



Libor Mrnka

**Využití stabilizovaných
čistírenských kalů
a popela z biomasy
pro hnojení plantáží
rychle rostoucích
dřevin** Certifikovaná metoda



Využití stabilizovaných čistírenských kalů a popela z biomasy pro hnojení plantáží rychle rostoucích dřevin

Uplatněná certifikovaná metodika

Autor: Ing. RNDr. Libor Mrnka, Ph.D.

Oponenti:

Ing. Aleš Hanč, Ph.D. (Česká zemědělská univerzita v Praze,
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin)

Ing. Michaela Budňáková (Ministerstvo zemědělství ČR,
Odbor rostlinných komodit)

Dedikace:

Metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR (projekt Centrum kompetence Bioraf č. TE01020080) a výzkumného záměru RVO67985939. Metodika byla vytvořena v Botanickém ústavu AVČR, v.v.i. ve spolupráci s firmou MFI-ekoimpex spol. s r.o. a AGRA GROUP a.s.

Obsah metodiky

Úvod	5
Cíl metodiky	7
Popis metodiky	7
Živinové nároky plantáží RRD	7
Vliv hnojení na produkci biomasy výmladkových plantáží RRD	7
Efekt různých forem N a P	9
Indikátory deficitu živin u RRD	10
Charakterizace popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů	12
Popel z biomasy	12
Stabilizované čistírenské kaly	14
Využitelnost popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů pro hnojení výmladkových plantáží RRD	19
Legislativní rámec použití popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů v ČR	21
Přehled platné legislativy	24
Doporučený postup aplikace popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů	25
Shrnutí a závěr	27
Přílohy 1-2	28
Srovnání novosti postupů	35
Uplatnění metodiky	35
Ekonomické aspekty	36
Anotace metodiky v AJ	37
Použitá literatura	39

Vydal: Botanický ústav AV ČR, v.v.i.
vydání první, prosinec 2015

© Botanický ústav AV ČR, v.v.i., Zámek 1, Průhonice 25243
© cover & typo Bc. Jaroslav Petříček, DiS.

Tato publikace nesmí být přetiskována vcelku ani po částech, uchovávána v médiích, přenášena nebo uváděna do oběhu pomocí elektronických, mechanických, fotografických či jiných prostředků bez uvedení osoby, která má k publikaci práva podle autorského zákona nebo bez jejího výslovného souhlasu. S případnými náměty na jakékoliv změny nebo úpravy se obraťte písemně na autora.

ISBN: 978-80-86188-49-2



Úvod

Produkce biomasy pro energetické účely kryla v r. 2013 přibližně 11% celkové spotřeby energie v ČR a 16% v evropské osmadvacítce (Eurostat, Renewable energy statistics). Dlouhodobým cílem EU je krýt výrobu primární energie z 20% z biomasy a o výrazné zvýšení role biomasy v energetickém mixu usiluje i USA. Rada studií, které se zabývají prognózami vývoje produkce energie v globálním měřítku, předpovídá, že biomasa bude v nadcházejících dekadách podstatnou složkou budoucího energetického koláče s podílem mezi 10–45% celkové produkce primární energie. Většina těchto studií zároveň ukazuje, že významnou úlohu v rámci biomasy budou hrát plantáže rychle rostoucích dřevin (Keoleian & Volk 2005). Jde o biopaliva druhé generace s nižšími negativními dopady na životní prostředí než je tomu u biopaliv první generace (např. bioetanol z cukrové řepy nebo metylester řepkového oleje) a fosilních paliv. Při srovnání produkce energie z plantáží rychle rostoucích dřevin (RRD) se spalováním uhlí jsou emise skleníkových plynů u plantáží výrazně nižší a energetický zisk vyjádřený na jednotku vložené energie z fosilních zdrojů výrazně vyšší (Djomo a kol. 2011). Výmladkové plantáže také sekvestrují vyšší množství C ve srovnání se zemědělskou půdou (Don a kol. 2012).

Plantáže RRD se v současné době pěstují v EU na 50–100 tisících ha (Elbersen a kol. 2013). V ČR činila k r. 2013 odhadovaná plocha 1600 ha (zdroj: LPIS, MZe). Jako RRD jsou v Evropě používány zejména topoly a vrby. Pěstují se jako pařezina s velmi krátkým obmětím 3–7 let (Weger a kol. 2006). Získaná biomasa je konvertována na energii procesy přímého spalování v kogeneračních jednotkách, pyrolýzou, zplyněním či fermentací celulózyvé matrice (Lievens, et al., 2008, Zhu, et al., 2010). Rychle rostoucí klony topolů jsou využitelné i při dekontaminaci ploch znečištěných organickými polutanty a rizikovými prvky (Pulford, 2003, Meggo a kol. 2013). V současném stadiu vývoje však má tato remediační fyto-technologie omezenou účinnost a na většině ploch kontaminovaných rizikovými prvky neumožňuje snížení jejich koncentrací v půdě pod limitní práh během životnosti plantáže. Přesto mají na těchto plochách plantáže RRD opodstatnění, neboť nabízí jejich alternativní využití s relativně nízkými ekologickými riziky (pochopitelně za předpokladu ekologicky šetrného zpracování kontaminované biomasy) (Mrnka a kol. 2011). Výmladkové plantáže mají navíc ve srovnání s tradičním hospodařením na zorněné půdě řadu ekologických

přínosů. Díky trvalému půdnímu pokryvu a minimalizaci půdních zásahů je výrazně snížena větrná i vodní eroze. Ze stejného důvodu jsou plantáže RRD vhodným útočištěm pro řadu bezobratlých živočichů i obratlovců (Rowe a kol. 2009).

Vyprodukovaná biomasa bývá zpracována na štěpku a buď přímo spalována, nebo dále transformována. Ačkoli je při dostatečných výnosech pěstování plantáží RRD rentabilní (VÚKOZ, Centrum rozvoje rychle rostoucích dřevin), není na marginálních plochách pro pěstitelé a investory příliš atraktivní. Zlepšit ekonomiku výmladkového pěstování RRD nejen na těchto plochách a zvýšit atraktivnost pěstování RRD lze vedle státních subvencí zefektivněním celé technologie. Jednou z možností je šlechtění výnosnějších a vůči abiotickým i biotickým stresům odolnějších klonů, které v řadě zemí probíhá,

a díky kterému se průměrné výnosy biomasy již v minulosti výrazně zvýšily (Riemenschneider a kol. 2001, Rae a kol. 2009). Další možnost se nabízí v podobě využití odpadů, jako jsou čistírenské kalů a popel ze spalování biomasy pro hnojení plantáží (Lazdina a kol. 2007, Augusto a kol. 2008, Insam a kol. 2009). Uplatnění těchto odpadů je vhodné s ohledem na recyklaci živin, snížení nákladů na konvenční minerální hnojiva a ekologickou šetrnost k životnímu prostředí. Aplikace kalů a popela dosud není při pěstování výmladkových plantáží v ČR příliš využívána a může být zvláště významná na marginálních a živinově nevyrovnaných stanovištích. Využití těchto stanovišť je přitom žádoucí s ohledem na kompetici záměrně pěstované energetické biomasy s potravinovými komoditami o kvalitní ornou půdu.

Cíl metodiky

Cílem této metodiky je demonstrovat potenciál stabilizovaných čistírenských kalů a popela z biomasy pro hnojení výmladkových plantáží RRD

a poskytnout praktický návod těm subjektům, které tento potenciál chtějí využít v podmínkách ČR v rámci platné legislativy.

Popis metodiky

Živinné nároky plantáží RRD

Produktive biomasy výmladkových plantáží RRD a hnojení

Ze srovnání živinných nároků plantáží RRD s intenzivně pěstovanými zemědělskými komoditami je patrné, že plantáže RRD mají relativně malé nároky na živiny (viz tabulka 1). Na většinu dobře udržovaných zemědělských půd si vystačí s přítomnou zásobou živin do první sklizně (Jug a kol. 1999, Quaye & Volk 2013). Značné množství živin se recykluje každoročně s opadem a odumíráním jemných kořenů (Heilman & Norby 1998). Dlouhodobé udržení produktivity půdy však vyžaduje doplnění živin ztracených přirozenou cestou a odstraněných při sklizni. Mitchell a kol. (1992) uvádí, že se doporučuje aplikovat 3–4 kg dusíku na každou sklizenou tunu sušiny. To činí přibližně 30–80 kg N/ha.rok při produkci 10–20 tun sušiny/ha.rok. Ve Švédsku se aplikuje v průměru 60–80 kg N, 10 kg P a 35 kg K (roční hektarové dávky; pochopitelně se aplikují násobky

těchto dávek v několikaletých cyklech). Pěstební manuál pro anglické farmáře (DEFRA 2002) specifikuje dávku dusíku pro aplikaci ve druhém a následujících letech po výsadbě/sklizni na 40–100 kg N/ha, ale zmiňuje problémy s dostupností techniky v pozdějších letech od výsadby/sklizně. Jako alternativu uvádí možnost jednorázové aplikace kompostovaných čistírenských kalů. V podmínkách USA doporučují Abrahamson a kol. (2010) hnojit vrbové plantáže v druhém roce 112 kg N/ha a na deficitních půdách přidat i P a K. V roce výsadby se nehnojí kvůli riziku, že to povede k přílišnému růstu plevelů a že se omezí kvalitní zakoreňování rostlin. Druhý rok po výsadbě a po každé sklizni se hnojivo aplikuje s použitím běžné mechanizace. K hnojení lze využít dostupná minerální nebo organická hnojiva. Organická hnojiva mají příznivý vliv na strukturu půdy a uvolňují živiny pomaleji, čímž se snižuje hrozba jejich vyplavování z půdy. Jejich produkce také nepředstavuje takové nároky na fosilní



energii. Mezi dostupná a levná hnojiva obsahující organickou složku patří kromě kompostů a digestátů i pevná a tekutá statková hnojiva. Využit

lze i různé formy biologického odpadu a kaly ČOV. Hnojivým potenciálem kalů ČOV a popela z biomasy se zabývá tato metodika.

Tabulka 1. Srovnání nároků na hnojení u RRD a běžných zemědělských plodin. Uvedené hodnoty jsou vztaženy na produkci 1t biomasy (u zemědělských plodin přepočteno na základě průměrných výnosů semene a slámy). Odkazy: 1 = Mrnka a kol. (2011), 2 = Ryant a kol. (2005), 3 = González-García a kol. (2012)

Plodina	N (kg/t)	P (kg/t)	K (kg/t)	Ca (kg/t)	Mg (kg/t)	Poznámka	Odkaz
RRD	6–12	0,5–1,2	2–5,2	2,4–6,6	0,4–0,8	Na t biomasy	1, 3
řepka olejka	23,8	5,6	23,8	16,9	2,4	Na t biomasy (včetně semene)	2
hrách	35,4	4,2	20,8	14,0	2,0	Na t biomasy (včetně semene)	2
kukuřice	12,1	2,8	13,6	2,9	2,5	Na t biomasy (včetně semene)	2
pšenice ozimá	14,4	2,9	11,5	–	1,4	Na t biomasy (včetně semene)	2
jarní ječmen	14,2	3,2	12,3	4,7	1,2	Na t biomasy (včetně semene)	2

Několik studií sledujících vliv hnojení na produkci biomasy hybridních topolů ukázalo, že topoly primárně odpovídají zvýšenou produkcí na hnojení N, sporadicky i P a K (shrnuto v Zabek 2001). Podobně to platí i pro vrby (zejména *Salix viminalis*), které jsou však ve srovnání s topoly na hnojení N náročnější a obvykle na ně také výrazněji odpovídají. Značný nárůst biomasy *S. viminalis* (25–73% na různých plochách) v reakci na hnojení N (100 kg N/ha.rok) pozorovali např. Jug a kol. (1999). Přitom koncentrace N v listech vrby vzrostly jen mírně (cca o 6%).

Přehled publikovaných růstových odpovědí různých klonů vrby na hnojení N sestavili Hangs a kol. (2012). Z přehledu je patrné rozpětí odpovědí na N hnojení od cca 80% růstové deprese až po cca 790% zvýšení růstu. Autoři zároveň v polním experimentu ukázali, že z celkového množství aplikovaného N hnojiva (NH_4NO_3 v dávce 100 a 200 kg N/ha.rok) byla přijata vrba mi zhruba 1/3 (podobně jako u běžných zemědělských plodin), a že příjem N byl zvýšen při umělé závlaze u jednoho ze dvou testovaných vrbových klonů.

Při hnojení N může dojít paradoxně k poklesu koncentrace P v listech navzdory výrazné akceleraci růstu. Je to patrně důsledkem „zředovacího efektu“, kdy výrazný nárůst objemu pletiv po hnojení N vede k relativnímu poklesu koncentrace P a nárůstu poměru N:P (Jug a kol. 1999). Přehnojování N ovšem k dalšímu zvyšování výnosu biomasy nevede a naopak zvyšuje riziko vyplavování dusíkatých látek. Sevel a kol. (2014) nepozorovali žádnou pozitivní odezvu ve výnosu biomasy vrbového klonu Tordis (*S. schwerinii* × *S. viminalis*) × *S. viminalis* při zvyšování dávek N nad 60 kg N/ha.rok. Podobnou hodnotu (56 kg N/ha.rok) stanovili jako bezpečnou a vhodnou pro plantáže s topolem bavlíkovým i Lee a Jose (2005). Jiní autoři uvádějí i vyšší dávky N (odpovídající 100 kg N/ha.rok) bez negativního dopadu na vyplavování N, pokud je N aplikován v čistírenských kalech (Labrecque a kol. 1998). Výjimečně může vést hnojení k mírné (a většinou krátkodobé) růstové depresi a to zejména při nedostatečném úhrnu srážek a vodním stresu (Yin a kol. 2009, Hangs a kol. 2012). Svou roli hraje i pH (DesRochers a kol. 2006).

