

# Primjena pepela iz biomase na travnjacima

Application of Biomass Ash on Grasslands

**Bošnjak, K., Vranić, M., Mašek, T., Brčić, M.**

**Poljoprivreda / Agriculture**

ISSN: 1848-8080 (Online)

ISSN: 1330-7142 (Print)

<https://doi.org/10.18047/poljo.28.1.12>



**Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Poljoprivredni institut Osijek**

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Agricultural Institute Osijek

# PRIMJENA PEPELA IZ BIOMASE NA TRAVNJACIMA

Bošnjak, K.<sup>(1)</sup>, Vranić, M.<sup>(1)</sup>, Mašek, T.<sup>(2)</sup>, Brčić, M.<sup>(1)</sup>

Pregledni znanstveni članak

Scientific review

## SAŽETAK

*Sve veće oslanjanje na proizvodnju energije iz biomase rezultira povećanjem proizvodnje pepela, kao ostataka nakon izgaranja biomase. Primjena pepela u poljoprivredi postaje sve aktualnija kao alternativa odlaganju na odlagališta. Vrijednost pepela kao materijala za kalcizaciju, gnojiva ili poboljšivača tla, kao i mogućnost i količina primjene pepela u proizvodnji na oranicama ili travnjacima, ovisi o sadržaju makro- i mikrohraniva, potencijalnoj neutralizacijskoj vrijednosti pepela te sadržaju teških metala (TM) i ostalih potencijalno onečišćujućih tvari. Pepeo iz biomase sadrži značajne količine hraniva (Ca, K, Mg, P, Fe), može se primijeniti kao materijal za kalcizaciju koji utječe na fizikalna i kemijska svojstva tla, mikro-biološku aktivnost tla i razgradnju organske tvari (OT) tla, te u konačnici povećava produktivnost poljoprivrednih kultura. Primjena pepela na travnjacima i proizvodnji voluminozne krme u količini 6-22 t ha<sup>-1</sup> rezultira povećanjem produktivnosti krmnih vrsta, povećanjem udjela mahunarki i sijanih trava u tratini i povećanjem hranjive vrijednosti krme.*

**Ključne riječi:** pepeo, biomasa, travnjaci, voluminozna krma

## UVOD

Promicanje obnovljivih izvora energije jedan je od prioriteta Nacionalne razvojne strategije RH do 2030. godine u području energetske politike (Novine N, 13/21.), čime i proizvodnja energije iz biomase sve više dobiva na važnosti. Posljednjih godina vidljivo je značajno povećanje kapaciteta za proizvodnju energije iz biomase i potrošnje biomase u RH. U proteklih pet godina, instalirana snaga elektrana na biomasu povećana je s 25.955 kW na 86.169 kW, što jasno indicira razvoj sektora obnovljivih izvora energije u segmentu elektrana na biomasu (HROTE, 2017., 2021.).

Milovanović (2017.) navodi da od ukupne biomase koja se koristi za proizvodnju energije 42 % čine poljoprivredni ostaci, 40 % čine drvo i šumski otpad, 17 % čine energetske nasadi, a 1 % čini ostali otpad. Bez obzira na vrstu biomase iz koje je dobiven, pepeo predstavlja ostatak, odnosno nusproizvod nakon procesa sagorijevanja, a najčešće se tretira kao otpad.

Prema podacima iz Registra opasnoga otpada (ROO, 2021.), u RH se godišnje proizvede 12.103 t pepela. Potencijal proizvodnje pepela od drvene biomase u RH kreće se između 38.500 do 47.400 t godišnje, ovisno o ukupnoj snazi postrojenja za proizvodnju i ukupnome

potencijalu drvene biomase u RH (Milovanović i sur., 2018.). Količine pepela mogu biti i veće ako ovome pridodamo i proizvode, otpad i ostatke iz poljoprivrede te biomasu energetskih nasada. Povećanjem kapaciteta proizvodnje energije iz biomase nastaju velike količine pepela koji je potrebno zbrinuti. Velik se dio pepela smatra otpadom i odlaže na odlagališta (Karlton i sur., 2008.).

Rezultati istraživačkih studija indiciraju da pepeo drvene biomase može biti korišten u svrhu popravljivanja tala i kao izvor hraniva u poljoprivredi, hortikulturi i šumarstvu (Demeyer i sur., 2001.; Füzesi i sur., 2015.; Dahlin i Stenberg, 2017.). Primjena pepela utječe na pH tla i sadržaj hraniva u tlima te povećava produktivnost usjeva (Patterson i sur., 2004.). Korištenje pepela od biomase u poljoprivredi i šumarstvu smanjuje troškove odlaganja, jeftinije je u usporedbi s primjenom klasičnih komercijalnih gnojiva, može zamijeniti upotrebu vapna i gnojiva u biljnoj proizvodnji (Demeyer i sur., 2001.; Ferreira i sur., 2011.)

(1) Izv. prof. dr. sc. Krešimir Bošnjak, prof. dr. sc. Marina Vranić (mvranic@agr.hr), dr. sc. Marina Brčić – Sveučilište u Zagrebu, Agronomski Fakultet, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, (2) prof. dr. sc. Tomislav Mašek – Veterinarski Fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Heinzelova 55, 10000 Zagreb, Hrvatska

te predstavlja alternativu zbrinjavanju pepela na odlagalištima (Patterson i sur., 2004.).

Potencijal pepela kao gnojiva i poboljšivača tla ovisi o kemijskome sastavu pepela i određen je sadržajem Ca, P, K i Mg, sadržajem mikrohraniva, pH reakcijom pepela (Ochecova i sur., 2017.) te sadržajem teških metala (TM) i ostalih potencijalno onečišćujućih tvari koje pepeo može sadržavati (Mollon i sur., 2016.; Novine N, 79/19.). Cilj je ovoga rada dati prikaz fizikalnih i kemijskih svojstava pepela te mogućnosti korištenja pepela iz biomase u poljoprivredi, s naglaskom na korištenje pepela u proizvodnji krme na travnjacima i oranica.

## FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA PEPELA

Pepeo iz biomase je čvrst ostatak nakon izgaranja biomase tijekom postupka proizvodnje energije (Vassilev i sur., 2013.) i predstavlja kompleks anorganskih i organskih spojeva te heterogenoga i varijabilnog sastava (Demeyer i sur., 2001.).

Fizikalno-kemijska svojstva pepela iz biomase ovise o velikome broju čimbenika (Demeyer i sur., 2001.; Karlton i sur., 2008.; Vassilev i sur., 2013.) koji se mogu svrstati u tri skupine: (i) čimbenici biljke (biljna vrsta, dio biljke), ekološki uvjeti rasta, tehnološki proces proizvodnje, sakupljanja (košnje, sječe) i prerade biomase (ii) tehnološki proces spaljivanja i (iii) način transporta i uvjeti skladištenja pepela.

