{tot}$ ) byl stanoven metodou dle Kjehldala (viz výše).(Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30921.1 dle Zbírala a kol., 2011). Z naměřených hodnot koncentrací výměnných kationtů a výměnné acidity se vypočte aktuální (efektivní) výměnná kapacita CEC a stupeň nasycení sorpčního komplexu. (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30230.1 dle Zbírala a kol., 2016). Obsah jednotlivých prvků byl stanoven metodou ICP-OES (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30500.1 dle Zbírala a kol., 2011) (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30234.1 dle Zbírala a kol., 2016). Výpočet KVK a stupně nasycení byl proveden dle Zbírala a kol. (2016) Jednotným pracovním postupem 30235.1.

## 5. Výsledky

### 5.1 Hodnocení vlivu agrouhlí na výnosy plodin, na obsah živin (N, P, K, Mg, Ca) v rostlinách a na změnu půdních vlastností

Předpokladem pozitivního působení biocharu v půdě je jeho schopnost sorpce, a tedy poutání živin, což se následně projeví ve zlepšení výživového stavu rostlin a umožní dosažení většího výnosu. Biochar obsahuje i poměrně značné množství živin a může tak přispívat k většímu vstupu živin do půdy, i když není jasné, zda jsou tyto živiny rostlinám dostupné.

Množství živin dodaných do půdy biocharem (obsah sušiny 48,1 %) je následující:

N	3,4 kg/0,5 t	20,4 kg/3 t	204 kg/30 t
P	1,5 kg/0,5 t	9,2 kg/3 t	92,4 kg/30 t
K	4 kg/0,5 t	23,7 kg/3 t	237 kg/30 t
Mg	1 kg/0,5 t	6 kg/3 t	60 kg/30 t
Ca	12,8 kg/0,5 t	76,5 kg/3 t	765 kg/30 t

Statistické vyhodnocení výsledků bylo provedeno metodou jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) za použití programu NCSS 11 (2016) (NCSS, LLC. Kaysville, Utah, USA.) Zvolená hladina významnosti je 0,05. Statisticky hodnoceny jsou dva samostatné soubory, první soubor tvoří varianty nehnojené s příslušnou nehnojenou kontrolou, druhý soubor je sestaven z variant hnojených digestátem s příslušnou hnojenou kontrolou. V tomto programu jsou zpracovány i grafy výnosů a obsahů prvků v rostlinách. Rozdíly mezi jednotlivými variantami jsou vyhodnoceny pomocí Kruskal – Wallisova testu. Pro statistické vyhodnocení jsou použity průměrné hodnoty pro výnosy a obsahy prvků v rostlinách získané z údajů na obou půdách (16 hodnot v případě výnosů – 8 pro půdu Žabčice a 8 pro půdu Šlapanice, 8 hodnot v případě prvků v rostlinách – 4 pro půdu Žabčice a 4 pro půdu Šlapanice).

Pro porovnání možného odlišného vlivu agrouhlí na půdě Žabčice a na půdě Šlapanice je použito procentické porovnání výnosů bez hodnocení statistické významnosti.

V následujícím textu týkajícím se hodnocení výsledků je namísto označení „biochar“ používáno označení „agrouhlí“ vzhledem k legislativou povolenému označení a ve shodě s pojmenováním uvedeným v grafech.

## 5.1.1 Výnosy

### Kukuřice

Všechny nehnojené varianty (příloha č. 1, graf č. 1) statisticky významně snižovaly výnos oproti nehnojené kontrole, maximálně však o 10 % (163,8 g oproti 182,9 g), mezi jednotlivými dávkami agrouhlí však již nebyl prokázán statisticky významný rozdíl.

U hnojených variant nebylo statisticky prokázáno snížení ani zvýšení výnosu oproti hnojené kontrole.

Při srovnání výnosů na obou půdách (příloha č. 1, graf č. 1) mělo však agrouhlí více negativní vliv na půdě úrodnější (Šlapanice), kde u nehnojených variant dosahoval výnos 81,9 až 90,4 % kontroly, zatímco v půdě Žabčice nebyl pokles výnosu tak značný (95,3 až 98,7 % kontroly).

U hnojených variant v půdě Žabčice byl dokonce výnos oproti kontrole vyšší (až o 9,7 % při dávce agrouhlí 3 t/ha se současnou aplikací digestátu).

### Pšenice

U hnojených variant (příloha č. 2, graf č. 2) byl zaznamenán statisticky významný pokles celkového výnosu pšenice oproti kontrole u všech variant s aplikací agrouhlí (z 83,5 g na 78,1 g; 76,4 g a 78,7 g, tj. pokles o 5 – 9 %).

Výnos zrna (příloha č. 2, graf č. 3) byl statisticky významně nižší oproti kontrole u varianty hnojené s dávkou agrouhlí 3 t/ha (snížení z 36,4 g na 33,6 g), tj. snížení výnosu zrna o 8 %.

Také výnos slámy byl statisticky významně nižší oproti kontrole u varianty hnojené s dávkou agrouhlí 3 t/ha (pokles z 47,1 g na 42,8 g), tj. pokles o 9 %, stejně tak i u dávky 30 t/ha výnos slámy statisticky významně poklesl oproti kontrole, a to o 4 %.

Při srovnání výnosu suché nadzemní biomasy pšenice na obou půdách se na rozdíl od kukuřice projevil více negativní vliv agrouhlí na půdě Žabčice. Výnos u nehnojených variant zde dosahoval 91,4 % až 92,6 % kontroly a u hnojených variant pak pouze 88,1 % až 90,1 % kontroly. Na půdě Šlapanice bylo zaznamenáno i zvýšení výnosu, a to u nehnojených variant (až o 25 %). U variant hnojených byl výnos pšenice aplikací agrouhlí však opět snižován (95,0 % až 98,4 % kontroly).

### **5.1.2 Obsah prvků v sušině rostlin**

#### **Dusík – Kukuřice**

V obsahu dusíku v rostlině kukuřice (příloha č. 3, graf č. 5) nebyly prokázány statisticky významné rozdíly mezi variantami.

#### **Dusík – pšenice**

V zrnu pšenice (příloha č. 4, graf č. 10) nebyl pozorován statisticky významný rozdíl v obsahu dusíku mezi žádnou z nehnojených ani hnojených variant.

Ve slámě (příloha č. 4, graf č. 11) byl statisticky významný rozdíl zjištěn u variant hnojených, a to snížení obsahu dusíku oproti hnojené kontrole u dávky agrouhlí 0,5 t/ha a 30 t/ha oproti hnojené kontrole z 0,18 % na 0,11% a 0,10 %.

Vlivem aplikace agrouhlí se obsah dusíku v sušině pšenice spíše snižoval.

#### **Fosfor – kukuřice**

V obsahu fosforu v rostlinách u všech variant – nehnojených i hnojených nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl (příloha č. 3, graf č. 6).

#### **Fosfor – pšenice**

Statisticky významné rozdíly byly zjištěny v obsahu fosforu v zrnu hnojených variant pro dávku agrouhlí 0,5 t/ha a 30 t/ha (příloha č. 4, graf č. 12). Obsah fosforu poklesl oproti kontrole z 0,39 % na 0,36% a 0,36 %. V půdě byl u těchto dávek agrouhlí zaznamenán rovněž pokles obsahu fosforu oproti kontrole.

U variant hnojených se statisticky významně zvýšil obsah fosforu ve slámě (příloha č. 4, graf č. 13) při dávce agrouhlí 30 t/ha oproti kontrole, a to z 0,07 % na 0,09 % (vzhledem k současnému snížení výnosu slámy ale nemusí být zvýšení obsahu fosforu v sušině průkazné – zřed'ovací efekt).

Obsah fosforu v sušině kukuřice byl vlivem aplikace agrouhlí snižován, u pšenice bylo prokázáno statisticky významné zvýšení obsahu fosforu ve slámě u hnojených variant, byl ale pozorován zároveň nižší výnos slámy a výsledek tedy nemusí být průkazný.

### **Draslík – kukuřice**

V obsahu draslíku v rostlině kukuřice (příloha č. 3, graf č. 7) nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi nehnojenými ani hnojenými variantami.

### **Draslík – pšenice**

V zrnu pšenice (příloha č. 4, graf č. 14) nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v obsahu draslíku v rostlině u nehnojených variant, u variant hnojených došlo ke statisticky významnému snížení obsahu draslíku v zrnu oproti hnojené kontrole u variant s dávkou agrouhlí 3 t/ha a 30 t/ha, a to z 0,51 % na 0,46 a 0,47 %.

V půdě (příloha č. 2, graf č. 8) byl oproti hnojené kontrole pozorován nárůst obsahu draslíku u těchto variant.

Ve slámě (příloha č. 6, graf č. 27) nebyl pozorován statisticky významný rozdíl v obsahu draslíku v sušině u žádné z nehnojených ani hnojených variant.

Statisticky významný rozdíl byl zjištěn v obsahu draslíku v zrnu pšenice, a to je ho snížení.

### **Hořčík – kukuřice**

Nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v obsahu hořčíku v sušině rostlin (příloha č. 3, graf č. 8) u žádné z variant.

### **Hořčík – pšenice**

V zrnu (příloha č. 4, graf č. 16) ani ve slámě pšenice (příloha č. 4, graf č. 17) se neprokázal statisticky významný rozdíl v obsahu draslíku u žádné varianty.

V obsahu draslíku v sušině obou rostlin nebyl prokázán statisticky významný rozdíl u žádné z variant. Obsah hořčíku v sušině sledovaných rostlin nebyl aplikací agrouhlí ovlivněn.

### **Vápník – kukuřice**

Statisticky významný rozdíl v obsahu vápníku v sušině kukuřice (příloha č. 3, graf č. 9) byl pozorován mezi hnojenými variantami, a to mezi variantou kontrolní (0,32 % N) a variantou s dávkou agrouhlí 30 t/ha (0,30 % N), tedy snížení obsahu vápníku v sušině kukuřice.

Při dávce agrouhlí 30 t/ha u hnojených variant je patrný i nárůst obsahu vápníku v půdě (příloha č. 5, graf č. 24) oproti hnojené kontrole (z 4739 mg/kg Ca na 5654 mg/kg Ca, tj. nárůst o 19 %).

## **Vápník – pšenice**

V zrnu pšenice (příloha č. 4, graf č. 18) byl prokázán statisticky významný rozdíl v obsahu vápníku mezi kontrolní nehnojenou variantou (0,04 % Ca) a všemi nehnojenými variantami s obsahem agrouhlí – snížení obsahu Ca až na 0,03 % Ca. Mezi jednotlivými dávkami agrouhlí však již statisticky významný rozdíl prokázán nebyl.

V půdě je pozorován spíše vyšší obsah Ca u nehnojených variant, zejména u dávky biocharu

3 t/ha (příloha č. 2, graf č. 10).

Ve slámě (příloha č. 6, graf č. 29) nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu vápníku.

Obsah vápníku v sušině obou plodin byl vlivem aplikace agrouhlí snižován.

### **5.1.3 Obsah prvků v půdě, pH a KVK**

Pro statistické hodnocení obsahu prvků v půdách nebylo k dispozici potřebné množství dat (Půdy z osmi opakování v každé kombinaci byly promíchány a odebrán byl vždy pouze jeden průměrný vzorek z každé kombinace.) K hodnocení rozdílů mezi variantami je proto použito procentické srovnání obsahu prvků v půdě. Grafy jsou zpracovány v programu MS Excel.

### **Celkový dusík – půda po kukuřici**

Hodnocena je pouze půda z lokality „Šlapanice“, u půdy z lokality Žabčice byl obsah dusíku pod limitem detekce (< 0,15 mg/kg).

V půdě po kukuřici (příloha č. 5, graf č. 20) obsah dusíku u nehnojených variant při aplikaci agrouhlí narůstal, a to nejvíce při dávce 30 t/ha (z 0,16 na 0,24 mg/kg). U hnojených variant je pozorována opačná tendence, tedy pokles obsahu dusíku v půdě při aplikaci agrouhlí. V obsahu dusíku v rostlinách ale nebyl pozorován statisticky významný rozdíl mezi žádnou variantou (příloha č. 3, graf č. 5).

### **Dusík – půda po pšenici**

Obsahu dusíku v půdě po pšenici (příloha č. 6, graf č. 25) poskytuje nejednoznačné výsledky, Ve slámě pšenice došlo k statisticky významnému poklesu obsahu dusíku u hnojených variant při dávce agrouhlí (z 0,18 % na 0,11 % a 0,10 %) (příloha č. 4, graf č. 11). Při těchto dávkách agrouhlí bylo pozorováno v půdě Šlapanice nevýznamné zvýšení obsahu dusíku (z 0,18 mg/kg na 0,19 mg/kg).

### **Fosfor – půda po kukuřici**

V půdě Žabčice (příloha č. 5, graf č. 21) je pozorován převážně nárůst obsahu fosforu u nehnojených i hnojených variant oproti kontrolním variantám, z 49 mg/kg na 59 mg/kg a z 65 mg/kg na 73 mg/kg (o 20 a 12 %).

Na půdě Šlapanice u nehnojených variant obsah dusíku kolísal, u hnojených variant obsah fosforu oproti kontrolní variantě vlivem agrouhlí klesal (z 80 mg/kg na 71 mg/kg). V obsahu fosforu v rostlinách kukuřice není pozorován statisticky významný rozdíl mezi žádnou variantou (příloha 3, graf č. 6).

### **Fosfor – půda po pšenici**

Obsah fosforu v půdě po pšenici (příloha č. 6, graf č. 26) u jednotlivých variant značně kolísá, lze však pozorovat snížení obsahu fosforu pod vlivem agrouhlí u půdy Šlapanice, a to v obou statistických souborech vzhledem k příslušné kontrolní variantě, největší snížení obsahu P je zjištěno při dávce agrouhlí 3 t/ha (pokles z 136,3 mg/kg na 52,26 mg/kg u nehnojených variant a z 106,1 na 76,4 u variant hnojených).

Na lehčí půdě (Žabčice) je u některých variant pozorováno zvýšení obsahu fosforu, zejména u hnojené varianty s obsahem agrouhlí 3 t/ha (z 76,76 mg/kg na 97,09 mg/kg), tj. nárůst o 26 %. V rostlinách se snížil obsah fosforu v zrně pšenice u hnojených variant (příloha č. 4, graf č. 12) a naopak zvýšení obsahu fosforu bylo pozorováno ve slámě pšenice u hnojených variant (příloha č. 4, graf č. 13).

### **Draslík – půda po kukuřici**

V půdě po kukuřici (příloha č. 5, graf č. 22) je patrný v půdě Žabčice spíše nárůst obsahu draslíku, v půdě Šlapanice jsou výsledky méně jednoznačné. V obsahu draslíku v rostlinách však nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl (příloha č. 3, graf č. 7).

### **Draslík – půda po pšenici**

Vliv agrouhlí na obsah draslíku v půdě je patrný zejména u hnojených variant, (příloha č. 2, graf č. 8), kde agrouhlí zvyšovalo jeho obsah jak v půdě Žabčice, tak i v půdě Šlapanice, největší nárůst obsahu draslíku byl pozorován při dávce agrouhlí 0,5 t/ha (o 10 a 45 % oproti kontrole).

V zrně pšenice bylo pozorováno naopak snížení obsahu draslíku u hnojených variant (příloha č. 3, graf č. 15).

### **Hořčík – půda po kukuřici**

Obsah hořčíku (příloha č. 5, graf č. 23) vzrůstal především na půdě Žabčice, největší nárůst obsahu hořčíku byl zaznamenán u dávky agrouhlí 30 t/ha u nehnojených i hnojených variant (nárůst z 72 na 90 mg/kg a z 70 na 83 mg/kg), tj. o 25 a 19 %.

V obsahu hořčíku v rostlinách nebyl pozorován statisticky významný rozdíl mezi žádnou variantou (příloha č. 3, graf č. 8).

