

# Proizvodnja električne energije iz biomase. Modeliranje korištenja energije biomase za proizvodnju električne energije primjenom računalnog optimizacijskog programa Homer

---

**Petrović, Danijel**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

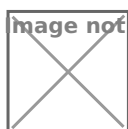
**2014**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:653970>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)





**POLITEHNIKA PULA**  
VISOKA TEHNIČKO-POSLOVNA ŠKOLA s.p.j.

ZAVRŠNI RAD

**PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE.  
MODELIRANJE KORIŠTENJA ENERGIJE BIOMASE ZA  
PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE PRIMJENOM  
RAČUNALNOG OPTIMIZACIJSKOG PROGRAMA  
HOMER**

Danijel Petrović

PULA, 28.02. 2014.

DODIPLOMSKI STUDIJ

DIPLOMSKI ZADATAK

**NASLOV:                    Proizvodnja električne energije iz biomase. Modeliranje korištenja energije biomase za proizvodnju električne energije primjenom računalnog optimizacijskog programa HOMER**

**STUDENT:                 Danijel Petrović**

**MENTOR:                 prof. dr. sc. Luciano Delbianco**

TEMA:

HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) je računalni (kompjuterski) optimizacijski program, koji pojednostavljuje zadatak procijene dizajna (isplativosti) samostalnih sustava i sustava povezanih s elektroenergetskom mrežom (sastavljena od obnovljivih i neobnovljivih izvora) u raznolikim primjenama. Razvijen je od strane NREL-a (National Renewable Energy Laboratory) 1993.godine. Većina ga koristi u svrhu istraživanja. U diplomskom radu potrebno je opisati način rada programa HOMER i na jednostavnom primjeru energije biomase pokazati mogućnosti primjene.

PULA, 30.01.2014.





**POLITEHNIKA PULA**  
VISOKA TEHNIČKO-POSLOVNA ŠKOLA s.p.j.

**DANIJEL PETROVIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE.  
MODELIRANJE KORIŠTENJA ENERGIJE BIOMASE ZA  
PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE PRIMJENOM  
RAČUNALNOG OPTIMIZACIJSKOG PROGRAMA  
HOMER**

**Student:** Danijel Petrović

**MB:**

**Kolegij:** Elektrotehnika

**Mentor:** prof. dr. sc. Luciano Delbianco

PULA, 28.02. 2014.

## **SAŽETAK:**

Zbog ekoloških problema u svijetu sve se više pojavljuje potrebe korištenja obnovljivih izvora energija koju su manje štetni od konvencionalnih. Jedan od obnovljivih izvora energije je biomasa. Završni rad se bavi tehnologijama dobivanja električne energije iz biomase, a isto tako daje pregled zakonodavnog okvira Republike Hrvatske u području obnovljivih izvora energije. Posebno se proučava Istarska županija i njezini potencijali u području iskorištavanja biomase. U radu se proučava podrška računalnog optimizacijskog programa HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) koji pojednostavljuje zadatak procjene dizajna i isplativosti samostalnih sustava i sustava povezanih s elektroenergetskom mrežom koja je sastavljena od obnovljivih i neobnovljivih izvora u raznolikim primjenama.

**Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, biomasa, Istarska županija, računalni optimizacijski program HOMER, isplativost.**

## **SUMMARY:**

Due to the environmental problems of the world we are increasingly experiencing the need of renewable energy that is less harmful than conventional. One of renewable energy sources is biomass. The final paper is concerned with the technologies of generating electricity from biomass, and also provides an overview of the legislative framework of Croatian in the field of renewable energy. In particular, the study of Istria and its potentials in the field of biomass utilization. This study examines the support of computer optimization program HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*), which simplifies the task of design and feasibility assessment of independent systems and related power grid which consists of renewable and non-renewable resources in a variety of applications.

**Keywords: renewable energy, biomass, Istria, computer optimization program HOMER, profitability.**

## SADRŽAJ:

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD .....   | 1  |
| 1.1. Problem i predmet istraživanja.....                              | 1  |
| 1.2. Cilj i svrha rada .....  | 2  |
| 1.3. Hipoteza rada.....   | 2  |
| 1.4. Struktura rada .....   | 2  |
| 1.5. Metode istraživanja .....  | 3  |
| 2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE .....                                   | 4  |
| 2.1. Podjela obnovljivih izvora energije.....                         | 5  |
| 3. ENERGIJA BIOMASE.....  | 7  |
| 3.1. Vrste i svojstva biomase.....                                    | 8  |
| 3.2. Tehnologije proizvodnje energije iz biomase .....                | 10 |
| 3.2.1. Drvna biomasa.....   | 11 |
| 3.2.2. Nedrvna biomasa.....   | 12 |
| 3.2.3. Bioplin.....   | 13 |
| 3.2.4. Alkoholna goriva (etanol) .....                                | 16 |
| 3.2.5. Biodizel .....   | 18 |
| 3.2.6. Energija otpada.....   | 19 |
| 4. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE .....                   | 20 |
| 4.1. Kogeneracijska postrojenja .....                                 | 20 |
| 5. RAČUNALNI OPTIMIZIRAJUĆI PROGRAM HOMER.....                        | 27 |
| 5.1. Opterećenje.....   | 29 |
| 5.1.1. Osnovni teret .....  | 29 |
| 5.1.2. Odgodivi teret.....  | 31 |
| 5.1.3. Toplinski teret.....   | 32 |
| 5.2. Generator .....  | 33 |
| 5.2.1. Gorivo za generator .....                                      | 34 |
| 5.2.2. Minimalni stupanj opterećenja i raspored rada generatora ..... | 34 |
| 5.3. Parni kotao.....   | 35 |
| 5.4. Pretvarač.....   | 35 |
| 5.5. Baterija .....   | 36 |
| 5.6. Mreža.....   | 38 |
| 5.7. Troškovi .....   | 39 |

|   |    |
|---|----|
| 5.8. Emisija štetnih plinova .....  | 42 |
| 5.9. Ograničenja sustava .....  | 43 |
| 6. MOGUĆNOST PRIMJENE PROGRAMA HOMER<br>U PODRUČJU ENERGIJE BIOMASE.....    | 45 |
| 7. POTENCIJALI PROIZVODNJE ENERGIJE IZ BIOMASE<br>U ISTARSKOJ ŽUPANJI ..... | 51 |
| 8. ZAKONSKA REGULATIVA .....  | 59 |
| ZAKLJUČAK .....   | 62 |
| POPIS LITERATURE .....  | 63 |



## POPIS TABLICA:

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Prinos goriva iz različitih sirovina .....   | 16 |
| Tablica 2. Usporedba alkoholnih goriva i benzina.....   | 17 |
| Tablica 3. Značajke parnoturbinskih agregata za kogeneraciju .....  | 23 |
| Tablica 4. Značajke plinskoturbinskih kogeneracijskih postrojenja .....   | 24 |
| Tablica 5. Značajke kogeneracijskih agregata na bazi plinskih motora (1.modificirani automotori i 2.industrijski).....  | 26 |
| Tablica 6. Značajke kogeneracijskih agregata na bazi dizel motora.....  | 26 |
| Tablica 7. Teoretski potencijal proizvodnje energije iz drvne biomase u Istarskoj županiji  | 52 |
| Tablica 8. Potencijali proizvodnje biogoriva na području Istarske županije na godišnjoj razini .....  | 55 |
| Tablica 9. Energetski potencijal proizvodnje bioplina u Istarskoj županiji na godišnjoj razini .....  | 56 |
| Tablica 10. Teoretski energetski potencijali dobiveni iz biorazgradive komponente komunalnog otpada na području Istarske županije .....                               | 58 |
| Tablica 11. Visina poticajne cijene (C) izraženu u kn/kWh za električnu energiju proizvedenu iz proizvodnih postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije ..... | 61 |

## POPIS SLIKA:

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Prikaz obnovljivih izvora energije .....   | 6  |
| Slika 2. Prikaz podjele biomase .....   | 7  |
| Slika 3. Kumulativna CO <sub>2</sub> neutralnost (ukoliko je sječa ekološki prihvatljiva) ..... | 9  |
| Slika 4. Prikaz tehnologije proizvodnje energije iz biomase .....                               | 10 |
| Slika 5. Peleti.....  | 12 |
| Slika 6. Briketi.....   | 12 |
| Slika 7. Enegetski nasadi.....  | 13 |
| Slika 8. Energetski nasadi .....  | 13 |
| Slika 9. Proces dobivanja bioplina .....  | 15 |
| Slika 10. Prikaz rasplinjavanja i piroza .....  | 15 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 11. Ukupni stupanj djelovanja u proizvodnji električne energije i topline u kogeneracijskim postrojenjima ..... | 21 |
| Slika 12. Usporedbe energetske učinkovitosti .....  | 22 |
| Slika 13. Prikaz parnoturbinske kogeneracije .....  | 23 |
| Slika 14. Prikaz plinskoturbinske kogeneracije .....  | 24 |
| Slika 15. Prikaz termomotorne kogeneracije .....  | 25 |
| Slika 16. Podatci o programu HOMER.....   | 28 |
| Slika 17. Prikaz dnevnog profilnog opterećenja .....  | 30 |
| Slika 18. Prikaz dnevnih profila bez unosa dodavanja šuma .....   | 30 |
| Slika 19. Prikaz dnevnih profila opterećenja uz dodani satni šum od 15 % i dnevnog šuma od 20% .....                  | 31 |
| Slika 20. Prikaz troškova generatora i krivulja troškova.....   | 33 |
| Slika 21. Krivulja efikasnosti goriva.....  | 34 |
| Slika 22. Raspored rada genetora .....  | 35 |
| Slika 23. Krivulja troškova baterije.....   | 36 |
| Slika 24. Krivulja kapaciteta baterije .....  | 37 |
| Slika 25. Prikaz tarifa i njihov raspored .....   | 38 |
| Slika 26. Ekonomski podaci.....   | 40 |
| Slika 27. Emisija štetnih plinova.....  | 42 |
| Slika 28. Ograničenja sustava .....   | 43 |
| Slika 29. Odabir elemenata u shematiku .....  | 46 |
| Slika 30. Shematika procesnog sustava.....  | 46 |
| Slika 31. Parametri generatora .....  | 47 |
| Slika 32. Odabrani resursi .....  | 47 |
| Slika 33. Prikaz mjesečnih prosjeka raspoloživosti biomase .....  | 48 |
| Slika 34. Konačan optimizacijski rezultat.....  | 49 |
| Slika 35. Detaljnji prikaz optimizacijskih rezultata .....  | 50 |
| Slika 36. Prikaz raspodjele ukupnih drvnih zaliha na području Istarske županije .....                                 | 51 |
| Slika 37. Karta zemljišnog pokrova i namjene korištenja zemljišta Istarske županije .....                             | 54 |

# 1. UVOD

Ekološki problem u svijetu, pa i u nas, sve više ukazuje na potrebu korištenja obnovljivih izvora energije. Obnovljivi izvori energije su manje štetni za okoliš od konvencionalnih, a da ne govorimo o njihovom pozitivnom utjecaju i na gospodarstvo. Njihovim korištenjem smanjuje se uvoz energije iz drugih zemalja ali se smanjuje i cijena energije na domaćem tržištu.

Jedan od obnovljivih izvora energije kojim se bavi ovaj završni rad je biomasa. Biomasa kao obnovljiv izvor energije se definira kao biološko razgradiv dio proizvoda, otpad ostatka biološkog podrijetla iz poljoprivrede, šumarstva i s njima povezanih proizvodnih djelatnosti, uključujući ribarstvo i akvakulturu te biološko razgradiv dio industrijskog i komunalnog otpada. Zbog različitih karakteristika i izvora sirovine, biomasa predstavlja najstroženiji oblik obnovljivih izvora energije. Sa stajališta konačnog proizvoda - energije, iz biomase je moguće proizvesti toplinsku i električnu energiju te goriva za prijevoz.

Završni rad se bavi tehnologijama dobivanja električne energije iz biomase, a isto tako daje pregled zakonodavnog okvira Republike Hrvatske u području obnovljivih izvora energije. Posebno se proučava Istarska županija i njezini potencijali u području iskorištavanja biomase. Da bi se proučila isplativost potrebnih investicija koristi se podrška računalnog optimizacijskog programa HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) koji pojednostavljuje zadatak procjene dizajna i isplativosti samostalnih sustava i sustava povezanih s elektroenergetskom mrežom koja je sastavljena od obnovljivih i neobnovljivih izvora u raznolikim primjenama.

## 1.1. Problem i predmet istraživanja

Temeljni problem u ovom radu jest istražiti mogućnosti proizvodnje električne energije iz biomase, jednog od obnovljivih izvora energije, prikazati način rada računalnog programa HOMER te njegovu primjenu u pokazivanju isplativosti dobivanja energije iz biomase.

## 1.2. Cilj i svrha rada

Cilj rada je prikaz mogućnosti iskorištavanja energije biomase za proizvodnju električne energije primjenom računalnog programa HOMER.

Svrha rada je pomoću programa HOMER procijeniti isplativost i primjenu sustava dobivanja električne energije od obnovljivih izvora energije, tj. biomase.

### **1.3. Hipoteza rada**

Potencijali dobivanja energije iz biomase veći su i ekološki isplativiji od klasične proizvodnje energija iz obnovljivih izvora te predstavljaju temelj i budućnost ekološkog održivoga energetskeg razvoja Istarske županije

### **1.4. Struktura ili kompozicija rada**

Seminarski rad strukturiran je kroz osam poglavlja. U uvodnom dijelu razrađeni su predmet istraživanja s hipotezom, svrha i cilj istraživanja, struktura rada te znanstvene metode koje su korištene prilikom izrade rada. Drugo poglavlje opisuje obnovljive izvore energije. U trećem poglavlju opisuje se energija biomase, odnosno vrste i svojstva energije iz biomase te tehnologije proizvodnje električne energije iz biomase. Četvrto poglavlje detaljnije opisuje proizvodnju električne energije iz biomase. U petom poglavlju prikazan je računalni optimizirajući program HOMER. Šesto poglavlje posvećeno je načinima primjene programa HOMER u području dobivanja električne energije iz biomase, dok sedmo poglavlje opisuje potencijale proizvodnje električne energije iz biomase u Istarskoj županiji. Osmo poglavlje donosi pregled zakonske regulative u Republici Hrvatskoj. Zaključak se temelji na spoznajama do kojih se došlo tijekom završnog rada. Na kraju rada slijedi popis literature te popis slika i tablica.

### **1.5. Metode istraživanja**

Pri izradi završnog rada korištene su sljedeće znanstvene metode: metoda analize i sinteze, metoda deskripcije, matematička metoda, metoda kompilacije, te statistička metoda.

Korišteni su sekundarni izvori podataka: službene Internetske stranice, knjige, članci i znanstvene publikacije, navedene u popisu korištene literature.

## 2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivi ili neiscrpivi izvori energije su oni koji su na Zemlji na raspolaganju u neograničenim količinama. Iako se procesima pretvorbe troše, njihove se količine samo privremeno iscrpljuju, odnosno uvijek se mogu nadoknaditi ili obnoviti. Nazivaju se i alternativnim izvorima energije.

Obnovljive izvore energije možemo podijeliti u dvije glavne kategorije:

- tradicionalne obnovljive izvore energije poput biomase i velikih hidroelektrana,
- takozvane "nove obnovljive izvore energije" poput energije Sunca, energije vjetra, geotermalne energije itd.

Tijekom devedesetih godina dvadesetog stoljeća obnovljivi izvori energije najbrže su rastući izvor električne energije u svjetskim razmjerima. Najbrži rast kapaciteta elektrana u devedesetim godinama prošlog stoljeća bilježe vjetroelektrane (VE), slijede fotonaponske (FN) solarne elektrane, zatim geotermalne termoelektrane (GTE), pa tek onda najbrže rastuće termoelektrane na prirodni plin.

Iz obnovljivih izvora energije dobiva se 18% ukupne svjetske energije (2006.), ali je većina od toga energija dobivena tradicionalnim iskorištavanjem biomase za kuhanje i grijanje - 13 od 18%. Od velikih hidroelektrana dobiva se dodatnih tri posto energije. Prema tome, kad izuzmemo tradicionalne obnovljive izvore energije jednostavno je uračunati da takozvani "novi izvori energije" proizvode samo 2,4% ukupne svjetske energije. 1,3% otpada na instalacije za grijanje vode, 0,8% na proizvodnju električne energije i 0,3% na biogoriva.

Taj udio u budućnosti treba znatno povećati jer neobnovljivih izvora energije ima sve manje, a i njihov štetni utjecaj sve je izraženiji u zadnjih nekoliko desetljeća.

Sunce isporučuje Zemlji 15 tisuća puta više energije nego što čovječanstvo u sadašnjoj fazi uspijeva potrošiti, ali usprkos tome neki ljudi na Zemlji se smrzavaju. Iz toga se vidi da se obnovljivi izvori mogu i moraju početi bolje iskorištavati.

Razvoj obnovljivih izvora energije (osobito od vjetra, vode, sunca i biomase) važan je zbog nekoliko razloga:

- Obnovljivi izvori energije imaju vrlo važnu ulogu u smanjenju emisije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) u atmosferu. Smanjenje emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu je politika Europske unije, pa se može očekivati da će i Hrvatska morati prihvatiti tu politiku.
- Povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetske održivosti sustava. Također pomaže u poboljšavanju sigurnosti dostave energije na način da smanjuje ovisnost o uvozu energetskih sirovina i električne energije.
- Očekuje se da će obnovljivi izvori energije postati ekonomski konkurentni konvencionalnim izvorima energije u srednjem do dugom razdoblju.

## **2.1. Podjela obnovljivih izvora energije**

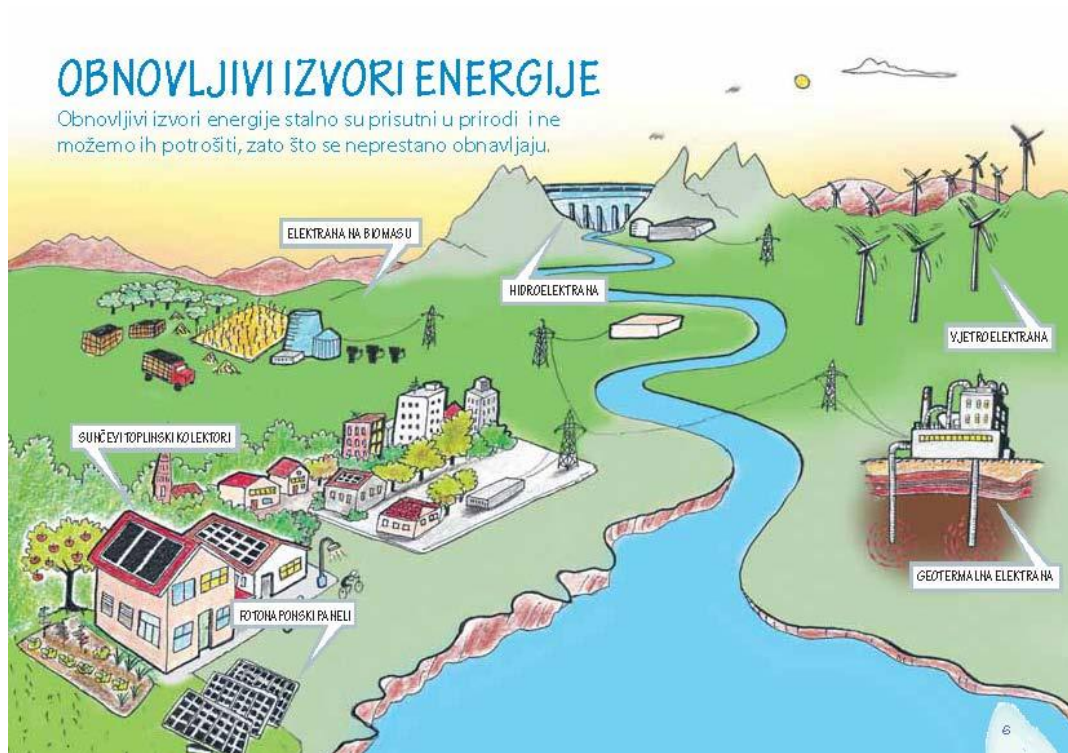
Obnovljivi izvori energije na Zemlji potječu iz tri primarna izvora:

- od raspadanja izotopa iz Zemlje (npr. geotermalne energije),
- od gravitacijskog djelovanja planete (npr. energija morskih mijenja),
- od termonuklearnih pretvorba na Suncu (npr. Sunčeva energija, energije biološkog porijekla, energija vjetra).

Obnovljivi izvori energije su oni izvori energije koji se dobivaju iz prirode te se stalno obnavljaju. Za razliku od fosilnih goriva, korištenjem obnovljivih izvora energije ne stvaraju se staklenički plinovi te ne zagađuju okoliš. Jedini problem predstavlja mala efikasnost, kao kod solarnih panela, te cijena njihove izrade.

Obnovljive izvore energije možemo podijeliti na:

- 1) energiju Sunca,
- 2) energiju vjetra,
- 3) energiju vode,
- 4) energiju biomase,
- 5) energiju mora i
- 6) energiju geotermalnih izvora.



Slika 1. Prikaz obnovljivih izvora energije

Izvor: <http://www.door.hr/wordpress/?p=1094>, 15.01.2014.

