

Česká republika - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
organizační složka státu, se sídlem v Brně

Sekce zemědělských vstupů

Oddělení výživy rostlin



Ověření vlivu agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností

Zpráva o výsledcích víceleté vegetační nádobové zkoušky za rok 2016

Zpracoval: Ing. Jaroslav Hynšt, Ph.D.
Markéta Vodáková

Schválil: Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.
vedoucí Oddělení výživy rostlin

Předkládá: Ing. Miroslav Florián, Ph.D.
ředitel Sekce zemědělských vstupů

Brno, leden 2017

1. Úvod

Název zkoušky: Ověření vlivu agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností

Účel zkoušky: ve vegetační nádobové zkoušce je ověřován vliv agrouhlí na výnos pěstovaných plodin a změny půdních vlastností. Vlastnosti agrouhlí se mohou významně lišit v závislosti na postupu výroby, proto jsou testovány dva odlišné produkty. Přídavek agrouhlí je testován na dvou odlišných půdách, a to současně s organickým hnojením i bez hnojení, neboť změny půdních vlastností po aplikaci agrouhlí mohou být různou půdní úrodností a aplikovaným organickým hnojením značně ovlivněny. Vliv agrouhlí na výnos a půdní vlastnosti se může významně měnit v čase, proto budou účinky agrouhlí sledovány nejméně čtyři roky.

Hypotézy zkoušky:

- a) vliv agrouhlí na výnos a půdní vlastnosti je větší v lehké a méně kvalitní půdě s nižším obsahem živin a nižším pH
- b) pro pozitivní vliv agrouhlí na výnos a půdní vlastnosti jsou nezbytné vstupy živin a organické hmoty do půdy ve formě hnojiv a posklizňových zbytků
- c) negativní účinky agrouhlí na růst a výnos pěstovaných plodin jsou eliminovány v průběhu 1. roku po aplikaci
- d) pozitivní účinky agrouhlí na pěstované plodiny se projevují v osevním sledu až u následných plodin

Druh zkoušky: čtyřletá vegetační nádobová zkouška byla založena na jaře 2016 ve vegetační hale v Brně

Délka trvání zkoušky: vegetační rok 2016 - 2019

2. Charakteristika použitého agrouhlí, popela a organického hnojiva

2.1 Vstupy použité ve vegetační zkoušce

Pro testování vlivu agrouhlí byly vybrány dva odlišné produkty získané z odlišných materiálů a rozdílným postupem výroby: agrouhlí I a agrouhlí II. Pro srovnání byla také zahrnuta varianta s aplikací popela.

Z dostupných informací o agrouhlí vyplývá, že by jeho vliv na půdu a rostliny mohl být závislý na současném vstupu organické hmoty a živin do půdy. Proto byl srovnáván vliv agrouhlí v půdě hnojené organickým hnojivem v podobě digestátu a vliv agrouhlí v půdě nehnojené. Digestát byl použit jako organický zdroj živin pro pěstované plodiny.

2.2 Chemické složení testovaného agrouhlí a popela

Agrouhlí I: je vyrobeno z dřevního odpadu z těžby při teplotě 800 °C, doba zdržení 35 min

Agrouhlí II: je vyrobeno z anaerobního digestátu kukuřice a celulózových vláken při teplotě 470 °C, doba zdržení 25 min

Popel Roštín: popel získaný spalováním slámy

Analýzy agrouhlí byly provedeny v NRL ÚKZÚZ Plzeň a Opava v dubnu 2016. Údaje o složení popela byly převzaty z etikety. Výsledky základních chemických analýz jsou shrnuty v tab. 2.1, obsah polyaromatických uhlovodíků (PAH) je uveden v tab. 2.2.

Tab. 2.1 Základní chemické analýzy agrouhlí a popela, obsah živin a rizikových prvků

Parametry	agrouhlí I	agrouhlí II	Popel Roštín
Sušina OH	98,20	48,09	-
Spalitelné látky v sušině	89,98	65,44	max. 15
Popel v sušině	10,02	34,56	-
Hodnota pH v H ₂ O	10,69	9,68	max. 0,6
Hodnota pH v CaCl ₂	11,24	9,11	10 - 12
Vodivost (mS/cm), poměr navážky k objemu roztoku 1:25	0,74	0,74	-
N celkový organický v sušině (%)	0,46	1,42	-
C celkový (%)	84,40	62,55	-
C:N	201,1	43,9	-
P celkový v sušině (%)	0,12	0,64	-
K celkový v sušině (%)	0,71	1,65	2,5
Mg celkový v sušině (%)	0,23	0,42	-
Ca celkový v sušině (mg/kg)	2,25	5,30	1,4
Al celkový v sušině (mg/kg)	1739	7165	-
Be celkové v sušině (mg/kg)	0,0785	0,141	-
Co celkový v sušině (mg/kg)	2,562	2,488	-
Na celkový v sušině (mg/kg)	2336	409,2	-
Mn celkový v sušině (mg/kg)	2100	174,2	-
Fe celkové v sušině (mg/kg)	1302	3455	-
V celkový v sušině (mg/kg)	4,58	5,713	-
As celkový v sušině (mg/kg)	<1	1,019	-
Cd celkové v sušině (mg/kg)	<0,1	<0,1	-
Cr celkový v sušině (mg/kg)	17,47	26,92	-
Cu celková v sušině (mg/kg)	15,19	25,39	-
Hg celková v sušině (mg/kg)	<0,005	0,006	-
Mo celkový v sušině (mg/kg)	<0,2	1,842	-
Ni celkový v sušině (mg/kg)	12,19	14,74	-
Pb celkové v sušině (mg/kg)	<1,5	7,383	-
Zn celkový v sušině (mg/kg)	18,54	73,88	-

Obsah rizikových prvků ve všech testovaných výrobcích/materiálech splňuje zákonem stanovené limity (mg/kg): kadmium 1,0; olovo 10; rtuť; 1,0; arsen 20; chrom 50.

Tab. 2.2 Obsah polyaromatických uhlovodíků ($\mu\text{g/kg}$ sušiny) v testovaném agrouhlí

Analyt ($\mu\text{g/kg}$ sušiny)	agrouhlí I	agrouhlí II
Naftalen	6,24	380
Acenaftýlen	<20	49,7
Acenaften	<5	<5
Fluorene	5,76	37,7
Fenantren	10,6	97,7
Antracen	<2	13,4
Ffluoranten	6,48	31,4
Pyren	5,04	25,2
Benzo(a)pyren	<3	<3
Chrysen	5,94	6,63
Benzo(b)fluoranten	<3	3,26
Benzo(k)fluoranten	<2	<2
Benzo(a)pyren	<3	<3
Dibenzo(ah)antracen	<3	<3
Benzo(ghi)perylene	<5	<5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	<10	<10

2.3 Chemické složení digestátu

Digestát pro hnojení pocházel z bioplynové stanice zemědělské společnosti Lípa u H. Brodu. Analýzy byly provedeny v NRL ÚKZÚZ Plzeň v dubnu 2016 (tab. 2.3).

Tab. 2.3 Chemické složení digestátu

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

Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity v mg/kg sušiny: arsen 20; kadmium 2; chrom 100; měď 250; rtuť 1,0; molybden 20; nikl 50; olovo 100; zinek 1200

3. Půdy použité k založení zkoušky

Jedním z cílů zkoušky je zjistit, jestli je vliv agrouhlí větší v méně úrodné, lehčí půdě s nižší hodnotou pH než v půdě s lepšími parametry půdní úrodnosti. Proto byly k založení zkoušky vybrány dvě půdy s rozdílnými vlastnostmi: ručně odebraná svrchní vrstva ornice z lokality Šlapanice u Brna (49°10'07.1"N 16°43'38.3"E - hlinitá půda typu černozem), která představuje úrodnější půdu v porovnání s půdou z lokality Žabčice (49°00'41.8"N 16°36'09.3"E - písčité půdy), tedy s půdou lehčí a méně úrodnou. Agrochemické vlastnosti použitých půd jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Agrochemické vlastnosti půd použitých k založení zkoušky

Půda	půdní reakce pH/CaCl ₂	CaCO ₃	obsah živin ve výluhu Mehlich III (mg/kg) a kritéria hodnocení			
			P	K	Mg	Ca
Šlapanice	7,2	nevápnitá	93,1	454	350	4000
	neutrální		dobry	velmi vysoký	velmi vysoký	vysoký
Žabčice	5,4	nevápnitá	72,0	105,1	97	1391
	kyselá		vyhovující	nizký	nizký	vyhovující

Půda	Obsah mikroelementů ve výluhu Mehlich III(mg/kg)				
	Cu	Zn	Fe	Mn	B
Šlapanice	4,53	4,27	346,00	133,50	1,79
Žabčice	1,25	2,05	159,40	53,83	<0,50

4. Způsob a dávky hnojení

1. Aplikace agrouhlí a popele:

Popel byl aplikován při založení pokusu v celkové dávce 1 t/ha.

agrouhlí I bylo aplikováno při založení pokusu v celkové dávce, která pro jednotlivé varianty přídatku agrouhlí odpovídala 0,5; 3 a 30 t/ha.

agrouhlí II bylo aplikováno při založení pokusu v celkové dávce, která pro jednotlivé varianty přídatku agrouhlí odpovídala 0,5; 3 a 30 t/ha.

Aplikovaný popel a agrouhlí bylo vždy promícháno s celým objemem půdy v každé pokusné nádobě.

2. Aplikace digestátu:

Digestát byl aplikován před výsevem kukuřice v celkové dávce 230 g na nádobu, což odpovídá hektarové dávce hnojiva 56 t/ha. Množství bylo stanoveno na základě obsahu dusíku v sušině digestátu, aplikovanou dávkou bylo dodáno 150 kg N/ha. V dalších letech budou navrhované dávky upraveny dle nároků pěstovaných plodin.

Schéma vegetační nádobové zkoušky: Ve vegetační zkoušce byl porovnáván vliv agrouhlí na plodiny a půdu ve dvou různých půdách. V každé půdě byla testována aplikace dvou typů agrouhlí ve třech různých dávkách. agrouhlí bylo aplikováno do půdy současně hnojené

organickým hnojivem a do půdy nehnojené. Celkově bylo založeno 15 variant pokusu ve dvou různých půdách (tab. 3.2).

