

PROBLEMI KOD TOPLINSKOG ISKORIŠTENJA OTPADNE DRVNE BIOMASE I MOGUĆA RJEŠENJA

**mag. Muharem Husić, Viktor Grilc, prof.dr., Kemijski inštitut, Hajdrihova ulica 19, Ljubljana,
Slovenija**

SAŽETAK: Istaknuti su problemi, koji se pojavljuju u Sloveniji kod toplinske upotrebe i iskoristivosti drvne biomase i drvnih odpadaka. Prvi dio problema proizlazi iz sadržaja onečišćujućih tvari u biomasi odnosno u otpadnom drvetu, koje mogu štetiti kotlu ili širem životnom okolišu. Granične vrijednosti, propisane u odgovarajućoj uredbi odnose se na sadržaj kiselih komponenata (klor, fluor, sumpor, bor) i na teške metale (arsen, bakar, kadmij, živa). Najveći ograničavajući parametar je sadržaj klora, koji je u prirodnoj drvnjoj biomasi dozvoljen u koncentraciji do 100 mg/kg, a za oplemenjen drvni otpad do 350 mg/kg. U većini slučajeva otpadno drvo sadrži znatno veću količinu klora i u nekim slučajevima teških metala od propisane vrijednosti. Iz tog razloga je uporaba otpadne drvne biomase, čak i prirodne, kao alternativnog goriva vrlo teška. Sadržaj klora u drvnjoj biomasi proizlazi dijelom iz rastućeg okoliša, dijelom iz kasnijeg onečišćenja, a u otpadnom drvetu iz impregnacijskih i oplemenjujućih sredstava.

Drugi dio problema se odnosi na odstranjivanje drvenog pepela. Pepeo iz otpadne drvne biomase uglavnom nije onečišćen, ali je zato vrlo alkalni i stoga nije prihvatljiv za uporabu u poljoprivredi. Pri odlaganju na deponije otpada, sadržaj vodotopivih tvari u pepelu je često kritičan parametar. Pepeo iz otpadnog drveta može biti onečišćen teškim metalima, čija alkalnost također predstavlja značajan problem. U referatu će biti prikazana neka moguća rješenja, npr. stabilizacija pepela prije odlaganja sa raznim dodacima ili karbonatizacijom, te moguća prerada u gnojivo za poljoprivredu.

Ključne riječi: toplinsko iskorištenje, drvni otpad, drvni pepeo, recikliranje, odstranjivanje

PROBLEMS RELATED TO THERMAL UTILISATION OF WOOD BIOMASS AND SOME POSSIBLE SOLUTIONS

ABSTRACT: Problems relating thermal utilisation of fresh and waste wood, as well as classification and management of wood ashes in Slovenia, are presented and critically discussed. According to recent legal requirements even fresh (untreated) wood is often unsuitable for firing in middle to large size power plants due to high content of chlorine. Similarly, ashes are often found unsuitable for disposal at landfills due to high content of soluble substances and unburned carbon. Direct utilisation of wood ash in agriculture or forestry is hindered by its alkalinity. The latter can be reduced by spontaneous carbonisation by atmospheric or induced carbon dioxide. A promising utilisation options are mutual neutralisation / consolidation of wood ash and various dehydrated industrial or municipal wastes (e.g. compost, digestate, sewage sludge and paper mill sludge).

Key words: thermal utilisation, wood waste, wood ash, recycling, disposal

1.Uvod

Glavni proizvod bioloških procesa u biosferi je biomasa. Neka ima vrlo kratak životni vijek (jednostanični), dok druga vrlo dug (npr. drvo). Za Sloveniju je najznačajnija drvena biomasa, koja u obliku šuma pokriva oko 60 % njene površine; njen godišnji rast drvene biomase iznosi 3.6 Mt s.s. (1). Dio prirasta se ekonomski koristi kao sirovina u drvnoj industriji, građevinarstvu, za grijanje u komunalnim toplinskim napravama i kod individualnih grijanja. Drvo je tradicionalno gorivo provincijskog stanovništva, koje se opet počinje upotrebljavati. Oko 10 % nacionalne potrošnje toplinske energije pokriveno je s drvnetom, uključujući i otpadno. Masovna upotreba drveta uzrokuje nastajanje velikih količina drvnih otpadaka, a njihova toplinska upotreba znatne količine otpadnog drvnog pepela. Otpadno drvo nastaje prvenstveno u drvno-prerađivačkoj industriji, građevinarstvu, trgovini (ambalaža), prometu i komunalnom sektoru (npr. kosovni otpadci).