### 3. ENERGIJA 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. bioplin, plin iz rasplinjavanja biomase i deponijski plin). Danas se primjena biomase za proizvodnju energije potiče uvažavajući načelo održivog razvoja. Najčešće se koristi drvena biomasa koja je nastala kao sporedni proizvod ili otpad, te ostaci koji se ne mogu više iskoristiti. Takva se biomasa koristi kao gorivo u postrojenjima za proizvodnju električne i toplinske energije ili se prerađuju u plinovita i tekuća goriva za primjenu u vozilima i kućanstvima. Postoje razne procjene potencijala i uloge biomase u globalnoj energetskej politici u budućnosti, no njezin značaj predviđa porast i bitno važniju ulogu. Za usporedbu može poslužiti podatak da je 1990. god. potrošnja energije u svijetu iznosila 376,8 EJ, dok se 2050. god. prema raznim istraživanjima očekuje potrošnja od 586 do 837 EJ. Brojne su mogućnosti za primjenu biomase. Osim velikih količina koje nastaju kao sporedni proizvod i otpad iz šumarstvu, poljoprivredi te drugim djelatnostima, postoji i velik broj biljnih vrsta koje se mogu uzgajati: od brzorastućeg drveća s godišnjim prinosom 17 t/ha do zelenih algi s prinosom 50 t/ha. Korištenje biomase omogućava zapošljavanje, povećanje lokalne i regionalne gospodarske aktivnosti, ostvarivanje dodatnog prihoda u poljoprivredi, šumarstvu i drvenoj industriji kroz prodaju goriva iz biomase (prema procjenama u 2005. na području Europske unije bilo je zaposleno preko pola milijuna ljudi na poslovima proizvodnje biomase i njenog korištenja za energiju).



Slika 2. Prikaz podjele biomase

Izvor: [http://www.etwoenergy.com/stranice/obnovljiva\\_energija/biomasa/](http://www.etwoenergy.com/stranice/obnovljiva_energija/biomasa/), 20.01.2014.



### 3.1. Vrste i svojstva biomase

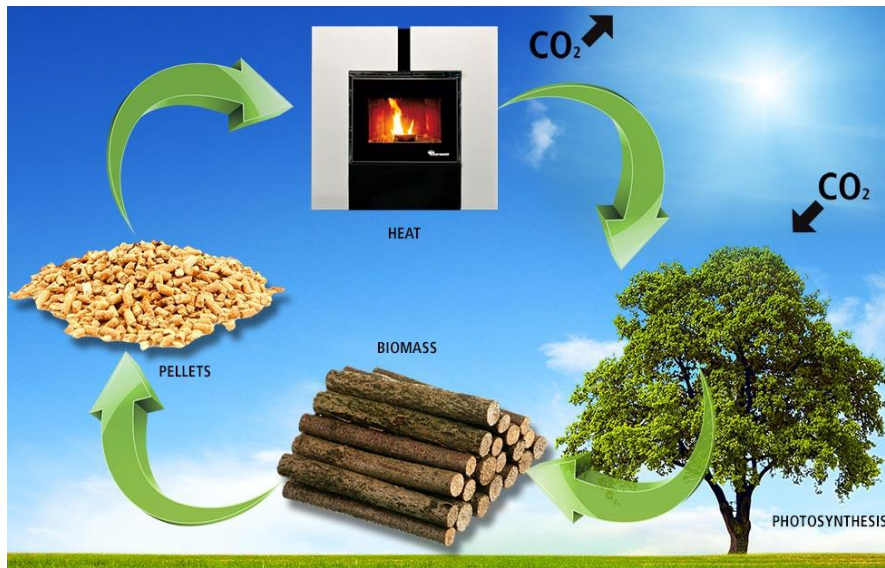
Ljudi su se oduvijek služili energetske izvorima bioloških porijekla, koristeći proizvode fotosinteze biljaka kao prehranu, ali kao i gorivo. Do početnih intenzivnih upotreba fosilnih goriva, drvo je bilo primaran i gotovo jedini izvor energije. Potrošnja drveta bila je vrlo velika, pa su ponegdje potpuno uništene šume što je krajolike na nekim mjestima pretvorilo u pustinje. Korišteni su često i drugi oblici biomase, npr. sijeno, oklasci kukuruza ili životinjski izmet.

Postoje mnogi načini za dobivanje energije iz biomase. Biomasa se može izravno pretvarati u energiju jednostavnim procesom izgaranja te tako proizvoditi toplu vodu ili pregrišanu vodenu paru za grijanje kućanstva, za industriju ili za dobivanje električne energije u malim termoelektranama. Osim izravne proizvodnje električne energije ili topline, biomasa se može pretvarati u velik broj krutih, tekućih ili plinovitih goriva ili produkata koji se mogu koristiti za daljnju proizvodnju energije.

U osnovi se energija iz biomase dobiva iz dvije skupine procesa:

- biokemijskim procesima, kao što su anaerobna i fermentacijska razgradnja, dobivaju se biogoriva: bioplina, biogoriva i alkohol,
- termokemijskim procesima, kao što je izgaranje, izravno se proizvodi energija.

Fermentacija biomase u alkohol je za sada najrazvijenija metoda kemijske konverzije biomase. Takav se postupak najviše koristi u Brazilu, gdje se proizvodi etanol za pogon vozila. Neke biljke daju ulja koje se mogu koristiti u dizelskim motorima, a metan iz biomase se dobiva anaerobnom fermentacijom. Bioplina koji je nastao bez prisutnosti kisika može se koristiti kao gorivo jer sadržava ugljični dioksid i metan u volumskom omjeru 2:1. Fermentacijom biomase dobiva se kvalitetno gnojivo, dok grijanjem bez prisutnosti zraka (suhom destilacijom) ili pirolizom može se dobiti aceton, metanol, drveni ugljen i drugi produkti. Rasplinjavanjem biomase dobiva se plin koji se može dalje energetske iskoristavati. Prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je i neusporedivo manja emisija štetnih plinova i otpadnih tvari. Međutim spaljivanjem 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.



Slika 3. Kumulativna CO<sub>2</sub> neutralnost (ukoliko je sječa ekološki prihvatljiva)

Izvor: <http://ecoforest.es/english/tecnologia/ecosostenibilidad.php?cur=44>, 20.01.2014.

Najvažnije svojstvo biomase koje se koristi kao izvor energije je količina energije koja se dobiva samom promjenom i transformacijom.

Energetski sadržaj biomase i ostalih goriva može se prikazati njihovom ogrjevnom vrijednošću (ogrjevnošću), pri čemu se razlikuje donja i gornja vrijednost (ogrjevnost).

Ogrjevna vrijednost se određuje mjerenjem u kalimetrima, pri čemu gorivo i zrak moraju doći s istom temperaturom u prostor za izgaranje, a nastali produkti izgaranja moraju biti ohlađeni na istoj temperaturi. Vlaga (H<sub>2</sub>O) u nastalim produktima izgaranja pojavljuje se u kapljevitom agregatnom stanju ili parovitom (vodena para). Kapljevite i parovite vlage se razlikuju za toplinu isparavanja, kao i što se razlikuju donja (H<sub>d</sub>) i gornja (H<sub>g</sub>) ogrjevna vrijednost.

Vlaga se u dimnim plinovima pri proračunu ložišta, gotovo u svim slučajevima javlja kao parovita jer se nakon oglađivanja ne postiže temperatura rošenja vodene pare, tj. para se ne kondenzira.

Donja ogrjevna vrijednost (H<sub>d</sub>) je količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine goriva pri čemu se dimni plinovi na temperaturi od 25 °C ohlade, dok vlaga ostaje u parovitom stanju pa kondezirana toplina ostaje neiskorištena.

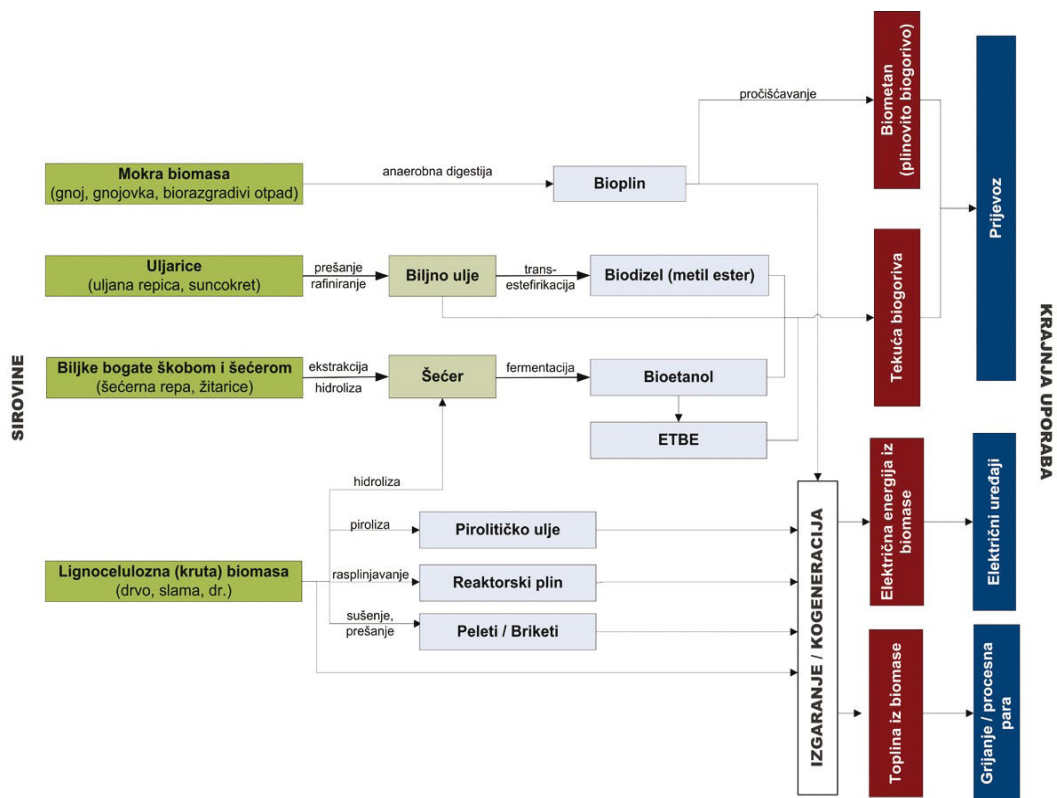
Gornja ogrjevna vrijednost (H<sub>d</sub>) (H<sub>g</sub>) je količina topline nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine goriva pri čemu se dimni plinovi na temperaturi od 25 °C ohlade, dok se vlaga izlučuje kao kondenzat.

### 3.2. Tehnologija proizvodnje energije iz biomase

Tematika ovog poglavlja je objašnjenje postupaka dobivanja energije iz pojedinih vrsta biomase, tj. načini njihovog iskorištavanja, proizvodnja i primjena toplinske energije, električne energije, te goriva za pokretanje vozila na motorni pogon.

Biomasa kao obnovljiv izvor energije može se podijeliti na:

- drvenu biomasu (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo),
- drvenu uzgojenu biomasu (brzorastuće drveće),
- nedrvnu uzgojenu biomasu (brzorastuće trave i alge),
- ostatke i otpatke iz poljoprivrede,
- životinjski otpad i ostatke,
- gradski i industrijski otpad.



Slika 4. Prikaz tehnologije proizvodnje energije iz biomase

Izvor: <http://www.aebiom.org/>, 21.01.2014.

### 3.2.1. Drvna biomasa

Upotrebljava se šumska biomasa (prostorno i ogrjevno drvo, te ostaci i otpad nastali redovitim gospodarenjem šumama), i biomasa iz drvne industrije (ostaci i otpad pri piljenju, brušenju, blanjanju).

Biomasa se može izravno pretvarati u energiju jednostavnim sagorijevanjem (izgaranjem), te tako proizvesti pregrijanu vodenu paru za grijanje u kućanstvima ili industriji, ili dobivanjem električne energije u malim termoelektranama. Takva postrojenja koriste drveni otpad iz šumarstva i drvne industrije, poljoprivredne ostatke, te industrijski i komunalni otpad kao gorivo.

Biomasu iz drvne industrije koristimo kao gorivo u kotlovnica i kao sirovinu za proizvodnju briketa, peleta. Briketi i peleti nastaju sabijanjem, odnosno prešanjem usitnjene drvne biomase u rasutom stanju radi transporta i automatizacije loženja. Često je otpad koji opterećuje poslovanje drvnim industrijama mnogo jeftiniji i kvalitetnije gorivo od šumske biomase.

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

- ogrjevna (energetska) vrijednost,
- temperatura samozapaljenja,
- temperatura izgaranja ,
- kemijski sastav,
- fizikalno svojstvo koje utječe na ogrjevnost (npr. gustoća, vlažnost i dr).

Temeljna veličina za proračun energije određenih količina drva jest njegova ogrjevnost (ogrjevna vrijednost). U našem podneblju su različite vrste drveta pa je tako i različita ogrjevnost, što ovisi o tome da li se drvo ubraja u listače ili četinjače, meko ili tvrdo drvo jer je time različit udio tvari pojedinih sastojaka koji se mogu koristiti kao gorivo.

Ogrjevnost ovisi o vlažnosti drveta, tj. mijenja se s njezinom promjenom. Što je veća vlažnost, manja je ogrjevnost, i time manja ostvariva iskoristivost. Smanjenjem vlažnosti biomase ogrjevna vrijednost se uvelike povećava. Iz tog je razloga, za što bolje iskorištenje energije, korisno sušiti biomasu.

Za primjenu ne mora biti odlučna samo ogrjevnost, već se traži veliki ili mali plamen, brzo ili polagano izgaranje. Kad je potreban plamen visoke temperature kratkog trajanja, koristi se

topola, joha ili breza. Za primjenu sustava grijanja u stambenim zgradama više odgovaraju drva čije izgaranje nije ni brzo ni polagano, ali je žar dužeg trajanja, npr. bukva ili grab. Izgaranje se danas najčešće provodi na rešetki koja omogućuje mješanje goriva i kontroliran dotok zraka. Danas se rešetke razvijaju tako tako da se biomasa ubacuje na jedan kraj i izgara u sloju koji se postepeno pomiče prema sustavu za izbacivanje pepela na drugom kraju.



Slika 5. i 6. Peleti i briketi

Izvor: [http://www.frigan.hr/frigan/cms\\_view.asp?articleID=70](http://www.frigan.hr/frigan/cms_view.asp?articleID=70), 25.01.2014.

### 3.2.2. Nedrvna biomasa

Kod nedrvne biomase osobitu važnost imaju ostaci iz poljoprivrede, tj. poljoprivredna biomasa (kukuruzovina, oklasak, stabljike suncokreta, slama, ljuske, koštice višanja, ostaci pri rezidbi vinove loze i maslina, kore od jabuka...).

Postoji veliki broj biljnih vrsta, gdje je osim ostataka i otpada moguće uzgajati tzv. energetske nasade sa velikim prinosima; kao što su kineske trske i brzorastuće drveće s godišnjim prinosom od 17 tona po hektaru, eukaliptus s 35 t suhe tvari, zelene alge s prinosom od 50 tona po hektaru, biljke bogate uljem ili šećerom. U Hrvatskoj se najveći prinosi postižu s topolama, vrbama i jablanima. Iskustva kod razvijenih zemalja (npr. u Danskoj), pokazuju kako se radi o vrijednom izvoru energije koji se ne bi trebao zanemariti. Nakon berbe kukuruza na obrađenom zemljištu ostaje kukuruzovina, stabljika s lišćem, oklasak i komušina. Prosječni je odnos zrna i mase (tzv. žetveni omjer) 53% : 47%, proizlazi kako biomase približno ima koliko i zrna. Kad bi se razlučili 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.

Kod nedrvne biomase, na ogrjevnu vrijednost podjednako utječe udio vlage i pepela. Udio pepela u nedrvenim biljnim ostacima može iznositi i do 20%, što značajno utječe na ogrjevnost. Općenito, supstance koje čine pepeo nemaju nikakvu energetska vrijednost (energetska vrijednost biljnih ostataka: 5,8 – 16,7 MJ/kg).



Slika 7. i 8. Enegetski nasadi

Izvor: <http://alternativa-za-vas.com/index.php/clanak/blog>, 25.01.2014.

### 3.2.3. Bioplin

Bioplin nastaje procesom anaerobnog truljenja biomase i najčešće se sastoji od oko 60 % metana, 35 % ugljičnog dioksida te 5% smjese dušika, vodika, ugljičnog monoksida, kisika i vodene pare. Dobiveni bioplin se najčešće koristi za dobivanje električne ili toplinske energije izgaranjem u plinskim motorima, kotlovima ili turbinama.

Bioplin je otprilike 20 % lakši od zraka i bez mirisa je i boje. Temperatura zapaljenja mu je između 650 i 750 °C. Njegova svojstva kao goriva su u uskoj vezi s udjelom metana.

Ogrijevna vrijednost je izravno proporcijalna količini metana, a zbog ugljičnog dioksida manja je količina zraka potrebnog za izgaranje. Ogrijevna vrijednost bioplina kreće se od 25 do 26 MJ/m<sup>3</sup> normom i gori sa oko 60 %-om učinkovitošću u konvencionalnoj bioplinskoj peći.

Bioplin se dobiva iz organskih materijala. Podrijetlo sirovina može varirati, od žetvenih ostataka, stočnih otpadaka, uljnih ostataka od povrtnih i voćnih ostataka pa sve do organskih otpadaka iz kućanstva.

Osim tih materijala, za proizvodnju bioplina može se koristiti i trava. Fermentacijska postrojenja za travu ipak 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 materijali organskog podrijetla, biljni i životinjski, mogu biti razgrađeni u ova dva procesa, ali produkti će biti vrlo različiti.

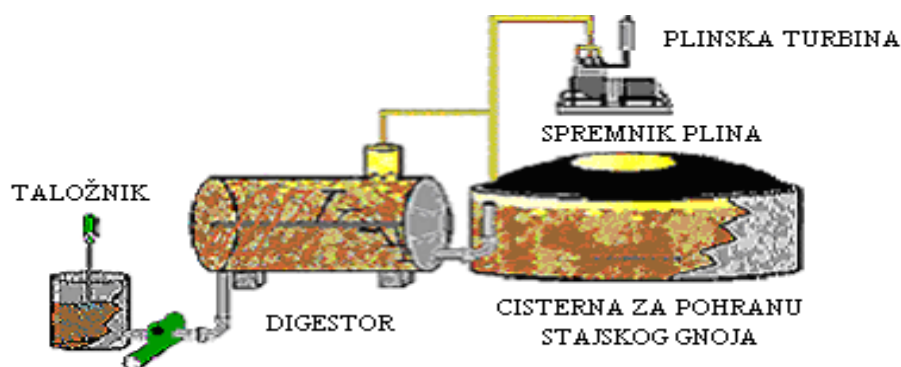
**Aerobna digestija (fermentacija)** proizvodi ugljični dioksid, amonijak i ostale plinove u malim količinama, veliku količinu topline i konačni proizvod koji se može upotrijebiti kao gnojivo.

**Anaerobna digestija** proizvodi ugljični dioksid, metan, nešto vodika i ostalih plinova u tragovima, vrlo malo topline i konačni proizvod sa većom količinom dušika nego što se proizvodi pri aerobnoj fermentaciji.

Anaerobno truljenje biomase uključuje bakterijsku razgradnju, a odvija se u tri osnovne faze:

- faza hidrolize
- kisela faza
- faza metana.

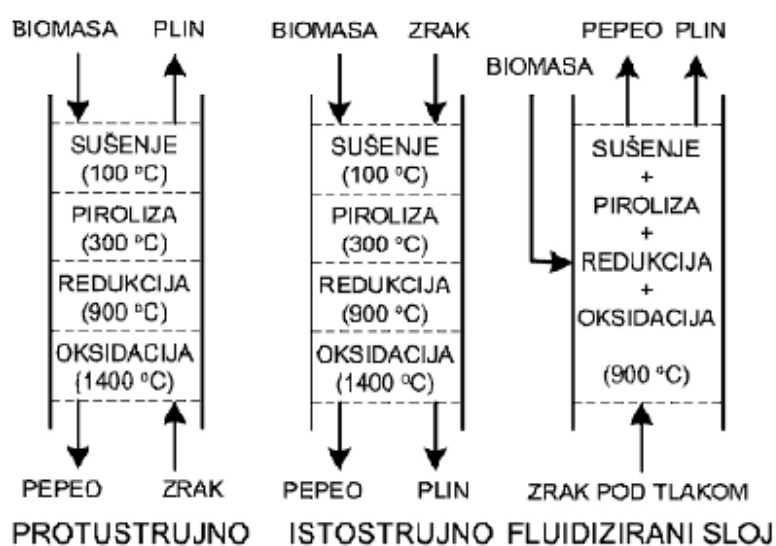
Za vrijeme trajanja anaerobnog truljenja, ovisno o tome koja se faza odvija, kiselost se mijenja u granicama od 5,5 do 8,3 Ph. Atmosfera bez kisika je osnovni uvjet za postizanje anaerobnog vrenja, jer se metanske bakterije mogu razviti i biti aktivne samo u anaerobnom okruženju digestora. U početku rada digestora, proces je aeroban (razmnožavaju se aerobne bakterije), a nakon potrošnje raspoloživog kisika započinje proces anaerobnog vrenja. Vrijeme zadržavanja materijala u digestoru ovisi o temperaturnom režimu i predviđenom stupnju razgradnje supstata u procesu anaerobnog vrenja. Vrijeme zadržavanja ovisi o izvedbi digestora razdvojenosti kiselinske i metanske faze, te ovisi o vrsti materijala koji se ulaže u njega.