Tab. 3.2 Schéma vegetační nádobové zkoušky

Půda	č. varianty	varianty	Dávky hnojiv (t/ha)				
			agrouhlí/popel	Digestát			
			1. rok (2016)	1. rok	2. rok	3. rok	4. rok
Žabčice	1	Nehnojená kontrola	0	0	0	0	0
	2	Hnojená kontrola	0	56	40	40	50
	3	Popel - Roštín	1	56	40	40	50
	4	Agrouhlí I	0,5	0	0	0	0
	5	Agrouhlí I	3	0	0	0	0
	6	Agrouhlí I	30	0	0	0	0
	7	Agrouhlí I	0,5	56	40	40	50
	8	Agrouhlí I	3	56	40	40	50
	9	Agrouhlí I	30	56	40	40	50
	10	Agrouhlí II	0,5	0	0	0	0
	11	Agrouhlí II	3	0	0	0	0
	12	Agrouhlí II	30	0	0	0	0
	13	Agrouhlí II	0,5	56	40	40	50
	14	Agrouhlí II	3	56	40	40	50
	15	Agrouhlí II	30	56	40	40	50
Šlapanice	1	Nehnojená kontrola	0	0	0	0	0
	2	Hnojená kontrola	0	56	40	40	50
	3	Popel - Roštín	1	56	40	40	50
	4	Agrouhlí I	0,5	0	0	0	0
	5	Agrouhlí I	3	0	0	0	0
	6	Agrouhlí I	30	0	0	0	0
	7	Agrouhlí I	0,5	56	40	40	50
	8	Agrouhlí I	3	56	40	40	50
	9	Agrouhlí I	30	56	40	40	50
	10	Agrouhlí II	0,5	0	0	0	0
	11	Agrouhlí II	3	0	0	0	0
	12	Agrouhlí II	30	0	0	0	0
	13	Agrouhlí II	0,5	56	40	40	50
	14	Agrouhlí II	3	56	40	40	50
	15	Agrouhlí II	30	56	40	40	50

Poznámka: dávky digestátu ve 2. - 4. pokusném roce mohou být upraveny podle aktuálního stavu pěstovaných plodin

5. Technika založení a průběh zkoušky

Počet opakování: Udává počet vegetačních nádob v každé kombinaci hnojení: všechny plodiny 8 x

Celkový rozsah zkoušky: $15 \times 8 \times 2 = 240$ vegetačních nádob

Zkoušená plodina v roce 2016 (1. rok zkoušky): kukuřice, odrůda Pesandor

Technika provedení pokusu:

- začátkem dubna byly plastové pěstební nádoby o objemu 10 kg naplněny zhomogenizovanou zemínou, současně byl aplikován popel, agrouhlí a digestát dle variant hnojení.
- dne 3.5.2016 bylo do každé nádoby vyseto 9 semen kukuřice, po vzejití bylo provedeno vyjednání na 4 vyrovnané rostliny v každé nádobě (17. 5. 2016).
- pod každou vegetační nádobou byla umístěna miska pro zachycení přebytečné závlivkové vody
- během vegetace byl sledován zdravotní stav rostlin, 3 týdny po výsevu byl proveden preventivní postřik proti bzunce ječné insekticidním přípravkem Karate Zeon
- prováděno bylo vegetační pozorování, zejména rozdíly v nástupu do hlavních fenologických fází a morfologie rostlin u jednotlivých variant hnojení
- růstové rozdíly mezi variantami byly vyfotografovány ve dvou termínech – 4 týdny po výsevu a 9 týdnů po výsevu
- sklizeň byla provedena 25. 7. 2016
- v průběhu vegetace byla vlhkost zeminy v nádobách udržována pravidelnou závlivkou dle potřeby demineralizovanou vodou, upravenou reverzní osmózou MID 50 K (Pharmapur řady Aqua Complet) na hodnotu 60 % maximální vodní kapacity

Hodnocené parametry:

Výnos:

po sklizni byl stanoven **výnos sušiny** nadzemní biomasy rostlin.

Analýzy rostlin:

na vzduchu vysušené vzorky rostlin byly rozemlety a použity k analýzám.

- **Obsah N, P, K, Mg, Ca** ve sklizené biomase rostlin byl stanoven ve vzorku mineralizovaném mokrou cestou směsí kyseliny sírové, H_2O_2 a Se (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40020.1 dle Zbírala a kol., 2014). Obsah N byl stanoven metodou dle Kjeldala, (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40053.1 dle Zbírala a kol., 2014), obsah P, K, Mg a Ca byl stanoven metodou ICP-OES (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40090.1 dle Zbírala a kol., 2014).
- **Obsah mikroprvků a rizikových prvků** byl stanoven ve vzorku mineralizovaném v uzavřeném mikrovlnném systému (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40032.1 dle Zbírala a kol., 2014), s využitím metody ICP-MS (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40224.1 dle Zbírala a kol., 2014). **Obsah rtuti** byl stanoven atomovou absorpční spektrofotometrií (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40190.1 dle Zbírala a kol., 2014).
- **Obsah PAH** byl stanoven metodou HPLC (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40260.1 dle Zbírala a kol., 2014).

Analýzy půdy: po sklizni rostlin kukuřice byly odebrány vzorky půdy.

- **Obsah oxidovatelného uhlíku** byl stanoven metodou NIRS (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30980.1 dle Zbírala a kol., 2011)
- **Kationtová výměnná kapacita (KVK) a obsah výměnných kationtů** byly stanoveny v extraktu půdy roztokem BaCl_2 (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). Výpočet KVK a stupně nasycení byl proveden dle Zbírala a kol. 2016 Jednotným pracovním postupem 30235.1. Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30234.1 dle Zbírala a kol., 2016 byl použit ke stanovení výměnné acidity titrací.
- **Elektrická vodivost** byla stanovena konduktometricky (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30060.1 dle Zbírala a kol., 2016)
- **Obsah P, K, Mg, Ca a S** byl stanoven ve výluhu dle Mehliche 3 (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30068.1 dle Zbírala a kol., 2016) metodou ICP-OES (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30074.1 dle Zbírala a kol., 2016). Ve výluhu dle Mehliche 3 byl také stanoven **obsah Cu, Zn, Al, Fe, Mn a B**.
- **Obsah polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH)** byl stanoven metodou HPLC (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30660.1 dle Zbírala a kol., 2011)
- **Obsah rizikových prvků** byl stanoven ve výluhu lučavkou královskou s využitím metody ICP-OES (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30350.1 a 30500.1 dle Zbírala a kol., 2011).

Statistické vyhodnocení výsledků

Rozdíly mezi jednotlivými kombinacemi byly testovány s využitím jednofaktorové analýzy variance s následným mnohonásobným porovnáním pomocí Kruskal-Wallisova testu. Zvolená hladina průkaznosti byla 0,05. Ke statistickému zpracování dat byl použit program NCSS.

6. Výsledky

6.1 Výnos suché hmoty kukuřice

Pro zjednodušení byly výsledky rozděleny na varianty s přidavkem agrouhlí I a varianty s přidavkem agrouhlí II. Vliv obou typů agrouhlí byl testován odděleně (tab. 6.1, tab. 6.2) a zvlášť pro každou půdu. Rozdělení výsledků je patrné z tab. 6.1 – 6.4. V tab. 6.1 a 6.2 jsou uvedeny výnosy sušiny kukuřice pěstované v půdě Žabčice s přidavky agrouhlí I (tab. 6.1) a agrouhlí II (tab. 6.2). V tab. 6.3 a 6.4 jsou uvedeny výnosy sušiny kukuřice pěstované v půdě Šlapanice s přidavky agrouhlí I (tab. 6.3) a agrouhlí II (tab. 6.4). Srovnání všech variant současně bylo použito pouze k porovnání vlivu srovnatelných dávek agrouhlí I a agrouhlí II na výnos.

V obou půdách byl výnos suché hmoty kukuřice průkazně zvyšován aplikací živin ve formě digestátu. Nárůst výnosu po aplikaci samotného hnojiva dosahoval 27 % v půdě Žabčice a 39 % v půdě Šlapanice (tab. 6.1, tab. 6.3) oproti nehnojené variantě.

V půdě **Žabčice** bylo zaznamenáno snížení výnosu oproti hnojené i nehnojené kontrole při aplikaci nejvyšší dávky **agrouhlí I**. Pokles dosahoval 17 % v půdě hnojené digestátem a

12 % v půdě nehnojené, v půdě hnojené byl pokles statisticky průkazný (tab. 6.1). Dávky agrouhlí v rozsahu 0,5 – 3 t/ha výnos snížily, avšak rozdíl nebyl statisticky průkazný.

Tab. 6.1 Výnos suché hmoty kukuřice, půda **Žabčice** s přidavkem **agrouhlí I**

Varianty hnojení	Výnos (g sušiny)	Relativní srovnání (%)
1. Kontrola nehnojená	174,8 cd	100
2. Kontrola hnojená	221,9 ab	127
3. Popel ROŠTÍN 1 t/ha + DG	230,0 a	132
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	171,4 cd	98
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	169,8 cd	97
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	153,3 d	88
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha +DG	231,5 a	132
8. Agrouhlí I - 3 t/ha + DG	221,0 ab	126
9. Agrouhlí I - 30 t/ha + DG	192,9 bc	110

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

DG – varianty hnojené digestátem

Vliv **agrouhlí II** byl omezený a výnos průkazně neovlivnil (tab. 6.2). Výnos po aplikaci agrouhlí I se v půdě Žabčice pohyboval ve stejném rozmezí hodnot jako výnos po aplikaci srovnatelných dávek agrouhlí II. Při srovnání všech variant současně v půdě Žabčice však byl v půdě hnojené digestátem a nejvyšší dávkou agrouhlí výnos průkazně nižší při použití agrouhlí I než při aplikaci agrouhlí II. V nehnojených variantách nebyl prokázán rozdíl mezi vlivem agrouhlí I a agrouhlí II na výnos kukuřice.

Tab. 6.2 Výnos suché hmoty kukuřice, půda **Žabčice** s přidavkem **agrouhlí II**

Varianty hnojení	Výnos (g sušiny)	Relativní srovnání (%)
1. Kontrola nehnojená	174,8 b	100
2. Kontrola hnojená	221,9 a	127
3. Popel ROŠTÍN 1 t/ha + DG	230,0 a	132
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	172,1 b	98
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	172,5 b	99
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	166,6 b	95
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha +DG	229,3 a	131
14. Agrouhlí II - 3 t/ha + DG	243,5 a	139
15. Agrouhlí II - 30 t/ha + DG	231,9 a	133

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

DG – varianty hnojené digestátem

Také v půdě **Šlapanice** byl výnos průkazně vyšší v půdě hnojené digestátem (tab. 6.3). V hnojené i nehnojené půdě byl pozorován pokles výnosu s rostoucí dávkou agrouhlí I. Nejvyšší dávka agrouhlí I při aplikaci bez hnojiva průkazně snížila výnos o 34 % ve srovnání s nehnojenou kontrolou, zatímco pokles výnosu ve hnojené půdě dosahoval 8 % a byl neprůkazný.

Tab. 6.3 Výnos suché hmoty kukuřice, půda **Šlapanice** s přidavkem **agrouhlí I**

Varianty hnojení	výnos (g sušiny)	Relativní srovnání (%)
1. Kontrola nehnojená	191,1 b	100
2. Kontrola hnojená	266,0 a	139
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	277,8 a	145
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	187,4 bc	98
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	161,9 c	85
6. Agrouhlí I- 30 t/ha	126,5 c	66
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	285,9 a	150
8. Agrouhlí I - 3 t/ha + DG	284,2 a	149
9. Agrouhlí I- 30 t/ha + DG	250,8 ab	131

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

DG – varianty hnojené digestátem

Přídavek agrouhlí II do půdy snižoval výnos v podobné míře v celém rozsahu použitých dávek (tab. 6.4). Výnos byl neprůkazně nižší po aplikaci agrouhlí II bez hnojiva o 10 – 19 % oproti nehnojené kontrole a po aplikaci agrouhlí II spolu s hnojivem byl pozorován průkazný pokles výnosu u varianty s nejnižší (o 20 %) a nejvyšší dávkou agrouhlí II (o 21 %) ve srovnání s kontrolou hnojenou digestátem. Při aplikaci srovnatelných dávek byl výnos vyšší po přidavku agrouhlí I než po agrouhlí II. Při srovnání všech 15 variant současně ale nebyl rozdíl mezi variantami se srovnatelnými přídávky agrouhlí I a agrouhlí II průkazný. agrouhlí II má patrně také určitý slabý negativní vliv na rostliny, který se projevil v půdě Šlapanice, ale ne v půdě Žabčice. Předpoklad, že vliv agrouhlí bude větší v lehké půdě, se nepotvrdil. Nicméně, předpokládaný vliv agrouhlí bude dále testován v dalších letech pokusu.

