

8. Energija iz otpada

doc. dr.sc. Slaven Dobrović, doc. dr.sc. Daniel R. Schneider

- Prema Zakonu o otpadu:

Otpad su stvari ili predmeti koje je posjednik odbacio, namjerava ili ih mora odbaciti.

**Sustav gospodarenja
otpadom definira
formu otpada.**





- **izravno** – korištenje energije dobivene IZGARANJEM (oksidacijom) gorivih tvari iz otpada.
- **posredno** – smanjenje potrebe za energijom uslijed korištenja sekundarnih sirovina (RECIKLIRANJE) za proizvodnju novih proizvoda (uz druge brojne, manje intenzivne priloge ovom trendu)



1. SPRJEČAVANJE NASTAJANJA OTPADA

↑ Proces, mjesto nastanka

Ostaci tvori ↓

2. PONOVNA UPORABA / RECIKLIRANJE

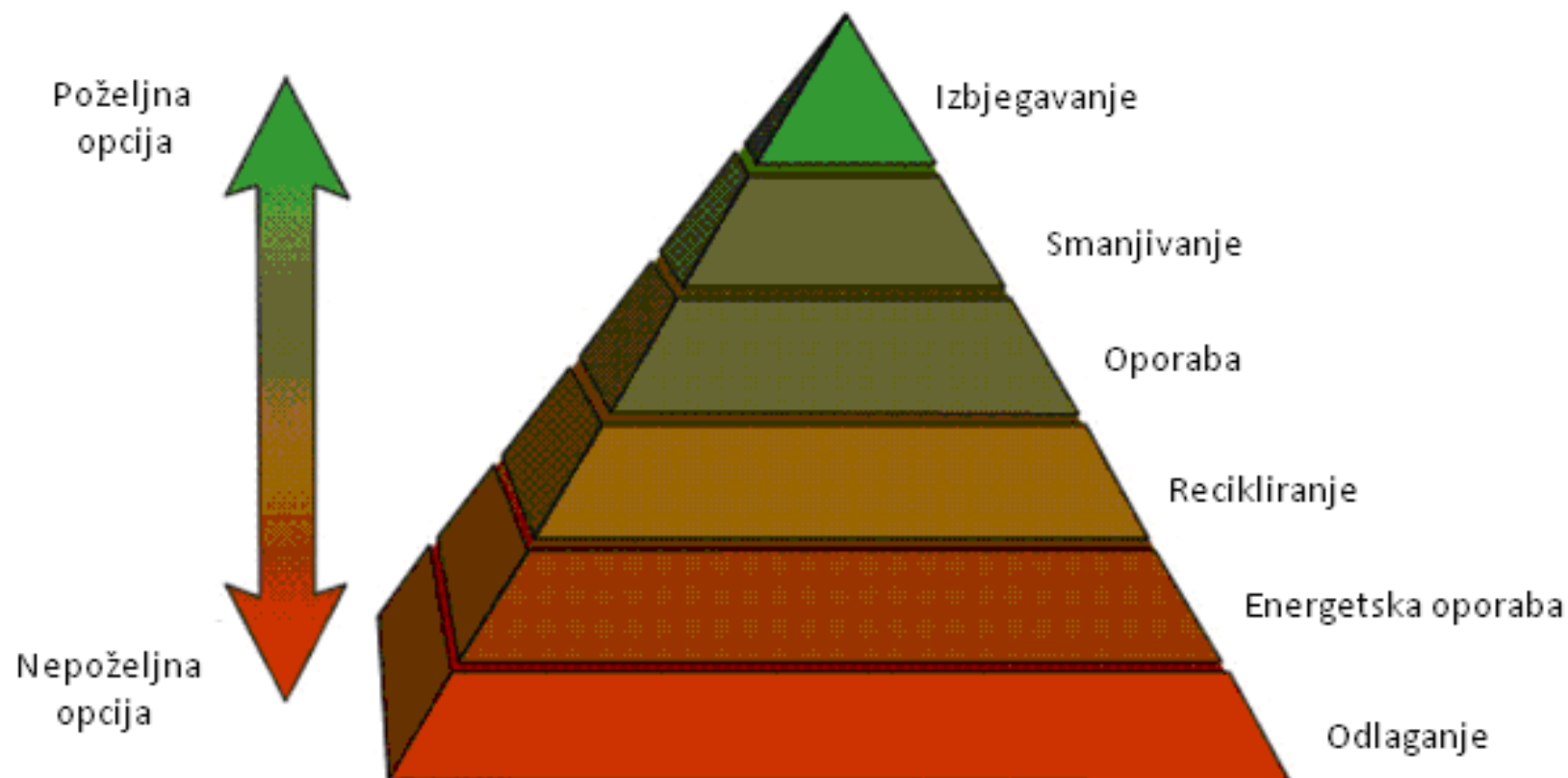
↑ Ostaci tvori

Miješani ostaci tvori, SMEĆE ↓

3. SPALJIVANJE uz iskorištenje energije, MEHANIČKO BIOLOŠKA obrada, ODLAGANJE



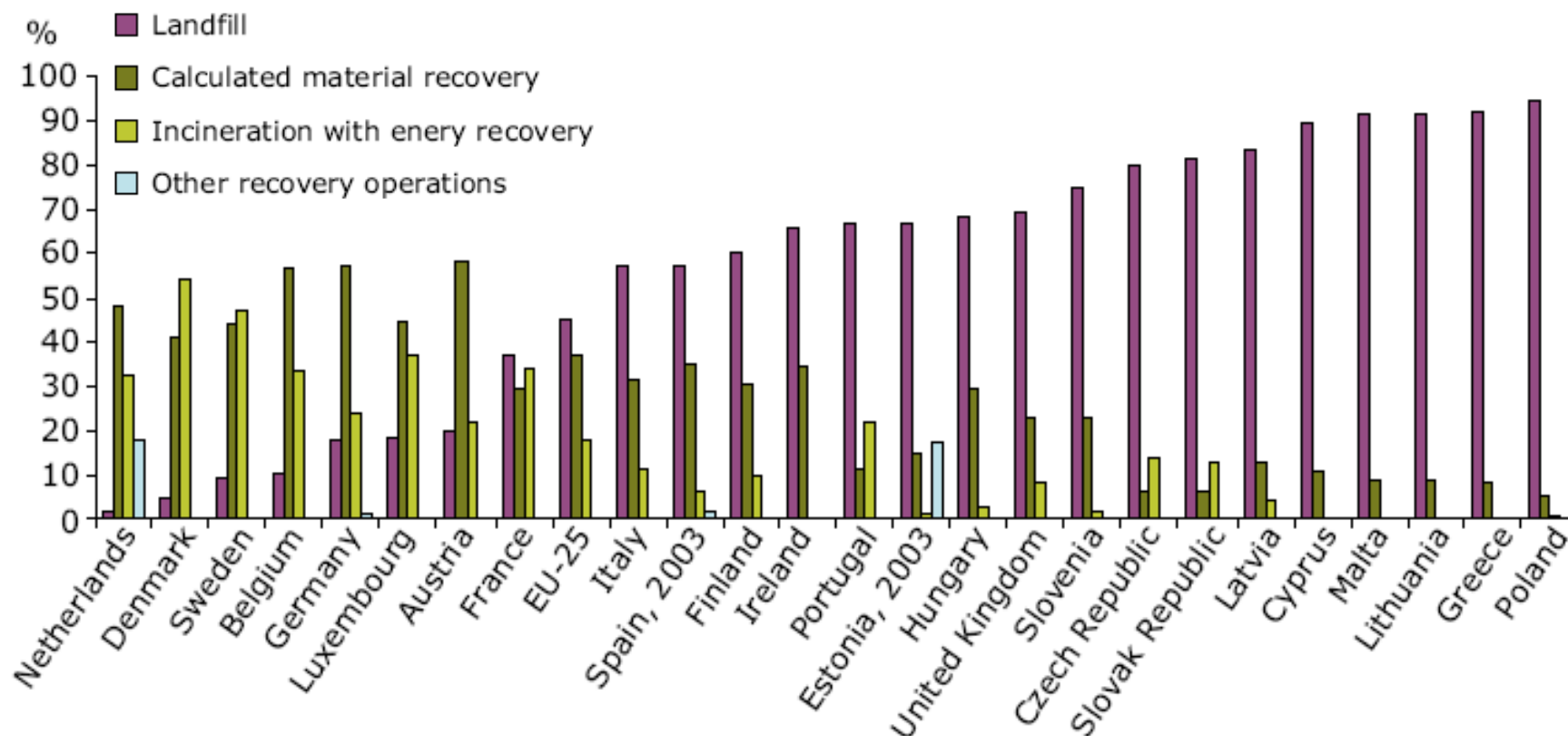
Energetska uporaba predstavlja jedan od posljednjih koraka u hijerarhiji postupanja s otpadom /*Izbjegavanje – Vrednovanje (oporaba) – Odlaganje*/





