

Doc.dr.sc. Damir Šljvac

**OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE  
Energija biomase**

U Osijeku, travanj 2008.

## **Sadržaj:**

B. ENERGIJA BIOMASE .....	1
B.1. Vrste i svojstva biomase .....	1
B.2. Tehnologije proizvodnje energije iz biomase .....	3
B.2.1. Drvna biomasa .....	4
B.2.2. Nedrvna biomasa .....	6
B.2.3. Bioplín .....	7
B.2.4. Alkoholna goriva (etanol) .....	9
B.2.5. Biodizel .....	11
B.2.6. Energija otpada .....	12
B.4. Potencijali i proizvodnja biomase u EU i Hrvatskoj .....	18
B.4.1. Energetski potencijali biomase u EU .....	18
B.4.2. Energetski potencijali biomase u Hrvatskoj .....	19
B.4.3. Mogućnosti proizvodnje bioplina u Osječko-baranjskoj županiji .....	21
Literatura: .....	25

## B. ENERGIJA BIOMASE

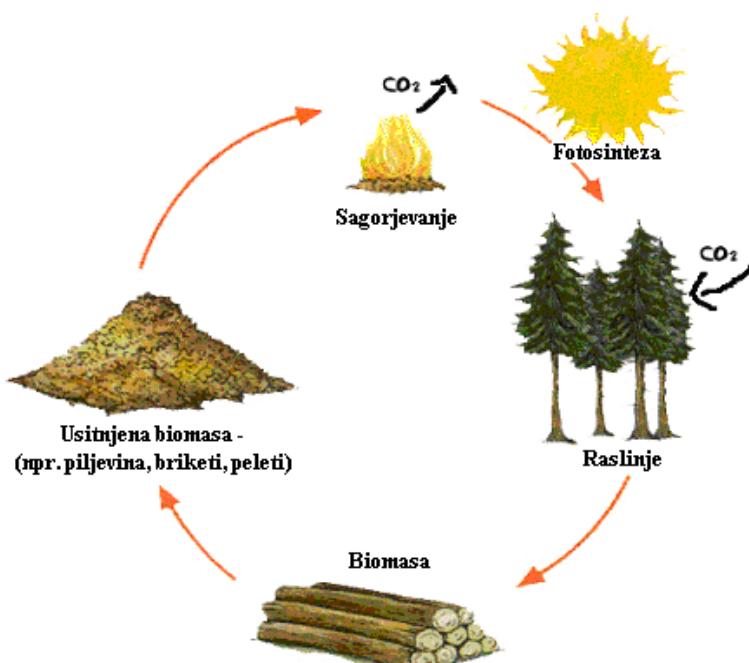
### B.1. Vrste i svojstva biomase

Biomasa je biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka poljoprivredne proizvodnje (biljnog i životinjskog porijekla), šumarske i srodnih industrija. Energija iz biomase dolazi u čvrstom, tekućem (npr. biodizel, bioetanol, biometanol) i plinovitom stanju (npr. bioplinski plin, plin iz rasplinjavanja biomase i deponijski plin).

Biomasa je obnovljivi izvor energije, a općenito se može podijeliti na drvnu, nedrvnu i životinjski otpad, unutar čega se mogu razlikovati:

- drvna biomasa (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo),
- drvna uzgojena biomasa (brzorastuće drveće),
- nedrvna uzgojena biomasa (brzorastuće alge i trave),
- ostaci i otpaci iz poljoprivrede,
- životinjski otpad i ostaci,
- gradski i industrijski otpad.

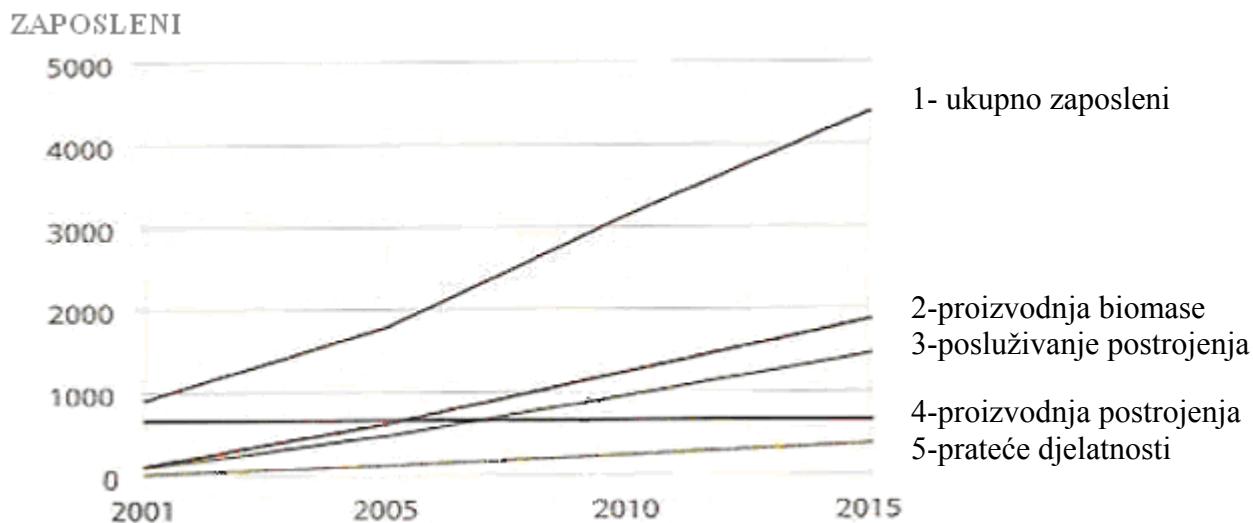
Glavna prednost u korištenju biomase kao izvora energije su obilni potencijali, ne samo u tu svrhu zasađene biljne kulture već i otpadni materijali u poljoprivrednoj i prehrambenoj industriji. Plinovi koji nastaju korištenjem biomase mogu se također iskoristiti u proizvodnji energije. Prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je i neusporedivo manja emisija štetnih plinova i otpadnih tvari. Računa se da je opterećenje atmosfere s  $CO_2$  pri korištenju biomase kao goriva zanemarivo, budući da je količina emitiranog  $CO_2$  prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog  $CO_2$  tijekom rasta biljke (slika B.1.) - ukoliko su sječa i prirast drvne mase u održivom odnosu – 1 hektar šumske površine godišnje apsorbira jednaku količinu  $CO_2$  koja se oslobađa izgaranjem 88 000 litara loživog ulja ili 134 000 m<sup>3</sup> prirodnog plina.



Slika 2.1. Kumulativna  $CO_2$  neutralnost  
(ukoliko je sječa uskladena sa prirastom – ekološki prihvatljivo)

Međutim spaljivanje biomase stvaraju se i drugi zagađujući plinovi te otpadne vode. Samo je u velikim pogonima isplativa izgradnja uređaja za reciklažu otpada, dok u manjim to nije isplativo pa se postavlja pitanje koliko je to u ekološkom smislu profitabilno. Osim toga, prikupljanje, transport i skladištenje biomase vrlo je skupo što je još jedan nedostatak ove tehnologije.

Korištenje biomase omogućava i zapošljavanje (otvaranje novih i zadržavanje postojećih radnih mesta), povećanje lokalne i regionalne gospodarske aktivnosti, ostvarivanje dodatnog prihoda u poljoprivredi, šumarstvu i drvnoj industriji kroz prodaju biomase-goriva (*procjenjuje se da je u 2005. godini na poslovima proizvodnje biomase i njenog korištenja za energiju na području Europske unije bilo zaposleno preko pola milijuna ljudi*).



Slika B.2. Korištenje biomase i očekivani porast zaposlenosti

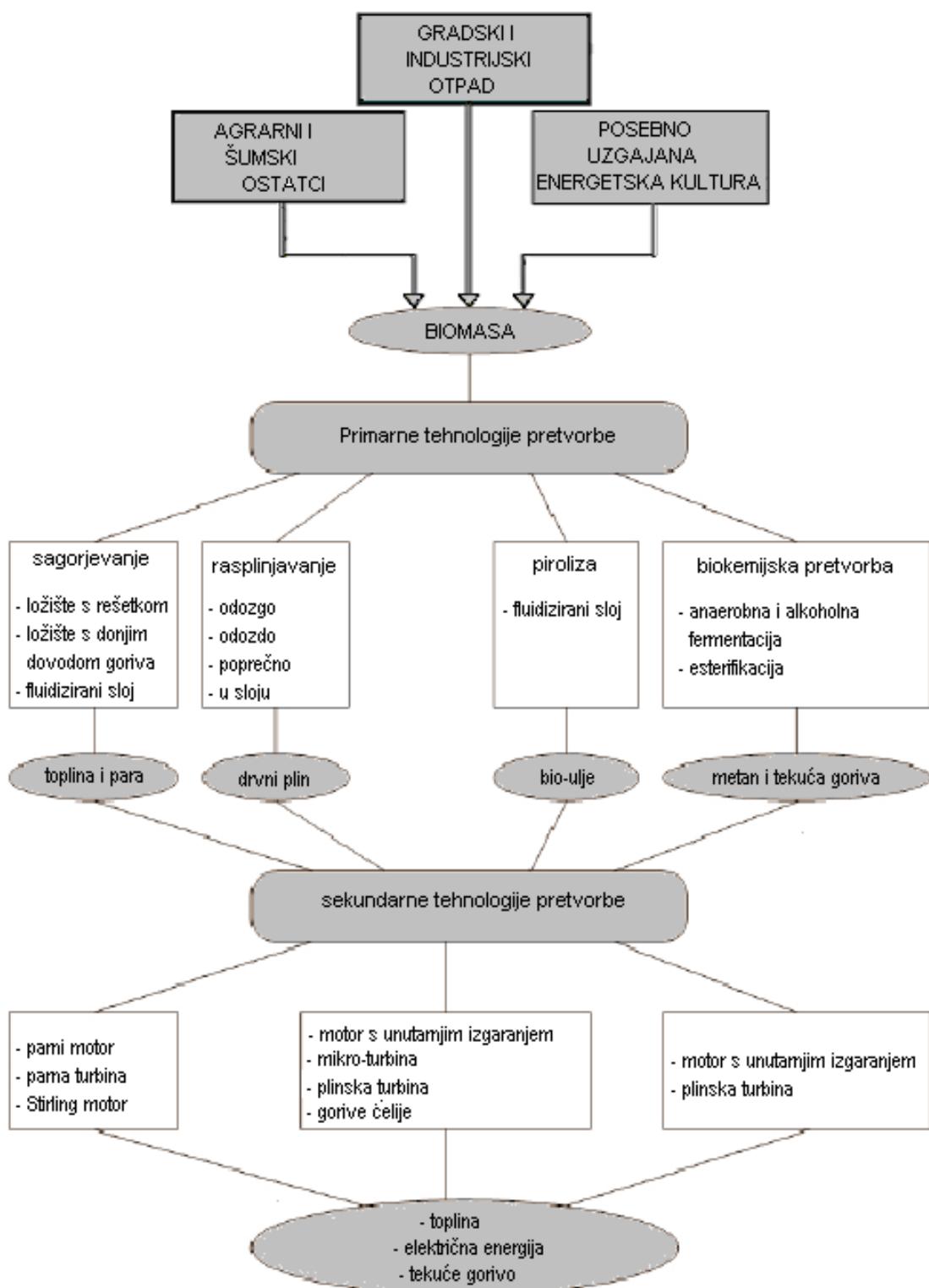
Iako još postoje pitanja bez odgovora vezana na klimatske promjene promatranjem ukupnog životnog ciklusa biomase jasne postaju nedvojbene prednosti biomase u odnosu na ostale izvore energije (tablica B.1.).