Tab. 6.4 Výnos suché hmoty kukuřice, půda **Šlapanice** s přidavkem **agrouhlí II**

Varianty hnojení	výnos (g sušiny)	Relativní srovnání (%)
1. Kontrola nehnojená	191,1 cd	100
2. Kontrola hnojená	266,0 ab	139
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	277,8 a	145
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	172,4 d	90
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	155,2 d	81
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	171,5 d	90
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha +DG	228,3 bc	119
14. Agrouhlí II - 3 t/ha +DG	247,3 a	129
15. Agrouhlí II - 30 t/ha+DG	225,9 bc	118

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

DG – varianty hnojené digestátem

6.2 Obsah živin v biomase kukuřice

Obsah živin v rostlinné hmotě kukuřice byl ovlivněn především přidavkem živin do půdy v podobě hnojení digestátem. Vliv agrouhlí byl menší. Aplikace živin ve formě digestátu zvýšila obsah dusíku, vápníku a hořčíku v rostlinách. U rostlin pěstovaných v půdě Žabčice

bylo průkazné zvýšení obsahu dusíku pozorováno po současné aplikaci hnojiva a obou typů agrouhlí (tab. 6.5, tab. 6.6), u rostlin pěstovaných v půdě Šlapanice byl nárůst obsahu dusíku menší a neprůkazný oproti kontrole. Nicméně, u rostlin pěstovaných v půdě Šlapanice byl obsah dusíku průkazně nižší po aplikaci obou typů agrouhlí bez hnojiva než po aplikaci agrouhlí společně s organickým hnojivem (tab. 6.7, tab. 6.8). Rostoucí dávka agrouhlí I při současné aplikaci hnojiva také snižovala obsah dusíku.

Tab. 6.5 Obsah živin v rostlinách, půda **Žabčice** s **přídavky agrouhlí I** (mg/kg)

Variety hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola nehnojená	0,353 bcd	0,107 ab	1,103 ab	0,142 bc	0,287 c
2. Kontrola hnojená	0,450 abc	0,063 cd	0,841 cd	0,202 a	0,333 ab
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	0,492 ab	0,085 b	0,986 bc	0,196 ab	0,326 ab
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	0,343 cd	0,110 a	1,071 ab	0,143 bc	0,286 c
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	0,320 d	0,096 ab	1,014 bc	0,139 c	0,287 c
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	0,351 cd	0,086 bcd	1,391 a	0,137 c	0,295 bc
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	0,490 a	0,082 bcd	0,945 bc	0,209 a	0,352 a
8. Agrouhlí I - 3 t/ha + DG	0,523 a	0,082 cd	1,058 ab	0,215 a	0,355 a
9. Agrouhlí I - 30 t/ha + DG	0,562 a	0,065 cd	1,365 a	0,205 a	0,367 a

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

DG – varianty hnojené digestátem

Tab. 6.6 Obsah živin v rostlinách, půda **Žabčice** s **přídavky agrouhlí II** (mg/kg)

Variety hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola nehnojená	0,353 bc	0,107 abc	1,103 abc	0,142 cd	0,287 cd
2. Kontrola hnojená	0,450 ab	0,063 d	0,841 d	0,202 a	0,333 a
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	0,492 a	0,085 bcd	0,986 bcd	0,196 a	0,326 ab
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	0,323 c	0,106 abc	1,011 bcd	0,145 bcd	0,286 cd
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	0,349 bc	0,108 ab	1,085 abc	0,151 bcd	0,297 bcd
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	0,345 bc	0,129 a	1,436 a	0,130 d	0,267 d
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha + DG	0,478 a	0,078 d	0,958 cd	0,198 a	0,309 abc
14. Agrouhlí II - 3 t/ha + DG	0,477 a	0,081 cd	0,972 bcd	0,192 ab	0,318 ab
15. Agrouhlí II - 30 t/ha + DG	0,483 a	0,078 cd	1,171 ab	0,180 abc	0,310 abc

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

DG – varianty hnojené digestátem

V obou půdách byl současně pozorován pokles výnosu s rostoucí dávkou agrouhlí I. Je proto možné, že nárůst nebo pokles obsahu dusíku jsou odlišným projevem podobného negativního vlivu vyšších dávek agrouhlí I na rostliny – v některých případech klesá výnos a nemění se obsah dusíku, zatímco menší nárůst biomasy při nezměněném příjmu dusíku může obsah v sušině zvýšit (zředovací efekt). Obsah fosforu a draslíku byl naopak organickým hnojením snižován. Snižování obsahu fosforu po aplikaci hnojiva a hnojiva spolu s agrouhlím I bylo průkazné v rostlinách pěstovaných v půdě Žabčice, v rostlinách z půdy Šlapanice byl pokles neprůkazný. Obsah fosforu byl také snižován aplikací rostoucí dávky agrouhlí I v rostlinách z obou půd, ale pouze rozdíl v obsahu fosforu po aplikaci nejvyšší a nejnižší dávky agrouhlí I

do nehnojené půdy Žabčice byl průkazný. agrouhlí II mělo na obsah fosforu protichůdný vliv v různých variantách obou půd. Pokles byl zaznamenán v rostlinách v nehnojené půdě Šlapanice. agrouhlí II obsah fosforu naopak zvyšovalo v rostlinách z nehnojené půdy Žabčice a z hnojené půdy Šlapanice, ale rozdíly mezi různými vysokými přídávky agrouhlí II nebyly průkazné. To mohlo být způsobeno výrazně vyšším obsahem fosforu v agrouhlí II oproti agrouhlí I, který mohl do jisté míry kompenzovat negativní vliv agrouhlí na růst a odběr živin. Je také možné, že vyšší koncentrace byla důsledkem zředovacího efektu, podobně jako v případě obsahu dusíku. Obsah draslíku byl průkazně snižován hnojením v rostlinách pěstovaných v obou půdách. Naopak, přídavek obou typů agrouhlí v nejvyšší dávce obsah draslíku v sušině zvyšuje. Rozdíl ve srovnání s kontrolou byl neprůkazný, ale bylo pozorováno průkazné zvýšení oproti variantám s nižšími dávkami agrouhlí I v rostlinách pěstovaných v půdách Žabčice i Šlapanice. Vliv agrouhlí II byl průkazný pouze v půdě Žabčice. V půdě Šlapanice mělo agrouhlí II negativní vliv na obsah draslíku. Zvýšený obsah draslíku mohl být způsoben přísunem draslíku do půdy v aplikovaném agrouhlí, který při nejvyšší aplikované dávce dosahoval vysokých hodnot. Obsah draslíku byl také zvyšován současnou aplikací digestátu a popela, kdy přísun draslíku v popelu mohl kompenzovat negativní vliv hnojiva. Obsah hořčíku v rostlinách byl průkazně zvyšován hnojením půdy Žabčice, zatímco vliv agrouhlí I na obsah hořčíku byl malý. V půdě Šlapanice byl vliv hnojení menší, pravděpodobně v důsledku vysokého obsahu hořčíku v půdě. Obsah hořčíku byl v rostlinách pěstovaných v této půdě průkazně zvyšován aplikací digestátu spolu s popelem a neprůkazně aplikací nejvyšší dávky agrouhlí I bez hnojení digestátem. Při současné aplikaci agrouhlí I a digestátu byl obsah hořčíku nejvyšší dávkou agrouhlí I průkazně snížen ve srovnání s obsahem hořčíku po přidávce nejnižší dávky agrouhlí I. Aplikace agrouhlí II měla na obsah hořčíku spíše negativní vliv. Rozdíl byl průkazný v půdě Žabčice po nejvyšší dávce agrouhlí II bez dalšího hnojení. Obsah vápníku měl podobný trend jako obsah hořčíku. V rostlinách pěstovaných v půdě Žabčice byl průkazně zvýšen u variant hnojených digestátem. V půdě Šlapanice byl vliv hnojení na obsah vápníku v rostlinách menší a jen v několika případech průkazný. Příčinou nižšího vlivu může být vyšší dostupnost vápníku v půdě Šlapanice oproti půdě Žabčice. Nejvyšší hodnota byla naměřena po přidávce hnojiva a popela, vliv agrouhlí byl malý.

Tab. 6.7 Obsah živin v rostlinách, půda **Šlapanice** s přídávky **agrouhlí I** (mg/kg)

Varianty hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola nehnojená	0,529 abc	0,055 abc	2,026 ab	0,117 bc	0,283 bcd
2. Kontrola hnojená	0,583 ab	0,032 c	1,850 b	0,119 abc	0,315 abc
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	0,547 abc	0,027 c	2,149 a	0,146 a	0,383 a
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	0,436 c	0,083 c	1,854 b	0,112 c	0,264 cd
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	0,436 c	0,088 a	1,789 b	0,114 c	0,257 cd
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	0,464 bc	0,078 ab	2,188 a	0,129 abc	0,244 d
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	0,607 a	0,055 abc	1,982 ab	0,137 a	0,332 ab
8. Agrouhlí I - 3 t/ha + DG	0,559 ab	0,044 bc	2,026 ab	0,129 ab	0,316 abc
9. Agrouhlí I - 30 t/ha + DG	0,526 abc	0,027 c	2,201 a	0,117 bc	0,341 ab

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

DG – varianty hnojené digestátem

Tab. 6.8 Obsah živin v rostlinách, půda **Šlapanice** s přidavky **agrouhlí II** (mg/kg)

Variety hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola nehnojená	0,529 abc	0,055 abcd	2,026 ab	0,117 bcde	0,283 cde
2. Kontrola hnojená	0,583 a	0,032 cde	1,850 c	0,119 acd	0,315 abc
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	0,547 abc	0,027 d	2,149 a	0,146 a	0,383 a
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	0,454 c	0,088 ab	1,875 b	0,111 de	0,261 de
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	0,437 c	0,089 a	1,916 b	0,113 cde	0,249 e
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	0,460 c	0,065 abc	2,057 ab	0,104 e	0,294 bcde
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha + DG	0,582 a	0,016 e	2,119 a	0,128 ab	0,366 ab
14. Agrouhlí II - 3 t/ha + DG	0,597 a	0,042 cde	1,978 abc	0,128 abc	0,319 abcd
15. Agrouhlí II - 30 t/ha + DG	0,574 a	0,043 bcde	2,010 abc	0,119 acd	0,291 cde

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

DG – varianty hnojené digestátem

6.3 Obsah PAH v biomase kukuřice

Obsah PAH v sušině rostlin nebyl příliš ovlivněn aplikací hnojiva ani aplikací agrouhlí (tab. 6.9 – 6.12).