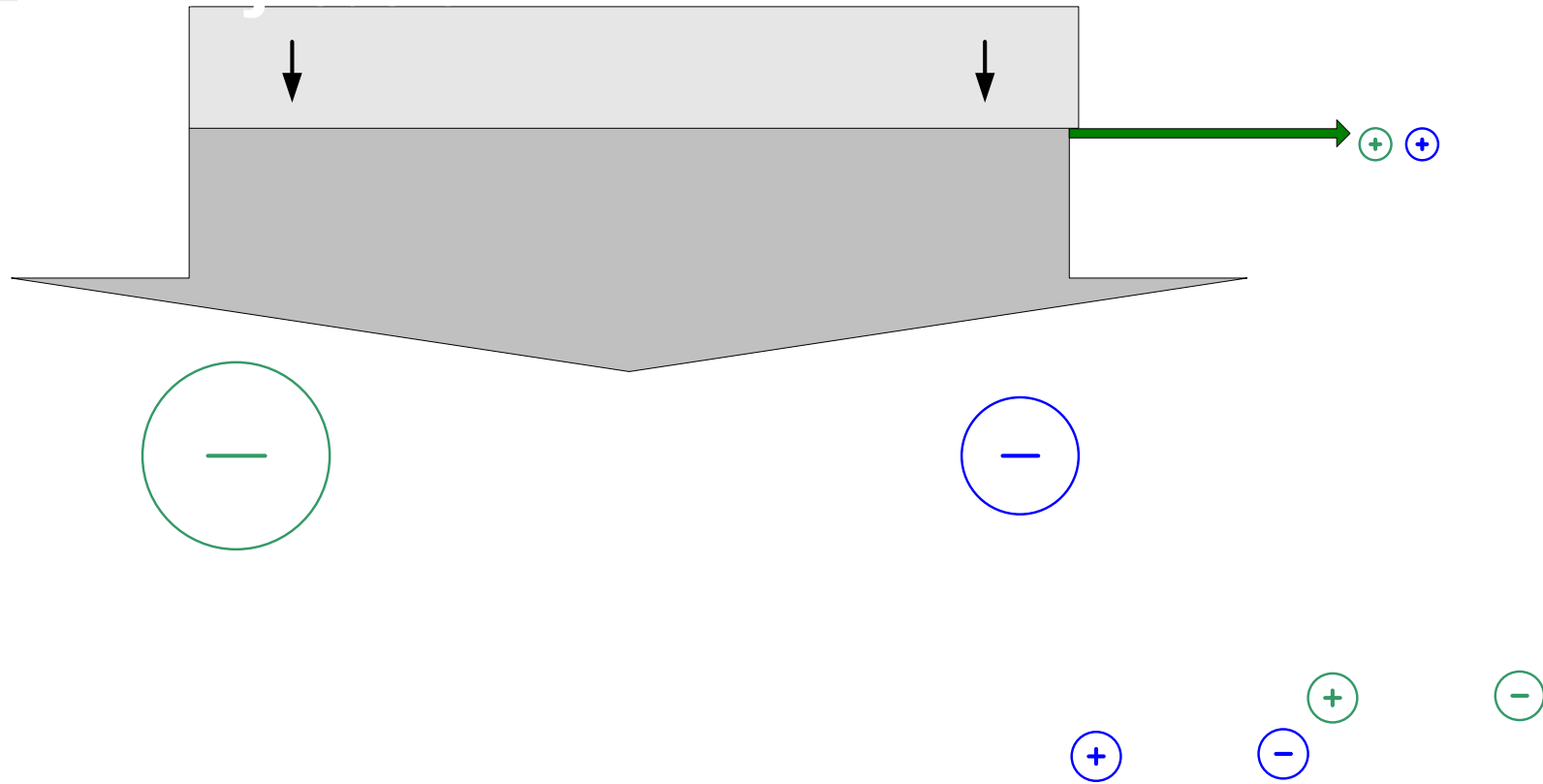
Ciljevi *IVO koncepta* :