### **Hořčík – půda po pšenici**

Také po pšenici v půdě Žabčice vzrůstal obsah hořčíku při aplikaci agrouhlí u nehnojených i hnojených variant nejvíce při dávce agrouhlí 30 t/ha (nárůst z 73,7 na 89,53 mg/kg a z 72 na 87,06 mg/kg), tj. nárůst o 21 % u obou variant.

V půdě Šlapanice je patrné zvýšení obsahu hořčíku vlivem digestátu, vlivem agrouhlí se obsah hořčíku hnojených variant snižoval se zvyšující se dávkou agrouhlí. Nejméně hořčíku obsahovala půda při dávce agrouhlí 30 t/ha (pokles z 643,6 na 340,5 mg/kg), což je pokles o 48 % oproti kontrole hnojené digestátem.

V obsahu hořčíku v rostlinách však nebyl pozorován statisticky významný rozdíl mezi variantami (příloha č. 4, grafy č. 16 a 17).

### **Vápník – půda po kukuřici**

Obsah vápníku v půdě (příloha č. 5, graf č. 24) se vlivem účinku agrouhlí spíše zvyšoval, což je patrné zvláště u hnojených variant na obou půdách, na půdě Žabčice obsah vápníku vzrostl z 1255 na 1363 mg/kg (o 9 %) u dávky 0,5 t/ha, na půdě Šlapanice pak z 4515 mg/kg na 5654 mg/kg (o 25 %) při dávce 30 t/ha.

V rostlinách došlo k poklesu obsahu vápníku u hnojených variant nejvíce při dávce 30 t/ha (příloha č. 3, graf č. 9).

### **Vápník – půda po pšenici**

V půdě Šlapanice po pšenici (příloha č. 6, graf č. 29) obsah vápníku u nehnojených variant také spíše narůstal (z 5318 mg/kg u kontrolní varianty na 6045 mg/kg pro dávku agrouhlí 3 t/ha), tj. nárůst obsahu vápníku o 14 % oproti nehnojené kontrole.

U variant hnojených byl pozorován největší vliv digestátu – nejvyšší obsah Ca (8962 mg/kg), u variant s agrouhlím byl obsah vápníku v půdě vždy nižší, stoupal však s vyšší dávkou agrouhlí. Při dávce agrouhlí 30 t/ha obsahovala půda 5129 mg/kg vápníku.



V půdě Žabčice byl vliv agrouhlí méně jednoznačný, také však obsah vápníku spíše zvyšoval. Obsah vápníku v znu pšenice se snížil u nehnojených variant, mezi jednotlivými dávkami agrouhlí ale nebyl pozorován rozdíl (příloha č. 4, graf č. 18)

### Hodnoty pH a aktuální KVK – půda po kukuřici

Po aplikaci agrouhlí je patrná tendence zvýšení pH půdy (tab. č.10), pH bylo výrazněji zvýšeno na půdě Žabčice (o 0,6 u variant nehnojených a o 0,4 u hnojených variant).

Vliv agrouhlí na KVK není zřetelný

Tab. 10 – hodnoty pH a KVK v půdě po kukuřici

Varianta	Půda Žabčice		Půda Šlapanice	
	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KVK <sub>akt</sub> (mmol/kg)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KVK <sub>akt</sub> (mmol/kg)
Kontrola nehnojená	5,0	73,3	7,5	246
Agrouhlí 0,5 t/ha	5,1	75,5	7,5	236,3
Agrouhlí 3 t/ha	5,1	71,1	7,6	240
Agrouhlí 30 t/ha	5,6	83,0	7,5	247,1
Kontrola hnojená	5,0	84,1	7,2	243,9
Agrouhlí 0,5 t/ha + DG	5,1	80,6	7,4	248,9
Agrouhlí 3 t/ha + DG	5,1	63,5	7,4	250,5
Agrouhlí 30 t/ha + DG	5,4	73,4	7,5	240,3

### Hodnoty pH a aktuální KVK – půda po pšenici

Také v půdě po pšenici je patrná tendence zvyšovat pH půdy po aplikaci agrouhlí (tab. č. 11), opět především na půdě Žabčice. Při dávce agrouhlí 30 t/ha u nehnojených variant bylo v půdě naměřeno nejvyšší pH 5,9, což je zvýšení o 0,6 oproti kontrolní nehnojené variantě. U hnojených variant bylo pH zvýšeno o 0,5 oproti kontrolní nehnojené variantě nejvíce, a to opět u dávky agrouhlí 30 t/ha.

V půdě po pšenici je dále patrná tendence zvýšení KVK na obou půdách (tab. č. 11). KVK u variant nehnojených na půdě Žabčice se nejvíce zvýšila při dávce agrouhlí 30 t/ha (z 75,8 mmol na 92,09 mmol), u variant hnojených byla KVK nejvíce zvýšena oproti kontrolním variantám také při dávce agrouhlí 30 t/ha (nárůst z 77,25 mmol na 98,24 mmol. Na půdě Šlapanice byl pozorován největší nárůst KVK rovněž při dávce 30 t/ha u nehnojených i hnojených variant (z 263,2 mmol na 267,2 mmol a z 258,4 mmol na 276,2 mmol.)

Na obou půdách u variant nehnojených i hnojených při dávce agrouhlí 30 t/ha byly pozorovány nejvyšší hodnoty pH i KVK. Nárůst KVK oproti prvnímu roku zkoušky byl vyšší.

Tab. 11 – hodnoty pH a KVK v půdě po pšenici

Varianta	Půda Žabčice		Půda Šlapanice	
	pH (Ca Cl <sub>2</sub> )	KVK <sub>akt</sub> (mmol/kg)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KVK <sub>akt</sub> (mmol/kg)
Kontrola nehnojená	5,3	75,8	7,4	263,2
Agrouhlí 0,5 t/ha	5,3	77,1	7,4	265,3
Agrouhlí 3 t/ha	5,3	69,6	7,4	260,7
Agrouhlí 30 t/ha	5,9	92,1	7,4	267,2
Kontrola hnojená	5,3	77,3	7,2	258,4
Agrouhlí 0,5 t/ha + DG	5,4	84,3	7,2	250,2
Agrouhlí 3 t/ha + DG	5,3	82,9	7,2	269
Agrouhlí 30 t/ha + DG	5,8	98,2	7,3	276,2

## 6. Diskuze

Předpokladem pozitivního vlivu agrouhlí na výnos plodin je jeho sorpční schopnost, která by se významně měla projevit v půdě zvláště při současné aplikaci hnojiva. Proto byl do půdy kromě agrouhlí aplikován i digestát. Předpokládá se také, že větší účinek bude zřetelný na půdě lehčí, méně úrodné a s nižší sorpční schopností. Digestát by zde měl zajistit obohacení půdy živinami a agrouhlí umožní živiny poutat po delší časové období a následně je pomalu uvolňovat do roztoku.

Pozitivní vliv agrouhlí na výnos uvádějí např. Trupiano et al. (2017), biochar (vyrobený ze švestkového dřeva) aplikovaný do půdy (65 g/kg) méně zásobené živinami (slabě alkalická půda s jílovitou texturou, s nízkou KVK a nízkým obsahem uhlíku) zvýšil také obsah dusíku a fosforu v půdě. Při aplikaci kompostu (50 g/kg) a biocharu (65 g/kg) se však neprojevil žádný synergický ani kumulativní efekt.

Pokus poskytuje značně nekonzistentní výsledky, s použitím zvolené statistické metody však byl vliv agrouhlí vyhodnocen jako negativní. Statisticky významně byl snižován výnos na obou půdách u obou plodin. U kukuřice byl při aplikaci agrouhlí snižován výnos u nehnojených variant, a to až o 10 %.

V případě pšenice byl snižován výnos zrna u variant hnojených až o 8 %, výnos slámy byl nižší také u variant hnojených (až o 9 %).

Opačné výsledky, tedy pozitivní ovlivnění výnosu aplikací agrouhlí, uvádějí také Břendová et al. (2016). Pozorováno bylo zvýšení výnosu biomasy špenátu (*Spinacia oleracea L.*) až o 114 % oproti kontrole při aplikaci agrouhlí vyrobeného z vrb rostoucích na středně kontaminované půdě při 5% obsahu biocharu v půdě a v případě rostlin pěstovaných na kontaminované půdě byl výnos oproti kontrole dokonce ještě mnohem vyšší (o 359 %). Rovněž Zemanová et al. (2017) potvrzují pozitivní vliv biocharu z vrb (5 % obsah v půdě) na výnos špenátu (*Spinacia oleracea L.*), výnos byl u ozimé formy zvýšen o 353 % oproti kontrole.

Hodnocení možného rozdílného účinku agrouhlí na různých typech půd bylo provedeno na základě hodnocení dosažených výnosů na těchto půdách. Na lehčí půdě Žabčice bylo u hnojených variant kukuřice pozorováno zvýšení výnosu kukuřice (až o 9,7 %), je možné, že se pozitivně projevil vliv agrouhlí jako sorbentu a spolu s aplikací digestátu se zvýšil jejich obsah v půdě, nehnojené varianty výnos snižovaly, ale pokles výnosu nebyl tak výrazný jako v půdě Šlapanice.

U pšenice byl naopak zaznamenán více negativní vliv na půdě Žabčice, na půdě Šlapanice došlo ke zvýšení výnosu při aplikaci agrouhlí u variant nehnojených až o 25%, což mohlo být způsobeno vyšší hodnotou pH i KVK. Projevila se zde ale spíše větší úrodnost půdy Šlapanice než vliv agrouhlí, pH bylo shodné i v kontrolní variantě a také KVK této půdy je větší než u půdy Žabčice, i když byla aplikací agrouhlí ještě zvyšována. Varianty hnojené ale výnos pšenice na půdě Šlapanice snižovaly, ne však tak výrazně jako na půdě Žabčice.

U obou plodin, tedy v obou letech byl výnos snižován v podobném rozsahu kolem 10 %. Pěstované plodiny tedy zřejmě na obsah agrouhlí reagovaly podobně. Rozdílnou reakci dvou odlišných plodin (*Spinacia oleracea* a *Sinapis alba*) na obsah biocharu pozorovala Zemanová et al. (2017). Obě plodiny sice reagovaly na obsah agrouhlí zvýšením výnosu, hořčice však v mnohem menší míře a statisticky neprůkazně (zvýšení výnosu o 353 % v případě špenátu a pouze o 69 % v případě hořčice).

Výsledky výnosů na dvou rozdílných typech půd neposkytují jednoznačné informace o průkazném rozdílném vlivu agrouhlí na těchto půdách.

I přes pozitivní ovlivnění agrochemických parametrů půdy, jako je zvýšení pH a ve většině případů i zvýšení KVK se obsah živin v rostlinách vlivem aplikace agrouhlí většinou snižoval. Podobně bylo pozorováno zvýšení pH půdy a KVK v případě aplikace agrouhlí vyrobeného z dřevní štěpky a dřeva vinné révy (Kloss et al, 2014), výnos ječmene a hořčice byl ale aplikací agrouhlí také snižován až o 65 % při dávce agrouhlí 30 a 90 t/ha.

V sušině kukuřice došlo ke snížení obsahu vápníku u hnojených variant, v zrna pšenice došlo ke snížení obsahu fosforu, draslíku a vápníku u hnojených variant, ve slámě pšenice snížení obsahu dusíku u variant hnojených. Snížení obsahu živin (Ca, Mg) v biomase rostlin při aplikaci agrouhlí pozorovala také Zemanová et al. (2017), a to v rostlině špenátu (*Spinacia oleracea*) (u Ca až o 45 % oproti kontrole, Mg o 26 %) a hořčice (pokles o 34 % Ca a o 27 % u Mg).

Zvýšení obsahu živin bylo pozorováno u fosforu ve slámě pšenice (v zrna ale jeho obsah poklesl). Zemanová et al. (2017) rovněž uvádí nárůst obsahu P v biomase po aplikaci biocharu u špenátu a rovněž zvýšení obsahu K v biomase špenátu a hořčice.

V půdě je pozorován spíše nárůst obsahu většiny živin, v půdě po kukuřici vzrostl obsah fosforu u nehnojených i hnojených variant na půdě Žabčice, vzrostl obsah draslíku v půdě Žabčice, obsah hořčíku na půdě Žabčice u nehnojených i hnojených variant, vzrostl obsah vápníku po kukuřici na obou půdách u hnojených variant. U nehnojených variant vzrostl i obsah celkového dusíku, zejména při nejvyšší aplikované dávce agrouhlí. Zvýšení sorpční kapacity pro dusík ( $\text{NH}_4^+$  kationt) o 20 % zjistili také Wang et al. (2017) pro písčitou i

jílovitou půdu s biocharem (20 % biocharu) z ořechových skořápek. Mezi dvěma typy půd nebyl ale zjištěn rozdíl ve schopnosti sorpce  $\text{NH}_4^+$  kationtu.

V půdě po pšenici vzrostl obsah draslíku na obou půdách u hnojených variant, obsah hořčíku v půdě Žabčice u nehnojených i hnojených variant, obsah vápníku v půdě Šlapanice u nehnojených variant.

Kloss et al. (2014) podobně popisují nárůst obsahu prvků v půdě a současné snížení výnosu také u plodin hořčice (*Sinapis alba*) a ječmen (*Hordeum vulgare*) při aplikační dávce agrouhlí 30 a 90 t/ha, pouze u jetele (*Trifolium pratense*) nebyl výnos aplikací agrouhlí ovlivněn a pouze agrouhlí z pšeničné slámy výnosy nesnižoval a dokonce zvýšil výnos ječmene o 6 %.

Snížení obsahu fosforu bylo pozorováno v půdě po kukuřici na půdě Šlapanice u hnojených variant, v půdě po pšenici klesl obsah hořčíku u hnojených variant oproti variantě s digestátem, také obsah vápníku v půdě po pšenici klesl oproti variantě hnojené digestátem.

Nárůst obsahu prvků v půdě je často spojen s jejich poklesem v rostlinách, v jiných případech se ale jejich obsah v sušině rostlin nemění, někdy klesá obsah prvků v půdě a v rostlině se jeho obsah nemění. Změny parametrů půdy neukazují na jednoznačný vztah k obsahu prvků v rostlinách, vliv agrouhlí na omezenou dostupnost prvků rostlinám může být způsoben jejich zvýšenou sorpcí a tedy nepřístupností prvků rostlinám, možné jsou i jiné vlivy, jako např. obsah různých inhibičních látek, mezi nimi i PAH.

Kusmierz et al. (2015) prokázali zvýšení obsahu PAH v půdě po aplikaci biocharu vyrobeného z pšeničné slámy v dávce 30 a 45 t/ha (z 0,239  $\mu\text{g}/\text{kg}$  na 0,526 a 1,310  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , během experimentálního období však došlo k jejich degradaci (obsah PAH v půdě se nejvíce snížil za 105 dní po aplikaci biocharu do půdy).

V tomto pokusu se ale obsah PAH v půdě spíše snižoval a ani v rostlinách nebyl pozorovaný nárůst jejich obsahu (data obsahů PAH v této práci nejsou uvedena).

V nádobovém pokusu se tedy v prvních dvou letech zkoušky projevil spíše inhibiční vliv agrouhlí na výnos plodin, a to v podobném rozsahu v obou letech trvání zkoušky, což je ale ve shodě s očekáváním a vzhledem k čtyřletému trvání zkoušky se v dalších letech mohou projevit změny.

Schmidt (2012) uvádí, že v chudých půdách tropů má i samotné agrouhlí na výnos výrazný efekt, což je zdůvodnitelné zlepšením vodní kapacity, provzdušněním půdy a zlepšením příjmu živin vlivem zvýšení pH. V půdách mírného klimatického pásma s hodnotami humusu vyššími jak 1,5 % však jeho použití bez dalších úprav ztrácí význam,

neboť bude alespoň v krátkodobém až střednědobém horizontu silně poutat živiny a činit je tak rostlinám nepřístupným, vliv na růst rostlin bude tedy negativní. V podmínkách mírného klimatu je tedy třeba nejprve na povrch agrouhlí aplikovat živiny a aktivovat ho mikrobiální oxidací. Jako nejúčinnější se jeví aplikace agrouhlí ke kompostu v množství 10 – 30 %. Tak mohou vzniknout hodnotné substráty např. pro lesní školky nebo hrnkové květiny.

