

**Univerzitet u Kragujevcu**  
**Fakultet inženjerskih nauka**



**Naziv studijskog programa: Mašinsko inženjerstvo**

**Nivo studija: Master akademske studije**

**Modul: Energetika i procesna tehnika**

**Predmet: Upravljanje energo i eko projektima**

**Broj indeksa: 330/2009**

**Đorđe Lj. Vukadinović**

**Istraživanje mogućnosti uvođenja kogeneracije  
za potrebe  
Fakulteta inženjerskih nauka**

**master rad**

**Komisija za pregled i odbranu:**

**1. Dr Milun Babić - mentor**

**2. \_\_\_\_\_**

Datum odbrane: \_\_\_\_\_

Ocena: \_\_\_\_\_

## REZIME

U ovom master radu ćemo se baviti problemom velike potrošnje energije i kako korišćenjem kogeneracije možemo da povećamo energetske efikasnost.

Osnovna prednost kogeneracije je povećana iskoristivost energenata u odnosu na konvekionalne elektrane koje služe samo za proizvodnju električne energije, kao i u odnosu na toplane koje služe samo za proizvodnju toplote koja služi za tehnološke svrhe ili za proizvodnju tople vode.

U prvom delu rada sam više pažnje posvetio samoj kogeneraciji i njenim prednostima, kao i oblicima izvođenja, dok sam se u drugom delu bavio samim primerom Fakulteta inženjerskih nauka, uz pomoć alata RETScreen.

**Ključne reči:** energija, kogeneracija, efikasnost, RETScreen.

## ABSTRACT

In this master thesis we will deal with problem of big energy consumption and how using CHP contribute increase energy efficiency.

The main advantage of cogeneration is increased energy efficiency compared to conventional power plants that serve only to produce electricity, as well as in relation to plants that serve only to produce heat which is used for technological purposes or for producing hot water.

In the first part i paid more attention to cogeneration and its benefits of cogeneration, and forms of performance, while the second part dealt with the very example of the Faculty of Engineering Sciences, with the help of RETScreen tools.

**Key words:** energy, cogeneration, efficiency, RETScreen.

## Sadržaj

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 1.0 Kogeneracija .....                                         | 1  |
| 1.1 Prednost kogeneracije .....                                | 2  |
| 1.2 Kogeneracija u Evropi .....                                | 4  |
| 1.3 Kogeneracija u Srbiji .....                                | 5  |
| 1.4 Kogeneracijska postrojenja .....                           | 7  |
| 2.0 Postupci konverzije .....                                  | 8  |
| 2.1 Gasna turbina .....                                        | 8  |
| 2.2 Parna turbina .....                                        | 8  |
| 2.3 Motori sa unutrašnjim sagorevanjem .....                   | 9  |
| 2.4 Kogeneracijska postrojenja sa kombinovanim ciklusima ..... | 10 |
| 2.5 Nove tehnologije .....                                     | 10 |
| 2.5.1 Sterlingov motor .....                                   | 10 |
| 2.5.2 Mikroturbine .....                                       | 11 |
| 2.5.3 Gorive ćelije .....                                      | 12 |
| 3.0 Mikrokogeneracija .....                                    | 13 |
| 3.1 Princip rada .....                                         | 13 |
| 3.2 Prednosti .....                                            | 14 |
| 3.3 Faktori uticaja na korišćenje mikro CHP .....              | 14 |
| 3.4 Primer ecoPOWER .....                                      | 14 |
| 4.0 Fakultet inženjerskih nauka .....                          | 17 |
| 4.1 Postojeće stanje fakulteta .....                           | 19 |
| 4.1.1 Analiza zidne i konstrukcije .....                       | 19 |
| 4.1.2 Analiza stolarije .....                                  | 20 |
| 4.2 Potrošnja električne i toplotne energije .....             | 21 |
| 5.0 RETScreen .....                                            | 23 |
| 5.1 Radni list (Start) .....                                   | 24 |
| 5.2 Radni list (Load & Network) .....                          | 25 |
| 5.3 Radni list (Energy model) .....                            | 27 |
| 5.4 Emisiona analiza (Emission Analysis) .....                 | 30 |
| 5.5 Finansijska analiza (Finacial Analysis) .....              | 31 |
| 6.0 Zaključak .....                                            | 33 |
| 7.0 Literatura .....                                           | 34 |

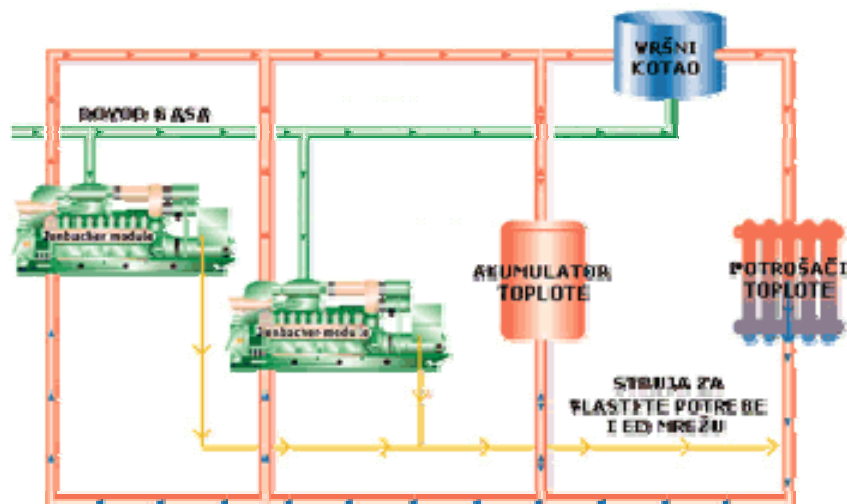
## 1. Kogeneracija

Kogeneracija (često se koristi i izraz kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije - na nemačkom Blockheizkraftwerke, BHKW, odnosno na engleskom Combined Heat and Power, CHP) predstavlja proizvodnju električne energije sa istovremenim korišćenjem otpadne toplote. Pritom se toplotna energija može koristiti u tehnološkim procesima, procesima grejanja pa čak i u procesima hlađenja.

