

INTEKO ATCZ42

1.1.5
Metodika recyklace fosforu v oběhovém
hospodářství

Obsah

1	Úvod	5
1.1	Vývoj Rakouska na téma recyklace fosforu, činnosti a přístupy strategického partnera MA48 k celkovému řešení	6
1.2	Vývoj České republiky na téma recyklace fosforu a činnosti k celkovému řešení.....	7
2	Stanovení cílů v projektu INTEKO na téma recyklace fosforu	7
3	Metodika	8
3.1	Předběžný pokus	8
3.2	Nádobový pokus.....	8
3.3	Vyhodnocení a výpočet výsledků	11
4	Výsledky.....	11
5	Závěr.....	16
6	Literatura:.....	17

Seznam tabulek

Tabulka 1	pH, vodivost, minerální dusík, dostupný fosfor, obsah draslíku a hořčíku v zemině před zahájením pokusu.....	8
Tabulka 2	Varianty nádobového pokusu.....	9
Tabulka 3	Koncentrace fosforu různých variant hnojiv v různých extraktech s narůstající extrakční silou.....	10
Tabulka 4	Střední hodnoty a standardní odchylka hmotnosti sušiny a obsahu fosforu v nadzemní i podzemní biomase a celkový odběr P celou rostlinou v každé nádobě	15

Seznam obrázků

Obrázek 1	Nádobový pokus ve skleníku výzkumného ústavu BFA.....	10
Obrázek 2	Schéma hodnocení udělených bodů za červenou pigmentaci.....	11
Obrázek 3	Červená pigmentace na listech po 4 týdnech po zasetí	12

Obrázek 4 Výškový růst po 4 týdnech po zasetí	13
Obrázek 5 Výškový růst po 9 týdnech při sklizni Vždy střední hodnota a standardní odchylka po 5 opakováních. Varianty označené stejnými písmeny se nijak statisticky výrazně od sebe vzájemně neodlišují ($p \leq 0,05$)	14
Obrázek 6 Hmotnost sušiny nadzemní a podzemní biomasy po 9 týdnech při sklizni. Vždy střední hodnota a standardní odchylka po 5 opakováních. Varianty označené stejnými písmeny se nijak statisticky výrazně od sebe vzájemně neodlišují ($p \leq 0,05$).	14
Obrázek 7 Odběr fosforu nadzemní a podzemní biomasou po 9 týdnech při sklizni. Vždy střední hodnota a standardní odchylka po 5 opakováních. Varianty označené stejnými písmeny se nijak statisticky výrazně od sebe vzájemně neodlišují ($p \leq 0,05$).	16

1 Úvod

Fosfor je podstatnou a zároveň nenahraditelnou živinou pro všechny živé tvory a v lidském těle je po vápníku zastoupen jako druhý nejčastější minerál. Fosfor je například důležitou součástí nukleových kyselin (DNA a RNA), hraje jako adenosintrifosfát (ATP) významnou roli při energetické látkové výměně a je hlavní součástí kostí a zubů. Fosfor je obsažen prakticky ve všech potravinách. Vysoký obsah fosfátů se nachází zejména v potravinách s vysokým obsahem proteinu. Nadbytečný fosfor se z těla vylučuje z 60-80 % močí a z 20-40 % výkaly.

V přírodě se fosfor vyskytuje jako fosfátový minerál (např. apatit). Hlavním zdrojem fosforu, který je potřebný pro rostliny, a tudíž pro výrobu potravin, je zvětrávání těchto minerálů. V přirozeném systému se výměšky živočichů nebo odumřelé rostliny s obsahem fosforu dostávají zpět do půdy a po mineralizaci jsou opět k dispozici jako živiny (Egle, 2014a). Velká část lidských výměšek s obsahem fosforu se však již do zemědělství nedostává, proto se fosfor z preventivních důvodů dodává v podobě organických hnojiv, např. jako moč a minerální hnojiva. V konvenčním zemědělství, především v oblastech bez živočišné výroby se používají minerální hnojiva k vyrovnání nedostatku fosforu. V biologickém zemědělství se používají k hnojení schválené surové fosfáty.

Výchozím materiálem většiny minerálních fosforečných hnojiv, ale i přírodního měkkého fosforitu pro biologické zemědělství jsou měkké fosfátové sedimenty nebo magmatická ložiska (Baab, 2014). Udržitelnost těchto ložisek při současné roční těžbě 145 milionů tun činí ne více než cca 120 let (Römer, 2013). Fosfor se z důvodů pomalého vytváření stává v podstatě omezeným zdrojem. Kromě hrozícího nedostatku této suroviny a s tím spojeného nárůstu cen představují další problém ložiska s přirozeně vysokým obsahem těžkých kovů. Z celosvětového hlediska se hlavní oblasti těžby fosfátové rudy nacházejí v USA, Číně a na území Západní Sahary (Baab, 2014). Rakousko je jako většina evropských zemí zcela odkázáno na dovoz. I když v Rakousku obecně klesá spotřeba hnojiv a v letech 2017/18 byl zaznamenán pokles o 5,7 %, bylo spotřebováno 28 500 tun oxidu fosforečného (P_2O_5) (BMLFUW, 2019). Potřeba alternativních zdrojů fosforu je tedy velmi vysoká.

Největší potenciál představuje s odstupem čistírenský kal jako sekundární zdroj fosforu. Čistírenské kaly však mohou být zatíženy organickými a anorganickými škodlivinami (polychlorovanými bifenoly, dioxiny a furany, farmaceutiky, těžkými kovy apod.) a choroboplodnými zárodky (Severin, 2013). Spalováním čistírenských kalů lze na jedné straně eliminovat organické škodliviny a patogeny a na druhé zvýšit koncentraci fosforu následkem úbytku hmoty. Popel z čistírenských kalů má proto

vysoký obsah fosforu 4,4 až 10 %. Fosfát v popelu z čistírenských kalů je však obtížně dostupný pro rostliny a koncentrace těžkých kovů z důvodu úbytku hmoty při spalování narůstá (Severin, 2013).