Agrouhlí lze využít také k úpravě hnojiv, přídavek 10 % agrouhlí k močovině zabraňuje ztrátám dusíku a pozitivně ovlivňuje výnos plodin (Abbas et al., 2017).

Testován byl především vliv agrouhlí v kombinaci s hnojením, nebyl posuzován vliv agrouhlí na vláhové poměry v půdě ani na změny mikrobiálního spektra v půdě, kde by se účinek agrouhlí mohl projevit pozitivně, zvláště pak v přirozených podmínkách, kde nelze zajistit takovou úroveň péče rostlinám jako v nádobovém pokusu.

Je také možné, že vlastností agrouhlí by mohlo být lépe využito mimo polní podmínky, kde je zapotřebí poměrně velkých aplikačních dávek a vzhledem k nákladnosti pyrolýzní technologie by taková aplikace do půdy ve větším rozsahu byla pro mnohé farmáře nedostupná, zvláště pak v chudších zemích.

## 7. Závěr

Agrochemické vlastnosti půd byly aplikací agrouhli ovlivněny, došlo k nárůstu pH a ve většině případů i KVK, vliv agrouhli na obsah živin v půdě ale není jednoznačný.

I přes zlepšení určitých parametrů půdy, zejména zvýšení pH a KVK, byl v obou letech vliv na výnos plodin spíše negativní, což je ale ve shodě s očekáváním v počátku čtyřletého pokusu. Ve druhém roce byl tedy vliv agrouhli na rostliny spíše negativní podobně jako v roce předchozím, pozitivní je však tendence ke zvýšení KVK půdy.

Jednoznačný rozdíl v účinku agrouhli na dvou typech půd nebyl zaznamenán.

Je možné, že negativní vliv agrouhli na příjem živin rostlinami je způsoben jejich pevnou sorpcí a v dalších letech budou živiny poutané agrouhlím více uvolnitelné, a tedy rostlinám více přístupné. Negativní vliv agrouhli na rostliny lze vysvětlit i možnou přítomností inhibičních látek a lze předpokládat, že v delším časovém období dojde k jejich degradaci. V následujících dvou letech budou dále vyhodnocována data pokusu.

Je možné, že v podmínkách mírného klimatického pásma je pro dosažení pozitivního účinku agrouhli třeba provést dodatečnou úpravu agrouhli před aplikací do půdy, jako např. aplikovat živiny na jeho povrch a aktivovat ho mikrobiální oxidací.

Je třeba dalšího výzkumu zaměřeného více na další oblasti možného využití agrouhli, a to z důvodu jeho reálného využití v praxi. Vyšší cena agrouhli ovlivněná nákladnou pyrolýzní technologií nebude zřejmě umožňovat jeho využití na farmách, kde je třeba do půdy aplikovat desítky tun na hektar.

Agrouhli může nalézt další využití mimo polní podmínky jako přísada hnojiv, např. močoviny, kde může omezovat ztráty dusíku v půdě, nebo jako pomocná půdní látka v substrátech pro lesní školky, hrnkové květiny a jiné kultury.

## 8. Literatura

- Abbas, A., Yaseen, M., Khalid, M., Naveed, M., Aziz, Z. M., Hamid, Y., Saleem, M. 2017. Effect of biochar-amended urea on nitrogen economy of soil for improving the growth and yield of wheat (*Triticum Aestivum* L.) under field condition. *Journal of Plant Nutrition*. 40. (16). 2303 – 2311.
- Albuquerque, J. A., Salazar, P., Barrón, V., Torrent, J., de Campillo, M. d. C., Gallardo, A., Villar, R. 2013. Enhanced wheat Yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*. 33. 475 – 484.
- Atkinson, Ch. J., Fitzgerald, J. D., Hipps, N. A. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil*. 337. 1 – 18.
- Brewer, E. C., Chuang, J. V., Masiello, A. C., Gonnermann, H., Gao, X., Dugan, B., Driver, E. L., Panzacchi, P., Zygourakis, K., Davies, A. Ch. 2014. New approaches to measuring biochar density and porosity. *Biomass and Bioenergy*. 66. 176 – 185.
- Břendová, K., Tlustoš, P., Száková, J., Bohuněk, M. 2014. Využití biouhlí (biocharu) k úpravě půdních vlastností. In: Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš P. (eds.). Racionální použití hnojiv. Sborník z 20. mezinárodní konference. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 51 – 57. ISBN 978-80-213-2511-1.
- Břendová, K., Zemanová, V., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2016. Utilization of biochar and activated carbon to reduce Cd, Pb and Zn phytoavailability and phytotoxicity for plants. 181. 637 – 645.
- Čižmarová, E., Dočkalová, R., Fojtlová, E., Hájková, H., Holcová, H., Kabátová, N., Niedobová, E., Rychlý, M., Staňková, K., Urbánková, E., Vilamová, V., Zbiral, J., Žalmanová, A. 2014. Analýza rostlinného materiálu. Jednotné pracovní postupy. ÚKZÚZ, Národní referenční laboratoř. Brno. ISBN: 978-80-7401-082-8.
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Huang, X., Li, Z., Tan, X., Zeng, G., Zhou, L. 2017. Potential benefits of biochar in agricultural soils: A review. *Pedosphere*. 27 (4). 645 – 661.
- Dutta, T., Kwon, E., Charya, B. S. S., Jeon, B., Deep, A., Uchimiya, M., Kim, Hyun-Ki. 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons and volatile organic compounds in biochar and biochar-amended Soil: A review. *Global Change Biology Bioenergy*. 9. 990 – 1004.
- Fischer, D., Glaser, B. 2012. Synergisms between Compost and Biochar for Sustainable Soil Amelioration. In: Kumar, S. (ed.). *Management of Organic Waste*. In Tech. Rijeka. Croatia. P. 167 – 191. ISBN: 978-953-307-925-7.
- Graber, R. E., Elad, Y. 2013. Biochar Impact on Plant Resistance to Disease. In: Ladygina, N., Rineau, F. (eds.). *Biochar and Soil Biota*. CRC Press. Taylor & Francis Group. USA, New York. p. 69 – 99. ISBN: 978-1-4665-7648-3.



Guizani, Ch., Jeguirim, M., Valin, S., Limousy, L., Salvador, S. 2017. Biomass chars: The effects of pyrolysis conditions on their morphology, structure, chemical properties and reactivity. *Energies* 2017. 10. 796. 2 – 18.

Hagemann, N., Kammann, C.I., Schmidt H-P, Kappler, A., Behrens, S. Nitrate capture and slow release in biochar amended compost and soil [online]. 2017[cit. 2017-11-27] *PLoS ONE*. 12 (2). Dostupné z <https://www-ebscohost-com.infozdroje.czu.cz>

Cheng, H., Hill, P. W., Bastami, M. S., Jones, D. L. 2017. Biochar stimulates the decomposition of simple organic matter and suppress the decomposition of complex organic matter in a sandy loam soil. *Global Change Biology. Bioenergy*. 9. 1110 – 1121. ISBN: 978-1-4665-7648-3.

Jílková, L., Ciahotný, K., Černý, R. 2012. Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů. *Paliva*. 4. 74 – 80.

Jones, L. D., Rousk, J., Edward – Jones, G., De Luca, H. T., Murphy, V. D. 2012. Biochar – mediated changes in soil quality and plant grow in a three year field trial. *Soil Biology & Biochemistry*. 45. 113 – 124.

Joseph, S., Van Zwieten, L., Chia, Ch., Kimber, S., Munroe, P., Lin, Y., Marjo, Ch., Hook, J., Thomas, T., Nielsen, S., Donne, S., Taylor, P. 2013. Designing Specific Biochars to Address Soil Constrains: A Developing Industry. In: Ladygina, N., Rineau, F. (eds.). *Biochar and Soil Biota*. CRC Press. Taylor & Francis Group. USA, New York. p. 69 – 99.

Kloss, S., Zehetner, F., Wimmer, B., Buecker, J., Rempt, F., Soja, G. 2014. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 177. 3 – 15.

Kraska, P., Oleszczuk, P., Andruszczak, S., Kwiecińska - Poppel, E., Rózyło, K., Palys, E., Gierasimiuk, P., Michalajć, Z. 2016. Effect of various biochar rates on winter rye yield and the concentration of available nutrients in the soil. *Plant, Soil and Environment*. 62.483 – 489.

Kusmierz, M., Oleszczuk, P., Kraska, P., Palys, E., Andruszczak, S. 2016. Persistence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in biochar – amended soil. *Chemosphere*. 146. 272 – 279.

Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Maisello, C. A., Hockaday, W. C., Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology & Biochemistry*. 43. 1812 – 1836

Li, J., Li, Y., Yang, X., Zhang, J., Lin, Z., Zhao, B. 2015. Microbial community structure and functional metabolic diversity are associated with organic carbon availability in an agricultural soil. *Journal of Integrative Agriculture*. 14 (12). 2500 – 2511.

Rogovska, N., Laird, D. A., Karlen, D. L. 2016. Corn and soil response to biochar application and stover harvest. *Field Crops Research*. 187. 96 – 106.

Schmidt, M. W. I., Skjemstad, J. O., Czimczik, C. I., Glaser, B., Prentice, K. M., Gelinas, Y., Kuhlbusch, T. A. J. 2001. Comparative analysis of black carbon in soils. *Global Biogeochemical Cycles*. 15. (1). 163 – 167

Schmidt, P. H. 2012. 55 Anwendungen von Pflanzenkohle. Ithakajournal. Weinbau, Ökologie, Klimafarming. 1. 99 – 102.

Smith, J. L., Collins, H. P., Bailey, V. L. 2010. The effect of young biochar on soil respiration. *Soil Biology & Biochemistry*. 42. 2345 – 2347

Trupiano, D., Corozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Vaccari, F. P., Lustrato, G., Di Lonardo, S., Fantasma, F., Tognetti, R., Scippa, G. S. The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa L.*). Growth, soil properties, and abundance [online]. 2017 [cit. 2017-11-27]. Hindwi. *International Journal of Agronomy*. Volume 2017. Dostupné z <<https://www-ebsohost-com.infozdroje.czu.cz>>

Ust'ak, S., Honzík, R., Muňoz, J. 2015. Možnosti kombinace výroby bioplynu a hydrotermální karbonizace bioodpadů. *Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha 6. Ruzyně*. 32 p. ISBN: 978-80-7427-188-5.

Wiedner, K., Glaser, B. 2013. Biochar – Fungi Interactions in Soils. In: Ladygina, N., Rineau, F. (eds.). *Biochar and Soil Biota*. CRC Press. Taylor & Francis Group. USA, New York. p. 69 – 99. ISBN: 978-1-4665-7648-3.

Woods, W. I., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Steiner, Ch., Winkler Prins, A., M. G. A., Rebellato, L. 2009. *Amazonian Dark Earths. Wim Sombroek's Vision*. Springer Science. Berlin, Germany. 502 p. ISBN: 978-1-4020-9031-8.

Zbiral, J., Čižmárová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M., Vilamová, V., Srnková, J., Žalmanová, A. 2016. *Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy*. ÚKZÚZ, Národní referenční laboratoř. Brno. ISBN: 978-80-7401-123-8.

Zbiral, J., Malý, S., Váňa, M. a kol. 2011. *Analýza půd III. Jednotné pracovní postupy*. ÚKZÚZ. Národní referenční laboratoř. Brno. ISBN: 978-80-7401-044-6.

Zbiral, J., Tieffová, P., Plhalová, Š., Urbánková, E., Niedobová, E., Srnková, J., Strážová, I. 2001. *Analýza půd II. Jednotné pracovní postupy*. ÚKZÚZ. Národní referenční laboratoř. Brno. ISBN: 978-80-7401-040-8.

Zemanová, V., Břendová, K., Pavlíková, D., Kubátová, P., Tlustoš, P. 2017. Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard. *Plant, Soil and Environment*. 63. (7). 332 – 327.

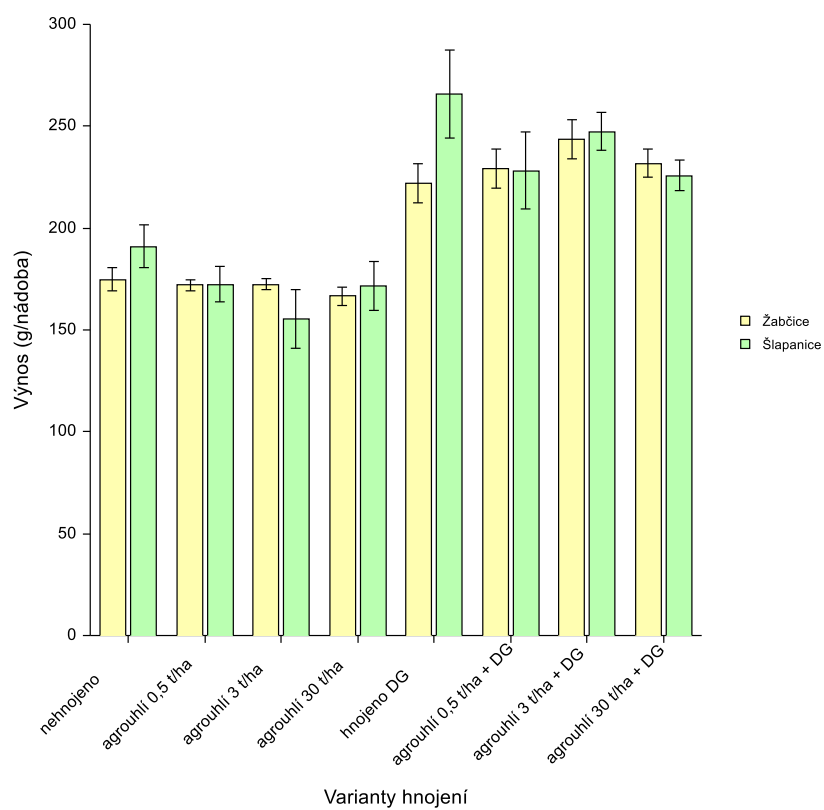
Zhang, H., Chen, Ch., Gray, M. E., Boyd, E. S., Yang, H., Zhang, D. 2016. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: A phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. *Geoderma*. 276. 1 – 6.

Wang, L. L., Wu, J., Wang, J. Z. Li, Z. W., Zhang, K. (2017). Effects of Three Biochars as Adsorbents on Soils Adsorbing Ammonium Nitrogen in Biogas Slurry. *Journal of Chemistry*. 10 p.