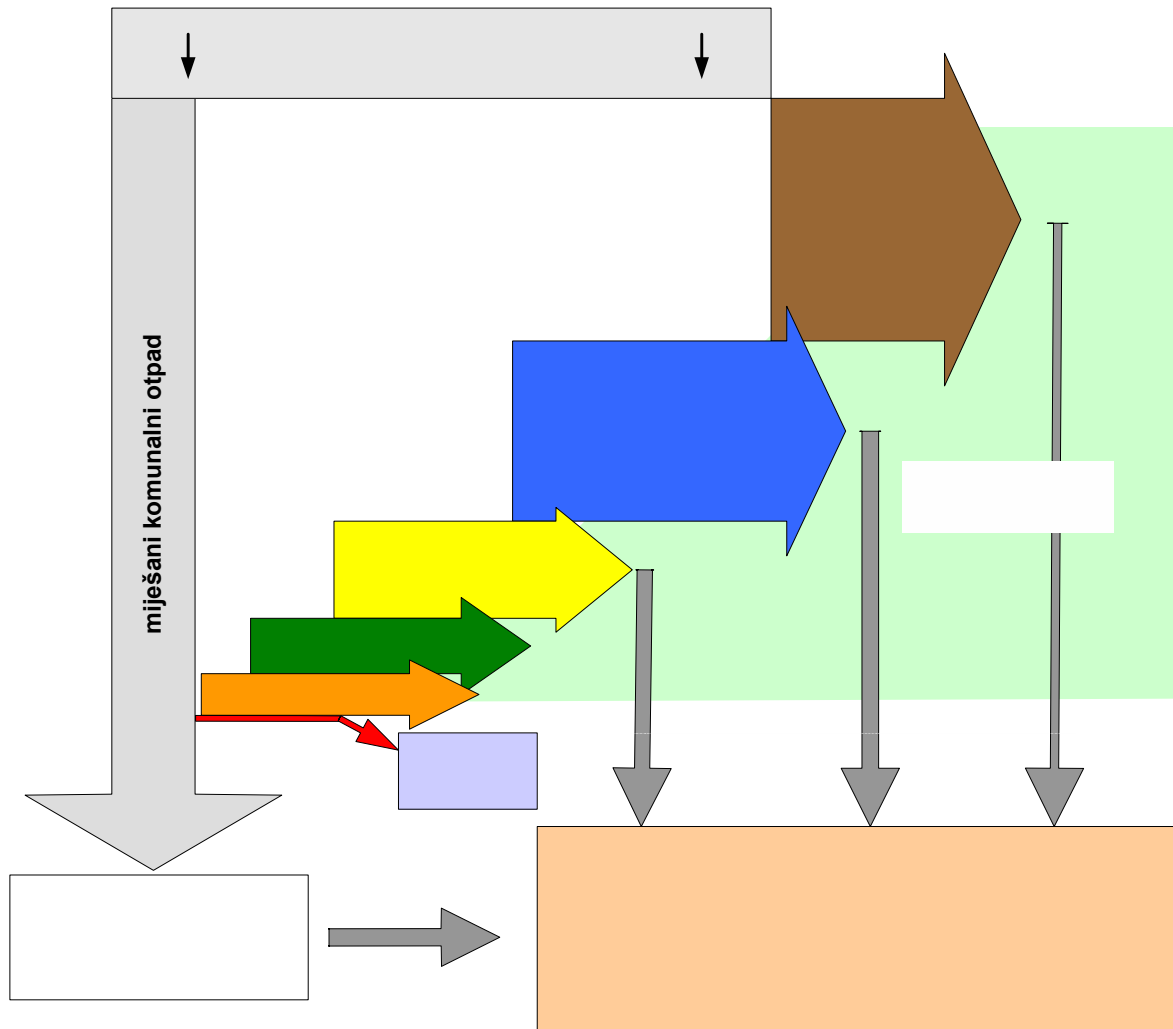
- smanjivanje količina otpada koji nastaje;
- smanjivanje količina otpada koji se odlaže na odlagališta tijekom primarnog odvajanja korisnog otpada;
- smanjivanje udjela biorazgradivog otpada u odloženom komunalnom otpadu;
- smanjivanje negativnog utjecaja odloženog otpada na okoliš, klimu i ljudsko zdravlje;
- gospodarenje proizvedenim otpadom na principima održivog razvoja;
- energetska oporaba otpada radi proizvodnje korisne energije.



Pregled tehnologija zbrinjavanja komunalnog otpada u EU

izvor: *European Environment Agency*





Tokovi otpada i materijala u (idealnom) cjelovitom sustavu gospodarenja otpadom



IVO hijerarhijski koncept



Vrednovanje

Izbjegavanje

Materijalno

Energetsko

Odlaganje

KOMUNALNI OTPAD	BIORAZGRADIVI OTPAD ~ 43 %	Kućno (vrtno) kompostiranje	Kompostiranje – konverzija u biognojivo +++ Anaerobna digestija – generiranje bioplina +	Izravno izgaranje – problem vlage i emisija štetnih plinova - Izgaranje bioplina ++	Nije dozvoljeno u EU
	PAPIR I KARTON ~ 20 %	Višestruko korištenje udžbenika, Manje materijala kod pakiranja,..	Recikliranje – veliki potencijal za preradu +++	Izgaranje onečišćenog papira, kompozita, ostataka od recikliranja +++	Nepotreban gubitak prostora Dijelom generira stakleničke plinove
	POLIMERI (plastika) ~ 12 %	Pravilnik o ambalaži i amb. otpadu ¹	Recikliranje za PET i PEHD PELD, PS, +++	Izgaranje onečišćenih sirovina PE, PS, PP, +++ Problem PVC-a -	Inertno, značajni gubitak prostora
	TEKSTIL ~ 8 %	Ponovno korištenje odjeće, dobrotvorne organizacije, Caritas	Recikliranje +/-	Izgaranje – velik potencijal +++	Uglavnom inertno, gubitak prostora
	STAKLO ~ 6 %	Korištenje povratne ambalaže, Pravilnik ¹	Recikliranje +++	Inertni materijal -	Inertno, gubitak prostora
	METALI ~ 4 %	Pravilnik ^{1,3,4}	Recikliranje +++	Inertni materijal -	Inertno, gubitak prostora
	OSTALO ~ 6 %	-	Mala mogućnost	Izgaranje moguće uz kontrolu sastava +	Moguće rješenje
OPASNI OTPAD ~ 1 %	Pravilnik ^{2,3,4,5,6} , Smanjenje uporabe opasnih tvari, novi "eko" proizvodi,..	Recikliranje – moguće u okviru postupka zbrinjavanja	Izgaranje – moguće rješenje za dio opasnih tvari	Samo u odlagalištu za opasni otpad	



Županija	Broj stanovnika	Količina stvorenog komunalnog otpada 2010. (t/god)	Količina stvorenog komunalnog otpada 2015. (t/god)
Bjelovarsko-bilogorska	133.084	46.000	51.000
Brodsko-posavska	176.765	63.000	69.000
Dubrovačko-neretvanska	122.870	52.000	62.000
Grad Zagreb	779.145	353.000	392.000
Istarska	206.344	114.000	127.000
Karlovačka	141.787	47.000	56.000
Koprivničko-križevačka	124.467	33.000	40.000
Krapinsko-zagorska	142.432	39.000	47.000
Ličko-senjska	53.677	21.000	25.000
Međimurska	118.426	31.000	38.000
Osječko-baranjska	330.506	144.000	159.000
Požeško-slavonska	85.831	32.000	35.000
Primorsko-goranska	305.505	133.000	148.000
Sisačko-moslavačka	185.387	71.000	79.000
Splitsko-dalmatinska	463.676	178.000	198.000
Šibensko-kninska	112.891	44.000	52.000
Varaždinska	184.769	51.000	61.000
Virovitičko-podravaska	93.389	33.000	37.000
Vukovarsko-srijemska	204.768	53.000	64.000
Zadarska	162.045	81.000	90.000
Zagrebačka	309.696	102.000	123.000
UKUPNO	4.437.460	1.721.000	1.953.000



Rbr	ŽUPANIJA	LOKACIJA
1	Sisačko-moslavačka	Blatuša, Općina Gvozd
2	Grad Zagreb	Zagreb
	Zagrebačka županija	
3	Ličko-senjska	Lički Osik
4	Požeško-slavonska	Vinogradine
5	Bjelovarsko-bilogorska	"Doline" Bjelovar
6	Karlovačka	varijante: Babina gora i Okić
7	Primorsko-goranska	Mariščina
8	Virovitičko-podravska	Jasenaš
9	Brodsko-posavska	Šagulje-Ivik
10	Zadarska	Benkovac (Biljane donje)
11	Osječko-baranjska	Antunovac
12	Šibensko-kninska	Bikarac
13	Vukovarsko-srijemska	"Jošine"-Stari Jankovci
14	Splitsko-dalmatinska	Lećevica
15	Istarska	Kaštijun
16	Dubrovačko-neretvanska	Badovinje rupe
17	Koprivničko-križevačka	RCGO Odlagalište otpada SZ Hrvatske - Piškornica
	Krapinsko-zagorska	
	Međimurska	
	Varaždinska	



Razlozi za energetska uporabu otpada:

- Štetan utjecaj odlaganja otpada (emisije štetnih tvari u atmosferu, tlo i vode, emisije stakleničkih plinova);
- Prema direktivama EU otpad se više ne smije neobrađen odlagati na odlagališta (definiran udio biorazgradive tvari) u otpadu;
- Iskorištavanje energije pohranjene u otpadu (kemijska energija gorivih tvari,...);
- Troškovi recikliranja (uključujući skupljanje i transport) su previsoki ili je dosegnut praktični optimum materijalne uporabe.