Zbog tehnološkog razvoja sistema grijanja na drvenu biomasu (moderni kotlovi), pouzdanja u velike energetske sisteme (termoelektrana Trbovlje, Šoštanj, Termoelektrana toplarna Ljubljana), potrebe nekih sektora drvene industrije (proizvodnja vlakana i iverice) i povećanog izvoza u inozemstvo, drvni ostaci postaju sve značajnija sirovina, koja će u budućnosti još i povećati svoju važnost (2). Na osnovi toga izvora utvrđujemo, da godišnje u Sloveniji nastane 650.000-850.000 tona drvnog otpada, a od toga više od pola kod proizvodnje rezanog drveta. Ta sirovina ima široku upotrebu, iako je ovisna o strukturi i onečišćenju otpadaka. Najviše drvnih otpadaka u EU upotrebljava se u energetske svrhe i izradu panela iz dezintegriranog drveta. Drugi zanimljiv oblik otpadne biomase je suvišan mulj bioloških tretmana, koji sastavljaju odumrle bakterije i gljivice iz procesa čišćenja komunalnih otpadnih voda. Toplinska iskoristivost tog otpatka postaje zanimljiva u posljednje vrijeme, kada odlaganje suvišnoga mulja nije više dozvoljeno. To će biti predmet sljedećeg doprinosa na konferenciji.

Metode toplinskog iskorištenja su konvencionalno sagorjevanje sa zrakom u odgovarajućim napravama za spaljivanje za kruta goriva. Zadnjih godina pojavljuju se energetske korisniji i za okoliš pogodniji procesi bez zraka (piroliza, uplinjavnje, plazma, ukapljivanje, itd.). Posljednji postupci u svijetu još nisu u širokoj uporabi, unatoč dosta raspoloživih kapaciteta za spaljivanje. U Sloveniji ih još nema zbog relativno visoke cijene. Zato ćemo se ograničiti na probleme, koji nastaju prilikom toplinske obrade otpadne drvene biomase odnosno drvnih otpadaka, te odstranjivanje nastalog drvnog pepela. Novije slovensko zakonodavstvo na

području gospodarenja s otpadom naime potiče različite načine obrade drvnog otpada (i njegove poslije-toplinske prerade – drvni pepeo) iako pri tom postavlja vrlo stroge kriterije, koje se često pokazuju potpuno neadekvatni za naše uvjete (3).

1.1 Vrste i količina drvnog otpada

Kod konvencionalnog paljenja u pećima s rešetkama (rjeđe u fluidiziranom sloju) spaljuje se drvni otpad iz drvne i drugih industrija. U Sloveniji godišnje nastaju slijedeće količine drvnog otpada i pepela iz informacijskog sustava Ministarstva za okoliš i prostor (MOP) – Agencije Republike Slovenije za okoliš (ARSO) (tablica 1).

Jasno je, da je u Sloveniji godišnje prijavljeno nastajanje 435.260 tona drvnih otpadaka raznih vrsta te 178 tona drvnog pepela. Pitanje je, koliko su te brojke točne, jer spaljivanje drvnog otpada često ne prepoznajemo kao djelatnost na koju treba obraćati posebnu pažnju. Slično je s nastajanjem (i postupanjem sa) drvnim pepelom. Također ga uvijek ne prepoznamo kao otpad, koga je potrebno prijavljivati i po propisu odstraniti. Ta pitanja su se počela uređivati tek posljednjih godina, po izlasku odgovarajućih propisa i izvođenju inspeksijskog nadzora, koji je pretežno ograničen na velike uzročnike otpada. Stvarne brojke su sigurno veće, a postupanje često izvan zakonskih zahtjeva.

Tablica 1: Godišnje količine drvnog otpada u Republici Sloveniji u 2008 god.