Tab. 6.9 Obsah PAH v rostlinách, půda **Žabčice** s přidavky **agrouhlí I** ($\mu\text{g/kg}$)

PAH	1.Kontrola nehnojená	2.Kontrola hnojená	3.Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	4.agrouhlí I - 0,5 t/ha	5.agrouhlí I - 3 t/ha	6.agrouhlí I - 30 t/ha	7.agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	8.agrouhlí I - 3 t/ha + DG	9.agrouhlí I - 30 t/ha + DG
naftalen	9,9	6,6	7,6	8,3	15,6	<5	11,5	6,6	<5
acenaphtylen	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
acenaften	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
fluoren	11,2	10,8	9,9	12,8	11,3	5,0	10,5	5,2	6,3
fenantren	14,5	17,6	13,2	13,8	19,2	11,7	13,0	10,7	12,9
antracen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
fluoranten	6,5	9,0	7,0	6,2	9,0	4,8	6,5	5,0	6,3
pyren	3,4	5,0	3,9	3,7	4,5	2,2	3,2	2,4	2,8
benz(a)antracen	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
chrysen	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
benzo(b)fluoranten	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(k)fluoranten p.vz.	3,8	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
benzo(a)pyren	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
dibenz(a,h)antracen	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(g,h,i)perylene	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
indeno(1,2,3-cd)pyren	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Tab. 6.10 Obsah PAH v rostlinách, půda **Žabčice** s přidavky **agrouhlí II** ($\mu\text{g/kg}$)

PAH	1.Kontrola nehnojená	2.Kontrola hnojená	3.Popel ROSTÍN 1t/ha + DG	10.agrouhlí II - 0,5 t/ha	11.agrouhlí II - 3 t/ha	12.agrouhlí II - 30 t/ha	13.agrouhlí II - 0,5 t/ha+DG	14.agrouhlí II - 3 t/ha+DG	15.agrouhlí II - 30 t/ha+DG
naftalen	9,9	6,6	7,6	15,0	7,2	8,1	<5	4,8	7,3
acenaphtylen	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
acenaften	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
fluoren	11,2	10,8	9,9	9,4	10,1	5,7	4,8	7,4	7,2
fenantren	14,5	17,6	13,2	16,2	11,3	15,1	9,4	10,7	15,1
antracen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
fluoranten	6,5	9,0	7,0	7,2	5,2	8,5	4,6	5,3	6,3
pyren	3,4	5,0	3,9	3,8	3,0	4,3	2,9	2,9	3,3
benz(a)antracen	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
chrysen	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
benzo(b)fluoranten	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(k)fluoranten	3,8	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,0	<2
benzo(a)pyren	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
dibenz(a,h)antracen	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(g,h,i)perylene	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
indeno(1,2,3-cd)pyren	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Tab. 6.11 Obsah PAH v rostlinách, půda **Šlapanice** s přidavky **agrouhlí I** ($\mu\text{g/kg}$)

PAH	1.Kontrola nehnojená	2.Kontrola hnojená	3.Popel ROSTÍN 1t/ha + DG	4.agrouhlí I - 0,5 t/ha	5.agrouhlí I - 3 t/ha	6.agrouhlí I- 30 t/ha	7.agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	8.agrouhlí I - 3 t/ha + DG	9.agrouhlí I- 30 t/ha + DG
naftalen	6,7	13,7	10,5	8,6	9,2	<5	<5	<5	5,0
acenaphtylen	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
acenaften	<5	<5	<5	<5	6,3	<5	<5	<5	<5
fluoren	19,5	5,7	8,1	24,4	18,4	10,5	17,9	21,2	25,5
fenantren	20,3	11,4	14,4	22,5	36,1	25,8	15,1	20,6	24,7
antracen	<2	<2	<2	<2	9,2	3,8	<2	<2	<2
fluoranten	10,2	4,8	7,2	11,9	10,5	8,8	5,6	9,7	13,6
pyren	4,8	2,4	4,0	5,4	6,4	5,3	3,3	4,0	7,1
benz(a)antracen	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
chrysen	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
benzo(b)fluoranten	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(k)fluoranten	<2	<2	2,2	2,5	5,3	<2	<2	<2	<2
benzo(a)pyren	<3	<3	<3	<3	3,2	<3	<3	<3	<3
dibenz(a,h)antracen	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(g,h,i)perylene	<5	<5	<5	6,5	8,2	<5	<5	<5	<5
indeno(1,2,3-cd)pyren	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Tab. 6.12 Obsah PAH v rostlinách, půda Šlapanice, přidavek agrouhlí II ($\mu\text{g/kg}$)

PAH	1.Kontrola nehnojená	2.Kontrola hnojená	3.Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	10.agrouhlí II 0,5 t/ha	11.agrouhlí II- 3 t/ha	12.agrouhlí II 30 t/ha	13.agrouhlí II - 0,5 t/ha +DG	14.agrouhlí II - 3 t/ha +DG	15.agrouhlí II - 30 t/ha +DG
naftalen	6,7	13,7	10,5	7,7	5,3	<5	5,8	<5	5,6
acenaphtylen	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
acenaften	<5	<5	<5	5,6	<5	<5	<5	<5	<5
fluoren	19,5	5,7	8,1	12,3	10,7	16,0	17,0	18,6	27,0
fenantren	20,3	11,4	14,4	21,8	27,5	40,1	18,5	14,5	18,1
antracen	<2	<2	<2	4,5	4,0	8,8	<2	<2	<2
fluoranten	10,2	4,8	7,2	7,7	7,7	13,8	9,1	6,0	7,6
pyren	4,8	2,4	4,0	4,7	5,9	9,2	5,1	3,5	5,1
benz(a)antracen	<4	<4	<4	<4	<4	3,9	<4	<4	<4
chrysen	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
benzo(b)fluoranten	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(k)fluoranten	<2	<2	2,2	<2	<2	<2	<2	<2	3,1
benzo(a)pyren	<3	<3	<3	3,4	<3	<3	<3	<3	3,0
dibenz(a,h)antracen	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(g,h,i)perylene	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
indeno(1,2,3-cd)pyren	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

6.4 Obsah mikroprvků a rizikových prvků v biomase kukuřice

Obsah sledovaných mikroprvků a rizikových prvků v rostlinách pěstovaných v půdě Žabčice nebyl příliš ovlivněn hnojením ani aplikací agrouhlí (tab. 6.13 – 6.16). Obsah beryllia, olova a rtuti byl zhruba na úrovni detekčního limitu (<0,1; 0,2 a 0,001 mg/kg), obsah arsenu byl v rozmezí <0,05 – 0,065 mg/kg, obsah hliníku dosahoval <7 – 25,9 mg/kg a obsah niklu <0,4 – 0,961 mg/kg. Obsah dalších prvků je uveden v tab. 6.13 – 6.14.

Také v rostlinách pěstovaných v půdě Šlapanice byl obsah beryllia, olova a rtuti zhruba na úrovni detekčního limitu (<0,1; 0,2 a 0,001 mg/kg). Obsah arsenu byl v rozmezí <0,05 – 0,093 mg/kg, obsah hliníku dosahoval <7 – 29,1 mg/kg a obsah niklu <0,4 – 1,427 mg/kg. Obsah dalších prvků je uveden v tab. 6.15 – 6.16. Byl pozorován vyšší obsah chromu, kobaltu a vanadu v půdě nehnojené než v půdě hnojené a byl zvyšován přídatky obou typů agrouhlí. U ostatních prvků nebyl v rostlinách pěstovaných v půdě Šlapanice pozorován jednoznačný trend v koncentraci, i když mezi variantami byly určité rozdíly.

Ve srovnání s dostupnými údaji byl obsah mikroprvků a rizikových prvků nízký v rostlinách z obou půd (Campbell, 2000; Benton et al., 1991; Beneš, 1994). Pro obsah hliníku, beryllia a vanadu nebyly nalezeny údaje o limitech nebo referenčních hodnotách.

Tab. 6.13 Obsah mikroprvků v rostlinách, půda **Žabčice** s přidavky **agrouhlí I** (mg/kg)

Varianta hnojení	Cd	V	Co	Cr	Cu	Fe	Zn
1. Kontrola nehnojená	0,016	0,018	0,014	0,280	1,919	21,3	6,2
2. Kontrola hnojená	0,027	0,016	0,012	0,365	1,367	26,3	10,0
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	0,024	0,019	0,013	0,708	1,297	31,3	10,7
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	0,012	0,024	0,020	0,517	1,257	26,0	6,5
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	0,019	0,019	0,022	0,435	0,965	23,9	7,8
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	0,011	0,022	0,024	0,379	0,968	23,2	6,3
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha +DG	0,023	0,022	0,017	0,694	1,584	41,7	10,9
8. Agrouhlí I - 3 t/ha +DG	0,014	0,016	0,011	0,298	1,383	26,2	9,3
9. Agrouhlí I - 30 t/ha +DG	0,010	0,021	0,028	1,076	2,385	34,1	7,1

Tab. 6.14 Obsah mikroprvků v rostlinách, půda **Žabčice** s přidavky **agrouhlí II** (mg/kg)

Varianta hnojení	Cd	V	Co	Cr	Cu	Fe	Zn
1. Kontrola nehnojená	0,016	0,018	0,014	0,280	1,919	21,3	6,2
2. Kontrola hnojená	0,027	0,016	0,012	0,365	1,367	26,3	10,0
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	0,024	0,019	0,013	0,708	1,297	31,3	10,7
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	0,017	0,019	0,025	0,415	1,068	22,1	8,4
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	0,013	0,026	0,028	0,519	1,208	27,3	7,4
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	0,015	0,016	0,012	0,347	1,017	20,7	5,7
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha+DG	0,017	0,012	0,026	0,378	1,419	23,4	8,7
14. Agrouhlí II - 3 t/ha +DG	0,019	0,016	0,018	0,552	1,733	28,5	9,4
15. Agrouhlí II - 30 t/ha +DG	0,019	0,015	0,016	0,444	1,638	25,1	8,0

Tab. 6.15 Obsah mikroprvků v rostlinách, půda **Šlapanice** s přidavky **agrouhlí I** (mg/kg)

Varianta hnojení	Cd	V	Co	Cr	Cu	Fe	Zn
1. Kontrola nehnojená	0,018	0,026	0,013	0,659	1,683	37,9	8,6
2. Kontrola hnojená	0,024	0,019	0,014	0,320	1,764	35,3	6,9
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	0,020	0,019	0,020	0,366	1,703	33,6	6,7
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	0,015	0,013	0,022	1,192	1,428	31,8	10,5
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	0,012	0,021	0,018	0,759	1,396	32,1	11,5
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	0,011	0,037	0,025	1,512	1,908	43,0	10,8
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha +DG	0,017	0,018	0,022	0,482	1,665	28,5	7,5
8. Agrouhlí I - 3 t/ha +DG	0,013	0,017	0,017	0,461	1,817	10,9	9,7
9. Agrouhlí I - 30 t/ha +DG	0,011	0,016	0,017	0,332	1,582	15,1	8,7

Tab. 6.16 Obsah mikroprvků v rostlinách, půda Šlapanice s přidavky agrouhlí II (mg/kg)

Varianta hnojení	Cd	V	Co	Cr	Cu	Fe	Zn
1. Kontrola nehnojená	0,018	0,026	0,013	0,659	1,683	37,9	8,6
2. Kontrola hnojená	0,024	0,019	0,014	0,320	1,764	35,3	6,9
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	0,020	0,019	0,020	0,366	1,703	33,6	6,7
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	0,018	0,026	0,014	1,036	1,718	36,4	10,1
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	0,017	0,032	0,016	1,002	1,706	40,5	11,9
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	0,013	0,033	0,030	2,403	1,763	46,4	9,3
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha+DG	0,027	0,017	0,014	0,298	1,828	37,3	8,9
14. Agrouhlí II - 3 t/ha +DG	0,021	0,016	0,015	0,374	1,724	31,3	8,7
15. Agrouhlí II - 30 t/ha+DG	0,011	0,026	0,013	0,420	1,740	31,1	7,9

6.5 Obsah živin a mikroprvků v půdě po sklizni kukuřice

Aplikace agrouhlí je spojena s poměrně velkým vstupem živin a uhlíku do půdy (tab. 6.17). agrouhlí I má vyšší obsah uhlíku a vyšší poměr C:N než agrouhlí II. agrouhlí I má také vyšší obsah sodíku a manganu. Obsah fosforu, draslíku, hořčíku, vápníku a většiny mikroprvků je naopak vyšší v agrouhlí II. Vyšší obsah většiny živin v agrouhlí II je pravděpodobně způsoben vyšším obsahem živin v anaerobním digestátu, ze kterého je agrouhlí II vyrobeno. Naopak, agrouhlí I bylo vyrobeno ze dřeva, které má výchozí obsah živin zpravidla nižší.