Slika 9. Proces dobivanja bioplina

Izvor: <http://energy4farms.eu/biogas-on-your-farm/biogas-technology-in-a-nutshell/>,  
27.01.2014.

Digestor (bioreaktor) je postrojenje za proizvodnju bioplina, i u njemu se događaju različite kemijske i mikrobiološke reakcije. Digestorski sustav se sastoji od jame za sakupljanje gnojiva, spremnika za miješanje, cijevi za odvođenje, digestora, spremnika i sustava za iskorištavanje plina. Mora biti nepropustan na zrak i vodu. Osim procesa pretvorbe energije bioplina sagorijevanjem, postoji i termokemijska tehnologija rasplinjavanjem. Rasplinjavanje se provodi na visokoj temperaturi uz ograničen dotok kisika, čime se povećava efikasnost proizvodnje električne energije u plinskoj turbini ili u parnom kotlu za drva. Plin nastaje izgaranjem biomase u reaktoru s okomitim protjecanjem zraka koji ulazi odozgo (protustrujno), odozdo (istostrujno) ili u sloju u kojem se nalazi kruta biomasa.



Slika 10. Prikaz rasplinjavanja i piroza

Izvor: <http://hr.wikipedia.org/wiki/Rasplinjavanje>, 27.01.2014.



Ogrijevna vrijednost plina dobivanjem rasplinjavanjem iznosi između 4,5 i 7,5 MJ/m<sup>3</sup>. Ukupna učinkovitost pri prevođenju krute biomase u plin iznosi i do 72%. Postrojenja rasplinjavanjem imaju široku primjenu i na pragu su potpune isplativosti. Procjenjuje se da će upravo ovom tehnologijom u budućnosti biti osigurana proizvodnja biomase u većem opsegu.

#### 3.2.4. Alkoholna goriva (etanol)

Etanol (alkoholn gorivo) se proizvodi od tri osnovne vrste biomase, tj. od šećera (od šećerne trske, melase), škroba (od kukuruza) i celuloze (od drva, poljoprivrednih ostataka).

Za proizvodnju etanola vrlo su pogodne sirovine bogate šećerima, budući da u sebi već sadržavaju glukozi i fruktozu koje se mogu fermentirati izravno u etanol.

Sirovine bogate škrobom koje treba razložiti na jednostavne šećere procesom saharizacije sadržavaju velike molekule ugljikohidrata. Ugljikovodici u sirovinama bogatim celulozom koji se mogu fermentirati kiselim ili enzimatskom hidrolizom sastavljeni su od još većih molekula i trebaju se konvertirati u šećere. Najznačajnije biljne vrste koje se uzgajaju za proizvodnju etanola su kukuruz, šećerna trska, cassava i slatki sirak.

Tablica 1. Prinos goriva iz različitih sirovina

| Sirovina      | Prinos etanola, l/t | Prinos sirovine, t/ha | Prinos alkohola, l/ha godišnje | Energija, GJ/ha godišnje |
|---------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|
| kukuruz       | 370                 | 6,0                   | 2200                           | 162                      |
| šećerna trska | 70                  | 50,0                  | 3500                           | 1350                     |
| slatki sirak  | 86                  | 35,0                  | 3010                           | 945                      |
| drvo          | 160                 | 20,0                  | 3200                           | 540                      |

Izvor: Labudović, B.: *Obnovljivi izvori energije*, Energetika marketing, Zagreb. 2001, str. 55.

Osnovne faze u procesu proizvodnje etanola su:

- priprema sirovine
- fermentacija
- destilacija etanola

Priprema sirovine koja se može fermentirati je zapravo hidroliza molekula škroba enzima u šećeru. Fermentacija u peći s običnim kvascem za proizvodnju 8 do 10%-tnog alkohola nakon 24 do 72 h fermentacije je uobičajna tehnologija za proizvodnju etanola. Nakon toga slijedi destilacija tog alkohola u nekoliko faza čime se dobiva 95%-tni etanol. Za proizvodnju posve čistog etanola dodaje se benzin i nastavlja se destilacija nakon čega se dobiva 99,8%-tni etanol.

Etanol se počeo proizvoditi kako bi se smanjila brazilska ovisnost (vodeća zemlja po proizvodnji i primjeni) o inozemnoj nafti, i otvorilo dodatno tržište domaćim proizvođačima šećera. Oko 15 % brazilskih vozila kreće na čisti etanol, dok ostali koriste 20%-tnu smjesu sa benzinom.

Sirovine s visokim udjelom celuloze kao što su drvo i neki ostatci iz poljoprivrede mogu se koristiti za proizvodnju metanola. Tehnologija je posve drugačija od procesa proizvodnje etanola. Proizvodnja se odvija u dvije faze. U prvoj iz koje se sintetizira metanol konvertira se sirovina u plinoviti međuproizvod. Faza sinteze metanola je poznata i komercijalno dokazana, dok je druga faza rasplinjavanja još u razvoju. Svojstva etanola i metanola su vrlo slična benzinu, što se može vidjeti iz tablice 2.

Tablica 2. Usporedba alkoholnih goriva i benzina

| Svojstva                                     | 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 |
| stupanj viskoznosti                          | /         | 0.58      | 0.6        |
| temperatura vrenja kod 1 bar (°C)            | 7.5       | 65        | 30.23      |
| stehiometrijski omjer zraka i goriva (kg/kg) | 9.0       | 6.5       | 14.6       |
| oktanski broj                                | 106       | 112       | 91-100     |

Izvor: Labudović, B.: *Obnovljivi izvori energije*, Energetika marketing, Zagreb, 2001, str 57.

Etanol se može koristiti u motorima s unutrašnjim izgaranjem kao njegova potpuna zamjena ili uz dodavanje benzina. Za dodavanje do 20% etanola u benzin nisu potrebna nikakve preinake. Metanol (slično kao kod etanola) se može koristiti kao posebno gorivo ili dodatak benzinu.

Mogu se pojaviti određene poteškoće koje se rješavaju dodavanjem određenih dodataka zbog drugačijeg izgaranja nego kod benzina.

### 3.2.5. Biodizel

Biodizel (poznatiji komercijalni naziv), tj. metalni ester repičino ulje (RME) je kemijski spoj koji je dobiven reakcijom (esterifikacijom) biljnog ulja (suncokret, uljana repice, soja), recikliranjem otpadnog jestivog ulja ili od životinjske masti s metanolom u prisutnosti katalizatora. Standardiziran je kao tekući biorazgradivi nadomjestak za mineralno gorivo, neotrovan je pa nije štetan ni opasan za zdravlje, nije lako zapaljiv, te nije opasan u smislu onečišćenja vode i zraka.

Prvi pokusi i ispitivanja mogućnosti primjene biljnog ulja za pokretanje motornih vozila potaknuta je u doba prve naftne krize (1973.). Pokazalo je da se biljna ulja mogu uspješno koristiti u dizelskim motorima, ali su postojale određene poteškoće. Velika viskoznost ulja je bio glavni problem, ali se ubrzo našlo rješenje koje je prilagođeno jednostavnom esterifikacijom. U reakciji alkohola i ulja, glicerol se kao komponenta prirodne masnoće zamjenjuje metanolom.

Danas je uobičajno i nije rijetkost miješanje dizelskog goriva s metalnim esterom biljnog ulja (biodizel). Odabir sirovine za proizvodnju biodizela isključivo ovisi o specifičnim uvjetima pojedine zemlje (npr. klima, uobičajne poljoprivredne kulture, navike stanovništva..). Najznačajnije sirovine koje se u većoj mjeri proizvodnje mogu izdvojiti jesu uljana repica, suncokret, palma.

Postrojenja za proizvodnju biodizela grade se s kapacitetima od nekoliko tisuća do 100 tisuća tona godišnje. Sama kompleksnost postrojenja ovisi o zahtjevima za energetsom učinkovitošću, ekološkom podobnošću, kvaliteti ulazne sirovine i zahtjevima za kvalitetom izlaznog proizvoda te primjeni nusproizvoda (glicerina).

Prednosti biodizela su da je po svojim energetske sposobnostima jednak običnom dizelu, ali ima puno bolju mazivost, pa time značajno produžava radno trajanje motora. Najvažnije su njegove osobine vezane uz smanjenje onečišćenja okoliša jer biodizelska goriva ne sadrže sumpor ni teške metale koji su glavni onečišćivači zraka. Ako biodizel nakon transporta dospije u vodu, zagađenje ne postoji jer se on potpuno razgradi već nakon nekoliko dana dok jedna litra nafte zagađi skoro milijun litara vode.

Nedostatak biodizela je visoka viskoznost, a postoji i mogućnost začepjenja injektora i osjeća se miris prženog ulja iz ispuha.

Biodizel je svoju najširu primjenu našao u ekološkoj poljoprivredi zbog svojih brojnih pozitivnih osobina, pa je time po međunarodnim kriterijima jedini dopustivi energent.

Danas se u EU ne može dobiti certifikat o čistoći poljoprivrednih ekološki proizvedenih proizvoda bez upotrebe biodizela ili nekih drugih biogoriva.

### 3.2.6. Energija otpada

Korištenje energije otpada za grijanje ili proizvodnju električne energije je danas jedan od načina učinkovite upotrebe otpada. Energija otpada ima minimalan utjecaj zagađenja na okoliš ako se ispravno provodi upravljanje nad njime. Postupci termičke obrade otpada, poglavito u urbaniziranim mjestima i sredinama koje su gusto naseljene omogućuju istovremeno neutraliziranje štetnih svojstava i njegovo energetske iskorištavanje. Postoje različite tehničke mogućnosti termičke obrade otpada, ali do sada je najviše korišteno sagorijevanje otpada. Provedene su brojne rasprave o mogućnostima i potrebama primjene izgaranja komunalnog otpada u svijetu pa tako i u Hrvatskoj.

Potrošačko organizirano društvo i ubrzani razvoj industrije uzrokovalo je globalnu "ekološku" krizu zbrinjavanja otpada koja se u razvijenim državama očituje kao problem. Neodgovorno i nekontrolirano odlaganje otpada ugrožava zdravlje ljudi i okoliš, a brojni su primjeri dokazali oštećenje zdravlja ljudi zbog čina neodgovornog postupanja s otpadom. Svjetska iskustva pokazuju da je samo cjelovitim sustavom gospodarenja moguće riješiti problem otpada. U svijetu stalno raste broj postrojenja za termičku obradu otpada izgaranjem, ali se ta tehnologija koristi upravo najviše u razvijenim državama. Mogućnost kogeneracije energije otpada obuhvaća vrednovanje deponijskog plina, tj. bioplina kod takozvane anaerobne termičke i hladne obrade otpada pomoću postupaka kao što su rasplinjavanje, sagorijevanje i različite kombinacije u okvirima cjelovitog sustava gospodarenja energije. Proizvodnja energije iz otpada nije rijetkost, pa se danas npr. u Švedskoj otpad energetske iskorištava u 21 postrojenju za spaljivanje, čime se godišnje zbrinjava 1,7 milijuna tona otpada - što u prijevodu znači oko polovice ukupne količine komunalnog otpada.

## **4. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE**

Najznačajniji obnovljivi izvor energije poslije hidroelektrana je biomasa. Uglavnom je u prošlosti korištena za dobivanje toplinske energije, dok se u novije vrijeme sve više grade postrojenja za dobivanje električne energije, a očekuje se nastavak trenda u budućnosti.

Proizvodnja električne energije iz biomase je slična kao i za fosilna goriva, proizvodi se izgaranjem (na rešetki ili u fluidiziranom sloju različitih izvedba). Prvo se vrši pretvaranje u toplinsku energiju nosilaca (vodena para kod parnih turbina, plin kod plinskih turbina), pa pretvaranje u mehaničku energiju, a zatim u električnu energiju.

Postoji mišljenje kako bi se za proizvodnju električne energije iz biomase trebalo uzgajati energetske biljke na velikim površinama, provoditi masovnu sječu šuma i sl., što bi za okoliš imalo izrazito nepovoljan utjecaj. Međutim, električna energija iz biomase se proizvodi u manjim postrojenjima električne snage do 70 MW (najčešće i manje od toga), dok se energija proizvodi iz otpada, šumarstva, drvne industrije te sporednih proizvoda poljoprivrede.

Električna energija iz biomase se često proizvodi suspaljivanjem kada biomasa izgara posebno, a ponekad zajedno u istom ložištu s različitim fosilnim gorivima. Toplinska energija koja je dobivena, koristi se za proizvodnju i osigurava sigurnost opskrbe energije pa se time može dobiti puno veća izlazna snaga. Suspaljivanje biomase je često u kombinaciji s ugljenom i/ili gradskim otpadom, jer se osim tehničkih prednosti, djelomično popravljiva loša percepcija tehnologija u javnosti.

Proizvodnja električne energije iz biomase u današnje vrijeme nije rijetkost i stalno je u porastu u razvijenijim državama, a tehnologija postrojenja je pouzdana i dobro poznata u svrhu korištenja o čemu svjedoče brojna postrojenja u pogonima.

### **4.1. Kogeneracijska postrojenja**

Istovremena proizvodnja toplinske i električne energije radi povećanja stupnja djelovanja koristi se u kogeneracijskim postrojenjima, što predstavlja najznačajniji način proizvodnje električne energije iz biomase.

Osim malih, samostalnih sustava, trenutno ima kogeneracijskih postrojenja električne energije veće od 1200 MW. Goriva za pogon kogeneracijskih postrojenja su plinovita, tekuća i kruta.

Za proizvodnju električne energije iz biomase u sustavima s konvencionalnom parnom turbinom najviše se koriste otpadi iz drvne industrije, poljoprivrede i komunalnog otpada. Iako su takva postrojenja prilično male električne snage (20 MW), mogu proizvesti električnu energiju jeftinije cijene od konkurenata koji koriste fosilna goriva kada su na raspolaganju dovoljne količine jeftine biomase.

U konvencionalnoj (kondezacijskoj) elektrani na fosilna goriva, 30 do 50% ulazne energije goriva se pretvara u električnu dok se ostali dio ne iskorištava, već se gubi kroz dimljak putem izlaznih dimnih plinova ili rashladnih sustava hlađenja. U kogeneracijskim postrojenjima se na isti način kao kod klasičnih termoelektrana proizvodi električna energija, samo što se otpadna toplina ne predaje putem sustava za hlađenja u okolinu nego se koristi u toplinarskim sustavima. Kogeneracijska postrojenja su učinkovito i ekološko prihvatljivo rješenje za proizvodnju električne i toplinske energije, pri čemu cijena proizvedene jedinice energije može biti i do 40% manja od cijene iz centraliziranih energetske sustava. Ukupni stupanj djelovanja u proizvodnji električne energije i topline u kogeneracijskim postrojenjima iznosi do 90%, dok je u postrojenjima na fosilna goriva manji i iznosi 20 do 30%.



Slika 11. Ukupni stupanj djelovanja u proizvodnji električne energije i topline u kogeneracijskim postrojenjima

Izvor: <http://www.zelenaenergija.org/clanak/mala-skola-bioplina-kogeneracija-na-bioplina/406>, 29.01.2014.

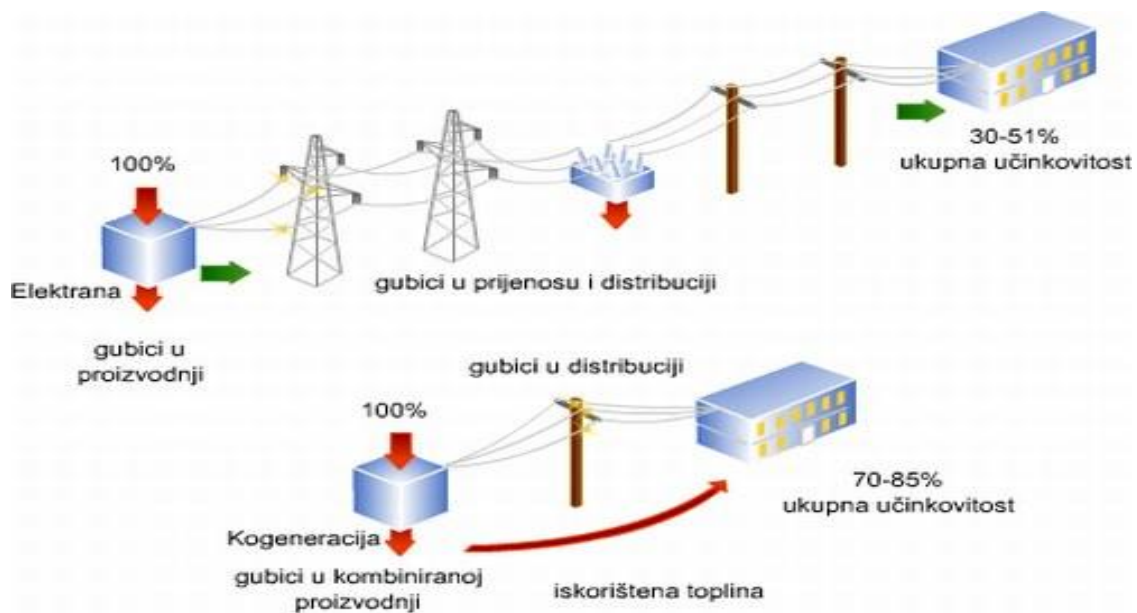
Prednost malih kogeneracijskih elektrana u odnosu na odvojenu proizvodnju električne i toplinske energije je smanjenje troškova goriva za proizvodnju navedene energije i zagađenje okoliša, a time je prihvatljivo težištima potrošnje. Toplina se predaje u obližnju toplinsku

mrežu ili izravno u objekt. Električna energija se također koristi u objektu, a višak se isporučuje u postojeću lokalnu niskonaponsku ili srednjenaponsku mrežu.

Prednosti su i u modularnoj izvedbi pa se pri porastu električne i toplinske energije postojeće toplane i rezervni električni agregati mogu dograditi ili rekonstruirati u male kogeneracijske elektrane. Relativno su mala dodatna ulaganja koja su isplativa za nekoliko godina, lokacije su u industrijskim ili javnim objektima što olakšava ishodenje dozvola i kratak rok izgradnje zbog modularne izvedbe.

Kogeneracijska postrojenja nisu isplativa u svim uvjetima, osim u odgovarajućim kombinacijama potrošnje električne i toplinske energije. Višak energije je moguće prodati elektroenergetskom sustavu do snage 5 MW, dok je toplinsko opterećenje determinirajuće za samu isplativost malih kogeneracijskih elektrana. Može se očekivati isplativost kogeneracije ako je toplinsko opterećenje od 3000-5000 sati godišnje.

Na slici 13. su prikazane usporedbe energetske učinkovitosti, tj. gubici između elektrane i kogeneracijskog postrojenja.



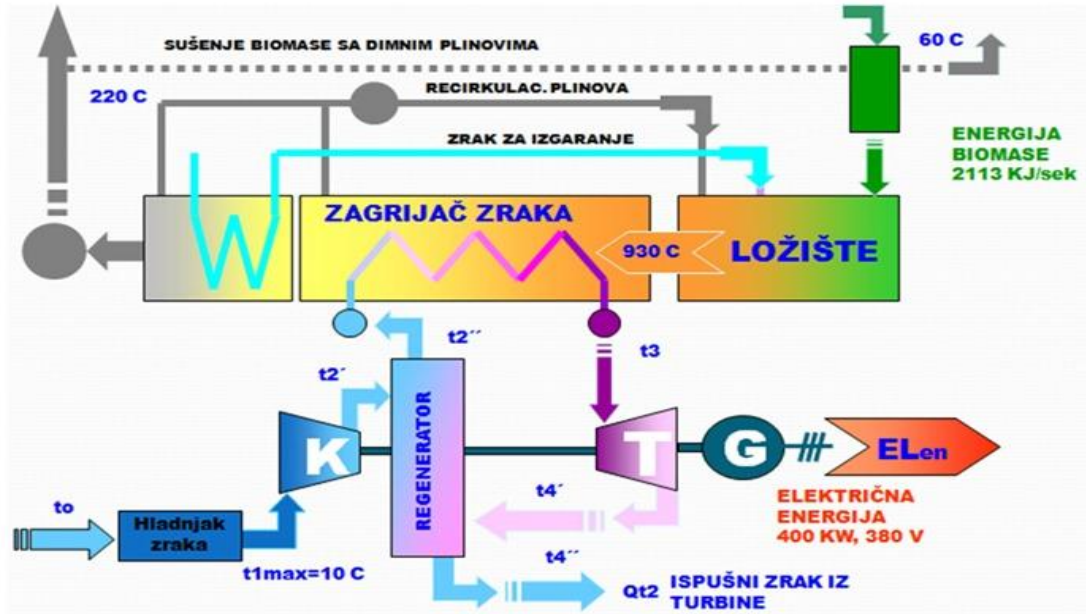
Slika 12. Usporedbe energetske učinkovitosti

Izvor: <http://www.sustainable-energybih.org/energy-efficiency-3/ee-in-industry>, 29.01.2014.

Mala kogeneracijska postrojenja pogodna za energetska primjenu biomase su:

- s parno-turbinskim agregatom (za drvo, slamu, ostala biomasa krutog stanja)
- s plinsko-turbinskim agregatom (za metan, bioplin..)
- s termomotornim agregatom (za bioplin, biodizel).