## 9. Seznam příloh

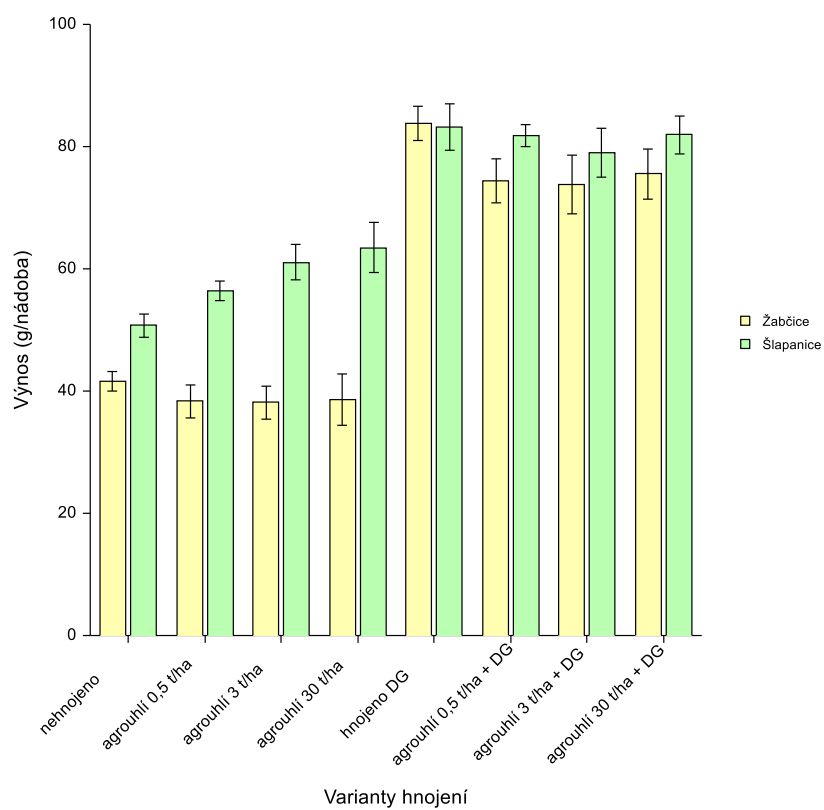
Příloha č. 1 Výnos suché hmoty kukuřice (g).....	45
Příloha č. 2 Výnosy suché hmoty pšenice (g).....	46
Příloha č. 3 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – kukuřice.....	48
Příloha č. 4 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – pšenice.....	52
Příloha č. 5 Obsah prvků v půdě po kukuřici (mg/kg).....	57
Příloha č. 6 Obsah prvků v půdě po pšenici.....	60
Příloha č. 7 Fotodokumentace vegetačního pozorování – kukuřice.....	63
Příloha č. 8 Fotodokumentace vegetačního pozorování – pšenice.....	68

## Příloha č. 1 Výnos suché hmoty kukuřice (g)



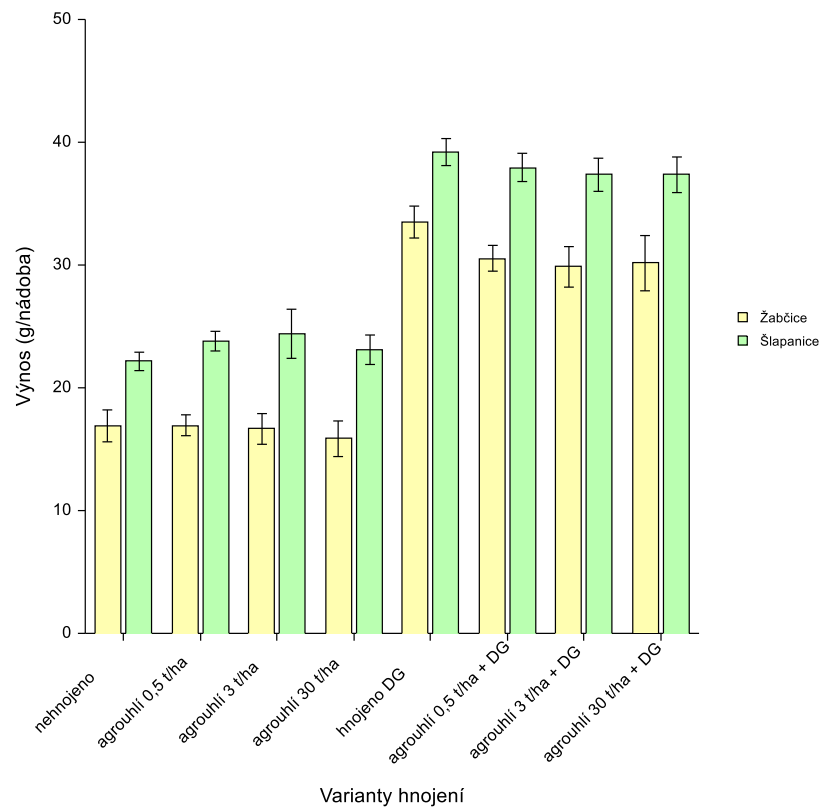
**Graf č. 1 Výnos suché hmoty (g) nadzemní biomasy kukuřice**

## Příloha č. 2 Výnosy suché hmoty pšenice (g)

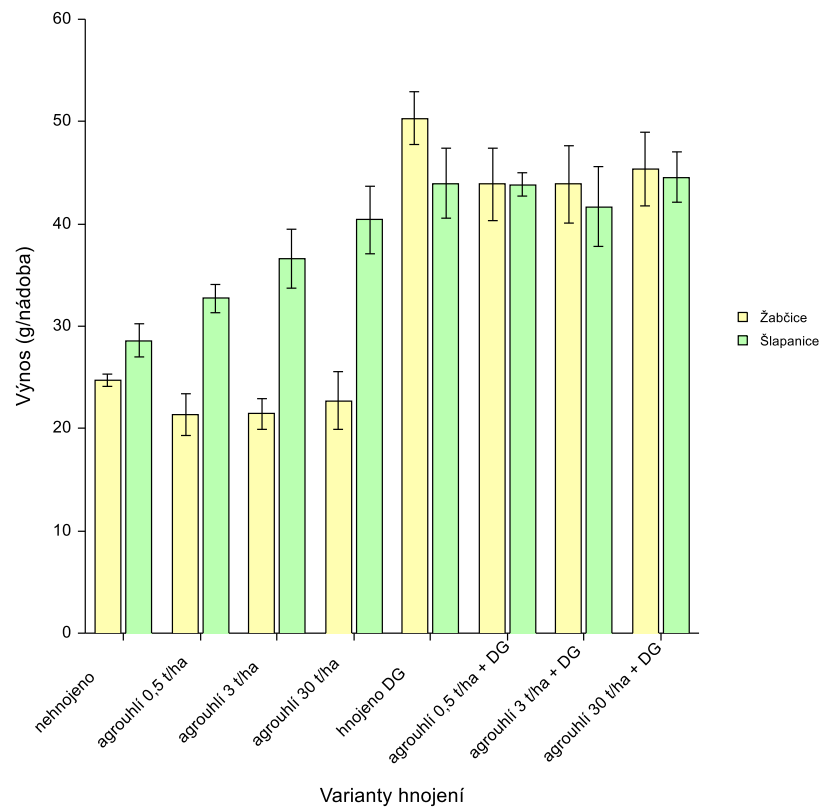


**Graf č. 2 Výnos suché hmoty nadzemní biomasy pšenice**

Příloha č. 2 Výnosy suché hmoty pšenice (g)

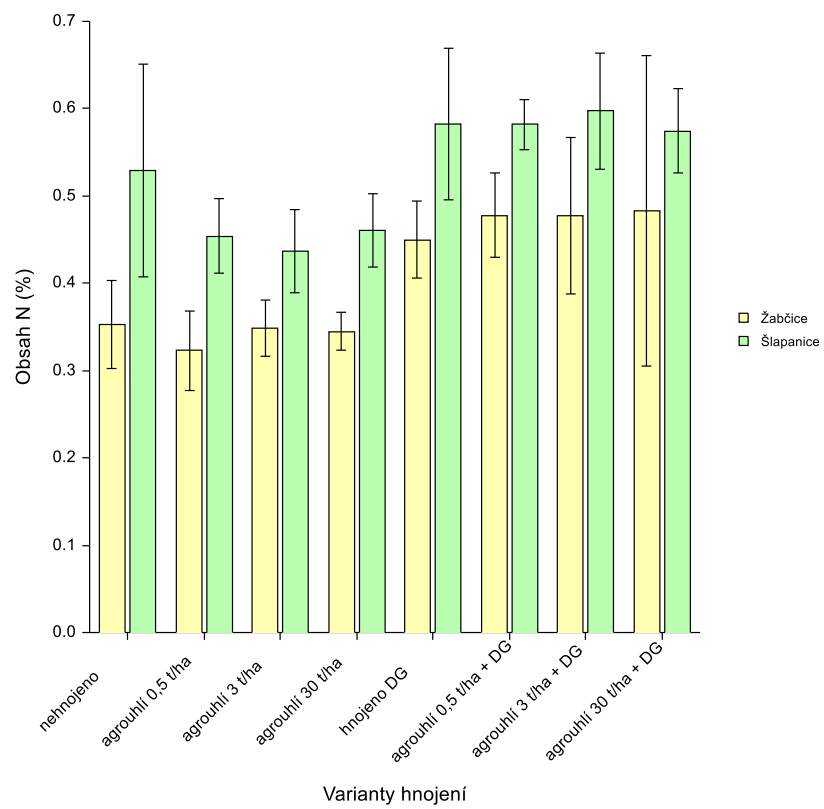


Graf č. 3 Výnos zrna (%) pšenice



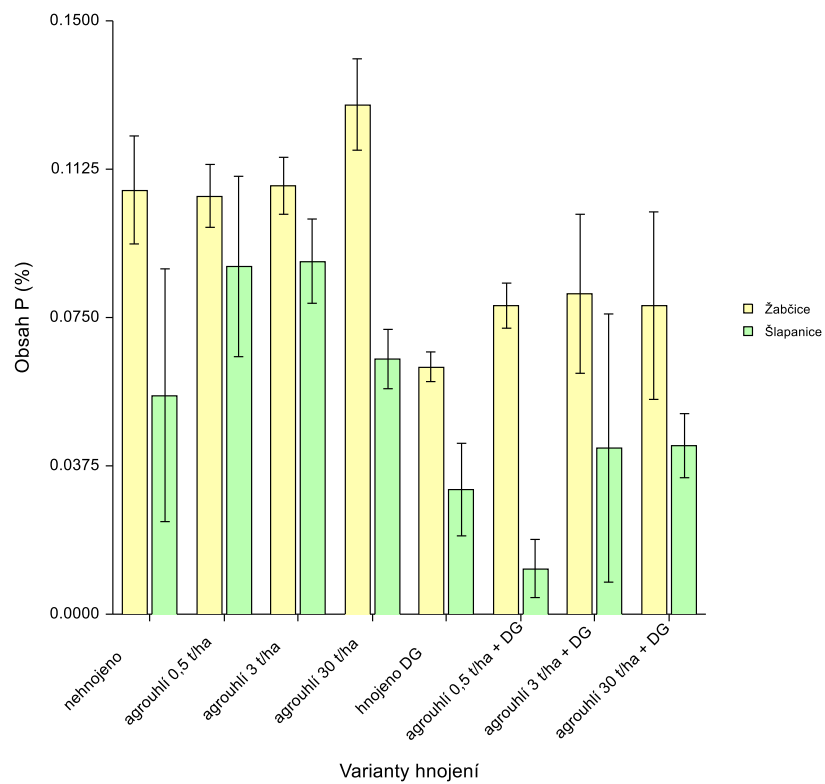
Graf č. 4 Výnos slámy (g) pšenice

Příloha č. 3 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – kukuřice



Graf č. 5 Obsah N (%) v sušině nadzemní biomasy kukuřice

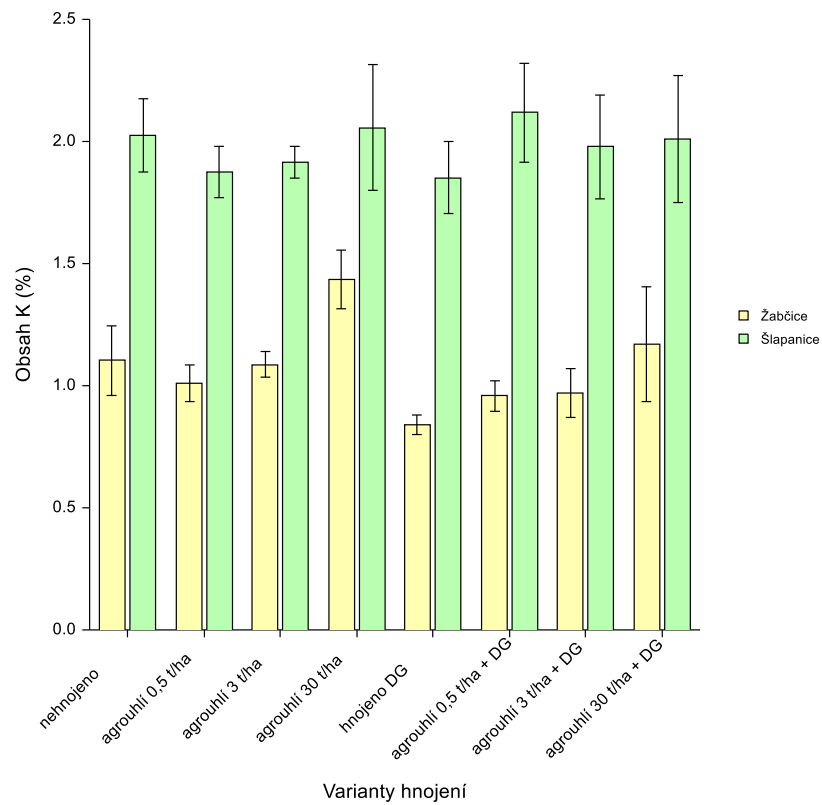
Příloha č. 3 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – kukuřice



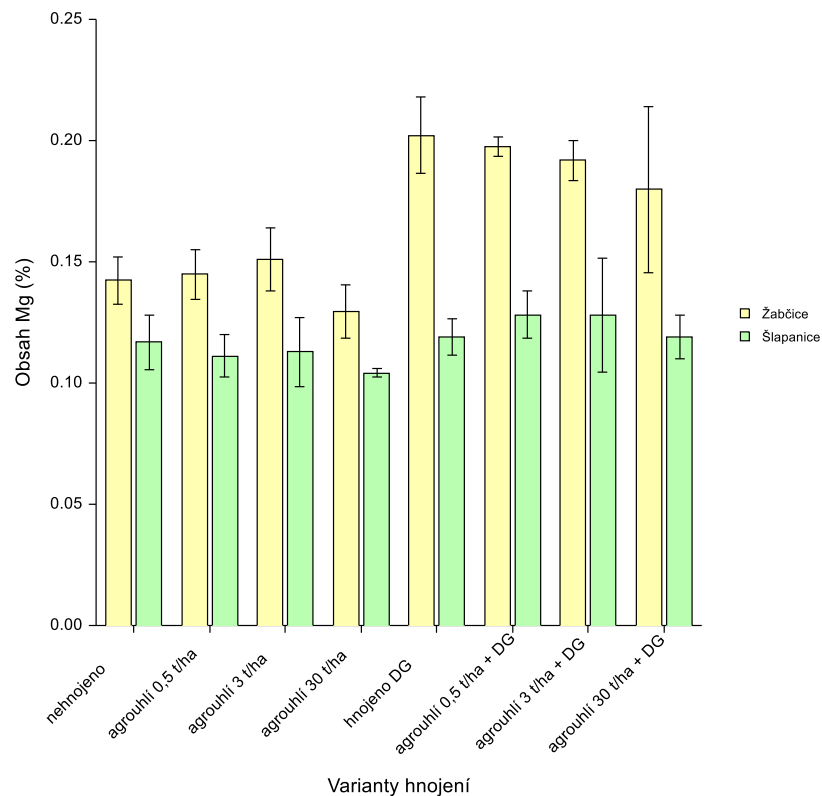
Graf č. 6 Obsah P (%) v sušině nadzemní biomasy kukuřice