1.1 Vývoj Rakouska na téma recyklace fosforu, činnosti a přístupy strategického partnera MA48 k celkovému řešení

Rovněž Rakousko se zabývá problematikou využití čistírenských kalů jako potenciálního zdroje fosforu. Komunální čistírenský kal by mohl v celém Rakousku nahradit téměř polovinu fosfátových minerálních hnojiv. Například ve Vídni se ročně vyprodukuje 61 600 t sušiny (2013) kalu (BMLFUW, 2015). Jen Vídeň samotná by mohla pokrýt téměř polovinu spotřeby hnojiv Dolního Rakouska a Vídně (13 100 t P₂O₅; Zelená zpráva, 2013).

Vracení fosforu do oběhu přímým využitím čistírenského kalu v zemědělství však není z důvodu možných ekologických rizik (těžké kovy, organické stopové látky a patogenní zárodky) přijatelná. Proto se v posledních letech po celém světě vyvíjejí a hodnotí technologie zpětného získávání čistých sloučenin fosforu z dílčích proudů čistíren odpadních vod (Egle, 2014b). Spalování, zejména monospalování čistírenského kalu zajišťuje ve srovnání s jinými postupy nejvyšší užitnou hodnotu a představuje nejefektivnější metodu recyklace fosforu (Egle, 2014b; Vanas, 2016; Schröder, 2018)

V Rakousku popisuje spolkový plán odpadového hospodářství³² scénář, v němž by se do roku 2030 mělo více než 65 % rakouského komunálního čistírenského kalu používat ke zpětnému získávání fosforu po tepelném zpracování (plán odpadového hospodářství pro Dolní Rakousko, 2018). Město Vídeň, speciálně magistrátní oddělení MA48, se v rámci svých aktivit významně podílí na dosažení tohoto cíle. Staví se například sušárna čistírenských kalů, ve které se bude sušit veškerý kal z vídeňských čistíren odpadních vod, aby se bez přídavných paliv mohl spalovat v zařízení na monospalování kalů. Dále se plánuje poskytnutí popela z čistírenských kalů po monospálení (cca 12 000 t/ročně) rakouskému výrobcí hnojiv za účelem výroby minerálního hnojiva. Rovněž se provádějí výzkumy popela z čistírenských kalů s použitím různých metod zpětného získávání fosforu za účelem výroby kyseliny fosforečné nebo různých produktů fosforu. Dalším cílem oddělení MA48 je optimalizace udržitelného managementu fosforu v Evropě ve spolupráci s evropskými stakeholdery z oblasti vědy, průmyslu a neziskových organizací, z tohoto důvodu je aktivním členem nezávislé platformy „European Sustainable Phosphorus Platform ESPP“. V červnu 2020 se bude ve spolupráci s oddělením MA 48 konat konference fosforové platformy European Sustainable Phosphorus Conference (ESPC) ve Vídni.

Téma recyklace živin není pro MA48 nové. Již od roku 1991 provozuje například kompostárnu v Lobau, v níž se ročně zpracovává zhruba 100 000 tun bioodpadu. Vzniká zde 40 000 až 50 000 tun kompostu. Kompost se používá jako prostředek na zlepšení kvality půdy v konvenčním i biologickém zemědělství ve Vídni a okolí, ale i pro výrobu speciální zeminy ve firmě Compo, například pro výrobu zahradnického substrátu bez obsahu rašeliny 48 „Dobrý základ“ (wien.gv.at, 2019).

Pro MA48 jsou důležité aktivity v oblasti výzkumu zaměřeného na zlepšení dostupnosti fosforu z popela čistírenských kalů pro rostliny na základě procesu kompostování jako udržitelné alternativy ke konvenčním hnojivům, ale i k surovému fosfátu, který se používá v biologickém zemědělství.

1.2 Vývoj České republiky na téma recyklace fosforu a činnosti k celkovému řešení

Česká republika zatím řeší využití jednoho ze zdrojů fosforu cestou přímé aplikace do půdy nebo kompostováním. Vznikají pokusy s novými technologiemi jako je sušení kalů a další zpracování nebo pyrolýza.

2 Stanovení cílů v projektu INTEKO na téma recyklace fosforu

Ekologická udržitelnost využívání kompostu již byla doložena v mnoha studiích. Základními hesly jsou zásobování humusem, akumulace vody, ochrana před erozí, úrodnost půdy a mnoho dalších. Kromě přímého užitku lze kompost také označit jako produkt, který šetří zdroje. Protože se při pěstování kulturních a užitkových rostlin v zemědělství z půdy odebírá humus a živiny, musejí se zase do půdy vracet pro zachování úrodnosti půdy. Organické hnojení kompostem používá lokální zdroje a pomáhá šetřit hnojiva z primárních surovin (Kühne, 2014). Přidáváním kompostu s popelem z čistírenských kalů by mohl obsažený fosfor přispět ke zvýšení účinnosti postupů hnojení a stát se tak udržitelnou variantou konvenčních a biologických hnojiv. Fosfát vyskytující se v popelu z čistírenských kalů je však obtížně dostupný pro rostliny. Tuto dostupnost by ale bylo možné zvýšit mikrobiální aktivitou v kompostu, neboť při procesu kompostování vznikají na základě rozkladu lehce metabolizovatelné substráty, organické kyseliny jako intermediární produkty aerobní (i anaerobní) látkové výměny (Wagner & Illmer, 2004). Organické kyseliny z mikrobiální aktivity uvolňují obtížně rozpustné sloučeniny vápníku a fosfátu z apatitu a fosfátů hliníku, olova a zinku (Tauten, 2000). Cílem této práce je výzkum zvyšování dostupnosti popela z čistírenských kalů pro rostliny pomocí mikrobiální

aktivity a testování účinnosti hnojení popelem z čistírenských kalů po monospalování, směsí popela z čistírenských kalů a kompostu a směsí kompostu s uhlím v nádobovém pokusu s rostlinami.