Obnovljivi izvor energije

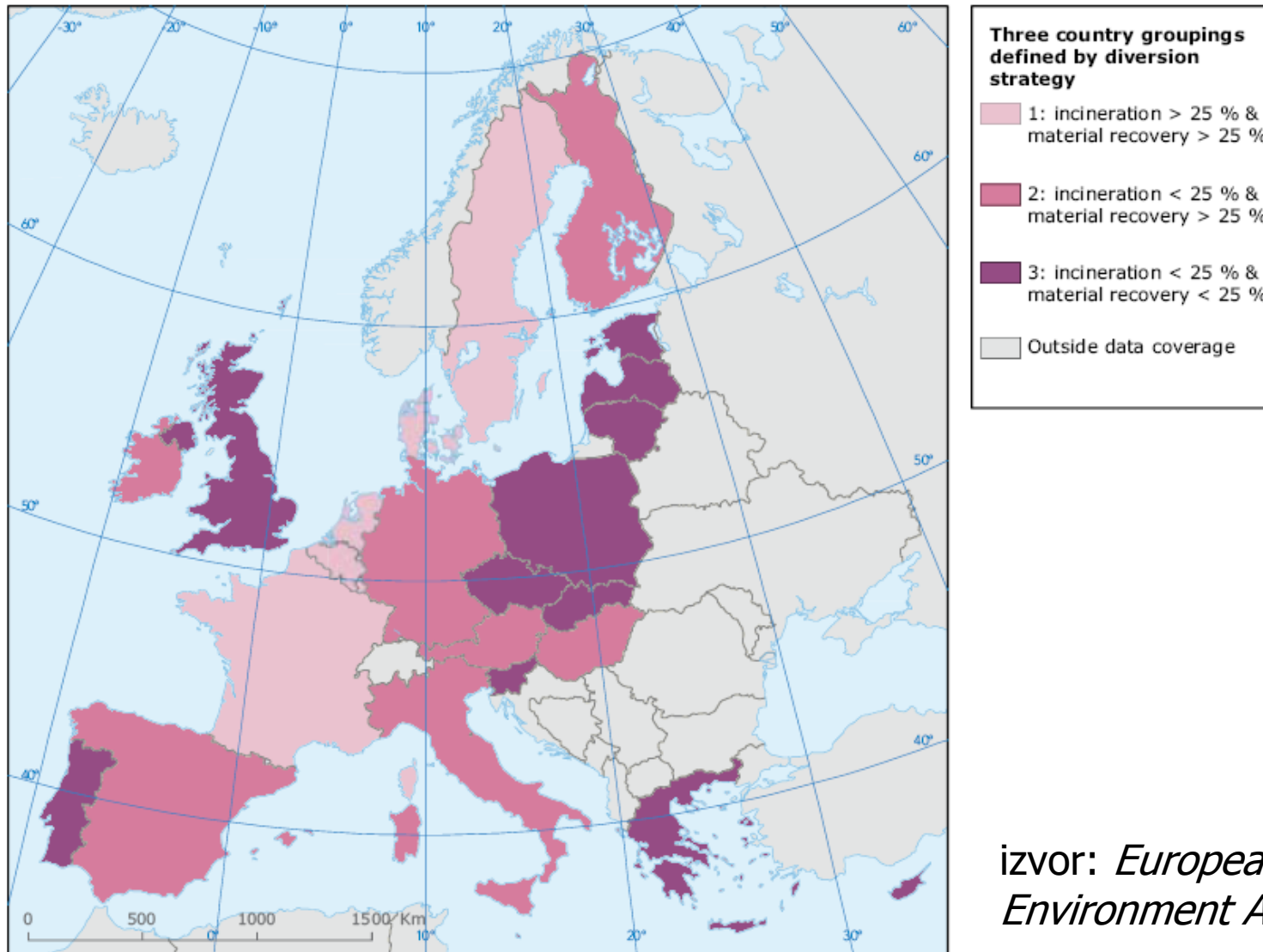
- Komunalni otpad nije 100% biorazgradiv (u RH oko 67%), ali je obnovljiv
- U nekim državama smatra se OIE, u nekima ne
- SAD, energija iz otpada (*waste-to-energy*) = obnovljiva energija; Executive Order (B. Obama), listopad 2009.
(http://www.whitehouse.gov/assets/documents/2009fedleader_eo_rel.pdf)



Sumarno, može se reći da se osim izravne energetske koristi korištenjem otpada kao obnovljivog izvora energije mogu ostvariti i drugi korisni učinci:

- smanjenje mase (za 75%) i volumena otpada (za 90%)
- smanjenje organskog udjela u odloženom otpadu
- uništavanje organskih štetnih tvari (termičkom obradom se uništavaju patogeni mikroorganizmi i dr.)
- smanjenje emisija stakleničkih plinova (nema CH_4 s odlagališta)
- smanjenje potrošnje primarnih izvora energije (smanjenje ovisnosti o uvozu energenata, diversifikacija energetskih izvora,...)

Mora biti usklađeno sa svim suvremenim (europskim) standardima i zahtjevima, sa svrhom da se maksimalno izbjegne ili smanji nastajanje otpada, kao i njegov utjecaj na ljudsko zdravlje, okoliš i klimu, odnosno, da se cjelokupno gospodarenje komunalnim otpadom uskladi s načelima održivog razvoja.



izvor: *European Environment Agency*



Zemlja	Ukupni broj energana na otpad	Obrađeni otpad Mt/god
Austrija	5	0,88
Belgija	17	1,64
Danska	32	3,24
Finska	1	0,05
Francuska	123	11,25
Grčka	0	0,00
Irska	0	0,00
Italija	49	3,47
Luksemburg	1	0,12
Njemačka	58	13,18
Portugal	3	1,00
Španjolska	11	1,86
Švedska	28	3,13
Nizozemska	12	5,18
Velika Britanija	15	3,17
Norveška	21	0,79
Švicarska	29	2,97
Ukupno	405	51,9

Država	Prosječni kapacitet pogona za spaljivanje komunalnog otpada (10 ³ t/god)
Austrija	178
Belgija	141
Danska	114
Francuska	132
Njemačka	257
Italija	91
Nizozemska	488
Portugal	390
Španjolska	166
Švedska	136
Velika Britanija	246
Norveška	60
Švicarska	110
PROSJEČNO	193



- Procijenjena količina ukupno proizvedenog komunalnog otpada na području Republike Hrvatske za 2010. godinu iznosi oko 1.700.000 t.
- Količina otpada koja će se odložiti na odlagališta procjenjuje se na oko 1.600.000 t, dakle 94%.
- **Godišnji (teoretski) energetski potencijal** komunalnog otpada u Hrvatskoj procjenjuje se na **12 PJ** (uz prosječnu ogrjevnu moć od 7,5 MJ/kg), što predstavlja 2,8 % ukupne godišnje potrošnje energije
→ Iako taj potencijal značajno ovisi o količini otpada koji se prethodno odvaja i reciklira (papir, karton, drvo i plastika).
- Prema "Zelenoj knjizi" Strategije energetskog razvitka RH predviđa se 40 MW instalirane snage u TE na komunalni otpad do 2020.
- Prema Planu u 2015. oko 410.000 t_{GIO}, u 2020. oko 490.000 t_{GIO}, a u 2030. 560.000 t_{GIO} bi moglo biti dostupno za energetske oporabu.