Tablica B.1. Emisije štetnih plinova prilikom rasplinjavanja biomase

Tehnologija	C	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Rasplinjavanje biomase	5-10	0,05-0,10	0,5-0,6
Ugljen – IGCC	190-220	11,00-12,00	4,0-4,5
Prirodni plin - CCGT	90-120	0	0,5-0,6
Vjetroelektrane	10-15	1,05-0,10	0,01-0,03
Solarni fotovoltaici	150-170	1,6-1,9	0,5-0,6

## B.2. Tehnologije proizvodnje energije iz biomase

U ovom poglavlju objašnjeni su postupci dobivanja energije iz pojedinih vrsta biomase, kao i načini njihovog iskorištenja odnosno primjene za proizvodnju električne energije, topline, ali i za pokretanje automobila, tj. kao gorivo.



Slika B.6. Postupci pretvorbe i dobivanja biomase

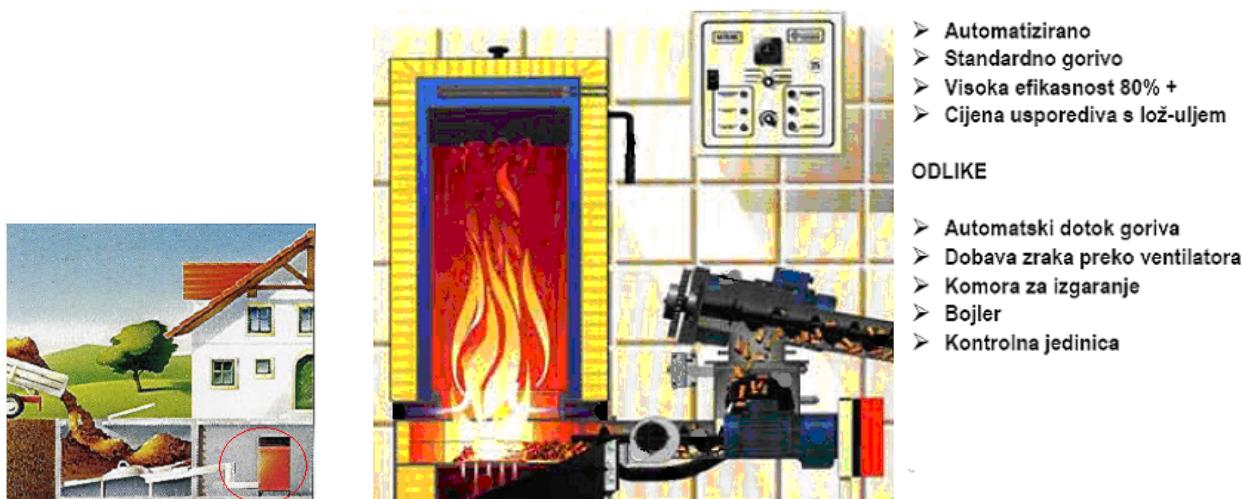
## B.2.1. Drvna biomasa

Postoje razni načini da se iz biomase dobije energija. Upotrebljava se isključivo šumska biomasa (ostaci i otpad nastali redovitim gospodarenjem šumama, prostorno i ogrjevno drvo) i biomasa iz drvne industrije (ostaci i otpad pri piljenju, brušenju, blanjanju -gorivo u vlastitim kotlovnicama, sirovina za proizvode, briketi i peleti - nastaju sabijanjem, odnosno prešanjem usitnjene drvne biomase u rasutom stanju radi transporta i automatizacije loženja, i dr. - jeftinije i kvalitetnije gorivo od šumske biomase). Pri obradi drveta gubi se oko 35 - 40% od ulazne sirovine u procesu proizvodnje, a količina otpada za neke proizvode kao što su parketi iznosi i do 65%.



Slika B.7. a) Briketi, b) Peleti,

Biomasa se može izravno pretvarati u energiju jednostavnim sagorijevanjem (izgaranjem) te se tako proizvesti pregrijana vodena para za grijanje u industriji i kućanstvima ili za dobivanje električne energije u malim termoelektranama. Takva postrojenja, kao gorivo koriste drveni otpad iz šumarstva i drvne industrije, slama i drugi poljoprivredni ostaci te komunalni i industrijski otpad (u središtu se Beča gradi velika kogeneracijska elektrana na biomasu koja će od ove godine proizvoditi toplinu za 12 000 obitelji, odnosno dovoljno električne energije za čak 45 000 obitelji).



Slika B.8. Primjer grijanja kućanstva pomoću biomase

Proces sagorijevanja se sastoji iz 4 koraka:

1. zagrijavanje i sušenje,
2. destilacija (isparavanje) hlapljivih sastojaka – piroliza,
- B. izgaranje hlapljivih sastojaka,
4. izgaranje čvrstog ugljika .

Osnovne su značajke pri primjeni šumske ili *drvne biomase* kao energenta jednake kao kod svakog goriva:

- kemijski sastav,
- ogrjevna (energetska) vrijednost
- temperatura samozapaljenja,
- temperatura izgaranja ,
- fizikalna svojstva koja utječu na ogrjevnost (npr. gustoća, vlažnost i dr).

Temeljna veličina za proračun energije iz određene količine drva jest njegova ogrjevnost (ogrjevna vrijednost). Najveći utjecaj na nju ima *vlažnost* (udio vlage-za svježe drvo 50-55 %), potom kemijski sastav, gustoća i zdravost drva (*u 2,5 kg ogrjevnog drva-cca 20% vlage-u prosjeku sadržano je energije kao u 1 litri loživog ulja*).

Ogrjevna vrijednost se određuje mjeranjem u kalorimetru, pri čemu zrak i gorivo u ložište moraju doći pod istom temperaturom i nastali produkti izgaranja moraju biti ohlađeni na istu temperaturu. Razlikujemo gornju i donju ogrjevnu vrijednost.

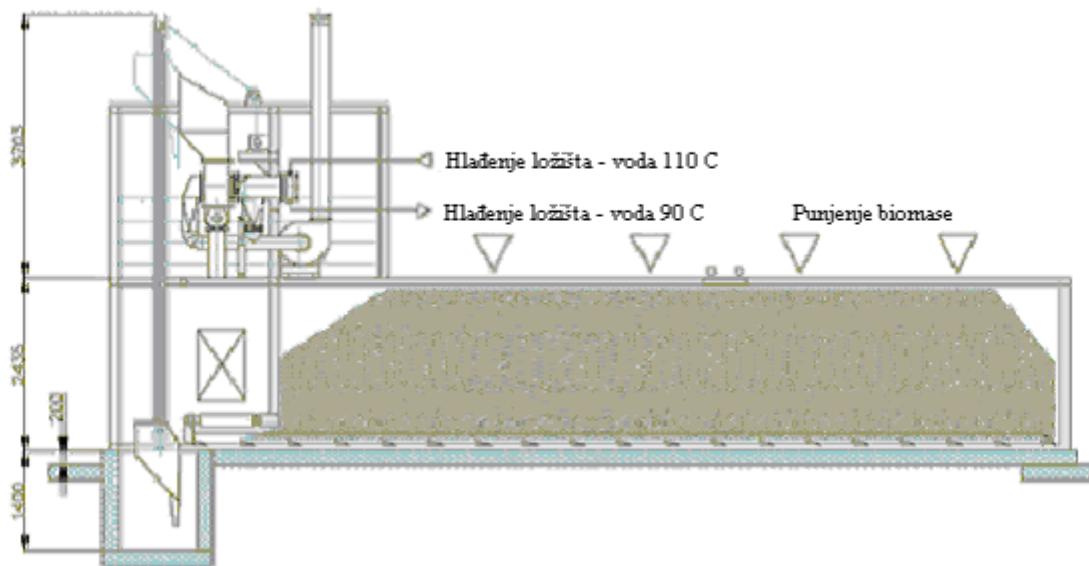
*Gornja ogrjevna vrijednost,  $H_g$*  je ona količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine goriva, pri čemu se dimni plinovi ohlade na temperaturu 25 °C, a vлага se iz njih izlučuje kao kondenzat.

*Donja ogrjevna vrijednost,  $H_d$*  je ona količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine goriva, pri čemu se dimni plinovi ohlade na temperaturu 25 °C, a vлага u njima ostaje u stanju pare te toplina kondenzata ostaje neiskorištena. Pri opisivanju efikasnosti sustava uzimamo u obzir donju ogrjevnu vrijednost jer je ona realna, tj. uzima u obzir gubitke (gornja ogrjevna vrijednost upotrebljava se samo teoretski).

Zbog većeg udjela vlage i hlapivih sastojaka (do 80%), energetska vrijednost drvne mase je znatno niža u odnosu na fosilna goriva, od 8,2 do 18,7 MJ/kg (za usporedbu: kamenog ugljena 24-37,7 MJ/kg, mrkog 12,7-23,9 MJ/kg, lignita do 12,6 MJ/kg), a i dizajn peći mora biti različit u odnosu na one za ugljen:

- *izgaranje na rešetci* (manji sustavi - manji troškovi, ali za vlažno neravnomjerno izgaranje, tj. veće emisije)
- *fluidizirani sloj* (veći sustavi - pogodno za goriva niske gorive vrijednosti, tj. sa većim udjelom vlage).

Za naše podneblje i vrste drveća važno je za njegovu *ogrjevnost* utvrditi ubraja li se ono u listače ili četinjače, odnosno u meko ili tvrdo drvo, jer je udio pojedinih sastojaka pri tome različit, a različita je i tvar koja se može koristiti kao gorivo. Smanjenjem vlažnosti biomase ogrjevna vrijednost se uvelike povećava. Iz tog je razloga, za što bolje iskorištenje energije, korisno sušiti biomasu.



Slika B.9. Modul skladištenja i sušenja biomase

Koncepcija modula biomase je da se kompletna oprema ugrađuje dijelom unutar standardnog ISO – kontejnera, a dijelom na kontejneru. Modul biomase osigurava volumen skladišta biomase od  $50 \text{ m}^3$  čime je osigurana zaliha u skladištu za 30 - 35 sati rada postrojenja sa maksimalnim kapacitetom - što omogućava dopunjavanje skladišta biomase jedan put dnevno. Kompletan sustav manipulacije sa biomasom u okviru modula je vođen mikroprocesorski. Za rad postrojenja - predviđena je usitnjena drvna biomasa do veličine od 50 mm (kora, sječka pilanskog i finalnog drvnog otpada, te usitnjena šumska biomasa) ili usitnjena poljoprivredna biomasa (oklasak i usitnjene stabljike kukuruza i suncokreta).

Sušenje se provodi sa toplim zrakom temperature cca  $100^\circ\text{C}$  -iz toplovodnog izmjenjivača. Topla voda koja zagrijava zrak za sušenje dovodi se iz vodom hlađenog ložišta zagrijivača zraka za turbinu. Navedeni sistem sušenja omogućava skidanje vlage biomase za cca 20 %.

U slučaju rada sa izrazito vlažnom biomasom - moguće je izvršiti dogradnju kanala za dovođenje dimnih plinova za sušenje ( cca  $220^\circ\text{C}$  ) čime se može dodatno povećati sušenje uz povećanje energetske vrijednosti biomase do cca 20 %.

## B.2.2. Nedrvna biomasa

Osim ostale nedrvne biomase, u Hrvatskoj bi osobitu važnost mogli imati ostaci iz poljoprivrede, tj. *poljoprivredna biomasa* (kukuruzovina, oklasak, stabljike suncokreta, slama, ljske, koštice višanja, ostatke pri rezidbi vinove loze i maslina, kore od jabuka...). Iskustva iz razvijenih zemalja, u Evropi osobito Danske, pokazuju kako se radi o vrijednom izvoru energije koji se ne bi trebao zanemariti.