Gustoća pepela od biomase može varirati između 150-1.300 kg m<sup>-3</sup>, a u užem rasponu kreće se između 230-770 kg m<sup>-3</sup> (Muse i Mitchell, 1995.; Patterson i sur., 2004.; Reed i sur., 2017.), dok se veličina čestica pepela može kretati između 150-250 μm (Etiegni i Campbell, 1991.). Električna provodljivost pepela kreće se u rasponu 17,4-50,3 mS cm<sup>-1</sup> (Patterson i sur., 2004.; Reed i sur., 2017.).

O veličini čestica pepela ovisi brzina oslobađanja hraniva. Pepeo od drveta finije teksture oslobađat će hraniva brže nego grublji pepeo i vrijeme reakcije takvoga pepela u tlu bit će kraće, no grublji materijali obično imaju produženi neutralizacijski efekt (Steenari i sur., 1998.; NCSU, 2003.).

U širem rasponu, pH pepela može se kretati 9-13,5 (Tablica 1.). Konstituenti koji pepelu daju „alkalnu prirodu“ su oksidi i karbonati, ponajprije Ca i K (Demeyer i sur., 2001.).

Pepeo drveta ima nizak sadržaj organskih spojeva. Sadržaj organske tvari (OT), odnosno sadržaj C, ovisi o učinkovitosti izgaranja (Vassilev i sur., 2013.). Budući da je temperatura izgaranja biomase visoka, organska komponenta gotovo u potpunosti izgara, a ostaje samo mala količina elementarnoga C, koji je uglavnom u formi ugljena i otporan je na mikrobiološku razgradnju, no može pozitivno utjecati na fizikalna svojstva tla (Carlson i Adriano, 1993.).

Sadržaj makroelemenata u pepelu prikazan je u Tablici 1. Pepeo drveta uglavnom čine oksidi nekoliko elementa, ponajprije Si (SiO<sub>2</sub>), Ca (CaO), Al (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i Fe (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) te silikati i nitrati (Vesterinen, 2003.).

Budući da je većina N iz biomase izgubljena tijekom izgaranja (Demeyer i sur., 2001.; Karlton i sur., 2008.; Ferreiro i sur., 2011.), pepeo sadrži vrlo malo N (Tablica 1.) i stoga se njegova primjena kombinira s ostalim anorganskim ili organskim izvorima N (Dahlin i Stenberg, 2017.).

Od makroelemenata najveći udio u pepelu ima Ca, prosječno 10,6 % u pepelu iz poljoprivredne biomase i 30,8 % u pepelu od drveta, a zatim K (8,9 % u pepelu iz drvene biomase i 22,1 % u pepelu iz poljoprivredne biomase (Vassilev i sur., 2013.). Sadržaj P u pepelu je nizak i prosječno iznosi 1,5 % u pepelu iz drvene biomase i 2,8 % u pepelu iz poljoprivredne biomase (Vassilev i sur., 2013.).

Topivost hraniva u pepelu varira. K-soli su jako topive, Ca i Mg imaju srednju topivost, dok je P manje topiv. Općenito topivost hraniva opada u slijedećem nizu: K>Mg>Ca>P (Eriksson, 1998.).

Sadržaj Mn u pepelu drveta kreće se u rasponu 2.000-15.000 ppm (Adotey i sur., 2018.; Karlton, 2021.), a u pepelu energetskih kultura (*Panicum virgatum*, *Sida hermaphrodita*, *Miscanthus giganteus*) 625-1249 ppm (Zajac i sur., 2018.; Bami i sur., 2021.). Sadržaj B u pepelu drveta kreće se u rasponu 64-283 ppm (Adotey i sur., 2018.; Karlton, 2021.), a Cl 2.500-12.700 ppm (Reed i sur., 2017.; Adotey i sur., 2018.; Karlton, 2021.).

Pepeo iz biomase može sadržavati elemente i spojeve koji mogu biti štetni za ljude, životinje i okoliš (Risse i Gaskin, 2002.). Sadržaj TM-a i potencijalno onečišćujućih elementa u pepelu prikazan je u Tablici 2. Sadržaj TM-a u pepelu iz biomase znatno varira (Vesterinen, 2003.). Uspoređujući samo drvenu biomasu, ako kao gorivo prevladava drvo, sadržaj TM-a u pepelu je tada bezopasan, osim ako se kao gorivo uz drvo koriste i druge sirovine, poput ugljena, nafte, otpadnoga drveta ili staroga papira (Vesterinen, 2003; Karlton i sur., 2008.). Pepeo iz biomase može sadržavati i niz štetnih organskih komponenata, poput poliaromatskih ugljikovodika (PAH), polikloriranih dibenzo-p dioksina (PCDD), polikloriranih dibenzofurana (PCDF), insekticida (klorirani ugljikovodici) i herbicida (atrazin), koji su prema Pravilniku (Novine N, 79/19.) svrstani u skupinu onečišćujućih tvari, te je regulirana njihova maksimalna dopuštena količina u gnojivima i poboljšivačima tla. Prema navedenom Pravilniku, kritične količine TM-a u tlu predstavljaju osnovu za određivanje kritičnih količina TM-a u pepelu koji se koristi kao gnojivo ili poboljšivač tla.

## UTJECAJ PRIMJENE PEPELA NA TLO I PRODUKTIVNOST RATARSKIH KULTURA

Nedostatak hraniva, toksičnost Al, Fe ili Mn, toksičnost mikroelemenata, limitirana aktivnost mikroorganizama i smanjena mineralizacija OT-a glavni su faktori povezani s kiselim tlima koji mogu značajno smanjiti produktivnost poljoprivrednih kultura, uključujući i travnjake. Primjena pepela može predstavljati dugoročni izvor Ca i Mg te K i P.