Tab. 6.17 Množství živin a uhlíku dodaných v nejvyšší dávce agrouhlí (30 t/ha)

Parametry	agrouhlí I	Dávka živin kg/ha	agrouhlí II	Dávka živin kg/ha
Sušina OH	98,2		48,1	
C celkový jako (%)	84,4	24 568,4	62,5	8 916,7
N celkový v sušině (%)	0,46	133,9	1,42	202,4
P celkový v sušině (%)	0,12	34,9	0,64	91,2
K celkový v sušině (%)	0,71	206,7	1,65	235,2
Mg celk. v sušině (%)	0,23	67,0	0,42	59,9
Ca celkový v sušině (mg/kg)	2,25	655,0	5,30	755,5

Přestože jsou živiny obsažené v agrouhlí jen omezeně dostupné, zvyšovala aplikace agrouhlí I obsah dostupného vápníku a hořčíku v půdě Žabčice (tab. 6.18). Také agrouhlí II do jisté míry zvyšovalo obsah vápníku a hořčíku (tab. 6.19), ale méně než agrouhlí I, což je v rozporu s vyšším celkovým obsahem těchto prvků v agrouhlí I, ale vzhledem k nižší hodnotě sušiny v agrouhlí II byl celkový vstup živin v dodaném agrouhlí zhruba srovnatelný. Navíc je možné, že vápník a hořčík v agrouhlí II byly méně dostupné. Hnojení digestátem v půdě Šlapanice bylo naopak spojeno s poklesem obsahu vápníku v půdě, což mohlo být způsobeno větším odběrem vápníku rostlinami v hnojené půdě. Oba typy agrouhlí výrazně zvyšovaly

Ověření vlivu agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností
hodnotu pH v půdě Žabčice. V půdě Šlapanice byl vliv agrouhlí na tyto hodnoty menší (tab. 6.20, tab. 6.21).

Aplikace agrouhlí i aplikace digestátu zvyšovala obsah fosforu v půdě Žabčice.

Obsah síry byl vyšší v půdě Žabčice, než v půdě Šlapanice. Nebyly zaznamenány jednoznačné rozdíly mezi jednotlivými variantami v obsahu síry kromě negativního vlivu nejvyšší dávky agrouhlí I, která obsah síry v půdě snižovala.

Tab. 6.18 Obsah živin (Mehlich 3) a pH v půdě **Žabčice - agrouhlí I** po kukuřici (mg/kg)

Varianta hnojení	pH	P	K	Mg	Ca	S
1. Kontrola nehnojená	5,0	49	69	72	1301	22
2. Kontrola hnojená	5,0	65	69	70	1255	19
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	5,1	62	72	69	1185	19
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	5,1	49	68	71	1301	19
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	5,2	54	66	74	1296	20
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	6,3	68	90	120	1666	16
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha +DG	5,1	65	68	75	1346	19
8. Agrouhlí I - 3 t/ha +DG	5,2	69	70	79	1298	18
9. Agrouhlí I - 30 t/ha +DG	6,4	82	92	119	1602	12

Tab. 6.19 Obsah živin (Mehlich 3) a pH v půdě **Žabčice - agrouhlí II** po kukuřici (mg/kg)

Varianta hnojení	pH	P	K	Mg	Ca	S
1. Kontrola nehnojená	5,00	49	69	72	1301	22
2. Kontrola hnojená	5,00	65	69	70	1255	19
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	5,10	62	72	69	1185	19
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	5,10	49	69	72	1276	18
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	5,10	49	69	74	1305	19
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	5,60	59	74	90	1392	19
13. agrouhlí II - 0,5 t/ha+DG	5,10	67	69	75	1363	19
14. agrouhlí II - 3 t/ha +DG	5,10	63	68	75	1278	19
15. agrouhlí II - 30 t/ha +DG	5,40	73	76	83	1330	19

Tab. 6.20 Obsah živin (Mehlich 3) a pH v půdě **Šlapanice - agrouhlí I** po kukuřici (mg/kg)

Varianta hnojení	pH	P	K	Mg	Ca	S
1. Kontrola nehnojená	7,50	57	217	361	5578	15
2. Kontrola hnojená	7,20	80	220	371	4515	9
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	7,20	81	219	376	4451	10
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	7,50	58	206	367	5865	12
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	7,60	54	202	371	6421	11
6. Agrouhlí I- 30 t/ha	7,60	55	229	388	6532	12
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	7,20	77	213	376	4397	10
8. Agrouhlí I - 3 t/ha + DG	7,30	78	231	374	4646	10
9. Agrouhlí I- 30 t/ha + DG	7,40	85	255	390	4519	6

Tab. 6.21 Obsah živin (Mehlich 3) a pH v půdě **Šlapanice - agrouhlí II** po kukuřici (mg/kg)

Varianta hnojení	pH	P	K	Mg	Ca	S
1. Kontrola nehnojená	7,50	57	217	361	5578	15
2. Kontrola hnojená	7,20	80	220	371	4515	9
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	7,20	81	219	376	4451	10
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	7,50	58	206	370	5641	11
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	7,60	48	188	359	6347	12
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	7,50	69	233	372	5514	15
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha +DG	7,40	78	230	357	4739	9
14. Agrouhlí II - 3 t/ha +DG	7,40	71	217	365	4844	8
15. Agrouhlí II - 30 t/ha +DG	7,50	71	242	375	5654	10

Přídavek agrouhlí I v nejvyšší dávce zvyšoval obsah manganu v obou půdách. Toto zvýšení bylo patrně způsobeno vysokou koncentrací tohoto prvku v agrouhlí I. V půdě Žabčice bylo zjištěno zvýšení obsahu boru po aplikaci nejvyšší dávky agrouhlí I. Vliv hnojení ani přídavku agrouhlí na obsah ostatních mikroprvků v půdě Žabčice nebyl zaznamenán (tab. 6.22 – 6.23).

Tab. 6.22 Obsah mikroprvků (Mehlich 3) v půdě **Žabčice - agrouhlí I** (mg/kg)

Varianta hnojení	Cu	Zn	Al	Fe	Mn	B
1. Kontrola nehnojená	1,7	1,8	1014,9	170,1	61,0	<0,50
2. Kontrola hnojená	2,0	2,6	1100,7	195,1	70,2	<0,50
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	1,9	2,0	899,0	151,2	55,3	<0,50
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	1,7	1,8	1018,1	168,1	60,9	<0,50
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	2,1	1,9	961,7	167,3	62,6	<0,50
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	1,7	2,4	906,5	170,9	101,5	0,7
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	1,8	2,1	928,8	159,3	59,8	<0,50
8. Agrouhlí I - 3 t/ha + DG	1,7	2,2	929,0	166,0	67,0	<0,50
9. Agrouhlí I - 30 t/ha + DG	1,6	2,7	870,9	167,7	101,9	0,8

Tab. 6.23 Obsah mikroprvků (Mehlich 3) v půdě **Žabčice - agrouhlí II** (mg/kg)

Varianta hnojení	Cu	Zn	Al	Fe	Mn	B
1. Kontrola nehnojená	1,7	1,8	1014,9	170,1	61,0	<0,50
2. Kontrola hnojená	2,0	2,6	1100,7	195,1	70,2	<0,50
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	1,9	2,0	899,0	151,2	55,3	<0,50
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	2,0	2,1	943,9	162,8	54,3	<0,50
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	1,6	1,8	955,0	160,8	55,7	<0,50
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	1,9	2,1	889,5	162,3	61,6	<0,50
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha+DG	1,8	2,1	975,1	171,6	61,2	<0,50
14. Agrouhlí II - 3 t/ha +DG	2,0	2,3	956,2	171,3	62,1	<0,50
15. Agrouhlí II - 30 t/ha +DG	1,7	2,3	933,4	164,9	59,8	<0,50

Tab. 6.24 Obsah mikroprvků (Mehlich 3) v půdě Šlapanice - agrouhlí I (mg/kg)

Varianta hnojení	Cu	Zn	Al	Fe	Mn	B
1. Kontrola nehnojená	4,6	4,4	641,8	300,0	164,9	2,4
2. Kontrola hnojená	5,3	5,3	802,3	385,6	175,9	2,0
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	5,5	5,3	807,2	400,0	171,8	2,1
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	4,6	4,5	657,6	292,0	169,5	1,9
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	4,4	4,2	664,4	264,6	177,7	2,0
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	8,4	4,4	589,8	254,4	204,6	2,0
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	5,4	5,2	822,9	389,8	174,8	2,0
8. Agrouhlí I - 3 t/ha + DG	5,3	5,3	799,0	391,2	178,8	2,1
9. Agrouhlí I - 30 t/ha + DG	4,9	5,4	775,1	392,7	204,7	2,2

Tab. 6.25 Obsah mikroprvků (Mehlich 3) v půdě Šlapanice - agrouhlí II (mg/kg)

Varianta hnojení	Cu	Zn	Al	Fe	Mn	B
1. Kontrola nehnojená	4,6	4,4	641,8	300,0	164,9	2,4
2. Kontrola hnojená	5,3	5,3	802,3	385,6	175,9	2,0
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	5,5	5,3	807,2	400,0	171,8	2,1
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	4,9	4,4	665,8	305,0	168,3	1,9
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	4,3	4,0	592,2	242,3	172,8	2,1
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	4,8	4,7	722,0	319,0	170,5	1,9
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha+DG	5,3	5,3	800,3	386,9	170,3	2,0
14. Agrouhlí II - 3 t/ha +DG	5,0	4,9	678,4	326,9	162,2	2,1
15. Agrouhlí II - 30 t/ha +DG	4,6	4,7	651,6	285,8	168,1	2,1

6.6 Agrochemické vlastnosti půdy

Další parametry, stanovené v půdách je obsah oxidovatelného uhlíku, dusíku, sorpční vlastnosti půdy a elektrická vodivost jsou uvedeny v tabulkách 6.26 – 6.29. Aplikace agrouhlí I v nejvyšší dávce zvyšovala obsah celkového uhlíku v půdě (tab. 6.26 – 6.29).

Zvýšení obsahu uhlíku v půdě po přidavku nejvyšší dávky agrouhlí I je v souladu s poměrně velkým množstvím uhlíku, které je v této dávce do půdy dodáno (tab. 6.17). Celkový obsah uhlíku v agrouhlí II je nižší a menší je proto i vstup uhlíku v aplikovaném agrouhlí II.

Zvýšení obsahu výměnného sodíku s rostoucí dávkou agrouhlí I v obou půdách (tab. 6.26 a 6.28) může být vysvětleno vysokým obsahem sodíku v agrouhlí I (tab. 2.1).

Vodivost půdy odpovídala půdě nezasolené ve všech vzorcích. V půdě z Žabčic byla vodivost zvýšena hnojením (tab. 6.26 – 6.27), v půdě Šlapanice byla vyšší spíše v nehnojených variantách (tab. 6.28 – 6.29). Přídavek agrouhlí neměl na vodivost vliv ani v jedné z půd.

