



Priredila: Maja RUJNIĆ-SOKELE

Otpad – vrijedan izvor energije

Plan gospodarenja otpadom za Grad Zagreb objavljen je sredinom srpnja 2009. na web-stranicama Grada Zagreba. Planom je, u skladu sa Strategijom gospodarenja otpadom RH i prema Planu gospodarenja otpadom RH, u Gradu Zagrebu predviđena gradnja postrojenja za toplinsku obradu komunalnoga otpada na lokaciji Žitnjak-istok. Za zbrinjavanje ostatnoga neopasnog otpada na lokaciji u Resniku izgradit će se postrojenje za toplinsku obradu, a u postrojenju se planira i zbrinjavanje otpadnog mulja iz Centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba.¹ Ubrzo su se pobunili zeleni, Zelena akcija² i Zelena lista³, koji predstavljeni Plan gospodarenja otpadom za Grad Zagreb smatraju neprihvatljivim, najviše upravo zbog izgradnje spornog postrojenja za toplinsku obradu otpada, odnosno pojednostavnjeno – iako ne potpuno ispravno – spalionice. Imaju li pravo? Hoće li se izgaranjem otpada uništiti vrijedni resursi koji bi se mogli reciklirati te hoće li emisije dimnih plinova u zrak onečišćivati okoliš? Kao odgovor na ta pitanja mogu poslužiti europska iskustva s toplinskom obradom otpada.

Energane na otpad

Postrojenje za dobivanje energije iz otpada (e. *energy from waste*, *EFW*, ili *Waste to Energy*, *WtE*), energana na otpad (ENO), pretvara potencijalnu energiju otpada u neki drugi oblik korisne energije, najčešće energiju za grijanje, električnu energiju i gorivo za transport. Postrojenja mogu rabiti različite vrste otpada – od kućanskoga, komercijalnoga, industrijskoga, građevinskoga, do kanalizacijskoga i poljoprivrednog otpada. Jedini kriterij koji otpad mora zadovoljiti jest da je zapaljiv i/ili biorazgradljiv. Treba znati da postrojenje za dobivanje energije iz otpada nije isto što i spalionica. Svrha spalionice je smanjenje obujma otpada njegovim spaljivanjem, čime se stvara pepeo koji se negdje drugdje odlaže, npr. na odlagalištu. Nasuprot tomu, svrha energane na otpad je dobivanje iskoristive energije, pri čemu se

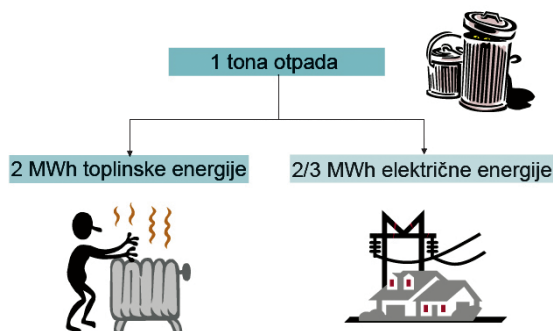
ENO može projektirati tako da ima vrlo malo ili nimalo otpada za odlagalište.