**Tablica 1. Sadržaj makroelemenata u pepelu biomase**

Table 1. Macroelement content in biomass ash

Vrsta pepela / Ash type	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Referenca / Reference
		%							
<i>Drvena biomasa / Wood biomass</i>									
Pepeo drveta i drvene biomase / Wood ash and wood biomass ash			0,3-5,7	1,8-26,6	4,2-59,7	0,7-8,8	0,14-4,7	0,26-6,7	Vassilev i sur. (2013.)
Bor / Pine Vrba / Willow			2,1 5	10 22	24 22	3,1 3,1	0,65 1,2	1,5 0,13	Vesterinen (2003.)
Hrast / Oak			1,5	5,7	15,7		0,51	0,92	
Pepeo drveta s dna ložišta / Bottom wood ash Lebdeći pepeo drveta / Flying wood ash		0,1	1,4	5,95	20,3	2,0	1,6	2,6	Karttun (2021.)
Pepeo od kore drveta / Bark ash	11,9	0,1	0,42	29,2	15,5	3,4	0,56	0,17	Ferreiro i sur. (2011.)
Lebdeći pepeo drveta / Flying wood ash	12,8		0,2-0,4	1,7-5,1	6,9-13,8	0,5-1	0,2-0,8	0,9-1,6	Adotey i sur. (2018.)
Pepeo drveta / Wood ash		0,01	2,1	6,9	32,4	4,0	0,08	1,0	Ramezianian i sur. (2015.)
Pepeo drveta / Wood ash	11,06	0,24	1,7	7,9	19,4		0,6		Reed i sur. (2017.)
Pepeo drveta / Wood ash	13,0	0,04	0,6	3,4	21,1	1,9	1,7		Patterson i sur. (2004.)
Pepeo drveta (37 uzoraka) / Wood ash (37 samples)	9-13,5	0,02-0,8	0,1-1,4	0,1-13	2,5-33	0,1-2,5		0,2-2,1	Risse i Gaskin (2002.)
Pepeo drveta / Wood ash		0,01	2,1	6,9	32,4	4	0,08		Dahlin i Stenberg (2017.)
<i>Energetske kulture / Energy crops</i>									
<i>Miscanthus giganteus</i>			2,5	8,7	4,6		0,75	0,25	Zajac i sur. (2018.)
<i>Miscanthus giganteus</i>	11,8	0,02	1,3	4,9	4,7			0,14	Brami i sur. (2021.)
<i>Panicum virgatum</i>			1,5	5,4	4,8		0,22	0,5	Zajac i sur. (2018.)
<i>Sida hermaphrodita</i>			1,7	13,9	27,6		1,3	0,5	Zajac i sur. (2018.)
<i>Poljoprivredna biomasa / Agricultural biomass</i>									
Poljoprivrednabiomasa / Agricultural biomass			0,24-13,6	1,9-53	0,7-31,7	0,11-9,8	0-5,9	0,15-25,4	Vassilev i sur. (2013.)
Pšenična slama / Wheat straw			1,01	6,9	4,2		0,59	0,49	Zajac i sur. (2018.)
Slama ječma / Barley straw			2,2	10,9	8,4		0,79	0,14	Zajac i sur. (2018.)
Slama zobi / Oat straw			1,6	9,2	8,6		0,34	0,20	Zajac i sur. (2018.)
Sijeno / Hay			2,5	17,5	6,6		0,84	0,27	Zajac i sur. (2018.)

**Tablica 2. Sadržaj teških metala (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, Co) i potencijalno onečišćujućih elementa (Cu, Mo, Zn) u pepelu biomase**

Table 2. Heavy metal content (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, Co) and potentially polluting element content (Cu, Mo, Zn) in biomass ash

Vrsta pepela/Ash type	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Mo	As	Co	Referenca / Reference
ppm											
Pepeo drveta/ Wood ash											
Hrast / Oak		90	191		125	55	169		1,9		Zajac i sur. (2018.)
Pepeo drveta s dna ložišta / Bottom wood ash	0,4-0,7 6-40	< 60 40-250	15-300 200	0-0,4 0-1	40-250 20-100	15-60 5-15	15- 1000 40-700		0,2-3 1-60	0-7 3-20	Vesterinen (2003.)
Lebdeći pepeo drveta / Flying wood ash											
Lebdeći pepeo drveta / Flying wood ash	23,5 1,9	82,9 76	146 88	1,3 0,07	49 30	182,6 41	4402 509	10,4 4,7	30,4 7,2	14,7 10,3	Karltun (2021.)
Pepeo od kore drveta / Bark ash	2,7	23,2	73	0,02	44	17	184	5	19		Ferreiro i sur. (2011.)
Lebdeći pepeo drveta / Flying wood ash	1,6-6,3		44-83		12-20	13-27	179- 412			6-12	Adotey i sur. (2018.)
Pepeo drveta/ Wood ash	0,27	74	118		121	2,4	182	<6		21	Ramezianian i sur. (2015.)
Pepeo drveta (37 uzoraka) / Wood ash (37 samples)	0,2-26	7-386	37-207	0-5	0-63	16-137	35- 1250	0-123	3-10		Risse i Gaskin (2002.)
Pepeo drveta / Wood ash	0,21		118		121		182	<6		21	Dahlin i Stenberg (2017.)
Energetske kulture / Energy crops											
<i>Panicum virgatum</i>		65	69		32	29	534		0,7		Zajac i sur. (2018.)
<i>Sida hermaphrodita</i>		48	68		84	28	157		0,9		Zajac i sur. (2018.)
<i>Miscanthus giganteus</i>		61	71		46	9	222		0,3		Zajac i sur. (2018.)
Poljoprivredna biomasa / Agricultural biomass											
Pšenična slama / Wheat straw		60	28		7	7	217		0,18		Zajac i sur. (2018.)
Slama ječma / Barley straw		21	65		9	4,4	389		0,18		Zajac i sur. (2018.)
Slama zobi / Oat straw		15	22		13	8	126		0,09		Zajac i sur. (2018.)
Sijeno / Hay		70	51		37		447		0,07		Zajac i sur. (2018.)

Primjena pepela (Ferreiro i sur., 2011.) rezultira dugotrajnijim povećanjem sadržaja Ca i Mg u tlu (Füzesi i sur., 2015.; Ramezianian i sur., 2015.; Dahlin i Stenberg, 2017.). Iako pepeo sadrži nižu količinu P, primjena pepela rezultira kratkotrajnim povećanjem sadržaja i većom dostupnosti P u tlu (Arshad i sur., 2012.; Füzesi i sur., 2015.). Djelomično je to rezultat povećanja pH tla nakon primjene pepela, što pospješuje otapanje i otpuštanje P iz netopivih formi Al i Fe fosfata (Ferreiro i sur., 2011.). Međutim, efekt može ići i u suprotnome smjeru kako se pH tla smanjuje nakon primjene pepela (Ferreiro i sur., 2011.).

Primjena pepela vrlo brzo dovodi do povećanja sadržaja K u tlu (Karltun i sur., 2008.; Ramezianian i sur., 2015.; Füzesi i sur., 2015.), no efekt je, kao i kod P, kraćega trajanja (Ferreiro i sur., 2011.) zbog transformacije K u neizmjenjivu formu, što je posljedica ponovnoga zakiseljavanja tla 3-4 godine nakon primjene pepela.

U različitim istraživanjima utvrđeni su različiti efekti primjene pepela na sadržaj mikroelemenata u tlu. U nekim je istraživanjima utvrđena povećana dostupnost Mn, Zn, B i Cu nakon primjene pepela (Ferreiro i sur., 2011.; Füzesi i sur., 2015.; Mollon i sur., 2016.). S druge strane, druga istraživanja ukazuju da primjena pepela rezultira smanjenjem sadržaja Mn, Zn i B (Krejsl i Scanlon, 1996.; Nkana i sur., 2000.), što se povezuje s kalcizacijskim učinkom primjene pepela (Ferreiro i sur., 2011.). Primjena pepela rezultira smanjenjem sadržaja slobodnoga Al u tlu (Ferreiro i sur., 2011.), što se može pripisati izravnomu utjecaju povećanja pH tla i povećanja sadržaja As i Cr u otopini tla, kao rezultat visokoga sadržaja tih elemenata u pepelu (Mollon i sur., 2016.).