Ilustrativan je stoga sljedeći primjer. Nakon berbe kukuruza na obrađenom zemljишtu ostaje kukuruzovina, stabljika s lišćem, oklasak i komušina. Budući da je prosječni odnos zrna i mase (tzv. žetveni omjer) 53% : 47%, proizlazi kako biomase približno ima koliko i zrna. Ako se razluče kuruzovina i oklasak, tada je njihov odnos prosječno 82% :18%, odnosno na proizvedenu 1 t zrna kukuruza dobiva se i 0,89 t biomase kukuruza što čine 0,71 t kukuruzovine i 0,18 t oklaska. Iako je neosporno kako se nastala biomasa mora prvenstveno

vraćati u zemlju, preporučuje se zaoravanje između 30 i 50% te mase, što znači da za energetsku primjenu ostaje najmanje 30%.

Na ogrjevne vrijednosti *nedrvne biomase* podjednako utječu udio vlage i pepela. Udio pepela u nedrvenim biljnim ostacima može iznositi i do 20% pa značajno utječe na ogrjevnost (npr. slama-veći udio Na, Cl, K-manja temperatura taljenja pepala-taloženje). Općenito, supstance koje čine pepeo nemaju nikakvu energetsku vrijednost (energetska vrijednost biljnih ostataka: 5,8 – 16,7 MJ/kg).

Osim ostataka i otpada postoji veliki broj biljnih vrsta koje je moguće uzgajati tzv. *energetski nasadi* sa velikim prinosima; kao što su brzorastuće drveće i kineske trske s godišnjim prinosom od 17 tona po hektaru, eukaliptus: 35 t suhe tvari, zelene alge s prinosom od 50 tona po hektaru, biljke bogate uljem ili šećerom, a u Hrvatskoj se najveći prinosi postižu s topolama, vrbama i jablanima...



Slika B.10. Energetski nasadi

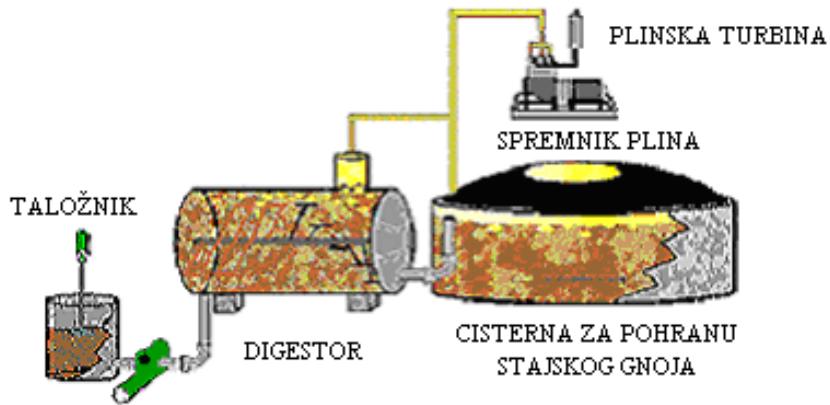
### B.2.3. Bioplín

*Bioplín* je miješavina plinova koja nastaje fermentacijom biorazgradivog materijala u okružju bez kisika. On je miješavina metana CH<sub>4</sub> (40-75 %), ugljičnog dioksida CO<sub>2</sub> (25-60 %) i otprilike 2 % ostalih plinova (vodika H<sub>2</sub>, sumporovodika H<sub>2</sub>S, ugljikovog monoksida CO). Bioplín je otprilike 20 % lakši od zraka i bez mirisa je i boje. Temperatura zapaljenja mu je između 650 i 750 °C, a gori čisto plavim plamenom. Njegova kalorijska vrijednost je oko 20 MJ/Nm<sup>3</sup> i gori sa oko 60 %-om učinkovitošću u konvencionalnoj bioplinskoj peći.

Bioplín se dobiva iz organskih materijala. Podrijetlo sirovina može varirati, od stočnih otpadaka, žetvenih viškova, ostataka ulja od povrća do organskih otpadaka iz kućanstava. Osim tih materijala, za proizvodnju bioplina može se koristiti i trava. Ali fermentacijska postrojenja za travu moraju ispunjavati više tehničke zahtjeve od konvencionalnih bioloških bioplinskih postrojenja, koja koriste čvrsto ili tekuće gnojivo.

Postoje dva osnovna tipa organske digestije (razgradnje): aerobna (uz prisustvo kisika) i anaerobna (bez prisustva kisika). Svi organski materijali, i životinjski i biljni, mogu biti razgrađeni u ova dva procesa, ali produkti će biti vrlo različiti. Aerobna digestija (fermentacija) proizvodi ugljični dioksid, amonijak i ostale plinove u malim količinama,

veliku količinu topline i konačni proizvod koji se može upotrijebiti kao gnojivo. Anaerobna digestija proizvodi metan, ugljični dioksid, nešto vodika i ostalih plinova u tragovima, vrlo malo topline i konačni proizvod sa većom količinom dušika nego što se proizvodi pri aerobnoj fermentaciji. Takvo gnojivo sadži dušik u mineraliziranom obliku (amonijak) koje biljke mogu brže preuzeti nego organski dušik što ga čini posebno pogodnim za oplemenjivanje obradivih površina. Anaerobna digestija (slika 1.) se odvija samo u specifičnim uvjetima među kojima su ulazna pH vrijednost ulazne mješavine između 6 i 7, potrebna temperatura od 25-35 °C te određeno vrijeme zadržavanja mješavine u digestoru.



Slika B.11. Proces dobivanja bioplina

Postrojenje za proizvodnju bioplina naziva se digestor. Budući da se u njemu događaju različite kemijske i mikrobiološke reakcije, poznat je i kao bioreaktor ili anaerobni reaktor. Glavna mu je funkcija da pruži anaerobne uvjete. Mora biti nepropustan za zrak i vodu. Može se napraviti od različitih materijala i različitih oblika i veličina, a to ovisi uglavnom o sirovini koji ćemo upotrijebiti. Sustavi namijenjeni za digestiju tekuće ili čvrste sirovine uglavnom se puni i prazne pomoću pumpi. Kompletan digestorski sustav se sastoji od jame za sakupljanje gnojiva, spremnika za miješanje, cijevi za odvođenje, digestora, spremnika i sustava za iskorištavanje plina.

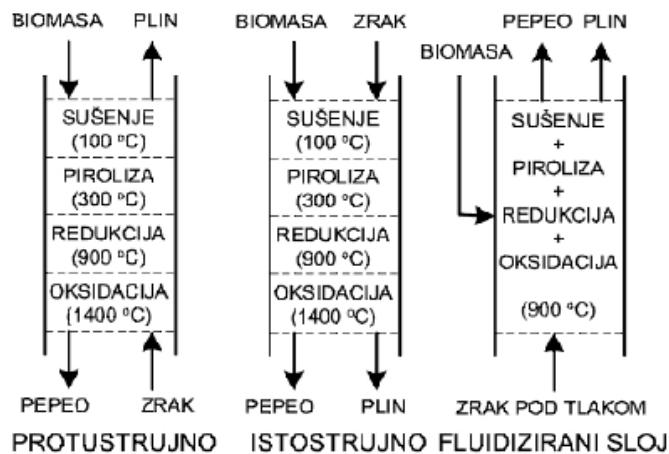
Dobiveni se bioplinski gas najčešće koristi za dobivanje toplinske i/ili električne energije izgaranjem u kotlovima, plinskim motorima ili turbinama (*korištenjem izmeta od 120 krava može proizvesti dovoljno bioplina za pogon motora snage 50 kW, što je dovoljno za pokrivanje potreba za električnom energijom manjeg sela*).

Tablica B.2. Količina bioplina i energije dobivena iz životinjskog otpada (ovisi o vrsti životinje)

Životinja	Vrsta otpada	Količina (kg/dan)	Suho (kg/dan)	Bioplinski gas (m <sup>3</sup> /dan)	Energija (kWh/god)
Goveda	Tekući	51	5,4	1,6	3400
	Suhi	32	5,6	1,6	3400
Svinje	Tekući	16,7	1,3	0,46	970
	Suhi	9,9	2,9	0,46	970
Perad	Suhi	0,66	0,047	0,017	36

Još jedna *termokemijska* tehnologija pretvorbe biomase u energiju, osim sagorijevanja, je *rasplinjavanje i piroliza*. Rasplinjavanje se provodi na visokoj temperaturi (i do  $1400^{\circ}\text{C}$ ) uz ograničen dotok kisika, čime se povećava efikasnost proizvodnje električne energije u plinskoj turbini oko 35% (moguće i do 45%), u parnom kotlu na drva oko 20%. Glavni problem kod rasplinjavanja su plinske turbine koje su vrlo osjetljive na nečistoće u plinu (čestice, para) –potrebno pročišćavanje, a to je skupo.

Sastav plina je  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  i  $\text{H}_2$ , a svojstva ovise o dizajnu uređaja za rasplinjavanje (odozgo (protustrujno), odozdo (istostrujno) ili u sloju), temperaturi, vlažnosti i sastavu biomase, sredstvu rasplinjavanja (zrak: 4-6  $\text{MJ/Nm}^3$  ili kisik: 15-20  $\text{MJ/Nm}^3$  ).



Slika B.12. Rasplinjavanje i piroliza

*Piroliza* je također termokemijski proces, s ograničenim dotokom kisika (druga faza sagorijevanja i rasplinjavanja), pri čemu dolazi do isparavanja hlapljivih sastojaka i proizvodnje tekućeg goriva (bio-ulja), pogodnije za transport i skladištenje (manji troškovi). Složeni je proces: vrlo promjenjiva svojstva bio-ulja ovisno o uvjetima i sirovini, ulje slično nafti. Znatan potencijal (npr. piroliza otpada), ali potrebna ulaganja u istraživanje i razvoj, za sada malo primjera komercijalnih postrojenja.

#### B.2.4. Alkoholna goriva (etanol)

Osnovne faze u procesu proizvodnje etanola su:

- priprema sirovine,
- fermentacija,
- destilacija etanola.

*Priprema sirovine* je zapravo hidroliza molekula škroba enzimima u šećer koji može fermentirati. Uobičajena tehnologija za proizvodnju etanola je *fermentacija* u peći s običnim kvascem za proizvodnju 8 do 10%-tnog alkohola nakon 24 do 72 h fermentacije. Nakon toga slijedi *destilacija* tog alkohola u nekoliko faza čime se dobiva 95%-tni etanol. Za proizvodnju posve čistog etanola, kakav se koristi za miješanje s benzином, dodaje se benzen i nastavlja destilacija te se dobiva 99,8%-tni etanol.

Etanol se može proizvoditi od tri osnovne vrste biomase: šećera (od šećerne trske, melase), škroba (od kukuruza) i celuloze (od drva, poljoprivrednih ostataka). Sirovine bogate šećerima

vrlo su pogodne za proizvodnju etanola, budući da već sadržavaju jednostavne šećere glukozu i fruktozu koji mogu fermentirati izravno u etanol. Sirovine bogate škrobom sadržavaju velike molekule ugljikovodika koje treba razložiti na jednostavne šećere procesom saharifikacije. To zahtijeva još jednu fazu u procesu proizvodnje što povećava troškove. Ugljikovodici u sirovinama bogatim celulozom sastavljeni su od još većih molekula i trebaju se konvertirati u šećere koji mogu fermentirati kiselom ili enzimatskom hidrolizom. Najznačajnije biljne vrste koje se uzgajaju za proizvodnju etanola su šećerna trska, slatki sirak, cassava i kukuruz.