3 Metodika

3.1 Předběžný pokus

Pro předběžný pokus byl použit kompost z kompostárny Lobau ve Vídni po týdenním kompostování a popel z čistírenských kalů (PČK) z monospalování vídeňských čistírenských kalů. Kompost byl proset přes síto do výše 10 mm a poté byla stanovena hustota vlhkosti a obsah vody. Zjištěn byl obsah vody 50,33 %, hustota vlhkosti 482 g/l. Do kompostu pak bylo přidáno 6 % popela z čistírenských kalů (vzhledem k sušině) a směs se inkubovala 6 týdnů. Zároveň se připravila k porovnání nulová varianta bez přidání PČK. Během pokusu byl kompost a směs kompostu s PČK jednou za týden obrácen a obsah vody byl udržován na 60 %. Po 6 týdnech byl změřen obsah fosforu v extraktu CAL, neutrálním roztoku citronanu amonného (NAC) a také ve směsi kompostu s PČK v extraktu lučavky královské. Materiál vzorků se uložil pro nádobový pokus.

3.2 Nádobový pokus

Nádobový pokus se prováděl ve skleníku výzkumného ústavu Bio Forschung Austria. Byly použity nádoby o objemu 7 litrů a kukuřice jako testovací rostlina (druh: KWS-STABIL). Použitou zeminou byla písčité hlína s obsahem fosforu < 1 mg/kg v extraktu CAL a hodnotou pH 6,3 ve vodném extraktu a 5,7 v extraktu CaCl₂ (tabulka 1). Pokus byl opakován pětkrát ve variantách uvedených v tabulce 2.

Tabulka 1 pH, vodivost, minerální dusík, dostupný fosfor, obsah draslíku a hořčíku v zemině před zahájením pokusu

pH (voda)	pH (CaCl ₂)	Vodivost (mS/cm)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	P CAL (mg/kg)	K CAL (mg/kg)	Mg CaCl ₂ (mg/kg)
6,29	5,73	60	0,00	11,81	< 1	20,30	150

Tabulka 2 Varianty nádobového pokusu

Varianta	Hnojivo	Přidané množství
Nula	bez přidání	-
Surový fosfát	Surový fosfát Timac Agro	1. konc. 30 mg/kg P v NAC
		2. konc. 80 mg/kg P v NAC
PČK	Popel z čistírenských kalů (bez přísad)	1. konc. 30 mg/kg P v NAC
		2. konc. 80 mg/kg P v NAC
Kompost	Kompost z předběžného pokusu ošetřovaný 6 týdnů	1. konc. 30 mg/kg P v NAC
		2. konc. 80 mg/kg P v NAC
Kompost s 6 % popela z čist. l	Směs kompostu s PČK ošetřovaný 6 týdnů (6% PČK)	1. konc. 30 mg/kg P v NAC nebo 11 mg/kg P v CAL
		2. konc. 80 mg/kg P v NAC nebo 30 mg/kg P v CAL
Uhel	Biouhel	1. konc. 11 mg/kg P v CAL
Kompostový uhel	Směs kompostu s biouhlem	1. konc. 11 mg/kg P v CAL
		2. konc. 30 mg/kg P v CAL

Jako hnojivo byla použita směs kompostu a popela z čistírenských kalů, která byla vyrobena v předběžném pokusu, a příslušná nulová varianta, čistý kompost. Použitý popel z čistírenských kalů pocházel z monospalování vídeňských kalů a jednalo se o stejný materiál, který byl použit při předběžném pokusu. Uhel a směs kompostu s biouhlem pocházely z pokusu při kompostování od našeho českého partnera, Mendelovy univerzity. Surový fosfát poskytla společnost Timac Agro.

Tabulka 3 Koncentrace fosforu různých variant hnojiv v různých extraktech s narůstající extrakční silou

Varianty hnojiv	P rozpustný v CAL (mg/kg sušiny)	P rozpustný v NAC (mg/kg sušiny)	P rozpustný v kyselině mravenčí (mg/kg)	P celkem (mg/kg)
Surový fosfát Timac Agro	95	7097	38734	130649
Popel z čistírenských kalů	1410	8078	11593	105500
Kompost z předběžného pokusu ošetřovaný 6 týdnů	849	2274		2648
Směs kompostu s PČK ošetřovaný 6 týdnů (6% PČK)	934	2759		8465
Biouhel	346			2297
Směs kompostu s biouhlem	1857			10377

Pro každou nádobu bylo odváženo 7 kg zeminy, do které byla přidána příslušná varianta hnojiva. Tato směs pak byla naplněna do nádoby. Byla rovněž připravena tzv. nulová varianta bez přidání jakékoliv příměsi. Přidávaná množství byla pro jednotlivé materiály vypočtena na základě rozpustnosti fosforu v roztoku neutrálního citronanu amonného (NAC). Všechny materiály kromě uhlu byly přidány ve 2 různých množstvích (30 mg/kg fosforu v extraktu NAC a 80 mg/kg fosforu v extraktu NAC). Co se týče uhlu a směsi kompostu s uhlím byla na začátku pokusu dána pouze rozpustnost fosforu v extraktu CAL. Aby však bylo možné údaje porovnávat, byla množství zvolena tak, aby rozpustnost v extraktu CAL těchto 3 variant odpovídala rozpustnosti ve směsi kompostu a popela z čistírenských kalů (PČK).