Zbog visokoga sadržaja karbonata, hidroksida i ostalih minerala s Ca, Mg i K, pepeo se smatra dobrim materijalom za kalcizaciju (Knapp i Insam, 2011.). Od 15 studija uključenih u ovaj pregledni rad, njih šest provedeno je u vegetacijskim posudama i/ili kontroliranim uvjetima,

dok je devet studija obuhvatilo poljske eksperimente. U samo jednoj studiji (Brod i sur., 2012.) povećanje pH tla je izostalo, i to vjerojatno zbog izrazito male količine pepela koja je primijenjena. U svim ostalim studijama primjena pepela rezultirala je povećanjem pH tla, ukazujući na linearnu povezanost količine pepela i porasta pH tla (Adotey i sur., 2018.). K tome, povećanje pH tla posredno rezultira povećanjem biodostupnosti ostalih biljnih hraniva u tlu (Demeyer i sur., 2001.).

Trajnost efekta primjene pepela na svojstva tla različita je u različitim studijama. Prema jednim, vjerojatno je da su neka od povoljnih svojstava pepela, poput promjene pH ili utjecaja na sadržaj hraniva, kratkotrajne, te će se s vremenom efekt primjene pepela smanjivati (Fritze i sur., 2000.; Zimmermann i Frey, 2002.). S druge strane, poljske studije ukazuju da su povećane pH vrijednost tla nakon primjene pepela zadržane najmanje 4-6 godina (Vance i Mitchell, 2000.; Jacobson i sur., 2004.).

Primjena pepela može uzrokovati značajne promjene u broju i raznolikosti bakterija te sastavu populacija mikroorganizama tla (Bang-Andreasen i sur., 2017.), utječući tako posredno i na kvalitetu i funkcionalnost tla (Philippot i sur., 2013.) jer o njima ovisi mineralizacija OT-a i kruženje hraniva (Paul, 2017.). Kao glavni uzroci promjena u mikrobnj populaciji u tlu, nastali primjenom pepela, navode se promjene pH i električne vodljivosti tla (Lozupone i Knight, 2007.; Karlton i sur., 2008.). Studije uglavnom ukazuju da primjena pepela povećava aktivnost i ukupni broj mikroorganizama tla (Fritze i sur., 2000.; Demeyer i sur., 2001.; Zimmermann i Frey, 2002.), uključujući i broj nitrifikacijskih mikroorganizama (Ozolincius i sur., 2006.), što rezultira povećanjem mineralizacije (Zimmermann i Frey, 2002.) i nitrifikacije nakon primjene pepela (Rumpf i sur., 2001.).

Izostanak utjecaja primjene pepela na povećani sadržaj  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  i ukupnoga N u tlu, koji bi indicirali povećanu nitrifikaciju nakon primjene pepela, utvrđen je u poljskome eksperimentu (Reed i sur., 2017.) te u jednom broju starijih studija (Fritze i sur., 1994.; Baath i sur., 1995.), dok je smanjenje mineralizacije OT-a i mikrobne aktivnosti nakon primjene pepela utvrđeno u manjem broju studija (Reed i sur., 2017.).

Općenito govoreći, primjena pepela pozitivno utječe na rast vegetativne mase i/ili produktivnost ječma, zobi, uljane repice i kukuruzne silaže (Vance i Mitchell, 2000.; Arshad i sur., 2012.; Park i sur., 2012.) ako ishrana N nije limitirajući faktor (Patterson i sur., 2004.). Samo je u manjem broju studija (Brod i sur., 2012.; Park i sur., 2012.; Füzesi i sur., 2015.) utjecaj primjene pepela na rast poljoprivrednih kultura izostao, iako je primjena pepela u nekima povećala sadržaj raspoloživoga K i P u tlu.

## UTJECAJ PRIMJENE PEPELA NA TRAVNJACIMA I PROIZVODNJI VOLUMINOZNE KRME

### Prinos

Utjecaj primjene pepela u proizvodnji krme na travnjacima prikazan je u Tablici 3. U ranijim je istraživanjima utvrđeno da primjena pepela, u usporedbi s kontrolom

(Muse i Mitchell, 1995.), povećava prinos travnjaka (*Paspalum dilatatum* *Festuca arundinacea*) 74 % u drugoj i 66 % u trećoj godini istraživanja, a povećani prinosi ST-a kao reakcija na primjenu pepela utvrđen je i na lucerni (Naylor i Schmidt, 1989.).

Od 12 obuhvaćenih studija (Tablica 3.), 50 % čine one koje objavljuju rezultate eksperimenata u posudama, od kojih u pet studija (83 %) nije utvrđen utjecaj pepela na rast travnjačkih vrsta. U nekim je studijama (Park i sur., 2012.; Reed i sur., 2017.; Adotey i sur., 2018.) utjecaj primjene pepela na produktivnost engleskoga i talijanskog ljulja i zubače izostao, unatoč činjenici da je primjena pepela povećala pH tla. Izostanak povećanja produktivnosti talijanskoga ljulja u određenome broju istraživanja (Brod i sur., 2012.; Reed i sur., 2017.) može se objasniti vrlo malom količinom primijenjenoga pepela. Međutim, i primjena većih količina pepela, do  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , nije utjecala na produktivnost talijanskoga ljulja na slabo kiselome (pH KCl 5,6) i slabo humoznome tlu (2,6 % humusa), i to unatoč povećanju pH tla kao posljedice primjene pepela (Füzesi i sur., 2015.).

Istraživanja u poljskim uvjetima ukazuju da primjena pepela, u usporedbi sa kontrolom (Ferreiro i sur., 2011.), može povećati produktivnost planinskoga pašnjaka za 100 % u prvim dvjema godinama. Naime, tla planinskih područja humidnih zona često su kisela i niske plodnosti. Glavni elementi koji limitiraju produkciju na takvim tlima su visoka količina slobodnoga Al te slaba dostupnost P, Ca, Mg i K. Većina takvih tala traži kalcizaciju, podizanje pH i dodatni izvor hraniva, naročito P i K (Ferreiro i sur., 2011.). Stoga primjena pepela generalno ima pozitivne učinke na plodnost tla i produktivnost planinskoga pašnjaka (Ferreiro i sur., 2011.), što je posljedica povećanja pH tla, povećanja sadržaja P, Ca i K u tlu (Ferreiro i sur., 2011.; Dahlin i Stenberg, 2017.) ili brže uspostave i početnoga porasta usjeva nakon primjene pepela u usporedbi s kontrolom (Dahlin i Stenberg, 2017.).

U nekim je istraživanjima povećanje produktivnosti bilo kratkotrajno, svega dvije godine (Ferreiro i sur., 2011.). Pad produkcije travnjaka nakon dvije godine od primjene pepela posljedica je deficijencije hraniva, naročito K i P, ali i povećanja sadržaja izmjenjivih Al i Mn, što se povezuje s padom pH tla nakon treće godine po primjeni pepela (Ferreiro i sur., 2011.).