Tablica B.3. Prinos etanola iz raznih sirovina

sirovina	prinos etanola, l/t	prinos sirovine, t/ha	prinos alkohola, l/ha godišnje	energija, GJ/ha godišnje
šećerna trska	70	50,0	3500	1350
slatki sirak	86	35,0	3010	945
kukuruz	370	6,0	2200	162
drvno	160	20,0	3200	540

Etanol se može koristiti u motorima s unutarnjim izgaranjem uz dodavanje benzину ili kao njegova potpuna zamjena. Za dodavanje do 20% etanola u benzин nisu potrebne nikakve preinake ni zahvati na motoru, dok za dodavanje većeg udjela ili za pogon samo na etanol treba djelomično modificirati motor što poskupljuje cijenu takvih vozila za oko 5 do 10%.

Vodeća zemља u proizvodnji i primjeni etanola za vozila je Brazil, u kojem se svake godine proizvede više od 15 milijardi l. Oko 15% brazilskih vozila se kreće na čisti etanol, a oko 40% koriste 20%-tnu smjesu s benzином. Etanol se počeo proizvoditi kako bi se smanjila brazilska ovisnost o inozemnoj nafti i otvorilo dodatno tržište domaćim proizvođačima šećera. U SAD-u etanolske smjese čine oko 9% ukupne godišnje prodaje benzina.

Za proizvodnju *metanola* mogu se koristiti sirovine s visokim udjelom celuloze kao što je drvo i neki ostaci iz poljoprivrede. Tehnologija je posve različita od one za proizvodnju etanola. Proizvodnja se odvija u dvije faze. U prvoj se sirovina konvertira u plinoviti međuproizvod iz kojeg se sintetizira metanol. Faza sinteze metanola je dobro poznata i komercijalno dokazana, dok je faza rasplinjavanja još u razvoju. Takva istraživanja se provode u zemljama s velikim drvnim potencijalom kao što su Švedska i Brazil, a primjena takvih postrojenja se očekuje uskoro.

Tablica B.4.Usporedba svojstava alkoholnih goriva i benzina

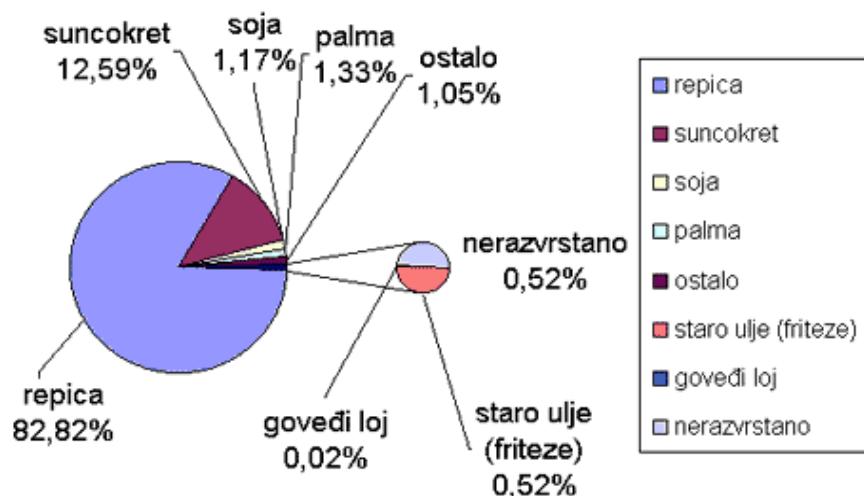
svojstvo	etanol	metanol	benzin
gustoća, kg/m <sup>3</sup>	789	793	720 - 750
ogrjevna vrijednost, MJ/kg	21,3 - 29,7	15,6 - 22,3	32,0 - 46,47
stehiometrijski omjer zraka i goriva, kg/kg	9,0	6,5	14,6
temperatura vrenja kod 1 bar, °C	7,5	65	30,23
stupanj viskoznosti	-	0,58	0,6
oktanski broj	106	112	91 - 100

## B.2.5. Biodizel

*Biodizel* je komercijalni naziv pod kojim se *metil-ester*, bez dodanog mineralnog dizelskog goriva, nalazi na tržištu tekućih goriva i prodaje krajnjim korisnicima. Standardizirano je tekuće nemineralno gorivo, neutrovan, biorazgradivi nadomjestak za mineralno gorivo, a može se proizvoditi iz biljnih ulja, recikliranog otpadnog jestivog ulja ili životinjske masti procesom esterifikacije, pri čemu kao sporedni proizvod nastaje glicerol.

*Metil-ester (ME)* je kemijski spoj dobiven reakcijom (esterifikacija) biljnog ulja (uljana repica, suncokret, soja, palma, ricinus itd.) ili životinjske masti s metanolom u prisutnosti katalizatora.

Izbor osnovne sirovine za dobijanje biodizela zavisi od specifičnih uslova i prilika u konkretnim zemljama, u Evropi se za proizvodnju biodizela najviše koristi ulje uljane repice (82,8%) i ulje suncokreta (12,5%), dok se u Americi najviše koristi ulje soje, a u azijskim zemljama se koristi i palmino ulje.

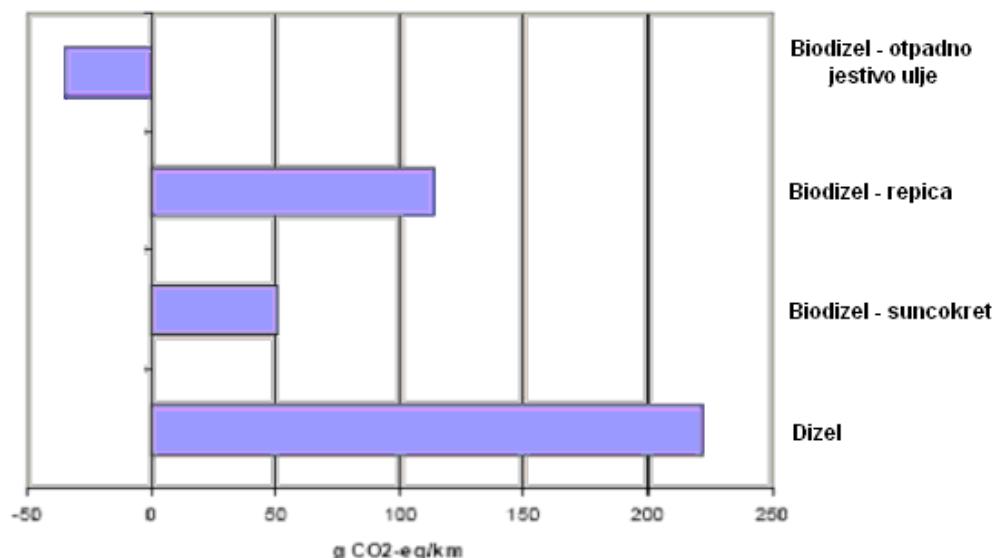


Slika B.13..Izbor osnovne sirovine za dobijanje biodizela u Evropi

*Prednosti biodizela:* osim što je po svojim energetskim sposobnostima jednak običnom dizelu, ima puno bolju mazivost, pa značajno produžava radno trajanje motora. Najvažnije su njegove osobine vezane uz smanjenje onečišćenja okoliša (prilikom rada motora, na ispušnoj cijevi se oslobađa čak 10% kisika, eliminira CO<sub>2</sub> emisiju). Biodizelska goriva ne sadrže sumpor ni teške metale, koji su glavni onečišćivači zraka prilikom uporabe dizela dobivenog iz nafte,. Pretvara NO<sub>x</sub> u bezopasni nitrogen. Moguća proizvodnja u kućnoj radnosti. Viši cetanski broj – lakša zapaljivost. Transport biodizela gotovo je potpuno neopasan za okoliš, jer se dospjevši u tlo razgradi nakon 28 dana. Ako nafta tijekom manipulacije ili transporta dospije u vodu, jedna litra zagadi gotovo milijun litara vode, dok kod biodizela takvo zagađenje ne postoji, jer se on u vodi potpuno razgradi već nakon nekoliko dana.

Ugljični monoksid	- 42,7 %
Ugljikohidrati	- 56,3 %
Čestice materije	- 55,3 %
Dušični monoksid	+ 13,2 %
Toksini	- 60 – 90 %
Sulfati	- 100 %

Tablica B.5. Emisije štetnih tvari u okoliš



Slika B.14. Emisije CO<sub>2</sub> u usporedbi s klasičnim dizelom

#### *Nedostaci biodizela:*

Postoji mogućnost začepljivanja injektora,  
Miris prženog ulja iz ispuha,  
Visoka viskoznost,  
Energetska vrijednost: 37,2 MJ/l (nafta 42, MJ/l ) – veća potrošnja

Pri proizvodnji biodizela iz uljane repice, nastaje čitav niz veoma profitabilnih nusprodukata, poput pogače ili sačme, koja je visokovrijedan proteinski dodatak stočnoj hrani, dobivamo i glicerol, koji se koristi kao sirovina u kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji. Na kraju tehnološkog procesa, kao nusprodukt se dobiva i uljni mulj, koji se koristi kao visokokvalitetno gnojivo za povrtnе kulture u ekološkoj poljoprivredi. Zbog svojih brojnih pozitivnih osobina, biodizel je svoju najširu primjenu našao upravo u ekološkoj poljoprivredi, gdje je, po međunarodnim kriterijima, i jedini dopustivi energet. Bez uporabe biodizela (ili nekog drugog biogoriva), danas se u EU ne može dobiti certifikat o čistoći ekološki proizvedenih poljoprivrednih proizvoda.

## B.2.6. Energija otpada

Ubrzani razvitak industrije, a osobito potrošački organizirano društvo, uzrokovali su globalnu "ekološku" krizu, koja se u razvijenim državama očituje poglavito kao problem zbrinjavanja otpada. Nekontrolirano i neodgovorno odložen otpad ugrožava zdravlje ljudi i okoliš, a brojni su primjeri u kojima je dokazano oštećenje zdravlja ljudi zbog neodgovornog postupanja s otpadom. Svjetska iskustva pokazuju da je problem otpada moguće riješiti samo cjelovitim sustavom gospodarenja.

Primarni cilj je zbrinjavanje gradskog otpada, a tek potom proizvodnja energije (iskorištavajući «zeleni dio» recikliranog kućnog otpada, biomasu iz parkova i vrtova, mulj iz kolektora otpadnih voda) jer su za to potrebni veliki investicijski troškovi ( US\$ 4000/kW ).

Korištenje energije otpada za grijanje i/ili proizvodnju električne energije jedan je od načina za učinkovitu uporabu otpada uz, ukoliko se provodi ispravno, minimalan utjecaj na okoliš. Postupci termičke obrade otpada, poglavito u urbaniziranim - gusto naseljenim sredinama, omogućuju istovremeno neutraliziranje štetnih svojstava i njegovo energetsko iskorištavanje. Postoje različite tehničke mogućnosti termičke obrade otpada, od kojih je sagorijevanje otpada dosad najviše korišteno. Oko potrebe i mogućnosti primjene izgaranja komunalnog otpada u Hrvatskoj i svijetu provedene su brojne rasprave.

U svijetu stalno raste broj postrojenja za termičku obradu otpada izgaranjem i ta se tehnologija najviše koristi upravo u razvijenim državama. Mogućnost kogeneracije energije otpada, u okvirima cjelovitog sustava gospodarenja energijom, obuhvaća vrednovanje deponijskog plina kod uređenih suvremenih deponija, bioplina kod takozvane anaerobne hladne obrade otpada i termičku obradu otpada pomoću različitih postupaka otplinjavanja, rasplinjavanja, sagorijevanja i različitih kombinacija tih postupaka. Proizvodnja energije iz otpada u svijetu nije rijetkost. Tako se danas u Švedskoj otpad energetski iskorištava u 21-om postrojenju za spaljivanje, čime se godišnje zbrinjava 1,7 milijuna tona otpada (oko polovice ukupne količine komunalnog otpada).