Procesi u energanama na otpad

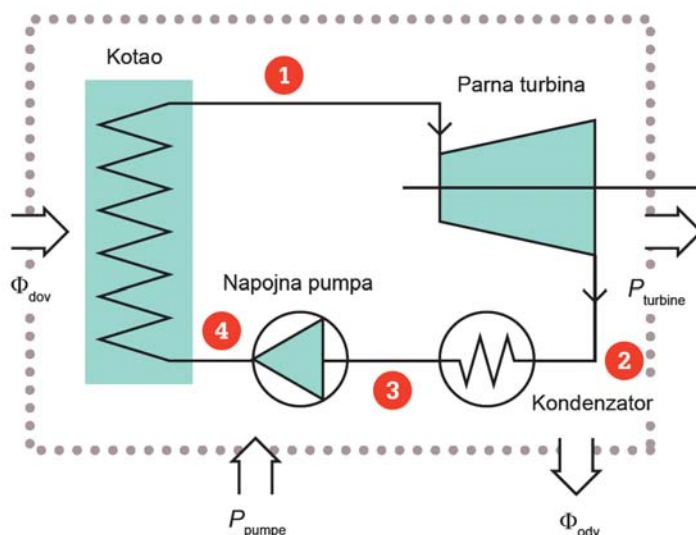
U energanama na otpad moguća su četiri osnovna procesa, od čega su tri toplinska (izgaranje, rasplinjavanje i piroliza), a jedan je biološki (anaerobno truljenje).⁴ Većina postrojenja za dobivanje energije iz otpada su sustavi za izgaranje, dakle proces pri kojem smjesa sporo reagira s kisikom uz stvaranje energije i topline koja se može iskoristiti.

Od jedne tone otpada može se dobiti oko 2 000 kWh električne i 700 kWh toplinske energije (slika 1).⁵

Postrojenje radi na načelu Rankinova procesa (slika 2), nazvanog po škotskom izumitelju Williamu Rankinu, koji je 1859. napisao prvu knjigu o termodinamici. Postoje četiri osnovne komponente Rankinova procesa – parna turbina, kondenzator, napojna pumpa i kotao. Rankinov ciklus proizvodi istodobno električnu energiju i toplinu. Proizvedena toplina nije nusproizvod, kao kod nekih drugih procesa, već je osnovno načelo



SLIKA 1 - Oporaba energije iz otpada⁵



SLIKA 2 - Rankinov proces⁴ (F_{dov} , F_{odv} – toplinski tokovi koji predstavljaju toplinu dovođenja i odvođenja, $P_{turbine}$, P_{pumpe} – mehanička snaga dobivena ili potrošena za pogon sustava)

prema kojemu sustav radi, odnosno riječ je o kogeneracijskom postrojenju.

Rasplinjavanje se definira kao toplinska reakcija pri kojoj nema dovoljno kisika za reagiranje svih ugljikovodika (spojeva molekula ugljika, vodika i kisika) u CO₂ i vodi.⁴ Kisik u obliku zraka, pare ili čisti kisik reagira pri visokoj temperaturi sa svim dostupnim ugljikom u otpadu te proizvodi plin (npr. metan, CH₄), pepeo ili šljaku i katran. Iako se rasplinjavanje u procesima iskorištavanja otpada primjenjuje tek odnedavno, rasplinjavanje ugljena dobro je poznato. Najveća prednost rasplinjavanja biootpada je mogućnost izravnoga korištenja proizvedenog plina, nakon pročišćavanja, kao goriva za generator plinske turbine koji je dio kogeneracijskog postrojenja, čime se teoretski poboljšava ukupna toplinska djelotvornost postrojenja. Osnovni nedostatak su visoki troškovi postrojenja.

Piroliza je toplinska razgradnja organskog otpada bez prisutnosti slobodnoga kisika.⁴ Iako je proces pirolize poznat dulje vrijeme, njegova primjena za biomasu i otpadne materijale relativno je nova. Najvažnije gorivo za energanu je pirolitičko ulje. Ovisno o procesu, ulje se rabi kao kapljevito gorivo za izgaranje u kotlu ili kao zamjena za dizelsko gorivo u klipnome motoru, iako to zahtijeva daljnju obradu.