Prednosti kogeneracijskih postrojenja u odnosu na klasična postrojenja s odvojenim snabdevanjem električne i toplotne energije vidljive su ako se uporede gubici koji nastaju pri proizvodnji energije u oba sistema.

Do 1973. godine niske cene goriva omogućavale su proizvodnju relativno jeftine električne energije. Energetska postrojenja su u glavnom bila u vlasništvu javnih preduzeća. Nagli rast cene goriva izazvao je potrebu za razvijanjem energetske tehnologije i povećanjem efikasnosti postrojenja za proizvodnju električne energije. Istovremeno povećanje ekološke svesti i saznanja da je sve manje izvora energije zahtevalo je sve veću pažnju očuvanju okoline i preostalih resursa pa su kogeneracijska postrojenja postala efikasniji i konkurentniji proizvođač električne energije.

Kogeneracija se može definisati kao proces korišćenja primarne energije goriva za proizvodnju dvaju korisnih energetske oblika: toplotne energije i korisnog rada. Dobijeni korisni rad najčešće se koristi za proizvodnju električne energije, dok se proizvedena toplotna energija koristi u tehnološkim procesima, procesima grejanja ili procesima hlađenja. Kogeneracija je, takođe, proizvodnja električne energije iz bilo kojeg toplotnog procesa. Proces se odvija sa maksimalnom upotrebom hemijske energije goriva tj. smanjenjem gubitaka, ali je preduslov veliki broj radnih sati tokom godine.



Slika 1. Kogeneracijsko postrojenje

- gasni Otto motor sa unutrašnjim sagorevanjem,
- generator naizmenične struje,
- izmenjivač toplote za rashladnu vodu motora, ulje za podmazivanje, gasne smeše izduvnih gasova,
- razvodni, upravljački i energetski ormani sa automatikom za sinhronizaciju i paralelan rad sa niskonaponskom električnom mrežom.

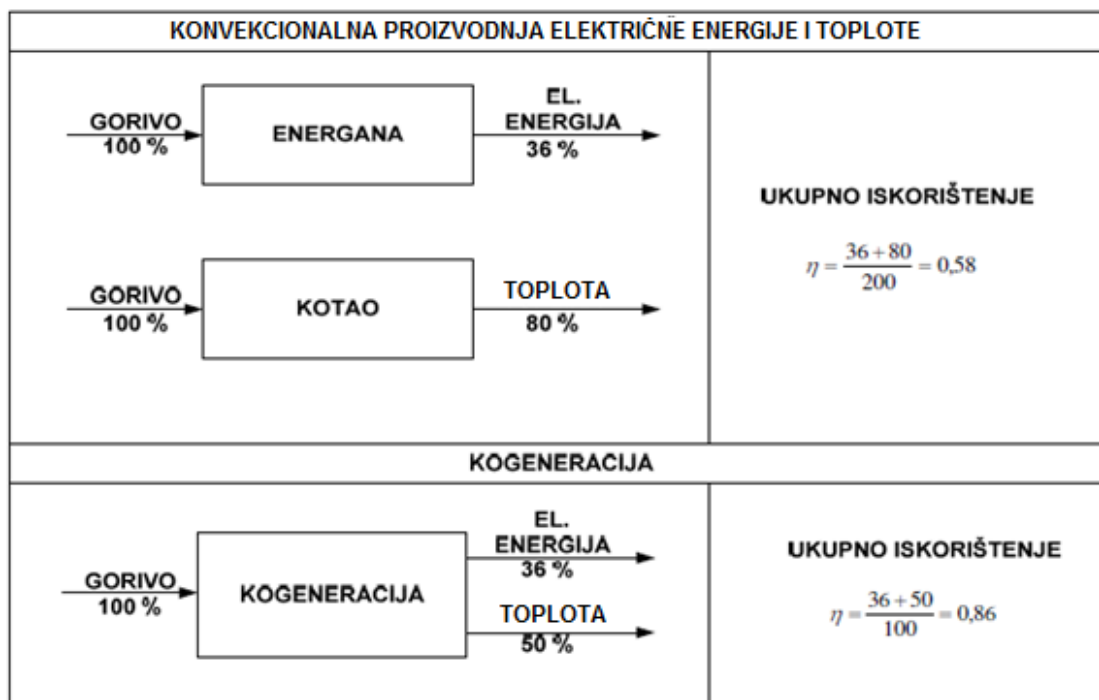
## 1.1 Prednosti kogeneracije

Prednost kogeneracije je u tome što se uz njenu pomoć može ostvariti zadovoljenje sve većih energetske potrebe u budućnosti uz moralan odnos prema prirodnoj okolini, uz racionalno korišćenje prirodnih resursa. Ali njena primena u praksi zahteva gradnju novih energetskih postrojenja, ili obimne rekonstrukcije postojećih.