Slika B.15 Energetsko vrednovanje otpada

#### B.2.7. Sekundarne tehnologije pretvorbe

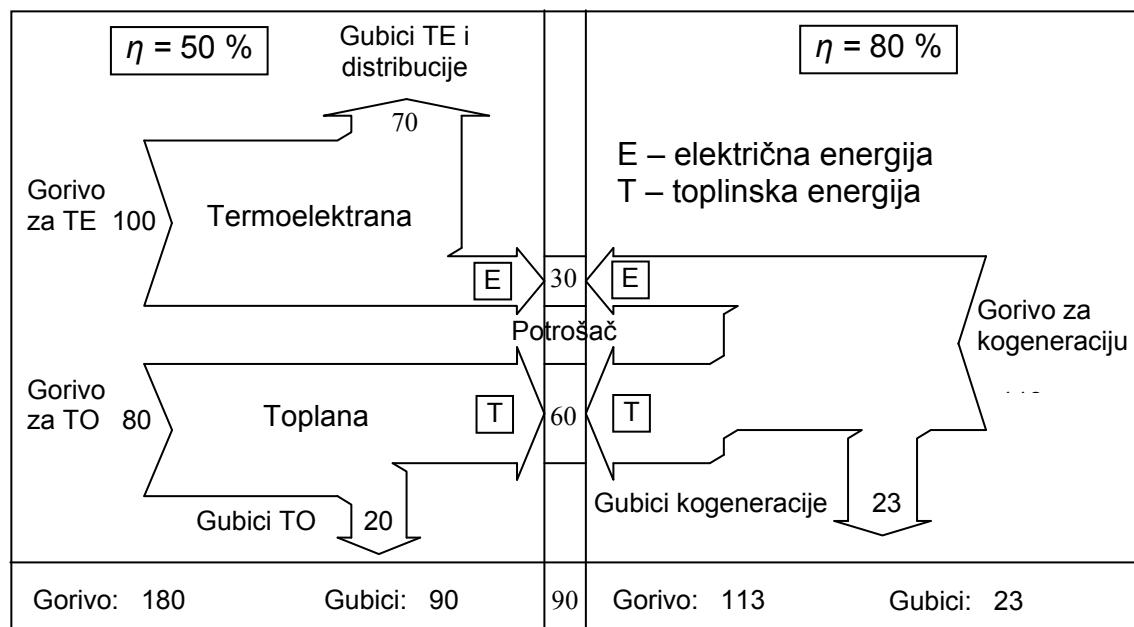
Proizvodnja električne energije – vrlo slična za biomasu kao i za fosilna goriva, u termoelektranama; najprije pretvaranje u toplinsku energiju nosilaca (vodena para kod parnih turbina, plin kod plinskih turbina), pretvaranje u mehaničku, a potom u električnu energiju.

**Radi povećanja stupnja djelovanja koristi se kogeneracija – istovremena proizvodnja toplinske i električne energije, pri čemu je potreban potrošač topline (npr. šumarska industrija). Male kogeneracijske elektrane su višenamjenski objekti, koji iz fosilnih goriva i biomase postupkom kogeneracije proizvode električnu i toplinsku energiju, a u određenim slučajevima proizvodi se i hladna voda za potrebe hlađenja. Goriva za pogon malih kogeneracijskih elektrana su plinovita, tekuća i kruta. Pored konvencionalnih goriva Odgovarajuće toplinske snage ovise o vrsti energetskog agregata i kreću se u rasponu 20-20000 kW<sub>e</sub>.**

Osnovna prednost malih kogeneracijskih elektrana u odnosu na odvojenu proizvodnju električne i toplinske energije je smanjenje troškova goriva za proizvodnju navedene energije, a time i smanjenje zagađenja okoliša. Pored prednosti kogenerativne proizvodnje energije, korištenjem malih kogeneracijskih elektrana otpada prijenos na veće udaljenosti, jer se toplina i struja proizvode okolišno prihvatljivo u težištima potrošnje. Toplina se predaje izravno u objektu ili u obližnju toplinsku mrežu. Električna energija se također koristi u objektu, a višak se isporučuje u postojeću lokalnu niskonaponsku, ili srednjenačku mrežu.

Prednost malih kogeneracijskih elektrana je i u modularnoj izvedbi, pa se veličina malih kogeneracijskih objekata može prilagoditi porastu potrošnje električne i toplinske energije stupnjevitom izgradnjom odnosno dodatnim modulima. Postojeće toplane i rezervni električni agregati mogu se dograditi, odnosno rekonstruirati u male kogeneracijske elektrane. U prednosti malih kogeneracijskih elektrana mogu se još ubrojiti relativno mala dodatna ulaganja isplativa za nekoliko godina, lokacija je redovito u okviru industrijskog ili javnog objekta što olakšava ishodenje dozvola i kratak rok izgradnje, te kratak rok izgradnje zbog modulne izvedbe.

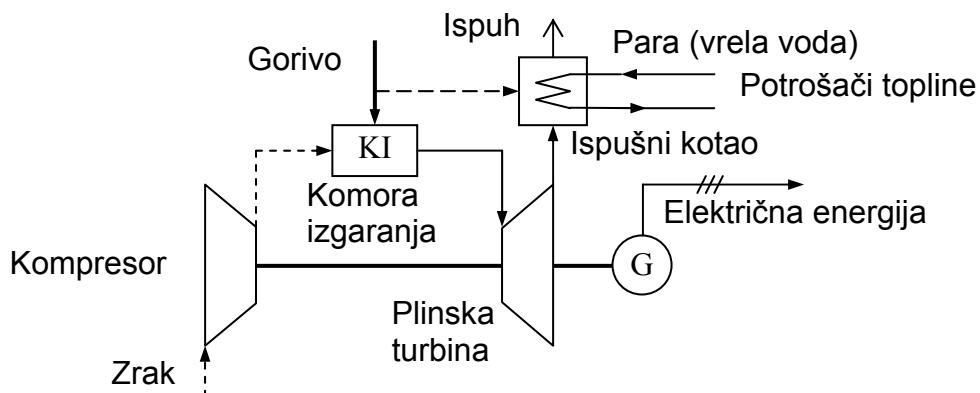
Međutim, kogeneracija nije isplativa u svim uvjetima. Ona je isplativa za odgovarajuću kombinaciju potrošnje električne i toplinske energije. Kako je višak električne energije u svakom trenutku moguće prodati elektroenergetskom sustavu do snage  $5 \text{ MW}_e$ , onda je zapravo toplinsko opterećenje determinirajuće za isplativost malih kogeneracijskih elektrana. Ako toplinsko opterećenje traje više od 3000-5000 sati godišnje za očekivati je isplativost kogeneracije. Na slici B.16. prikazana je usporedba energetske učinkovitosti kogeneracije i odvojene proizvodnje [x3].



Slika B.16. Usporedba energetske učinkovitosti kogeneracije i odvojene proizvodnje

Najzanimljiviji objekti za primjenu kogeneracije su oni kod kojih se toplinska energija troši što stalnije i što duže tijekom dana, tjedna i godine. Isto tako zanimljivi su slučajevi gdje postoji otpadna goriva, kao što su različite vrste bioplina (deponijski, muljni, destilacijski i sl.), te drveni otpad.

*Plinskoturbinska kogeneracija* zasniva se na plinskim turbinama otvorenog ciklusa, koje u spremi s generatorom proizvode električnu energiju. Na slici B.17. prikazana je shema plinskoturbinske kogeneracije.



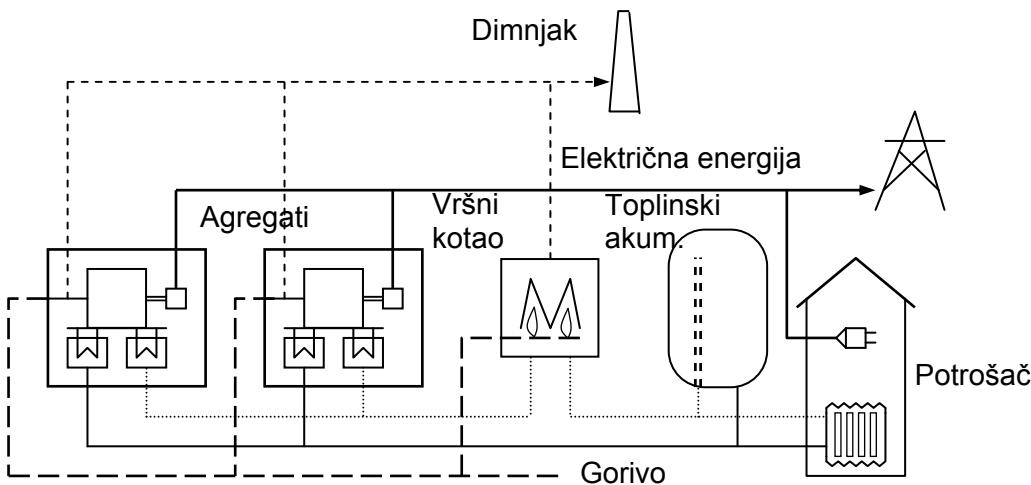
Slika B.17. Shema plinskoturbinske kogeneracije

Plinska turbina primjenjuje se kod koncipiranja malih kogeneracijskih elektrana najčešće za veće snage, iznad 1 MWe. Plinske turbine odlikuju se: velikom učinkovitošću, malo zagađenje okoliša, velika pouzdanost, niska cijena izgradnje, potreban mali prostor, mogućnost modulne izvedbe, kratko vrijeme do pune snage. U tablici B.5. prikazane su značajke plinskoturbinskih agregata za kogeneraciju.

Tablica B.5. Značajke plinskoturbinskih agregata za kogeneraciju

Električna snaga agregata [kW <sub>e</sub> ]	Specifični potrošak topline [kJ/kWh <sub>e</sub> ]	Iskoristiva toplinska snaga [kW <sub>t</sub> ]	Gorivo
25-150	12000-10000	40-200	Loživo ulje
200-1000	10000-8000	250-1200	Loživo ulje, plin
1000-2500	9000-8500	1200-2600	Loživo ulje, plin
2500-5000	8500-7500	2600-5000	Loživo ulje, plin

*Termomotorna kogeneracija* zasnovana je na motorima s unutarnjim izgaranjem (otto i dizel), koji u spremi s generatorima proizvode električnu energiju, a korištenjem otpadne topline ispušnih plinova i rashladne vode proizvode i toplinu u obliku vrele vode i/ili pare. Na slici B.18. prikazana je shema termomotorne kogeneracije.



Slika B.18. Shema termomotorne kogeneracije

Termomotori se primjenjuju u širokom rasponu snaga od  $10 \text{ kW}_e$  do nekoliko  $\text{MW}_e$ .

Temperaturna razina korisne topline za primjenu termomotora je do maksimalno  $115^\circ\text{C}$ , a najpovoljnije je oko  $80^\circ\text{C}$ . Pozitivne osobine kao na primjer: visoka učinkovitost (do 50 %), velika pouzdanost, lako održavanje, mala težina i potrebnii prostor, paketna izvedba, dobro ponašanje kod djelomičnih opterećenja, te kratko vrijeme do pune snage, dovele su do brzog prodora termomotora u područje kogeneracije.

Termomotori za male kogeneracijske elektrane se pojavljuju u dvije osnovne izvedbe: plinski motori i dizel motori. Plinski motori najčešće se primjenjuju za manje jedinice, a koriste sve vrste plinovitih goriva od prirodnog plina do raznih vrsta bioplina. U malim kogeneracijskim elektranama se primjenjuju dvije vrste plinskih motora: modificirani automotori i industrijski plinski motori. U tablici B.6. i B.7. su prikazane značajke kogeneracijskih agregata na bazi modificiranih automotora i na bazi industrijskih plinskih motora.