Anaerobno truljenje (digestija) je biološki proces najčešće primjenjivan za obradu kapljevite i polukapljevite gnojnice kao što je životinjski otpad.⁴ Primjenjuje se i za dobivanje plina od kanalizacijskog otpada, a u ograničenoj mjeri za neke druge vrste otpada i biomasu. Anaerobno truljenje je isti biološki proces koji se zbiva na odlagalištima, no pod kontroliranim uvjetima. U digestoru, zagrijanome i zabrtvljenom spremniku gdje bakterije fermentiraju organske tvari bez prisutnosti kisika, zbivaju se hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza, a konačni proizvod je bioplin. Količina proizvedenog bioplina ograničena je veličinom spremnika, a najčešće se koristi za rad kogeneracijskog postrojenja za proizvodnju toplinske i električne energije. Najveća prednost anaerobnog truljenja je što radi s mokrim otpadom koji predstavlja problem za bilo koji drugi proces. Idealno je za manja postrojenja kao što su farme, gdje se od onoga što se proizvede na farmi može proizvesti dovoljno energije (električne i toplinske) za njezin rad. Nedostatak je relativno velik prostor koji postrojenje zahtijeva, a često je vrlo teško izbjeći neugodne mirise, pa proces nije pogodan za urbana naselja. Nadalje, relativno je nedjelotvoran s obzirom na dobivenu korisnu energiju u usporedbi s ostalim oblicima postrojenja za dobivanje energije iz otpada budući da se

ne iskorištava sva organska tvar. Osim toga većina sustava za anaerobno truljenje su ciklički procesi, a ne kontinuirani, što znači da su nužni paralelni sustavi ako je potreban kontinuirani izlaz.

Izgaranje je najuobičajeniji proces u postrojenjima za dobivanje energije iz otpada u europskim zemljama, a slijedi anaerobno truljenje. Ni piroliza ni rasplinjavanje nisu u velikoj mjeri prisutne, uglavnom zbog velikih početnih problema pri pokretanju obaju procesa u mnogim zemljama.⁴

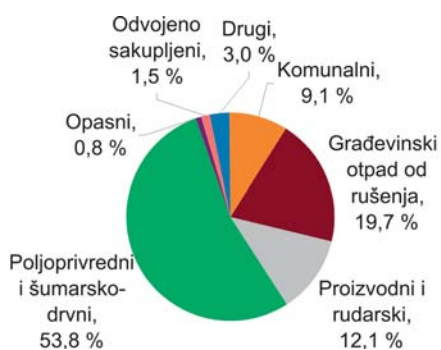
Vrste otpada

U tablici 1 prikazana je procjena godišnje količine otpada u Republici Hrvatskoj. Procijenjene količine otpada u postocima prikazane su na slici 2.

Komunalni otpad proizvodi se u našim domovima, pa je mješavina otpada od hrane koja je biorazgradljiva, plastike koja to nije, ali je goriva, metala i stakla koji nisu ni biorazgradljivi ni gorivi, no mogu se reciklirati, papira koji je biorazgradljiv, goriv i može se reciklirati itd. Osim otpada iz kućanstava, u komunalni otpad pripada i otpad koji nastaje čišćenjem javnih površina te otpad sličan otpadu iz kućanstava koji nastaje u gospodarstvu, ustanovama i uslužnim djelatnostima.

TABLICA 1 - Procjena godišnje količine otpada u RH⁶

Otpad	Količina, mil. t/god.
Komunalni	1,2
Građevinski i otpad od rušenja	2,6
Proizvodni i rudarski	1,6
Poljoprivredni i šumarsko-drveni	7,1
Opasni	0,1
Odvojeno skupljeni	0,2
Drugi	0,4
Ukupno	13,2



SLIKA 3 - Procijenjeni udjeli različitih vrsta otpada u godišnjoj količini otpada u RH⁶

Proizvodni otpad nastaje u proizvodnim procesima u gospodarstvu, ustanovama i u uslužnim djelatnostima, a prema količinama, sastavu i svojstvu bitno se razlikuje od komunalnoga. Građevinski otpad i otpad od rušenja sadržava velik udio minerala koji nisu biorazgradljivi ni gorivi, a najčešće ih se ne isplati reciklirati. Taj otpad sastoji se i od udjela drvnog otpada koji je goriv, odnosno biorazgradljiv. Međutim najčešće je kemijski obrađen ili obojen ili na neki drugi način onečišćen pa pripada u opasni otpad.