### Kvaliteta krme

Utjecaj primjene pepela na hranjivu vrijednost voluminozne biljne mase sagledan je kroz dva aspekta, i to: (i) izravni utjecaj primjene pepela na sadržaj minerala u biljnoj masi i (ii) neizravni utjecaj primjene pepela na hranjivu vrijednost krme preko promjene botaničkoga sastava tratine.

Primjena pepela može rezultirati povećanjem sadržaja sirovih proteina (SP) u biljnoj masi (Naylor i Schmidt, 1989.). Iako primjena pepela nije rezultirala povećanjem sadržaja N u leguminoznoj i travnoj komponenti djetelinsko-travne smjese (DTS), u novijem istraživanju (Dahlin i Stenberg, 2017.) utvrđeno je da je povećanje prinosa biljne mase kao ishod primjene pepela rezultiralo većim ukupnim prinosom N (sirovih proteina). Štoviše, primjena pepela na tlu siromašnom hranivima rezultirala je povećanja

njem simbiozne fiksacije N, količine N podrijetlom od simbiozne fiksacije i transfera N prema travnoj komponenti.

Primjena pepela povećala je sadržaj K u biljnome materijalu (Vance i Mitchell, 2000.; Ferreiro i sur., 2011.; Park i sur., 2012.; Brod i sur., 2012.; Dahlin i Stenberg, 2017.). Međutim, takva je reakcija kratkotrajna (Nkana i sur., 2000.), a sadržaj K u krmi opada već u drugoj godini nakon primjene pepela (Ferreiro i sur., 2011.).

Rezultati istraživanja utjecaja primjene pepela na sadržaj Ca i Mg u biljnome materijalu variraju od povećanja sadržaja Ca (Vance i Mitchell, 2000.; Ferreiro i sur., 2011.) izostanka utjecaja primjene pepela (Park i sur., 2012.; Ocheцова i sur., 2017.), pa sve do smanjenja sadržaja Ca i Mg u vegetativnoj biljnoj masi (Dahlin i Stenberg, 2017.).

Istraživanja ukazuju da primjena pepela ne utječe na sadržaj P, Fe i Cu (Ferreiro i sur., 2011.; Brod i sur., 2012.; Park i sur., 2012.; Ocheцова i sur., 2017.) i rezultira povećanjem sadržaja S, Mn, Mo i Zn u biljnome materijalu (Vance i Mitchell, 2000.; Ferreiro i sur., 2011.; Park i sur., 2012.; Ocheцова i sur., 2017.). S druge strane, Mollon i sur. (2016.) nisu utvrdili utjecaj primjene pepela na sadržaj Zn u biljnome materijalu.

Park i sur. (2012.) utvrdili su povećanje sadržaja Cd i Hg u vegetativnoj biljnoj masi zobi kao reakciju na primjenu pepela, dok je primjena kontaminiranoga pepela rezultirala povećanjem sadržaja Cr, Cu i As u biljnome materijalu (Mollon i sur., 2016.).

**Tablica 3. Utjecaj primjene pepela drveta na travnjacima i proizvodnji voluminozne krme**

*Table 3. The effect of wood ash application on grasslands and forage production*

Lokacija* / Location*	Početni pH tla / Initial soil pH	Količina pepela / Amount of ash	Vrijeme primjene* / Time of application	Biljna vrsta/usjev / Plant species/crop	Rezultat / Findig	Referenca / Reference
Plastenik / Greenhouse, Eksperimenti u posudama / Pot experiments						
	4,0 (CaCl <sub>2</sub> )	0-9,8 g CaCO <sub>3</sub> kg <sup>-1</sup> tla		troskot	bez utjecaja na produktivnost	Adotey i sur. (2018.)
	5,1-5,2 (H <sub>2</sub> O)	1 % mase tla		engleski ljulj	bez utjecaja na produktivnost, povećanje koncentracije Zn, Mo i K u biljnome materijalu	Park i sur. (2012.)
	4,8 (CaCl <sub>2</sub> )	ekvivalent 1,4 t ha <sup>-1</sup>		smjesa crvene djeteline i engleskoga ljulja	povećanje produktivnosti smjese, povećanje prinosa crvene djeteline u smjesi, povećanje količine N podrijetlom od simbiozne fiksacije	Dahlin i Stenberg (2017.)
	5,0 (CaCl <sub>2</sub> )	2 % mase tla		engleski ljulj	povećanje produktivnosti i usvajanje Ca, P, K i S kod primjene pepela	Ocheцова i sur. (2017.)
	6,4-6,5 (H <sub>2</sub> O)	1,6-3,1 t ha <sup>-1</sup>		talijanski ljulj	bez utjecaja na produktivnost, sadržaj N i P u biljnome materijalu	Brod i sur. (2012.)
	4,8-5,1 (CaCl <sub>2</sub> )	ekvivalent 0,000006 g N kg <sup>-1</sup> tla, 0,026 g P kg <sup>-1</sup> tla i 0,083 g K kg <sup>-1</sup> tla		smjesa engleskoga ljulja i crvene djeteline	povećanje produktivnosti smjese u prvoj godini, bez utjecaja na promjenu udjela crvene djeteline u smjesi	Ramezianian i sur. (2015.)
Poljski eksperimenti / Field experiments						
NY, USA	5,8**	0-50 t ha <sup>-1</sup>	kraj lipnja	lucerna	povećanje prinosa, povećanje sadržaja sirovih proteina i minerala u biljnoj masi	Naylor i Schmidt (1989.)
ALA, USA	5,1**	ekvivalent 4,5-9 t ha <sup>-1</sup> vapna	svibanj	pašnjak ( <i>Paspalum dilatatum</i> – <i>Festuca arundinacea</i> )	povećanje prinosa u 2. i 3. godini	Muse i Mitchell (1995.)
Španjolska / Spain	4,7 (KCl)	pepeo kore drveta, 6 i 12 t ha <sup>-1</sup>	listopad	planinski pašnjak renoviran usijavanjem engleskoga, hibridnog ljulja i bijele djeteline	povećanje prinosa ST-a i udjela bijele djeteline u tratini	Ferreiro i sur. (2011.)
Wales, UK	6,4 (H <sub>2</sub> O)	pepeo drveta, 571 kg ha <sup>-1</sup>	rujan	talijanski ljulj	bez utjecaja na produktivnost	Reed i sur. (2017.)
Mađarska / Hungary	5,6 (KCl)	pepeo drveta, 0-10 t ha <sup>-1</sup> (ekvivalent)	travanj	engleski ljulj	bez utjecaja na produktivnost	Füzesi i sur. (2015.)
LA, USA	4,4-5,2**	6,7-22,4 t ha <sup>-1</sup>	listopad	talijanski ljulj	povećanje produktivnosti s primjenom pepela za 21-41 %	Vance i Mitchell (2000.)