Efekt různých forem N a P

Pokud jde o využitelnost různých forem N, dva hybridní topolové klony (*Populus deltoides* × *Populus* × *petrowskyana* klon 24 /Walker/ a klon 794 /Brooks 6/) a jeden nativní klon (*Populus*

balsamifera /1004/) vykázaly lepší růstovou odpověď na NH_4^+ ve srovnání s NO_3^- (DesRochers a kol. 2007). Moscatelli a kol. (2008) hnojili topolovou plantáž minerálními dusíkatými hnojivy, přičemž první rok použili hnojivo s čtyřnásobně vyšší koncentrací NH_4^+ nad NO_3^- zatímco následující dva roky byly koncentrace obou forem N vyrovnané. Půdní analýzy ukázaly, že přes nadbytek NH_4^+ v prvním roce se většina minerálního N vyskytovala po celé období v nitrátové formě, což svědčí pro rychlou mikrobiální konverzi NH_4^+ , fixaci amonných iontů na jílové minerály a přednostní odběr této formy N topolovými kořeny. Preferenci v příjmu NH_4^+ oproti NO_3^- potvrzuje i studie provedená na *P. tremuloides* a hybridním topolovém klonu *P. tremula* × *P. tremuloides* (Choi a kol. 2005). Na účinek různých forem N může mít významný vliv pH, jak ukázala studie DesRochers a kol. (2003). Na základě zmíněných studií lze uzavřít, že preferenční formou N pro topolové plantáže je obvykle amonný iont.

Také účinek jednotlivých forem P se liší. Testy hnojení hybridních topolů (4 klony *P. trichocarpa*, *P. deltoides*, a *P. trichocarpa* × *P. maximowiczii*) fosforem pomocí trojitého superfosfátu (SF), mletého fosfátu (RF) a fosforečnanu diamonného (FD), ukázaly, že snáze rozpustné SF a FD byly účinnější než méně rozpustný RF (Brown & van den Driessche 2005). Výraznější účinek SF před surovým fosfátem

a apatitem ukázala i studie sledující růst vrub na zrašeliněné půdě (Hytönen 1984).

Indikátory deficitu živin u RRD

Jak vyplývá z prací citovaných v předchozích oddílech, živinové nároky různých

druhů RRD a jejich reakce na hnojení se liší. Významným indikátorem deficitu živin jsou listové analýzy. Tabulka 2 uvádí koncentrace prvků v listech, které indikují dostatečné a optimální zásobení dřeviny danými prvky.

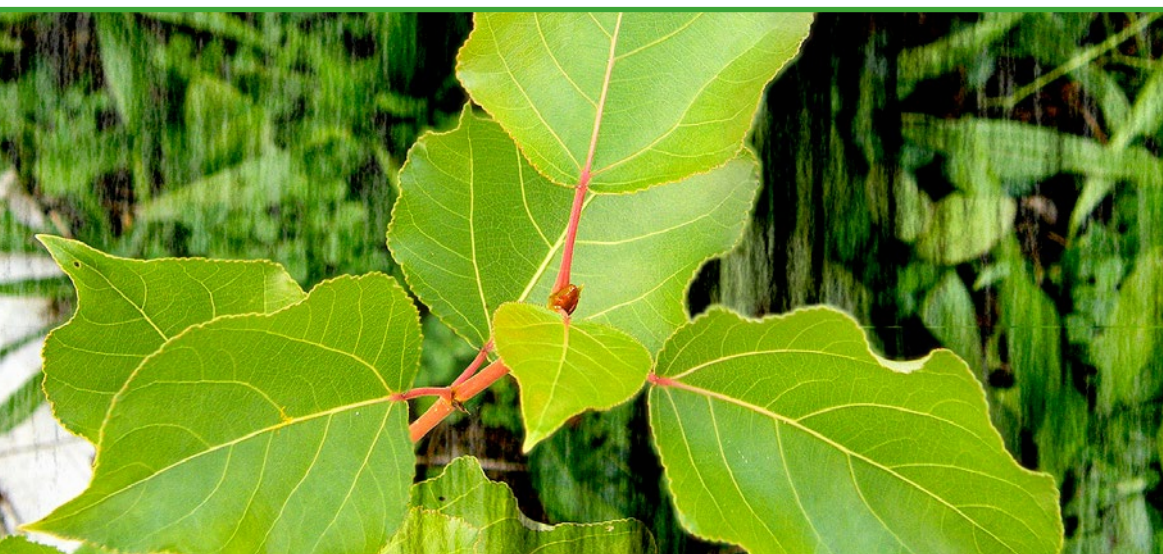
Tabulka 2. Dostatečné (D) a optimální (O) koncentrace prvků v listech různých druhů (či hybridů) běžně pěstovaných RRD. Zpracováno na základě publikací (viz odkaz): 1 = Jug a kol. (1999), 2 = Guillemette & DesRochers (2008), 3 = van den Driessche (2000), 4 = van den Driessche (1999), 5 = Mitchell a kol. (1992), 6 = Hansen (1994), 7 = Merilo a kol. (2006), 8 = Labrecque & Teodorescu (2001)

Prvek:	N [mg/g]		P [mg/g]		K [mg/g]		Ca [mg/g]		Mg [mg/g]		Odkaz
	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	
<i>S. viminalis</i>	21-28	28-42	1,4-1,7	1,7-6,4	8	9,1-22	3,5	4,5-15	2-2,5	3,3-4,7	1,5,7,8
<i>P. tremula</i> × <i>P. tremulooides</i>	17	25-27	1,3	1,8-3,1	8	15	7	-	1,5	-	1,5
<i>P. trichocarpa</i>	-	21-30	1	1,6-4,6	7	8-20	5,4	-	1,5	-	1,5,6
<i>P. deltooides</i> a hybridy s <i>P. trichocarpa</i>	23-28	28-40	-	2,5-5	-	15-22	-	8-15	-	2,3-4	2,3,4,5,6

Je však třeba mít na paměti, že listové koncentrace N se mění v průběhu sezóny a na začátku nebo na konci sezóny mají koncentraci N často pod 2% bez ohledu na režim hnojení (Hansen 1994). Doporučuje se tudíž pro analýzy odebírat listy v červenci/první polovině srpna.

Citlivějším indikátorem nerovnováhy ve výživě než limitní koncentrace jednotlivých prvků bývá poměr prvků v rostlinné biomase. Je tomu tak patrně proto, že limitní koncentrace jednotlivých prvků jsou závislé na koncentracích jiných prvků. Jako diagnostický indikátor potřeby hnojení se často používá poměr N:P. Pro velkou řadu rostlin evropských mokřadů bylo stanoveno, že poměry N:P > 16 indikují P limitaci, zatímco poměry N:P < 14 indikují N limitaci. Rozsáhlá studie provedená v boreální oblasti Kanady ukázala, že klony *P. balsamifera* × *trichocarpa* 747210 a *P. balsamifera* × *maximowiczii* 915005 pěstované na nehnojené zemědělské půdě měly poměr N:P mezi 16–17 a klony také více reagovaly na hnojení P. Třetí testovaný klon, *P. maximowiczii* × *balsamifera* 915319, měl poměr N:P výrazně nižší (12), avšak reagoval na přihnojení N zvýšením biomasy pouze pokud bylo doprovázeno přihnojením P. Na lesní půdě pak bylo rozpětí optimálních poměrů N:P pro jednotlivé testované klony tak široké, že N:P poměry nebyly dobrými indikátory limitace N nebo P a růst byl patrně (spolu)

limitován dalšími prvky (Guillemette & DesRochers 2008). Srovnáním diagnostických indikátorů odpovědí topolových plantáží na hnojení se zabývala i Zabek (2001). Zjistila, že půdní charakteristiky ani DRIS analýza (integrováný systém diagnostiky a doporučení výživy rostlin) nebyly efektivními indikátory potřeb hnojení tří klonů topolů *P. trichocarpa* × *P. deltooides*. Aplikace hnojiv na základě kritických listových koncentrací prvků (kritické koncentrace odpovídají takové koncentraci prvků, při nichž dosahuje růst 90% maximálního růstu) se shodovaly se zvýšeným přírůstem biomasy v 63% případech. Listový poměr N:P ve výši 9.5 se shodoval s pozitivní růstovou odpovědí na hnojení N nebo N+P. Diagnóza živinových limitací na základě vektorové analýzy celé rostliny a jejích částí (listy, kmeny, kořeny) u topolů rostoucích ve školce ukázala rozdíly mezi pletivy. Nejlepším indikátorem odpovědi stromků na hnojení se ukázala být vektorová analýza listů. Její princip je uveden v Zabek (2001). Tato analýza však vyžaduje rozsáhlejší vzorkování s následnými chemickými analýzami, což ji ekonomicky znevýhodňuje. Nadto je nutné srovnávat provedený zásah s výchozím stavem, nehodí se tedy pro počínající výsadby. V praxi tedy doporučujeme brát v potaz výsledky analýz makroživin (N, P, K, s přihlédnutím k Ca a Mg) půd a listů vysazených klonů RRD.

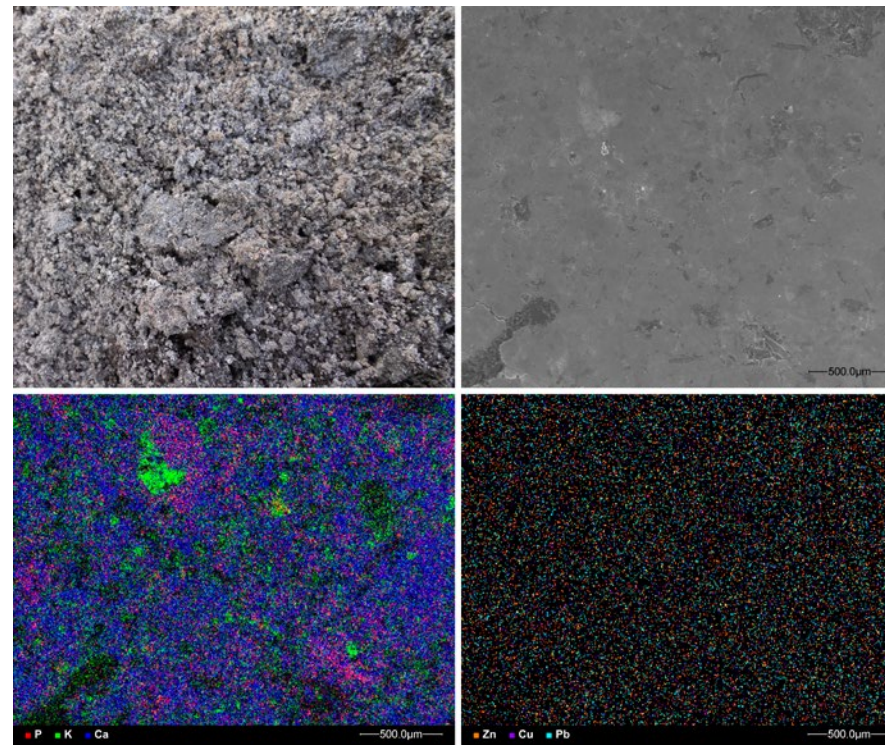


Charakterizace popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů

Popel z biomasy

Při spalování biomasy zůstává část nespalitelných látek ve formě roštových (ložových) a úletových popelů. Množství popela v palivech z biomasy se průměrně pohybuje v rozmezí 1–6%. Dřevo obvykle obsahuje relativně malé množství popelovin (0,3–1%), zatímco výrazně více popelovin obsahuje kůra (3–4%), sláma (5%) nebo trávy (7%) (Ochecová, 2015). Popel ze spalování biomasy je bohatý na obsah alkalických kovů a kovů alkalických zemin (viz tabulka 3). Obsahuje také nezanedbatelné množství Si (na ten je bohatší popel ze slámy), větší množství P, S a řadu mikroprvků. Reakce popela je zásaditá (Voláková, 2010). Díky zásadité reakci snižuje mobilitu a biologickou dostupnost rizikových prvků. Hodnoty pH popelů z dřevité biomasy jsou obecně vyšší než u popelů ze slámy a obilnin z důvodu vyššího obsahu