Poljoprivredni i šumarsko-drveni otpad je otpad nastao u ratarstvu, stočarstvu, drvo-prerađivačkoj industriji i na šumskom tlu.

O vrsti otpada koja ulazi u postrojenja za dobivanje energije iz otpada ovisi koji će od četiri procesa biti odabran. Toplinski procesi idealni su za čvrst otpad, iako se i određene kapljevine i plinovi mogu upotrijebiti ako su pogodni za izgaranje. Drveni otpad iz graditeljstva i od rušenja često je vrlo suh i idealan je za toplinske procese. Negorivi materijali kao što su metali, staklo i ostali inertni materijali nisu pogodni za energane na otpad i recikliraju se na drugi način. Većina plastičnog otpada ne može se obrađivati biološkim procesom, no sadržava visok sadržaj energije, što ga čini vrlo pogodnim za izgaranje.

Emisije iz energane na otpad

Drugi važni izlaz izgaranja u energani na otpad su ostaci – relativno mala količina letećeg pepela koji se smatra opasnim otpadom i zbrinjava se na odlagalištu opasnog otpada te mnogo veća količina pepela s dna peći koji je inertan otpad i može služiti za popunjavanje cesta ili u proizvodnji betona, iako dio završi na odlagalištu.⁴

Upravo emisije iz postrojenja za izgaranje komunalnog otpada najviše zabrinjavaju javnost. Općenito, emisije ovise o: a) odabranom procesu i b) vrsti otpada. Većina termoelektrana u svijetu radi na načelu izgaranja, a taj je proces usavršen tijekom godina kako bi se osiguralo što potpunije izgaranje goriva. Vrijedi opće pravilo – što je izgaranje potpunije, emisije su čišće. Emisije iz Rankinova procesa variraju od vrlo onečišćenih, u slučaju izgaranja ugljena, pa do najmanje onečišćenih, kada je gorivo prirodni plin. Komunalni otpad negdje je u sredini između tih dviju vrsta goriva. Logično, što su emisije onečišćenije, to se one moraju bolje pročititi prije nego što se ispuste u atmosferu. Čak i vrlo loš proces izgaranja ne dovodi nužno do štetnih emisija u atmosferu.

Postrojenje za pročišćavanje emisija danas se konstruira u seriji stupnjeva za pročišćavanje koji mogu uključivati ciklonske separatore, vrećaste filtre i/ili filtre od aktivnog uglje-

na. Progresivno stroža legislativa tijekom posljednjih desetljeća dovela je do toga da su emisije iz energana vrlo čiste. Moderni sustavi za pročišćavanje emisija mogu smanjiti čestice u emisijama na vrlo nisku razinu, tako da mnoge energane zapravo pročišćavaju okolišni zrak koji prolazi kroz njih.

Zbog zabrinutosti javnosti za emisije iz energana na otpad Europska unija izdala je 2000. godine *Direktivu o spaljivanju otpada* (e. *Waste Incineration Directive*).⁷ Primjena direktive na postrojenja za dobivanje energije iz otpada izgaranjem relativno je jednostavna u tehničkom smislu, no zahtijevala je bitan redizajn procesa izgaranja pa je stoga skupa. Zahtijevaju se deset puta niže koncentracije emisija iz energana na otpad u odnosu prema ekvivalentno velikoj termoelektrani na ugljen. Prijašnje spalionice imale su lošu reputaciju zbog ispuštanja određenih toksina, najviše dioksina i furana. Međutim, koliko god bile loše, spalionice nisu bile jedini, pa čak ni najveći izvor emisija tih toksina. Ostali izvori kao što su roštilji ili vatrometi i sl. i dalje proizvode dioksine, a još više dioksina ispuštaju termoelektrane na ugljen.