Tablica B.6. Značajke kogeneracijskih agregata na bazi modificiranih automotora

Električna snaga agregata [ $\text{kW}_e$ ]	Specifični potrošak topline [ $\text{kJ/kWh}_e$ ]	Iskoristiva toplinska snaga [ $\text{kW}_t$ ]	Gorivo
15	12960	39	plin
38	12900	70	plin
75	12400	130	plin
145	12160	265	plin

Tablica B.7. Značajke kogeneracijskih agregata na bazi industrijskih plinskih motora

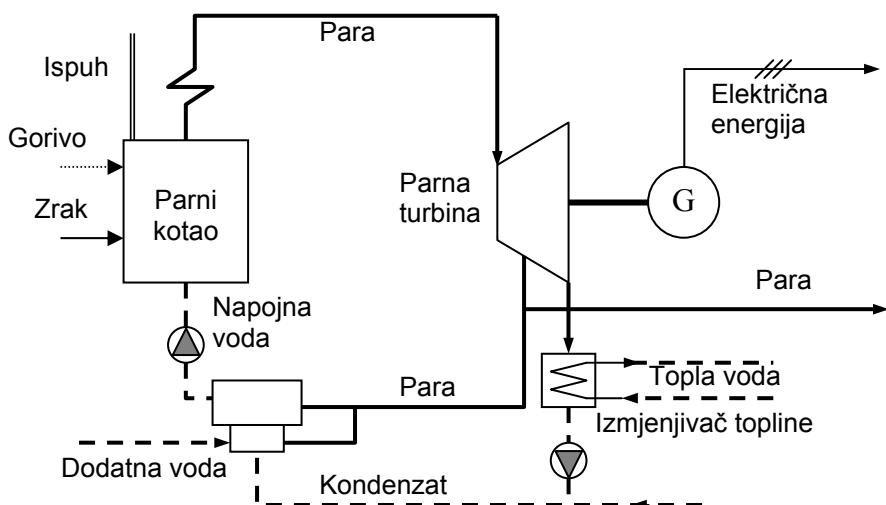
Električna snaga agregata [ $\text{kW}_e$ ]	Specifični potrošak topline [ $\text{kJ/kWh}_e$ ]	Iskoristiva toplinska snaga [ $\text{kW}_t$ ]	Gorivo
25-150	13000-11000	50-250	plin
200-1000	12000-10000	350-1400	plin
1000-2500	10500-9500	1400-3500	plin
2500-5000	10000-9500	3500-7000	plin

Kogeneracijski moduli na bazi dizel motora izvode se u širokom rasponu električnih snaga od 25  $\text{kWe}$  do 5000  $\text{kWe}$ . U području manjih snaga obično su paketne izvedbe. U tablici B.8. prikazane su značajke kogeneracijskih agregata na bazi dizel agregata.

Tablica B.8. Značajke kogeneracijskih agregata na bazi dizel agregata

Električna snaga agregata [kW <sub>e</sub> ]	Specifični potrošak topline [kJ/kWh <sub>e</sub> ]	Iskoristiva toplinska snaga [kW <sub>t</sub> ]	Gorivo
25-150	12000-10000	40-200	loživo ulje
200-1000	10000-8000	250-1200	loživo ulje, plin
1000-2500	9000-8500	1200-2600	loživo ulje, plin
2500-5000	8500-7500	2600-5000	loživo ulje, plin

Parnoturbinska kogeneracija zasniva se na protutlačnim ili kondenzacijsko-oduzimnim parnim turbinama, koje u spremi s električnim generatorom proizvode toplinsku i električnu energiju. Za proizvodnju toplinske energije koristi se toplina od kondenzacije pare, koja bi se inače morala odvesti rashladnom vodom. Na slici B.19. je prikazana parnoturbinska kogeneracija.



Slika B.19. Shema parnoturbinske kogeneracije

Parnoturbinska kogeneracija ima opravdanja za korištenje krutog goriva: ugljena, drvnih otpadaka i biomase, ali kao lokalnih izvora. Kotlovi za proizvodnju pare u sustavu parnoturbinskog postrojenja dijele se na: kotlove ložene ugljenom, drvenim otpaćima, ili biomasom u vrtložnom ložištu, ili s roštiljnim loženjem. U tablici B.9. prikazane su značajke parnoturbinskih postrojenja za kogeneraciju.

Tablica B.9. Značajke parnoturbinskih agregata za kogeneraciju

Električna snaga agregata [kW <sub>e</sub> ]	Specifični potrošak topline [kJ/kWh <sub>e</sub> ]	Iskoristiva toplinska snaga [kW <sub>t</sub> ]	Gorivo
do 1000	25000-20000	do 5000	biomasa, ugljen
1000-2500	21000-16000	5000-10000	biomasa, ugljen
2500-5000	17000-13000	10000-20000	biomasa, ugljen

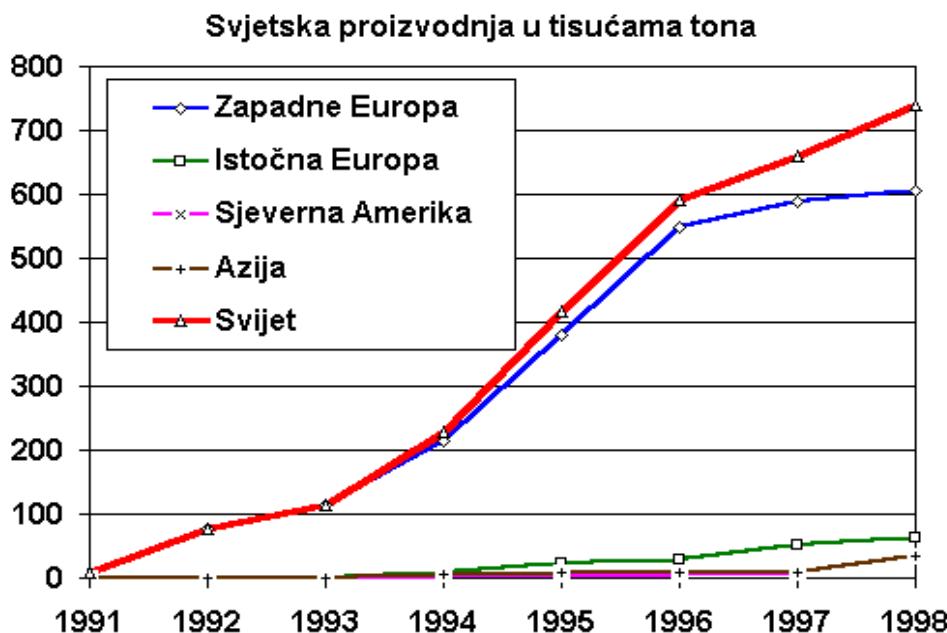
## B.4. Potencijali i proizvodnja biomase u EU i Hrvatskoj

S obzirom da potencijali drvne biomase izravno ovise o sadnji, prikazat će se neki potencijali proizvodnje bioplina, te biodizela u svijetu.

### B.4.1. Energetski potencijali biomase u EU

Tablica B.7. Količina energije koje je potencijalno moguće dobiti iz bioplina za 2020. godinu u zemljama EU-15

	<i>Ukupna količina biomase, mil. tona</i>	<i>Ukupna energija iz bioplina, TWh/god</i>	<i>Ukupna energija iz bioplina, PJ</i>
Austrija	36.1	6.1	22.0
Belgija	52.0	8.8	31.7
Danska	52.5	8.9	32.0
Finska	18.5	3.1	11.3
Francuska	251.9	42.7	153.7
Njemačka	234.6	39.8	143.2
Grčka	11.4	1.9	7.0
Irska	70.5	11.9	43.0
Italija	112.0	19.0	68.3
Luksemburg	2.08	0.4	1.3
Nizozemska	80.8	13.7	49.3
Portugal	22.0	3.7	13.4
Španjolska	108.2	18.3	66.0
Švedska	26.3	4.4	16.0
U. Kraljevstvo	155.4	26.3	94.8
<b>Ukupno EU-15 :</b>	<b>1 234.3</b>	<b>209,0</b>	<b>753.0</b>



Slika B.18. Svjetska proizvodnja bioplina od 1991. do 1998.

U posljednjih 15 godina proizvodnja je znatno skočila, s gotovo nula tona u 1991. na 580 000 tona u 1998. godini. Prošle se godine proizvelo oko 3,5 milijuna tona biodizela, od čega gotovo 90% proizvodnje otpada na zemlje EU.

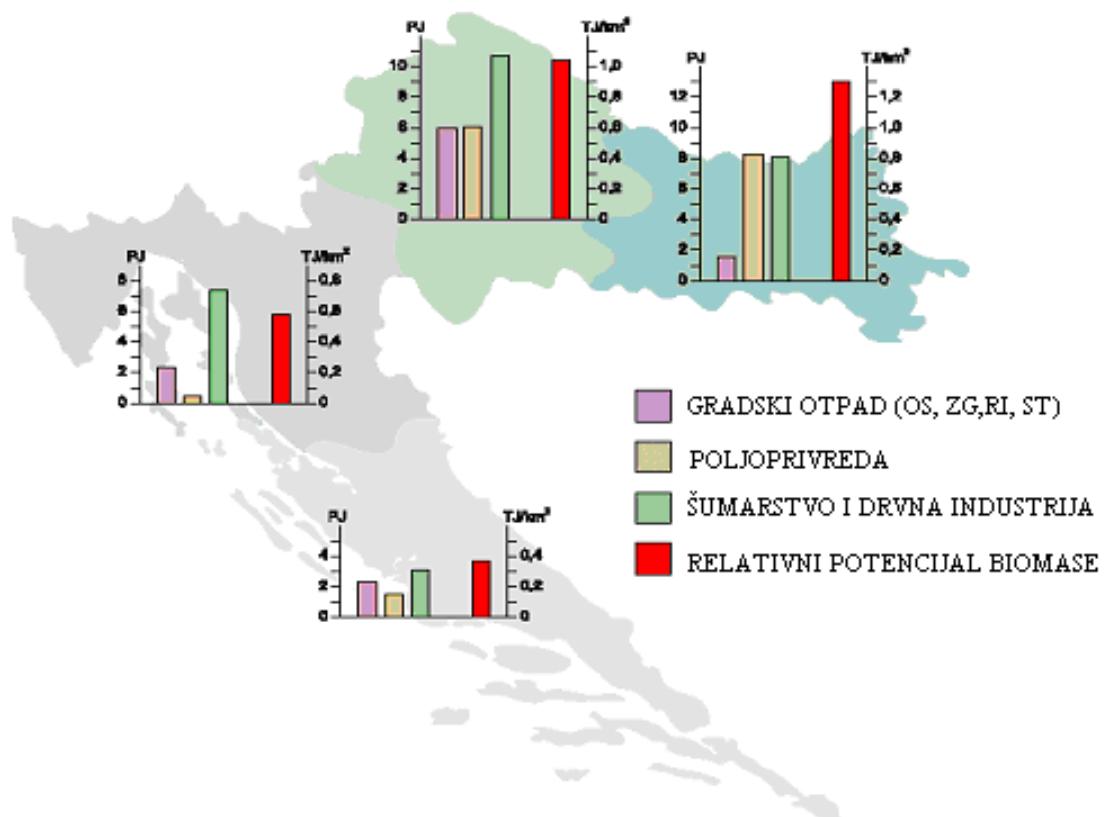
Vodeći proizvođači biodizela su Njemačka, s više od 400 000 i Francuska sa 120 000 tona godišnje. Slijede Italija, Češka, Belgija, Austrija, i Švedska. U Njemačkoj i Austriji trenutačno radi više od tisuću biodizelskih crpki, koje ekološko gorivo prodaju znatno jeftinije od fosilnog eurodizela.