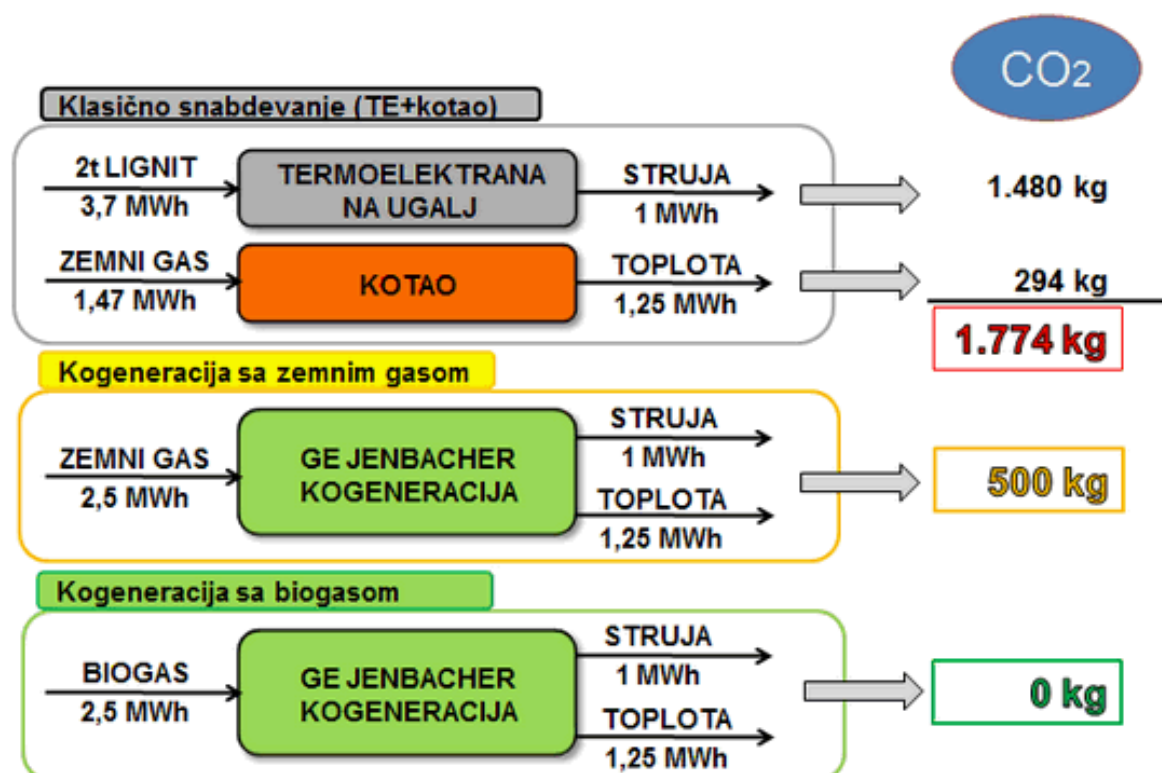
Ukupan stepen efikasnosti ovih postrojenja u nekim slučajevima može da iznosi i preko 90%, pa se može zaključiti da u odnosu na tradicionalne metode, kogeneracija predstavlja najefikasniji oblik dobijanja energije, kako s ekonomske tako i s ekološke tačke gledišta. Kogeneracijskom proizvodnjom smanjuje se štetni uticaj na okolinu, a posebno se smanjuje emisija CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>.

Najznačajnije prednosti kogeneracijske proizvodnje u odnosu na odvojenu proizvodnju električne energije u elektranama i toplotne energije u toplanama ogleda se kroz:

- znatne uštede primarne energije odakle proizlaze i manji troškovi;
- kvalitetnije snabdevanje električnom energijom i veća pouzdanost, što je izuzetno važno za potrošače osetljive na prekidanje snabdevanja;
- smanjenje štetnog uticaja na okolinu, jer iz visoke energetske isplativosti i manju potrošnju energenta proizlazi manja emisija štetnih gasova, manja količina otpadne toplote i manje buke;
- relativna mala ulaganja u odnosu na dobitke;
- isplativost ulaganja za nekoliko godina;
- kratak rok izgradnje zbog prethodno sklopljenih elemenata;
- jednostavniji put dobijanja raznih dozvola naročito za slučaj industrijskih ili javnih objekata.



Slika 2. Poređenje tehnologija



Slika 3. Poređenje tehnologija i emisije CO<sub>2</sub>

Međutim, pored svih prednosti, postoje i prepreke za izgradnju kogenerativnih postrojenja:

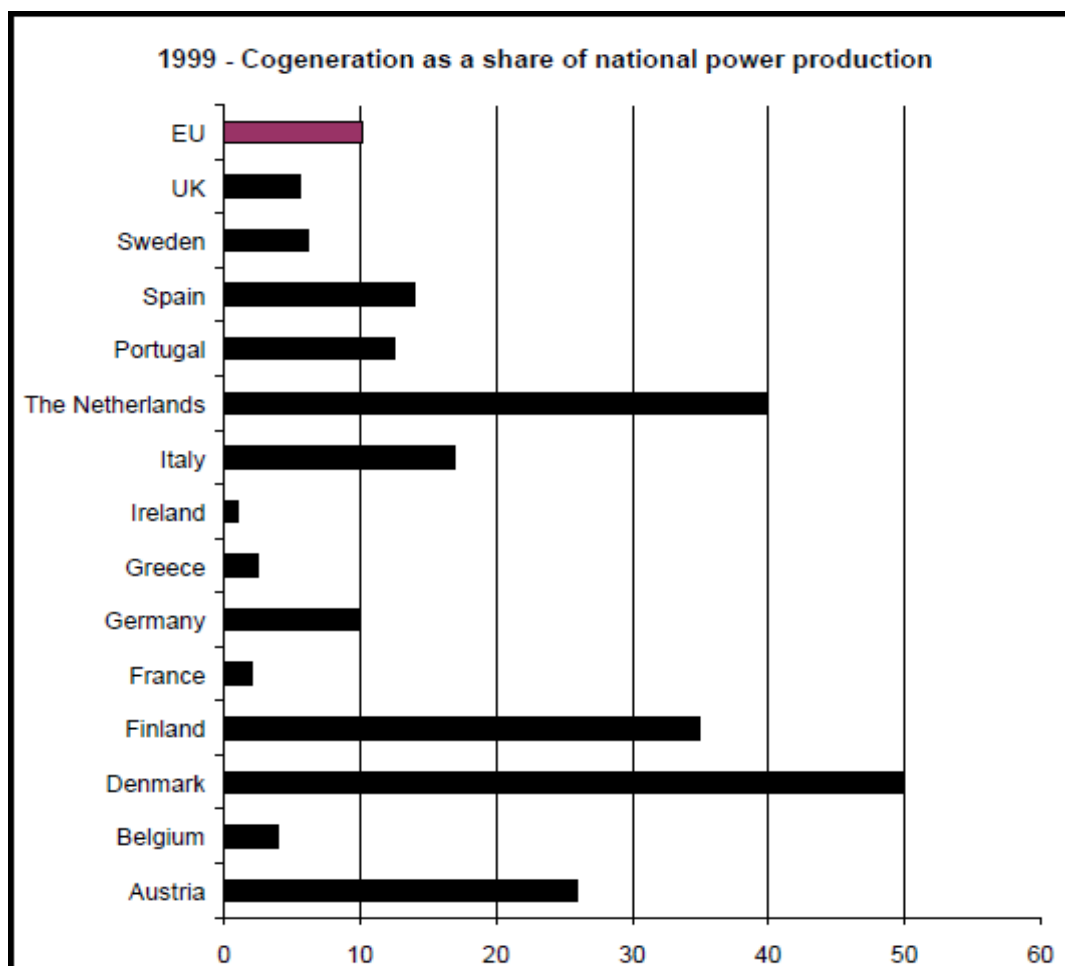
- izostanak jasno definisanog i jednostavnog priključenja na mrežu, kao i građevinsko –tehničke procedure izgradnje postrojenja;
- nepovoljan odnos cene električne energije i cene goriva;
- nerazumevanje i nepoznavanje mogućnosti doprinosa kogeneracije smanjenja emisije štetnih gasova u atmosferu;
- nedovoljna zainteresovanost i nerazumevanje finansijskih institucija za finansiranje projekata kogeneracije;
- nepostojanje kvalitetnih i dugoročnih fiskalnih i drugih podsticajnih mera;
- izostanak specijalističkog obrazovanja i osposobljavanja stručnjaka za usluge konsaltinga u energetske efikasnosti, pa je zato slabo razumevanje primene kogeneracije u pogledu zadovoljenja korisnih potreba i
- nedovoljno i neodgovarajuće informisanje i edukacija potencijalnih korisnika.