Tab. 6.26 Agrochemické vlastnosti půdy **Žabčice - agrouhlí I**. Obsah oxidovatelného uhlíku (Cox), celkový obsah dusíku (Ntot), kationtová výměnná kapacita (KVK), výměnná acidita – obsah Al+H ve výluhu 0,1 M BaCl₂

Varianta hnojení	Cox (%)	Ntot (%)	KVK (mekv/kg)	stupeň nasycení KVK (%)	výměnná acidita mekv/kg	Na 0,1M BaCl ₂ (mekv/kg)	vodivost vodního výluhu (mS/m)
1. Kontrola nehnojená	1,41	<0,15	73,3	98,6	<1	0,55	4,4
2. Kontrola hnojená	1,46	<0,15	84,1	98,8	<1	0,84	5,2
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	1,50	<0,15	76,2	98,7	<1	0,89	5,2
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	1,45	<0,15	72,3	98,6	<1	0,61	4,3
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	1,38	<0,15	71,5	98,6	<1	0,59	4,5
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	1,18	<0,15	81,7	98,8	<1	1,08	4,4
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	1,42	<0,15	78,6	98,7	<1	0,95	5,0
8. Agrouhlí I - 3 t/ha + DG	1,40	<0,15	84,4	98,8	<1	1,00	5,2
9. Agrouhlí I - 30 t/ha + DG	1,08	<0,15	79,4	98,7	<1	1,19	5,1

Tab. 6.27 Agrochemické vlastnosti půdy **Žabčice - agrouhlí II**. Obsah oxidovatelného uhlíku (Cox), celkový obsah dusíku (Ntot), kationtová výměnná kapacita (KVK), výměnná acidita – obsah Al+H ve výluhu 0,1 M BaCl₂

Varianta hnojení	Cox (%)	Ntot (%)	KVK (mekv/kg)	stupeň nasycení KVK (%)	výměnná acidita mekv/kg	Na 0,1M BaCl ₂ (mekv/kg)	vodivost vodního výluhu (mS/m)
1. Kontrola nehnojená	1,41	<0,15	73,3	98,6	<1	0,55	4,4
2. Kontrola hnojená	1,46	<0,15	84,1	98,8	<1	0,84	5,2
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	1,50	<0,15	76,2	98,7	<1	0,89	5,2
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	1,42	<0,15	75,5	98,7	<1	0,56	4,3
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	1,48	<0,15	71,1	98,6	<1	0,56	4,4
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	1,33	<0,15	83,0	98,8	<1	0,60	4,5
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha+DG	1,58	<0,15	80,6	98,8	<1	0,87	5,0
14. Agrouhlí II - 3 t/ha + DG	1,41	<0,15	63,5	98,4	<1	0,83	4,8
15. Agrouhlí II - 30 t/ha +DG	1,40	<0,15	73,4	98,6	<1	0,72	5,4

Tab. 6.28 Agrochemické vlastnosti půdy **Šlapanice - agrouhlí I**. Obsah oxidovatelného uhlíku (Cox), celkový obsah dusíku (Ntot), kationtová výměnná kapacita (KVK), výměnná acidita – obsah Al+H ve výluhu 0,1 M BaCl₂

Varianta hnojení	Cox (%)	Ntot (%)	KVK (mekv/kg)	stupeň nasycení KVK (%)	výměnná acidita (mekv/kg)	Na ve výluhu 0,1M BaCl ₂ (mekv/kg)	vodivost vodního výluhu mS/m
1. Kontrola nehnojená	1,99	0,16	246,0	99,6	<1	1,2	11,0
2. Kontrola hnojená	2,14	0,20	243,9	99,6	<1	1,4	7,9
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha + DG	2,09	0,20	250,3	99,6	<1	1,4	6,9
4. Agrouhlí I - 0,5 t/ha	1,96	0,19	235,1	99,6	<1	1,0	10,8
5. Agrouhlí I - 3 t/ha	1,71	0,16	240,1	99,6	<1	1,2	11,3
6. Agrouhlí I - 30 t/ha	1,31	0,19	228,0	99,6	<1	1,8	11,0
7. Agrouhlí I - 0,5 t/ha + DG	1,99	0,18	246,8	99,6	<1	1,3	8,4
8. Agrouhlí I - 3 t/ha + DG	1,91	0,19	246,9	99,6	<1	1,4	8,4
9. Agrouhlí I - 30 t/ha + DG	1,46	0,20	239,1	99,6	<1	1,9	9,2

Tab. 6.29 Agrochemické vlastnosti půdy **Šlapanice - agrouhlí II**. Obsah oxidovatelného uhlíku (Cox), celkový obsah dusíku (Ntot), kationtová výměnná kapacita (KVK), výměnná acidita – obsah Al+H ve výluhu 0,1 M BaCl₂

Varianta hnojení	Cox (%)	Ntot (%)	KVK (mekv/kg)	stupeň nasycení KVK (%)	výměnná acidita (mekv/kg)	Na ve výluhu 0,1M BaCl ₂ (mekv/kg)	vodivost vodního výluhu mS/m
1. Kontrola nehnojená	1,99	0,16	246,0	99,6	<1	1,2	11,0
2. Kontrola hnojená	2,14	0,20	243,9	99,6	<1	1,4	7,9
3. Popel ROŠTÍN 1t/ha +DG	2,09	0,20	250,3	99,6	<1	1,4	6,9
10. Agrouhlí II - 0,5 t/ha	1,88	0,18	236,3	99,6	<1	1,0	9,0
11. Agrouhlí II - 3 t/ha	1,79	0,18	240,0	99,6	<1	1,2	9,7
12. Agrouhlí II - 30 t/ha	1,69	0,24	247,1	99,6	<1	1,0	10,5
13. Agrouhlí II - 0,5 t/ha+DG	1,90	0,19	248,9	99,6	<1	1,2	9,4
14. Agrouhlí II - 3 t/ha +DG	1,94	0,19	250,5	99,6	<1	1,3	10,3
15. Agrouhlí II - 30 t/ha +DG	1,74	0,18	240,3	99,6	<1	1,2	10,4

6.7 Obsah PAH v půdě

Obsah PAH v půdě, vyjádřený jako součet 16 PAH v půdě, byl aplikací agrouhlí výrazně snižován oproti kontrole (tab. 6.30 – 6.31). Pokles obsahu PAH byl větší v případě agrouhlí I. V žádné z variant obsah nepřekročil limit daný vyhláškou č. 153/2016 Sb. o stanovení

Ověření vlivu agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností

podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb. platné od 1. 6. 2016, kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. Tato nová vyhláška udává preventivní hodnotu 1 mg/kg pro sumu 12 individuálních PAH.

Tab. 6.30 Obsah PAH v půdě Žabčice s přidavky agrouhlí po sklizni kukuřice (µg/kg)

PAH	Kontrola hnojená	agrouhlí I 30 t/ha+DG	agrouhlí II 30 t/ha+DG	agrouhlí I 30 t/ha	agrouhlí II 30 t/ha
acenaftylen.	<20	<20	<20	<20	<20
acenaften	<5	<5	<5	<5	<5
fluoren.	6,0	4,2	5,1	5,2	7,0
fenantren	11,9	<4	8,3	<4	10,0
antracen	2,3	<2	<2	<2	<2
fluoranten	23,7	<2	16,0	<2	15,3
naftalen	<5	<5	6,8	<5	9,9
pyren	21,0	<2	13,9	<2	12,4
benz(a)antracen	12,1	<4	5,7	<4	4,3
chrysen	13,2	<4	7,3	<4	5,2
benzo(b)fluoranten	13,8	<3	6,9	<3	5,2
benzo(k)fluoranten	7,4	<2	3,7	<2	3,0
benzo(a)pyren	11,7	<3	4,9	<3	3,3
dibenz(a,h)antracen	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(g,h,i)perylene	10,1	<5	<5	<5	<5
indeno(1,2,3-cd)pyren	<10	<10	<10	<10	<10
součet 16 PAH	176,2	78,2	123,5	79,2	120,4

Tab. 6.31 Obsah PAH v půdě Šlapanice s přidavky agrouhlí po sklizni kukuřice (µg/kg)

PAH	Kontrola hnojená	agrouhlí I - 30 t/ha +DG	agrouhlí II - 30 t/ha +DG	agrouhlí I - 30 t/ha	agrouhlí II - 30 t/ha
acenaftylen.	<20	<20	<20	<20	<20
acenaften	<5	<5	<5	<5	<5
fluoren.	7,7	4,2	<4	<4	4,9
fenantren	19,1	5,0	11,5	<4	20,2
antracen	4,6	<2	2,7	<2	4,8
fluoranten	39,1	2,8	28,7	<2	27,4
naftalen	7,9	<5	9,7	<5	11,0
pyren	30,9	<2	20,3	<2	20,7
benz(a)antracen	18,1	<4	9,2	<4	7,5
chrysen	20,4	<4	11,5	<4	8,8
benzo(b)fluoranten	21,5	<3	11,0	<3	8,8
benzo(k)fluoranten	11,1	<2	11,2	<2	3,9
benzo(a)pyren	19,8	<3	11,4	<3	5,9

Ověření vlivu agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností

dibenz(a,h)antracen	<3	<3	<3	<3	<3
benzo(g,h,i)perylen	12,3	<5	6,9	<5	7,2
indeno(1,2,3-cd)pyren	17,0	<10	<10	<10	<10
součet 16 PAH	257,5	80,0	176,2	78,0	169,3

6.8 Obsah rizikových prvků v půdě

Obsah rizikových prvků nepřekročil preventivní hodnoty uvedené ve vyhlášce 153/2016. Vliv odlišného hnojení a různých dávek agrouhlí na obsah rizikových prvků nebyl zaznamenán.

7. Závěr

Výnos: vliv agrouhlí na výnos byl poměrně malý a při vyšších dávkách spíše negativní. Oba testované typy agrouhlí působily na rostliny i půdu poněkud odlišně. Pokles výnosu byl zaznamenán po aplikaci agrouhlí I v obou půdách, agrouhlí II mělo jen malý vliv v půdě Žabčice, ale výrazně snižovalo výnos v půdě Šlapanice.

Výnos i obsah živin byly významně ovlivněny aplikací organického hnojiva ve formě anaerobního digestátu. Hnojení digestátem zvýšilo výnos a obsah N, Ca a Mg v sušině sklizených rostlin. Naopak, obsah P byl hnojením snižován. Nárůst výnosu po aplikaci organického hnojiva byl menší při současné aplikaci nejvyšší dávky agrouhlí I. agrouhlí II snižovalo výnos hnojených rostlin v půdě Šlapanice. Pozitivní vliv současné aplikace agrouhlí se vstupy živin a organické hmoty do půdy se tak v prvním roce zkoušky nepotvrdil.

Půdní vlastnosti: agrouhlí je také zdrojem živin a při nejvyšší použité dávce je vstup živin poměrně velký. Většina živin v agrouhlí je v těžko dostupných formách, přesto však přidavek agrouhlí zvýšil obsah vápníku a hořčíku v půdě a také hodnotu pH. Tento efekt byl více patrný v kyselejší půdě. Také obsah fosforu a některých mikroprvků v půdě byl aplikací agrouhlí zvyšován.

Obsah živin a RP v rostlinách: přes pozorovaný pozitivní vliv agrouhlí na agrochemické vlastnosti půdy byl jeho vliv na obsah živin v rostlinách malý. agrouhlí pouze zvýšilo obsah draslíku v rostlinách. Ani obsah sledovaných mikroprvků a rizikových prvků nebyl příliš ovlivněn agrouhlím, pouze v rostlinách pěstovaných v půdě Šlapanice byl pozorován zvýšený obsah chromu, vanadu a kobaltu. Jinak nebyl pozorován jednoznačný trend, i když mezi variantami byly určité rozdíly. Obsah všech stanovovaných prvků byl nicméně v rozmezí hodnot uváděných v dostupných literárních zdrojích.