#### **B.4.2. Energetski potencijali biomase u Hrvatskoj**

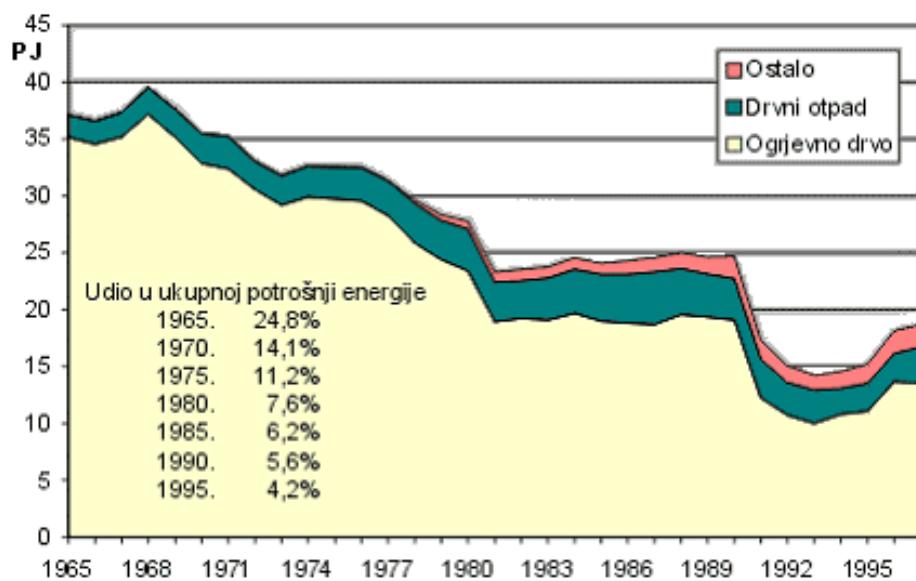
Hrvatska ima veliki šumski potencijal s gotovo 45% teritorija prekriven je šumom-ukupni godišnji prirast je 9.6 milijuna m<sup>3</sup>, s razvijenom drvnom industrijom te značajnim udjelom poljoprivrede i stočarstva u ukupnom gospodarstvu, a to znači izvrsna osnova za proizvodnju energije iz biomase (posebice u Slavoniji, gdje je osobito izražen potencijal korištenja poljoprivredne biomase)!

Sa slici B.19 vidljivo je da kontinentalni dio ima puno veći biopotencijal od primorskog, jer je veliki dio našeg primorja vrlo škroto kamenito tlo. Trenutno se koristi oko 16 PJ energije iz biomase (podatak iz 1998. god., 354 PJ ukupna potrošnja energije - dakle samo oko 4.5 %) i to većinom na nedjelotvoran način - za grijanje kućanstava.

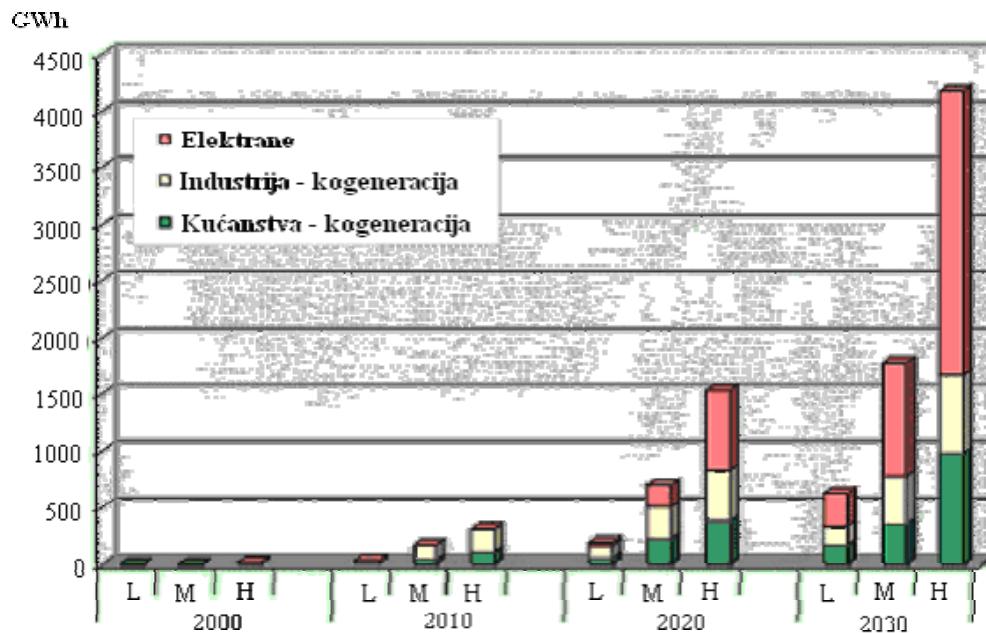
Posljednjih godina došlo je do smanjenja korištenja biomase, jer se sve manje kućanstava grijie na drva, dok s druge strane biomasa nije značajnije utjecala na proizvodnju električne energije. Uvođenjem novih tehnologija i mehanizama podrške očekuje se da će tehnički potencijal biomase i otpada za period do 2030. godine porasti na razinu od 50 do 80 PJ (*u Finskoj se već danas iz biomase pokriva preko 25% svih ukupnih potreba za energijom*).



Slika 5.19. Potencijal bioenergije u Hrvatskoj po regijama



Slika B.20. Proizvodnja energije iz biomase u Hrvatskoj 1965-1997



Slika B.21.Strategija proizvodnje električne energije iz biomase u Hrvatskoj 2000-2030

#### B.4.3. Mogućnosti proizvodnje bioplina u Osječko-baranjskoj županiji

Prirodni uvjeti u istočnoj Hrvatskoj daju ovom području određene komparativne prednosti koje se očituju u poljodjelstvu i šumarstvu. Proizvodni kapaciteti u primarnom dijelu poljoprivrede svrstavaju Osječko-baranjsku županiju u najkvalitetniji dio hrvatske žitnice. Na ovo se nadovezuje stočarska proizvodnja koja je dominantna u govedarstvu, svinjogradstvu, te peradarstvu. Značajna je proizvodnja mlijeka i jaja.

Proizvodnja bioplina kod nas uopće se ne koristi. Razlog tomu je, uz loše ekonomske uvjete i činjenica da je proizvodnja bioplina ekonomična samo za postrojenja koja prerađuju gnojivo od najmanje 80 do 100 UVG (uvjetno govedo je preračunata jedinica od 500 kg težine životinja), što znatno smanjuje broj potencijalnih proizvođača ili zahtjeva okrupnjavanje i udruživanje proizvodnje, jer je velika većina poljoprivrednih gospodarstava premalo za isplativo iskorištavanje bioplina. Za manje posjede koji imaju ili mogu osigurati dobivanje gnojnica od 35 do 60 UVG predviđena je proizvodnja bioplina u kontejnerima, čija isplativost nije upitna, no ona je suočena s problemom priključivanja na električnu mrežu HEP-a. Dosadašnji primjeri pokazuju da administrativna priprema toliko opterećuje projekt, da nema smisla tražiti spajanje s mrežom i prodaju struje. Za tako male pogone puno je zanimljivije zadovajavanje vlastitih potreba za električnom energijom i toplinom.

Zbog neiskorištavanja biomase za proizvodnju bioplina možemo govoriti samo o potencijalnoj energiji koju bi mogli dobiti iz trenutno dostupnih sirovina. Različite vrste u stočarstvu daju različitu količinu sirovine ovisno o vrsti s različitom mogućnošću dobivanja bioplina po kilogramu sirovine.

Stanje stočnog fonda u Osječko-baranjskoj županiji prikazano je u tablici 2, a tablica 3 pokazuje ukupnu i neto potencijalnu energiju koju je u idealnom slučaju moguće proizvesti.

Razlika između ukupne energije i neto energije je 35 % što je energija potrebna za rad samog bioplinskog postrojenja[4].

Tablica 2. Broj životinja koji predstavlja glavninu životinja u Osječko-baranjskoj županiji, te teorijska potencijalna energija

	<i>Svinjogojstvo</i>	<i>Govedarstvo</i>		<i>Peradarstvo</i>
		Muzare	Ostalo	
		9 843	15 287	
<b>Ukupan broj</b>	257 421	25 130		1 001 047
<b>Ukupna energija (MWh/dnevno)</b>	172,5	80,22	74,3	60
<b>Neto energija (MWh/dnevno)</b>	108,2	51,9	48	32

Kao što smo već ranije rekli, proizvodnja na gospodarstvima koja ne mogu osigurati ni neku minimalnu količinu sirovine nije isplativa. Zbog malih gospodarstava, količina energije koju je u idealnom slučaju moguće proizvesti, nije dobar pokazatelj realnih mogućnosti. Za dobivanje realnije slike o potencijalnim mogućnostima proizvodnje bioplina prepostavili smo da su sustavi za anaerobnu razgradnju isplativi samo za uzgajališta koja su veća od 10 ha. U Osječko-baranjskoj županiji uzgajališta veća od 10 ha iz sektora svinjogojstva broje 22,57 %, iz sektora govedarstva 54,9 % i iz sektora peradarstva 9,4% ukupnog fonda županije. U sljedećoj tablici prikazana je potencijalna energija uz ove prepostavke, te ona pokazuje realne potencijale koje je moguće iskoristiti na isplativ način [4].

Tablica 4. Potencijalna energija Osječko-baranjske županije na uzgajalištima većim od 10 ha

	<i>Svinjogojstvo</i>	<i>Govedarstvo</i>		<i>Peradarstvo</i>
		Muzare	Ostalo	
<b>Broj</b>	58 093	4 715	9081	94 572
<b>Ukupna energija (MWh/dnevno)</b>	38,9	38,43	44,1	5,7
<b>Neto energija (MWh/dnevno)</b>	25,5	24,9	28,5	2,8

Iako nema konkretnih podataka, u posljednje vrijeme, grade se postrojenja na biopljin u Dvoru na Uni, Farmi Vrana, Perutnini Ptuj – PIPO Čakovec, Jakuševcu, Plivi (Savski Marof) koja su u različitim fazama realizacije.