**Parnoturbinska kogeneracija** (s parno-turbinskim agregatom) proizvodi toplinsku i električnu energiju koja je u sprezi s električnim generatorom, a zasniva se na protutlačnim ili kondenzacijsko-oduzimnim parnim turbinama. Za proizvodnju toplinske energije koristi se toplina od kondenzacije pare, koja bi se inače morala odvesti rashladnom vodom.



Slika 13. Prikaz parnoturbinske kogeneracije

Izvor: <http://www.eniteh.hr/opis.html>, 01.02.2014.

Parnoturbinska kogeneracija kao izvor koristi biomasu krutih goriva (drvni otpatci, slama...).

U sustavima parnoturbinskih postrojenja, kotlovi za proizvodnju pare dijele se na: kotlove ložene drvnim otpatcima, ugljenom, biomasom u vrtložnom ložištu, roštiljnim loženjem.

U tablici su prikazane značajke parnoturbinskih kogeneracijskih postrojenja.

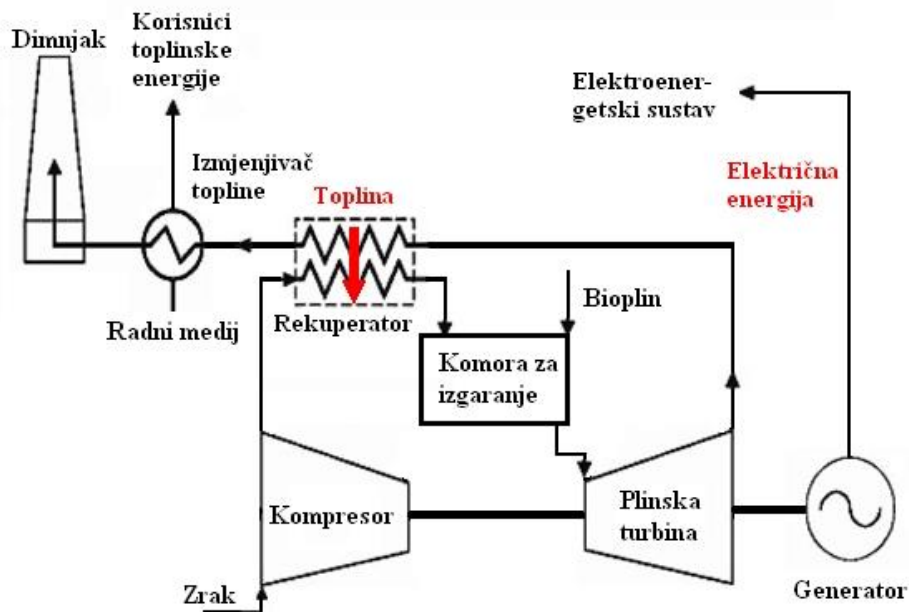
Tablica 3. Značajke parnoturbinskih agregata za kogeneraciju

| Električna snaga agregata ( $kW_e$ ) | Specifični trošak topline ( $kJ / kWh_e$ ) | Iskoristiva toplinska snaga ( $kW_t$ ) | Gorivo          |
|--------------------------------------|--|--|-----------------|
| 2500-5000                            | 17000-13000                                | 10000-20000                            | biomasa, ugljen |
| 1000-2500                            | 25000-16000                                | 5000-10000                             | biomasa, ugljen |
| do 1000                              | 25000-20000                                | do 5000                                | biomasa, ugljen |

Izvor: Labudović, B.: *Obnovljivi izvori energije*, Energetika marketing, Zagreb. 2001., str.85.



**Plinskoturbinska kogeneracija** (s plinsko-turbinskim agregatom) proizvodi električnu energiju koja je u sprezi s generatorom, a zasniva se na plinskim turbinama otvorenog ciklusa. Kod malih kogeneracijskih elektrana, plinska turbine se primjenjuju najčešće za veće snage i to iznad 1MW. Plinskim turbinama treba kratko vrijeme do pune snage, odlikuju se velikom pouzdanošću i učinkovitošću s malim zagađenjem okoliša. Ima mogućnost modularne izvedbe gdje joj je dovoljan mali prostor i niska je cijena izgradnje.



Slika 14. Prikaz plinskoturbinske kogeneracije

Izvor: <http://www.zelenaenergija.org/clanak/mala-skola-bioplina-kogeneracija-na-bioplina/406>, 02.02.2014.

U tablici 4 su prikazane značajke plinskoturbinskih kogeneracijskih postrojenja.

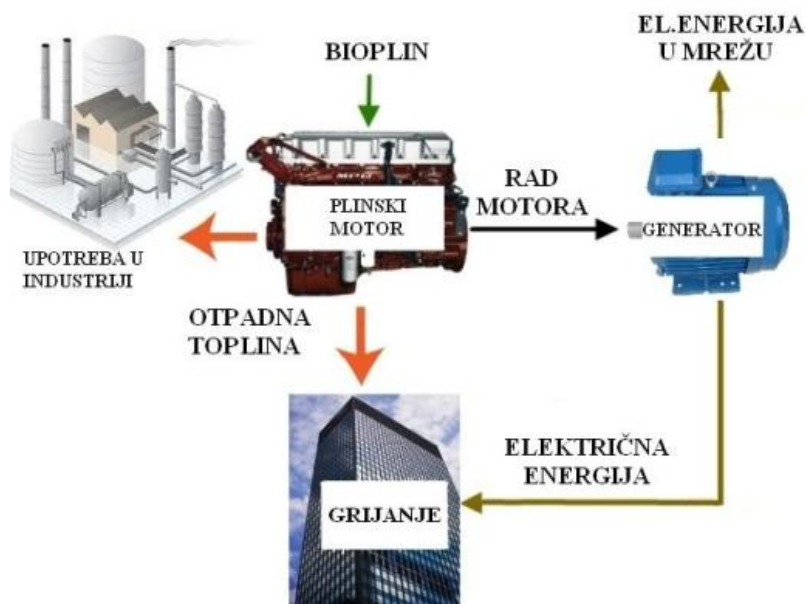
Tablica 4. Značajke plinskoturbinskih kogeneracijskih postrojenja

| Električna snaga agregata ( $kW_e$ ) | Specifični trošak topline ( $kJ / kWh_e$ ) | Iskoristiva toplinska snaga ( $kW_t$ ) | Gorivo            |
|--------------------------------------|--|--|-------------------|
| 2500-5000                            | 8500-7500                                  | 2600-5000                              | Loživo ulje, plin |
| 1000-2500                            | 9000-8500                                  | 1200-2600                              | Loživo ulje, plin |
| 200-1000                             | 10000-8000                                 | 250-1200                               | Loživo ulje, plin |
| 25-150                               | 12000-10000                                | 40-120                                 | Loživo ulje       |

Izvor: Labudović, B.: *Obnovljivi izvori energije*, Energetika marketing, Zagreb. 2001.,str. 87.

**Termomotorna kogeneracija** (s termomotornim agregatom) proizvodi električnu energiju koja je u sprezi s generatorima, a zasniva se na motorima s unutarnjim izgaranjem (otto i dizel). Također proizvode i toplinu u obliku pare i/ili vrele vode na principu korištenja otpadnih toplina ispušnih plinova i rashladnih voda.

Termomotori za male kogeneracijske elektrane se pojavljuju u dvije osnovne izvedbe, a to su plinski motori i dizel motori. Plinski motori koriste sve vrste plinovitih goriva (od prirodnog plina do raznih vrsta bioplina), a najčešće se primjenjuju za manje jedinice. U malim kogeneracijskim elektranama se primjenjuju dvije vrste plinskih motora: modificirani automotori i industrijski plinski motori.



Slika 15. Prikaz termomotorne kogeneracije

Izvor: <http://www.zelenaenergija.org/clanak/mala-skola-bioplina-kogeneracija-na-bioplina/406>, 05.02.2014.

Kogeneracijski moduli na bazi dizel motora izvode se u širokom rasponu električnih snaga od 25 kWe do 5000 kWe. U području manjih snaga obično su paketne izvedbe. U tablici su prikazane su značajke kogeneracijskih agregata na bazi plinskih motora (modificirani automotori i industrijski).

Tablica 5. Značajke kogeneracijskih agregata na bazi plinskih motora (1.modificirani automotori i 2.industrijski)

| Električna snaga agregata (kW <sub>e</sub> ) | Specifični trošak topline (kJ / kWh <sub>e</sub> ) | Iskoristiva toplinska snaga (kW <sub>t</sub> ) | Gorivo |
|--|--|--|--------|
| 145 / 2500-5000                              | 12160 / 10000-9500                                 | 265 / 3700-7000                                | plin   |
| 75 / 1000-2500                               | 12400 / 10500-9500                                 | 130 / 1400-3500                                | plin   |
| 38 / 200-1000                                | 12900 / 12000-10000                                | 70 / 350-1400                                  | plin   |
| 15 / 25-150                                  | 12960 / 13000-11000                                | 39 / 50-250                                    | plin   |

Izvor: Labudović, B.: *Obnovljivi izvori energije*, Energetika marketing, Zagreb. 2001., str.89.

Kogeneracijski moduli na bazi dizel motora izvode se u širokom rasponu električnih snaga od 25 kW<sub>e</sub> do 5000 kW<sub>e</sub>. U području manjih snaga obično su paketne izvedbe.

U tablici su prikazane značajke kogeneracijskih agregata na bazi dizel motora.

Tablica 6. Značajke kogeneracijskih agregata na bazi dizel motora

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

Izvor: Labudović, B.: *Obnovljivi izvori energije*, Energetika marketing, Zagreb. 2001., str 90.

Termomotori se primjenjuju u širokim rasponima snaga od 10 kW do nekoliko MW. Maksimalna razina temperature za primjenu termomotora je 115°C korisne topline, a najpovoljnije je oko 80°C. Pozitivne osobine termomotora su dobro ponašanje kod djelomičnih opterećenja, velika pouzdanost i visoka učinkovitost (do 50 %).

Lako se održavaju, dovoljan im je mali prostor jer su male težine, treba im kratko vrijeme do pune snage što je dovelo do brzog prodora termomotora u područje kogeneracije.

## 5. RAČUNALNI OPTIMIZIRAJUĆI PROGRAM HOMER

*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables* ili skraćeno HOMER je računalni optimizacijski program koji pojednostavljuje zadatak procjene dizajna i isplativosti samostalnih sustava i sustava povezanih s elektroenergetskom mrežom (za distribuiranu proizvodnju električne energije) koja je sastavljena od obnovljivih i neobnovljivih izvora u raznolikim primjenama. HOMER modelira stvarno ponašanje energetskeg sustava i trošak njegovog životnog ciklusa, koji je zapravo zbroj troškova instalacije i održavanja energetskeg sustava kroz cijeli njegov životni vijek. HOMER omogućuje projektantu usporedbu velikog broja različitih projektantskih rješenja na temelju njihovih tehničkih i ekonomskih karakteristika.

Potrebno je napraviti mnogo odluka o konfiguraciji sustava pri samom dizajniranju elektroenergetskih sustava i mreža, tj. koje sve veličine svake komponente treba upotrijebiti i koje sve komponente treba uključiti u dizajn sustava. Odabir uveliko otežava velik broj tehnoloških sustava i varijacija u tehnologiji, raspoloživosti energetskeg izvora i cijena. U HOMERU se zbog optimizacije i algoritamske analize osjetljivosti olakšava procjena u mogućim brojnim konfiguracijskim sustavima.

Računalni program HOMER je razvijen od strane NREL-a (*National Renewable Energy Laboratory*) 1993. godine. Program je razvio Paul Gilman, dok su Tom Ferguson, Hope Corsair i drugi sudjelovali u njegovom razvitku. Većina ga koristi u svrhu istraživanja, a velik broj korisnika je rezultat besplatne licence, koja traje šest mjeseci. Obnavljanje licence je neograničeno, pa je moguće ponovno zatražiti licencu nakon isteka i neometano ga koristiti narednih šest mjeseci.

HOMER omogućava definiranje modela s ulaznim podacima koji opisuje raspoloživost izvora, tehnološke izbore i cijene komponenata.

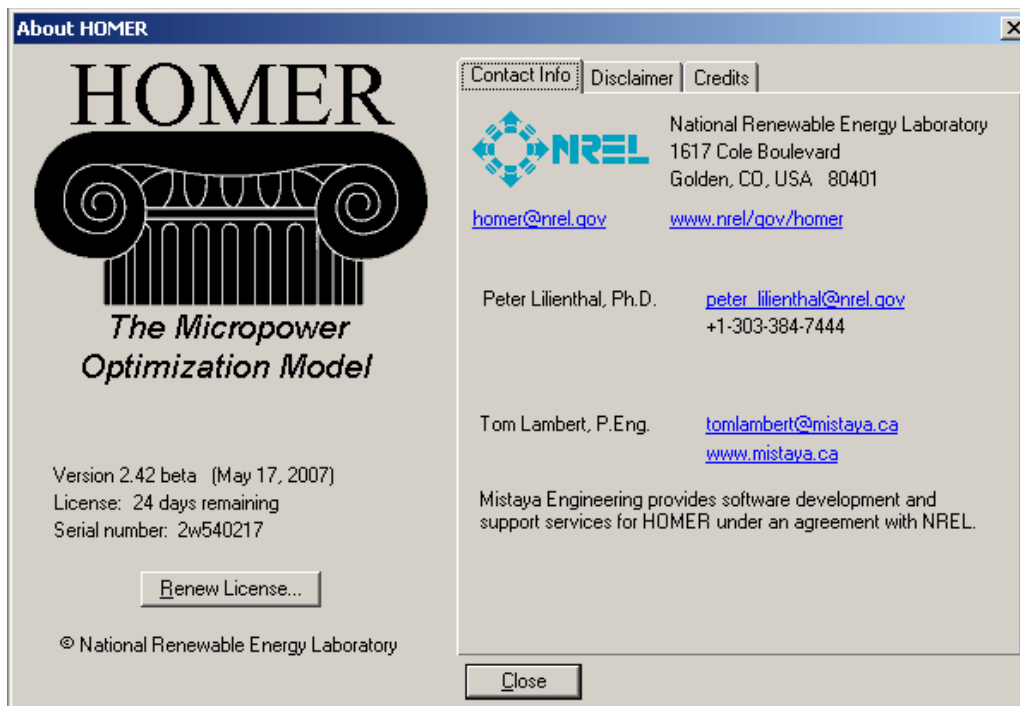
Nakon unesenih podataka za simulaciju različitih konfiguracijskih sustava ili kombinaciju komponenata, program upotrebljava i daje rezultate koji se mogu vidjeti kao lista ostvarivih konfiguracija sortiranih prema cijeni. Rezultati simulacija su prikazani prema njihovim ekonomskim i tehničkim vrijednostima, različitim tablicama i grafovima koji pomažu pri procjenama i usporedbi konfiguracija. U programu se može provesti analizu osjetljivosti, kada se želi istraživati kakav bi efekt imale promjene uzrokovane čimbenicima kao što su raspoloživost resursa i ekonomski uvjeti na ekonomičnost drugačijih konfiguracija sustava. Pri izvođenju analize osjetljivosti, pribavljaju se i upisuju vrijednosti u HOMERU koje opisuju raspon promjene raspoloživosti sredstva i cijene komponenti. Program simulira svaku

konfiguraciju sustava preko raspona vrijednosti. Rezultati analize osjetljivosti mogu se upotrijebiti i identificirati čimbenike koji imaju najveći učinak na dizajn i rad sustava. Također se mogu upotrijebiti rezultati proračuna analize osjetljivosti i donijeti odluke o planiranju i upravljanju strategijama, te odgovoriti na opća pitanja o izboru tehnologije.

HOMER za svaki od 8760 sati u godini simulira rad sustava izračunavajući energetska bilancu. Za svaki sat vremena program računa tokove energije i sve komponente sustava, te uspoređuje električne i toplinske zahtjeve tereta prema energiji koju taj sustav može opskrbiti. Za sustave koji pokretane generatore uključuju baterijom ili gorivom, Homer svakih sat vremena također odlučuje i brine o režimu rada baterije (punjenje i pražnjenje), te o upravljanju generatorima.

HOMER za svaku konfiguraciju sustava proračunava energetska bilancu koja se žele razmotriti, tj. procjenjuje može li se udovoljiti zahtjevima korisnika, procjenjuje cijenu instaliranja, rada i održavanja sustava u životnom vijeku projekta i određuje da li je konfiguracija ostvariva.

Sustavne troškovničke računice obuhvaćaju cijene investicija, zamjene, upravljanje i održavanje, te kamate i cijenu goriva. Nakon što simulira sve moguće konfiguracije sustava, daje se lista koja se može iskoristiti za usporedbu izbora dizajniranih sustava prema sortiranih troškovima.



Slika 16. Podatci o programu HOMER

Izvor: izradio autor

## 5.1. Opterećenje

Potrebno je znati kakvo opterećenje mora zadovoljiti naš sustav prije bilo kakve simulacije. Odabiremo odgovarajuće komponente koje su ovisne o opterećenju i raspoloživim obnovljivima izvorima energije. Osim izvora energije, potrebno je uzeti i uređaje kao što su baterije i pretvarači u nekim slučajevima. Da bi HOMER mogao izvršiti potrebne simulacije potrebno je unijeti odgovarajuće podatke za svaku komponentu.

HOMER za svaki od 8760 sati godišnje simulira rad sustava računajući ravnotežu energije, pa opterećenje predstavlja zahtjeve koje mora opskrbiti elektroenergetski sustav. HOMER u profil opterećenja unosi podatke za tipičan dan jer nije moguće unijeti za cijelu godinu.

U HOMERU se mogu modelirati toplinska i električna opterećenja, te opterećenje koje koristi vodik za svoj rad. Električno opterećenje može biti osnovno (znači da ono mora zadovoljiti), ili odgodivo (znači da u njihovom napanju postoji određena fleksibilnost).

U HOMERU postoje tri različita opterećenja (tereta):

- osnovni teret
- odgodivi teret
- toplinski teret

### 5.1.1. Osnovni teret

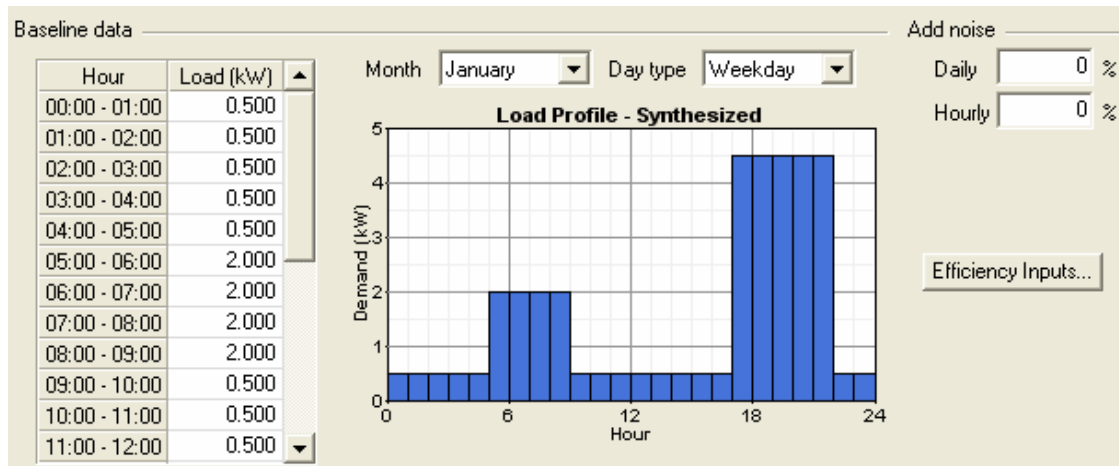
Osnovni teret je električno opterećenje, tj. kada se pojavi potreba mora se opskrbiti u istom trenutku da bi se izbjegao neopskrbljeni teret. HOMER nadzire proizvodnju i raspoređuje opskrbu tereta i to svaki sat u godini.

Mogu se dodati dva osnovna tereta koji se definiraju:

- Tipom tereta (može biti istosmjerni ili izmjenični)
- Oznakom (koristi se za identificiranje tereta na shemi).

Set podataka od 8760 vrijednosti (izražen u kW) i to za svaki sat u godini predstavlja prosječan zahtjev za električnom energijom. Postoje osnovni podatci u dva načina kreiranja, tj. da se podaci unose iz vanjske datoteke i da se u HOMERU mogu neki podaci sintetizirati (kreirati). Za sintetiziranje podataka koji je skup vrijednosti električnog opterećenja od 24 sata (za svaki sat u danu), potrebno je unijeti najmanje jedan dnevni profil.