PAH v rostlinách: přestože je součástí agrouhlí také řada uhlovodíků, nebylo pozorováno zvýšení obsahu PAH v půdě a agrouhlí jejich obsah dokonce snižovalo. Přidavek agrouhlí také neovlivnil obsah PAH v biomase rostlin.

agrouhlí I v nejvyšší dávce zvýšilo obsah uhlíku v půdě. Zvýšení obsahu uhlíku v půdě po přidavku nejvyšší dávky agrouhlí I je v souladu s poměrně velkým množstvím uhlíku, které je v této dávce do půdy dodáno. Celkový obsah uhlíku v agrouhlí II je menší a menší je i vstup uhlíku v aplikovaném agrouhlí II.

Závěrečné shrnutí: z výsledků vyplývá, že agrouhlí aplikované ve vyšších dávkách krátce před setím má negativní vliv na pěstované plodiny. agrouhlí bylo aplikováno přímo

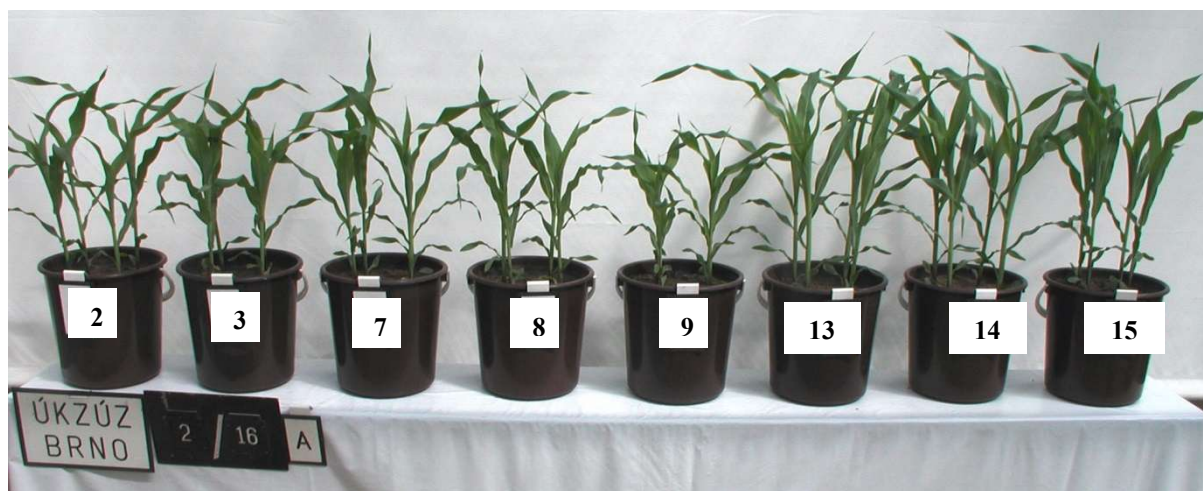
k rostlinám a je možné, že negativní účinky mohou být v půdě postupně eliminovány. Aplikace agrouhlí delší dobu před výsevem nebo výsadbou, předúprava agrouhlí, kompostování a další operace, které by mohly tento problém vyřešit, budou předmětem dalších zkoušek. Z výsledků současně vyplývá, že agrouhlí může být cenným zdrojem vápníku, hořčíku a fosforu při vyšších dávkách. agrouhlí může také zvyšovat hodnotu pH a obsah uhlíku v půdě. Příznivý vliv na agrochemické vlastnosti půdy byl větší v méně úrodné půdě a mohl by být přínosem pro následné plodiny. Do jaké míry mohou být negativní účinky eliminovány a jestli se u následných plodin projeví reálné přínosy agrouhlí bude předmětem testování v dalších letech pokusu.

8. Použitá literatura

- Beneš, S., 1994. Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí, II. část. Mze ČR, Praha.
- Campbell, C. R. (Ed.), 2000. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. Southern Cooperative Series Bulletin 394.
- Jones, J. B., Wolf, B., Mills, H. A., 1991. Plant analysis handbook. Micro-macro publishing, Inc., Athens, Georgia, USA.
- Zbíral, J., Čižmarová, E., Dočkalová, R., Fojtlová, E., Hájková, H., Holcová, H., Kabátová, N., Niedobová, E., Rychlý, M., Staňková, K., Urbánková, E., Vilamová, V., Žalmanová, A., 2014. Jednotné pracovní postupy – analýza rostlinného materiálu. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 120 s.
- Zbíral, J., Čižmarová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M., Vilamová, V., Srnková, J., Žalmanová, A., 2016. Jednotné pracovní postupy – analýza půd I. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský.
- Zbíral, J., Tieffová, P., Plhalová, Š., Urbánková, E., Niedobová, E., Strížová, I., Srnková, J., 2011. Jednotné pracovní postupy – analýza půd II. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 230 s.
- Zbíral, J., Malý, S., Váňa, M., Čuhel, J., Fojtlová, E., Čižmár, D., Žalmanová, A., Srnková, J., Obdržálková, E., 2011. Jednotné pracovní postupy – analýza půd III. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 253 s.

9. Fotodokumentace

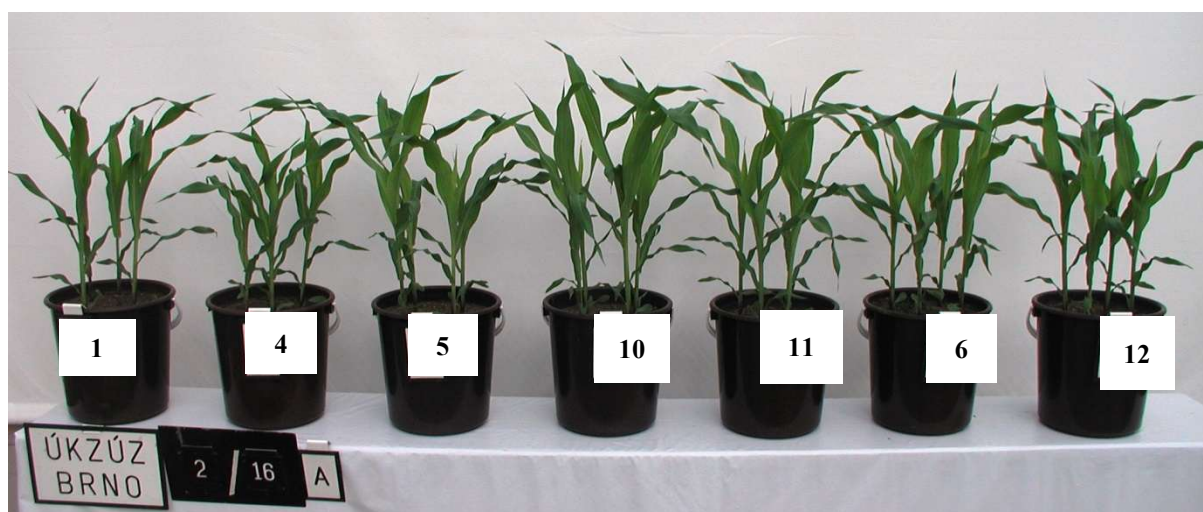
Obr. 1 Rostliny kukuřice 4 týdny po výsevu, varianty **hnojené digestátem**, půda **Žabčice**



- 2. Kontrola hnojená
- 3. Popel ROŠTÍN
- 7. Agrouhlí I 0,5t/ha
- 8. Agrouhlí I 3t/ha

- 9. Agrouhlí I 30t/ha
- 13. Agrouhlí II 0,5t/ha
- 14. Agrouhlí II 3t/ha
- 15. Agrouhlí II 30t/ha

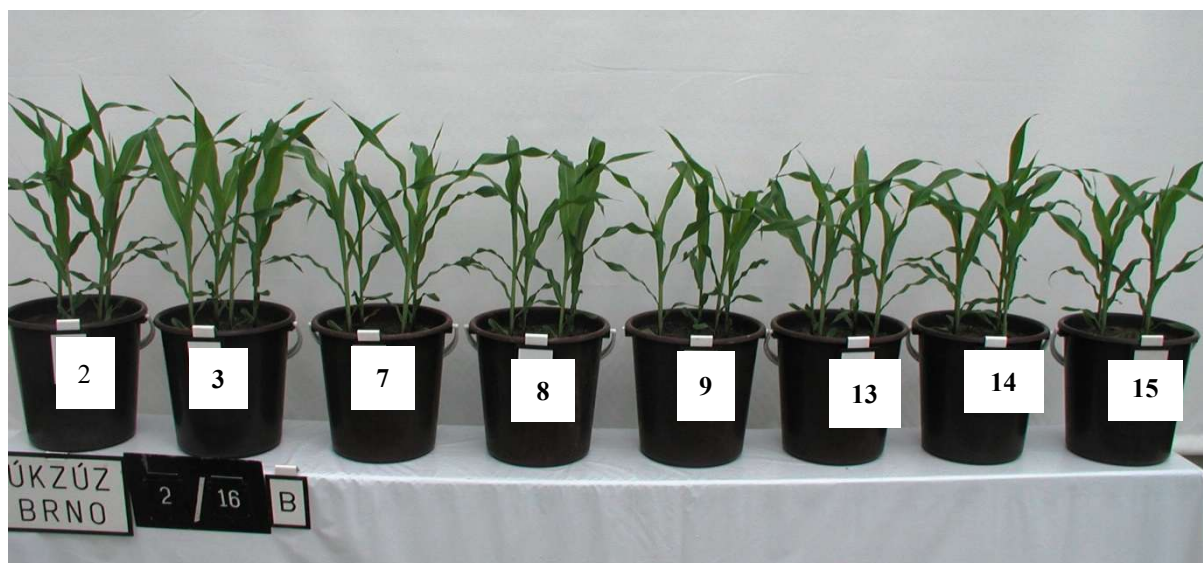
Obr. 2 Rostliny kukuřice 4 týdny po výsevu, varianty **nehnojené**, půda **Žabčice**



- 1. Kontrola nehnojená
- 4. Agrouhlí I 0,5t/ha
- 5. Agrouhlí I 3t/ha
- 10. Agrouhlí II 0,5t/ha

- 11. Agrouhlí II 3t/ha
- 6. Agrouhlí I 30t/ha
- 12. Agrouhlí II 30t/ha

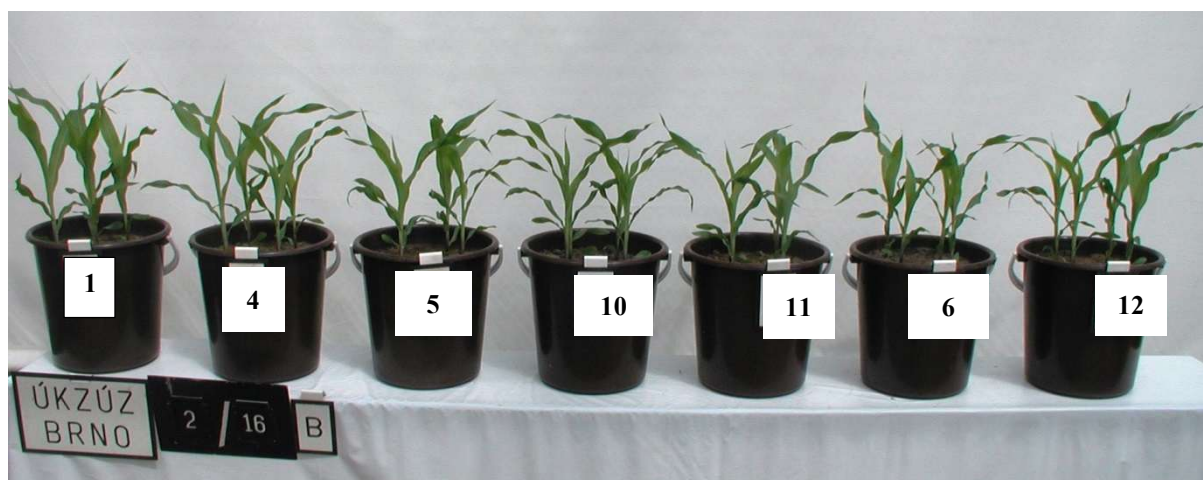
Obr. 3 Rostliny kukuřice 4 týdny po výsevu, varianty **hnojené digestátem**, půda **Šlapanice**.