Dioksini i furani podjednako se ispuštaju na odlagalištima i spaljivanjem. Emisije dioksina iz modernih postrojenja za dobivanje energije iz otpada – koja moraju zadovoljavati stroge propise Europske unije – vrlo su niske u usporedbi s drugim uobičajenim izvorima dioksina: šumskim požarima ili vatrometima (slika 4). Tijekom milenijskoga londonskog vatrometa u trajanju od 15 minuta potrošilo se 35 tona pirotehničkih sredstava, pri čemu je emitirana količina dioksina jednaka onoj koju ispusti jedna energana na otpad tijekom 120 godina!⁸ što je 4 milijuna puta jači intenzitet onečišćenja...

Granična vrijednost emisije dioksina zahtijevana europskom Direktivom o spaljivanju otpada iz energane na otpad je koncentracija u dimnjaku od 0,1 ng/m³ (milijarditi dio grama po kubičnome metru pri okolišnoj temperaturi i tlaku), što je ekvivalent koncentraciji od 1/3 kockice šećera rastopljene u Loch Nessu.⁴ Emisije iz energane na otpad razrjeđuju se u neizmjereno male količine miješanjem s okolišnim zrakom.



SLIKA 4 - Vatrometima se ispuštaju velike količine dioksina⁹

Novi koncept energana na otpad

Prethodno opisana postrojenja za dobivanje energije iz otpada pripadaju u konvencionalne sustave. Novi pristup iskorištavanju otpada doveo je do razvoja novih postrojenja koja ujedinjuju proizvodnju energije i recikliranje (e. *Waste as Resource, WaR*).⁴ Postrojenje oporabi koliko god može energije toplinskim procesom, koji je najčešće kombinacija izgaranja i rasplinjavanja. Ne samo da se veći udio energije proizvede kao električna energija već se i većina toplinske energije (otpadna toplina) oporabi i iskoristi za grijanje obližnjih zgrada i/ili u raznim industrijskim procesima u energani. Sljedeći cilj postrojenja je znatno smanjiti ili potpuno ukloniti pepeo koji se šalje na odlagalište. Postrojenje može sadržavati sustav za ostakljivanje (vitifikaciju) s pomoću plazmene baklje, čime se pepeo sigurno pretvara u staklasti proizvod. Postrojenje sadržava i integriranu tvornicu za proizvodnju betona, gdje se šljaka upotrebljava za razne građevinske proizvode.

U većini europskih zemalja uobičajena je izgradnja energana na otpad kao dijela zajednice kojoj služe, tako da se otpad iz zajednice koristi kao gorivo u energani koja zajednici daje električnu energiju i toplinu. Neke od energana na otpad vrlo su se lijepo uklopile u okoliš i postale turističkom atrakcijom, kao što je slučaj s bečkim postrojenjem (Spittelau, slika 5).

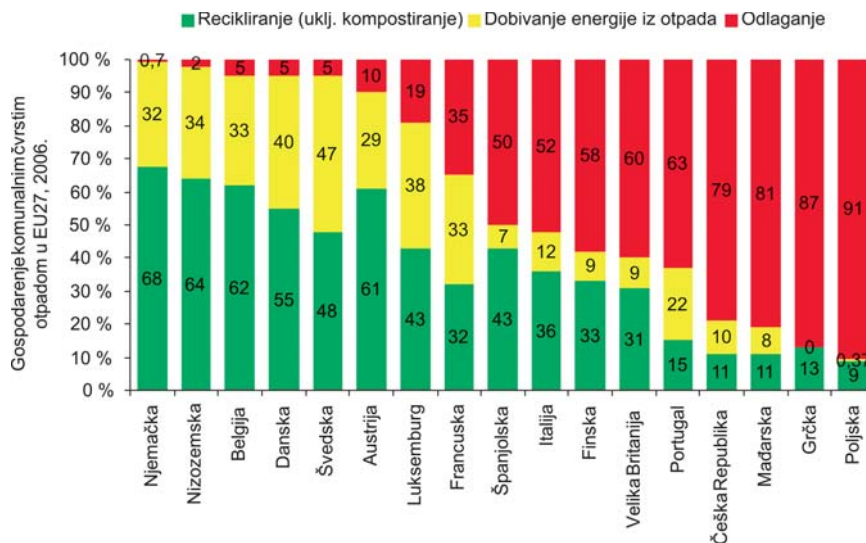
Načini obrade komunalnoga čvrstog otpada u europskim zemljama prikazani su na slici 6, a broj energana na otpad i godišnja količina toplinski obrađenog otpada na slici 7.