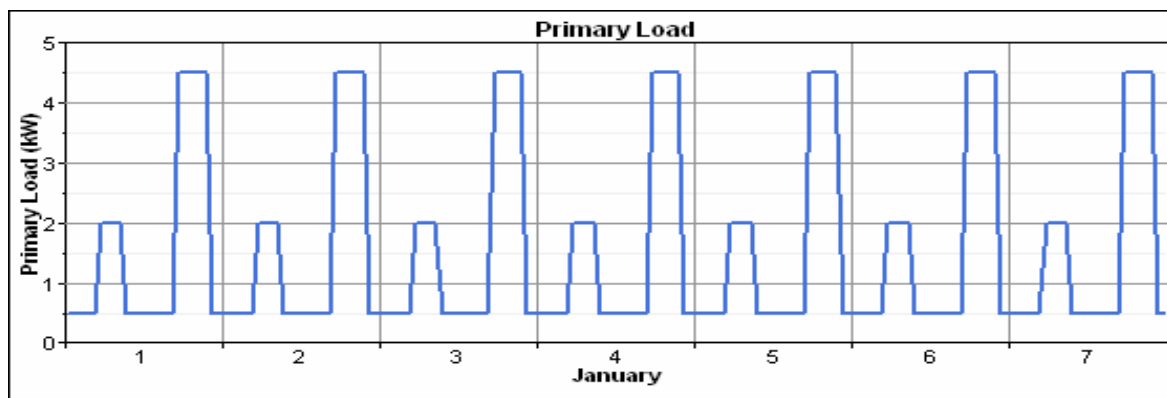
Moguć je unos različitih dnevnih ili mjesečnih profila opterećenja, a također je moguće odrediti profil opterećenja ovisno da li je radni dan ili vikend. Profil će biti korišten kroz cijelu godinu ako se unese samo jedan profil opterećenja. Prosječno opterećenje u određenom satu (u kW), predstavlja vrijednost koja sadržava svaku od 8760 redova. HOMER pravi kopiju podataka i integrira ih u .hmr datoteku kada su uneseni svi podaci. Nakon unosa podataka, HOMER računa prosječni 24-satni profil opterećenja cijele godine i prikazuje ga u tabličnom i grafičkom prikazu.



Slika 17. Prikaz dnevnog profilnog opterećenja

Izvor: izradio autor

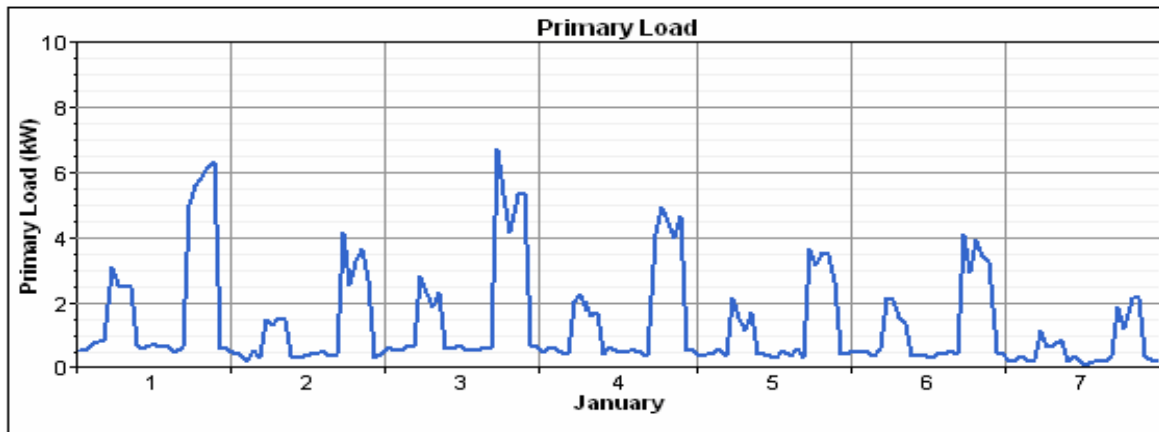
Da bi dodavanje dnevnog i satnog šuma bilo moguće, profil opterećenja mora biti što realističniji. Profil opterećenja bi se ponavljao i bio isti iz dana u dan, kad se ne bi dodavao dodatni šum (bilo satni ili dnevni) kao što vidimo na slici 18.



Slika 18. Prikaz dnevnih profila bez unosa dodavanja šuma

Izvor: izradio autor

U praksi iz dana u dan variraju veličina i oblik profila opterećenja. Pri dodavanju dnevnog šuma oblik profila ostaje isti, dok dolazi do promjene u veličini. Tek pri dodavanju satnog i dnevnog šuma dolazi do promjene oblika, pa dnevno opterećenje može izgledati kao na primjeru slike 19.



Slika 19. Prikaz dnevnih profila opterećenja uz dodani satni šum od 15 % i dnevnog šuma od 20%

Izvor: izradio autor

Opterećenje se smanjuje pri korištenju mjera efikasnosti prilikom analiziranja ekonomičnosti mjera efikasnosti.

Potrebna su tri podatka za proračun efikasnosti, a to su:

- Faktor efikasnosti (faktor s kojim množimo osnovno opterećenje za povećanje učinkovitosti - unosimo 0.8, za 20% smanjeno opterećenje)
- Životni vijek (godišnju razinu svodimo na investicijski trošak kroz broj godina)
- Investicijski trošak (količina novca potrebna za mjere učinkovitosti).

### 5.1.2. Odgodivi teret

Odgodivi teret je električno opterećenje kojem nije bitno točno vrijeme unosa, ali se mora opskrbiti u nekom vremenskom periodu. Tereti se klasificiraju kao odgodivi, jer imaju neke spremnike povezane s njima. Zajednički primjer je pumpanje vode, tj. postoji fleksibilnost



koja omogućuje da se vodeni spremnik ne isuši u trenutku kada pumpa treba raditi. Dodatno razumijevanje ovog opterećenja su primjeri kod punjenja baterija ili pravljenje leda.

Odgodivi teret se definira na isti način kao i osnovni, preko oznake i tipa tereta (istosmjerni ili izmjenični). Za svaki mjesec u godini prosječan odgodivi teret (izražen u kW), opisuje osnovne podatke koji predstavljaju set od 12 vrijednosti. Prosječna vrijednost odgodivog tereta je ta pri kojoj energija odlazi iz njegovog (odgodivog) spremnika. To je količina energije potrebna da nivo drži konstantnim u spremniku. Pretpostavlja se da je odgodivi teret konstantan kroz svaki mjesec.

Za definiranje odgodivog tereta potrebno je unijeti sljedeće podatke:

- Minimalni omjer tereta (izražen u postotku % vršnog opterećenja, to je minimalna snaga koja opskrbljuje odgodivi teret. Npr. kod vodene pumpe - ako pumpa zahtjeva najmanje 0,5 kW i nazivne je snage 0.75, omjer je 67% vršnog opterećenja),
- Kapacitet spremnika (potrebe za ispunjavanje spremnika, to su veličine spremnišnog rezervoara izražene u kWh energije),
- Vršno opterećenje (maksimalna snaga, koja može opskrbiti odgodivi teret u kW. Npr. kod primjene vodene pumpe gdje je jednaka nazivnoj električnoj potrošnji pumpe).

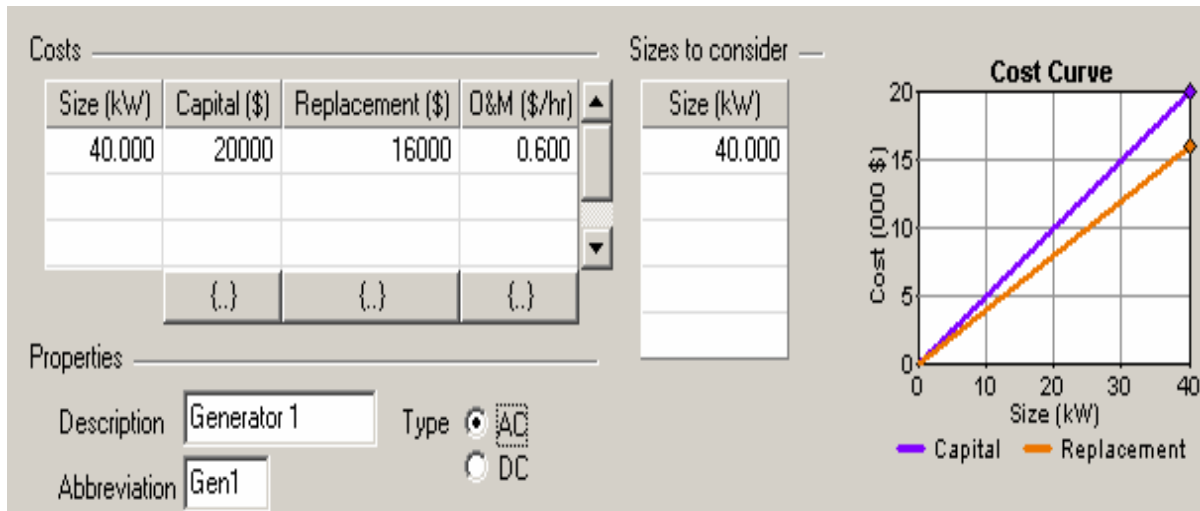
Odgodivi teret je drugi po važnosti iza osnovnog tereta, tj. ispred punjenja baterija.

### 5.1.3. Toplinski teret

Osim osnovnog i odgodivog, imamo i toplinski teret koji predstavlja zahtjev za toplinskom energijom. Toplina može biti potrebna kod industrijskih procesa, za grijanje prostora ili grijanje vode. Toplinski teret može biti opskrbljen viškom proizvedene električne energije, toplinskom energijom iz parnog kotla ili iz generatora koji mogućnost izlazne (otpadne) vode iskorištava. Ako želimo da nam višak električne energije služi za opskrbu toplinskog tereta, onda je potrebno to naznačiti u ulaznim podacima za koji postoji odgovarajući prozor u programu. Kod upotrebe generatora kao toplinskog izvora energije, potrebno je unijeti vrijednost iskorištavanja i omjer topline generatora. Unošenje podataka je isto kao i kod osnovnog tereta, gdje osnovni podaci predstavljaju prosječni godišnji zahtjev za toplinskom energijom za set od 8760 satnu vrijednost iskazanu u kW.

## 5.2. Generator

HOMER omogućava unos karakteristika rada generatora te podataka o troškovima. U tablicu troškova koja je izražena u \$/sat, sa povećanjem nazivne snage unosi se krivulja troškova generatora koja pokazuje kako se troškovi mijenjaju (potrebno je odrediti nazivnu snagu, troškove rada i održavanja, investicijske troškove te troškove zamjene u slučaju kvara).



Slika 20. Prikaz troškova generatora i krivulja troškova

Izvor: izradio autor

Najčešće se odabire samo jedna veličina agregata pri dizajniranju sustava: dovoljno veliki agregat koji je sposoban da konstanto opskrbljuje vršno opterećenje. HOMER će uvijek izabrati najmanji generator prilikom izbora veličine koji će zadovoljavati ograničenje o maksimalnom godišnjem manjku snage, jer za ralikom od velikog, manji je agregat obično jeftiniji za rad.

Važne veličine za određivanje generatora su:

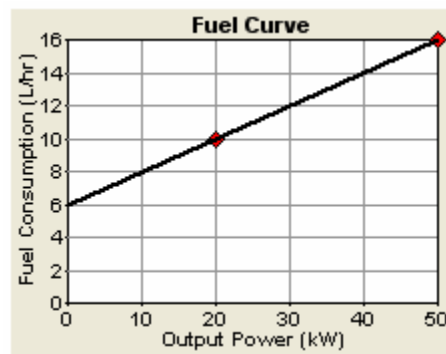
- Tip (označava da li je generator istosmjerni ili izmjenični),
- Kratica (kratka oznaka, korištena pri rezultatima simulacija),
- Opis (identifikacijska oznaka),
- Minimalni stupanj opterećenja (iskazuje se kao postotak nominalne snage, to je minimalno dopušteno opterećenje generatora)
- Životni vijek (prikaz očekivanog broja sati, koliko će generator raditi prije potrebe za zamjenom).

### 5.2.1. Gorivo za generator

U HOMER-ovoj bazi podataka postoje neka goriva, a moguće je brisanje već postojećih ili dodavanje novih goriva. Pri odabiru određenog goriva, prikazuje se krivulja efikasnosti - ovisnost izlazne snage o količini potrošenog goriva.

Za krivulju efikasnosti važni su slijedeći podaci:

- Nagib (jedinica: jedinica goriva /hr/kW; oznaka: FI) - označava rubnu potrošnju goriva,
- Faktor presijecanja (jedinica: jedinica goriva/hr/kWprocjenjeno; oznaka: F0) - označava potrošnju generatora podijeljenu s njegovom nazivnom snagom u praznom hodu.



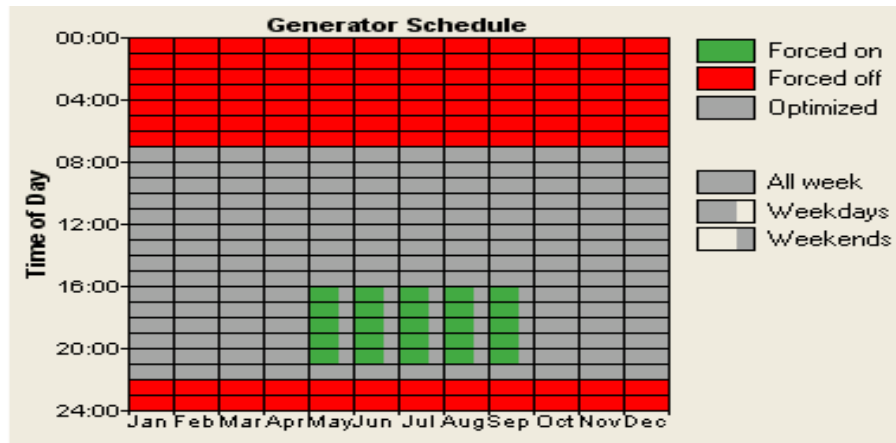
Slika 21. Krivulja efikasnosti goriva

Izvor: izradio autor

### 5.2.2. Minimalni stupanj opterećenja i raspored rada generatora

Preciziranjem minimalnog opterećenja, HOMER dozvoljava da radi pri jako malim (preniskim) opterećenjima, ali ne sprječava da se generator ugasi. Ta vrijednost postoji zato što neki proizvođači preporučuju da njihovi generatori ne rade ispod određenog opterećenja.

HOMER odlučuje da li je potrebno pogoniti generator svaki sat prema početnim parametrima, a to su: ekonomski parametri generatora, zahtjevi utemeljeni na osnovi tereta ili drugi izvori. Raspored rada se koristi da spriječi ili da prisili HOMER da u nekom vremenskom periodu pogoni generator.



Slika 22. Raspored rada genetora

Izvor: izradio autor

### 5.3. Parni kotao

U programu, HOMER smatra da je opskrba električnog potrošača više važnija od toplinske opskrbe. Kada raspoređuje generatore za opskrbu električnog opterećenja, HOMER određuje vrijednost iskorištavanja viška topline svakog generatora, ali ne raspoređuje generatore da opskrbe toplinske potrošače. Pretpostavlja se da parni kotao može opskrbiti svaki toplinski teret koji generatori ne mogu. U prijevodu, HOMER zamišlja da kad god je potrebno opskrbiti bilo koji broj toplinskih potrošača to može izvesti parni kotao kao pomoćni izvor topline. Kada postoji toplinski potrošač, program automatski dodaje parni kotao. Bitno je samo odabrati gorivo koje parni kotao koristi. U bazi podataka već postoje određena goriva, ali je također omogućeno brisanje postojećih ili dodavanje novih. Potrebno je unijeti i vrijednost za efikasnost parnog kotla, tj. postotak energije goriva koji se pretvara u toplinu u parnom kotlu.

### 5.4. Pretvarač

Svaki sustavi koji sadrži istosmjerne (DC) i izmjenične (AC) komponente zahtjevaju pretvarače. Potrebno je odrediti nazivnu snagu pretvarača (u kW), troškove rada i održavanja (u \$/god.), troškove zamjena (u \$) te unijeti investicijske troškove (u \$).

Prema smjeru pretvorbe energije pretvarači se dijele na ispravljače i izmjenjivače.

Ispravljač ima ulogu pretvaranja izmjenične komponente u istosmjernu, a potrebni podaci su:

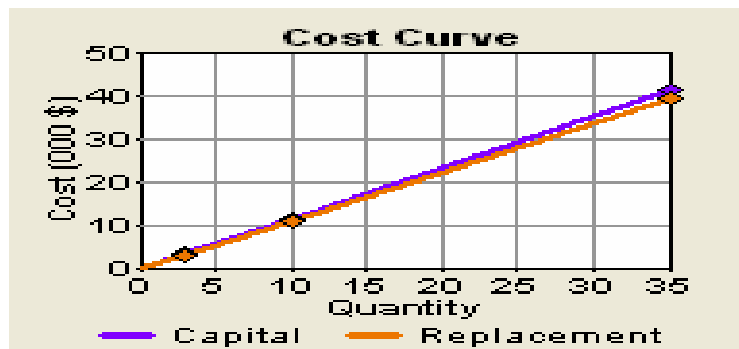
- Snaga povezana s izmjenjivačem (nazivna snaga ispravljača u odnosu na izmjenjivač koja je izražena u postocima (%)),
- Efikasnost (efikasnost pretvorbe izmjenično u istosmjerno, izraženo u postocima(%)).

Izmjenjivač ima ulogu pretvaranja istosmjerne komponente u izmjeničnu, a potrebni podaci su:

- Izmjenjivač radi istovremeno s AC generatorom (potrebno je naznačiti ako je to moguće, a izmjenjivači koji ne mogu tako raditi nazivaju se sklopni izmjenjivači),
- Životni vijek (očekivano vrijeme rada izmjenjivača, izraženo u godinama),
- Efikasnost (efikasnost pretvorbe istosmjerno u izmjenično, izraženo postocima u (%)).

## 5.5. Baterije

Baterije imaju zadaću da daju energiju u sustav kada je energija iz obnovljivih izvora nedovoljna ili je više nema, a služi za skladištenje viška energije iz obnovljivih sustava. One predstavljaju radni ciklus jer se dnevno pune i prazne, a njihov životni vijek ovisi o broju punjenja i pražnjenja. U bazi podataka postoji dosta tipova baterija, ali je moguće odabrati potreban broj baterija, definirati neku novu ili određen tip baterije. Svaka baterija ima određeni nazivni kapacitet i svoje karakteristike. Treba unijeti osnovnu kupovnu cijenu, tj. troškove rada i održavanja baterije, troškove zamjene i investicijske troškove koji su bitni samo u slučaju ako je životni vijek baterije manji od životnog vijeka projekta te time nastaje krivulja troškova baterije.



Slika 23. Krivulja troškova baterije

Izvor: izradio autor

Minimalni životni vijek grupe baterija je donja granica životnog vijeka baterije. Taj podatak možda nije potreban, ali se ipak može upotrijebiti u sprječavanju odabira male grupe baterija koje su relativno kratkog životnog vijeka.

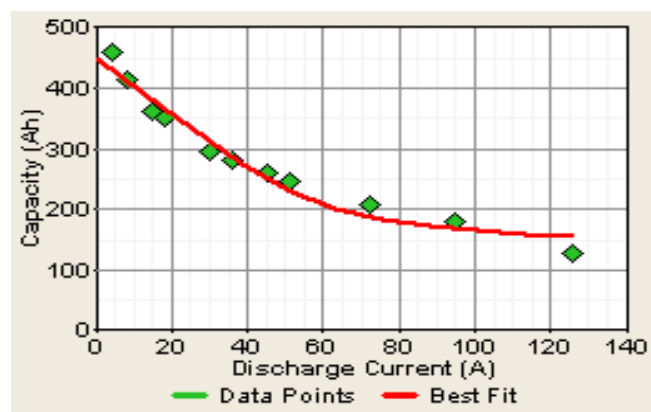
U HOMERU postoje dva neovisna ograničenja životnog vijeka grupe baterija, a to su radni vijek i ukupna energija (što bi značilo da baterija umire ili nije funkcionalna zbog starosti ili rada) :

- Radni vijek baterije (oznaka: Rbatt, jedinica: god) je maksimalno vrijeme u kojem će baterija biti ispravna prije potrebe za zamjenom, neovisno o tome koliko je puno ili malo bila korištena,
- Ukupna energija baterije (oznaka: Qlifetime, jedinica: kWh) je neovisno o dubini punjenja i pražnjenja pojedinih ciklusa određena količinom energije koja prođe kroz bateriju prije potrebe za njenom zamjenom. Koristi se kod troškova korištenja i izračunavanje životnog vijeka baterije.

Svaka baterija određena je nazivnim naponom (u V), kapacitetom (nazivnim) baterije (u Ah) i ukupnom količinom energije koja može proći kroz bateriju prije zamjene (u kWh).

Kapacitet baterije počevši od potpuno punog stanja je definirana kao količina energije koja može biti izvučena iz baterije. Kapacitet baterije ovisi o vrijednosti struje pri kojoj se ta energija izvlači. Što je veći kapacitet baterije to je manja struja pražnjenja. Mjerenjem kapaciteta baterija pri različitim strujama pražnjenja nasatala je krivulja kapaciteta.

Procijenjeni kapacitet pri maloj struji pražnjanja je samo jedna točka na krivulji. Da bi HOMER mogao izračunati koliko energije je izvučeno ili uskladišteno iz baterija, potrebno je unijeti najmanje dvije točke na krivulju kao što je prikazano na slici 24.



Slika 24. Krivulja kapaciteta baterije

Izvor: izradio autor

## 5.6. Mreža

Da bi HOMER funkcionirao potrebno je definiranje mreže i unošenje tri vrste podataka, a to su:

- Tarife (gdje definiramo mrežnu snagu strukturnih troškova),
- Napredne postavke (gdje unosimo određene ekonomske, tj. napredne varijable),
- Emisije (gdje za mrežnu snagu unosimo faktore emisije).