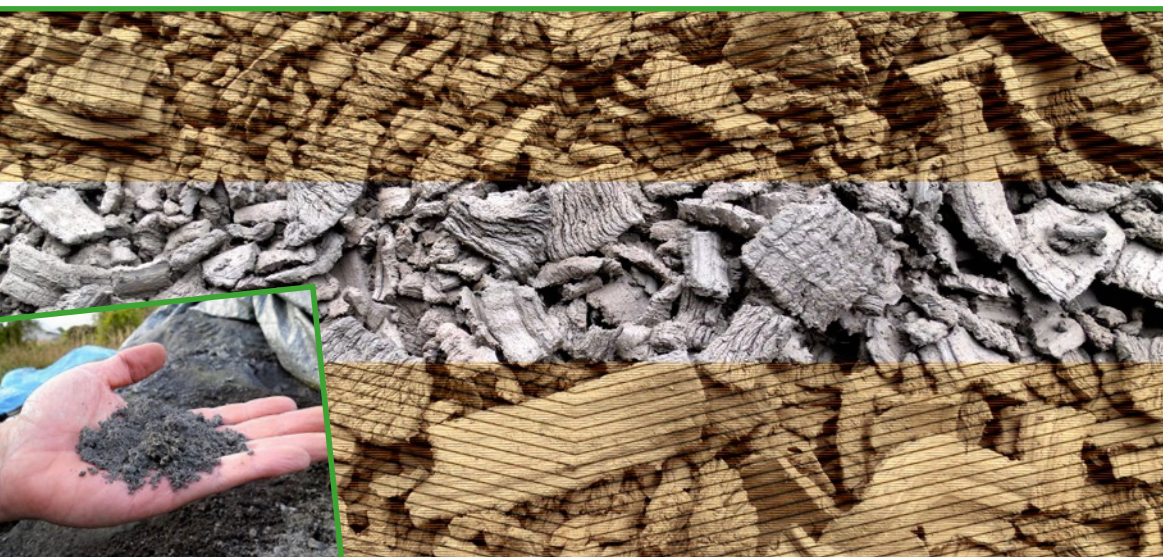
vápníku a nižšího obsahu S a Cl. Hodnota pH je dále ovlivněna spalovací teplotou a dobou skladování, neboť alkalita klesá s narůstající teplotou a dobou skladování. Při delším skladování může v popelu docházet k přeměně hydroxidů na uhličitany (Tlustoš a kol. 2014). Teplota spalování ovlivňuje i složení popela, protože se zvyšující se teplotou v popelu ubývá podíl K, S, B, Na a Cu, zatímco hladina Mg, P, Mn, Al, Fe, Si a Ca ovlivněna není. Pro hnojení je lepší použít ložové popely (viz obr. 1), protože v úletových popelech bývá vyšší množství rizikových prvků (Insam a Knapp 2011). Popel zlepšuje texturu, aeraci a vodní kapacitu půd a napomáhá rozvoji některých půdních mikroorganismů. Popel z biomasy je běžně aplikován jako hnojivo na lesní půdu v zemích jako je Německo, Švédsko a Finsko a řada experimentů dokládá jeho hnojivé účinky i na běžné zemědělské plodiny (Tlustoš a kol. 2014).



Obr. 1. Ložový popel z biomasy. Nahoře makro foto popela (vlevo) a foto pelety z popela získané s pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (vpravo); dole EDS prvková mikroanalýza živin (vlevo) a rizikových prvků (vpravo) totožné pelety. Foto J. Machač

Rozpustnost jednotlivých prvků v popelu se výrazně liší. Jsou zde jednak snadno rozpustné prvky jako K, S, B, a Na, které se v popelu vyskytují zejména ve formě solí. Následují méně rozpustné prvky, jako jsou Ca, Mg, Si a Fe. Ca je přítomen hlavně v uhličitánové formě. Nejméně rozpustný je P, který se vyskytuje jako apatit nebo ve formě Al a Fe oxidů (Augusto a kol.

2008). Dle našich analýz popela ze štěpky dosáhly výměnné koncentrace (Mehlich III) Ca 5,7%, P 0,16% a Mg 0,12%. Jak uvádí Hanzlíček a Perná (2013), s rostoucími spalovacími teplotami dochází k tvorbě ve vodě nerozpustných minerálů a využitelnost iontů z popela pro rostliny klesá. Nizká je zejména využitelnost popela při fluidním spalování, kdy teploty hoření



často přesahují 800°C. Po aplikaci popela dochází nejprve (v řádu několika týdnů až měsíců) k výrazné změně složení půdního roztoku, který je obohatěn o K, Na, Ca, Mg a SO₄. Dochází také k zvýšení pH v důsledku působení uhličitánů a hydroxidů. V dlouhodobějším horizontu (měsíců až let) přetrvává pouze zvýšená koncentrace K, Ca a Mg, ale efekt je výrazně nižší než

krátce po aplikaci. Vliv popela na dostupnost P pro rostliny je rozporuplná, mimo jiné i pro různé metodologické přístupy měření P (Augusto a kol. 2008). S ohledem na zásadité pH popela se nabízí využití tohoto hnojiva především na kyselých půdách, kde může popel nahrazovat vápenec a částečně i minerální hnojiva (Tlustoš a kol. 2014).

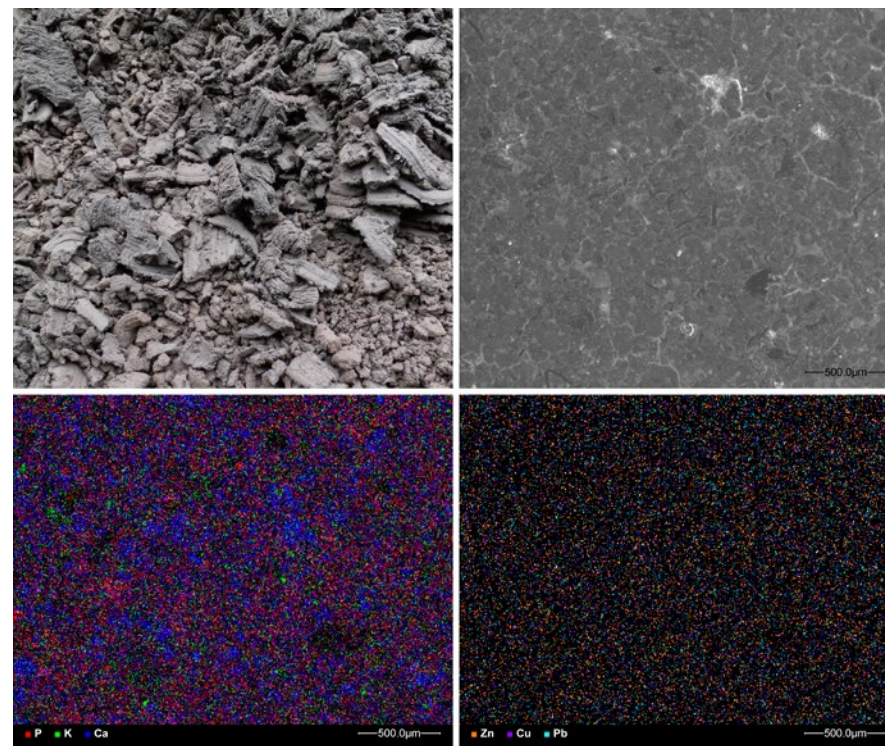
Tabulka 3. Celkové obsahy makroživin v popelu z biomasy. Převzato z Ohecová (2015)

Popel	štěpka roštový	štěpka úletový	sláma
P [%]	1,64	1,35	1,79
K [%]	7,14	8,50	25,75
Ca [%]	21,19	19,33	10,35
Mg [%]	1,98	1,59	1,62
pH	12,2	12,1	11,5

Stabilizované čistírenské kaly

Čistírenské kaly jsou složitou heterogenní suspenzí anorganických a organických látek odsazených z odpadních vod nebo vzniklých při technologických procesech čištění odpadních vod. Jsou bohatým zdrojem organické hmoty, základních živin i stopových

prvků a mohou zlepšovat fyzikálně-chemické i biologické vlastnosti půd (Kutil & Dohányos 2005, Lyčková a kol. 2008, Černý 2010). Z živin jsou v kalech významně zastoupeny především N a P, obsah K bývá většinou nízký (obr. 2).



Obr. 2. Stabilizované čistírenské kaly (SČK). Nahoře makro foto SČK (vlevo) a foto pelety z SČK získané s pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (vpravo); dole EDS prvková mikroanalýza živin (vlevo) a rizikových prvků (vpravo) totožné pelety. Foto J. Machač

Reakce kalu je převážně neutrální až alkalická. Obsah přístupných živin v čistírenských kalech je významný, ale značně variabilní mezi čistírnami, zatímco u jednotlivých čistíren je poměrně stabilní. Běžné rozpětí koncentrací prvků v čistírenských kalech uvádí tabulka 4. Produkce čistírenských kalů v ČR činila k r. 2008 cca 200 tis. tun sušiny/rok a vzhledem k budování

čistíren odpadních vod ve všech obcích nad 2 tis. obyvatel a řadě menších obcí se produkce kalů postupně zvyšuje. Odhadovaná produkce činí až 340 tis. tun sušiny za rok. Většina kalů produkovaných na čistírnách odpadních vod se zpracovává anaerobní stabilizací. Konečným produktem anaerobní stabilizace je vyhnílý kal, který obsahuje zbylé nerozložené organické

látky, anorganický podíl a kalovou vodu. Pro další využití je nutné tento kal odvodnit na co nejvyšší obsah sušiny. Navzdory značnému úbytku organických látek při anaerobní stabilizaci (do bioplynu), zůstává ve vyhnílem kalu

cca 53% organických látek. Takto stabilizovaný kal (SČK) je možno aplikovat na půdu buď přímo (termofilně stabilizovaný) nebo po další úpravě, například kompostováním, hygienizací apod. (Lyčková a kol. 2008).

Tabulka 4. Složení stabilizovaných čistírenských kalů. Data jsou sumarizována z 12 náhodně vybraných ČOV v ČR (Vojkůvková 2011 a ČOV Chrudim). Analýzy byly provedeny v letech 2008-2014. Uvedeny jsou průměrné hodnoty na hmotnost sušiny kalu, dále rozpětí min a max hodnoty (v závorce) a pro srovnání také limitní koncentrace (pro mikrobiální znečištění uvedeny hodnoty kategorie kalů II) dle vyhlášky č. 382/2001 Sb.

	Měřený parametr	Hodnoty průměr (min–max)	Limitní hodnoty [mg/kg]
	pH	7,7 (6,7–10,6)	–
živiny	N [%]	4,9 (2,4–7,3)	–
	P [%]	2,1 (1,5–2,9)	–
	K [%]	0,37 (0,15–0,60)	–
	Ca [%]	2,8 (0,83–8,2)	–
	Mg [%]	0,75 (0,74–0,77)	–
rizikové prvky	As [mg/kg]	6,4 (0,6–31,5)	30
	Cd [mg/kg]	1,2 (0,4–2,9)	5
	Cr [mg/kg]	46,1 (3,6–92,8)	200
	Cu [mg/kg]	235 (132–505)	500
	Hg [mg/kg]	1,8 (0,8–5,4)	4
	Ni [mg/kg]	28,5 (12,5–84,1)	100
	Pb [mg/kg]	37,7 (18,0–58,3)	200
	Zn [mg/kg]	875 (643–1191)	2500
	AOX [mg/kg]	391 (190–1150)	500
	PCB [mg/kg]	0,097 (0,02–0,19)	0,6
mikrobiální znečištění	enterokoky [KTJ/g kalu]	17,8 tis. (5 tis. – 88,9 tis.)	10^3 – 10^6 [KTJ/g kalu]
	termotolerantní koliformní bakterie [KTJ/g kalu]	158 tis. (8,3 tis. – 1260 tis.)	10^3 – 10^6 [KTJ/g kalu]

Hnojivý účinek kalů spočívá v obsahu organické hmoty, makroprvků (především N a P), obsahu stopových prvků a biologicky aktivních látek. Hlavním limitujícím faktorem využívání kalů v zemědělství je obsah cizorodých látek v kalech a přítomnost patogenních mikroorganismů. Z cizorodých látek jsou to především rizikové prvky (Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, As). Následují organické chlorované látky (PCB, AOX, dioxiny aj.), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a dále organické sloučeniny, jako jsou alkylsulfafenoly, polyfenoly, farmaceutika, pesticidy, endokrinní disruptory a další. V kalech se vyskytují také mikroorganismy (včetně patogenních) pocházející z čistírenského procesu nebo z jiných zdrojů (Hýblerová 2005, Černý 2010). Jak uvádí ÚKZUZ na webových stránkách eAGRI (viz odkaz ÚKZUZ), při pH, které kaly obvykle mají, se rizikové prvky v kalech vyskytují ve velké míře v nerozpustné formě. Mobilita a biologická dostupnost rizikových prvků není v přímé korelaci s jejich celkovou koncentrací v kalu ani v půdě a závisí hlavně na chemických a fyzikálních vlastnostech systému kal – půda. Dostupnost rizikových prvků pocházejících z čistírenských kalů klesá v pořadí (Cd + Zn) > (Ni + Cu) > (Pb + Cr), což souvisí s různě silnou afinitou těchto prvků vůči půdním

částicím. Kovy pocházející z čistírenských kalů jsou akumulovány převážně v povrchových vrstvách půdy a nejdostupnějším pro organismy je Zn. Dle údajů z r. 2010 činila přímá aplikace SČK na půdu či při rekultivacích v ČR cca 25% celkového množství vyprodukovaných kalů (Poláková a kol. 2010).

Celkové množství P (stanovený jako P_2O_5) se v SČK pohybuje v rozmezí 0,5–4,0% (Fečko 1999). Dusík se v kalech vyskytuje jako minerální (NH_4^+ , NO_3^-) i organicky vázaný. Celkové množství N činí 2–6% sušiny. Běžně je v čistírenských kalech většina minerálního N ve formě amonné (až 90%), jestliže byly kaly ošetřeny anaerobním způsobem. Tuto formu N přitom RRD preferují, viz oddíl „Efekt různých forem N a P“. Ve stabilizovaných odvodněných čistírenských kalech tvoří obsah minerálního N 10% z celkového obsahu N, v tekutých kalech však představuje obsah minerálního N 25–50% z celkového obsahu dusíku. Organický N zahrnuje hlavně aminokyseliny, což je ovlivněno převažujícím obsahem látek bílkovinné povahy.