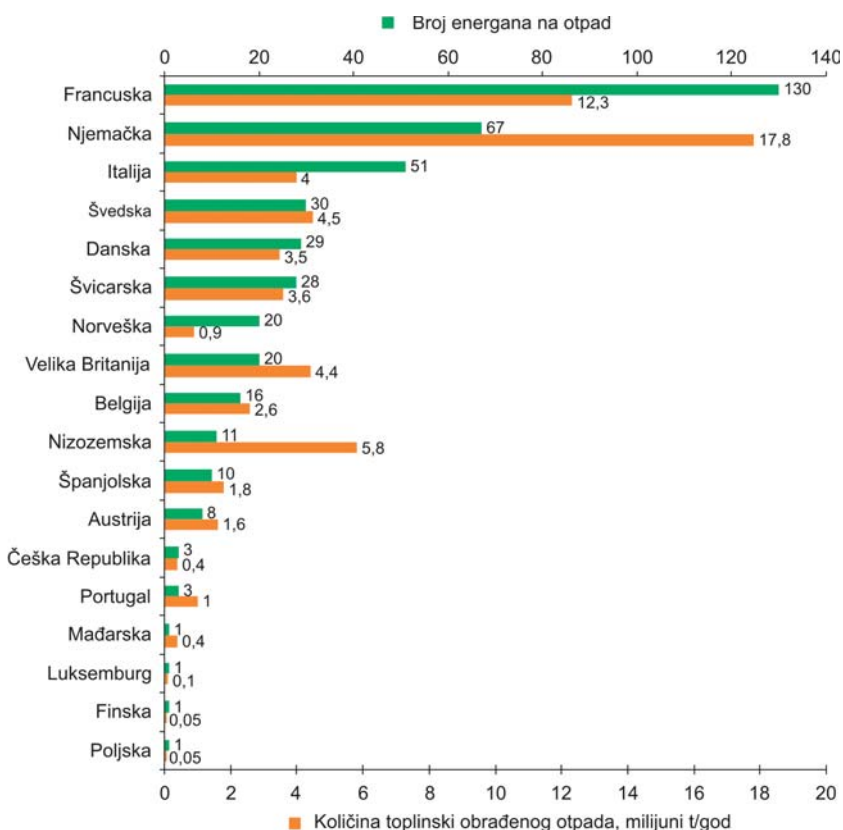
SLIKA 5 - Energana na otpad, Spittelau, Austrija; arhitekt: Friedensreich Hundertwasser¹⁰

Primjer Danske – inteligentna primjena energana na otpad

Budući da je Danska relativno gusto naseljena, a Danci su ekološki svjestan narod, odlagališta nisu smatrana pogodnim načinom zbrinjavanja otpada. Danci su najvjerojatnije bili prva nacija koja je prepoznala mogućnosti otpada kao sirovine. Većina postrojenja u Danskoj, a možda i sva, izgrađena su u blizini središta naseljenosti kako bi otpad što manje putovao te kako bi, što je još važnije, proizvedena energija bila što prije iskorištena. Električna energija koja se proizvede koristi se u lokalnim zajednicama, a toplina se distribuira putem toplana. Iskorištenje toplinske energije iz postrojenja za dobivanje energije iz otpada toliko je