Klasif. br.	Naziv otpada	Ljetna količina v 2008 (t)
Drvni otpad		
03 01 01	otpadna kora i pluta	22.644
03 01 04*	piljevina, strugotine drveta, reznice, otpadno drvo, iverice i furnir koji sadrže opasne tvari	1
03 01 05	piljevina, strugotine drveta, reznice, otpadno drvo, iverice i furnir, koji nisu navedeni pod 03 01 04	367.534
03 03 01	kora i drvo	24.132
15 01 03	Drvena ambalaža	15.372
17 02 01	drvo (građevinsko)	4.006
17 02 04*	staklo, plastika i drvo, koji su onečišćeni opasnim tvarima ili sadrže opasne tvari	1
19 12 06*	drvo, koje sadrži opasne tvari	0
19 12 07	drvo, koje nije predviđeno v 19 12 06	214
20 01 37*	drvo, koje sadrži opasne tvari	320
20 01 38	drugo drvo, koje nije predviđeno v 20 01 37	1.036
Drvni pepeo		
10 01 03	elektrofilterski pepeo iz spalionica na šotu i drvo	178

Izvođači koji vrše spaljivanje drvnog otpada (ne gledajući na njihovo onečišćenje) u velikim napravama s toplinskom snagom iznad 1 MW moraju za svoje djelovanje dobiti ekološku dozvolu. Dobivanje dozvole uključuje uspostavljanje nadzora nad sistemom i kvalitetom izvođenja spaljivanja, koje mora biti stalno i cjelovito (tj. uključujući s emisijama i otpadom sagorijevanja).

1.2 Granične vrijednosti za kvalitetu otpadne drvene biomase i drvnog otpada

Uporabu sekundarnih goriva (dobijenih iz otpada) u Sloveniji uređuje niz propisa, s obzirom na agregatno stanje goriva. Kvaliteta alternativnih krutih goriva propisana je Uredbom o preradi opasnog otpada u kruta goriva (Službeni glasnik RS 57/08), a samo spaljivanje u Uredbi o spaljivanju otpada (Ur.l. RS 68/08 i 41/09). Limitirajući parametri i njihove granične vrijednosti dane u drugoj navedenoj uredbi prikazane su u (tablici 2). Kao usporedba, dane su granične vrijednosti za kvalitetu drvnog goriva iz evropskog standarda (4) i za kvalitetu otpadnog drveta, primjerenog za reciklažu i za izradu ivernih ploča (5).

Tablica 2: Limitirajući parametri i njihove granične vrijednosti u slovenskoj uredbi o spaljivanju prirodnog drvenog otpada i otpadnog (obrađenog) drveta.

Onečišćenja	Granične vrijednosti za prirodno drvo (mg/kg)	Granične vrijednosti za obrađeno drvo (mg/kg)	Priporočila SIST EN 14961-1:2010 (mg/kg)	Priporočila EPF (mg/kg)
B	15	30	-	-
As	0,8	2	1	25
F	10	30	-	100
Cu	5	20	10	40
Hg	0,05	0,4	0,05	2,5
Cl	100	150	200-300	1000
Cl (s PVC oplemenitenjem)	-	350		-

Europski standard SIST EN 14961-1:2010 navodi sljedeće tipične osobine mikrosastava (uključujući klor) u raznim vrstama drveta i drvenih goriva (tablica 3).

Tablica 3: Sadržaj klora u raznim vrstama drveta i drvenih goriva

Materijal	Sadržaj klora (mg/kg)
Prirodno drvo četinara	100-400
Prirodno drvo listopadno	100-200
Prirodno drvo grmastog drveća	100-500
Kora	100-500
Drvena goriva iz prirodnog drveta.	200-300

2. Problemi kod spaljivanja otpadnog drveta u Sloveniji

2.1 Problemi s povećanim sadržajem klora

Iz tablice 4 je vidljiv normalan sadržaj klora u prirodnom drvetu preko granične vrijednosti iz našega propisa, također za faktor pet. Granična vrijednost klora u drvetu postavljena je nerealno nisko. Drugi parametri nisu kritični, neki od njih ocjenjeni su kao nepotrebni, npr. bor i fluor (6). Kod ekološkog vrednovanja sličnosti prirodnog i otpadnog drveta za spaljivanje, to prouzrokuje velike probleme. U Sloveniji je vrlo teško naći uzorke prirodnog drveta, koji bi zadovoljili graničnu vrijednost.