Ačkoli SČK obsahují v přepočtu na sušinu 2–3 násobek organických látek než chlévský hnůj, stabilita organických látek je nižší a rychlost jejich rozkladu (mineralizace) je ve srovnání s hnojem vyšší. To je dáno nižším poměrem C/N a nižším stupněm

humifikace u SČK. Naopak ve srovnání s rostlinnými zbytky představují SČK stabilnější organické hnojivo. Po aplikaci čistírenských kalů do půdy je tak organický N poměrně rychle mineralizován mikroorganismy. U dusíku v organických vazbách čistírenských kalů je uváděn poločas rozkladu jeden rok (Černý 2010). Přitom kompostované čistírenské kaly a kaly s vyšším poměrem C:N uvolňují N pomaleji než

nekompostované kaly nebo kaly s nízkým poměrem C:N (Adegbiđi & Briggs, 2003).

SČK lze na půdu aplikovat s pomocí běžných rozmetadel s návazným zaoráním. Použití SČK musí být v souladu se zákonem č. 156/1998 Sb. a dalšími platnými legislativními předpisy, jak pojednává sekce „Legislativní rámec použití popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů v ČR“.



Využitelnost popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů pro hnojení výmladkových plantáží RRD

Experimenty s hnojením plantáží RRD popelem z biomasy a čistírenskými kaly proběhly v řadě zemí. Po aplikaci popela z biomasy v dávce 10–20 t/ha (každoroční aplikace tři roky po sobě) na plantáž osázenou *Salix dasyclados* (klon SP3) v USA došlo ve svrchní vrstvě půdy (0–10 cm) k nárůstu pH o 0,8–1 a průkaznému zvýšení extrahovatelného P, K, Ca a Mg. Přes tyto efekty zůstal výnos biomasy beze změny, což autoři přisuzují absenci N (Park a kol. 2005). K podobným závěrům došli Headlee & Hall (2014) u hybridních topolů. Ani na plantáži mírně kontaminované rizikovými prvky (As, Cd, Pb, Zn) blízko Příbrami nevedla samotná aplikace popela ze slámy v dávce 7,5 t/ha k zvýšení výnosu dvou testovaných klonů, S-218 (*S. × smithiana*) a J-105 (*P. maximowiczii* × *P. nigra*), ve dvou sledovaných sezónách (Mrnka, nepublikovaná data). Nicméně zkušenosti při aplikaci popela na lesní půdě ukazují, že po aplikaci popela často následuje klidová

(lag) fáze než dojde k pozitivní růstové odezvě, což se klade do souvislosti s imobilizací P při vyšším půdním pH (Pitman 2006). Pozitivní růstové odezvy na aplikaci popela jsou v lesních ekosystémech také pozorovány častěji na organických než minerálních půdách. Aplikace popela běžně zvyšuje listovou koncentraci K, Ca a B a na minerálních půdách i listovou koncentraci P (Augusto a kol. 2008). Pokud jde o hnojení plantáží RRD čistírenskými kaly, jejich efekt v průměru předčí hnojení minerálními hnojivy (Marron 2015). Lazdina a kol. (2007) pozorovali výrazné zvýšení biomasy *Salix viminalis* (klon neuvádí) a méně výrazné zvýšení biomasy u hybridního klonu Sven (*S. viminalis* × (*S. schwerinii* × *S. viminalis*)) po aplikaci neodvodněných čistírenských kalů v dávce 70 t/ha (odpovídá 700 kg N/ha). Počet výhonů hnojením čistírenskými kaly ovlivněn nebyl. Pozitivně na hnojení kompostovanými čistírenskými kaly odpověděla také

většina klonů *S. viminalis* a *S. dasyclados* testovaných ve studii Holm & Heinsoo (2013). Nicméně jeden klon *S. viminalis* na hnojení nereagoval, což ukazuje na genotypovou podmíněnost odpovědi na hnojení. Hasselgren a kol. (1998) pozorovali zvýšený výnos biomasy vrb po aplikaci SČK a jako optimální dávku doporučili 5 t sušiny SČK/ha a rok, neboť pokrývá živinové potřeby vrb a neohrožuje spodní vodu. Zároveň konstatovali, že dávky do 20 t/ha a rok neovlivňují negativně ujmavost a růst rostlin, a že při hnojení SČK nastaveném na optimální pokrytí živinových nároků vrb na N jsou ostatní prvky (P, Ca, Mg a některé mikroživiny) obvykle v přebytku, zatímco chybí K. Hýblerová (2005) naměřila zvýšení průměrné výšky topolů o 6,5–15,3% a průměru kmínků topolů o 12,7–31,8% na výmladkové plantáži po jednorázové a dvojí aplikaci neodvodněných čistírenských kalů. Výrazný nárůst výnosu biomasy u vybraných topolových a vrbových klonů po aplikaci čistírenských kalů v dávce 75 t (čerstvá hmotnost)/ha pozorovali také Mrnka a kol. (2011) na ploše mírně až středně kontaminované rizikovými prvky (Cd, Pb, Zn). I tyto autoři zjistili výrazné rozdíly v odpovědi různých klonů na hnojení kaly, přičemž nejvýrazněji akcelerovaly kaly růst hybridního vrbového klonu Tordis (*S. schwerinii* × *S. viminalis*) × *S. viminalis*) (o 400%),

následovaly klony S-218 (*S. × smithiana*) a J-105 (*P. maximowiczii* × *P. nigra*) (cca 200%) a klon Wolterson (*P. nigra*) na přihnojení prakticky nereagoval. Kromě pozitivního vlivu na výnos biomasy byl pozorován pozitivní vliv aplikace kalů na přežívání stromů, listovou plochu, stimulaci kolonizace jemných kořenů mykorrhizními symbiotickými houbami a zvýšení absorpce P a N stromy (Marron 2015).

Samotný popel i kaly představují nevyvážené hnojivo, protože popel prakticky neobsahuje N, ačkoli je bohatý na jedno- i di-valentní kationty a kaly sice obsahují značné množství N a P, ale málo K. Proto je vhodné obě tato hnojiva kombinovat, což se využívá např. v severských zemích.

Ve skandinávské praxi se dávky směsi popela a kalů pohybují v rozmezí 22–35 kg P/ha.rok. Aplikace směsi popela a kalu obvykle vede k mírnému zvýšení pH (Dimitriou a kol. 2006). Hnojení směsí popela a kalů zvýšilo produkci vrbové biomasy o 9–13% na dvou švédských lokalitách po 3 letech od aplikace (Adler a kol. 2008). Ve studii Tripathi a kol. (2012) ke zvýšení výnosu biomasy u hybridního klonu topolu J-105 (*P. maximowiczii* × *P. nigra*) po hnojení směsí kalů a popela nedošlo. Podobně neefektivní ovšem byla i další hnojiva, což indikuje dostatečnou půdní živinovou zásobu v této studii. K podobnému závěru došli i Moffat a kol. (2001), kteří také

nezaznamenali vliv SČK na výnos biomasy dvou klonů topolů (*P. trichocarpa* × *P. deltoides* "Beaupré" a *P. trichocarpa* "Trichobel") na živinově dostatečně zásobeném stanovišti. Aplikace směsi kalů a popela zlepšuje také půdní mikrobiologické parametry a mění půdní mikrobiální komunitu. Příliš vysoké dávky nicméně mohou vést

k úniku dusičnanů a zvýšené zasolenosti půd (Insam a kol. 2009). Při aplikaci kalů v dávce překračující 120 kg N/ha.rok (zejména jednorázové dávky kalů odpovídající 240 kg N/ha či 360 kg N/ha) na plantáži osázené vrbovým hybridním vrbovým klonem Tordis bylo pozorováno výraznější vyplavování N (Sevel a kol. 2014).

Legislativní rámec použití popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů v ČR

Použití popela pro hnojení zemědělské půdy upravuje vyhláška č. 131/2014, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv. Popely ze samostatného spalování biomasy je možné využívat na zemědělské půdě, pokud

nejdou překročeny limitní hodnoty rizikových prvků a látek (tab. 5). Maximální aplikační dávka popele ze samostatného spalování biomasy je stanovena na 2 t/ha za 3 roky, přičemž v témže roce nesmí dojít k souběžnému použití popele a upravených kalů nebo sedimentů. Pro určení množství aplikovaného popele je třeba vycházet z rozboru popela ne staršího než 1 rok.

Tabulka 5. Limitní hodnoty rizikových prvků v popelu ze samostatného spalování biomasy dle vyhlášky č. 131/2014 Sb. PAU = polycyklické aromatické uhlovodíky.

Prvek	Limitní hodnoty [mg/kg sušiny]
As	20
Cd	5
Cr	50
Hg	0,5
Pb	50
PAU	20

Pokud jde o SČK, je dle současné legislativy (viz oddíl „Přehled platné legislativy“) objem kalů přímo použitelných k hnojení zemědělské půdy značně omezen a to kvůli přítomnosti toxických prvků, rizikových organických látek a patogenních mikroorganismů (Vojkůvková 2011).

Zákon o hnojivech č. 156/1998 Sb. s návaznými vyhláškami uvádí podmínky za kterých nesmí být kaly na půdu aplikovány a zemědělským podnikatelům ukládá povinnost vést evidenci o upravených kalech použitých na zemědělské půdě (viz níže), včetně povinnosti informovat nejméně 14 dní před jejich použitím Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) prostřednictvím formuláře uvedeného v příloze 5 vyhlášky č. 377/2013 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Evidenční list uchovává nejméně 7 let. Kalem se nesmí hnojit v ochranném pásmu vodních zdrojů. Ve vnější části druhého stupně ochranného pásma vodních zdrojů se smí aplikovat kal pouze v omezené míře a to jen při výslovném souhlasu vodoprávního úřadu. Kal se také nesmí dostat do půd trvale zamokřených, odvodněných (po dobu 3 let od výstavby drenáže) a na pozemky nacházející se v inundanci neboli povodňové zóně. Kal dále nesmí přijít na půdy s pH nižším než 5,6 (při nízkém pH se zvyšuje mobilita kovů). Množství sušiny kalů nesmí přesáhnout 5 t/ha v průběhu 3 po sobě jdoucích let (může být však navýšeno až

na 10 t/ha v průběhu 5 po sobě jdoucích let pokud použité kaly obsahují méně než polovinu limitního množství každé ze sledovaných rizikových látek a prvků). Přesná dávka sušiny, kterou je možné aplikovat, se vypočte ze zjištěného obsahu N. Dávka N dodaného v kalech nesmí překročit 70% celkového potřebného množství N pro hnojenou plodinu. Pro RRD zákon potřebné množství nestanovuje a lze vyjít např. z údajů uvedených v této metodice. Dále nesmí být přesaženy mezní hodnoty koncentrace rizikových látek a prvků v půdě (viz tabulka 6 níže) a kaly musí být do 48 h po aplikaci zapraveny do půdy. Potřeba dodání živin do půdy na pozemku určeném k umístění kalů musí být doložena výsledky rozborů agrochemických vlastností půd uvedenými v evidenčním listu využití kalů v zemědělství podle přílohy č. 1 vyhlášky č. 382/2001 Sb. v upraveném znění č. 504/2004 Sb. V potaz mohou být vzaty i listové koncentrace prvků u RRD jako indikátorů potřeby hnojení (viz tato metodika). Případná kontrola je uznána. Evidenční list využití kalů v zemědělství je součástí Programu použití kalů a je uložen u původce kalů (ČOV apod.). Aplikace kalů byla původně evidována na základě Evidenčního listu okresním úřadem, později (po novele vyhlášky č. 382/2001 Sb. v roce 2004) obecním úřadem obce s rozšířenou působností. Kontrolu při dodržování povinností při používání kalů ČOV vykonává

Ministerstvo zemědělství (MZe) prostřednictvím ÚKZÚZ. Odběry a analýzy vzorků půdy (dále jen „monitoring půdy“) na pozemcích určených k použití kalů a odběry a analýzy vzorků

kalů (dále jen „monitoring kalů“) zajišťují původci kalů. Návrh monitoringu půdy a kalů na pozemcích určených k použití kalů je součástí programu použití kalů na zemědělskou půdu.

Tabulka 6. Mezní hodnoty celkové koncentrace rizikových látek v SČK a půdě dle vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb.