Postoje tri glavne grupe konverzija otpada u energiju:

- Termo-kemijska konverzija
- Bio-kemijska konverzija
- Fizikalno-kemijska konverzija

Fizikalno-kemijska konverzija

- Različite tehnologije usmjerene na poboljšanje fizikalnih i kemijskih svojstava krutog otpada.
- Goriva frakcija otpada se konvertira u visoko-kalorične gorive pelete koji se mogu iskoristiti u postrojenjima za proizvodnju energije (primjer: Gorivo iz otpada - GIO, engl. *Refuse Derived Fuel* - RDF).
- Energija je koncentriranija u peletima nego u rasutom komunalnom otpadu (veća je ogrjevna moć, 15 MJ/kg u odnosu na 7 MJ/kg).
- Takvi gorivi peleti su oslobođeni negorivih tvari (poput stakla, metala, kamenja i sl.), imaju niži udio pepela i manji sadržaj vlage i uniformne su veličine.



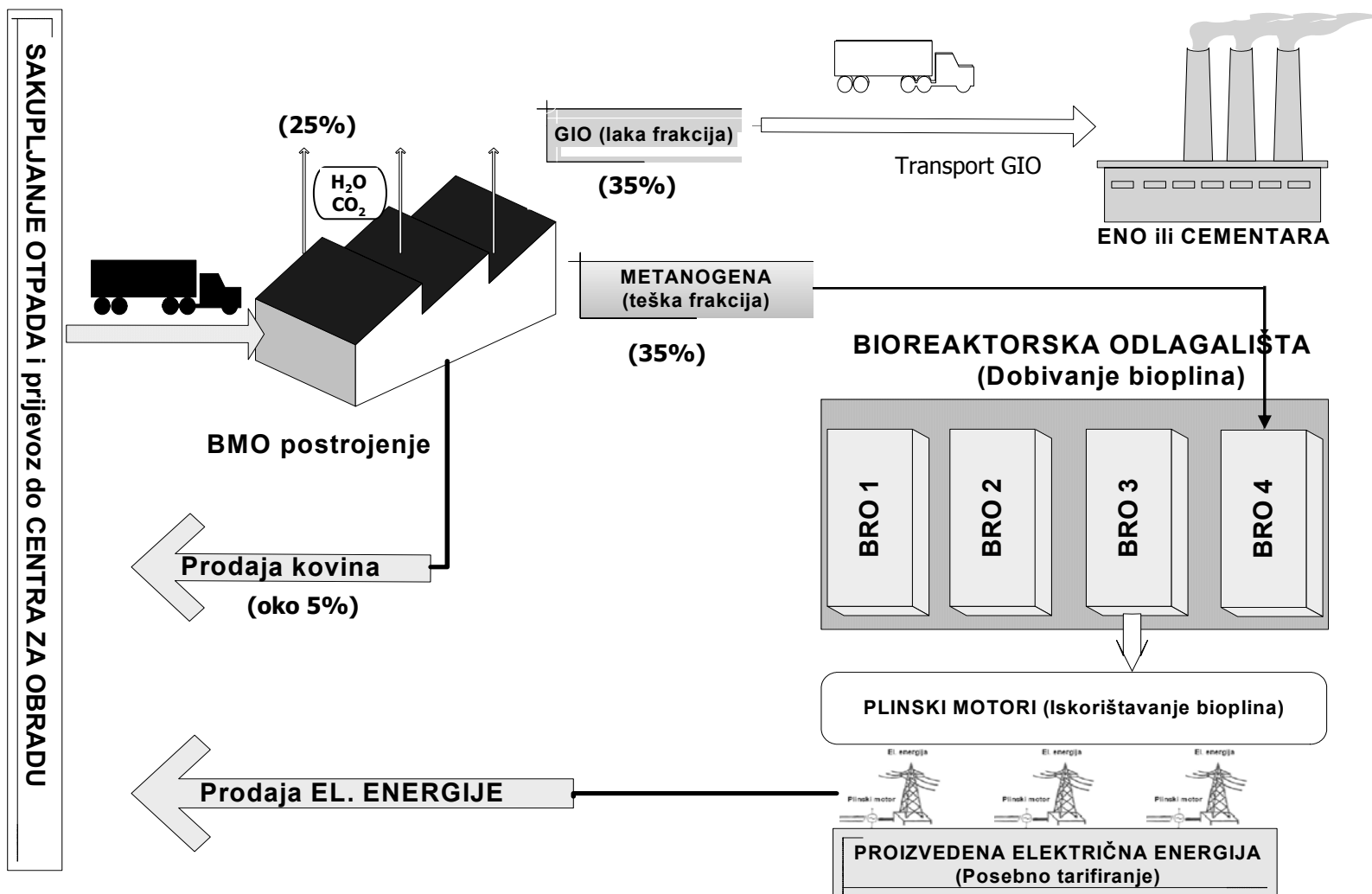
Bio-kemijska konverzija

- Procesi bio-kemijske konverzije uključuju anaerobnu digestiju i fermentaciju.
- Koristi se za otpad s višim udjelom organske /biorazgradive/ tvari kao i visokim sadržajem vlage.
- **Anaerobnom digestijom** se organski otpad razgrađuje u kontroliranim uvjetima, bez prisustva kisika, pri čemu nastaje bioplin koji se može koristiti za proizvodnju energije.
- Pri anaerobnoj digestiji nastaje i suhi ostatak - tzv. digestat koji se može koristiti kao sredstvo za kondicioniranje tla.
- **Alkoholna fermentacija** je transformacija organskog dijela otpada u etanol putem niza biokemijskih reakcija korištenjem posebnih mikroorganizama.
- Njezina najčešća primjena je kod fermentacije drvene biomase pri čemu se ona pretvara u celulozni etanol → proizvodnja biogoriva, npr. za motore s unutrašnjim sagorijevanjem.