## 1.2. Kogeneracija u Evropi

Evropa je aktivno uključila kogeneraciju u svoju energetska politiku u septembru 2008, u raspravi u Evropskom parlamentu. Komesar za energetiku Adis Pajbalgs je izjavio: "Sigurnost snabdevanja zaista počinje energetskom efikasnošću" Energetska efikasnost i kogeneracija uočavaju se u početnim paragrafima Direktive 2004/08/EC Evropske unije. Ovom direktivom se teži da se podrži kogeneracija i uspostavi metod za izračunavanje kogeneracijskih sposobnosti za sve zemlje.

Postoji velika razlika između država članica EU sa varijacijama uštede energije između 2% i 60%. Evropa ima tri zemlje sa najintenzivnijom kogeneracijom: Danska, Holandija i Finska.

Razvoj kogeneracije u Evropskoj uniji je karakterističan po širokoj raznolikosti, kako u nivou razvoja tako i po prirodi tog razvoja. Ova raznovrsnost odražava razlike u istoriji, političkim prioritetima, prirodnim resursima, kulturi i klimi, i ima bliske veze sa strukturom i aktivnostima na tržištu električne energije. Sledeći grafikon prikazuje stanje razvoja kogeneracije u različitim zemljama.



Slika 4. Udeo kogeneracije u ukupnoj proizvodnji energije

### 1.3. Kogeneracija u Srbiji

Primena kogeneracije u Srbiji mogla bi da nam donese tri puta veću proizvodnju energije za grejanje, čime bi sa postojećih približno 450.000 korisnika na centralno grejanje moglo da se prikljuci više od milion stanova. Prelazak na takav režim rada mogao bi da se ostvari rekonstrukcijom postojećih postrojenja termoelektrana i toplana u Srbiji.

Nedavno je iz Ministarstva rudarstva potekla inicijativa da se ispituju mogućnosti kogeneracije, što bi Srbiji moglo da donese značajne količine struje. Ovaj proces mogao bi da bude primenjiv i u termoelektranama i u toplanama, naravno uz revitalizaciju postrojenja. Trenutno se prilikom proizvodnje struje stvara toplotna energija, ali se ona ne iskorišćava, već se predaje u okolinu, što, između ostalog, stvara i ekološku štetu zbog zagrevanja okoline.

Međutim, prema proračunima na osnovu proizvodnje termoelektrana u 2006, kada bi se primenila kogeneracija na postojeće termoelektrane na ugalj, proizvedena toplota u Srbiji bi maltene bila utrostručena, što bi, osim mogućnosti da se proširi broj korisnika centralnog grejanja, donelo i prilične uštede.

Instalisana snaga svih postojećih sistema daljinskog grejanja u Srbiji približno je 5.917 MWh, a za njihov petomesečni rad po 12 sati dnevno i sa punom snagom potrebno je 10.650 GWh. Sledi da bi „otpadna“ toplota termoelektrana bila dovoljna skoro za utrostručavanje kapaciteta sistema daljinskih grejanja u Srbiji.

Treba napomenuti mnogo izvesniju mogućnost pokretanja kogeneracije u toplanama. Naime, prema istom proračunu, prelazak sistema toplana daljinskog grejanja na kogeneracione režime doneo bi povećanje instalisane električne snage između dva i 3,4 gigavata. Srbiji trenutno nedostaju dve elektrane od po 700 megavata, odnosno 1,4 gigavata, što znači da bi primena kogeneracije na postojeće toplane u 45 srpskih gradova dovelo do toga da dobijemo i više energije, nego što će nam za par godina biti potrebno.