\*samo poljske studije / for field experiments only

\*\* metoda nije navedena / the method is not specified

Rezultati istraživanja nedvojbeno ukazuju da se pepeo može uspješno koristiti kao dodatak kojim se pospješuje rast mahunarki na siromašnim tlima te povećava udio mahunarki u tratinu (Dahlin i Stenberg, 2017.). Tijekom prvih dviju godine nakon primjene 6-12 t pepela ha<sup>-1</sup>, poboljšanje svojstava tla (pH, hraniiva), rezultiralo je u usporedbi s kontrolom, povećanjem udjela trava i mahunarki (engleski, hibridni ljulj i bijela djetelina) usijavanih u postojeću tratinu planinskoga pašnjaka za 60 % (Ferreiro i sur., 2011.) te povećanjem hranjive vrijednosti biljne mase pašnjaka kao posljedice promjene botaničkoga sastava tratine.

## DOZACIJA PEPELA, VRIJEME I NAČINI PRIMJENE

Istraživanje u posudama (Dahlin i Stenberg, 2017.) ukazuje da već i količina pepela od 1,4 t ha<sup>-1</sup> može biti djelotvorna u povećanju produktivnosti djetelinsko travnih smjesa na kiselim tlima (pH 4,8). Istraživanja u polju ukazuju da primjena pepela u količinama manjim od 50 t ha<sup>-1</sup> rezultira povećanjem prinosa krmnih kultura. S jedne strane male količine pepela nemaju utjecaja na kvalitetu tla, prinos i kvalitetu biljne mase (Reed i sur., 2017.). S druge strane postoji rizik od primjene visokih količina pepela (Vance i Mitchell, 2000.) jer prevelika količina pepela može imati negativne učinke, poput smanjenoga porasta usjeva zbog promjene reakcije tla u alkalnu (pH >8). Od šest studija koje obuhvaćaju istraživanja u polju, u njih tri je primjena pepela u količini 6-22 t ha<sup>-1</sup> rezultirala povećanjem produktivnosti krmnih vrsta (Naylor i Schmidt, 1989.; Vance i Mitchell, 2000.; Ferreiro i sur., 2011.). Tome se može pridodati i istraživanje u kojem je primijenjena doza pepela bila ekvivalentna količini od 4,5- 9 t vapna ha<sup>-1</sup> (Muse i Mitchell, 1995.), što s obzirom na CCE pepela u tome istraživanju od prosječno 37 % daje količinu pepela od 12,5-25 t ha<sup>-1</sup>. U dvije studije korištene su manje količine pepela (do 10 t), a u obje nije utvrđeno povećanje prinosa istraživanih vrsta kao posljedice primjene pepela (Füzesi i sur., 2015.; Reed i sur., 2017.).

Općenito govoreći, količina pepela ovisi o karakteristikama tla (pH tla, puferni kapacitet) i potrebnim količinama materijala za neutralizaciju kiselosti te karakteristikama pepela poput sadržaja Ca ili ekvivalentne učinkovitosti pepela u neutralizaciji kiselosti (CCE) (Saunders, 2018.). Takav pristup nije štetan za okoliš jer se primjena pepela i količine temelje na potrebama za kalcijacijom i na osnovi potreba za unosom hraniva gnojivom (Vance i Mitchell, 2000.). CCE predstavlja mjerilo učinkovitosti pepela kao sredstva za kalcijaciju u usporedbi s CaCO<sub>3</sub> (Risse i Gaskin, 2002.), a vrijednosti CCE pepela variraju ovisno o izvoru i vrsti pepela te se mogu kretati u rasponu 8-90 % učinka vapna (Risse i Gaskin, 2002.).

Od studija u kojima nije utvrđen utjecaj pepela na produktivnost, u jednoj je pepeo primijenjen tijekom jeseni, a u drugoj tijekom proljeća. S druge strane, od

četiri studije u kojima je utvrđen utjecaj pepela na produktivnost, u dvije je pepeo primijenjen u proljeće, a u dvije tijekom jeseni (Tablica 3.). S obzirom na obuhvaćene studije, može se zaključiti da vrijeme primjene pepela nema utjecaja na produktivnost krmnih kultura ili krmnih usjeva (Tablica 3.). Međutim, Saunders (2018.) te Vance i Mitchell (2000.) ističu da je poželjno ostaviti dovoljno vremena između primjene pepela i sjetve ili tijekom klijanja i nicanja usjeva (Risse i Gaskin, 2002.) jer može doći do kratkotrajnoga formiranja lužnatih uvjeta, što se može negativno odraziti na rast biljke. Za travnjake u punome korištenju dobro je pepeo primijeniti tijekom ljeta, nakon nekoliko otkosa ili ciklusa napasivanja, ili tijekom jeseni (Kopecky, 2014.).

Za distribuciju pepela po proizvodnoj površini mogu se koristiti prikolice za stajski gnoj ili prikolice za distribuciju vapna, a pepeo se može primijeniti površinski ili različitim oruđima inkorporirati u tlo (Füzesi i sur., 2015.; Saunders, 2018.). Risse i Gaskin (2002.) ističu prednosti primjene pepela njegovom inkorporacijom u zonu korijena. Distribucija rasipačima mineralnoga gnojiva manje je učinkovita zbog fizikalnih karakteristika pepela (Kopecky, 2014.). Primjena pepela olakšana je povećanjem relativne vlage zraka i stoga je dobro izbjegavati primjenu tijekom suhih dana (Risse i Gaskin, 2002.). Zbog fizikalnih karakteristika, pepeo u rasutom stanju u transportu treba dosta prostora, a distribucija takvog pepela je neprecizna i nejednaka te prašina nagrizava strojeve i predstavlja rizik za zdravlje (Risse i Gaskin, 2002.; Vesterinen, 2003.). Stabilizacija i aglomeracija pepela su postupci dorade kojima se pepeo prevodi u oblik koji olakšava primjenu i njegovu jednoličnu distribuciju. Stabilizacija i aglomeracija mogu se provesti dodavanjem vode i/ili spontanom stabilizacijom, te peletiranjem i granulacijom (Vesterinen, 2003.; Očecova i sur., 2017.).

## ZAKLJUČAK

Pepeo iz biomase predstavlja dobar materijal za kalcijaciju, kao i izvor hraniva koji se može primijeniti na oraničnim površinama i travnjacima, te predstavlja vrlo dobru alternativu odlaganju pepela na odlagalištima. Primjena pepela u količini 6-22 t ha<sup>-1</sup> rezultira povećanjem produktivnosti krmnih kultura i povećanjem udjela mahunarki i sijanih trava u tratinu, te na koncu povećanjem hranjivosti voluminozne krme.