Tablica 4: Nekoliko tipičnih rezultata analize klora u otpadnom drvetu

Tvrđka	Godine	Sadržaj klora u drvnom otpadu
		(mg/kg)
1	2008	180
2	2009	160
3	2009	100
4	2009	610
5	2009	240
6	2009	460
7	2009	160
8	2010	280
9	2010	660
10	2010	300
11	2010	80
12	2010	< 50

Također, drugi slovenski laboratoriji javljaju o visokoj vrijednosti klora (tablica 5), koje ih sprečavaju pri analizi tih uzoraka, npr. u drvnom brusnom prahu i iverici (5).

Tablica 5: Primjer iz drugih slovenskih laboratorija

Oblik uzorka	Klor (mg/kg)
strugotine	472-1869
brusni prah	643-1627
komadi ivernih ploča	1061
prah i komadi starih ploča	2284

Uzrok povećanja prisutnost klora je po našim mišljenju iz:

- prirodnog izvora (emisije aerosolov morske soli iz Jadranskog mora u šume u unutrašnjosti)

- tehnološke obrade (kod izrade iverice upotrebljava se amonijev klorid).

Pretjerano niske granične vrijednosti stvaraju pritisak na vlasnike drvnog otpada, koji bi ga željeli spaliti u vlastitim kotlovnica i toplinu iskoristiti u svojim tehnološkim procesima. U napore za promjenu zakonodavstva se uključio i tehnički odbor za tvrda goriva pri Slovenskom uredu za standardizaciju (SIST), koji je uputio više pisanih prijedloga MOP-u RS i planirao obilazak predstavnika (7). Prema tvrdnjama odgovornih ta će uredba do kraja godine biti revidirana, a utemeljene primjedbe će se uzeti u obzir.

2.2 Problemi sa drugim zagađivačima

- Osobine pesticidnih teških metala (As, Cu, Hg, Sn,)
- Osobine pigmentnih teških metala (Cd, Pb, Zn, ...)
- Posebnost organoklornih pesticida (heksaklor benzen, pentaklor fenol, ...)
- Posebnost impregnacijskih policikličnih aromatskih ugljikovodika (PAO): željeznički pragovi, otpad pri namještanju novih pragova na tračnice, otpadni impregnirani kolci i šipke,

3. Problemi kod odlaganja otpadnog drvnog pepela u Sloveniji

3.1 Odlaganje pepela

Drvni pepeo je u pravilu bezopasni otpad, osim ako nisu nastali spaljivanjem jako onečišćenog drveta (teški metali, prije svega Cu, Hg in Cl; organoklorni pesticidi, PAH-i). Uredba o odlaganju otpada na odlagališta (Ur.l. RS 98/07 in 53/09) određuje kriterije po kojima se različiti otpadi mogu odlagati na odlagalište. U suprotnosti sa drvnim otpadom, koji se ne smije odlagati zbog biorazgradljivosti i zapaljivosti, često su ograničavajući faktori za odlaganje drvnog pepela na odlagališta neopasnog otpada, njegova karakteristika vodotopivih tvari (granična vrijednost 60 g_{s.s.}/kg), sadržaj nesagorjelog ugljika (TOC), sadržaj otopljenog organskog ugljika (DOC) i alkalnost standardnog izlužka (granična vrijednost 13). Karakteristične vrijednosti su prikazane u tablici 6.

Preveliku topljivost i alkalnost pepela možemo smanjiti ostavljanjem pepela na zraku, pri čemu se odvija proces vezanja CO₂ iz zraka sa oksidima alkalnih i zemljoalkalnih metala u pepelu (K, Ca, Mg). Nastali karbonati su mnogo manje topljivi i alkalni od oksida, i stoga pepeo postaje primjeran za odlaganje.