Tabela 1. mere podsticaja

| Redni broj | Vrsta Elektrane                                                                             | Instalisana snaga (MW)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Mera podsticaja-otkupna cena (c€/1 kWh) |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>1.</b>  | <b>Hidroelektrane</b>                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                         |
| 1.1        |                                                                                             | do 0,5 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9,7                                     |
| 1.2        |                                                                                             | od 0,5 MW do 2 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 10,316 – 1,233*P                        |
| 1.3        |                                                                                             | od 2 MW do 10 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 7,85                                    |
| 1.4        | na postojećoj infrastrukturi                                                                | do 2 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 7,35                                    |
| 1.4        | na postojećoj infrastrukturi                                                                | od 2 MW do 10 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 5,9                                     |
| <b>2.</b>  | <b>Elektrane na biomasu</b>                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                         |
| 2.1        |                                                                                             | do 0,5 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 13,6                                    |
| 2.2        |                                                                                             | od 0,5 MW do 5 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 13,845 – 0,489*P                        |
| 2.3        |                                                                                             | od 5 MW do 10 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 11,4                                    |
| <b>3.</b>  | <b>Elektrane na biogas</b>                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                         |
| 3.1        |                                                                                             | do 0,2 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 16,0                                    |
| 3.2        |                                                                                             | od 0,2 MW do 2 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 16,444 – 2,222*P                        |
| 3.3        |                                                                                             | preko 2 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 12,0                                    |
| <b>4.</b>  | <b>Elektrane na deponijski gas i gas iz postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 6,7                                     |
| <b>5.</b>  | <b>Elektrane na vetar</b>                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 9,5                                     |
| <b>6.</b>  | <b>Elektrane na energiju sunčevog zračenja</b>                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 23                                      |
| <b>7.</b>  | <b>Elektrane na geotermalnu energiju</b>                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 7,5                                     |
| <b>8.</b>  | <b>Elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na fosilna goriva</b>                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                         |
| 8.1        |                                                                                             | do 0,2 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $C_0 = 10,4$                            |
| 8.2        |                                                                                             | od 0,2 MW do 2 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $C_0 = 10,667 - 1,333*P$                |
| 8.3        |                                                                                             | od 2 MW do 10 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $C_0 = 8,2$                             |
| 8.4        | na postojećoj infrastrukturi                                                                | do 10 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $C_0 = 7,6$                             |
| <b>9.</b>  | <b>Elektrane na otpad</b>                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                         |
| 9.1        |                                                                                             | do 1 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 9,2                                     |
| 9.2        |                                                                                             | od 1 MW do 10 MW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 8,5                                     |
|            | Korekcija otkupne cene za elektrane sa kombinovanom proizvodnjom na prirodni gas            | $C = C_0 * (0,7 * G / 27,83 + 0,3)$<br>C – nova otkupna cena električne energije<br>C <sub>0</sub> – referentna otkupna cena na osnovu cene prirodnog gasa za prodaju energetskim subjektima za trgovinu na malo prirodnim gasom za potrebe tarifnih kupaca koja ne uključuje troškove korišćenja transportnog sistema za prirodni gas kod Javnog preduzeća „Srbijagas” Novi Sad po tarifnom sastavu „energent” od 27,83 din/m <sup>3</sup> |                                         |

## 1.4. Kogeneracijska postrojenja

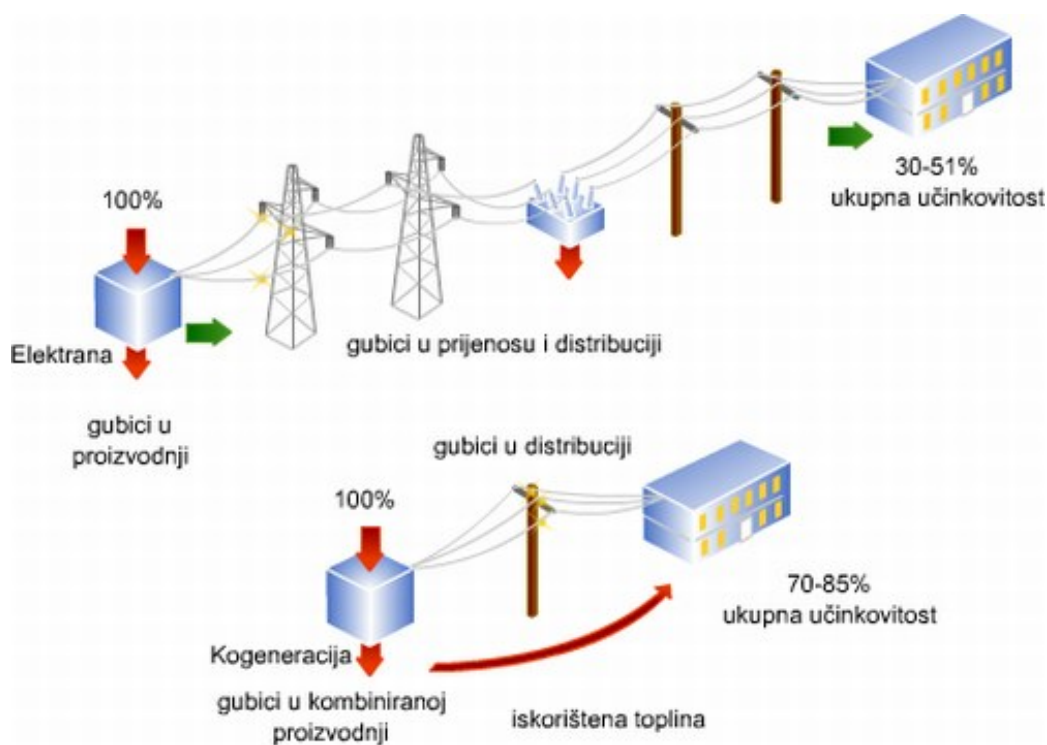
Kogeneracijska postrojenja su postrojenja u kojima se odvija proces kogeneracije. Kod kogeneracijskih postrojenja koriste se direktni i indirektni postupci konverzije hemijske energije u električnu i toplotnu energiju.

Za indirektnu postupku se koriste: parne i gasne turbine, motori sa unutrašnjim sagorevanjem (Otto, Dizel).

Za direktnu postupku se koriste razne vrste gorivih ćelija.

Prema instaliranoj snazi kogeneraciona postrojenja se dele na:

- 1) kogeneracijska postrojenja instalirane snage isključivo do 1 MW, priključena na distributivnu mrežu: mikro kogeneracija (do 50 kW) i mini kogeneracija (od 50 kW do 1 MW)
- 2) kogeneracijska postrojenja instalirane snage veće od 1 MW, priključene na prenosnu ili distributivnu mrežu: srednja kogeneracija (od 1MW do 25 MW) i velika kogeneracija (25 MW i više)
- 3) individualna kogeneracijska postrojenja koja nisu priključena na prenosnu ili distributivnu mrežu.