## LITERATURA

1. Adotey, N., Harrell, D. L. & Weatherford, W. P. (2018). Characterization and Liming Effect of Wood Ash Generated from a Biomass-Fueled Commercial Power Plant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(1), 38-49. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1421643>
2. Arshad, M. A., Soon, Y. K., Azooz, R. H., Lupwayi, N. Z. & Chang, S. X. (2012). Soil and Crop Response to Wood Ash and Lime Application in Acidic Soils. *Agronomy*



- Journal*, 104(3), 715-721. <https://doi.org/10.2134/agnonj2011.0355>
3. Baath, E., Frostegard, A., Pennanen, T. & Fritze, H. (1995). Microbial Community Structure and Ph Response in Relation to Soil Organic-Matter Quality in Wood-Ash Fertilized, Clear-Cut or Burned Coniferous Forest Soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 27(2), 229-240. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)00140-V](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)00140-V)
  4. Bang-Andreasen, T., Nielsen, J. T., Voriskova, J., Heise, J., Ronn, R., Kjoller, R., Hansen, H. C. B. & Jacobsen, C. S. (2017). Wood Ash Induced pH Changes Strongly Affect Soil Bacterial Numbers and Community Composition. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1400. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01400>
  5. Bрами, С., Peres, G., Menasserі-Aubry, S., Byers-Woods, J. D., Jacquet, T. & Lowe, C. N. (2021). Effect of *Miscanthus x giganteus* ash on survival, biomass, reproduction and avoidance behaviour of the endogeic earthworm *Aporrectodea caliginosa*. *Ecotoxicology*, 30(3), 431-440. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02369-7>
  6. Brod, E., Haraldsen, T. K. & Breland, T. A. (2012). Fertilization effects of organic waste resources and bottom wood ash: results from a pot experiment. *Agricultural and Food Science*, 21(4), 332-347. <https://doi.org/10.23986/Afsci.5159>
  7. Carlson, C. L. & Adriano, D. C. (1993). Environmental Impacts of Coal Combustion Residues. *Journal of Environmental Quality*, 22(2), 227-247. <https://doi.org/10.2134/jeq1993.00472425002200020002x>
  8. Dahlin, A. S. & Stenberg, M. (2017). Effect of wood ash and crushed rock soil amendments on red clover growth and dinitrogen fixation. *Agricultural and Food Science*, 26(4), 188-197. <https://doi.org/10.23986/Afsci.63739>
  9. Demeyer, A., Voundi Nkana, J. C. & Verloo, M. G. (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresour Technol*, 77(3), 287-295. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00043-2)
  10. Eriksson, J. (1998). Dissolution of hardened wood ashes in forest soils: Studies in a column experiment. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23-32.
  11. Etiegni, L. & Campbell, A. G. (1991). Physical and Chemical Characteristics of Wood Ash. *Bioresour Technology*, 37(2), 173-178. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90207-Z](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90207-Z)
  12. Ferreira, A., Merino, A., Diaz, N. & Pineiro, J. (2011). Improving the effectiveness of wood-ash fertilization in mixed mountain pastures. *Grass and Forage Science*, 66(3), 337-350. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00800.x>
  13. Fritze, H., Smolander, A., Levula, T., Kitunen, V. & Malkonen, E. (1994). Wood-Ash Fertilization and Fire Treatments in a Scots Pine Forest Stand - Effects on the Organic Layer, Microbial Biomass, and Microbial Activity. *Biology and Fertility of Soils*, 17(1), 57-63. <https://doi.org/10.1007/Bf00418673>
  14. Fritze, H., Perkiomaki, J., Saarela, U., Katainen, R., Tikka, P., Yrjala, K., Karp, M., Haimi, J. & Romantschuk, M. (2000). Effect of Cd-containing wood ash on the microflora of coniferous forest humus. *Fems Microbiology Ecology*, 32(1), 43-51. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2000.tb00697.x>
  15. Fűzesi, I., Heil, B. & Kovács, G. (2015). Effects of Wood Ash on the Chemical Properties of Soil and Crop Vitality in Small Plot Experiments/Fahamu hatása a talaj kémiai jellemzőire és a termény vitalitására egy kispárcellás kísérletben. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 11(1), 55-64.
  16. HROTE (2017). Godišnji izvještaj o sustavu poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije u Republici Hrvatskoj za 2016. godinu, dostupno na <https://www.hrote.hr/izvjestaji> (pristupljeno 20. 5. 2021.).
  17. HROTE (2021). Godišnji izvještaj za sustav poticanja OIEIK za 2020. godinu, dostupno na <https://www.hrote.hr/izvjestaji> (pristupljeno 20. 5. 2021.).
  18. Jacobson, S., Høgbom, L., Ring, E. & Nohrstedt, H. O. (2004). Effects of wood ash dose and formulation on soil chemistry at two coniferous forest sites. *Water Air and Soil Pollution*, 158(1), 113-125. <https://doi.org/10.1023/B:Wate.0000044834.18338.A0>
  19. Karlton, E., Saarsalmi, A., Ingerslev, M., Mandre, M., Andersson, S., Gaitnieks, T., Ozolinčius, R. & Varnagiryte-Kabasinskiene, I. (2008). Wood ash recycling—possibilities and risks. In *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy* (pp. 79-108). Springer.
  20. Karlton, E. (2021). Wood Ash Database, dostupno na: <http://woodash.slu.se/>, pristupljeno: 28. 5. 2021.
  21. Knapp, B. A. & Insam, H. (2011). Recycling of biomass ashes: current technologies and future research needs. In B. A. Knapp & H. Insam (Eds.), *Recycling of biomass ashes* (pp. 1-16). Springer.
  22. Kopecky, M. (2014). Using wood ash to improve Pasture Soils and Forages. In: On Pasture. Site, <https://onpasture.com/2014/06/09/using-wood-ash-to-improve-pasture-soils-and-forages/>.
  23. Krejzl, J. A., Scanlon, T. M. (1996). Evaluation of beneficial use of wood-fired boiler ash on oat and bean growth. *Journal of Environmental Quality*, 25(5), 950-954. <https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500050004x>
  24. Lozupone, C. A. & Knight, R. (2007). Global patterns in bacterial diversity. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104(27), 11436-11440. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611525104>
  25. Milovanović, B. (2017). Vrste i količine dostupnog pepela oz drvne biomase u Hrvatskoj. 1. radionica Transformacija pepela iz drvene biomase u građevne kompozite s dodanom vrijednošću, HGK, 20. 10. 2017., dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/323119762\\_Vrste\\_i\\_kolicine\\_dostupnog\\_pepela\\_iz\\_drvne\\_biomase/link/5a81546b4585154d57d951a7/download](https://www.researchgate.net/publication/323119762_Vrste_i_kolicine_dostupnog_pepela_iz_drvne_biomase/link/5a81546b4585154d57d951a7/download) (pristupljeno: 20. 5. 2021.).
  26. Milovanović, B., Štirmer, N., Carević, I. & Baričević, A. (2018). Pepeo drvene mase kao sirovina u betonskoj industriji. *Građevinar*, 71(6), 505-514.
  27. Mollon, L. C., Norton, G. J., Trakal, L., Moreno-Jimenez, E., Elouali, F. Z., Hough, R. L. & Beesley, L. (2016). Mobility and toxicity of heavy metal(loid)s arising from contaminated wood ash application to a pasture grassland soil. *Environmental Pollution*, 218, 419-427. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.021>