Příloha č. 3 Obsah prvků v sušině rostlin (%) kukuřice

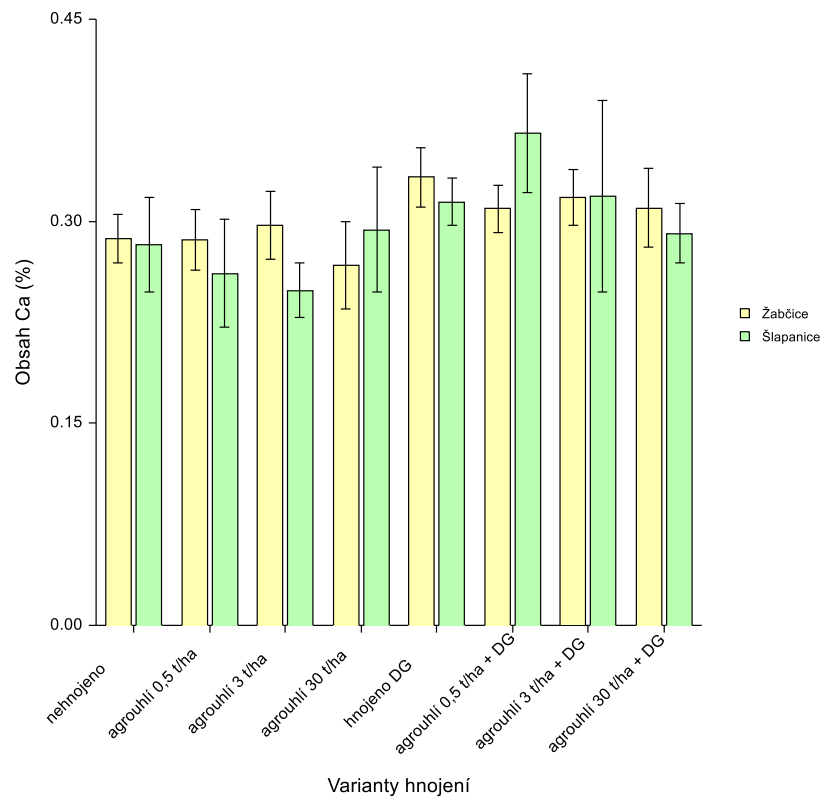


Graf č. 7 Obsah K (%) v sušině nadzemní biomasy kukuřice



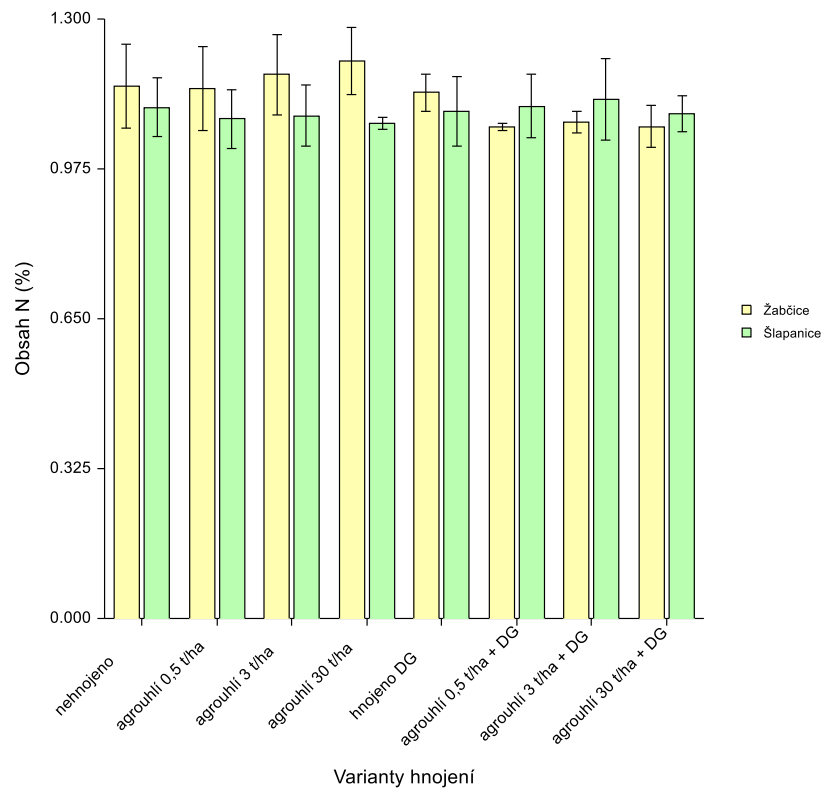
Graf č. 8 Obsah Mg (%) v sušině nadzemní biomasy kukuřice