Slika 5. Gubici u prenosu i distribuciji

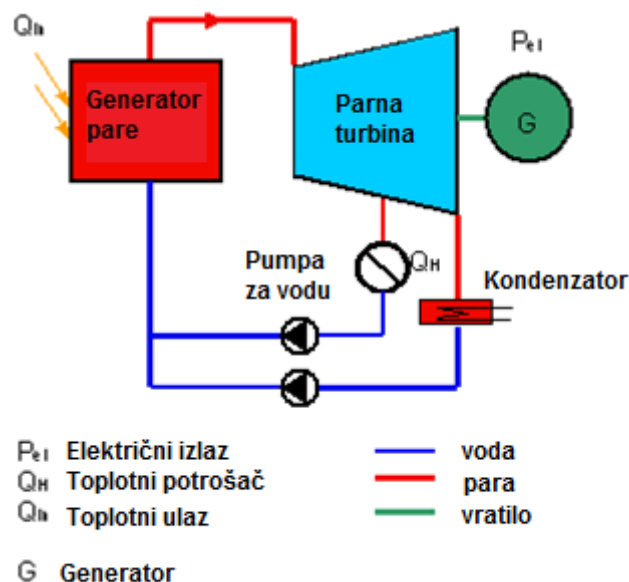
## 2. Postupci konverzije

### 2.1. Gasna turbina

Gasna turbina je rotaciona turbomašina koju pokreće kinetička energija gasa proizvedenog sagorevanjem goriva. Na prednjem kraju, gasna turbina ima kompresorska, a na zadnjem turbinska/turbinsko radna kola, dok su komore za sagorevanje između kompresorskih i turbinskih radnih kola. Gasne turbine pretvaraju u mehanički rad strujnu energiju gasovitih produkata sagorevanja tečnog ili gasovitog goriva u komprimovanom vazduhu.

Gasna turbina radi na principu termodinamičkog ciklusa poznatog kao Brajantov ciklus. U ovom ciklusu atmosferski vazduh se komprimuje –sabija, zagreva u komorama za sagorevanje, zatim ekspandira u turbini, gde zahvaljujući dodatnoj energiji oslobođenoj iz sagorelog goriva, oslobađa više snage nego što je potrebno za pokretanje kompresora, odnosno za prvi deo ciklusa - kompresiju.

Gasna turbina ima tri osnovna dela: kompresor, komoru za sagorevanje i turbinu.



Slika 6. Osnovni princip kogeneracije sa gasnom turbinom

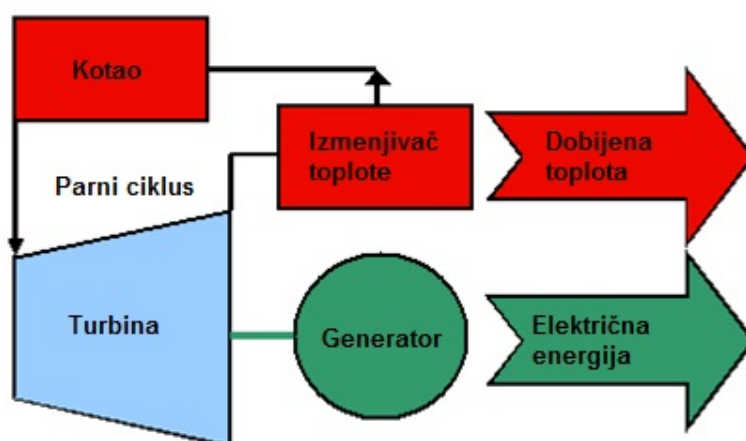
### 2.2 Parne turbine

Parna turbine pripada grupi toplotnih motora, poput motora s unutrašnjim sagorevanjem, koji pretvaraju toplotnu energiju u mehanički rad. Parne turbine se koriste u kombinovanim procesima u različitim kombinacijama, ali po pravilu uz gasnu turbine i dodatke za dodatno loženje i proizvodnju pare visokog pritiska. Rezultat ovakvog pristupa je veća elektroenergetska karakteristika i veća efikasnost celog postrojenja.

One uvek rade u okviru parnog postrojenja, u kome ulogu izvora strujne energije vodene pare ima ložište kotlovskog postrojenja. U ložištu, proizvodi se toplota, koja u kotlovskom postrojenju pretvara vodu u vodenu paru. Vodena para visoke temperature i pritiska vodi se iz

kotla u parnu turbinu u kojoj vrši mehanički rad, a zatim dalje, sa smanjenom strujnom energijom koristi u tehnološkim procesima. One uvek rade u okviru parnog postrojenja, u kome ulogu izvora strujne energije vodene pare ima ložište kotlovskog postrojenja. U ložištu, proizvodi se toplota, koja u kotlovskom postrojenju pretvara vodu u vodenu paru. Vodena para visoke temperature i pritiska vodi se iz kotla u parnu turbinu u kojoj vrši mehanički rad, a zatim dalje, sa smanjenom strujnom energijom koristi u tehnološkim procesima.

U konvencionalnim parnim elektranama visokopritisna para ekspandira u parnoj turbine i kao niskopritisna para odlazi u kondenzator. Kada se parne turbine koriste kao kogeneracijska tehnologija, para se može koristiti direktno za potrebe procesa u industriji, ili se može preko izmenjivača toplote dalje koristiti za potrebe grejanja objekata.



*Slika 7. Princip kogeneracije sa parnom turbinom*

Voda se zagreva i isparava u kotlu, gde pomoću grejača dostiže željenu temperaturu. Dalje para iz kotla ide u turbinu koja pokreće generator za proizvodnju električne energije. U kondenzatoru se ekspandirana para kondenzuje, odakle joj se dalje povećava pritisak pomoću pumpe za napojnu vodu. Nakon toga para se, dalje, preko pumpe ponovo šalje u kotao gde se ciklus zatvara.

Kao medijum za hlađenje u kondenzatoru se obično koriste voda ili vazduh, čiji deo toplote ostaje neiskorišćen.

### 2.3. Motori sa unutrašnjim sagorevanjem

Klipni motori koji se koriste u kogeneraciji su motori sa unutrašnjim sagorevanjem i rade na istom principu kao i benzinski i dizel motori u automobilima. Iako je sistem konceptualno sličan gasnoj turbini, postoje bitne razlike. Klipni motori postižu veću energetska efikasnost, ali je teže korišćenje toplotne energije koju proizvode, jer je ona, uglavnom, na nižim temperaturama i rasuta između izduvnih gasova i sistema za hlađenje motora.