28. Muse, J. K. & Mitchell, C. C. (1995). Paper-Mill Boiler Ash and Lime by-Products as Soil Liming Materials. *Agronomy Journal*, 87(3), 432-438. <https://doi.org/DOI 10.2134/agronj1995.00021962008700030008x>
29. Naylor, L. M. & Schmidt, E. (1989). Paper-Mill Wood Ash as a Fertilizer and Liming Material - Field Trials. *Tappi Journal*, 72(6), 199-206.
30. NCSU (2003). Soil Facts: Soil Acidity and Liming for Agricultural Soils. North Carolina State University, online <https://content.ces.ncsu.edu/soil-acidity-and-liming-for-agricultural-soils> (pristupljeno 8. 11. 2019.).
31. Nkana, J. C. V., Demeyer, A. & Verloo, M. G. (2000). Nutrient dynamics in tropical acid soils amended with wood ash. *Agrochimica*, 44(5-6), 197-210.
32. Novine N. službeni list Republike Hrvatske. *Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. Narodne Novine br*, 79(19), 1507.
33. Novine N. službeni list Republike Hrvatske. *Nacionalna razvojna strategija RH do 2030. godine. Narodne Novine br*, 13(21), 230.
34. Ohecova, P., Mercl, F., Kosnar, Z. & Tlustos, P. (2017). Fertilization efficiency of wood ash pellets amended by gypsum and superphosphate in the ryegrass growth. *Plant Soil and Environment*, 63(2), 47-54. <https://doi.org/10.17221/142/2016-PSE>
35. Ozolincius, R., Armolaitis, K., Raguotis, A., Varnagiryte, I. & Zenkovaite, J. (2006). Influence of wood ash recycling on chemical and biological condition of forest Arenosols. *Journal of Forest Science*, 52(2), 79-86.
36. Park, N. D., Rutherford, P. M., Thring, R. W. & Helle, S. S. (2012). Wood pellet fly ash and bottom ash as an effective liming agent and nutrient source for rye grass (*Lolium perenne* L.) and oats (*Avena sativa*). *Chemosphere*, 86(4), 427-432. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.10.052>
37. Patterson, S. J., Acharya, S. N., Thomas, J. E., Bertschi, A. B. & Rothwell, R. L. (2004). Barley biomass and grain yield and canola seed yield response to land application of wood ash. *Agronomy Journal*, 96(4), 971-977. <https://doi.org/DOI 10.2134/agronj2004.0971>
38. Paul, E. A. (2017). *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Academic press.
39. Philippot, L., Spor, A., Henault, C., Bru, D., Bizouard, F., Jones, C. M., ... & Maron, P. A. (2013). Loss in microbial diversity affects nitrogen cycling in soil. *The ISME Journal*, 7(8), 1609-1619. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.34>
40. Ramezani, A., Dahlin, A. S., Campbell, C. D., Hillier, S. & Oeborn, I. (2015). Assessing biogas digestate, pot ale, wood ash and rockdust as soil amendments: effects on soil chemistry and microbial community composition. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 65(5), 383-399. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1014831>
41. Reed, E. Y., Chadwick, D. R., Hill, P. W. & Jones, D. L. (2017). Critical comparison of the impact of biochar and wood ash on soil organic matter cycling and grassland productivity. *Soil Biology & Biochemistry*, 110, 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.03.012>
42. Risse, L. M., Gaskin, J. W. (2002). Best Management Practices for Wood Ash as Agricultural Soil Amendment, Bulletin 1142. In: Cooperative Extension, the University of Georgia, College of Agricultural and Environmental Sciences.
43. ROO (2021). Registar onečišćavanja okoliša, baza podataka, dostupno na: <http://rookalkulator.azo.hr/rpt.html#> (pristupljeno 21. 5. 2021.).
44. Rumpf, S., Ludwig, B. & Mindrup, M. (2001). Effect of wood ash on soil chemistry of a pine stand in Northern Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164(5), 569-575. [https://doi.org/Doi 10.1002/1522-2624\(200110\)164:5<569::Aid-Jpln569>3.0.Co;2-E](https://doi.org/Doi 10.1002/1522-2624(200110)164:5<569::Aid-Jpln569>3.0.Co;2-E)
45. Saunders, O. (2018). Guide to Using Wood Ash as an Agricultural Soil Amendment. *Naujojo Hampšyro universitetas. Prieiga per internetą*: < [https://extension.unh.edu/resources/files/Resource004042\\_Rep5718.pdf](https://extension.unh.edu/resources/files/Resource004042_Rep5718.pdf).
46. Steenari, B. M., Marsic, N., Karlsson, L. G., Tomsic, A. & Lindqvist, O. (1998). Long-term leaching of stabilized wood ash. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 3-16.
47. Vance, E. D. & Mitchell, C. C. (2000). Beneficial Use of Wood Ash as an Agricultural Soil Amendment: Case Studies from the United States Forest Products Industry. In J. F. Power & W. A. Dick (Eds.), *Land Application of Agricultural, Industrial and Municipal By-products*, 6, 567-582. <https://doi.org/10.2136/sssabookser6.c20>
48. Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K. & Vassileva, C. G. (2013). An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase-mineral and chemical composition and classification. *Fuel*, 105, 40-76. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.041>
49. Vesterinen, P. (2003). Wood ash recycling state of the art in Finland and Sweden. *VTT Processes, Energy Production, Jyväskylä*, 1-50.
50. Zajac, G., Szyszlak-Barglowicz, J., Golebiowski, W. & Szczepanik, M. (2018). Chemical Characteristics of Biomass Ashes. *Energies*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/En11112885>
51. Zimmermann, S. & Frey, B. (2002). Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. *Soil Biology & Biochemistry*, 34(11), 1727-1737. [https://doi.org/Doi 10.1016/S0038-0717\(02\)00160-8](https://doi.org/Doi 10.1016/S0038-0717(02)00160-8)

## APPLICATION OF BIOMASS ASH ON GRASSLANDS

---

### SUMMARY

*An increase in the reliance on biomass energy production results in an increased ash production, as a residue subsequent to the biomass combustion. As an alternative to the disposal of ash in landfills, the use of ash in agriculture is becoming increasingly important. The value of ash as a calcifying material, fertilizer, or soil improvement material, as well as a possibility of application and the amount of ash applied in forage production on an arable land or grassland, depend on the content of macro- and micronutrients, the potential neutralization value, and on the content of heavy metals and other potential pollutants. Biomass ash, which contains the significant amounts of nutrients (Ca, K, Mg, P, Fe), can be applied as a calcifying material affecting the soil's physical and chemical properties, soil microbiological activity, and soil decomposition and ultimately increases crop productivity. The application of ash on grasslands and in the forage production in the amount 6-22 t ha<sup>-1</sup> results in an increased productivity of forage species, the proportion of legumes in the sward, and the nutritional value of forage.*

**Keywords:** ash, biomass, grasslands, forage

(Received on July 15, 2021; accepted on November 24, 2021 - *Primljeno 15. srpnja 2021.; prihvaćeno 24. studenoga 2021.*)