Prirodni proces karbonatizacije oksida u pepelu je zbog male vrijednosti CO₂ u zraku slabo učinkovit, zato ga poboljšavamo s uvođenjem CO₂ iz drugih izvora (najčešće dimnim plinovima iz sagorjevanja).

Tablica 6: Karakteristične osobine drvnog pepela u Sloveniji

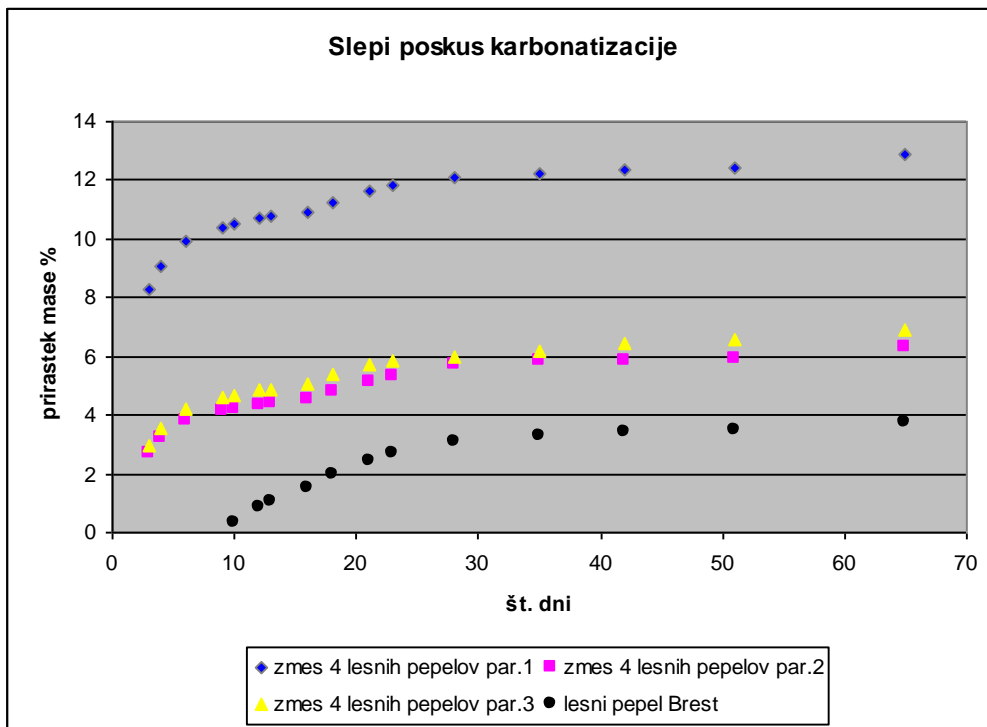
Parametar	Granične vrijednosti*	Izmjerene vrijednosti
<i>Drvni pepeo</i>		
Suha tvar (%)	-	0,3-2,3
Gubitak žarenjem, 550°C (%)	6	0,7-2,8
TOC (%)	18	1,6-10,6
<i>Standardni izlužak drvenoga pepela[#]</i>		
pH (/)	13	12,4-12,9
Ukupne rastopljene tvari (g/kg _{odp.s.s.})	60	27,6- 149,2
DOC (mg/kg _{odp.s.s.})	800	10- 2255