Riziková látka	Mezní koncentrace v kalech [mg/kg sušiny]	Mezní koncentrace v půdě [mg/kg sušiny]	
		běžné půdy	písky, hlinité písky, štěrkopísky
As	30	20	15
Cd	5	0,5	0,4
Cr	200	90	55
Cu	500	60	45
Hg	4	0,3	0,3
Ni	100	50	45
Pb	200	60	55
Zn	2500	120	105
AOX	500		
PCB (suma kongenerů)	0,6		



Přehled platné legislativy

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů (použití kalů se týká § 33)

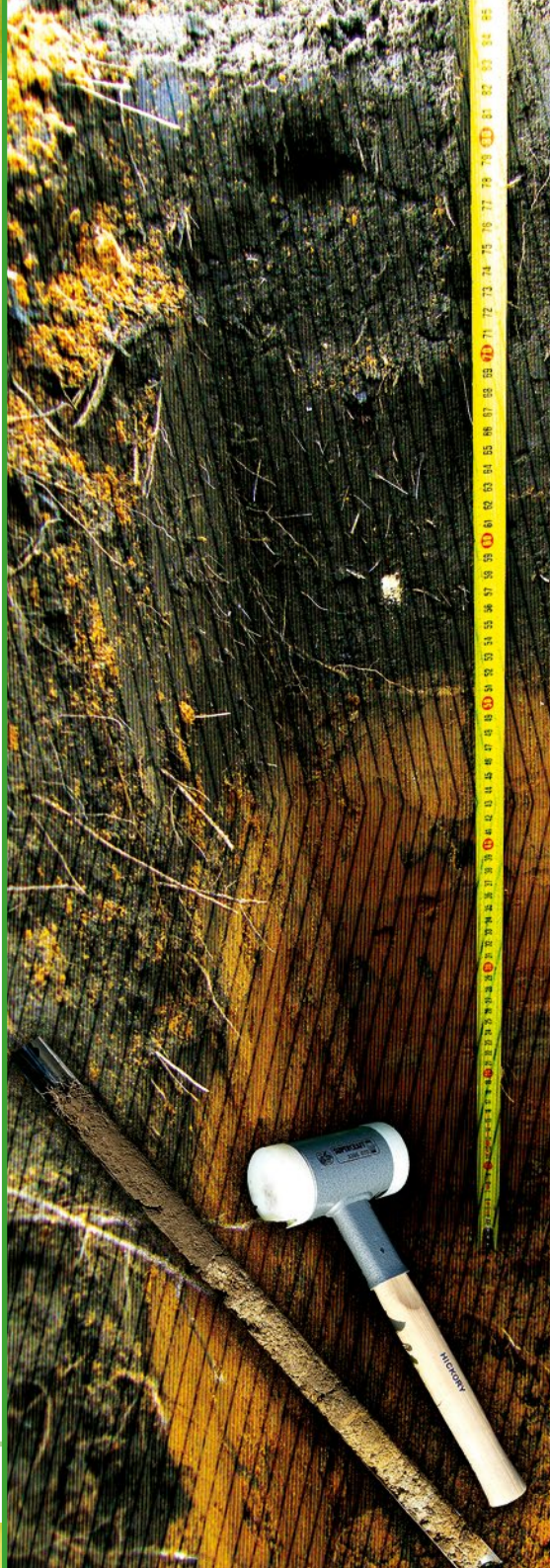
Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů (novela zákona č. 263/2014 Sb.)

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě ve znění upraveného předpisu č. 504/2004 Sb.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv (kalů se týká § 9–10)

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 131/2014, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů.



Doporučený postup aplikace popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů

Níže doporučený postup aplikace odpadů využitelných ke hnojení vychází z předpokladu, že se na danou plantáž RRD nevztahují legislativní omezení pro aplikaci těchto odpadů. Pro posouzení vhodnosti jejich aplikace na konkrétní lokalitě postupujte dle rozhodovacího algoritmu uvedeného v příloze 1. Pokud plantáž vyhovuje požadovaným kritériím, je třeba získat aktuální výsledky agrochemického zkoušení půd (AZP; poskytuje ÚKZUZ za správné poplatky), nebo si nechat udělat vlastní půdní analýzy (v případě delšího odstupu od výsledků AZP). Koncentrace P a K v půdě jsou poměrně stabilní a lze je stanovit celoročně (stanovují se výměnné koncentrace ve výluhu Mehlich III). Jelikož stanovení N není součástí AZP, jsou vlastní analýzy N nutností, neboť jde o živinu, která má největší vliv na výnos plantáže. Pro účely této metodiky se stanovuje minerální N (tj. suma amonných a dusičnanových iontů) a to v předjaří v horním profilu půdy (0–30 cm). Časové období na přelomu zimy a jara (únor–březen) je důležité, neboť jde o dočasně stabilní hodnoty, které jinak vykazují značnou sezónní dynamiku. Půdní analýzy je vhodné doplnit i o prvkové analýzy listů převažujícího vysazeného klonu RRD, protože jde o citlivější indikátor nedostatku živin než půdní analýzy. Listové analýzy je potřeba z pochopitelných důvodů provést v roce předcházejícím aplikaci hnojiv a to

na listech odebraných v polovině července až polovině srpna. I zde je uvedené období odběru vzorků s ohledem na sezónní vlivy důležité. Doporučené počty odebíraných vzorků jsou uvedeny v oddíle „Ekonomické aspekty“. Získaná data (půdní a případně listová) porovnejte s tabulkou 7 této metodiky, v níž jsou uvedeny potřebné dávky hnojení jednotlivými živinami. Tyto jsou nastaveny na dvě úrovně, vyšší a nižší, podle míry deficitu živin. Pro volbu doporučené hnojící dávky stačí, pokud naměřená koncentrace daného prvku klesne pod jednu z uvedených mezních koncentrací, tj. buď půdní, nebo listovou; není nutné, aby byly splněny obě zároveň. Pokud byly analyzovány listy RRD, spočítejte poměr koncentrací N:P. Je-li poměr N:P < 14, jde o indikaci nedostatku N. V takovém případě aplikujte SČK i pokud budou mezní půdní a listové koncentrace jednotlivých prvků v normě. Půjde-li o jediný indikátor nedostatku N, aplikujte nižší z doporučených dávek živin dle tabulky č. 7. Pokud bude poměr listových koncentrací N:P > 16, indikuje to nedostatek P, který může být kryt aplikací popela. I v tomto případě použijte nižší ze dvou nabízených dávek živin v tabulce č. 7, jde-li o jediný indikátor deficitu P. Následně je potřeba zajistit konkrétní dodavatele popela a SČK a získat aktuální rozbor těchto odpadů (ne starší než 1 rok). Na základě těchto dat je pak možné spočítat potřebnou dávku hnojení. Konkrétní postup výpočtu dávky a volba poměru obou odpadů (popel a SČK) je uveden v příloze 2 této metodiky. S ohledem

na stávající legislativu není možné v jednom roce souběžně aplikovat popel ze samostatného spalování biomasy a upravené kaly či sedimenty, ačkoli to je běžnou praxí ve skandinávských zemích. Nutná je tudíž dvoufázová aplikace, kdy v prvním roce (rok výsadby či rok smýcení porostu) je aplikován popel a v následujícím roce čistírenské kaly. Podobným způsobem se postupuje i po každém obmýtí. Při obráceném postupu je zvýšené riziko silnějšího tlaku plevelů a ztráty N (Mortensen a kol. 1998, Balasus a kol. 2012). Pokud jde o způsob aplikace SČK a popela, doporučujeme jejich aplikaci do

pásu přiléhajícího k výsadbovému řádku (šířka pásu do 50 cm). Vyšší efekt pásové aplikace ve srovnání s celoplošnou aplikací pozorovali Brown & van den Driessche (2005) a potvrzuje to i naše praxe (nepublikovaná data MFI-ekoimpex s r.o.). V případě zakládání plantáže na pozemku s trvalým travním porostem doporučují Jug a kol. (1999) orbu i vlastní výsadbu provést pouze v pásech a meziřadí nechat zatravněné a to s ohledem na nežádoucí rychlou mineralizaci a nitrifikaci spojenou se zvýšenou mikrobiální aktivitou při celoplošné orbě travního porostu.

Tabulka 7. Doporučené dávky živin na základě půdních a listových analýz. Uvedené mezní půdní koncentrace P a K jsou výměnné, stanovené ve vyluhu Mehlich III. V případě půdního N je uvedena minerální koncentrace (suma iontů NH_4^+ a NO_3^-) stanovená v předjaří. Koncentrace prvků v listech jsou celkové.

RRD	Prvek	Mezní koncentrace prvku v půdě [mg/kg]	Mezní koncentrace prvku v listech [mg/g]	Doporučená dávka živin [kg/ha a rok]
Vrby	N	≤ 6	≤ 23	80
		≤ 20	≤ 29	50
	P	≤ 50	≤ 1,5	12
		≤ 100	≤ 2,1	6
	K	≤ 100 lehké půdy ≤ 150 těžké půdy	≤ 8,5	35
		≤ 160 lehké půdy ≤ 200 těžké půdy	≤ 11	22
Topoly černé a jejich hybridy s balzámovými topoly	N	≤ 6	≤ 23	80
		≤ 20	≤ 29	50
	P	≤ 50	≤ 1,4	12
		≤ 100	≤ 2,0	6
	K	≤ 100 lehké půdy ≤ 150 těžké půdy	≤ 8,5	35
		≤ 160 lehké půdy ≤ 200 těžké půdy	≤ 11	22
Topoly balzámové	N	≤ 5	≤ 18	60
		≤ 16	≤ 22	40
	P	≤ 50	≤ 1,2	10
		≤ 100	≤ 1,8	5
	K	≤ 100 lehké půdy ≤ 150 těžké půdy	≤ 7,5	35
		≤ 160 lehké půdy ≤ 200 těžké půdy	≤ 9,5	22

Shrnutí a závěr

Rostoucí zájem o pěstování RRD jde v ruku v ruce s celosvětově se zvyšující poptávkou po produkci obnovitelné energie. Ačkoli RRD patří mezi živinově nenáročnou plodinu, setrvalá produkce biomasy vyžaduje doplňování půdních živin prostřednictvím vhodných hnojiv. Stabilizované čistírenské kaly a popel z biomasy představují odpady bohaté na živiny a v této metodice předkládáme na základě rozsáhlého souboru publikovaných studií kompletní návod jak použít tyto odpady ve vhodném poměru coby plnohodnotné hnojivo plantáží RRD. Jejich pří-
má aplikace v zemědělství je nicméně

značně omezena kvůli nezanedbatelnému obsahu rizikových látek a v České republice je nakládání s těmito odpady předmětem několika zákonných norem. Tato metodika je s nimi plně v souladu. Specifikuje doporučené hnojivé dávky kalů a popela (na základě půdních a listových prvkových koncentrací a druhové identity použitých RRD), časovou posloupnost a způsob jejich aplikace. Na základě jednoduché kalkulace odvozené z tabulkových hodnot dospěje pěstitel k rychlému odhadu potřeb hnojení dané plantáže i jejich pokrytí prostřednictvím zmíněných odpadů. Metodika byla certifikována Ministerstvem zemědělství ČR.



Příloha 1. Rozhodovací algoritmus pro použití popela a SČK

Výchozí stav: existující výmladková plantáž RRD (nebo pozemek vybraný pro plantáž RRD), provedené půdní (případně i listové) analýzy

1. Plyne z analýz potřeba plantáž hnojit?
 - ANO → 2.
 - NE → 3.
2. Nachází se plantáž na půdách....
 - a) trvale zamokřených?
 - ANO → 4.
 - NE → 2b)
 - b) v inundaci (povodňové zóně)?
 - ANO → 4.
 - NE → 2c)
 - c) v ochranném pásmu vodních zdrojů?
 - ANO → 4.
 - NE → 2d)
 - d) které jsou součástí chráněných území přírody a krajiny podle zákona č. 114/1992 Sb.?
 - ANO → 4.
 - NE → 2e)
 - e) s hodnotou výměnné půdní reakce nižší než pH 5,6?
 - ANO → 4.
 - NE → 2f)
 - f) u níž překračují koncentrace rizikových látek limity dle vyhlášky č. 382/2001 Sb.?
 - ANO → 4.
 - NE → 5.

3. Nehnojit

4. Použití SČK není možné, zvolit jiné vhodné hnojivo

5. Použití SČK je možné, postupovat dle bodů a) až d)

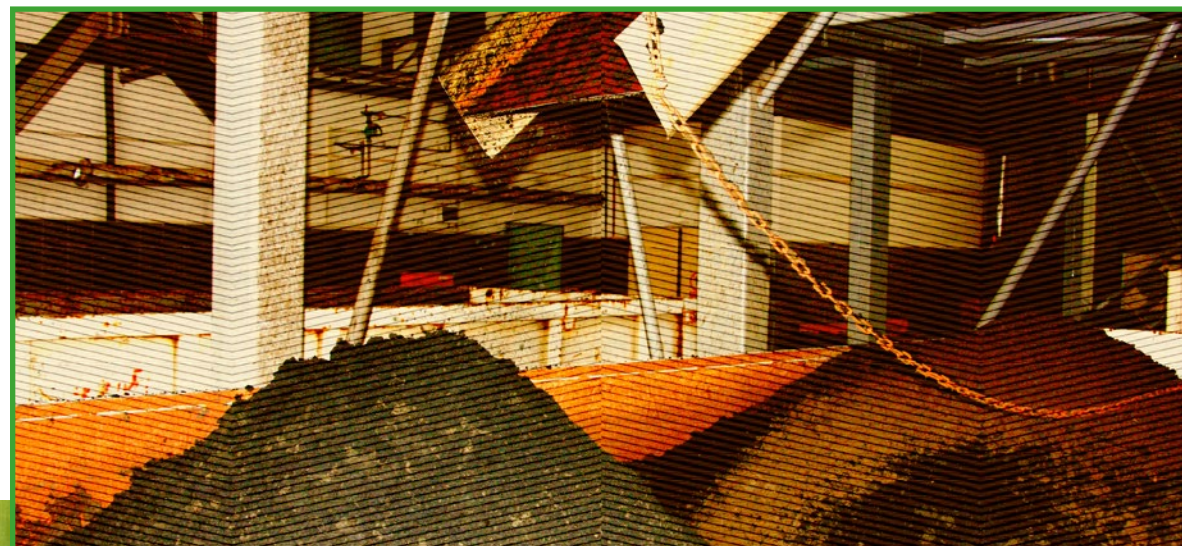
- a) nalézt vhodné dodavatele SČK a popela a získat aktuální rozborů těchto odpadů
- b) posoudit zda SČK a popel vyhovují povoleným mezním koncentracím dle vyhlášky č. 382/2001 Sb. (SČK) a dle vyhlášky č. 131/2014 Sb. (popel); pokud ne, najít jiného dodavatele
- c) spočítat potřebné dávky a poměr obou odpadů
- d) dohodnout s producentem SČK zahrnutí aplikace SČK do programu na použití čistírenských kalů a realizaci odběrů a analýz půd
- e) v prvním roce (rok výsadby nebo smýcení porostu) aplikovat popel
- f) v následujícím roce po roce výsadby či smýcení porostu
 - i. informovat ÚKZUZ o plánované aplikaci SČK (nejméně 14 dní předem)
 - ii. v předjaří provést aplikaci SČK v jedné agrotechnické operaci a v jednom souvislém časovém období za příznivých fyzikálních a vlhkostních podmínek (kal zapravit do 48h)

Příloha 2. Výpočet potřebné dávky hnojiv

Při výpočtu potřebných dávek popela z biomasy a SČK vycházíme z živinových dávek jednotlivých prvků stanovených na základě tabulky 7. Tyto dávky představují spolu s délkou obměty a rozbořem popela a SČK vstupní data pro výpočet.