Po naplnění zeminy bylo do každé nádoby vloženo 5 kukuřičných zrn a po vzejití byla v každé nádobě pěstována nadále pouze jedna rostlina.

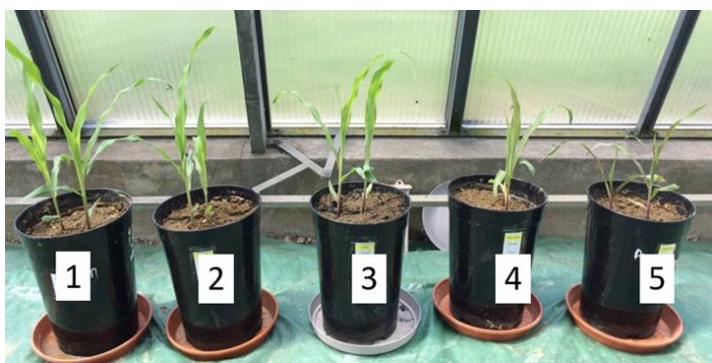


Obrázek 1 Nádobový pokus ve skleníku výzkumného ústavu BFA

Kukuřice byla po celou dobu probíhajícího pokusu zalévána podle potřeby vodou z vodovodu a po sedmi týdnech od zasetí byl přidán dusík (CAN - dusičnan vápenatoamonný) jako hnojivo. Ke každé rostlině bylo přidáno 0,3 g dusíku, což odpovídá hnojení 30 kg N/ha. Po 9 týdnech byla odříznuta nadzemní biomasa, zemina oddělena od kořenů, půda < 5 mm proseta a kořeny propláchnuty. Jak nadzemní, tak i podzemní biomasa byla usušena při 85 °C v laboratorní sušárně a semleta v mlýnku na velikost částic 2 mm. Poté byla biomasa zalita HNO₃, podrobena mikrovlnnému rozkladu a pomocí metody ICP-OES byl určen obsah fosforu. Z půdy byly vyrobeny extrakty CAL podle rakouské normy ÖNORM L 1087 za účelem stanovení fosforu a byly rovněž analyzovány pomocí metody ICP-OES.

3.3 Vyhodnocení a výpočet výsledků

Posouzení symptomu nedostatku fosforu - červených pigmentů - bylo provedeno v 5 stupních, přičemž rostliny s nejvýraznějšími červenými pigmenty obdržely 5 bodů. Rostliny, u nichž se neobjevily žádné červené pigmenty, obdržely 1 bod (obr. 2).



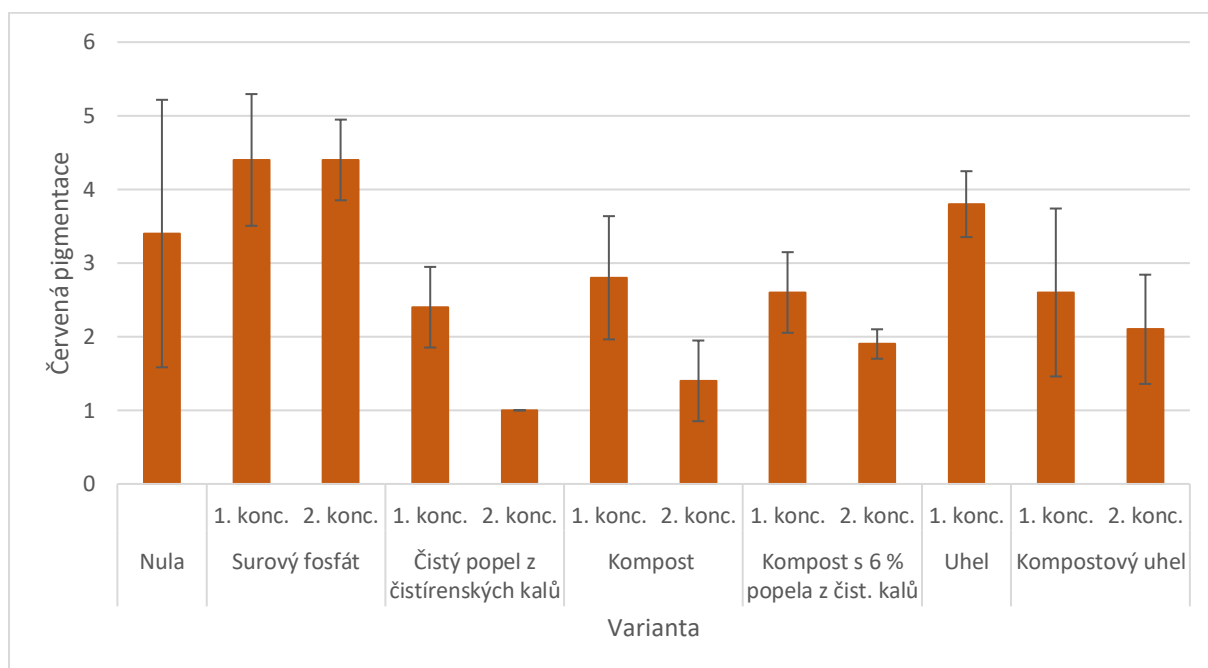
Obrázek 2 Schéma hodnocení udělených bodů za červenou pigmentaci

Statistické vyhodnocení naměřených údajů bylo provedeno v SPSS 20 a Excelu.