* za odlagališta bezopasnog otpada; [#] SIST EN 12457-4

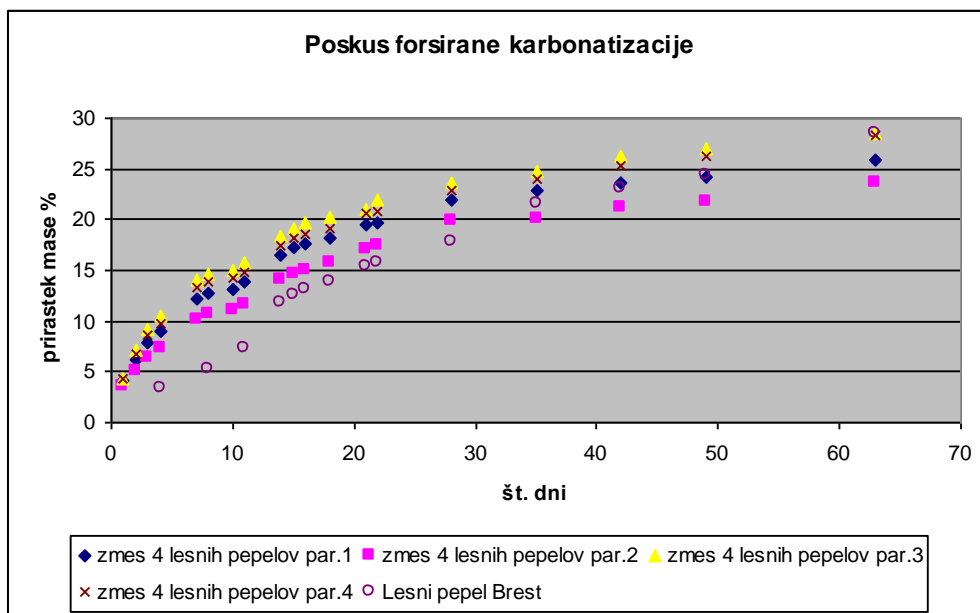
Usporedba između spontane i forsirane karbonizacije prosječnoga drvnog pepela nekih slovenskih tvornica za obradu drveta pri sobnoj temperaturi, su prikazana na slici 1 in slici 2 ter tablici 7. Eksperiment je izveden povezivanjem tankog (nekoliko mm) sloja pepela na inertni tanki nosač, a nad njim je bio zrak ili zasićeni, vlažan CO₂.

Razlika među procesima je očita kako u vremenu trajanja tako i u količini vezanja CO₂. Zanimljivo je, da se spontana karbonizacija odvija brže (u 3-4 tjedna) od forsirane (dva mjeseca), iako je pak količina vezanja plina pri posljednjoj, dva puta veća.

Može se vidjeti, da se prirodna karbonizacija (kod kontakta tankog sloja pepela sa zrakom) odvija u jednom mjesecu, pri čemu težina pepela naraste od 4-13 %, zavisno od porijekla. Forsirana karbonizacija (s čistim CO₂, zasićenim vlagom) se odvija dva mjeseca, pri čemu se masa pepela poveća za 24-28 %, iako je razlika među aktivnostima uzoraka mnogo manja nego kod sponatne stabilizacije na zraku. Prirast mase ide pretežno na račun vezanja CO₂, pri forsiranoj, a također i vode (vlažan plin).



Slika 1: Slijepi primjer karbonizacije



Slika 2: Primjer forsirane karbonizacije drvnog pepela.

Često drveni pepeo ima prekoračen sadržaj do 3 % ukupnog organskog ugljika (TOC). U tom slučaju o odlaganju odlučuje sadržaj otopljenog organskog ugljika (DOC): ako je njegova vrijednost dovoljno niska (ispod 80 mg/l), onda sadržaj totalnog ugljika u pepelu nije relevantan i može se odlagati na otpad.

Tablica 7: Rezultati analize za spontanu i forsiranu karbonizaciju

Uzorak	Način obrade	Suha tvar 105°C (%)	Gubitak žarenjem 650°C (%)	pH (/)	Ukupne rastopljene tvari (g/kg)
Smjesa pepela iz GGP	Neobrađeno	0	0	13,0	63,09
	Spontana karb.	0,75	10,6	12,5	62,68
	Prisilna karb.	4,23	20,8	10,6	31,20
Pepeo Brest	Neobrađeno	0,7	0,7	12,9	149,2
	Spontana karb.	0,60	8,3	12,6	66,98
	Prisilna karb.	5,01	16,7	9,9	46,92

3.2 Reciklaža pepela

Sa druge strane je pepeo iz onečišćenoga drveta zanimljiva alternativna mineralna sirovina za razne namjene, prije svega za gnojenje in kondicioniranje kiselih zemljišta. To područje uređuje Uredba o obogaćivanju tla nanošenjem otpadaka (Ur.l. RS 34/08) i Uredba o graničnim vrijednostima unosa bezopasnih tvari gnojiva u tlo (Ur.l. RS 84/2005). Direktna aplikacija pepela zbog njegove alkalnosti nije moguća, lako ga se prikladno stabilizira. Prva uredba ne govori o unosu otpadaka nego – zemaljskih iskopa – t.j. «umjetno pripremljeno zemljište», namjenjeni rekultivaciji tla, nasipanju zemljišta i zapunjavanju iskopa. Stoga je potrebno pepeo integrirati u zemaljski iskop ili u neki drugi primjeren odnosno komplementaran otpad, npr.:

- kompost iz biorazgradljivog dijela komunalnih otpada
- kompost iz blata BČN ili stabilizirani digestat iz bioplinske naprave
- mineralno-organski procesni otpad (npr. papirni mulj).