Nejprve si z doporučených živinových dávek odečteme z tabulky 7 na základě půdních a případně i listových analýz spočítáme poměry N:P, N:K a K:P prostým vydělením doporučených dávek daných živin. Získané poměry porovnáme s tabulkou 8 a dále pokračujeme výpočtem dávek odpadů dle čísla vzorce uvedeného v řádku odpovídajícím živinovým poměrům. Dalším důležitým indikátorem je kromě samostatných koncentrací prvků N a P v listech i poměr těchto koncentrací. Pokud máte k dispozici výsledky listových analýz, spočítejte z uvedených koncentrací poměr N:P. Je-li výsledná

hodnota nižší než 14, jde o indikaci nedostatku N, je-li vyšší než 16, indikuje to naopak nedostatek fosforu. Na nedostatek těchto živin mohou zároveň ukazovat limitní listové koncentrace jednotlivých prvků nebo půdní analýzy, ale nemusí tomu tak být vždy. Pokud je poměr N:P jediným indikátorem nevyvážené výživy, aplikujte nižší dávku odpadů dle tabulky č. 7. Při nedostatku N aplikujte SČK, při nedostatku P hnojte popelem, přičemž pro výpočet dávky hnojiv použijte odpovídající vzorce dle tab. 8. Spočtené dávky popela a SČK srovnajte s maximálními povolenými dávkami dle zákona a tyto nepřekračujte. Je-li rozdíl mezi spočtenými a zákonem povolenými dávkami velký a plantáže by se dostaly do živinového deficitu, pokuste se najít dodavatele SČK s nižším obsahem rizikových látek, který umožní aplikaci 10 t SČK/ha.5let (viz vyhláška č. 382/2001 Sb.) nebo dohnojte v mezidobí minerálními hnojivy.



Tabulka 8. Výběr vzorce pro výpočet dávky hnojiv (popel, SČK).

Varianta	Poměry			Deficit	Hnojit	Výpočetní vzorec
	N:P	N:K	K:P			
1	-	-	-	pouze N, případně N i P	pouze SČK	1
2	-	-	-	pouze P nebo K, případně P i K	pouze popel	2a, 2b
3	<5	<2,5	<2,5	P (méně N, K)	poměr popel:SČK 2:1	3
4	<5	<2	>2,5	P, K (méně N)	poměr popel:SČK 2:1	3
5	>7	<2	>5	K (méně N, P)	poměr popel:SČK 2:1	3
6	>10	>2,5	>3,5	N (méně P, K)	poměr SČK:popel 4:1	4
7	<7	>2,5	<3,6	N, P (méně K)	poměr SČK:popel 4:1	4
8	<7	<2,5	<2,5	N, P, K	poměr SČK:popel 4:1	4

Vlastní výpočet dávky hnojiv

Vstupní data

N_c = navržená dávka hnojení N [kg/ha.rok] dle tab. 7, P_c = navržená dávka hnojení P [kg/ha.rok] dle tab. 7, K_c = navržená dávka hnojení K [kg/ha.rok] dle tab. 7

O = předpokládaná délka obmýetí (běžně 3–6 let)

N_k = obsah N v SČK [%], P_k = obsah P v SČK [%], K_k = obsah K v SČK [%]

N_p = obsah N v popelu [%], P_p = obsah P v popelu [%], K_p = obsah K v popelu [%]

Poznámka: pokud je obsah prvků uveden v dodaném rozboru v mg/kg je nutno pro přepočet na procenta hodnoty v mg/kg dělit 10000 (tj. např. 100 mg/kg = 0,01%)

Výpočetní vzorec 1:

Dávka SČK = $(0,1 \cdot N_c \cdot O) / (N_k)$

Výpočetní vzorec 2a (pro deficit P, případně P a K):

Dávka popel = $(0,1 \cdot P_c \cdot O) / (P_p)$

Výpočetní vzorec 2b (pro deficit K):

Dávka popel = $(0,1 \cdot K_c \cdot O) / (K_p)$

Výpočetní vzorec 3:

Dávka SČK = $(0,1 \cdot P_c \cdot O) / (2 \cdot P_p + P_k)$

Dávka popel = 2x dávka SČK

Výpočetní vzorec 4:

Dávka SČK = $(0,4 \cdot N_c \cdot O) / (4 \cdot N_k + N_p)$

Dávka popel = 0,25x dávka SČK

Příklad č. 1:

Výsledky půdních analýz ploch připravených k založení plantáže RRD (dominantní klon bude topol *P. maximowiczii* × *P. nigra* J-105, tj. hybrid černého a balzámového topolu) ukázaly hodnoty N_{min} 17 mg/kg, P 42 mg/kg a K 154 mg/kg. Na základě zrnitostního složení byla půda klasifikována jako lehká, hlinito-písčítá. Listové analýzy RRD k dispozici před založením plantáže nejsou, plánované obmýetí činí 5 let.

Postup:

Podle tabulky 7 této metodiky je na základě půdních analýz odečtena potřebná dávka hnojení ve výši 50 kg N/ha.rok (= N_c), 12 kg P/ha.rok (= P_c), 22 kg K/ha.rok (= K_c). Z těchto dávek spočteme poměry pro jednotlivé živiny, které činí: N:P 4,2; N:K 2,3; K:P 1,8. Půda má tedy dle tabulky 8 této metodiky primárně deficit P, méně N a K (varianta 3). Předpokládáme, že na základě rozhodovacího algoritmu uvedeného v příloze 1 této metodiky je hnojení plantáží směsí SČK

a popela možné. Pěstitel sehnal dodavatele SČK i popela, od nichž získal aktuální rozbor SČK a popela z biomasu. Hodnoty makroživin činí: N_k = 5%, P_k = 2%, K_k = 0,4%, N_p = 0,05%, P_p = 1,5%, K_p = 8%, koncentrace rizikových prvků a látek jsou v normě. Podle tabulky 8 této metodiky bude pěstitel postupovat při stanovení dávky hnojiv dle vzorce 3. Dávka SČK bude činit $(12,5/10)/(2 \cdot 1,5 + 2) = 1,2$ t sušiny SČK/ha. Dávka popela by dle výpočtu byla dvojnásobná, tj. 2,4 t sušiny popela/ha, ale kvůli zákonnému limitu (vyhláška č. 131/2014 Sb.) bude snížena na 2 t/ha. Popel bude aplikován při výsadbě, SČK pak další rok. Do půdy se při aplikaci spočtených dávek obou odpadů dostane celkem 12,2 kg N/ha.rok, 10,8 kg P/ha.rok a 33 kg K/ha.rok, což představuje 24% N, 90% P a 150% K dávek doporučených na základě tabulky 7. Primární deficit P je tedy kryt téměř zcela, N zčásti a K více než dostatečně. Pokud bude pěstitel chtít dorovnat deficit N, může tak učinit prostřednictvím minerálního

dusíkatého hnojiva (např. různé ledky nebo močovina).

Příklad č. 2:

Výsledky půdních analýz plantáže RRD před smýcením porostu (dominantní klon je vrba *S. × smithiana* S-218) ukázaly hodnoty N_{min} 6 mg/kg, P 62 mg/kg a K 191 mg/kg. Na základě zrnitostního složení byla půda klasifikována jako těžká, jílovito-hlinitá. Listové analýzy RRD jsou k dispozici (N 22 mg/g, P 2,1 mg/g a K 17 mg/g), plánované obmýtí činí 4 roky.

Postup:

Podle tabulky 7 této metodiky je na základě půdních analýz odečtena potřebná dávka hnojení ve výši 80 kg N/ha.rok (=N_c), 6 kg P/ha.rok (=P_c), 22 kg K/ha.rok (=K_c). Z těchto dávek spočteme poměry pro jednotlivé živiny, které činí: N:P 13,3; N:K 3,6; K:P 3,7 (varianta 6). Analýzy tedy dle tabulky 8 této metodiky indikují primárně deficit N, méně P a K. Poměr listových koncentrací N:P činí 10,5, je tedy nižší než 14, což potvrzuje deficit N. Předpokládejme, že na základě rozhodovacího algoritmu uvedeného v příloze 1 této metodiky je hnojení plantáží směsí SČK a popela možné. Pěstitel sehnal dodavatele SČK i popela, od nichž získal aktuální rozbor SČK a popela z biomasy. Hodnoty makroživin činí: N_k = 5%, P_k = 2%, K_k = 0,4%, N_p = 0,0%, P_p = 1,5%, K_p = 8%, koncentrace rizikových prvků

a látek jsou v normě. Podle tabulky 8 této metodiky bude pěstitel postupovat při stanovení dávky hnojiv dle vzorce 4. Dávka SČK bude činit $= (0,4 \cdot 80,4) / (4,5 + 0,0) = 6,4$ t sušiny SČK/ha. Dávka popela bude čtvrtinová, tj. 1,6 t sušiny popela. S ohledem na maximální dávku SČK povolenou zákonem (vyhláška č. 382/2001 Sb.) bude dávka SČK snížena na 5 t/ha. Pokud ovšem jsou koncentrace rizikových prvků v SČK od daného dodavatele pod polovinou limitního množství každé ze sledovaných rizikových látek a prvků, zákon umožňuje aplikaci 10 t/ha. 5let a v takovém případě nebude dávka SČK krácena. Popel bude aplikován v roce smýcení porostu, SČK pak na začátku následující sezóny. Do půdy se při aplikaci spočtených dávek obou odpadů dostane celkem 62,7 kg N/ha.rok, 31 kg P/ha.rok a 37 kg K/ha.rok, což představuje 78% N, 517% P a 168% K doporučených na základě tabulky 7. Primární deficit N je tedy kryt z větší části, u P a K více než dostatečně. Výrazný přebytek P oproti plánované dávce nepředstavuje problém, jde o málo rozpustný prvek v dávce nižší než běžné pro zemědělské plodiny (Trávník a kol. 2012) a pěstitel tak vytváří jeho půdní zásobu. Pokud by pěstitel usoudil, že hnojení K není v tomto konkrétním případě nezbytné, může hnojit pouze SČK. Pro výpočet dávky použije vzorec 1, tj. dávka SČK $= (0,1 \cdot N_c \cdot O) / (N_k)$. V tomto konkrétním případě by dávka SČK činila $0,1 \cdot 80,4 / 5 = 6,4$ t/ha na čtyřleté obmýtí (nicméně

kvůli překročení zákonného limitu musí být snížena na 5 t/ha, viz výše). Do půdy by se při aplikaci tohoto množství SČK dostalo celkem 62,5 kg N/ha.rok, 25 kg P/ha.rok, 5 kg K/ha.rok, což představuje 78% N, 417% P a 23% K doporučených na základě tabulky 7. Při primární deficienci N lze tedy alternativně použít hnojení samotným SČK a hnojení K prostřednictvím popela vynechat, případně ho realizovat s pomocí minerálního hnojiva (např. síran draselný).

Příklad č. 3:

Výsledky půdních analýz plantáže RRD před smýcením porostu (dominantní klon P-468 je kříženec balzámových topolů *P. trichocarpa* × *P. koreana*) ukázaly hodnoty N_{min} 16 mg/kg, P 79 mg/kg a K 131 mg/kg. Na základě zrnitostního složení byla půda klasifikována jako těžká, jílovito-hlinitá. Listové analýzy RRD nejsou k dispozici, plánované obmýtí činí 6 let.