Postoje dve vrste motora, svrstane po načinu paljenja, a to su Otto i Dizel.

**Motori koji nemaju spoljni izvor paljenja goriva (dizel)** koriste se obično za velike kogeneracije, a uglavnom su četvorotaktne mašine sa direktnim ubrizgavanjem, opremljene turbomenjačem i međuhladnjcima. Dizel motori mogu da rade sa lož uljem, mazutom i prirodnim gasom. Motor je, zapravo, u dvojnog modu goriva pošto mala količina ulja za loženje (oko 5 % unosa toplote) mora da se ubrizgava sa gasom da bi se osiguralo paljenje. Motor može da radi sa gasom samo ako mu je obezbeđeno neprekidno snabdevanje gasom.

Efikasnost im je od 35-45 % a izlazni opseg je do 15 MW. Rashladni sistemi su složeniji nego kod motora koji se pale preko varnice i temperature su niže od 80 °C, čime se ograničava izlazna toplota. Nivoi viška izlaznog vazduha su veliki.

**Motori koji se pale na varnicu (Otto)** predstavljaju derivate njihovih ekvivalentnih dizel motora. Oni, takođe, mogu koristiti izduvne gasove u svrhu prikupljanja toplote.

Efikasnost je niža nego kod motora koji se pale na kompresiju, između 27-35 %, a izlazni opseg ograničen je na maksimalnih 2 MW. Novi motori koji se pale na varnicu iznad 3 MW koriste pretkomoru gde je smeša stehiometrijska. Mali motori nemaju komoru i oni se nazivaju konvencionalni. Motori sa pretkomorom imaju efikasnost 44 %. Stepenn korisnosti motora koji se pale na varnicu iznosi 83 % i malo je manji nego kod dizel motora. Oni su pogodni za manje, jednostavnije instalacije, često gde se toplota hlađenja i izduvnih gasova kanališe zajedno sa otpadnom toplotom kotla, obezbeđujući nisku ili srednju temperaturu toplote vode.

## **2.4. Kogeneracijska postrojenja sa kombinovanim ciklusima**

Neki veliki sistemi (izlazna snaga generalno veća od 3MW) koriste kombinaciju gasne turbine i parne turbine, gde se vreli izduvni gasovi iz gasne turbine koriste za proizvodnju pare za parne turbine. Ovo se naziva kombinovani ciklus.

Sistemi kombinovanih ciklusa gasne turbine (CCGT) su usvojeni od strane javnih komunalnih preduzeća u kojima su zalihe prirodnog gasa u izobilju o čemu svedoči i činjenica da su već izgrađene elektrane snage do 1.800 MW. U kogeneracionoj primeni CCGT, izduvna ili propuštena para iz parne turbine se koristi za dalji postupak ili druge mogućnosti grejanja. Glavna prednost CCGT kogeneracije je njena veća ukupna efikasnost u proizvodnji električne energije, u poređenju sa opisanim alternativama.

Kombinovani ciklusi sa gasnim turbinama su najčešće slučaj, ali, takođe, mogu biti projektovani i za dizel motore. Postoji najmanje pet modela koji se sprovode u svetu.

## **2.5. Nove tehnologije**

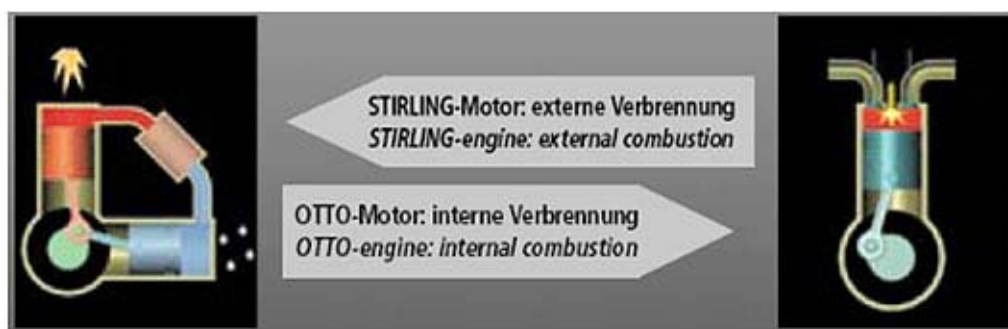
### **2.5.1. Sterlingovi motori**

Sterlingov motor je uređaj se eksternim sagorevanjem i samim tim znatno se razlikuje od konvencijalnih postrojenja, gde gorivo sagoreva unutar mašine. Toplota se isporučuje Sterlingovom motoru od spoljnog izvora, kao što je gas koji gori i čini da se radni fluid poput helijuma, širi i izaziva kretanje jednog od dva klipa unutar cilindra. On se definiše kao radni klip. Drugi klip poznat kao dislokator, zatim prebacuje gas ka zoni hlađenja gde se rekompresuje od strane radnog klipa. Dislokator zatim prenosi kompresovani gas ili vazduh ka toplom regionu i ciklus se nastavlja. Sterlingov motor ima manje pokretnih delova u odnosu na konvencionalne motore, i mašina je bez ventila, poluga, ubrizgivača goriva ili sistema za paljenje pomoću varnice. Zato je mirniji i tiši od standardnog motora, a ta karakteristika je rezultat kontinualnog sagorevanja goriva. Sterlingovi motori zahtevaju manje održavanja, a emisije čestica, azotnih oksida i nesagorelih ugljovodonika su niske. Efikasnost ovih mašina je potencijalno veća nego kod mašina sa unutrašnjim sagorevanjem ili gasnih turbina.

Postoji više od 60 godina iskustva sa ovom tehnologijom, a novitet je njena upotreba za kotlove mikrokogeneracije. Za ovu vrstu kotlova postoji potreba za malim motorima sa

kapacitetom između 0.2 i 4kW. Gasne turbine, pa čak i gasni motori su neodgovarajući za ovu veličinu(iako je trenutno najmanji motor koji se pali na varnicu 3kW), dok Sterlingov motor nudi dobru alternativu.