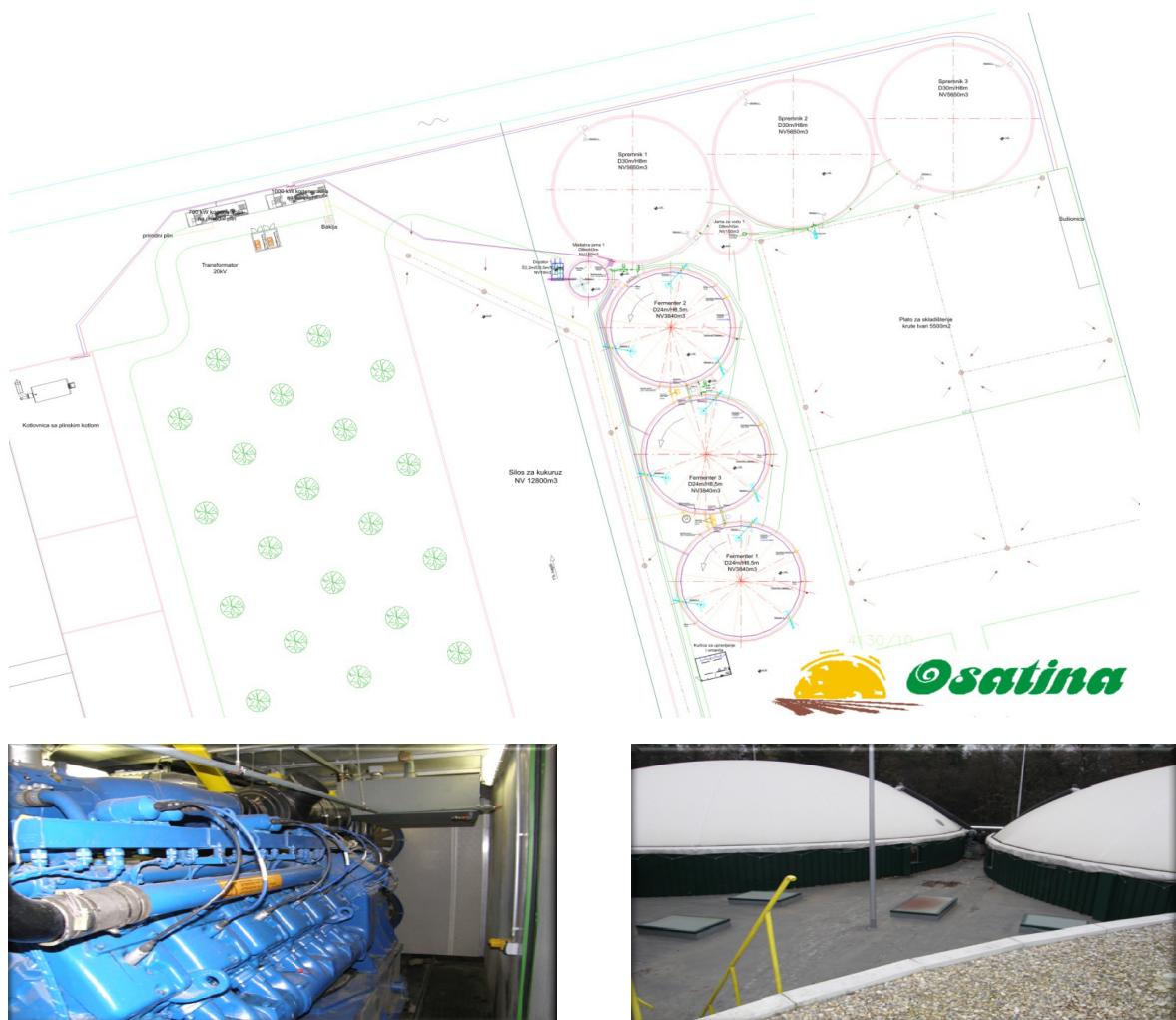
### **Bioplín u RH – neka planirana postrojenja:**

Ivankovo (VK) – 1000 kWe, 1200 muznih krava trenutno + dodatnih 1000 po izgradnji postrojenja, rok: 05.2008. Investitor: P.Z. Osatina, Izvođač E3 (slika B.22.)

Tomašanci (DJ) - 1000 kWe, 1000 muznih krava trenutno + 800 po izgradnji postrojenja, rok: jesen 2008. Investitor: P.Z. Osatina

Varaždin – 2x1000 kWe, oko 1000 muznih krava trenutno, rok: 2009. Investitor: Vindija, d.d.

Čakovec – 1000kWe, oko 1000 muznih krava, rok: 2009. Investitor: Vindija, d.d.



Slika B.22. Postrojenje na bioplín, farma Ivankovo, investitor P.Z. Osatina

### **Deponijski plin**

Osim navedenog načina dobivanja bioplina iz biomase, bioplín je također moguće dobiti i iz deponijskog otpada na suvremenim uređenim deponijama procesom takozvane anaerobne hladne obrade otpada. U industrijskim zemljama nastaje 300-400 kg smeća godišnje po osobi. Deponijski plin nastaje razgradnjom organskih supstanci pod utjecajem mikroorganizama u anaerobnim uvjetima. U središtu deponije nastaje nadpritisak, pa deponijski plin prelazi u plinske sonde sabirnog sustava. Prosječan sastav deponijskog plina je 35-60 % metana, 37-50

% ugljen-dioksida i u manjim količinama se mogu naći ugljen-monoksid, dušik, vodik-sulfid, fluor, klor, aromatični ugljikovodici i drugi plinovi u tragovima. Ovaj koncept podrazumijeva postavljanje vertikalnih perforiranih cijevi u tijelo deponije (bunari, trnovi, sonde) i njihovo horizontalno povezivanje. U kompresoru deponijski plin se isisava, suši i usmjerava ka plinskom motoru. Iz sigurnosnih razloga preporučuje se ugradnja visokotemperaturne baklje koja preuzima viškove plina.

Deponijski plin sa prosječnim sadržajem metana od 50 % ima donju toplinsku vrijednost  $H_u = 5 \text{ kWh/Nm}^3$ , što ga čini dobrom gorivom za pogon plinskih motora specijalno razvijenih za ovu namjenu. Plinski motor pokreće generator za proizvodnju električne energije. Putem izmjenjivača topline, dobije se toplinska energija iz vode koja hlađi motor i ulje za podmazivanje, kao i iz ispušnih plinova. Kod kombinirane upotrebe električne i toplinske energije postiže se visok stupanj korisnosti ovih uređaja ( $\eta_{el} = 40\%$ ,  $\eta_{term} = 43\%$ ). Ovo znači da se iz 1  $\text{Nm}^3$  deponijskog plina ( $H_u = 5 \text{ kWh/Nm}^3$ ) dobije 2 Kwh električne energije i 2,15 Kwh toplinske energije. Dobivena električna energija koristi se za vlastite potrebe ili se predaje u električnu mrežu. Proizvedena toplina koristi se na deponiji za proizvodnju tople vode, u staklenicima i plastenicima za proizvodnju ranog povrća i cvijeća, u industrijskim pogonima u blizini deponije, ili za grijanje stambenih zgrada kao i kod drugih potrošača toplinske energije.

Iskorištavanje deponijskog plina ima potencijala na velikim deponijama poput regionalne deponije koja se planira graditi kod mjesta Antunovac pored Osijeka. Iako je plan izgradnje tek u predprojektnoj fazi moguće je izračunati potencijal takvog odlagališta. Kao polazna vrijednost za proračun služi podatak da po toni komunalnog smeća nastaje u vremenu od 20 godina prosječno  $200 \text{ Nm}^3$  deponijskog plina. Za godišnju količinu od 50.000 tona (pretpostavljena količina na Regionalnoj deponiji Antunovac) i vrijeme punjenja deponije od 20 godina na deponiji bi nastalo 200 miliona kubnih metara deponijskog plina. Ako bi se sistemom sakupljanja plina i kontrolom kvaliteta na raspolažanje plinskim motorima stavilo oko 50% te količine, to bi značilo da se za proračun energetske bilance može računati sa oko 100 miliona  $\text{Nm}^3$  deponijskog plina ili prosječno godišnje 5 miliona  $\text{Nm}^3$  tj.  $625 \text{ Nm}^3/\text{h}$ . Ova količina plina sa  $H_u = 5 \text{ kWh/Nm}^3$  preko plinskih motora omogućava godišnju proizvodnju od 9 milijuna Kwh struje i 12 milijuna Kwh toplinske energije.

Proizvedena količina struje pokriva potrebe 2.500 obiteljskih kuća. Sa ovom proizvodnjom električne energije, štedi se primjerice, u osječkoj TE-TO elektrani na zemni plin oko 2,5 miliona  $\text{Nm}^3$  zemnog plina. Na ovaj način se  $300 \text{ Nm}^3/\text{h}$  metana manje predaje u atmosferu, što je važan ekološki aspekt primjene plinskih motora u očuvanju ozonskog omotača. Na osnovi električne i toplinske bilance i potrebnih ulaganja, ekonomski računica pokazuje da se ulaganja brzo isplate, pa daljnji rad postrojenja ostvaruje dobit. Dakle, dolazimo do pravog cilja svakog ekološkog uređaja, a to je da sam sebe izdržava, tj. sa boljim i kvalitetnijim vođenjem tehnološkog procesa dobijemo više energije kojom pokrivamo investiciju i potrebe održavanja.

## Literatura:

- [1] Damir Šljivac, Zdenko Šimić: „Osnove energetike i ekologije“, „Dopunski izvori energije“, predavanja, ETF Osijek, 2004. – 2007. godine
- [2] Lajos Jozsa: Energetski procesi i elektrane, udžbenik ETF Osijek, 2006. godine
- [3] Božidar Udovičić: Energetika, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [4] Marijan Kalea: Nekonvencionalni izvori energije, predavanje, ETF Osijek, 2006. godine
- [5] Ranko Goić: «Opća energetika», predavanja, FESB Split, 2006.
- [6] European Commission, Directorate-General for Energy and Transport: „COM 2001/77/EC: Directive on Electricity Production from Renewable Energy Sources“
- [7] EURObserver ER 2006, EURObserver ER 2007
- [8] EU RES Export Masterplan 2002
- [9] Jenkins, N., Allan, R., Crossley, P., Kirschen, D., Strbac, G., *"Embedded generation"*, The Institution of Electrical Engineers, London, 2000.
- [10] Udovičić, B., *"Energija i izvori energije"*, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.
- [11] Energija i tehnologija d.o.o.- kogeneracijsko postrojenje na biomasu – sustav Eniteh, [www.eniteh.hr](http://www.eniteh.hr)
- [12] Svjetska organizacija biodizela, <http://www.nationalbiodieselboard.org/resources/> ili <http://www.biodiesel.org>
- [13] [www.greenenergy.hu/ime/publikacio/phare/Pichler.htm](http://www.greenenergy.hu/ime/publikacio/phare/Pichler.htm)
- [14] M., Kaltschmitt, Evaluierung der Möglichkeit zur Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz, Institut für Energetik und Umwelt, Projektnummer 323 20002, 2005.
- [15] Igor Raguzin, Domagoj Validžić, Ivan Kezele: „Novi propisi za obnovljive izvore energije“, časopis EGE, 2/2007.
- [16] Zakon o energiji, Narodne novine 68/01, Zagreb, 2001.
- [17] Zakon o tržištu električne energije, Narodne novine 68/01, Zagreb, 2001.
- [18] Strategija energetskog razvitka Republike Hrvatske (NN 38/2002)
- [19] Nacionalna strategija zaštite okoliša (NN 46/2002),
- [20] Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče (NN 33/2007)
- [21] Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/2007)
- [22] Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/2007)
- [23] Uredba o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije (NN 33/2007)
- [24] Nacionalni energetski programi, Uvodna knjiga, Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 1998.
- [25] Zakon o Fondu za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost, Narodne novine 107/03, Zagreb, 2003.
- [26] M. Kaltschmitt, W. Streicher, A. Wiese, Renewable Energi – Technology, Economics and Environment, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
- [27] EIHP, Energija u Hrvatskoj 2006, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva 2007.
- [28] Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases, Natural Resources Canada, 2005
- [29] N. Dizdarević, M. Majstorović, S. Žutobradić, *Distribuirana proizvodnja električne energije*, Energija br. 5, str. 321-339, 2003.
- [30] V. Potočnik, Z. Komerički, M. Magdić, *Mali termoenergetski objekti*, II savjetovanje hrvatskog komiteta CIGRE, Šibenik – Primošten, 1995.
- [31] "Planning and installing bioenergy systems : a guide for installers, architects and engineers", German Solar Energy Society (DGS) and Ecofys, 2005
- [32] "The Biomass Assessment Handbook", Bioenergy for a sustainable environment, Ed. F. R. Calle, P. de Groot, S. L. Hemstock, J. Woods, EARTHSCAN, UK, 2007
- [33] "Bioenergy Options for a Cleaner Environment", R. Sims, A. Sayigh, Elsevier, 2004