- 2. Kontrola hnojená
- 3. Popel ROŠTÍN
- 7. Agrouhlí I 0,5t/ha
- 8. Agrouhlí I 3t/ha

- 9. Agrouhlí I 30t/ha
- 13. Agrouhlí II 0,5t/ha
- 14. Agrouhlí II 3t/ha
- 15. Agrouhlí II 30t/ha

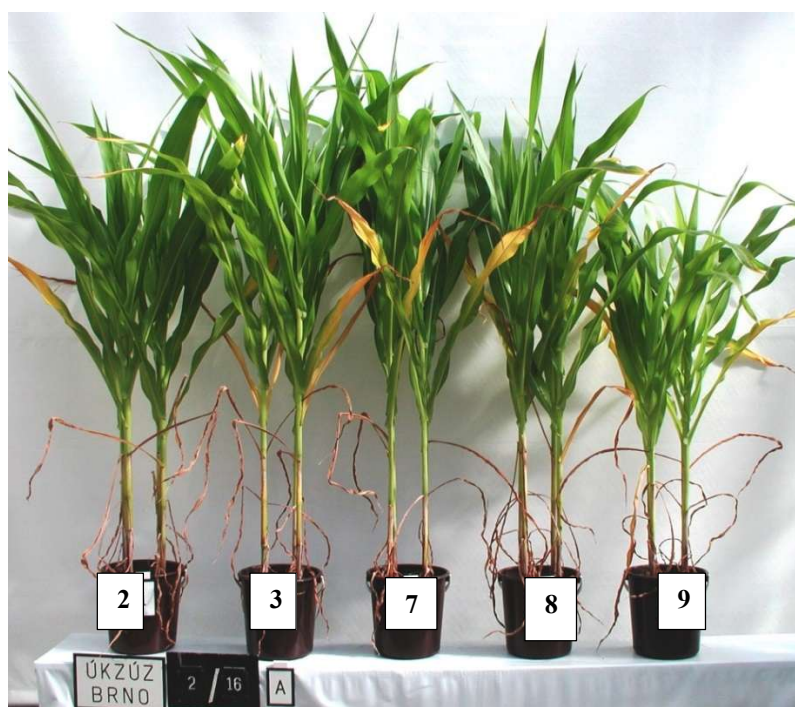
Obr. 4 Rostliny kukuřice 4 týdny po výsevu, varianty **nehnojené**, půda **Šlapanice**.



- 1. Kontrola nehnojená
- 4. Agrouhlí I 0,5t/ha
- 5. Agrouhlí I 3t/ha
- 10. Agrouhlí II 0,5t/ha

- 11. Agrouhlí II 3t/ha
- 6. Agrouhlí I 30t/ha
- 12. Agrouhlí II 30t/ha

*Obr. 5 Kukuřice 9. týden po výsevu, varianty **hnojené digestátem**, půda Žabčice.*



2. Kontrola hnojená
3. Popel ROŠTÍN

7. Agrouhlí I 0,5t/ha
8. Agrouhlí I 3t/ha
9. Agrouhlí I 30t/ha

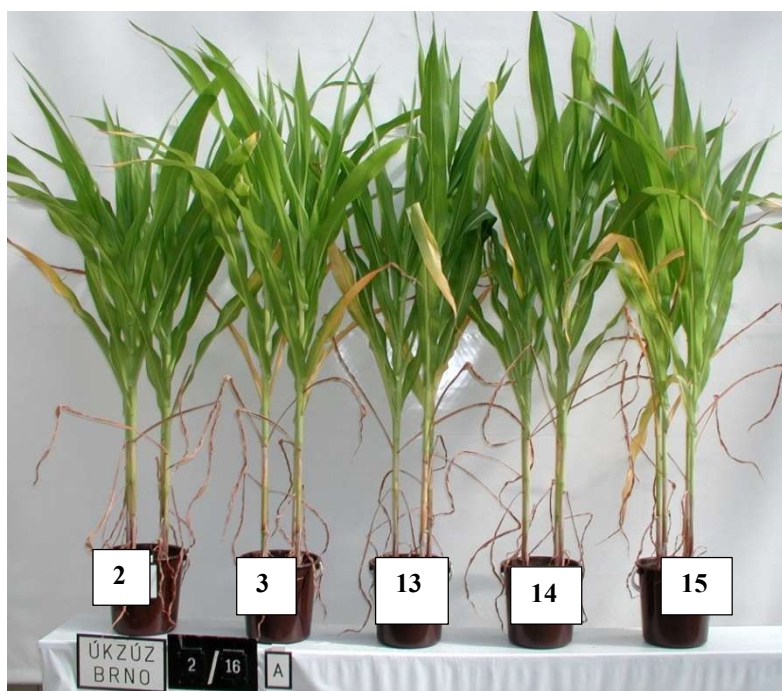
*Obr. 6 Kukuřice 9. týden po výsevu, varianty **nehnojené**, půda Žabčice.*



1. Kontrola nehnojená
4. Agrouhlí I 0,5t/ha

5. Agrouhlí I 3t/ha
6. Agrouhlí I 30t/ha

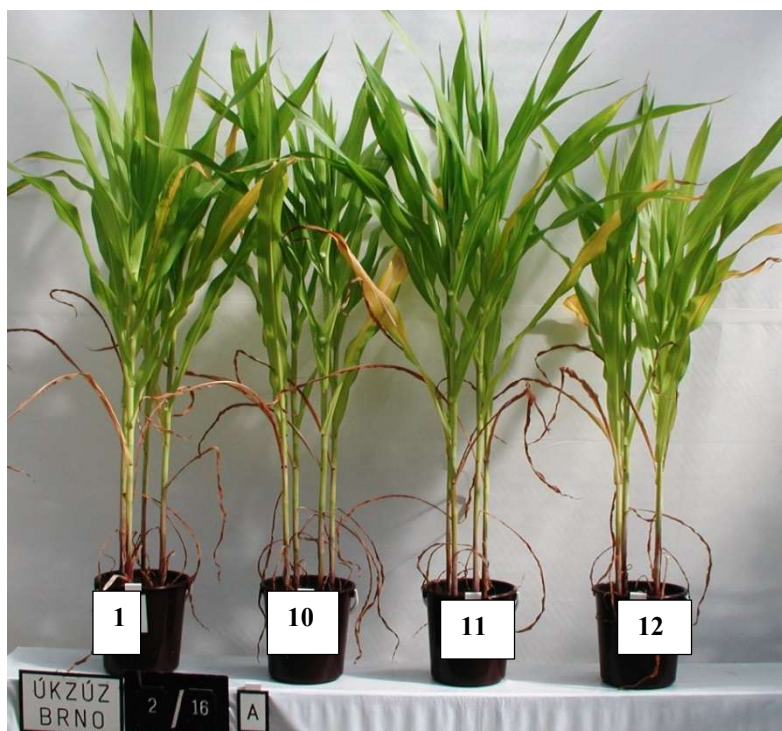
*Obr. 7 Kukuřice 9. týden po výsevu, varianty **hnojené digestátem**, půda Žabčice.*



2. Kontrola hnojená
3. Popel ROŠTÍN

13. Agrouhlí II 0,5t/ha
14. Agrouhlí II 3t/ha
15. Agrouhlí II 30t/ha

*Obr. 8 Kukuřice 9. týden po výsevu, **varianty nehnojené**, půda Žabčice.*



1. Kontrola nehnojená
10. Agrouhlí II 0,5t/ha

11. Agrouhlí II 3t/ha
12. Agrouhlí II 30t/ha

Obr. 9 Kukuřice 9. týden po výsevu, varianty **hnojené digestátem**, půda Šlapanice.



2. Kontrola hnojená
3. Popel ROŠTÍN

7. Agrouhlí I 0,5t/ha
8. Agrouhlí I 3t/ha
9. Agrouhlí I 30t/ha

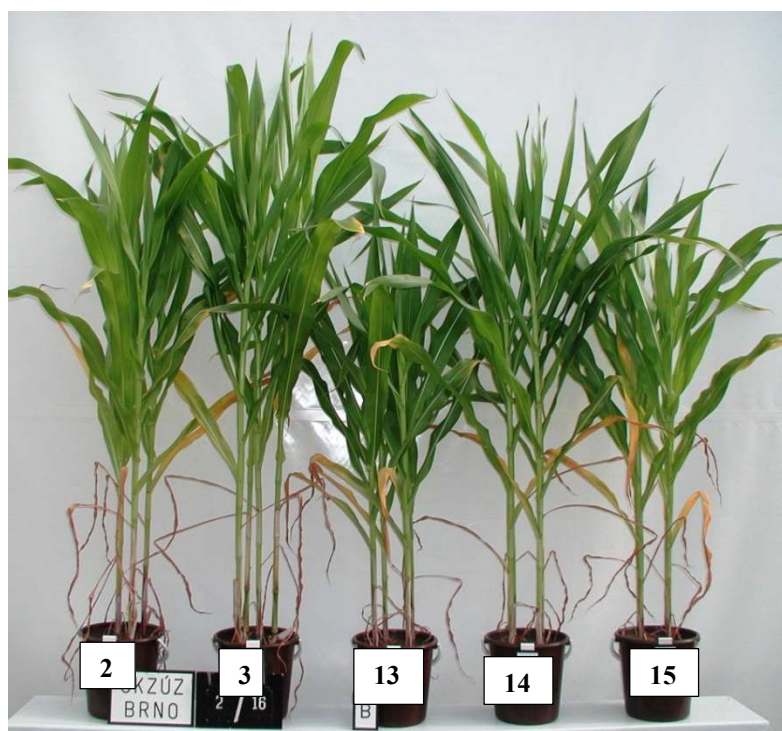
Obr. 10 Kukuřice 9 týden po výsevu, varianty **nehnojené**, půda Šlapanice



1. Kontrola nehnojená
4. Agrouhlí I 0,5t/ha

5. Agrouhlí I 3t/ha
6. Agrouhlí I 30t/ha

Obr. 11 Kukuřice 9. týden po výsevu, varianty **hnojené digestátem**, půda Šlapanice.



2. Kontrola hnojená
3. Popel ROŠTÍN

13. Agrouhlí II 0,5t/ha
14. Agrouhlí II 3t/ha
15. Agrouhlí II 30t/ha

Obr. 12 Kukuřice 9 týden po výsevu, varianty **nehnojené**, půda Šlapanice.



1. Kontrola nehnojená
10. Agrouhlí II 0,5t/ha

11. Agrouhlí II 3t/ha
12. Agrouhlí II 30t/ha