SLIKA 6 - Gospodarenje komunalnim čvrstim otpadom u EU, 2006.⁸



SLIKA 7 - Energane na otpad u EU, 2007.¹¹



SLIKA 8 - Energane na otpad u Danskoj: a - Hørsholm, b - Roskilde, c - Næstved⁵

važno da su Danci postali svjetski predvodnici u konstruiranju cjevovoda za predaju topline zgradama na vrlo velikim udaljenostima (većima od 100 km) s neznatnim padom temperature. Time su izgradili industriju koja se bavi proizvodnjom opreme za toplane koja je svjetski priznata. U Danskoj postoji oko 400 pojedinačnih toplana, od

kjih je 350 u vlasništvu potrošača, a 50 u vlasništvu lokalnih zajednica, koje pokrivaju oko 60 % toplinskih potreba.⁴ Neke od energana na otpad prikazane su na slici 8.

Treba li zaključak?

Često se čuje, treba reciklirati. No je li recikliranje uvijek najbolje rješenje? Nije ako nema

potražnje za recikliranim materijalima. Niti ako se potroši više energije i ispusti više stakleničkih plinova tijekom postupka recikliranja nego što bi se potrošilo za proizvodnju novog proizvoda. Temeljenjem sustava gospodarenja otpadom isključivo na recikliranju, što je želja *zelenih*, problem otpada ne može se riješiti jer ima previše otpada koji treba zbrinuti te previše različitih otpadnih tokova koje nije isplativo reciklirati. Danas su dostupni postupci razdvajanja otpadnih tokova materijala koje treba reciklirati (npr. metala) od onih koji se mogu iskoristiti kao vrijedan i siguran izvor energije. Krajnje je vrijeme da se odbace predrasude o energanama na otpad, jer one više nisu zastarjele spalionice koje onečišćuju okoliš, već moderna, za okoliš sigurna isplativa rješenja iskorištavanja vrlo vrijednoga goriva – otpada.

KORIŠTENA LITERATURA

1. *Plan gospodarenja otpadom u Gradu Zagrebu za razdoblje do 2015. godine*, Grad Zagreb, svibanj 2009., www.zagreb.hr/UserDocsImages/okolis/PGO-Zagreb.pdf
2. *Plan promovira spalionicu novca, a ne rješenja za otpad*, www.zelena-akcija.hr/content/blogsection/27/406/lang/hr/
3. *Prijedlozi i primjedbe na Plan gospodarenja otpadom u Gradu Zagrebu za razdoblje do 2015. godine*, www.zelena-zagreb.org/files/Zelena_lista_Primjedbe_na_Plan_gospodarenja_otpadom_ZG_do_2015.pdf
4. *Energy from Waste - a Wasted Opportunity*, Institute of Mechanical Engineers, www.imeche.org/NR/rdonlyres/5D806D76-0E95-4189-8C9D-9D6CD9FD388E/0/EnergyfromWasteReport.pdf
5. Kamuk, B.: *Part 1 - More Energy from Waste - District Heating in Denmark*, www.seas.columbia.edu/earth/wtert/meet2006/Proceedings/presentations/Bettina%20Kamuk.pdf
6. Kalambura, S.: *Strategija gospodarenja otpadom i uloga Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost*, Arh Hig Rada Toksikol 57(2006), 267-274, hrcak.srce.hr/file/7476
7. *Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste*, www.central2013.eu/fileadmin/user_upload/Downloads/Document_Centre/OP_Resources/Incineration_Directive_2000_76.pdf
8. Kamuk, B.: *The European Perspective*, www.metrovancouver.org/services/solidwaste/SWDocs/Bettina.pdf
9. www.manywallpapers.com
10. upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b7/District_heating_plant_spittelau_ssw_crop1.png
11. *Heating and Lighting the Way to a Sustainable Future*, CEWEP, www.cewep.com/storage/med/subdir/261_Brochure_2009_Final.pdf