Příloha č. 3 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – kukuřice

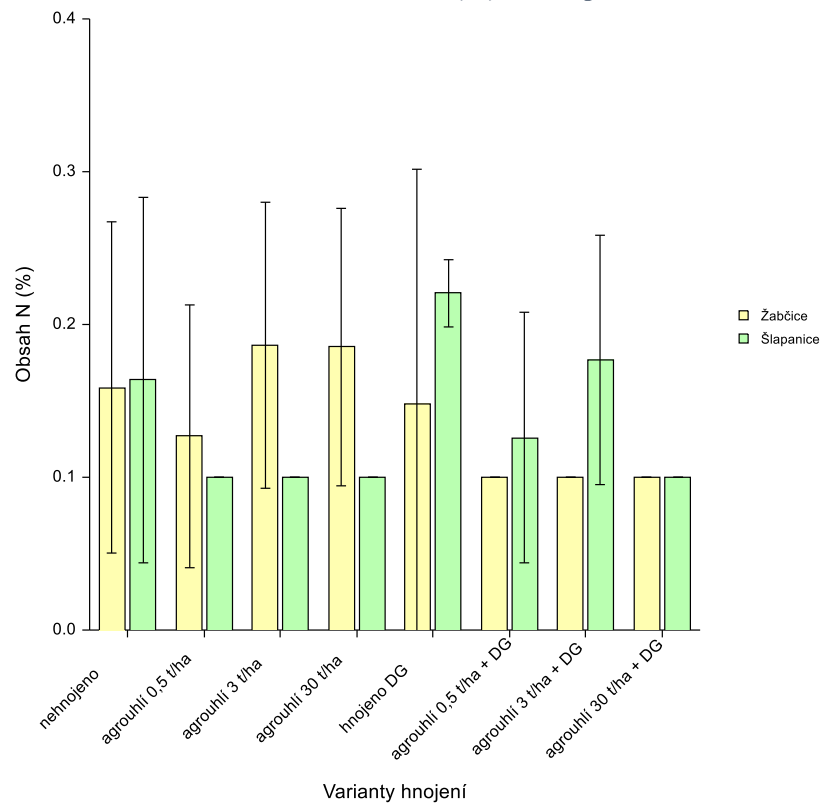


Graf č. 9 Obsah Ca (%) v nadzemní biomase kukuřice

Příloha č. 4 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – pšenice

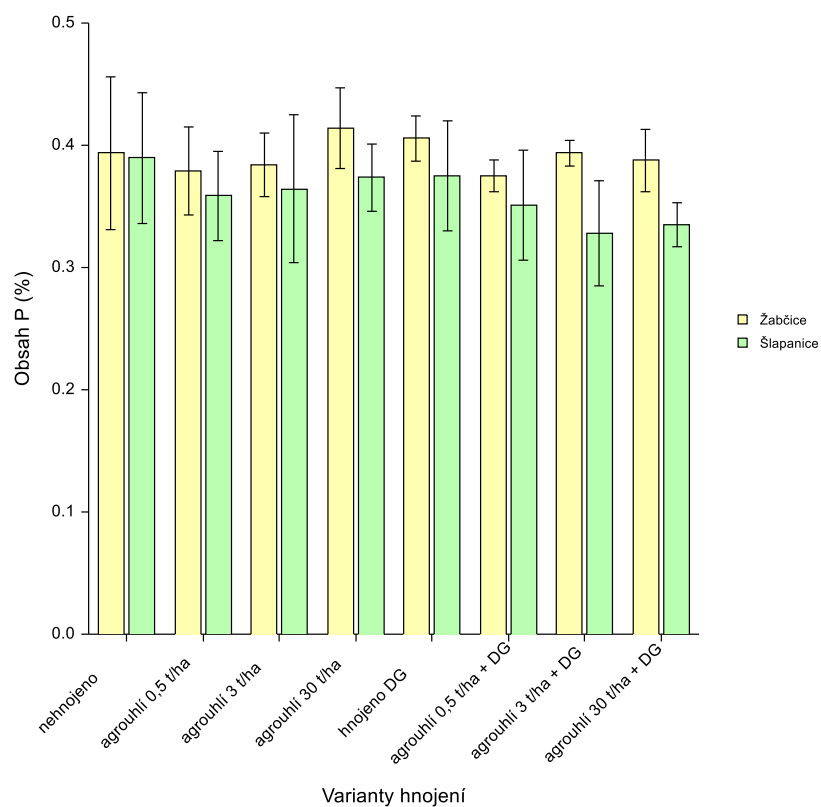


Graf č. 10 Obsah N (%) v zrnu pšenice

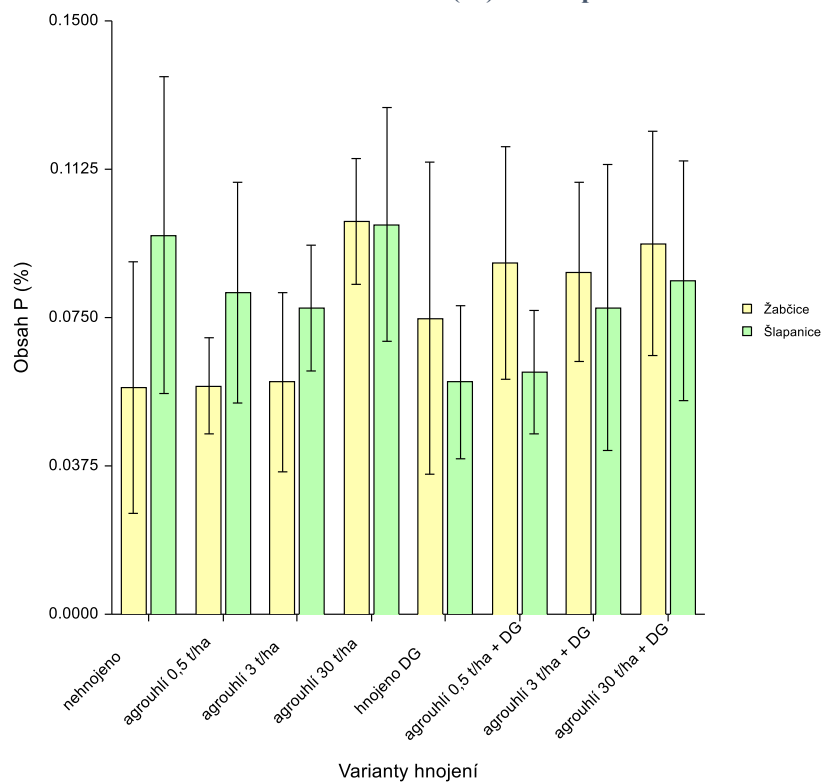


Graf č. 11 Obsah N (%) ve slámě pšenice

Příloha č. 4 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – pšenice

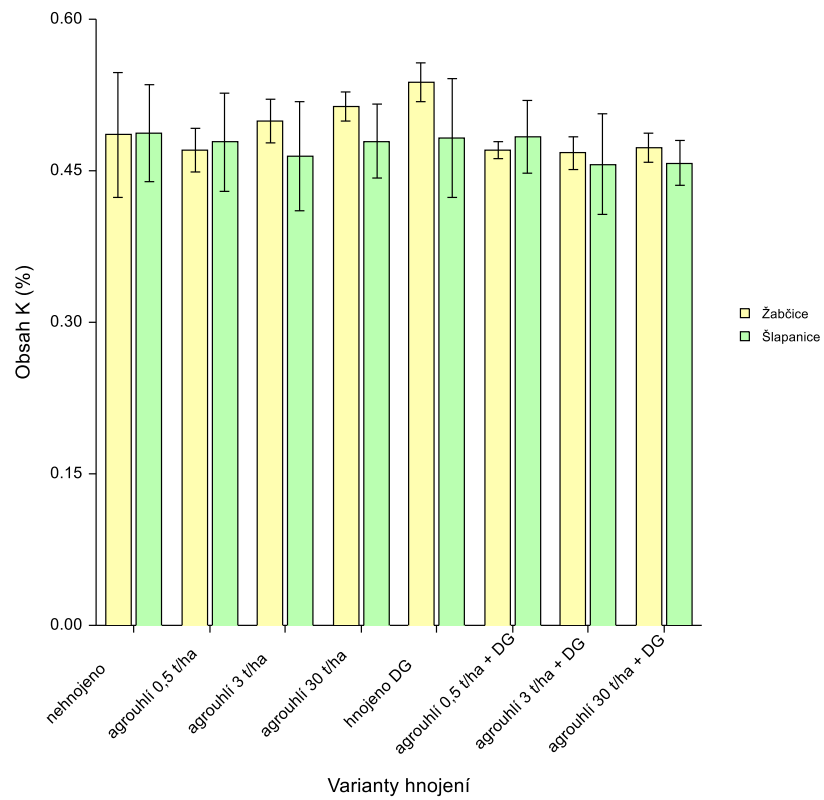


Graf č. 12 Obsah P (%) v zrna pšenice

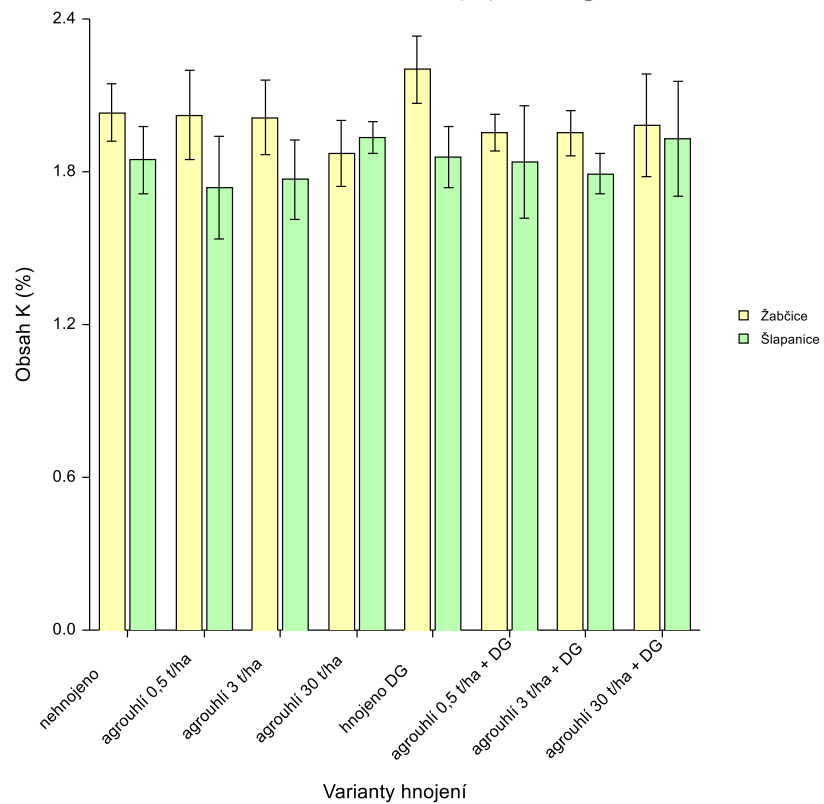


Graf č. 13 Obsah P (%) ve slámě pšenice

Příloha č. 4 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – pšenice

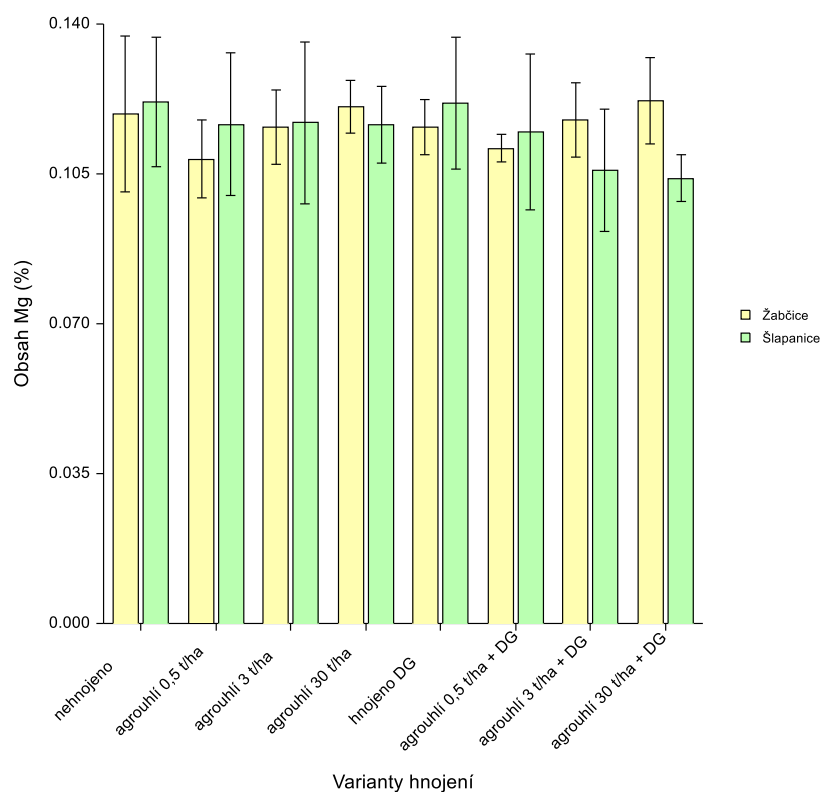


Graf č. 14 Obsah K (%) v zrna pšenice

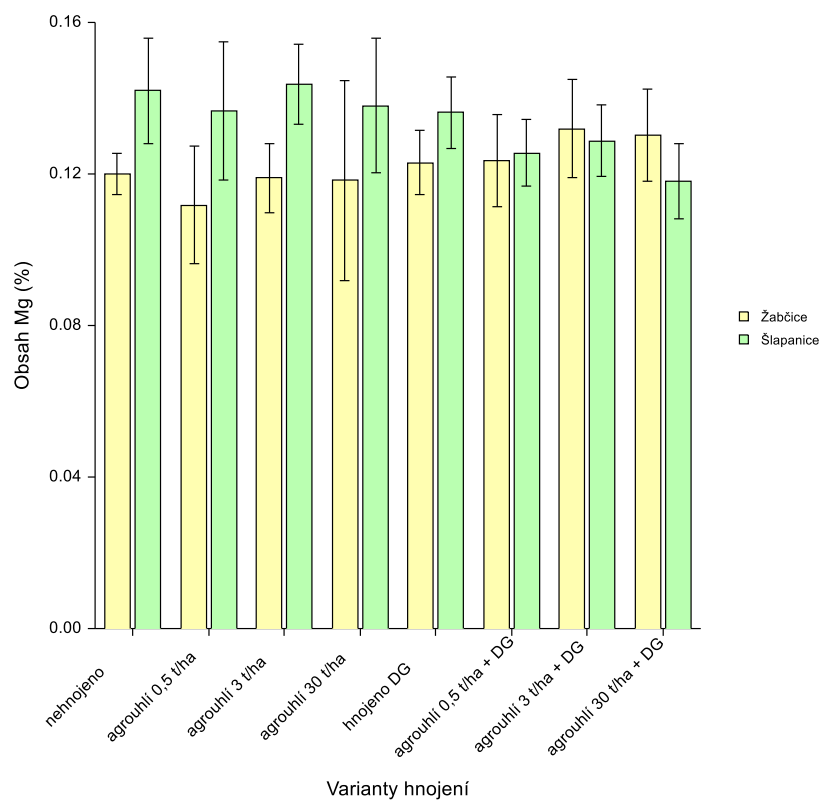


Graf č. 15 Obsah K (%) ve slámě pšenice

Příloha č. 4 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – pšenice

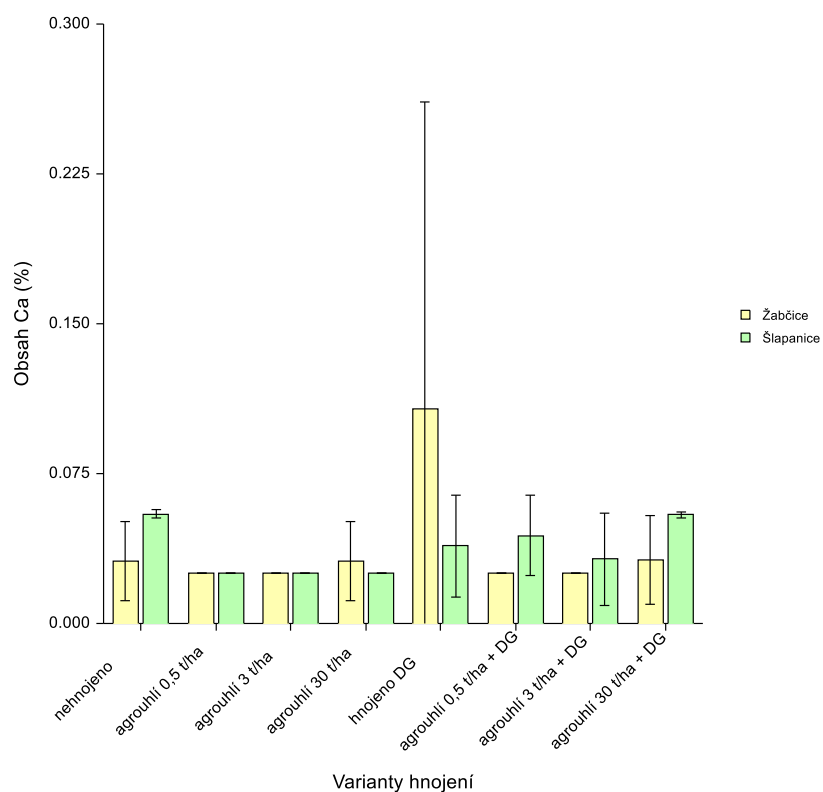


Graf č. 16 Obsah Mg (%) v zrna pšenice

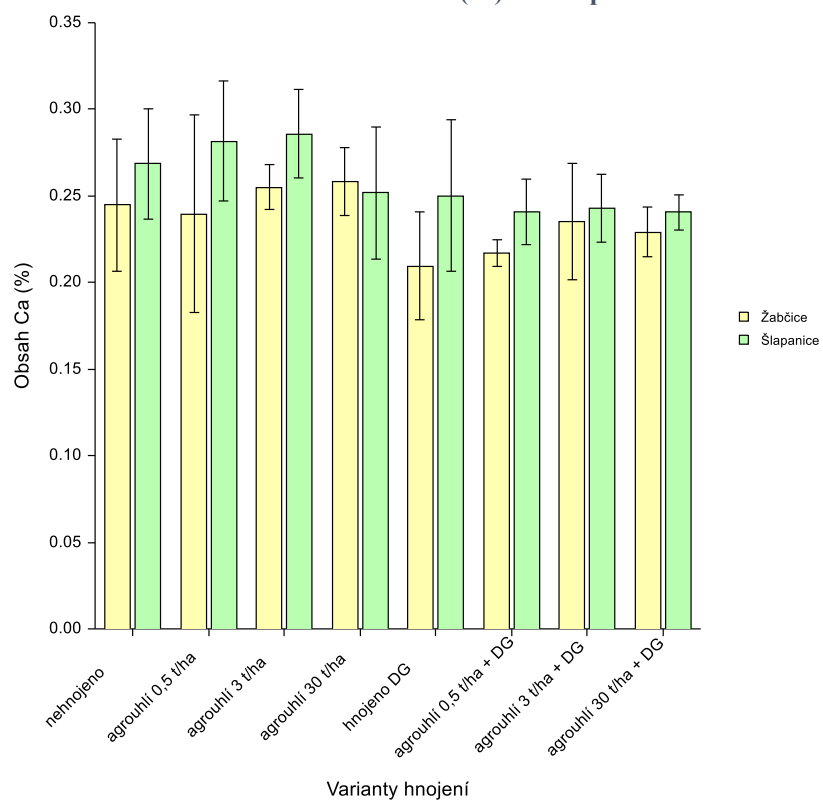


Graf č. 17 Obsah Mg (%) ve slámě pšenice

Příloha č. 4 Obsah prvků v sušině rostlin (%) – pšenice

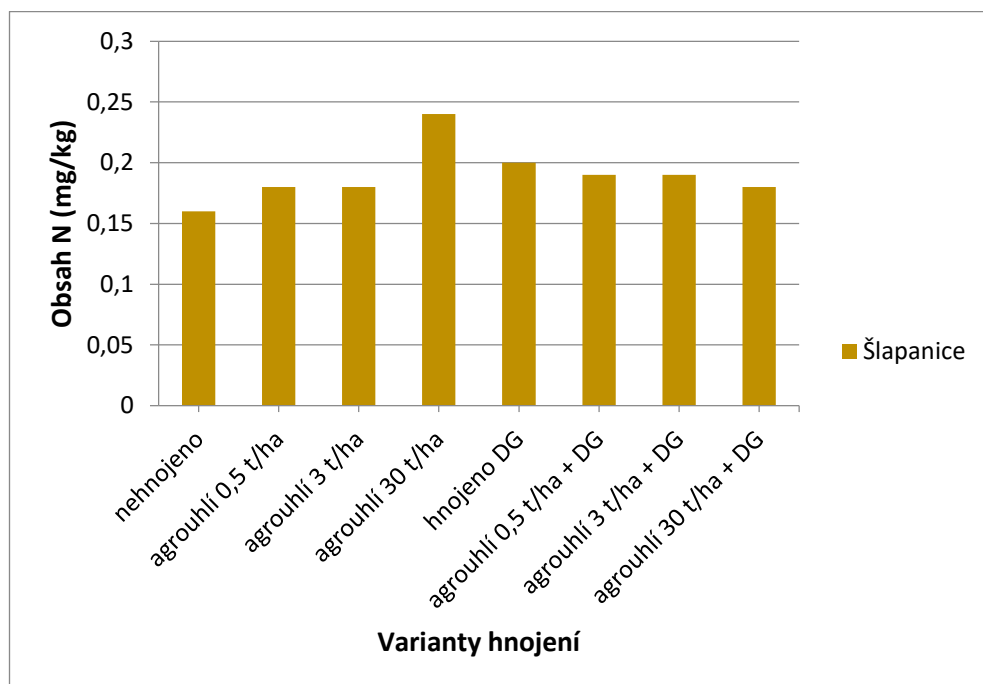


Graf č. 18 Obsah Ca (%) v zrně pšenice

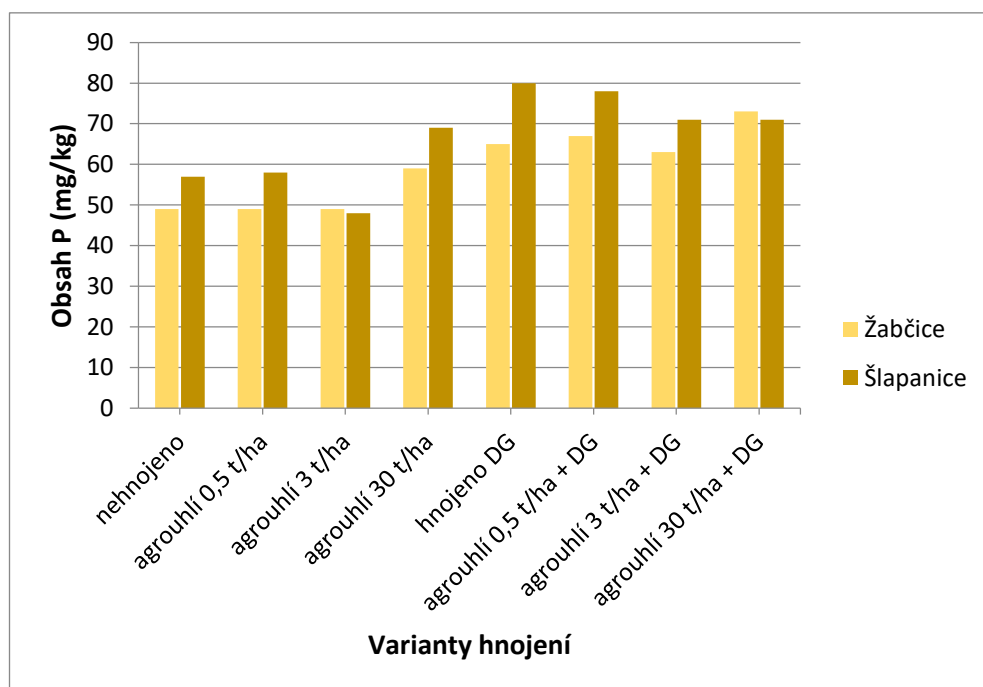


Graf č. 19 Obsah Ca (%) ve slámě pšenice

Příloha č. 5 Obsah prvků v půdě po kukuřici (mg/kg)



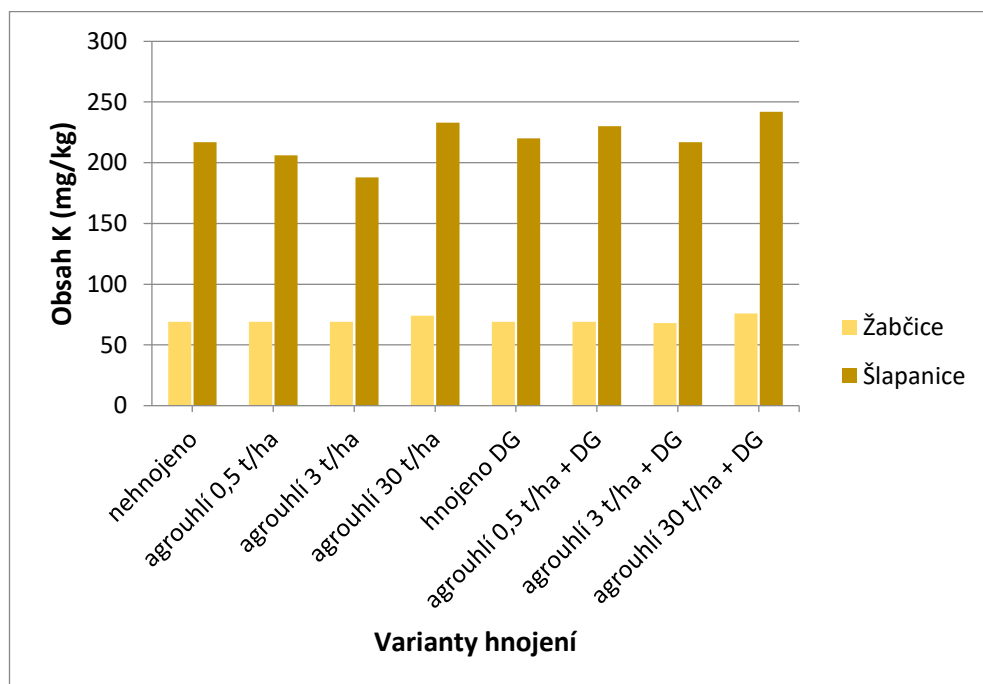
Graf č. 20 Obsah N (mg/kg) v půdě po kukuřici



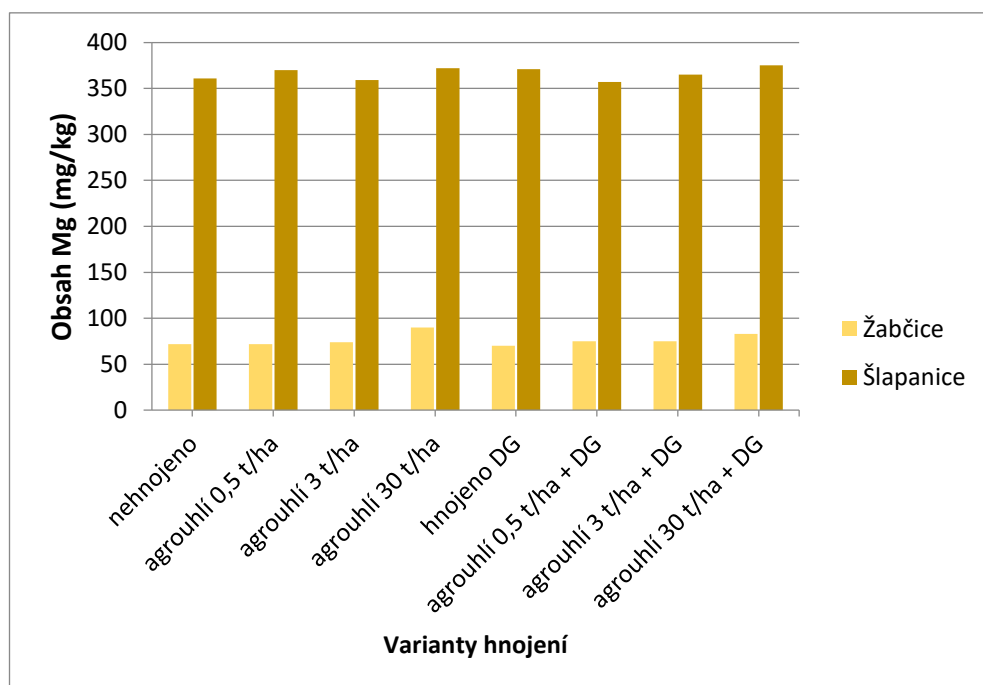
Graf č. 21 Obsah P (mg/kg) v půdě po kukuřici