Postup:

Podle tabulky 7 této metodiky je na základě půdních analýz odečtena potřebná dávka hnojení ve výši 40 kg N/ha.rok (=N_c), 5 kg P/ha.rok (=P_c), 35 kg K/ha.rok (=K_c). Poměr N:P činí 8; N:K 1,1; K:P 7. Analýzy tedy dle tabulky 8 této metodiky indikují primárně deficit K, méně N a P (varianta 5). Předpokládejme, že na základě rozhodovacího algoritmu uvedeného v příloze 1 této metodiky je hnojení plantáží směsí SČK

a popela možné. Pěstitel sehnal dodavatele SČK i popela, od nichž získal aktuální rozbor SČK a popela z biomasy. Hodnoty makroživin činí: N_k = 5%, P_k = 2%, K_k = 0,4%, N_p = 0,0%, P_p = 1,5%, K_p = 8%, koncentrace rizikových prvků a látek jsou v normě. Podle tabulky 8 této metodiky bude postupovat při stanovení dávky hnojiv dle vzorce 3. Dávka SČK bude činit $= (5,6 / 10) / (2,1,5 + 2) = 0,6$ t sušiny SČK. Dávka popela bude dvojnásobná, tj. 1,2 t sušiny popela. Obě dávky vyhovují zákonným limitům (dle vyhlášky č. 382/2001 Sb. a vyhlášky č. 131/2014 Sb.). Popel bude aplikován v roce smýcení porostu, SČK pak na začátku následující sezóny. Do půdy se při aplikaci spočtených dávek obou odpadů dostane celkem 5,1 kg N/ha.rok, 5 kg P/ha.rok a 16,4 kg K/ha.rok, což představuje 13% N, 100% P a 47% K dávek doporučených na základě tabulky 7. Primární deficit K je tedy kryt přibližně z poloviny, P zcela a N pouze z malé části. Pokud se pěstitel rozhodne pokrýt deficit K, aniž bude brát v potaz N a P, bude výhodnější hnojit samotným popelem a jeho dávku stanovit dle vzorce 2b, tj. dávka popela $= (0,1 \cdot K_c \cdot O) / (K_p)$. V tomto konkrétním případě by dávka popela činila $0,1 \cdot 35,6 / 8 = 2,63$ t/ha na šestileté obmýtí (maximální dávka popela dle vyhlášky č. 131/2014 Sb. činí 2 t/ha na tři roky, tj. dávku je nutno snížit na 2 t/ha). Do půdy by se při aplikaci tohoto množství popela dostalo celkem 5 kg P/ha.rok, 26,7 kg K/ha.rok

a zanedbatelné množství N, což představuje 100% P a 76% K doporučených na základě tabulky 7. Pokud tedy pěstitel usoudí, že hnojení N není nezbytné (případně ho zrealizuje s pomocí minerálních hnojiv, jako jsou různé ledky nebo močovina), je při primární deficienci K možno použít hnojení samotným popelem.

Příklad č. 4:

Výsledky půdních analýz plantáže RRD před smýcením porostu (dominantní klon je topol *P. maximowiczii* × *P. nigra* J-105, tj. hybrid černého a balzámového topolu) ukázaly hodnoty N_{min} 22 mg/kg, P 112 mg/kg a K 183 mg/kg. Na základě zrnitostního složení byla půda klasifikována jako lehká, hlinito-písčítá. Listové analýzy RRD jsou k dispozici (N 30 mg/g, P 2,6 mg/g a K 20 mg/g), plánované obměty činí 4 roky.

Postup:

Ze srovnání provedených půdních i listových analýz s mezními hodnotami uvedenými v tabulce 7 této metodiky plyne, že hnojení plantáží není nutné. Nicméně poměr N:P 11,5 vypočtený na základě

stanovených listových koncentrací ukazuje na limitaci ve výživě N (poměr je výrazně nižší než 14). S ohledem na jinak vyhovující živinovou zásobenost volíme nižší se dvou nabízených dávek v tabulce 7 pro daný klon, konkrétně 50 kg N/ha.rok (=N_c). Protože popel neobsahuje prakticky žádný dusík, jako hnojivo bude použito SČK (varianta 1, tabulka 8). Předpokládejme, že na základě rozhodovacího algoritmu uvedeného v příloze 1 této metodiky je hnojení plantáží SČK možné. Pěstitel sehnal dodavatele SČK, od něhož získal aktuální rozbor SČK. Hodnoty makroživin činí: N_k = 5%, P_k = 2%, K_k = 0,4%, koncentrace rizikových prvků a látek jsou v normě. Podle tabulky 8 této metodiky bude pěstitel postupovat při stanovení dávky hnojiv dle vzorce 1. Dávka SČK bude činit $(0,1.50.4/5) = 4$ t sušiny SČK/ha, což vyhovuje zákonnému limitu dle vyhlášky č. 382/2001 Sb. SČK bude aplikován po smýcení nebo následující rok. Do půdy se při aplikaci spočtené dávky SČK dostane celkem 50 kg N/ha.rok, 20 kg P/ha.rok a 4 kg K/ha.rok, což představuje 100% N dávky doporučené na základě tabulky 7. U dalších prvků (P, K aj.) bude pěstitel jejich půdní zásobu.

Srovnání „novosti postupu“

Metodika uvádí podmínky, za kterých mohou být živinové potřeby výmladkových plantáží RRD kryty prostřednictvím stabilizovaných čistírenských kalů a popela z biomasy. Dokládá, že vhodný poměr těchto odpadních produktů poskytuje pro plantáže komplexní hnojivo s pozitivním dopadem na výnos biomasy. Zároveň dochází k recyklaci odpadu a jeho ekologicky šetrnějšímu využití než nabízí některé z alternativních zpracování (spalování kalů, skládkování kalů či popela z biomasy). Inovativnost metodiky spočívá v souběžném řešení dvou problémů: 1) likvidace odpadů v podobě stabilizovaných čistírenských kalů a popela z biomasy a 2) hnojení výmladkových

plantáží. Dosud je pěstitelům RRD v ČR k dispozici pouze metodika týkající se hnojení plantáží RRD odpadními vodami a kaly (BIOM 2008), manuál pro pěstitelů RRD na kontaminovaných půdách (Mrnka a kol. 2011) a několik návodů od prodejců řízků RRD a poskytovatelů komplexních služeb souvisejících s RRD (např. web Centrum rozvoje RRD VÚKOZ v.v.i. a různé weby soukromých firem). Tyto publikace neřeší využitelnost, vhodné dávky ani způsob aplikace při kombinovaném hnojení popelem z biomasy a stabilizovanými čistírenskými kaly, nereflktují stav současné legislativy a nemohou být tudíž za tímto účelem použity.

Uplatnění metodiky

Metodika je určena především pěstitelům výmladkových plantáží RRD a zemědělským poradcům v ČR. Je uplatnitelná

v rámci poradenského systému ISOZE: Komplexní poradenství pěstování a využití biomasy (VÚKOZ).



Ekonomické aspekty

Dimitriou a kol. (2011) se zabývali biologickým a ekonomickým potenciálem využití SČK a odpadních vod pro výmladkové plantáže a dospěli k závěru, že za aktuálních tržních cen štěpky je pěstování plantáží RRD ziskové pouze při výnosech nad 9 t sušiny/ha.rok. Konstatovali také, že tržby pěstitelů se zvyšují o 39 a 199 €/ha (za současného kurzu jde o cca 1 a 5 tisíc Kč) při aplikaci SČK a odpadních vod. Podobná čísla minimálního rentabilního výnosu (8–9 t sušiny/ha.rok) pro Českou republiku uvádí na svých webových stránkách i VÚKOZ (Centrum rozvoje rychle rostoucích dřevin). Práce Dimitriou a kol. (2011) ovšem při kalkulaci vlivu aplikace SČK nepočítala se zvýšeným výnosem biomasy, pouze s ušetřenými náklady na hnojení konvenčními minerálními hnojivy. Přitom při racionální aplikaci SČK (pořádko i popela) na živinově deficitní stanoviště bývá pozorován nárůst výnosu biomasy (viz sekce „Využitelnost popela z biomasy a stabilizovaných čistírenských kalů pro hnojení výmladkových plantáží RRD“). Je tedy oprávněné očekávat, že ekonomický přínos bude výraznější, než jak uvádějí autoři studie.

K rámcově podobnému odhadu ekonomického přínosu jako Dimitriou a kol. (2011) dojdeme i při kalkulaci

ušetřených nákladů na minerální hnojiva v podmínkách ČR. V současnosti jsou pořizovací náklady odpadů (SČK, popel z biomasy) nulové. Při běžných ročních dávkách 70 kg N, 10 kg P a 35 kg K na ha plantáže a současných cenách minerálních hnojiv [7350 Kč/t ledek amonný s vápencem (27,5 % N), 9700 Kč/t močovina (46 % N), 11500 Kč/t trojitý superfosfát (45 % P₂O₅), 10500 Kč/t granulovaná draselná sůl (60 % K₂O) dle www.agronormativy.cz] činí na pořizovacích nákladech na hnojiva úspora cca 3 tis. Kč/ha.rok. Aplikace stabilizovaných čistírenských kalů s vyšším podílem sušiny vyžaduje nicméně zapravení kalů (podmítka, pásové zaorání) s cenou 500–1000 Kč/ha.obmýtí (kal je aplikován 1x za obmýtí). Celková úspora nákladů se tedy při intenzivním pěstování RRD spojeným s hnojením bude pohybovat mezi 2,5–3 tis. Kč/ha.rok. V souvislosti se stanovením minerálního dusíku (dusičnanový a amonný) v půdě doporučujeme odběry průměrného vzorku v profilu 0–30 cm na každých 3–5 ha. Cena stanovení se pohybuje kolem 400 Kč. U listových analýz doporučujeme provést stanovení alespoň 3 směsných vzorků z plantáže o rozloze do 20 ha (u plantáží do 10 ha stačí 2 vzorky). Směsný vzorek představuje odběr plně

osluněných nepoškozených listů z většího počtu rostlin (ideálně 20 a více) v rámci náhodného transektu plantáže. Cena analýzy jednoho vzorku (stanovují se prvky N, P, K, Ca a Mg) činí cca 700 Kč. Náklady na výchozí analýzy půdního N a rostlinného materiálu budou u 20 ha plantáže činit přibližně 4–5 tisíc Kč. Tyto náklady jsou vynakládány jedenkrát za obmýtí, roční náklady je tedy třeba vydělit délkou obmýtí. Při přepočtu na 1 ha


nepředstavují roční náklady na analýzy ve srovnání s předpokládaným zvýšením tržeb po aplikaci odpadů významnou položku.

Další ekonomické přínosy vznikají na straně producentů odpadů díky ušetřeným nákladům na skládkování, kompostování či spalování. Podle odhadů činily náklady spojené se zneškodňováním kalů v r. 2001 asi 60% veškerých provozních nákladů čistíren odpadních vod (Bednařík 2001).

Anotace v AJ

Cultivation of short-rotation coppice (SRC) plantations is gaining momentum with the increasing demand for renewable energy worldwide. Even the modest nutrient demands of SRC plantations deplete the soil nutrient pool over time and sustainable long-term production requires application of appropriate fertilizers. The waste products sewage sludge and biomass ash are complex fertilizers rich in nutrients. Yet their application in field is restricted due to an appreciable content of hazardous substances. In this manual we propose guidelines on the use of sewage sludge and biomass

ash as a main fertilizer of SRC plantations. Our manual complies with all laws that regulate the use of the waste on agricultural land in the Czech Republic. It specifies application mode and time. Dosages are calculated based on the local soil conditions, the leaf nutrient status and the genotype of the used tree clones. Simple calculations use derived table values and allow the grower to assess the fertilization needs of a particular plantation and the way how to meet them very quickly. The manual has been certified by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic.



Použitá literatura a seznam publikací, které předcházely metodice

Abrahamson LP, Volk TA, Smart LB, Cameron KD (2010) *Shrub Willow Biomass Producer's Handbook*. pp. 1–27, State University of New York, USA

Adegbidi HG & Briggs RD (2003) Nitrogen mineralization of sewage sludge and composted poultry manure applied to willow in a greenhouse experiment. *Biomass and Bioenergy* **25**: 665–673

Augusto L, Bakker MR & Meredieu C (2008) Wood ash applications to temperate forest ecosystems—potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil* **306**: 181–198

Balásus A, Bischoff W-A, Schwarz A, Scholz V & Kern J (2012) Nitrogen fluxes during the initial stage of willows and poplars in short-rotation coppices. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **175**: 729–738

Bednařík V (2001) Co s čistírenským odpadem? *Odpady*. (Zdroj: <http://odpady-online.cz/co-s-cistirenskym-odpadem/>) [online] [cit. 2015-09-17]).