Granični parametri za unos umjetno pripremljene zemlje u tlo su određeni teški metali (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), određeni organski zagađivači (CH-cel., PAH, PCB, AOX, BTX) i neki grupni parametri (pH, el. prevodljivost, TOC). Ukoliko su svi sastojci umjetno pripremljene zemlje dobijeni iz dovoljno neočišćenih sastojaka, postoje realni izgledi za zadovoljenje tih (razmjerno strogih) kriterija.

Proces mineralizacije mješavine drvnog pepela i papirnog mulja (1:3), u pogledu nekih ključnih komponenata, je prikazan u tablici 8.

Tablica 8: Rezultati procesa mineralizacije mješavine drvnog pepela i papirnog mulja

Čas staranja (mjeseci)	NH ₄ ⁺ (mg/kg)	Cl ⁻ (mg/kg)	SO ₄ ²⁻ (mg/kg)
0	21	27310	287
2	38	19250	264
3	60	19570	190
9	55	16255	160

4. ZAKLJUČAK

1. Termička upotreba drvnih otpadaka, koji se dalje ne mogu prerađivati u drvene proizvode je dobar način ravnjanja sa njima. Vlasnici tih otpadaka se susreću sa nerealnim graničnim vrijednostima za sadržaj klora, što sa preventivnim i tehnološkim ukrepima nije moguće postići. Pored toga je propisano praćenje nekih posve nerelevantnih parametara (bor, fluor), i stoga je predložena promjena propisa.
2. Drvni pepeo, koji nastaje u kotlovnicaama na otpadnu drvenu biomasu ili druge drvene otpatke, predstavlja težak procesni otpad, čije odlaganje u pravilu nije moguće. Srazmjerno jednostavnim procesima spontane ili forsirane karbonizacije, lako ga prevedemo u oblik pogodan za odlaganje. Zbog zanimljive mineralne karakteristike pepela je još primjerna metoda reciklaža na poljoprivredne ili šumske površine, kako u stabiliziranom obliku pepela ili pomiješanog sa kompostom, blatom bioloških napravama za čišćenje ili kakvih drugih, neojačanih mineralno-organskim blatom.

LITERATURA

- (1) Statistični letopis RS (2008), SURS, Ljubljana
- (2) Piškur M., Krajnc N. (2009), *Viri in raba lesnih ostankov v Sloveniji*. Lesarski utrip, 126
- (3) Uredba o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo, Ur.l. RS, št. 57/2008
- (4) MOP-ARSO (2010), Informacijski sistem o ravnanju z odpadki v RS v l. 2008, www.gov.si
- (5) SIST EN 14961-1:2010. Trdna biogoriva – Specifikacije goriv in razredi – 1.del: Splošne zahteve

- (6) European Panel Federation (2004). EPF Industry standard. The use of recycled wood for wood-based panels. Bruselj, 3
- (7) Pripombe in predlogi dopolnitev Uredbe o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo, Tehnični odbor za trdna goriva, SIST, 2009
- (8) Humar M. (2008) Anorganska onesnažila v odsluženemu lesu in ploščah iz dezintegriranega lesa. Les 60: 98-102
- (9) Interna dokumentacija Kemijskega inštituta, 2008-2010
- (10) Arvidsson H. (2001) Wood Ash Application in Spruce Stands, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). Uppsala. ISBN 91-576-6305-X.
- (11) V.Grilc et al. (2010) Management of waste wood biomass ashes in Slovenia – present situation, problems and solutions; Proc. Abs. Conf. On Recycling of Biomass Ashes, Innsbruck, March 22-23, 2010, p.21