MBO tehnologija obuhvaća dva procesa: mehaničku (M) i biološku (B) obradu otpada, pri čemu se različiti elementi M i B procesa mogu konfigurirati na različite načine kako bi se dobio širok raspon specifičnih ciljeva:

- maksimiziranje količine obnovljivih sirovina (staklo, metali, plastika, papir i dr.);
 - proizvodnja komposta;
 - proizvodnja visoko kvalitetnog krutog goriva iz otpada (GIO) definiranih svojstava;
 - proizvodnja biostabiliziranog materijala za odlaganje;
 - proizvodnja bioplina za proizvodnju topline i/ili električne energije.
-
- Osim izdvajanja pojedinih korisnih materijala koji se nalaze u komunalnom otpadu, otpad prolazi postupak **mehaničke** pripreme (usitnjavanje i peletizacija, drobljenje i mljevenje, prosijavanje i druge metode mehaničke separacije, separacija uslijed djelovanja elektromagnetskih sila) prije same biološke obrade.
 - **Biološka** obrada (bio-sušenje, biostabilizacija, kompostiranje, anaerobna digestija) izvodi se **aerobno** ili **anaerobno** (sa ili bez prisustva kisika), uključujući i kombiniranu primjenu jedne i druge metode.



MBO, bioreaktorski koncept



Termo-kemijska konverzija

Termičkom obradom otpada se ostvaruje:

- Smanjenje mase i volumena otpada – masa se smanjuje za 75 %, a volumen za 90 %;
- Eliminacija bioloških zagađivača - poput virusa, mikroba, bakterija i sl., što je najveća dobrobit termičke obrade (većina ostalih metoda prerade otpada ne može uništiti ove zagađivače);
- Prerada kemijskih zagađivača – termička obrada otpada je, uz nuklearnu industriju, vjerojatno najkontroliranija industrijska djelatnost u Europi, tako da emisije moraju udovoljavati vrlo niskim graničnim vrijednostima za skoro 20 supstanci;
- Smanjenje emisija stakleničkih plinova - znatno se smanjuju emisije stakleničkih plinova u odnosu na emisije s odlagališta, u pravilu 1-1,5 t CO₂eq/t otpada;
- Izdvajanje anorganskih tvari – željezo, plemeniti metali i dr.
- Iskorištenje energije pohranjene u otpadu – zakonski uvjet bez kojega se ne može realizirati termička obrada otpada; jedna tona otpada sadrži energiju kao 220 litara tekućeg goriva.



Energana na otpad u Nurembergu, Njemačka



Termička obrada otpada

- se koristi za obradu širokog spektra kategorija otpada s nižim udjelom vlage;
- uključuje tehnologije: izgaranja, pirolize i rasplinjavanja.

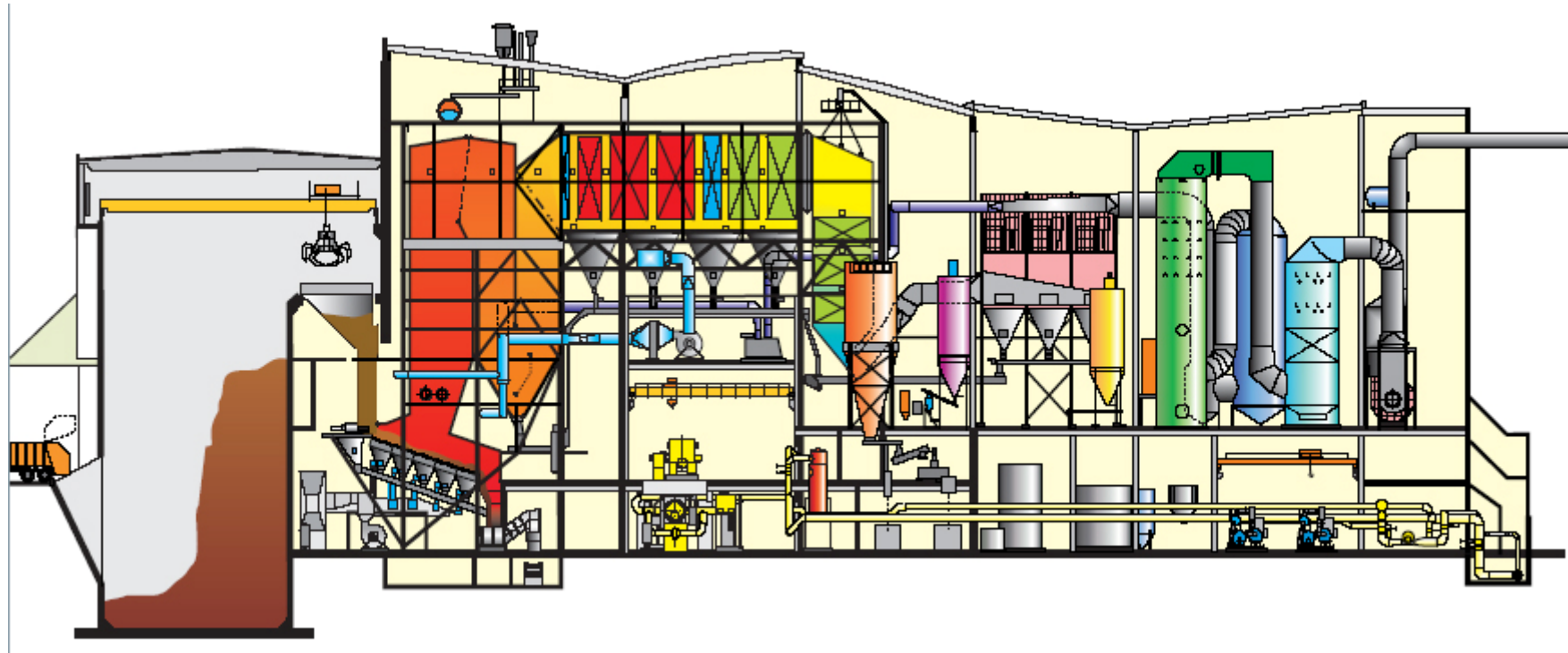
Izgaranje

- je proces potpune termičke degradacije tvari s dovoljnom količinom kisika u svrhu potpune oksidacije goriva. Općenite karakteristike izgaranja otpadnih materijala su sljedeće:
 1. Višak zraka je potreban da bi se osiguralo potpuno izgaranje;
 2. Maksimalne temperature u procesu su obično iznad 1000 °C;
 3. Gorivo u potpunosti oksidira u ugljikov dioksid i vodenu paru, ostavljajući samo mali dio ugljika u pepelu (manje od 3 % masenog udjela pepela);
 4. Čitav proces pretvara gotovo cijelu kemijsku energiju sadržanu u gorivu u toplinsku energiju, ne ostavljajući nikakvu nekonvertiranu kemijsku energiju u dimnih plinovima dok u pepelu ostaje vrlo mali udio nekonvertirane kemijske energije.