Příloha č. 5 Obsah prvků v půdě po kukuřici (mg/kg)

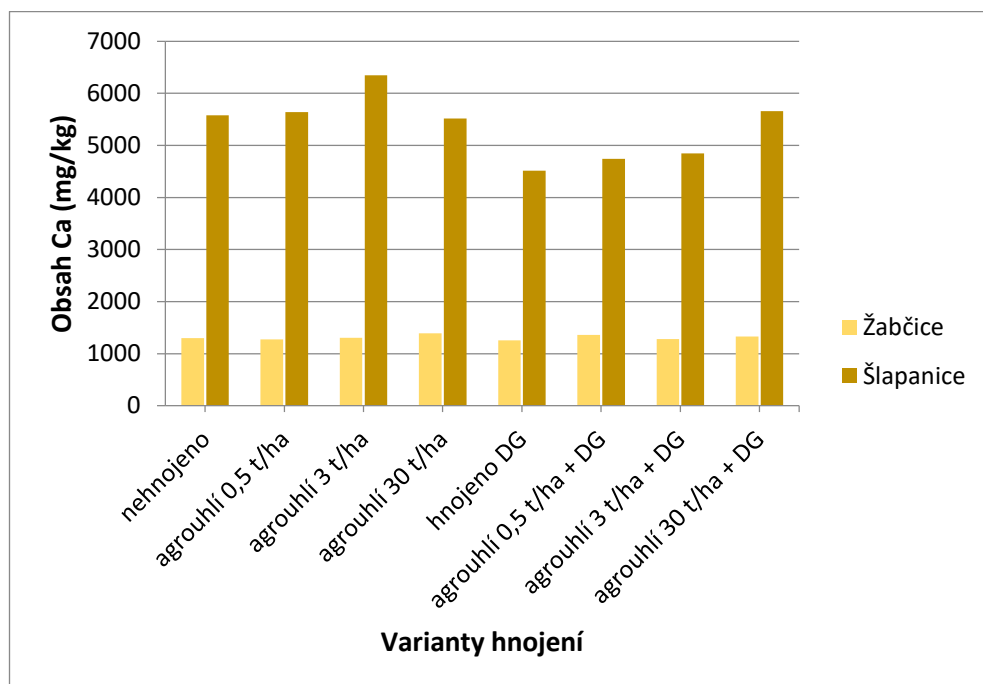


Graf č. 22 Obsah K (mg/kg) v půdě po kukuřici



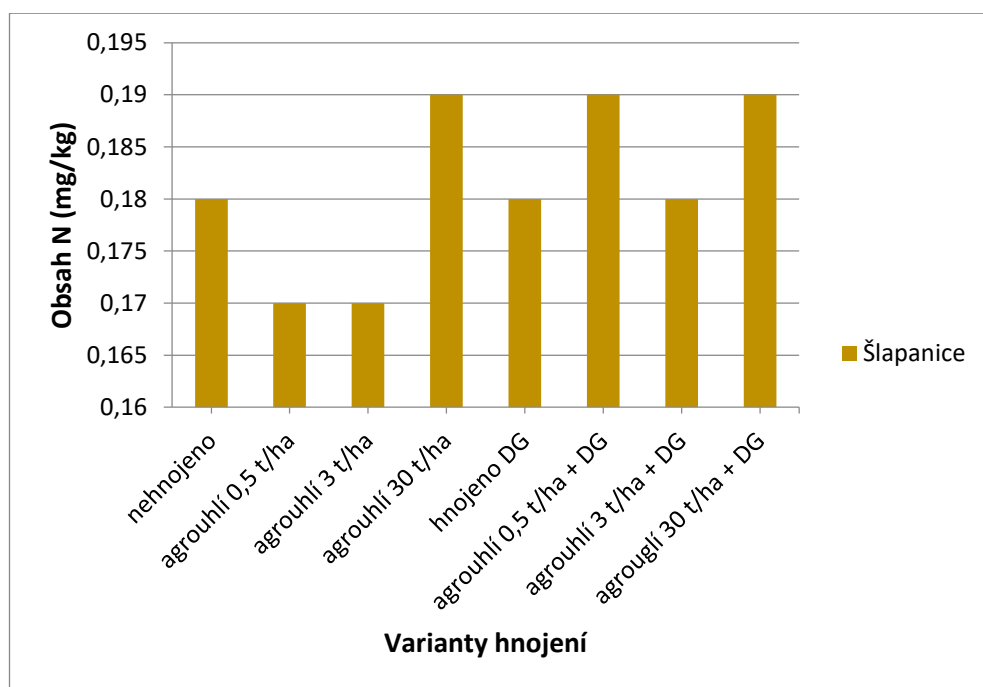
Graf č. 23 Obsah Mg (mg/kg) v půdě po kukuřici

Příloha č. 5 Obsah prvků v půdě po kukuřici (mg/kg)

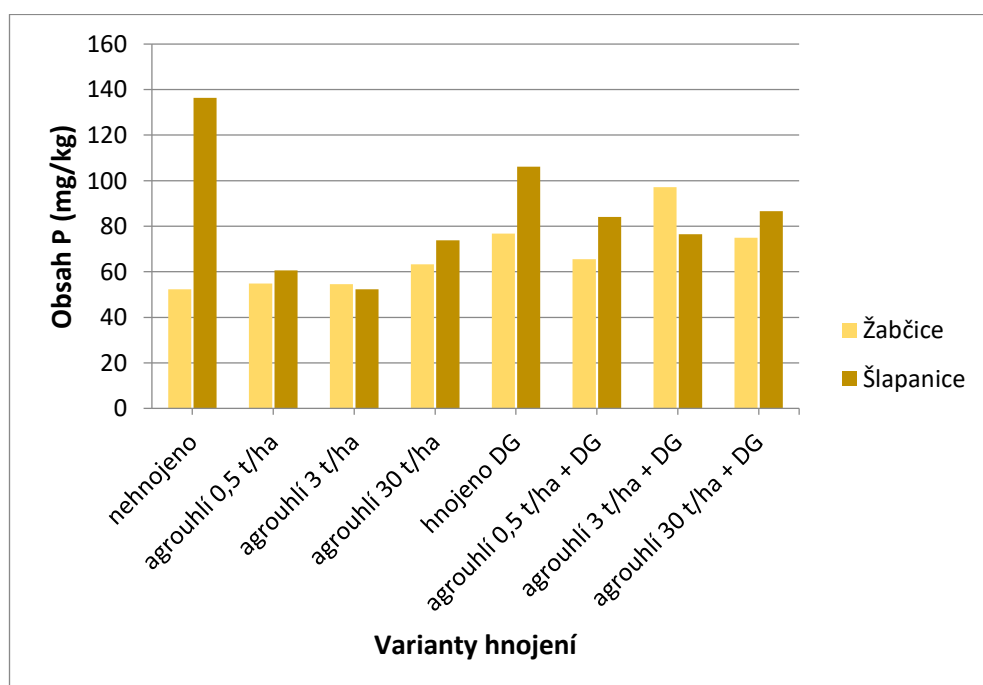


Graf č. 24 Obsah Ca (mg/kg) v půdě po kukuřici

Příloha č. 6 Obsah prvků v půdě po pšenici

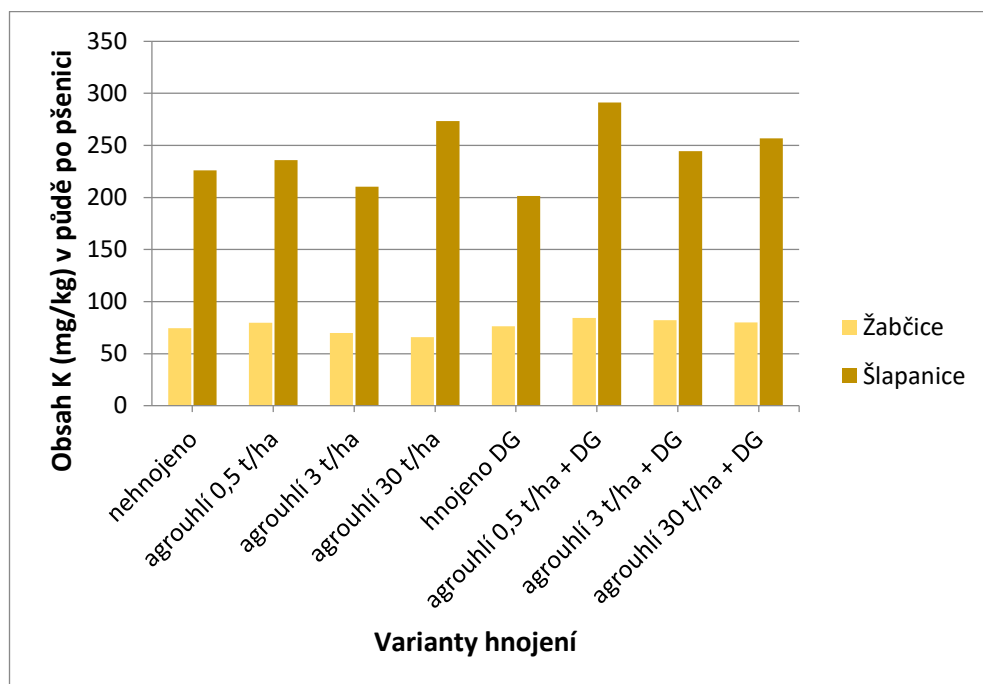


Graf č. 25 Obsah N (mg/kg) v půdě po pšenici

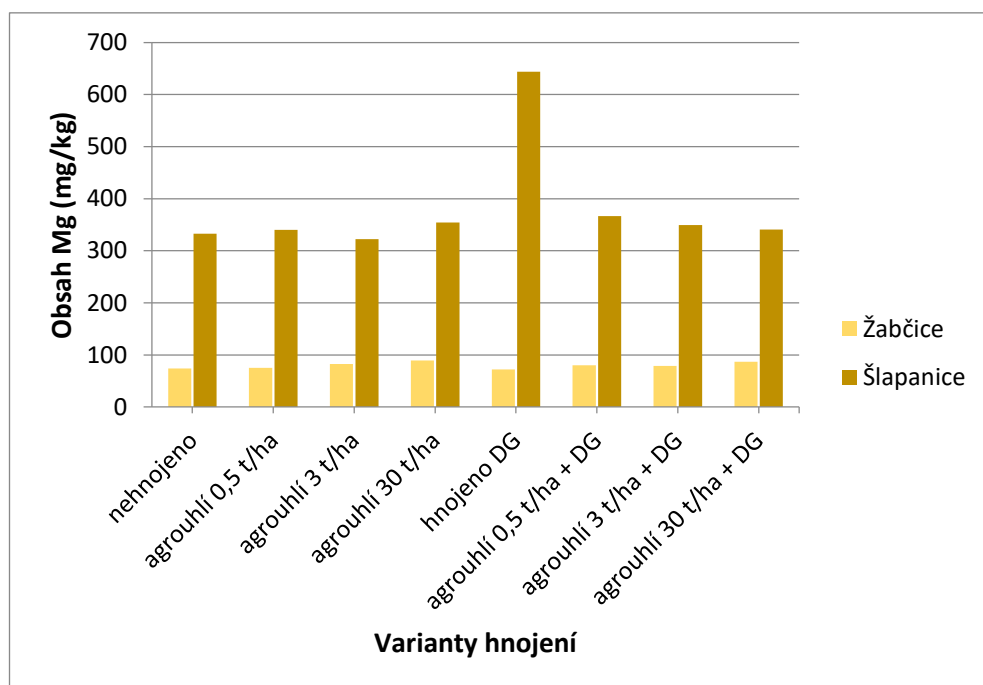


Graf č. 26 Obsah P (mg/kg) v půdě po pšenici

Příloha č. 6 Obsah prvků v půdě po pšenici

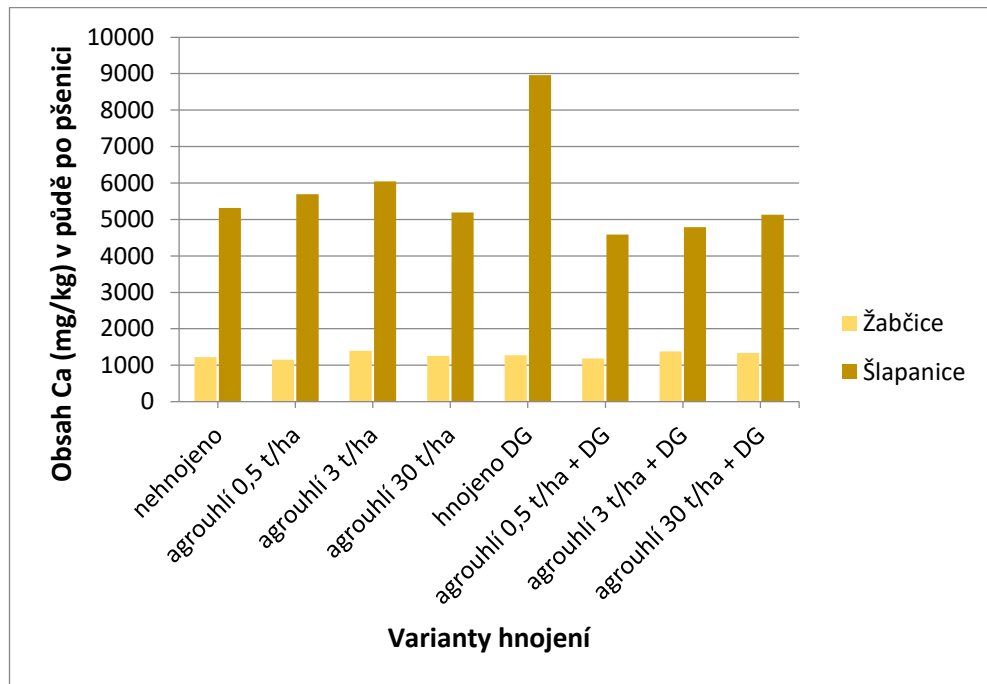


Graf č. 27 Obsah K (mg/kg) v půdě po pšenici



Graf č. 28 Obsah Mg (mg/kg) v půdě po pšenici

Příloha č. 6 Obsah prvků v půdě po pšenici



Graf č. 29 Obsah Ca (mg/kg) v půdě po pšenici

Příloha č. 7 Fotodokumentace vegetačního pozorování – kukuřice

Obr. 1 – Půda Žabčice, AG – hnojeno, 4 týdny po výsevu



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno (Sekce zemědělských vstupů, oddělení výživy rostlin)