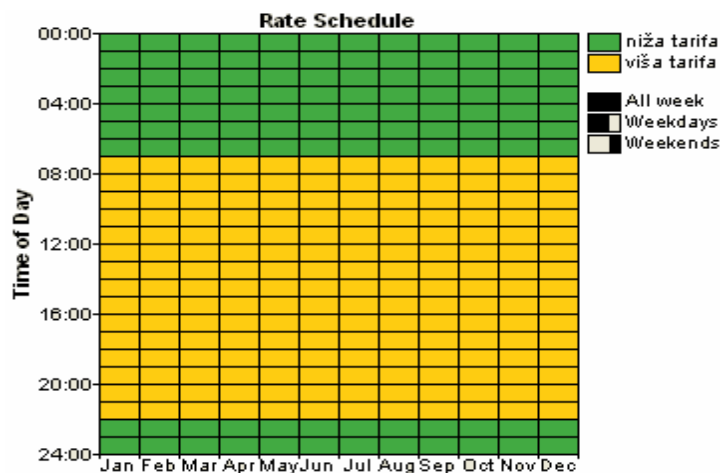
### Tarife

Za označavanje vremenskih perioda u kojima se koriste pojedine tarife moguće je definirati do 16 tarifa i koristiti raspored (dijagram).

Svaka tarifa ima različite vrijednosti slijedećih varijabli, a to su:

- Tarifa zahtjeva (mjesečni zahtjev za električnom energijom na osnovi vršne mjesečne pristojbe koja se plaća komunalnoj službi),
- Cijena energije (energija kupljena iz mreže, izražena u \$/kWh),
- Prodajna tarifa (tarifa koja se odnosi samo na prekomjernu proizvodnju energije u sustavu pri mrežnom mjerenju, i to je cijena koju komunalna služba plaća za kupljenu energiju).

Kod kreiranja novih tarifa uz gore navedene vrijednosti, potrebno je navesti još i oznaku za identifikaciju tarife. U slučaju da se ove tarife nikad ne mijenjaju, potrebno je definiranje samo jedne tarife (to je čest slučaj gdje su stambeni potrošači).



Slika 25. Prikaz tarifa i njihov raspored

Izvor: izradio autor

## **Napredne postavke**

To su postavke koje sadrže dvije dodatne ulazne ekonomske varijable i dvije ulazne varijable koje se odnose na maksimalnu vrijednost snage koje može teći prema i od mreže.

Trošak pripravnosti (izražen u \$) je godišnja pristojba priključnog sustava rezervne energije iz mreže koja se plaća zbog omogućavanja dodatne opskrbe, i taj se trošak ne odnosi na sustave koji su priključeni samo na mrežu.

Trošak međupovezanosti (izražen u \$) je pristojba koja omogućava sustavu da bude priključena na mrežu i samim time se plaća pri spajanju sustava, a taj se trošak ne odnosi na sustave koji su priključeni samo na mrežu.

## **Emisije štetnih plinova**

Za raspoloživu mjernu snagu je potrebno unijeti faktore emisije, a HOMER te podatke koristi za računanje:

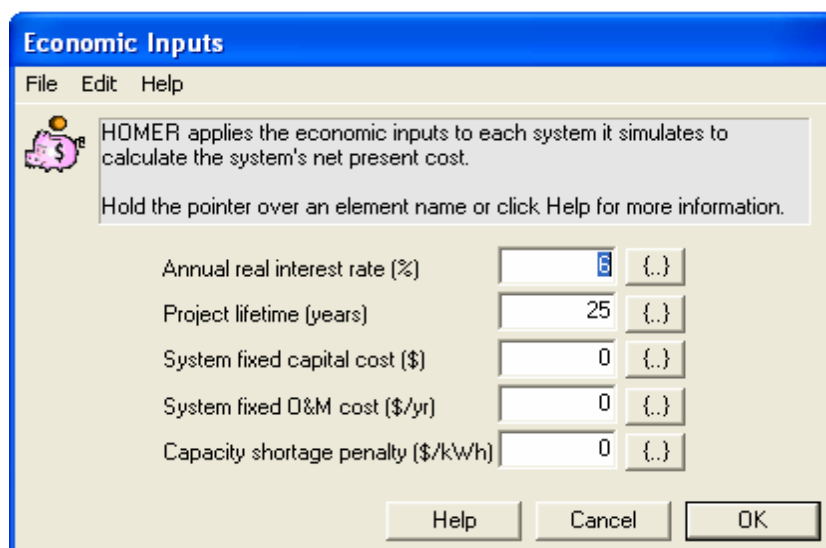
- emisija svakog zagađivača uzrokovane kupovinom energije iz mreže, te
- izbjegnutih emisija svakog zagađivača koje su uzrokovane prodajom energije u mrežu.

U određenoj okolini proizvodnja ovisi o mješavini vrijednosti tih koeficijenata. Ta će vrijednosti biti relativno visoka i to u okolini gdje se većina električne energije proizvodi iz ugljena, jer njegovo sagorijevanje rezultira visokim emisijama štetnih plinova. Prirodni plin rezultira manjim emisijama, a emisije štetnih plinova koje su virtualno jednake samoj nuli su kod nuklearnih i hidroelektrana.

## **5.7. Troškovi**

Homer može računati troškove sa unesenim podacima (npr. godišnja kamatna stopa, životni vijek projekta, fiksni troškovi, »penali» zbog nemogućnosti proizvodnje) za svaki sustav posebno. Na slici 26. vidimo prikaz ekonomskih troškova i samu podjelu od čega se sustav sastoji.





Slika 26. Ekonomski podaci

Izvor: izradio autor

### Godišnja stvarna kamatna stopa

Kamatna stvarna stopa koju unosimo, koristi se za svođenje troškova investicije na godišnje vrijednosti. (oznaka:  $i$ , jedinica: %). Godišnja kamatna stopa je povezana s nominalnom kamatnom stopom:

$$i = \frac{i^{\wedge} - f}{1 + f}$$

gdje je:

$i$  – prava kamatna stopa

$i^{\wedge}$  - nominalna kamatna stopa (kamata na kredit)

$f$  – godišnja inflacijska stopa.

### Početni investicijski trošak

To je ukupni trošak komponenata bez obzira na veličinu sustava (izražen u \$) pri njenom instaliranju u početku projekta.

### Troškovi rada i održavanja

To su troškovi na bazi godišnjih troškova koji se ponavljaju, bez obzira na veličinu sustava. Homer svodi svaku komponentu na godišnju vrijednost tijekom životnog vijeka projekta da bi se izračunali njezini godišnji investicijski troškovi:

$$C_{acap} = C_{cap} \cdot CRF(i, R_{proj})$$

gdje je:

$C_{cap}$  – početni investicijski trošak komponente,

$i$  - kamatna stopa (%),

$R_{proj}$  – životni vijek projekta,

CRF – faktor povratka investicije (omjer trenutne vrijednosti godišnjeg prihoda)

### **Životni vijek projekta**

Životni vijek projekta je vremensko razdoblje na kojem se računa rad, tj. broj godina od kojih se računaju trenutni troškovi sustava na projektu. Homerova glavna ekonomska izlazna veličina je sustav ukupnog trenutnog troška. Zato se svi sustavi, rangirani prema tim troškovima i ostalim ekonomskim izlaznim veličinama računaju s ciljem izračuna ukupnog trenutnog troška sustava:

$$C_{NPC} = C_{ann,tot} / CRF(i, R_{proj})$$

gdje je:

$C_{ann,tot}$  – ukupni godišnji trošak (kWh/god)

CRF – faktor povratka investicije

$i$  - prava kamatna stopa (%)

$R_{proj}$  – životni vijek projekta.

### **"Penali" zbog nemogućnosti proizvodnje**

"Penali" se zbog nemogućnosti proizvodnje energije manifestiraju kao trošak, pa HOMER uzima u obzir svaki nedostatak energije koji se dogodi tijekom godine.

## 5.8. Emisija štetnih plinova

Troškovi nastaju kao rezultati «penala» zbog emisije štetnih tvari te se pojavljuju kao preostali troškovi rada i održavanja (uspoređuju se s troškovima različitih izvora - generatora). Npr. može se zamisliti sustav koji sadrži dva generatora čije su identične karakteristike, ali da jedan ima veću emisiju NO<sub>x</sub>-a. Ako se uzme u obzir da postoje «penali» za emisiju NO<sub>x</sub>-a, HOMER bi tada morao izabrati između ova dva generatora, i to onaj sa manjom emisijom NO<sub>x</sub>-a.

U HOMER-u se mogu unijeti kazne ("penali"), posebno za svaku za emisiju šest zagađivača:

- Ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>) – neotrovan staklenički plin,
- Ugljični monoksid (CO) – otrovan plin proizveden nepotpunim sagorijevanjem ugljika u gorivima,
- Neizgoreni ugljikohidrati (UHC) – proizveden nepotpunim izgaranjem ugljikohidratnih goriva,
- Sitne čestice (PM) – čađe, smjese dima, tekuće kapljice,
- Sumporni dioksid (SO<sub>2</sub>) – korozivni plin,
- Dušični oksidi (NO<sub>x</sub>) – dušični oksid (NO<sub>2</sub>) i dušični monoksid (NO) nastaju pri spaljivanju goriva na visokim temperaturama i stvaraju efekt "kisele kiše".

| Emissions penalties          |   |    |
|------------------------------|---|----|
| Carbon dioxide (\$/t)        | 0 | {} |
| Carbon monoxide (\$/t)       | 0 | {} |
| Unburned hydrocarbons (\$/t) | 0 | {} |
| Particulate matter (\$/t)    | 0 | {} |
| Sulfur dioxide (\$/t)        | 0 | {} |
| Nitrogen oxides (\$/t)       | 0 | {} |

| Limits on emissions                                    |   |    |
|--|---|----|
| <input type="checkbox"/> Carbon dioxide (kg/yr)        | 0 | {} |
| <input type="checkbox"/> Carbon monoxide (kg/yr)       | 0 | {} |
| <input type="checkbox"/> Unburned hydrocarbons (kg/yr) | 0 | {} |
| <input type="checkbox"/> Particulate matter (kg/yr)    | 0 | {} |
| <input type="checkbox"/> Sulfur dioxide (kg/yr)        | 0 | {} |
| <input type="checkbox"/> Nitrogen oxides (kg/yr)       | 0 | {} |

Slika 27. Emisija štetnih plinova

Izvor: izradio autor

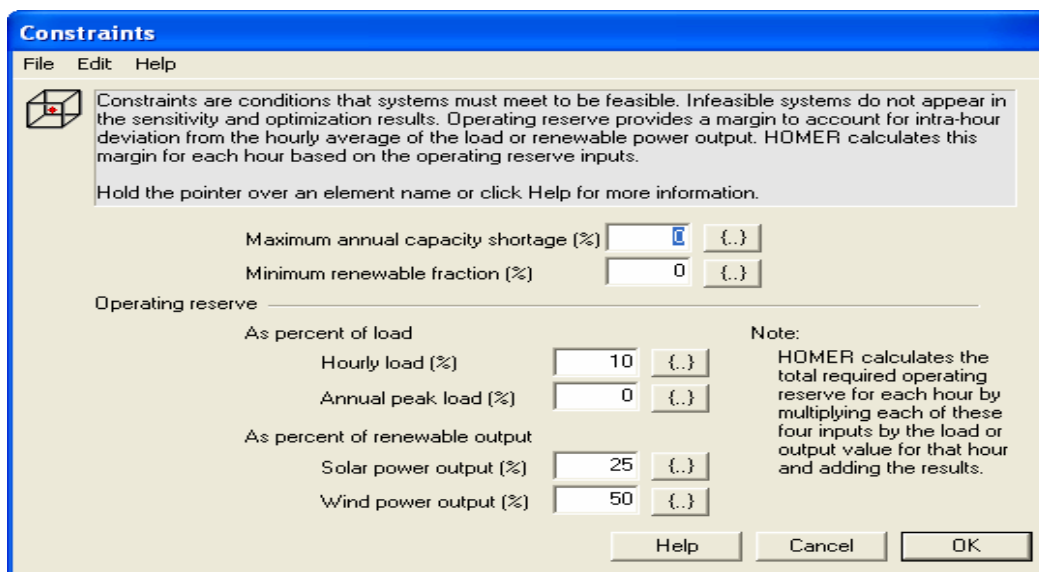
Emisije ovih zagađivača su rezultat:

- potrošnje električne energije iz mreže,
- proizvodnje električne energije pomoću agregata,
- proizvodnje toplinske energije pomoću parnog kotla.

HOMER slično modelira emisije agregata i parnog kotla, pa se koriste goriva poznatih svojstava i zbog toga je mreža različito modedirana u maloj mjeri.

## 5.9. Ograničenja sustava

Uvjeti rada sustava su stanja i zahtjevi koje sustav mora zadovoljiti. Homer odbacuje sustave koji ne zadovoljavaju određene uvjete, pa se oni ne pojavljuju među mogućim rezultatima (kombinacijama sustava).



Slika 28. Ograničenja sustava

Izvor: izradio autor

## Maksimalni godišnji nedostatak snage

Maksimalni godišnji nedostatak snage (u %) je maksimalna dopuštena vrijednost omjera ukupnog godišnjeg manjka snage podijeljenog sa ukupnim električnim teretom. Ako je omjer jednak ili manji maksimalnom godišnjem manjku snage onda se sustav smatra prihvatljivim.

$$f_{CS} = E_{SC} / E_{tot}$$

gdje je:

$E_{CS}$  – ukupni nedostatak snage (kWh/god)

$E_{tot}$  – ukupni električni teret (kWh/god)

### **Minimalni udio obnovljivih izvora**

Program računa udio obnovljivih izvora tako da podjeli ukupno proizvedenu godišnju energiju iz obnovljivih izvora (vjetroturbine, hidroturbine, fotoelektrična pretvorba, energija iz biomase) sa ukupno proizvedenom godišnjom energijom energijom:

$$f_{ren} = E_{ren} + H_{ren} / E_{tot} + H_{tot}$$

gdje je:

$E_{ren}$  - proizvedena električna energija iz obnovljivih izvora (kWh)

$H_{ren}$  - proizvedena toplinska energija iz obnovljivih izvora (kWh)

$E_{tot}$  - ukupno proizvedena električna energija (kWh)

$H_{tot}$  - ukupno proizvedena toplinska energija (kWh)

### **Potrebna rotirajuća rezerva**

Rotirajuća rezerva je višak radne snage u slučaju da teret naglo poraste ili da izlazna snaga obnovljivog izvora naglo padne, pa se time osigurava pouzdana električna opskrba. Potrebna rotirajuća rezerva je minimalna rotirajuća rezerva koju sustav mora osigurati. Promjene električnog opterećenja nije lako predvidjeti te zbog toga energetske sustavi uvijek moraju imati određenu rotirajuću rezervu.

Bez potrebne rotirajuće rezerve došlo bi do kolapsa i opterećenje bi prerاسlo proizvodnju.

HOMER definira potrebnu količinu rotirajuće rezerve koristeći četiri ulazne veličine, i to dvije povezane s promjenama izlazne snage obnovljivih izvora energije i dvije povezane s promjenama električnog opterećenja.

## **6. MOGUĆNOST PRIMJENE PROGRAMA HOMER U PODRUČJU ENERGIJE BIOMASE**

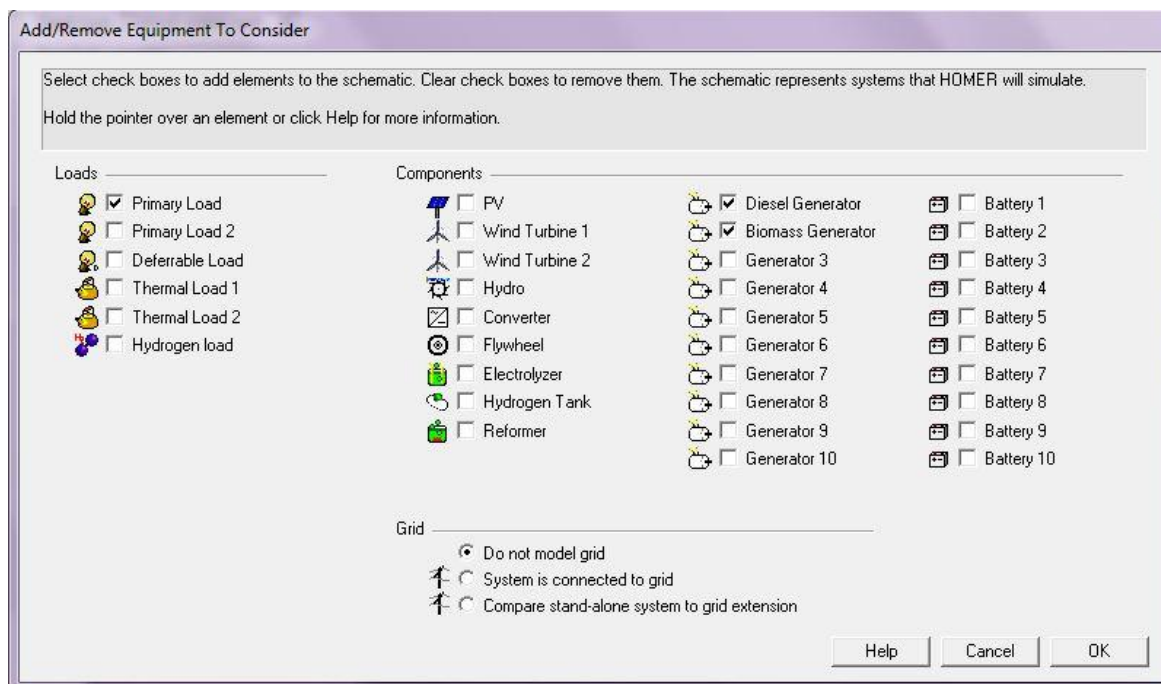
Računalni optimizirajući program Homer može modelirati biomasu na dva načina:

- Ako je opskrba sirovinom biomase u izobilju tijekom cijele godine, najjednostavnija stvar za napraviti je jednostavno definirati vlastito gorivo za predstavljanje biomase. Na primjer, može se definirati gorivo pod nazivom "odlagališni plin" sa sadržajem ugljika nula (ili manje od nule, ako se želi opravdati izbjegavanje emisije metana i njihovog posljedičnog stakleničkog efekta), a zatim odrediti da generator troši to gorivo. Pomoću generatorove dvije krivulje ulaza goriva (nagib i presretanje) može se odrediti koliko učinkovito generator sagorijeva gorivo.
- Ako je opskrba biomasom imalo ograničena, treba se odabrati bioplin iz popisa goriva za određeni generatora. U tom slučaju resurs biomase će se pojaviti u shematici. Dostupnost sirovine se može naznačiti po mjesečnoj osnovi ili po satu.

Slijedi primjer modela modularnog napajanja biomasom u usporedbi s korištenjem konvencionalnog dizel goriva.

U ovom slučaju generator biomase koristi samo bioplin kao gorivo, ali je isto tako moguće da generator sagorijeva mješavinu bioplina i konvencionalna goriva poput dizela.

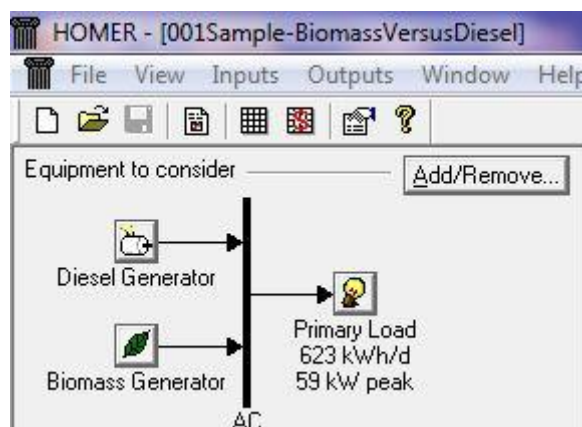
Prvi korak je unos i dodavanje elemenata (opterećenja, komponenata i mogućnosti spajanja s mrežom) u shematiku koja će predstavljati sustav koji HOMER simulira. Slika 28. prikazuje unos navedenih elemenata. Odabrano je primarno opterećenje, dizelski generator i generator na biomasu te je odabrana opcija nespajanja na mrežu.



Slika 29. Odabir elemenata u shematiku

Izvor: izradio autor

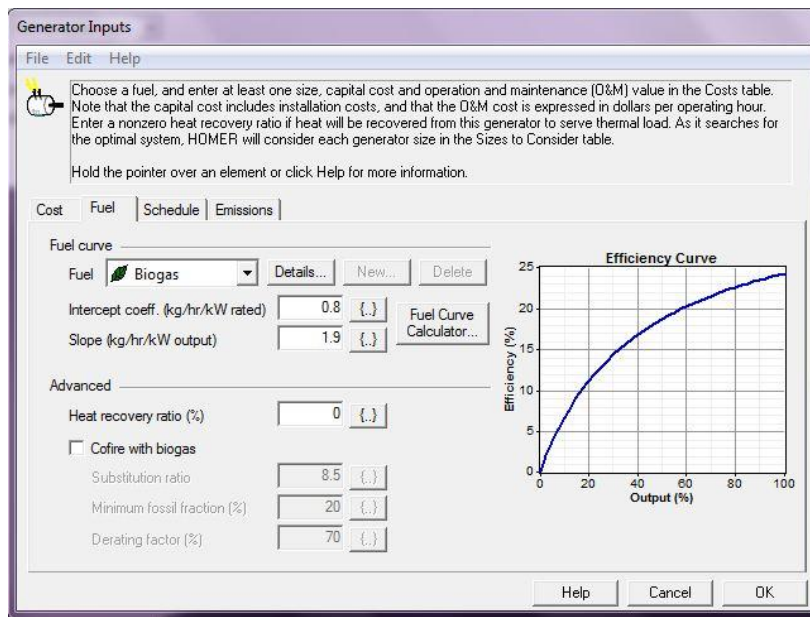
Unešene komponente prikazuju se na shematici (Slika 30.) gdje se vidi ukupni procesni sustav kojeg smo odabrali.