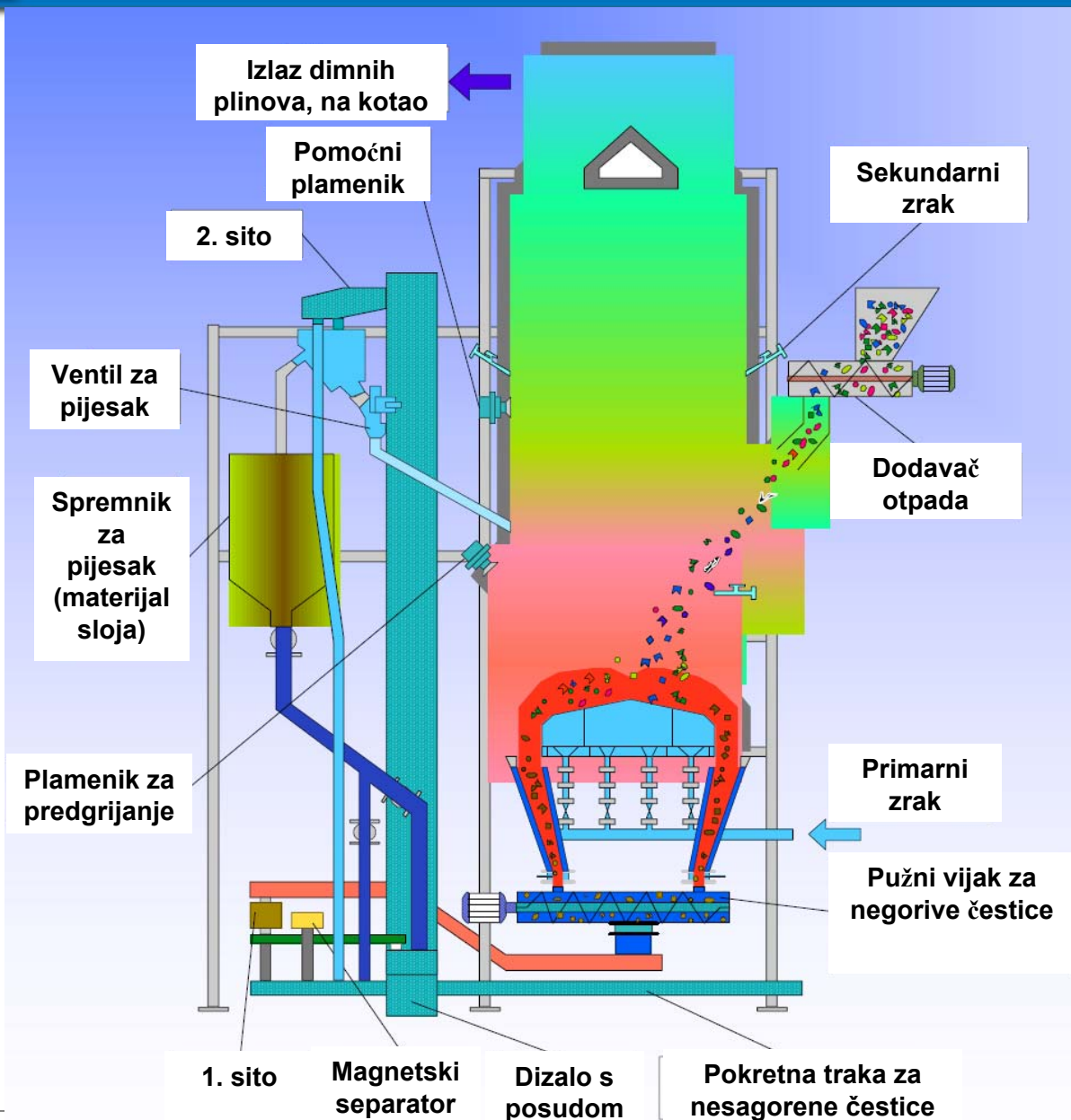


Izgaranje

- je najstarija i danas još uvijek najčešća tehnologija za termičku obradu otpada;
- se, za razliku od nekadašnjih spalionica, odvija u strogo kontroliranim uvjetima poštujući sve zahtjeve na emisiju polutanata te pretpostavlja iskorištavanje topline dimnih plinova u svrhu proizvodnje pare za pogon parnih turbina i proizvodnju električne energije i/ili toplinske energije za daljinsko grijanje (kogeneracija);
- može se odvijati: na rešetki, u fluidiziranom sloju, u rotacijskim pećima cementara.



Primjer spalionice s izgaranjem otpada na kosoj rešetki



Rowitec

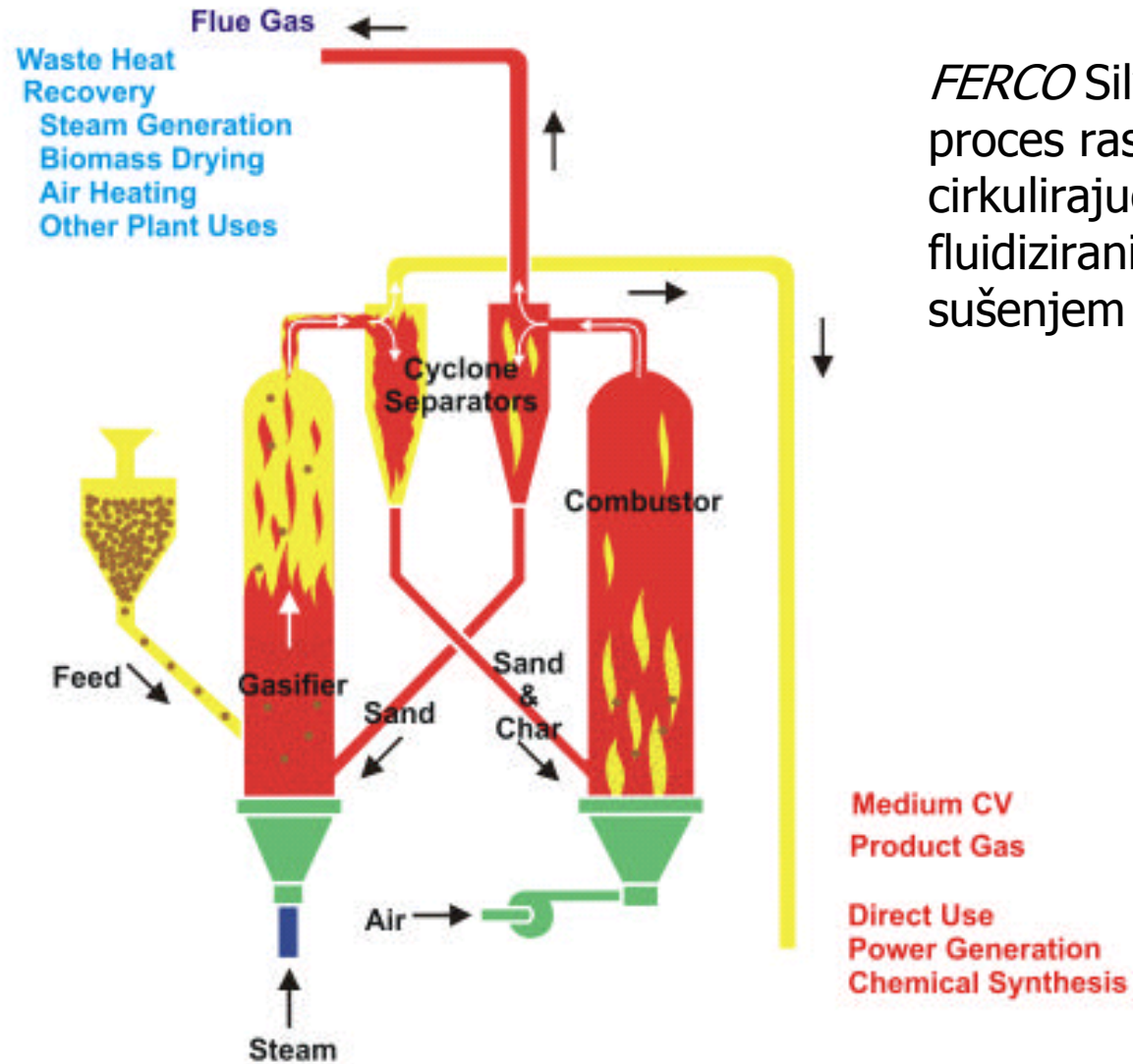


Piroliza i rasplinjavanje

- predstavljaju naprednije tehnologije termičke obrade otpada kod kojih iz otpada nastaje gorivi plin - energetski nosioc koji je kasnije moguće upotrijebiti kao gorivo u generatorima pare ili plinskim motorima pa čak u novije vrijeme i plinskim turbinama te kao sirovinu za proizvodnju kemikalija i tekućih goriva.