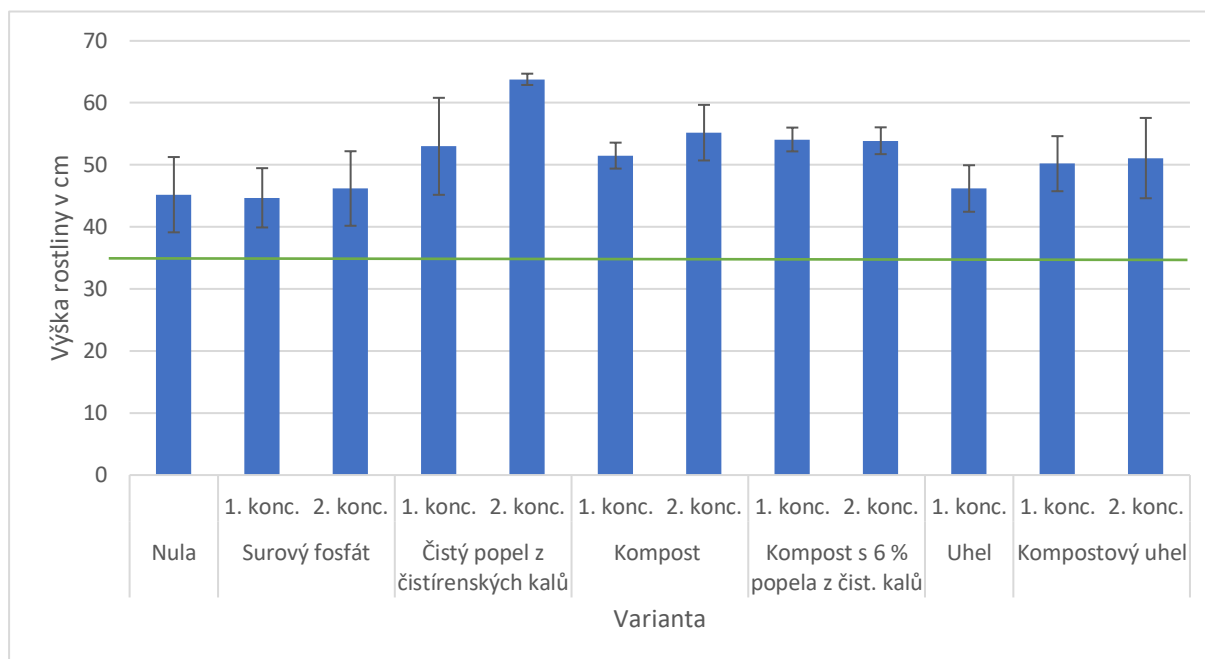
4 Výsledky

Rostliny kukuřice s nedostatkem fosforu vykazují utlumený růst, nedostatečnou tvorbu kořenů a slabé odnože. Listy jsou zbarvené především v raném stádiu červeno-fialově (Kali AG). Výsledky podle obr. 2 a 3 ukazují, že v prvních 4 týdnech po vysetí pouze popel z čistírenských kalů z monospalování nevykazuje ve vyšší koncentraci hnojiva žádné nedostatky. Listy nemají v žádném z pěti opakování červené pigmenty a rostliny zaznamenávají největší výškový růst. Rovněž dobré výsledky s velmi nízkou

červenou pigmentací vykazují varianty s kompostem, se směsí kompostu a popelů z čistírenských kalů a směs kompostu s uhlím ve vyšších dávkách přidávaného množství. Nejhůře dopadly jak v červené pigmentaci, tak i ve výškovém růstu v raném vývoji vedle nulové varianty obě varianty se surovým fosfátem a varianta s uhlím.