**1** – kontrola hnojená, **6** – agrouhli 0,5 t/ha, **7** – agrouhli 3 t/ha  
**8** – agrouhli 30 t/ha

Obr. 2 – Půda Šlapanice, AG – hnojeno, 4 týdny po výsevu

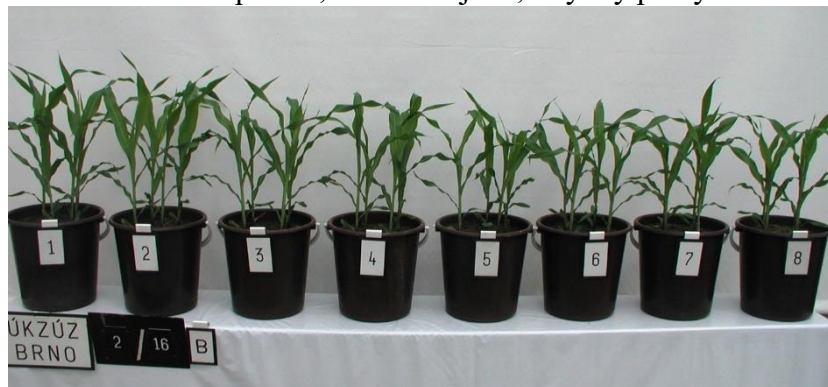


Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**1** – kontrola hnojená, **6** – agrouhli 0,5 t/ha, **7** – agrouhli 3 t/ha  
**8** – agrouhli 30 t/ha

Příloha č. 7 Fotodokumentace vegetačního pozorování – kukuřice

Obr. 3 – Půda Žabčice, AG – nehnojeno, 4 týdny po výsevu



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**9** – kontrola nehnojená, **12** – agrouhlí 0,5 t/ha, **13** – agrouhlí 3 t/ha  
**15** – agrouhlí 30 t/ha

Obr. 4 – Půda Šlapanice, AG – nehnojeno, 4 týdny po výsevu



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**9** – kontrola nehnojená, **12** – agrouhlí 0,5 t/ha, **13** – agrouhlí 3 t/ha  
**15** – agrouhlí 30 t/ha

Příloha č. 7 Fotodokumentace vegetačního pozorování – kukuřice

Obr. 5 – Půda Žabčice, AG – hnojeno, 8. 7. 2016



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

1 – kontrola hnojená, 6 – agrouhli 0,5 t/ha, 7 – agrouhli 3 t/ha,  
8 – agrouhli 30 t/ha

Obr. 6 – Půda Šlapanice, AG – hnojeno, 8. 7. 2016



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

1 – kontrola hnojená, 6 – agrouhli 0,5 t/ha, 7 – agrouhli 3 t/ha  
8 – agrouhli 30 t/ha



Příloha č. 7 Fotodokumentace vegetačního pozorování – kukuřice

Obr. 7 – Půda Žabčice, AG – nehnojeno, 8. 7. 2016

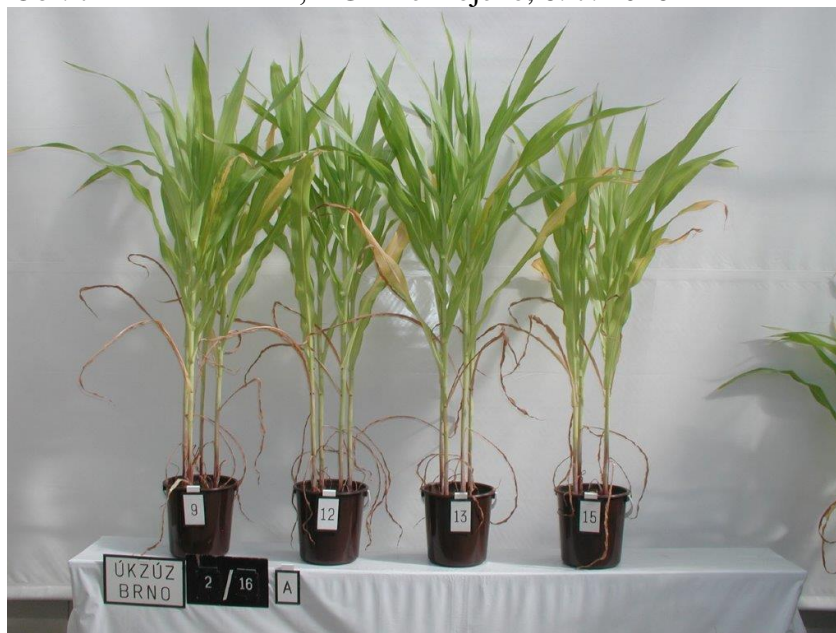


Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

9 – kontrola nehnojená, 12 – agrouhli 0,5 t/ha, 13 – agrouhli 3 t/ha  
15 – agrouhli 30 t/ha

Obr. 8 – Půda Šlapanice, AG – nehnojeno, 8. 7. 2016



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

9 – kontrola nehnojená, 12 – agrouhli 0,5 t/ha, 13 – agrouhli 3 t/ha  
15 – agrouhli 30 t/ha

Příloha č. 7 Fotodokumentace vegetačního pozorování – kukuřice

Obr. 9 – Půda Žabčice, hnojená a nehnojená kontrola, AG – nehnojeno, 8. 7. 2016



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**1** – kontrola hnojená, **9** – kontrola nehnojená, **12** – agrouhlí 0,5 t/ha  
**13** – agrouhlí 3 t/ha, **15** – agrouhlí 30 t/ha

Obr. 10 – Půda Šlapanice, hnojená a nehnojená kontrola, AG – nehnojeno, 8. 7. 2016



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**1** – kontrola hnojená, **9** – kontrola nehnojená, **12** – agrouhlí 0,5 t/ha  
**13** – agrouhlí 3 t/ha, **15** – agrouhlí 30 t/ha

Příloha č. 8 Fotodokumentace vegetačního pozorování – pšenice

Obr. 11 – Půda Žabčice, AG – hnojeno, 1. 6. 2017

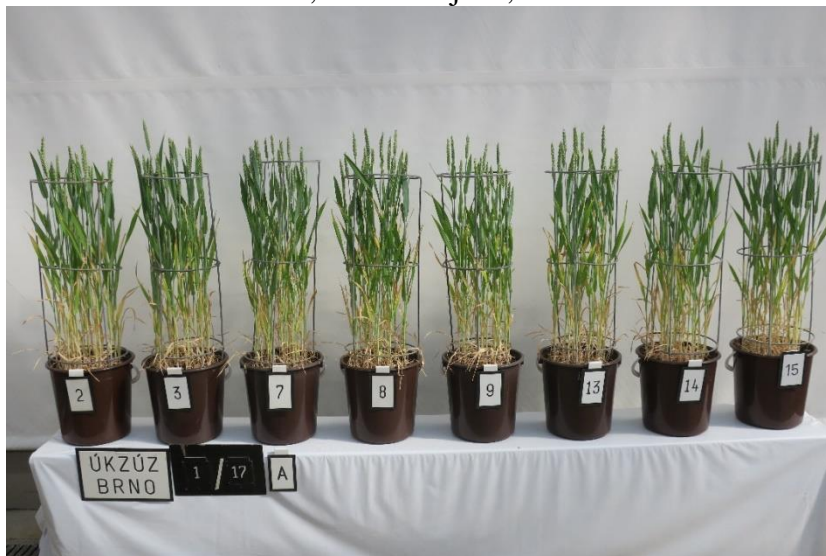


Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**2** – kontrola hnojená, **13** – agrouhlí 0,5 t/ha, **14** – agrouhlí 3 t/ha, **15** – agrouhlí 30 t/ha

Obr. 12 – Půda Šlapanice, AG – hnojeno, 1. 6. 2017

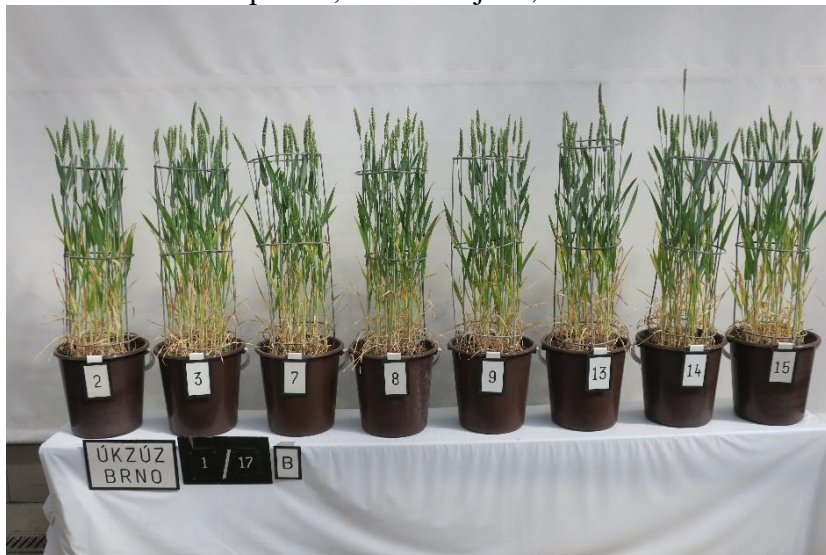


Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**2** – kontrola hnojená, **13** – agrouhlí 2; 0,5 t/ha, **14** – agrouhlí 2; 3 t/ha, **15** – agrouhlí 2; 30 t/ha

Příloha č. 8 Fotodokumentace vegetačního pozorování – pšenice

Obr. 13 – Půda Žabčice, AG – nehnojeno, 1. 6. 2017



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**1** – kontrola nehnojená, **10** – agrouhli 0,5 t/ha, **11** –agrouhli 3 t/ha  
**12** – agrouhli 2; 30 t/ha

Obr. 14 – Půda Šlapanice, AG – nehnojeno, 1. 6. 2017

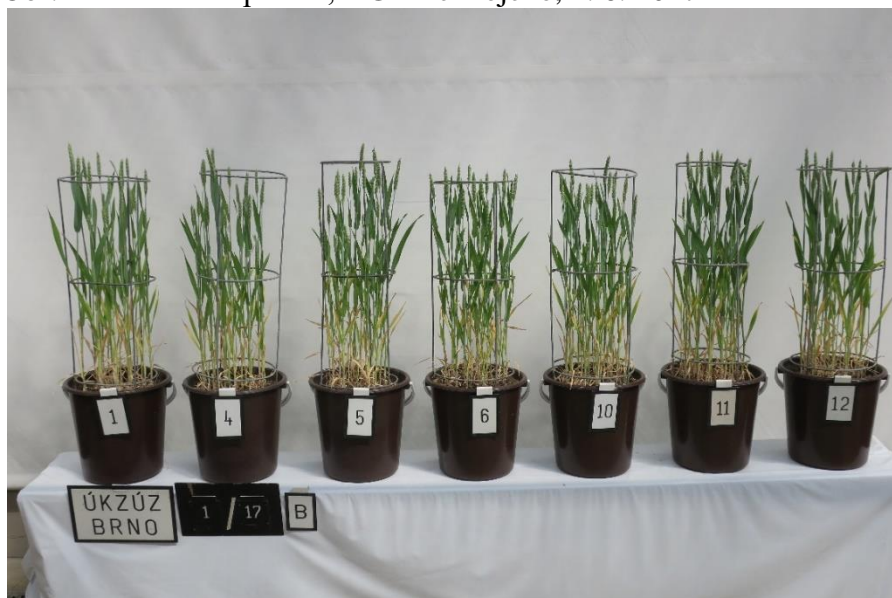


Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**1** – kontrola nehnojená, **10** – agrouhli 0,5 t/ha, **11** –agrouhli 2; 3 t/ha,  
**12** – agrouhli 2 30 t/ha

Příloha č. 8 Fotodokumentace vegetačního pozorování – pšenice

Obr. 15 – Půda Žabčice, AG – hnojeno, 30. 6. 2017



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**2** – kontrola hnojená, **13** – agrouhlí 0,5 t/ha, **14** – agrouhlí 2; 3 t/ha, **15** – agrouhlí 30 t/ha

Obr. 16 – Půda Šlapanice, AG – hnojeno, 30. 6. 2017



Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**2** – kontrola hnojená, **13** – agrouhlí 0,5 t/ha, **14** – agrouhlí 3 t/ha, **15** – agrouhlí 2; 30 t/ha

Příloha č. 8 Fotodokumentace vegetačního pozorování – pšenice

Obr. 17 – Půda Žabčice, AG – nehnojeno, 30. 6. 2017

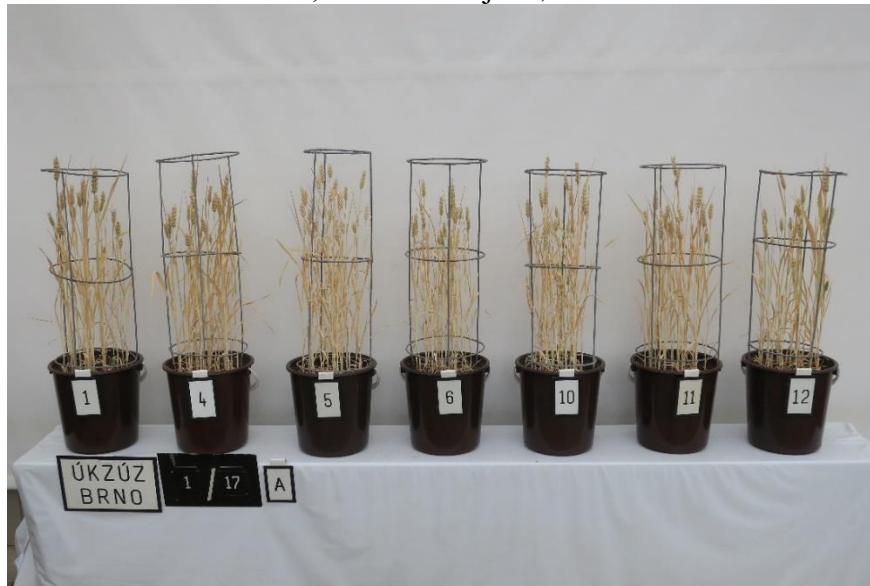


Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**1** – kontrola nehnojená, **10** – agrouhlí 0,5 t/ha, **11** –agrouhlí 3 t/ha,  
**12** – agrouhlí 30 t/ha

Obr. 18 – Půda Šlapanice, AG – nehnojeno, 30. 6. 2017

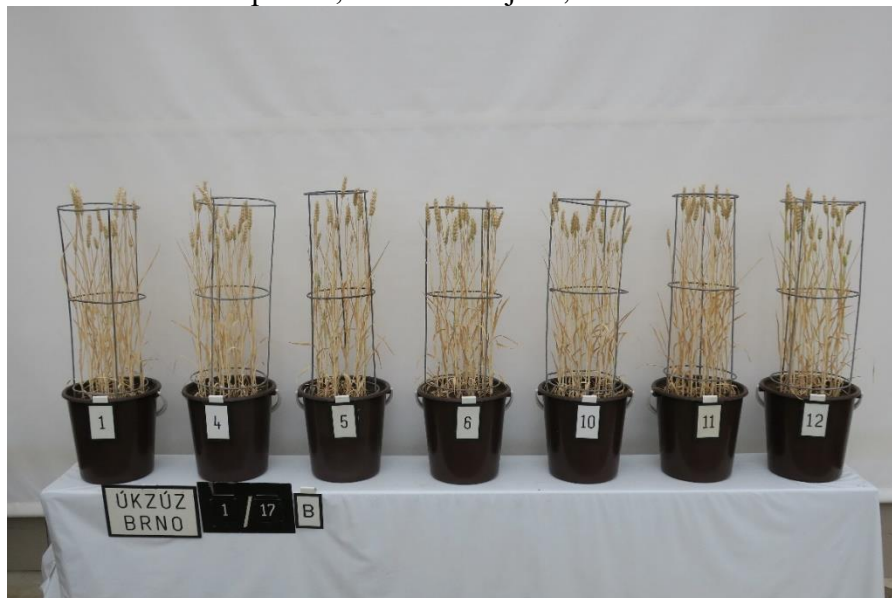


Foto SZV OdVR, ÚKZÚZ Brno

**1** – kontrola nehnojená, **10** – agrouhlí 0,5 t/ha, **11** –agrouhlí 3 t/ha,  
**12** – agrouhlí 30 t/ha