Slika 30. Shematika procesnog sustava

Izvor: izradio autor

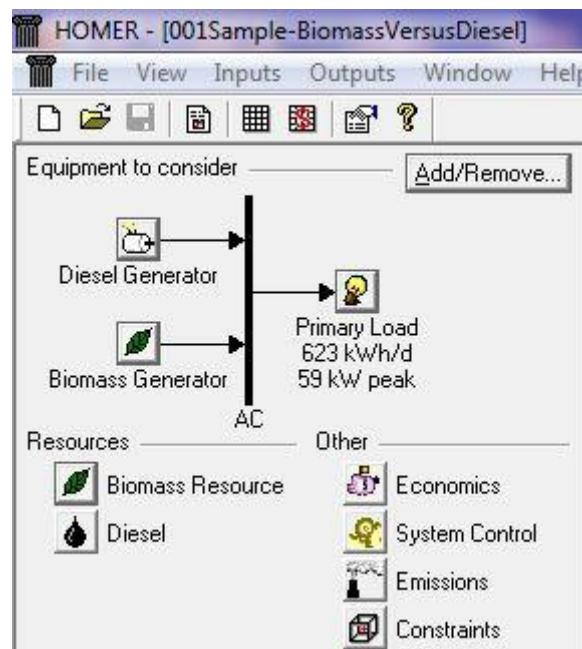
Nakon dobivene sheme ulazi se svaki posebni prozor komponente gdje se zadaju parametri, poput troška, goriva, rasporeda rada i emisije štetnih plinova (Slika 31.).



Slika 31. Parametri generatora

Izvor: izradio autor

Zadavanjem parametara ispod shematike (slika 32.) pojavljuju se odabrani resursi koji pokreću generatore i cjelokupni sustav, a to su u ovom slučaju biomasa i dizel. Isto tako, pojavljuju se i ostale informacije, poput ekonomičnosti, kontole, emisije štetnih plinova i ograničenja sustava.



Slika 32. Odabrani resursi

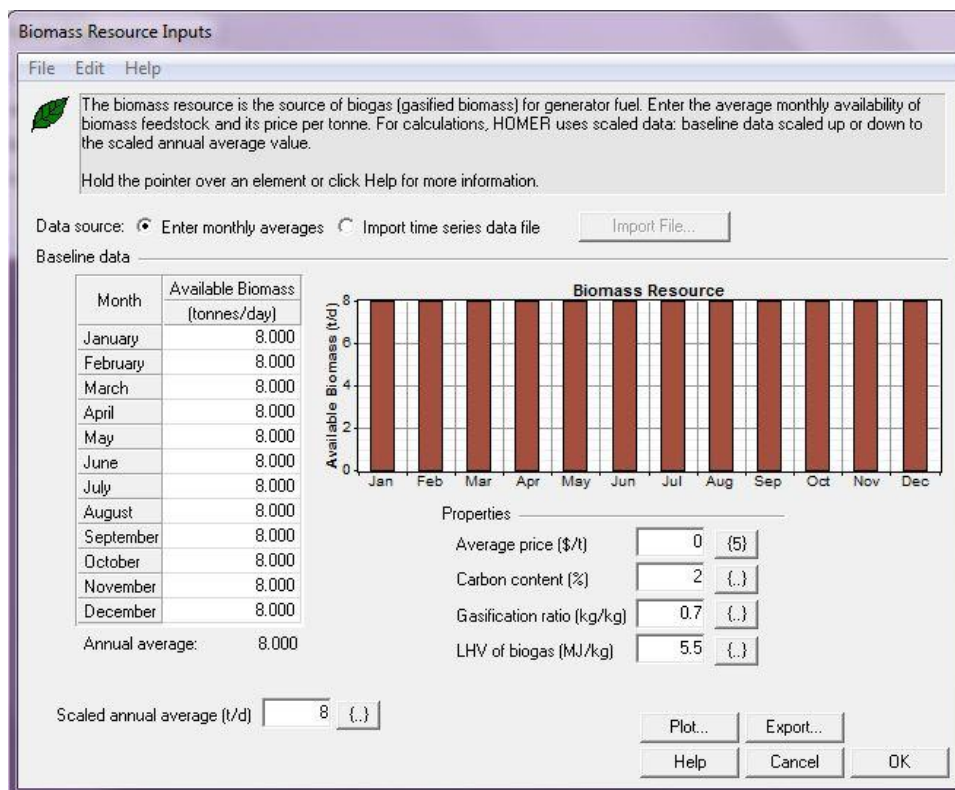
Izvor: izradio autor



Resurs biomase je izvor bioplina (biomase u plinovitom stanju) za gorivo generatora. Ovdje je potrebno unijeti cijenu goriva i maksimalnu godišnju potrošnju, ako postoji ograničenje. Homer može kreirati te podatke ili je moguć unos iz vanjskog dokumenta. Da bi kreirali podatke, potrebno je unijeti 12 prosječnih vrijednosti raspoloživosti biomase, po jednu za svaki mjesec u godini. Unosi se prosječna mjesečna vrijednost, u tonama po danu, u odgovarajući red u tablici.

Homer pretpostavlja da biomasa ulazi u digester iz kojega dobivamo bioplin. Jedan ili više agregata tada koriste bioplin te proizvode električnu energiju (i toplinu). Ovdje je potrebno unijeti podatke o raspoloživosti biomase, u za to predviđenoj tablici, da bi Homer mogao izračunati (za svaki sat u godini) količinu bioplina s kojom digester opskrbljuje generator(e) koji koriste bioplin kao gorivo.

Osnovne podatke predstavlja niz od 8760 vrijednosti za prosječnu raspoloživost biomase, izražene u kg, za svaki sat u godini. Homer prikazuje izračunate srednje mjesečne vrijednosti u za to predviđenoj tablici i grafu.



Slika 33. Prikaz mjesečnih prosjeka raspoloživosti biomase

Izvor: izradio autor

Veličine potrebne za biomasu:

- Prosječna cijena - po toni zalihe biomase (jedinica: \$/t; oznaka: cbio),
- Udio ugljika - u zalihi biomase kao postotak ukupne mase (jedinica: %; oznaka: kbio).  
Služi za računanje emisija CO<sub>2</sub> i CO i neizgorenih ugljikohidrata,
- Omjer plin/masa - omjer bioplina nastalog od biomase u digestoru,
- Donja ogrjevna vrijednost - energija sadržana u bioplinu proizvedena iz digestora.

Nakon unošenja svih podataka u sustav odabire se opcija „Kalkulirati“, te HOMER automatski, uzimajući u obzir unijete podatke, prikazuje konačan optimizacijski rezultat (Slika 34.). Varijable osjetljivosti (sensitivity variables) se mogu mijenjati, i u ovom slučaju je odabrana cijena biomase od 20 \$/t i dizela od 0,8 \$/L. Rezultat pokazuje veću isplativost korištenja biomase nego dizel goriva. Za isti vremenski period (8,760 sati, odnosno 1 godina) da bi se dobila ista snaga (60 kW), operativni troškovi su u prosjeku 60,937 \$ na godinu za biomasu, a 95,917 \$ na godinu za dizel. Ukupni neto trošak za biomasu je 838,977 \$, a za dizel 1,247,645 \$. Početni kapital za biomasu je 60,000 \$, a za dizel 21,500 \$, no ta razlika od 38,500 \$ je zanemariva kada se uzme u obzir isplativost biomase u smislu puno manjeg ukupnog neto troška (razlika je 408,668 \$ u korist biomase).

Calculate      Simulations: 3 of 3      Progress:       Status: Completed in 4 seconds.  
Sensitivities: 35 of 35

Sensitivity Results    Optimization Results

Sensitivity variables

Biomass Price (\$/t)     Diesel Price (\$/L)

Double click on a system below for simulation results.

|  | Dsl (kW) | Bio (kW) | Initial Capital | Operating Cost (\$/yr) | Total NPC    | COE (\$/kWh) | Ren. Frac. | Diesel (L) | Biomass (t) | Dsl (hrs) | Bio (hrs) |
|--|----------|----------|-----------------|------------------------|--------------|--------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|
|  |          | 60       | \$ 60,000       | 60,937                 | \$ 838,977   | 0.289        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
|  |          | 60       | \$ 21,500       | 95,917                 | \$ 1,247,645 | 0.429        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |

Slika 34. Konačan optimizacijski rezultat

Izvor: izradio autor

Program nudi i tablični detaljniji prikaz gdje se vide različiti unosi cijene dizelnog goriva i goriva iz biomase i prema tome i različiti troškovi početnog kapitala, prosječnog operativnog troška i ukupnog neto troška.

| Sensitivity Results                                      |               | Optimization Results |  |          |          |                 |                        |            |              |            |            |             |           |           |
|--|---------------|----------------------|--|----------|----------|-----------------|------------------------|------------|--------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|
| Double click on a system below for optimization results. |               |                      |  |          |          |                 |                        |            |              |            |            |             |           |           |
| Biomass Price (\$/t)                                     | Diesel (\$/L) |                      |  | Dsl (kW) | Bio (kW) | Initial Capital | Operating Cost (\$/yr) | Total NPC  | COE (\$/kWh) | Ren. Frac. | Diesel (L) | Biomass (t) | Dsl (hrs) | Bio (hrs) |
| 0.000  | 0.200         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 36,229                 | \$ 484,627 | 0.167        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 0.000  | 0.300         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 36,452                 | \$ 525,979 | 0.181        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 0.000  | 0.400         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 36,452                 | \$ 525,979 | 0.181        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 0.000  | 0.500         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 36,452                 | \$ 525,979 | 0.181        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 0.000  | 0.600         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 36,452                 | \$ 525,979 | 0.181        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 0.000  | 0.700         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 36,452                 | \$ 525,979 | 0.181        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 0.000  | 0.800         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 36,452                 | \$ 525,979 | 0.181        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 10.000   | 0.200         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 36,229                 | \$ 484,627 | 0.167        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 10.000   | 0.300         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 46,177                 | \$ 611,797 | 0.210        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 10.000   | 0.400         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 48,694                 | \$ 682,478 | 0.235        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 10.000   | 0.500         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 48,694                 | \$ 682,478 | 0.235        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 10.000   | 0.600         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 48,694                 | \$ 682,478 | 0.235        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 10.000   | 0.700         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 48,694                 | \$ 682,478 | 0.235        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 10.000   | 0.800         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 48,694                 | \$ 682,478 | 0.235        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 20.000   | 0.200         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 36,229                 | \$ 484,627 | 0.167        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 20.000   | 0.300         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 46,177                 | \$ 611,797 | 0.210        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 20.000   | 0.400         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 56,125                 | \$ 738,966 | 0.254        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 20.000   | 0.500         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 60,937                 | \$ 838,977 | 0.289        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 20.000   | 0.600         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 60,937                 | \$ 838,977 | 0.289        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 20.000   | 0.700         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 60,937                 | \$ 838,977 | 0.289        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 20.000   | 0.800         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 60,937                 | \$ 838,977 | 0.289        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 30.000   | 0.200         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 36,229                 | \$ 484,627 | 0.167        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 30.000   | 0.300         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 46,177                 | \$ 611,797 | 0.210        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 30.000   | 0.400         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 56,125                 | \$ 738,966 | 0.254        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 30.000   | 0.500         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 66,073                 | \$ 866,136 | 0.298        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 30.000   | 0.600         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 76,021                 | \$ 993,306 | 0.342        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 30.000   | 0.700         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 73,179                 | \$ 995,475 | 0.342        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 30.000   | 0.800         |                      |  |          | 60       | \$ 60,000       | 73,179                 | \$ 995,475 | 0.342        | 1.00       |            | 1,224       |           | 8,760     |
| 40.000   | 0.200         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 36,229                 | \$ 484,627 | 0.167        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |
| 40.000   | 0.300         |                      |  | 60       |          | \$ 21,500       | 46,177                 | \$ 611,797 | 0.210        | 0.00       | 99,481     |             | 8,760     |           |

Slika 35. Detaljniji prikaz optimizacijskih rezultata

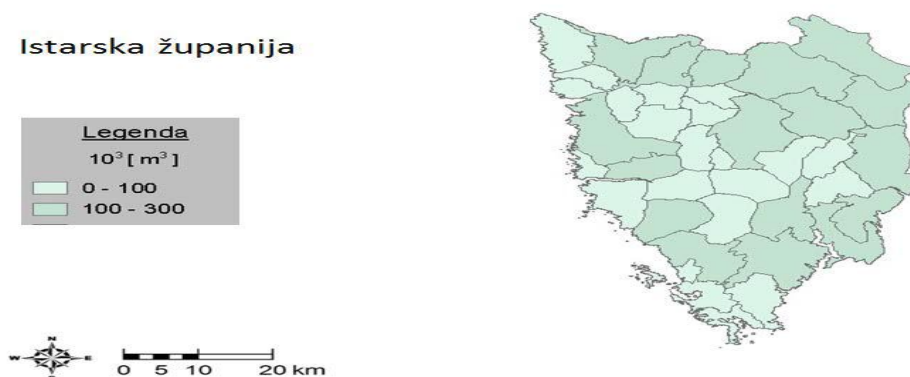
Izvor: izradio autor

## 7. POTENCIJALI PROIZVODNJE ENERGIJE IZ BIOMASE U ISTARSKOJ ŽUPANIJI

Razne sprovedene studije i rezultati energentskih institucija na temelju istraživanja u vezi obnovljivih izvora došli su do zaključka da Istarska županija ima puno potencijala i mogućnost iskorištavanja energije sa stajališta konačnog proizvoda iz biomase (misleći na proizvodnju toplinske i električne energije te goriva za prijevoz). Ti potencijali podilaze iz šumske biomase (gospodarenje šumama), poljoprivredne biomase (ratarstvo i stočarstvo), te iz biograzgradivih dijela komunalnog otpada. Osim navedenih, tu su značajni potencijali iz drveno i prehrambeno-prerađivačke industrije za čiju kvantifikaciju bi bile potrebne još detaljnije studije.

### Biomasa iz šumarstva

Prema Prostornom planu Istarske županije šume zauzimaju površinu od 143.496 ha. Šumska namjena je u najvećoj mjeri gospodarska. Prema strukturi vlasništva, u privatnom posjedu se nalazi preko 58% površina šuma, a svega oko 42% je u državnom vlasništvu. Najveći dio Županije prekrivaju niske šume, poznate pod nazivom panjače te degradacijski stupnjevi istih. Oko 15% površina Županije obraslo je visokim šumama, gdje je najviše umjetno podignutih raznih vrsta borova i drugih četinjača. Uglavnom su zastupljene bukve na obroncima Ćićarije i Učke, hrast lužnjak i poljski jasen u dolini rijeke Mirne, a manjim djelom listače.



Slika 36. Prikaz raspodjele ukupnih drvnih zaliha na području Istarske županije

Izvor: Fištrek, Ž.: *Potencijali energije biomase u Istarskoj, Primorsko-goranskoj i Ličko-senjskoj županiji*, 20.02.2014.

Teoretski potencijal na određenom području koji se izračunava kao umnožak ukupne drvene biomase (kg) i ogrjevne vrijednosti biomase (MJ/kg) je ukupni raspoloživi energetska potencijal drvene biomase na kao što je prikazano u tablici 7.

Tablica 7. Teoretski potencijal proizvodnje energije iz drvene biomase u Istarskoj županiji

| Ukupna drvena zaliha (m <sup>3</sup> ) | Ukupni godišnji prirast (m <sup>3</sup> ) | Godišnji etat prostornog drva (uključujući četinjače) (m <sup>3</sup> ) |                 | Teoretski energetska potencijal godišnjeg etata prostornog drva (uključujući četinjače) |     |                 |    |
|--|---|---|-----------------|---|-----|-----------------|----|
|  |   |   |                 | Planirana sječa   |     | Ostvarena sječa |    |
|  |   | Planirana sječa   | Ostvarena sječa | GWh   | TJ  | GWh             | TJ |
| 3.791.746                              | 109.243                                   | 18.374  | 6.811           | 40  | 144 | 16              | 57 |

Izvor: Fištrek, Ž.: *Potencijali energije biomase u Istarskoj, Primorsko-goranskoj i Ličko-senjskoj županiji*

Kao što se vidi iz prethodne tablice, energetska potencijal prostornog drva (industrijsko i ogrjevno drvo) koji iznosi 144 TJ godišnje, moguće je iskorištavati za energetske potrebe. U 2007. godini ostvareni etat prostornog drva iznosio je 6.811m<sup>3</sup> (57 TJ) što čini oko 37% mogućeg godišnjeg etata. Udio prostornog drva koji bi bio raspoloživ za iskorištavanje u energetske svrhe, ovisi uglavnom o tržištu drvnih sortimenata, tj. cijenama sirovine potrebne za potrošače kao što su industrija papira, ploča i celuloze.

Sav taj prikazani energetska potencijal prikazan u tablici predstavlja teoretski potencijal. Razina praktičnog iskorištavanja (tehnički potencijal) ovisit će o učinkovitosti postrojenja za proizvodnju korisne energije (kogeneracijska postrojenja, peći, toplane, elektrane).

## **Biomasa iz poljoprivrede**

Poljoprivredna biomasa vrlo je raznolika i povoljna za proizvodnju energije, a njezine poljoprivredne grane mogu se podijeliti u sljedeće kategorije:

- Stočarstvo (gnojovka i stajski gnoj),
- Ratarstvo (energetske kulture na bazi jednogodišnjeg i višegodišnjeg rasta, ostaci nakon povrtlarstva ili žrtva),
- Višegodišnji nasadi (ostali drvni ostaci nakon redovitog održavanja višegodišnjih nasada kao što su voćnjaci, vinogradi, maslinici, ostatci granja i energetske nasadi).

Najčešći primjeri derivata poljoprivredne biomase su briketi, peleti, bioplin te biogoriva.

Analiziranjem potencijala Istarske županije, moguće je iskorištavanje stajskog gnoja (perad, goveda, svinje) radi proizvodnje bioplina i uzgoj energetske kulture na raspoloživim poljoprivrednim površinama za proizvodnju biodizela i bioetanola. Razmotreni su potencijali stajskog gnoja pa je moguća proizvodnja bioplina monodigestijom i kodigestijom s kukuruznom silažom, pretpostavkom masenog udjela kukuruzne silaže u supstratu od 30%. Prioriteti su dani proizvodnjom bioplina stajskog gnoja jer se time istovremeno rješavaju problemi zbrinjavanja koji je prihvatljiv za okoliš i u skladu s dobrom poljoprivrednom praksom.

U analizi su primijenjeni i kriteriji održivosti koji uključuju:

- Površine energetske kulture kao što su pašnjaci ili travnjaci izuzete su iz poljoprivrednih površina koje su raspoložive za proizvodnju kukuruzne silaže zbog njihovog značaja za očuvanje biološke raznolikosti,
- Osiguravanje površina za proizvodnju hrane (0,16 ha po čovjeku), pa se uzima u obzir da županija mora hraniti udio stanovništva razmjerni udjelu njihovih poljoprivrednih površina.

Prema podacima iz digitalne baze podataka CORINE (Land Cover Hrvatske), Istarska županija zauzima 113.720 ha poljoprivredne površine. Na slici 37. je prikazan zemljišni pokrov i namjene korištenja zemljišta Istarske županije.

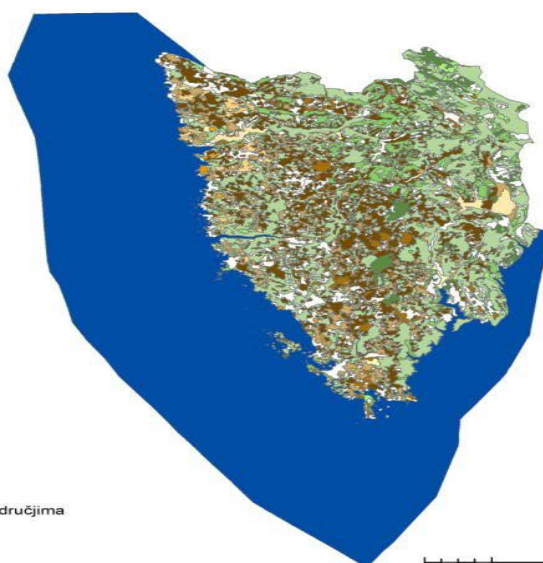


## Istarska županija

| Županija       | Istarska  |
|----------------|-----------|
| Br. Stanovnika | 206.344   |
| 211 [ha]       | 2.254,99  |
| 212 [ha]       | 3.286,73  |
| 221 [ha]       | 4.389,66  |
| 222 [ha]       | 880,33    |
| 223 [ha]       | 487,26    |
| 231 [ha]       | 8.114,06  |
| 242 [ha]       | 24.405,07 |
| 243 [ha]       | 61.743,78 |
| 311 [ha]       | 99.760,06 |
| 312 [ha]       | 3.973,45  |
| 313 [ha]       | 22.009,37 |
| 321 [ha]       | 8.158,43  |

### Legend

|   |  |
|---|--|
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:yellow; border:1px solid black;"></span>       | 211 - Nenavodnjavano obradivo zemljište                  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:orange; border:1px solid black;"></span>       | 212 - Stalno navodnjavano zemljište                      |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:gold; border:1px solid black;"></span>         | 221 - Vinogradi  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:yelloworange; border:1px solid black;"></span> | 222 - Voćnjaci   |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:orangeyellow; border:1px solid black;"></span> | 223 - Maslinici  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:orange; border:1px solid black;"></span>       | 231 - Pašnjaci   |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:lightorange; border:1px solid black;"></span>  | 242 - Kompleks kultiviranih parcela                      |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:lightyellow; border:1px solid black;"></span>  | 243 - Pretežno poljodjelska zemljišta s većim područjima |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:lightgreen; border:1px solid black;"></span>   | 311 - Bjelogorična šuma                                  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:yellowgreen; border:1px solid black;"></span>  | 312 - Crnogorična šuma                                   |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:lightgreen; border:1px solid black;"></span>   | 313 - Mješovita šuma                                     |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:yellowgreen; border:1px solid black;"></span>  | 321 - Prirodni travnjaci                                 |



Slika 37. Karta zemljišnog pokrova i namjene korištenja zemljišta Istarske županije

Izvor: Fištrek, Ž.: *Potencijali energije biomase u Istarskoj, Primorsko-goranskoj i Ličko-senjskoj županiji*, 22.02.2014.