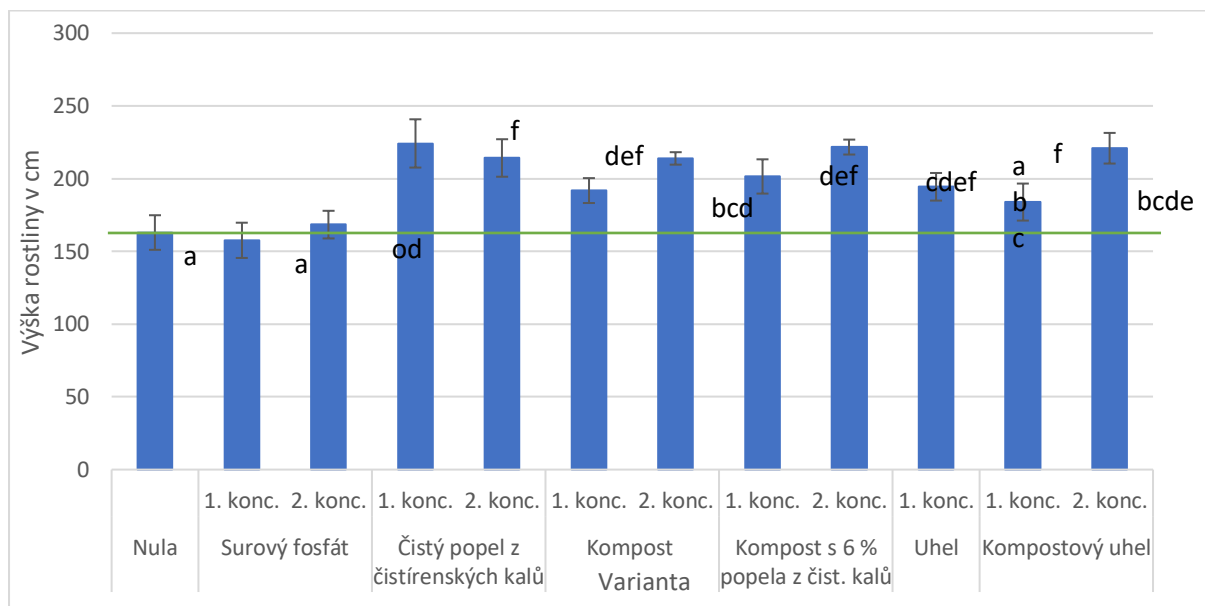


Obrázek 3 Červená pigmentace na listech po 4 týdnech po zasetí

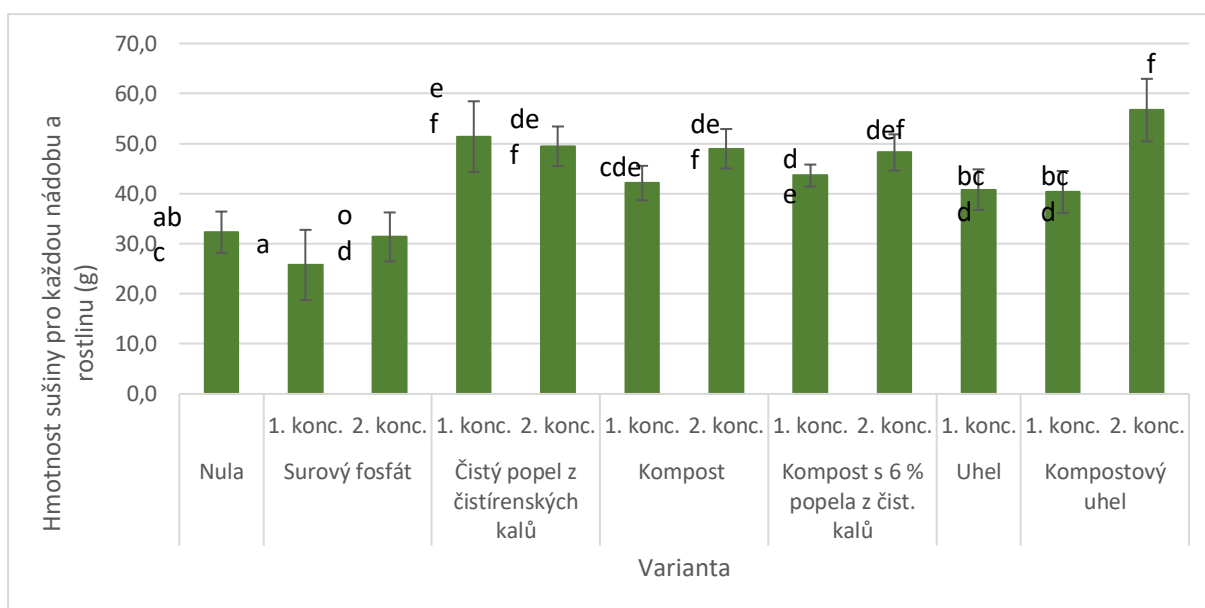


Obrázek 4 Výškový růst po 4 týdnech po zasetí

Při sklizni po 9 týdnech bylo možné zřetelně pozorovat podobný efekt ve výškovém růstu i v hmotnosti sušiny nadzemní i podzemní biomasy a rovněž v obsahu fosforu jako v raném vývoji. Nejintenzivnější výškový růst, vždy ve vyšší koncentraci hnojiva, zaznamenaly varianty popela z čistírenských kalů a směs kompostu s popelem z čistírenských kalů, následované směsí kompostu s uhlem (obr. 5, tabulka 4) Nejvyšší hmotnost sušiny vykazovala vyšší dávka hnojiva u varianty kompostu s uhlem, následovaná oběma variantami s popelem z čistírenských kalů a vyššími dávkami hnojiva u variant kompostu a kompostu s popelem z čistírenských kalů. Obě varianty se surovým fosfátem nevykázaly žádný účinek hnojení a nijak se statisticky výrazně neodlišovaly od nulové varianty.



Obrázek 5 Výškový růst po 9 týdnech při sklizni. Vždy střední hodnota a standardní odchylka po 5 opakováních. Varianty označené stejnými písmeny se nijak statisticky výrazně od sebe vzájemně neodlišují ($p \leq 0,05$)



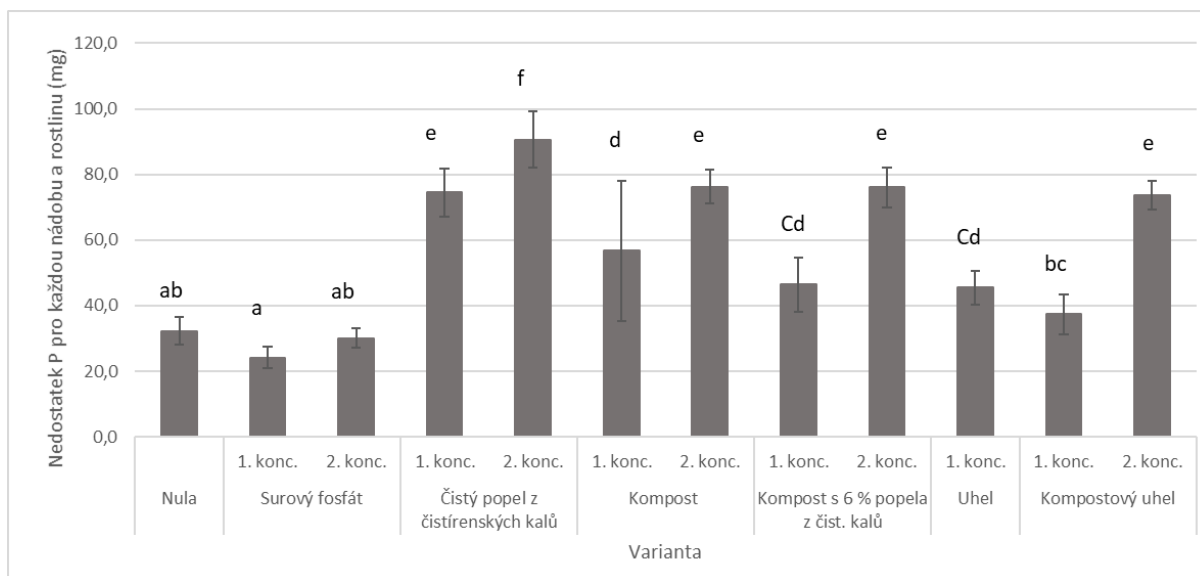
Obrázek 6 Hmotnost sušiny nadzemní a podzemní biomasy po 9 týdnech při sklizni. Vždy střední hodnota a standardní odchylka po 5 opakováních. Varianty označené stejnými písmeny se nijak statisticky výrazně od sebe vzájemně neodlišují ($p \leq 0,05$).