Rasplinjavanje

- može biti termičko (s djelomičnim izgaranjem) ili plazmom.
- je postupak parcijalne termičke degradacije tvari u prisustvu kisika, ali s nedovoljnom količinom kisika da bi gorivo u potpunosti oksidiralo. Opće karakteristike rasplinjavanja otpada su sljedeće:
 1. Plin poput zraka, kisika, ili vodene pare koristi se kao izvor kisika i/ili služi kao plin-nosilac za uklanjanje produkata reakcije s mjesta reakcije;
 2. Proces se odvija pri prosječnim temperaturama, obično iznad 750 °C (kod rasplinjavanja plazmom > 1.600 °C);
 3. Produkti su sintetski plin (glavne gorive tvari su metan, vodik, i ugljikov monoksid) i kruti ostatak (koji se sastoji od negorivog materijala i male količine ugljika) (kod rasplinjavanja plazmom sav anorganski dio prelazi u inertnu staklastu krutinu);



FERCO SilvaGas™
 proces rasplinjavanja s
 cirkulirajućim
 fluidiziranim slojem te
 sušenjem goriva



4. Tipična neto ogrjevna moć plina dobivenog rasplinjavanjem, uz korištenje kisika, je 10-15 MJ/m³, dok je s korištenjem zraka kao oksidansa 4-10 MJ/m³. (Radi usporedbe, neto ogrjevna moć prirodnog plina se kreće oko 34-38 MJ/m³.)

Piroliza (otplinjavanje)

- je termička degradacija tvari bez prisustva kisika. Općenite karakteristike pirolize otpadnih materijala su sljedeće:
 1. Nije prisutan kisik (ili ga ima vrlo malo), osim kisika prisutnog u gorivu;
 2. Temperature u procesu su relativno niske, 300-800 °C;
 3. Produkti su sintetski plin (glavne gorive tvari su ugljikov monoksid, vodik, metan te viši ugljikovodici, uključujući katran, parafine i ulja) i kruti ostatak (koji se sastoji od negorivog materijala i znatne količine ugljika);
 4. Općenito nepostojanje oksidacije, kao i nedostatak dodatnog plina za razrjeđivanje, znači da će neto ogrjevna moć sintetskog plina dobivenog pirolizom biti veća od onog iz procesa rasplinjavanja. Tipična neto ogrjevna moć plina iz pirolize je 10-20 MJ/m³;
 5. Ukupan proces općenito pretvara manje kemijske energije goriva u toplinsku energiju nego što je to slučaj kod rasplinjavanja.



Tehnologija		Plazma	Rešetka	Fluidizirani sloj	Rasplinjavanje
Stupanj iskoristivosti	%	30 - 35	18 - 22	22 -25	30 - 35
Kolicina elektricne energije	MWh/t	0,833 - 0,972	0,500 - 0,611	0,611 -0,694	0,833 - 0,972

Tehnologija	Tipično područje primjene (t/dan)
Pokretna rešetka (nerazvrstan otpad)	120 - 720
Fluidizirani sloj	36 – 200
Rotacijska peć	10 – 350
Modularna (atmosfera siromašna zrakom)	1 – 75
Piroliza	10 - 100
Rasplinjavanje	250 - 500



Postupak Komerrijalni naziv / Proizvođač	Termičko rasplinjavanje <i>Thermoselect</i> / Kawasaki	Piroliza + Vitrifikacija <i>Mitsui R21</i> / Siemens)	Termička predobrada / Piroliza <i>Noell/Technip</i> <i>/TechTrade</i>	Naknadna termička obrada <i>Von Roll</i> <i>RCP</i>	Izgaranje s iskorištavanjem energije Najbolja raspoloživa tehnologija (BAT)	Direktiva 2000/76/EC GVE mg/Nm ³
Čestice	0,2	<0,05	<1	<0,5	<1	10
TOC	2	<1	1	<0,5	<2	10
HCl	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5	<1	10
HF	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	1
SO ₂	<1	<0,7	<5	<1,5	<5	50
NO _x	<10	<70 (230 bez deNO _x)	<10	<50	<80	200
CO	<3	<2,3	<5	<8	<10	50
Cd / Tl	<0,002	<0,002	<0,0035	<0,001	<0,001	0,05
Hg	0,007	0,006	<0,006	<0,001	<0,001	0,05
Teški metali	<0,04	<0,05	<0,04	<0,006	<0,05	0,5
PCDD/ PCDF ng/Nm ³	(<0,02)	<0,005	<0,01	<0,01	<0,05	0,1
Nm ³ dimnog plina po toni otpada	3130	3470	2800	3200	3950-4800	n.a.



Postoji mnogo faktora koji utječu na izbor lokacije postrojenja za obradu komunalnog otpada. Među njima se ističu:

- geografski položaj unutar ili u blizini područja u kojemu se prikuplja komunalni otpad namijenjen obradi,
- primijenjena metoda gospodarenja otpadom,
- ekonomski uvjeti lokacije,
- infrastruktura,
- mogućnost transporta otpada vlakom,
- mogućnost korištenja toplinske energije za područno grijanje ili industrijske potrebe,
- blizina rashladne vode,
- meteorološki uvjeti i utjecaj na okoliš (osjetljivost lokacije na granične vrijednosti onečišćenja).



- Termička obrada otpada mora predstavljati posljednji korak (prije odlaganja) u integriranom sustavu gospodarenja otpadom.
- Analize pokazuju da bi optimalna veličina energane na otpad bila 300.000 t/god iako bi zbog geografskog oblika RH i prometne povezanosti bilo prikladnije imati četiri ENO po 150.000 t/god.

Pojednostavljena shema gospodarenja komunalnim otpadom:

- Sakupljanje otpada, uz prethodno odvajanje materijala (papir, staklo, plastika,...) koji se može oporabiti (reciklažna dvorišta), i zbrinjavanje u centrima za gospodarenje otpadom;
- Mehaničko-biološka obrada otpada u CGO s mehaničkim odvajanjem materijala za uporabu (papir, plastika, metal ...), biološka obrada (anaerobna digestija, kompostiranje ...) i proizvodnja goriva iz otpada;
- Termička obrada GIO u cementnoj industriji, oko 150.000 t/god;
- Termička obrada nerazvrstanog otpada u planiranom postrojenju za termičku obradu otpada u Zagrebu, 400.000 t/god;
- Uporaba pepela iz postrojenja za termičku obradu u cementnoj industriji.