Poljoprivredno zemljište sastoji se od 76.312 ha ukupne obradive površine s većinskim udjelom oranica te livada i vrtova. Stočarska proizvodnja ima pokazatelj tendencije pada, a misli se na proizvodnju mesa, ukupnog broja jedinki životinja te drugih životinjskih proizvoda osim u preradarstvu. Također na području Istarske županije zamjećuju se značajne površine vinograda, maslinika i voćnjaka. Rezidbom tih kultura koje se uzgajaju na navedenim površinama, nastaju određene količine drvene biomase koje je moguće iskoristiti u energetske svrhe.

### Tekuća biogoriva

Tekuća biogoriva su goriva proizvedena iz biomase za pogon motornih vozila, i koriste se kao čista ili mješavina s dizelskim gorivom, odnosno motornim benzinom. Za područje Istarske županije razmotrili su se samo uljane repice i kukuruz kao sirovine za proizvodnju biodizela ili bioetanola, iako se zna da postoje druge sirovine poput šećerne repe i soje.

Prinosima po hektaru, te poznavajući raspoloživost poljoprivrednih površina za energetske usjeve (prilikom zadovoljavanja kriterija održivosti i eliminacije površina potrebne za uzgoj

kukurza za proizvodnju bioplina), može se izračunati potencijalna količina biogoriva i energetske potencijal za svaku kulturu, koje je prikazano u tablici 8.

Tablica 8. Potencijali proizvodnje biogoriva na području Istarske županije na godišnjoj razini

| Sirovina         | Masa sirovine<br>(t) * | Količina<br>biogoriva (t) | Energetska<br>vrijednost (GJ/t) | Teoretski energetske<br>potencijal (TJ/god) |
|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|---|
| <b>Bioetanol</b> |                        |                           |                                 |   |
| kukuruz (s.v)**  | 281.571                | 84.715                    | 27                              | 2.287                                       |
| <b>Biodizel</b>  |                        |                           |                                 |   |
| uljna repica     | 124.082                | 50.646                    | 37                              | 1.874                                       |

Izvor: Fištrek, Ž.: *Potencijali energije biomase u Istarskoj, Primorsko-goranskoj i Ličko-senjskoj županiji*

\* Izračun se temelji na podacima o prosječnim prinosima kultura iz *Statističkih ljetopisa Republike Hrvatske* za razdoblje od 2006. do 2008. godine te podacima o raspoloživom poljoprivrednom zemljištu za uzgoj energetskih kultura,

\*\* s.v.- srednja vrijednost između postupka suhog mljevenja (s.m) i postupka mokrog mljevenja (m.m)

Iz tablice se vidi da ukoliko se 68.117 ha raspoloživo poljoprivredno zemljište angažira za proizvodnju jedne od navedenih kultura, mogla bi se proizvesti dovoljna količina biodizela odnosno bioetanol energetske vrijednosti (1.874 GJ za biodizel i 2.287 GJ za bioetanol godišnje). Trebalo bi imati na umu da prikazani potencijali biogoriva vrijede samo u slučaju kada se proizvodi samo iz jedne sirovine, tj. jedna vrsta biogoriva ( bioetanol ili biodizel), odnosno da se zasadi jedna kultura na ukupnom raspoloživom zemljištu za neprehrambene namjene. U praksi radi plodoreda koji je obavezan u proizvodnji razmatranih kultura te radi korištenja takvog zemljišta i za druge svrhe, takav scenarij nije realan.

Realno se može pretpostaviti da bi za proizvodnju energetskih kultura bilo moguće angažirati oko 20% poljoprivrednog zemljišta raspoloživog za neprehrambene namjene. Na području Istarske županije nisu optimalni klimatski uvjeti i struktura tla za kultiviranje energetskih kultura, što se vidi po niskim prinosima po hektaru koji su ispod prosjeka Hrvatske. Uzgoj energetskih kultura ima posljedica toga što zahtjeva znatne količine vode koja je vrijedan resurs, ali ipak nije toliko obilan na području Mediterana.



## Bioplin

Za proizvodnju bioplina, pretpostavljeno je iskorištavanje ukupne količine stajskog gnoja koji nastaje na farmama u Županiji. Tehnički potencijal, tj. razina praktičnog iskorištavanja tog potencijala ovisi o veličini farme i načinu uzgoja u stočarstvu, agrotehničke ratarske mjere te učinkovitosti postrojenja za proizvodnju korisne energije. Na temelju podataka o broju uvjetnih grla goveda, svinja i peradi izračunata je količina otpada iz stočarstva koji nastaje na godišnjoj razini, a dobiveni teoretski energetska potencijal prikazan je u tablici 9.

Tablica 9. Energetski potencijal proizvodnje bioplina u Istarskoj županiji na godišnjoj razini

| Sirovina  | Raspoloživost stajskog gnoja (t/god)*            | Teoretski energetska potencijal (MWh/god) | Teoretski energetska potencijal (KJ/god) |
|---|--|---|--|
| Proizvodnja bioplina u monodigestiji  |  |   |  |
| Goveđi stajski gnoj   | 48.109   | 26.949                                    | 97                                       |
| Gnoj peradi   | 14.109   | 13.908                                    | 50                                       |
| Svinjski stajski gnoj   | 9.989  | 1.664                                     | 6  |
| Proizvodnja bioplina u kodigestiji skukuruznom silažom (maseni udio silaže 30%) |  |   |  |
| Sirovina  | Površina potrebna za uzgoj kukuruzne silaže (ha) | Teoretski energetska potencijal (MWh/god) | Teoretski energetska potencijal (KJ/god) |
| Goveđi stajski gnoj + silaža  | 625  | 48.721                                    | 175                                      |
| Gnoj peradi + silaža  | 180  | 20.237                                    | 73                                       |
| Svinjski stajski gnoj + silaža  | 127  | 6.103                                     | 22                                       |

Izvor: Fištrek, Ž.: *Potencijali energije biomase u Istarskoj, Primorsko-goranskoj i Ličko-senjskoj županiji*

\* Izračun se temelji na podacima o broju životinja iz *Statističkih ljetopisa Republike Hrvatske* za razdoblje od 2007. do 2009. godine

Iz tablice je vidljivo da se u slučaju proizvodnje bioplina iz raspoloživog stajskog gnoja, moglo proizvesti bioplin ukupne energetske vrijednosti 153 TJ (u slučaju proizvodnje u monodigestiji) iz stočarske proizvodnje na godišnjoj razini. Energetska vrijednost bioplina bi iznosila 270 TJ/god, i to kad bi se ista količina stajskog gnoja koristila za proizvodnju bioplina u kodigestiji s kukuruznom silažom. U tom slučaju za proizvodnju kukuruzne silaže, bilo bi potrebno angažirati 932 ha poljoprivrednog zemljišta.

Sukladno „Strategiji energetske razvoja Republike Hrvatske“ i pretpostavkom okrupnjavanja stočarske proizvodnje te da se uzme u obzir postojeća praksa u poljoprivredi, može se procijeniti da bi se oko 20% teoretskog potencijala moglo iskoristiti za proizvodnju obnovljive energije. Dostupnost same sirovine je pod upitom zbog već spomenutog smanjenja stočarske proizvodnje u Istarskoj županiji, dok sa druge strane sirovine iz peradarstva drže stabilan trend što bi moglo pogodovati iskorištavanju i proizvodnji energije. Kad bi se osigurale dovoljne površine za uzgoj kukuruzne silaže i dovoljna količina stajskog gnoja, proizvodnja bioplina bi predstavljala povoljan scenarij (iz stajskog gnoja u kodigestiji s kukuruznom silažom), u slučaju da nije moguće koristiti otpadne sirovine, npr. klaonički otpad, ostatke iz prehrambene industrije i sl.

## Biomasa iz otpada

Iz Registra otpada „Agencije za zaštitu okoliša“ na osnovu raspoloživih podataka dobiveni su rezultati potencijalnog iskorištavanja energije iz otpada. Radi se o prijavljenim količinama pojedinih vrsta otpada, ali se ipak pretpostavlja da su stvarne količine veće. Osim toga, prijavljeni otpad već ima svoje tokove koji znatno utječu na raspoloživost otpada kao sirovine za energetske svrhe.

Tablica 10. Teoretski energetske potencijali dobiveni iz biorazgradive komponente komunalnog otpada na području Istarske županije

| <b>Biorazgradiva komponenta komunalnog otpada</b> | <b>Raspoloživost otpada (t/god)*</b> | <b>Teoretski energetske potencijal (MWh/god)</b> | <b>Teoretski energetske potencijal (TJ/god)</b> |
|---|--------------------------------------|--|---|
|   | 45.697                               | 30.846   | 111.0**   |

Izvor: Fištrek, Ž.: *Potencijali energije biomase u Istarskoj, Primorsko-goranskoj i Ličko-senjskoj županiji*

\* Registri otpada za razdoblje 2008-2010. (Agencija za zaštitu okoliša)

\*\*dobiveno tehnologijom proizvodnje bioplina

Potencijalni izvori biomase iz prehrambeno-prerađivačke industrije uključuje klaonice, proizvodnju vina i žestokih pića, proizvodnju ulja, preradu žita, preradu voća, proizvodnju šećera te ostalu primarnu preradu i prehrambenu industriju. Pod klaonički otpad se podrazumijevaju ribe i drugi morski organizmi koji su ulovljeni na otvorenom moru radi proizvodnje ribljeg brašna, te svježe nusproizvode od ribe za proizvodnju ribljih proizvoda potrebni kod prehrane ljudi. Također, ne bi smjeli biti odlagani animalni i klaonički otpad, kao ni životinjske prerađevine i njihova trupla na odlagališta komunalnog otpada. Sav taj otpad može se koristiti za proizvodnju energije anaerobnom digestijom u skladu sa propisima iz oblasti veterinarstva i nakon sanitarne obrade. Budući da prikupljeni klaonički otpad već ima svoje ustaljene tokove, nije se dovoljno razmatrao u analizi potencijala.

## 8. ZAKONSKA REGULATIVA

Svi europski sustavi, kao i Hrvatska, potiču proizvodnju električne energije iz biomase. Većina proizvodnje električne energije iz biomase odvija se u kogeneracijskim postrojenjima, pa je proučavanje ovog sektora prilično kompleksno. Iz tog razloga, većina podataka u tekstu odnosi se na korištenje drvene biomase kao najzastupljenijeg oblika biomase.

Sukladno europskoj Direktivi 2006/32/EC o energetske učinkovitosti i energetskim uslugama (ESD) izrađen je i usvojen **Nacionalni program energetske učinkovitosti za razdoblje 2008.-2016. godine**. U njemu su propisani ciljevi energetske ušteda i podloga je za izradu trogodišnjih nacionalnih planova energetske učinkovitosti za tri trogodišnja razdoblja do 2016. godine. U svakom akcijskom planu se analiziraju učinci i po potrebi revidiraju aktualne mjere te utvrđuju nove sektorske mjere kako bi se osiguralo ostvarenje cilja u 2016. godini.

Drugi Nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti Republike Hrvatske donosi se do kraja 2013. godine kao preduvjet za ispunjenje EU cilja 20 postotnog smanjenja potrošnje primarne energije do 2020. godine u usporedbi s temeljnim (business-as-usual) scenarijem koji je usklađen sa strateškim i zakonodavnim okvirom Republike Hrvatske - Nacionalnim programom energetske učinkovitosti Republike Hrvatske (RH) za razdoblje 2008.-2016., Strategijom energetskog razvoja RH (Narodne novine br. 130/09) i Zakonom o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji (Narodne novine br. 152/08, 55/12).

Hrvatska je sukladno zahtjevima Direktive 2004/8/EC o promicanju kogeneracije za ispunjavanje zahtjeva za korisnom toplinom na unutarnjem tržištu energije uspostavila regulatorni okvir za poticanje proizvodnje električne energije iz kogeneracije. Taj se okvir sastoji od sljedećih pravilnika:

1. Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 88/12)
2. Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (Narodne novine br. 132/13)
3. Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 133/13)
4. Uredba o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 128/2013)

Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče (Narodne novine br. 33/07, 08/11) se ukida 2014. godine.

1. Pravilnikom o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 88/12) se utvrđuju postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneracijska postrojenja koja se koriste za proizvodnju energije, propisuju uvjeti i mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije i kogeneracijskih postrojenja te uređuju druga pitanja od značaja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije. Isto tako, Pravilnik propisuje oblik, sadržaj i način vođenja **Registra projekata i postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača (Registar OIEKPP)**. Registar OIEKPP je jedinstvena evidencija o projektima obnovljivih izvora energije i kogeneracije, postrojenjima koja koriste obnovljive izvore energije, odnosno kogeneracijskim postrojenjima te povlaštenim proizvođačima na području Republike Hrvatske.

2. Pravilnikom o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (Narodne novine br. 132/13) propisuju uvjeti za ishođenje ili ukidanje rješenja o stjecanju statusa povlaštenoga proizvođača električne energije. Status povlaštenog proizvođača električne energije stječe se ispunjenjem sljedećih uvjeta:

- proizvodno postrojenje mora biti priključeno na elektroenergetsku prijenosnu ili distribucijsku mrežu te sukladno uvjetima korištenja mreže isporučivati električnu energiju u elektroenergetsku mrežu,
- proizvodno postrojenje mora zadovoljavati pravilnikom određene tehničke i pogonske uvjete
- proizvodno postrojenje mora istodobno proizvoditi električnu ili toplinsku energiju na visokoučinkovit način i/ili koristiti otpad ili obnovljive izvore energije na gospodarski primjeren način sukladno propisima zaštite okoliša, neovisno o snazi proizvodnog postrojenja.

3. Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 133/13) određuje se poticajna cijena za električnu energiju proizvedenu u proizvodnom postrojenju koje koristi obnovljive izvore energije i

kogeneracijskom postrojenju, odnosno isporučenu u elektroenergetsku mrežu, a koju operator tržišta isplaćuje povlaštenom proizvođaču električne energije i uvjeti dobivanja poticajne cijene.

Tablica 11 prikazuje visinu poticajne cijene (C) izraženu u kn/kWh za električnu energiju proizvedenu iz proizvodnih postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije, odnosno biomasu.

Tablica 11. Visina poticajne cijene (C) izraženu u kn/kWh za električnu energiju proizvedenu iz proizvodnih postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije

| <b>Grupa proizvodnih postrojenja</b>   | <b>Poticajna cijena<br/>(kn/kWh)</b> |
|--|--------------------------------------|
| <b>1. elektrane na biomasu, uključujući biorazgradive dijelove industrijskog i komunalnog otpada:</b>  | 1,30                                 |
| <b>1.1. elektrane na biomasu instalirane snage do uključivo 300 kW</b>   |                                      |
| <b>1.2. elektrane na biomasu instalirane snage veće od 300 kW do uključivo 2 MW</b>  | 1,25                                 |
| <b>1.3. elektrane na biomasu instalirane snage veće od 2 MW</b>  | 1,20                                 |
| <b>2. elektrane na bioplin iz poljoprivrednih kultura te organskih ostataka, otpada biljnog i životinjskog podrijetla, biorazgradivog otpada, deponijski plin i plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda</b> | 1,34                                 |
| <b>2.1. elektrane na bioplin instalirane snage do uključivo 300 kW</b>   |                                      |
| <b>2.2. elektrane na bioplin instalirane snage veće od 300 kW do uključivo 2 MW</b>  | 1,26                                 |
| <b>2.3. elektrane na bioplin instalirane snage veće od 2 MW</b>  | 1,18                                 |

Izvor: Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 133/13)

4. Uredbom o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 128/2013) se određuje način korištenja, visina, obračun, prikupljanje, raspodjela i plaćanje naknade za poticanje proizvodnje električne energije iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneracijskih postrojenja. Sredstva naknade za poticanje koriste se za isplatu poticajne cijene električne energije povlaštenim proizvođačima koji su u sustavu poticanja proizvodnje električne energije za isporučenu električnu energiju sukladno odredbama tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. Visina naknade za poticanje iznosi 0,035 kn/kWh bez PDV-a za sve kupce električne energije. Naknadu za poticanje plaća kupac električne energije i ona predstavlja dodatak na cijenu električne energije za kupca. Prikupljena sredstva koriste se za isplatu poticajnih cijena povlaštenim proizvođačima električne energije iz obnovljivih izvora energije (i kogeneracije), za financiranje rada operatora sustava vezanog uz ovaj sustav poticaja, te za plaćanje troškova uravnoteženja elektroenergetskog sustava nastalih uslijed odstupanja u vrijednostima planirane i proizvedene električne energije iz postrojenja povlaštenih proizvođača koji imaju pravo na poticajnu cijenu.

## ZAKLJUČAK:

Iskorištavanje biomase u svrhu dobivanja električne i toplinske energije ima veliki potencijal energetske samostalnosti, u bliskoj budućnosti bi moglo postati glavni nositelj ekološkog održivoga energetskeg razvoja Republike Hrvatske jer doprinosi značajnom smanjenju utjecaja na zagađivanje okoliša te teži k smanjenju uvoza svih oblika energije. Konvencionalni izvori energije (ugljen, nafta, plin, nuklearna goriva) ograničeni su i iscrpljivi, a energetske sektor većim je dijelom uzrok štetnih emisija plinova.

U završnom radu je provedenim istraživanjem prikazan i opisan proces dobivanja električne energije iz biomase te su prikazani potencijali Istarske županije, koji zasad predstavljaju teoretski potencijal. Razina praktičnog, tj. tehničkog potencijala ovisit će o učinkovitosti postrojenja za proizvodnju korisne energije (kogeneracijska postrojenja, peći, toplane, elektrane), a provedenim istraživanjem o računalnom programu HOMER dolazi se do spoznaje da takav program može pomoći potencijalnim budućim investitorima u ovaj energetske sektor da sagledaju ekonomičnost i isplativost investicija.

Navedeni zaključci potvrđuju hipotezu rada da su potencijali dobivanja energije iz biomase veći i ekološki isplativiji od klasične proizvodnje energija iz obnovljivih izvora te predstavljaju temelj i budućnost ekološkog održivoga energetskeg razvoja Istarske županije.



## POPIS LITERATURE:

1. Domac, J., Risović, S.: *BIOEN- Program korištenja energije biomase i otpada-Nove spoznaje i provedba*, Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2001.
2. Figurić, M., Risović, S.: *Šumska biomasa*, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, 2003.
3. Fištrek, Ž.: *Potencijali energije biomase u Istarskoj, Primorsko-goranskoj i Ličko-senjskoj županiji*, Zagreb, 2012.
4. Francescato, V., Antonini, E., Bergomi, L. Z.: *Priručnik o gorivima iz drvne biomase*, Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, Zagreb, 2001.
5. Labudović, B.: *Obnovljivi izvori energije*, Energetika marketing, Zagreb, 2001.
6. Potočnik, V., Lay, V.: *Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj*, Mistarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja u Republici Hrvatskoj, Zagreb, 2008.

### Internet izvori:

Fištrek, Ž.: *Potencijali energije biomase u Istarskoj, Primorsko-goranskoj i Ličko-senjskoj županiji*, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2012.  
[http://repam.net/uploads/repam/document\\_translations/doc/000/000/052/potencijali%20biomasa\\_PG\\_I\\_LS\\_zupanija.pdf?2012](http://repam.net/uploads/repam/document_translations/doc/000/000/052/potencijali%20biomasa_PG_I_LS_zupanija.pdf?2012),

Fištrek, Ž., Bačan, A., Karadža, N., Živković, S.: *Potencijali obnovljivih izvora u Istri*, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2013. [http://www.irena-istra.hr/uploads/media/RES\\_potentials\\_in\\_Istria.pdf](http://www.irena-istra.hr/uploads/media/RES_potentials_in_Istria.pdf),

### Ostali izvori:

Priručnik *Getting Started Guide for HOMER Legacy (Version 2.68)*, 2011.

Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 88/12)

Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (Narodne novine br. 132/13)

Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 133/13)

Uredba o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Narodne novine br. 128/2013)