Tabulka 4 a obr. 7 ukazují celkové odběry fosforu kukuřičí (nadzemní i podzemní biomasou) v každé nádobě a vždy po 5 opakováních. Odběry fosforu byly v rozmezí od 182 mg P/nádoba u varianty se surovým fosfátem až 579 mg P/nádoba u varianty s popelem z čistírenských kalů. Jak obě varianty se

surovým fosfátem, tak i varianta kompostu s uhlím se nijak výrazně neodlišovaly od nulové varianty. Výrazně nejvyšší odběry fosforu zaznamenaly také opět vyšší dávky hnojiva s čistým popelem z čistírenských kalů, varianta kompostu, varianta kompostu s popelem z čistírenských kalů a varianta kompostu s uhlím.

Tabulka 4 Střední hodnoty a standardní odchylka hmotnosti sušiny a obsahu fosforu v nadzemní i podzemní biomase a celkový odběr P celou rostlinou v každé nádobě

Varianta		Hmotnost sušiny		Hmotnost sušiny		Obsah P v nadzemní biomase		Obsah P v podzemní biomase		Odběr P nadzemní a podzemní biomasou [mgP/nádoba]	
		nadzemní biomasy	[g/nádoba]	podzemní biomasy	[g/nádoba]	[g/nádoba]	[g/nádoba]	[g/nádoba]	[g/nádoba]		
Nula		27,2	(±4,1)	5,1	(±1,0)	29,2	(±4,6)	3,0	(±0,7)	32,2	(±4,2)
Surový fosfát	1. konc.	21,6	(±6,0)	4,2	(±1,1)	21,2	(±2,7)	3,1	(±0,6)	24,2	(±3,3)
	2. konc.	25,9	(±3,7)	5,5	(±1,2)	26,3	(±2,5)	3,8	(±0,5)	30,0	(±3,0)
Čistý popel z čistírenských kalů	1. konc.	42,6	(±6,2)	8,8	(±0,9)	67,2	(±6,9)	7,3	(±0,6)	74,5	(±7,5)
	2. konc.	41,3	(±2,9)	8,2	(±1,2)	81,2	(±7,6)	9,4	(±1,3)	90,5	(±8,6)
Kompost	1. konc.	35,6	(±3,0)	6,5	(±0,5)	46,2	(±2,8)	4,3	(±0,3)	56,8	(±21,4)
	2. konc.	41,2	(±3,1)	7,8	(±0,9)	69,9	(±4,5)	6,4	(±0,8)	76,3	(±5,0)
Kompost s 6 % popela z čist. kalů	1. konc.	36,8	(±1,9)	6,9	(±0,3)	42,3	(±7,9)	4,1	(±0,3)	46,4	(±8,2)
	2. konc.	40,8	(±2,6)	7,5	(±1,1)	69,8	(±5,8)	6,2	(±0,6)	76,0	(±6,2)
Uhel	1. konc.	34,2	(±3,4)	6,6	(±0,7)	41,4	(±4,9)	4,1	(±0,3)	45,5	(±5,1)
Kompostový uhel	1. konc.	34,1	(±3,7)	6,2	(±0,7)	33,5	(±5,7)	3,9	(±0,6)	37,4	(±6,0)
	2. konc.	47,3	(±4,8)	9,4	(±1,5)	66,9	(±4,5)	6,8	(±1,7)	73,7	(±4,5)



Obrázek 7 Odběr fosforu nadzemní a podzemní biomasou po 9 týdnech při sklizni. Vždy střední hodnota a standardní odchylka po 5 opakováních. Varianty označené stejnými písmeny se nijak statisticky výrazně od sebe vzájemně neodlišují ($p \leq 0,05$).

5 Závěr

Výsledky ukazují, že kompost, směs kompostu s popelem z čistírenských kalů, směs kompostu s uhlem a rovněž nezpracovaný popel z čistírenských kalů z monospalování, vždy s vyšší dávkou hnojiv, dosahují nejvyššího účinku hnojení. Zajímavé je, že právě popel z čistírenských kalů, který vlastně obsahuje malý podíl fosforu dostupného pro rostliny, vykázal velmi dobrý účinek hnojení. Fosfor v popelu z čistírenských kalů se vyskytuje v obtížně rozpustných sloučeninách vápníku, jako je whitlockit a hydroxyapatit, a ve vodě je prakticky nerozpustný (Kratz, 2014). Písčitohlinitá půda použitá při nádobovém pokusu se pohybovala v lehce kyselé oblasti a byla tak optimální pro uvolnění fosforu z popela z čistírenských kalů. Ačkoliv má kukuřice na začátku růstu špatnou schopnost přisvojit si fosfát, a proto je nutné v kořenové části klíčků zajistit dostatečné množství fosfátu rozpustného ve vodě (Petritz, 2019), nevykázala varianta s popelem z čistírenských kalů, ani v raném stádiu, při vyšších dávkách hnojiva žádný a nedostatek a při menších dávkách hnojiva jen velmi malý nedostatek. Tyto podmínky lehce kyselé půdy by vlastně byly optimální i pro surový fosfát, neboť měkké surové fosfáty jsou podle literatury vhodné pro kyselé až lehce kyselé půdní poměry ($< \text{pH } 6,5$) s dostatečně vysokou biologickou aktivitou a půdní vlhkostí (Baab, 2014). Ačkoliv bylo při nádobovém pokusu zajištěno dostatečné zásobování kukuřice vodou, nevykázal surový fosfát u obou variant žádný účinek hnojení.