BIOM (kol. autorů) (2008) Rychle rostoucí dřeviny - Metodika bezpečné aplikace odpadních vod a kalů pro zvýšení efektivity produkce dřevní biomasy na plantážích rychle rostoucích dřevin. Stran 156. ISBN: 978-80-903777-6-9

Brown KR & van den Driessche R (2005) Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the growth and nutrition of hybrid poplars on Vancouver Island. *New Forests* **29**: 89-104

Černý J (2010) Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. (Zdroj: <http://biom.cz/cz/projekty/konference-racionalni-pouziti-hnojiv-2009>) [online] [cit. 2015-09-17]

DEFRA (2002) Growing short rotation coppice. Stran: 32, Londýn, Velká Británie. (Zdroj: <http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs>) [online] [cit. 2015-09-17])

DesRochers A, van den Driessche R & Thomas BR (2003) Nitrogen fertilization of trembling aspen seedlings grown on soils of different pH. *Canadian Journal of Forest Research* **33**: 552-560

DesRochers A, van den Driessche R & Thomas BR (2006) NPK fertilization at planting of three hybrid poplar clones in the boreal region of Alberta. *Forest Ecology and Management* **232**: 216-225

DesRochers A, van den Driessche R & Thomas BR (2007) The interaction between nitrogen source, soil pH, and drought in the growth and physiology of three poplar clones. *Canadian Journal of Botany* **85**: 1046-1057

Djomo SN, El Kasmoui O & Ceulemans R (2011) Energy and greenhouse gas balance of bioenergy production from poplar and willow: a review. *Global Change Biology Bioenergy* **3**: 181-197

Don A, Osborne B, Hastings A, et al. (2012) Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. *GCB Bioenergy* **4**: 372-391

Elbersen BS, Fritsche U, Eerens H, Overmars K, Lesschen JP, Staritsky I, Zulka KP, Brodski L, Hennenberg K (2013) ETC/SIA Review of the EU bioenergy potential from a resource efficiency perspective. Background report to EEA study. pp. 1-305, Alterra, Wageningen

Eurostat, Renewable energy statistics (Zdroj: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics) [online] [cit. 2015-09-17])

Fečko P (2009) Problematika zpracování a využití kalů z čistíren odpadních vod. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, Stran: 132. ISBN 80-7078-652-3

González-García S, Mola-Yudego B, Dimitriou I, Aronsson P & Murphy R (2012) Environmental assessment of energy production based on long term commercial willow plantations in Sweden. *Science of The Total Environment* **421-422**: 210-219

Guillemette T & DesRochers A (2008) Early growth and nutrition of hybrid poplars fertilized at planting in the boreal forest of western Quebec. *Forest Ecology and Management* **255**: 2981-2989

Hangs RD, Schoenau JJ, Van Rees KCJ & Knight JD (2012) The effect of irrigation on nitrogen uptake and use efficiency of two willow (*Salix* spp.) biomass energy varieties. *Canadian Journal of Plant Science* **92**: 563-575

Hansen EA (1994) A guide for determining when to fertilize hybrid poplar plantations. Research Paper NC-319. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station

Hanzlíček T, Perná I (2013) Popel z biomasy jako zdroj minerálních látek. PPT prezentace, 19. ročník mezinárodní konference „Top 2013 - Technika ochrany prostředí“ (Zdroj: https://www.irsm.cas.cz/index.php?page=adresar_detail&id=63) [online] [cit. 2015-09-17])

Hasselgren K (1998) Use of municipal waste products in energy forestry: highlights from 15 years of experience. *Biomass and Bioenergy* **15**: 71-74

Headlee WL & Hall RB (2014) Biomass Fly Ash as Foliar Fertilizer for Hybrid Aspen Trees: Nutrient Uptake, Growth Response, and Compatibility with Nitrogen Fertilizer. *Journal of Plant Nutrition* **38**: 647-662

Heilman P & Norby RJ (1998) Nutrient cycling and fertility management in temperate short rotation forest systems. *Biomass and Bioenergy* **14**: 361-370

Holm B & Heinsoo K (2013) Influence of composted sewage sludge on the wood yield of willow short rotation coppice. An Estonian case study. *Environment Protection Engineering* **39**: 17-32

Hýblerová K (2005) Hnojivé účinky čistírenských kalů pro topoly. Biom.cz (Zdroj: <http://biom.cz/cz/odborneclanky/hnojive-ucinky-cistirenskych-kalu-pro-topoly> [online]. 2005-01-24 [cit. 2015-08-10]). ISSN: 1801-2655

Hytönen J (1984) Suitability of various phosphorus and nitrogen fertilizers for fertilizing willow stands on cut-over peatlands. Bioenergy 84. Proceedings of conference 15-21 June 1984, Goteborg, Sweden. Volume II. Biomass resources 114-118

Choi W-J, Chang SX & Hao X (2005) Soil retention, tree uptake, and tree resorption of $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ and $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ applied to trembling and hybrid aspens at planting. *Canadian Journal of Forest Research* **35**: 823-831

Insam H, Franke-Whittle IH, Knapp BA & RP (2009) Use of wood ash and anaerobic sludge for grassland fertilization: Effects on plants and microbes *Die Bodenkultur* **60**: 39-51

Insam H, Knapp BA (2011) Recycling of Biomass Ashes. Vydal: Springer Science & Business Media, Stran: 164. ISBN 978-3-642-19354-5

Jug A, Makeschin F, Rehfuess KE & Hofmann-Schielle C (1999) Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. *Forest Ecology and Management* **121**: 85-99

Jug A, Hofmann-Schielle C, Makeschin F & Rehfuess KE (1999) Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. II. Nutritional status and bioelement export by harvested shoot axes. *Forest Ecology and Management* **121**: 67-83

Keoleian GA & Volk TA (2005) Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Critical Reviews in Plant Sciences* **24**: 385-406

Kutil J & Dohányos M (2005) Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Biom.cz (Zdroj: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2> [online]. 2005-01-05 [cit. 2015-08-10]). ISSN: 1801-2655

Labrecque M & Teodorescu TI (2001) Influence of plantation site and wastewater sludge fertilization on the performance and foliar nutrient status of two willow species grown under SRIC in southern Quebec (Canada). *Forest Ecology and Management* **150**: 223-239

Labrecque M, Teodorescu TI & Daigle S (1998) Early performance and nutrition of two willow species in short-rotation intensive culture fertilized with wastewater sludge and impact on the soil characteristics. *Canadian Journal of Forest Research* **28**: 1621-1635

Lazdina D, Lazdins A, Karins Z & Kaposts V (2007) Effect of sewage sludge fertilization in short-rotation willow plantations. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* **15**: 105-111

Lee K-H & Jose S (2005) Nitrate leaching in cottonwood and loblolly pine biomass plantations along a nitrogen fertilization gradient. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **105**: 615-623

Lievens C, Yperman J, Vangronsveld J & Carleer R (2008) Study of the potential valorisation of heavy metal contaminated biomass via phytoremediation by fast pyrolysis: Part I. Influence of temperature, biomass species and solid heat carrier on the behaviour of heavy metals. *Fuel* **87**: 1894-1905

Lyčková B, Fečko P & Kučerová R (2008) Zpracování kalů. Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů. (Zdroj: hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/vyuziti.html [online] [cit. 2015-09-17]).

Marron N (2015) Agronomic and environmental effects of land application of residues in short-rotation tree plantations: A literature review. *Biomass and Bioenergy* **81**: 378-400.

Meggio RE, Schnoor JL & Hu DF (2013) Dechlorination of PCBs in the rhizosphere of switchgrass and poplar. *Environmental Pollution* **178**: 312-321

Merilo E, Heinsoo K, Kull O, Söderbergh I, Lundmark T & Koppel A (2006) Leaf photosynthetic properties in a willow (*Salix viminalis* and *Salix dasyclados*) plantation in response to fertilization. *European Journal of Forest Research* **125**: 93-100

Mitchell CP, Ford-Robertson JB, Hinckley T & (Ed.) S-FL (1992) Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops. Elsevier Science Publishers Ltd., Essex, England. Stran: 308. ISBN: 1-85166-848-9

Moffat AJ, Armstrong AT & Ockleston J (2001) The optimization of sewage sludge and effluent disposal on energy crops of short rotation hybrid poplar. *Biomass and Bioenergy* **20**: 161-169

Mortensen J, Hauge Nielsen K & Jørgensen U (1998) Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilization levels. *Biomass and Bioenergy* **15**: 457-466

Moscatelli MC, Lagomarsino A, De Angelis P & Grego S (2008) Short- and medium-term contrasting effects of nitrogen fertilization on C and N cycling in a poplar plantation soil. *Forest Ecology and Management* **255**: 447-454

Mrnka L, Doubková P, Habart J, Sudová R, Tlustoš P, Vohník M & Vosátka M (2011) Willow and poplar short rotation coppice plantations in soils contaminated by risk elements. Review and handbook for growers in the Czech Republic. Stran: 98. ISBN: 978-80-86188-35-5

Ochecová P (2015) Popel z biomasy – významný zdroj živin. Biom.cz (Zdroj: <http://biom.cz/cz/odborneclanky/popel-z-biomasy-vyznamny-zdroj-zivin> [online]. 2015-01-19 [cit. 2015-08-11]). ISSN: 1801-2655

Park BB, Yanai RD, Sahm JM, Lee DK & Abrahamson LP (2005) Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. *Biomass and Bioenergy* **28**: 355-365

Pitman RM (2006) Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry* **79**: 563-588

Poláková Š, Hutařová I & Kubík L (2010) Sledování kvality zemědělské půdy na pozemcích po aplikaci kalů ČOV 1996 - 2009. ÚKZÚZ BRNO.

Pulford I (2003) Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. *Environment International* **29**: 529-540

Quaye AK & Volk TA (2013) Biomass production and soil nutrients in organic and inorganic fertilized willow biomass production systems. *Biomass and Bioenergy* **57**: 113-125

Rae AM, Street NR, Robinson KM, Harris N & Taylor G (2009) Five QTL hotspots for yield in short rotation coppice bioenergy poplar: The Poplar Biomass Loci. *BMC Plant Biology* **9**:23

Riemenschneider DE, Berguson WE, Dickmann DI, et al. (2001) Poplar breeding and testing strategies in the north-central US: Demonstration of potential yield and consideration of future research needs. *Forestry Chronicle* **77**: 245-253

Rowe RL, Street NR & Taylor G (2009) Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* **13**: 271-290

Ryant P, Richter R, Poulík Z & Hřivna L (2005) Multimediální učební texty z výživy a hnojení polních plodin. (Zdroj: web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/index.htm [online] [cit. 2015-09-17]).

Sevel L, Nord-Larsen T, Ingerslev M, Jørgensen U & Raulund-Rasmussen K (2014) Fertilization of SRC Willow, I: Biomass Production Response. *Bioenergy Research* **7**: 319-328

Sevel L, Ingerslev M, Nord-Larsen T, Jørgensen U, Holm P, Schelde K & Raulund-Rasmussen K (2014) Fertilization of SRC Willow, II: Leaching and Element Balances. *Bioenergy Research* **7**: 338-352

Tlustoš P, Ochecová P, Kaplan L, Száková J & Habart J (2014) Aplikace popelů ze spalování biomasy na zemědělskou půdu. Certifikovaná metodika Česká zemědělská universita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Stran: 26. ISBN 978-80-213-2514-2

Trávník K a kol. (2012) Metodický návod pro hnojení plodin. Vydal ÚKZUZ, Brno. Stran: 26. ISBN 978-80-7401-024-8

Tripathi AM, Trnka M, Fischer M, Orság M, Fajman M, Marek MV & Žalud Z (2012) Estimation of aboveground woody biomass of SRC hybrid poplar clone J-105 in different fertilizer treatments in Czech - Moravian highland. MendelNet 2012, Brno (CZ), 2012-11-21

ÚKZUZ: Monitoring kvality kalů z ČOV a půd a rostlin po aplikaci kalů (Zdroj: <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/bezpecnost-pudy/monitoring-vstupu-do-pudy/kontrola-kalu/> [online] [cit. 2015-09-17]).

van den Driessche R (1999) First-year growth response of four *Populus trichocarpa* × *Populus deltoides* clones to fertilizer placement and level. *Canadian Journal of Forest Research* **29**: 554-562

van den Driessche R (2000) Phosphorus, copper and zinc supply levels influence growth and nutrition of a young *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray) × *P. deltoides* (Bartr. ex Marsh) hybrid. *New Forests* **19**: 143-157

Vojkůvková Z (2011) Možnosti využití kalů z čištění odpadních vod. Diplomová práce Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci. Stran: 89

Voláková P (2010) Biomasový popel – prvkové složení a možnosti jeho využití. Biom.cz (Zdroj: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasovy-popel-prvkove-slozeni-a-moznosti-jeho-vyuziti> [online]. 2010-04-14 [cit. 2015-08-11]). ISSN: 1801-2655

VÚKOZ, Centrum rozvoje rychle rostoucích dřevin (Rychle rostoucí dřeviny, Ekonomika a využití). (Zdroj: <http://www.vukoz.cz/index.php/rychle-rostouci-dreviny/ekonomika-a-vyuziti>) [online] [cit. 2015-09-17])

Weger J, Vlasák P, Zánová I & Havlíčková K (2006) Výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin pro produkci biomasy. *Životné prostredie* **3**: 137-142

Yin C, Pang X & Chen K (2009) The effects of water, nutrient availability and their interaction on the growth, morphology and physiology of two poplar species. *Environmental and Experimental Botany* **67**: 196-203

Zabek LM (2001) Nutrition and fertilization response : a case study using hybrid poplar. PhD Thesis. (Zdroj: <https://circle.ubc.ca/handle/2429/13842> [online] [cit. 2015-09-17])

Zhu JY, Pan XJ & Zalesny RS (2010) Pretreatment of woody biomass for biofuel production: energy efficiency, technologies, and recalcitrance. *Applied Microbiology and Biotechnology* **87**: 847-857





MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ

Odbor rostlinných komodit MZe
Praha

v y d á v á

OSVĚDČENÍ

Č. 63997/2015-MZE-17221

o uznání uplatněné certifikované metodiky
v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje“

**„Využití stabilizovaných čistírenských kalů a popela z biomasy pro hnojení
plantáží rychle rostoucích dřevin“.**

Autoři metodiky : Ing. RNDr. Libor Mrnka, Ph.D

Název předkládající organizace: Botanický ústav Akademie věd ČR, v.v.i.

Místo vydání metodiky: Botanický ústav Akademie věd ČR, v.v.i.

„Metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR (projekt Centrum kompetence Bioraf č. TE01020080) a výzkumného záměru RVO67985939. Metodika byla vytvořena v Botanickém ústavu AVČR, v.v.i. ve spolupráci s firmami MFI-ekoimpex spol. s r.o. a AGRA GROUP a.s.“.

V Praze dne: 3.prosince 2015


Ing. Zdeněk Trnka
ředitel