Römer (2013) a Waida & Weinfurtner (2011) naproti tomu mohli při svých nádobových pokusech s kukuřicí docílit podobných rozpustností u surových fosfátů a popelů z čistírenských kalů nebo jiných produktů obsahujících recyklovaný fosfor.

U varianty kompostu s popelem z čistírenských kalů se při pokusu nedocílilo vyššího účinku hnojení než u varianty, která byla hnojena jen kompostem. Přidání pouhých 6 % na jedné straně možná nestačí k dosažení výrazných účinků, na druhé straně zpozorovali Waida & Weinfurtner (2011) ve svých pokusech, že většina produktů s recyklovaným fosforem disponuje trvalým účinkem hnojení, protože až teprve v následné plodině se projevuje vyšší vliv na výnos.

U varianty, u které byl do půdy přidán pouze uhel (biouhel), se projevilo působení uhlu. Uhel je vysoce porézní materiál s povrchovou plochou 200-500 m²/g. Díky této velké povrchové ploše je schopen přijímat až pětinasobné množství vody a rozpustných živin oproti vlastní hmotnosti. Pokud se do půdy přidá biouhel, odebere vodu ze svého okolí a látky, které jsou v ní rozpuštěné, proto se při pokusu projevuje jen malý účinek hnojení. Pokud se naproti tomu biouhlem obohatí kompost, projeví se jeho schopnost akumulovat vodu, vázat živiny a zvyšovat aktivitu mikroorganismů velmi pozitivně při procesu kompostování. (Kammann & Glaser, 2014). I když v raném vývoji směs kompostu s uhlím nemohla ani po zvýšení koncentrace dávky zajistit rostlinám dostatek fosforu a projevila se zřetelná červená pigmentace u listů, vykazala tato varianta na konci pokusu velmi dobré výsledky a vysoké odběry fosforu.

6 Literatura:

Baab G. (2014): Hlavní a stopové prvky, část 2: Výživný prvek fosfor; ekologické ovocnářství 2: 4-9

BMLFUW (2015): Soupis stavu odpadového hospodářství v Rakousku, zpráva o stavu 2014, Spolkové ministerstvo zemědělství a lesnictví, životního prostředí a vodohospodářství

BMLFUW (2013): Zelená zpráva 2013 - podle § 9 zákona o zemědělství, 54. vydání, Spolkové ministerstvo zemědělství a lesnictví, životního prostředí a vodohospodářství

BMLFUW (2019): Zelená zpráva 2019 - podle § 9 zákona o zemědělství, 60. vydání, Spolkové ministerstvo zemědělství a lesnictví, životního prostředí a vodohospodářství

Egle L., Rechberger H., Zessner M. (2014a): Závěrečná zpráva o zpětném získávání fosforu z odpadních vod, Spolkové ministerstvo zemědělství a lesnictví, životního prostředí a vodohospodářství (BMLFUW)

Egle L., Rechberger H., Zessner M. (2014b): Závěrečná zpráva: Bilance fosforu v Rakousku; Spolkové ministerstvo zemědělství a lesnictví, životního prostředí a vodohospodářství

Kammann C. & Glaser B. (2014): Vzájemné působení kompostu a biouhlu – plodný vztah? Müll und Abfall, odborný časopis pro odpadové hospodářství a hospodaření s přírodními zdroji; vydání 03

Kühne O., Currin A.M. (2014): Analýza udržitelnosti využití kompostu v Hesensku, Porýní-Falci a Sársku; Sárská univerzita; zadavatel: Gütegemeinschaft Kompost Region Südwest e.V.

Kratz S. (2014): Metody k odhadování dostupnosti fosforu pro rostliny získávaného z produktů čištění odpadních vod; JKI – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig,

Dolnorakouský plán odpadového hospodářství 2018: „Cenné“ odpady

Petritz C. 2019 Hnojení kukuřice podle potřeb; Zemědělská komora Korutany

Römer W. (2013): Vliv fosforu na hnojení produkty s obsahem recyklovaného fosforu ; Korrespondenz Abwasser, Abfall (60) č. 3

Schröder B. (2018): Fosfor: dárce života z kalů; telepolis; heisse

Severin M., Ahl C. Kücke M., Van den Weghe H. a Greef J. (2013): Rozpustnosti fosfátů a vliv fosfátů na hnojení získaných z látek po úpravě čistírenských kalů - posouzení různých postupů úprav; Landbauforschung Appl Agric Forestry 3 (63)235-244

Tauton A.E., Welch S.A., Banfield J.F. (2000): Microbial controls on phosphate and lanthanide distribution during granite weathering and soil formation. Chemical Geology 169, 371-382

Vanas F. (2016): Aktuální situace a budoucí vývoj při odstraňování čistírenských kalů v Rakousku; magisterská práce zemědělské univerzity ve Vídni (Universität für Bodenkultur Wien), katedra Voda-atmosféra-životní prostředí

Wagner A. & Illmer P. (2004): Kompostování - nové posouzení staré techniky; Ber.nat.-med.Verein Innsbruck; Band 91: S. 293-321

Waida C. & Weinfurter K. (2011): Výzkum produktů vytvořených v rámci podpůrné iniciativy, Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie Schmallenbergwien. gv.at, 2019: <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/entsorgung/abfallbehandlungsanlagen/aba/kompostwerklobau.html>; 01.12.2019



EVROPSKÁ UNIE

Tento materiál byl vydán v rámci projektu ATCZ42 INTEKO

2019