Prednosti Sterlingovog motora su : manje pokretnih delova sa niskim trenjem, nema potrebe za dodatnim kotlovima, nema unutrašnje komore za sagorevanje, visoka teoretska efikasnost i pogodnost za masovnu proizvodnju. Eksterno sagorevanje omogućava veoma čiste izduvne gasove i daje mogućnost kontrole električnog izlaza motora smanjenjem temperature tople strane. Dakle, postoji mogućnost variranja proizvodnje struje, bez obzira na nivo potrebne toplote.



Slika 8. Sterlingov motor

Postoje Sterlingovi motori manjeg kapaciteta u razvoju ili na tržištu. Električna efikasnost još uvek nije veoma visoka i u rasponu je od 10% (350 W motor), 12,5% (800 W motor) do 25% (3.000 W motor), ali bi trebalo da je moguće da se dizajniraju sa najmanje 25 % električne efikasnosti i ukupne efikasnosti od 90%.

### 2.5.2. Mikroturbine

Sistemi manji od 1MW su bili neekonomični do sada, ali i to počinje da se menja. Proizvođači razvijaju sve manje sisteme i danas postoji mikroturbina od 25 kW. U principu, mikroturbine mogu stvarati električnu energiju bilo gde u rasponu od 25 kW do 200 kW. Mikroturbine su male elektrane sa visoko brzinskim agregatom koji uključuje u sebi turbinu, kompresor, generator, i to sve na jednom vratilu i elektro opremu koja pruža mogućnost da se struja dostavi mreži. Mikroturbine imaju samo jedan pokretni deo, koriste vazdušne ležajeve i ne treba im ulje za podmazivanje. One se, prvenstveno, napajaju prirodnim gasom, ali mogu da rade i na dizel, benzin ili druga slična visoko energetska fosilna goriva. Istraživanje o korišćenju biogasa je u toku.

Mikroturbine su sve manje od konvencionalnih klipnih motora, i troškovi nabavke i troškovi održavanja su manji. Postoje ekološke prednosti, uključujući nisku emisiju  $\text{NO}_x$  od 10-25 ppm ili niže.

Mikroturbine se mogu koristiti kao distribicioni resurs za proizvođače i potrošače energije, uključujući industrijske, komercijalne i u budućnosti, korisnike električne energije u domaćinstvima. Značajne mogućnosti postoje u sledećih 5 ključnih primena:

- tradicionalna kogeneracija,
- proizvodnja korišćenjem biogoriva,
- energijska podrška,
- daljinsko napajanje
- Peak Shaving.

### 2.5.3. Gorive ćelije

Gorive ćelije pretvaraju hemijsku energiju vodonika i kiseonika direktno u struju bez sagorevanja i mehaničkog rada, kao što je slučaj sa turbinama i motorima. U gorivim ćelijama, gorivo i vazduh se neprekidno doturaju do ćelije. Sve gorive ćelije su zasnovane na oksidaciji vodonika. Vodonik koji se koristi kao gorivo može biti dobijen iz različitih izvora, uključujući prirodan gas, propan, ugalj i obnovljive izvore energije, odnosno, putem elektrolize, vetra i solarne energije.

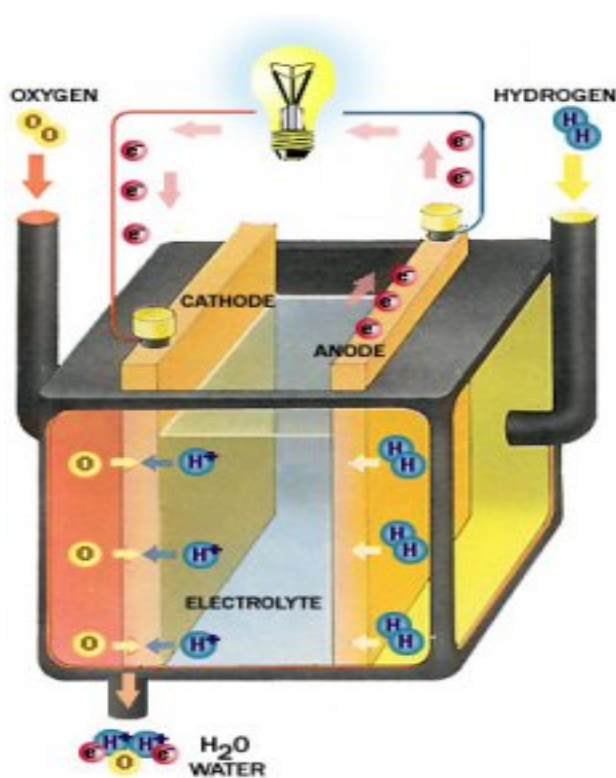
Jedna tipična ćelija isporučuje struju napona do 1 volta. Kako bi dobili dovoljno energije, gorive ćelije se pakuju u slogove, gde je jedan slog sastavljen od nekoliko ćelija povezanih u niz.

Čak i ako koristi prirodan gas kao izvor vodonika, emisije su zanemarljive: 0,045 NO<sub>x</sub> ppm, 2 ppm CO, 4 ppm HC.

Gorive ćelije nude kombinaciju performansi i zaštite životne sredine:

- njihova visoka efikasnost nije ugrožena malim veličinama i one rade visoko efikasno pri niskim opterećenjima,
- imaju manje pokretnih delova i nisu osetljive na habanja nastala iz potrebe da se eksplozivno sagorevanje konvertuje u mehaničku energiju,
- imaju pouzdan rad i retke intervale servisiranja što bitno utiče na smanjivanje troškova održavanja.

U toku je razvoj velikog broja različitih vrsta gorivih ćelija. Karakteristike svake vrste su veoma različite: od radne temperature, raspoložive toplote, tolerancije na toplotno okruženje, itd... One su, takođe, u veoma različitim fazama razvoja, a neke još nisu izašle iz laboratorija. Nekim se čak približava komercijalni proboj. Ove tehnologije će tek zaživeti i biti pokrivene budućom literaturom.

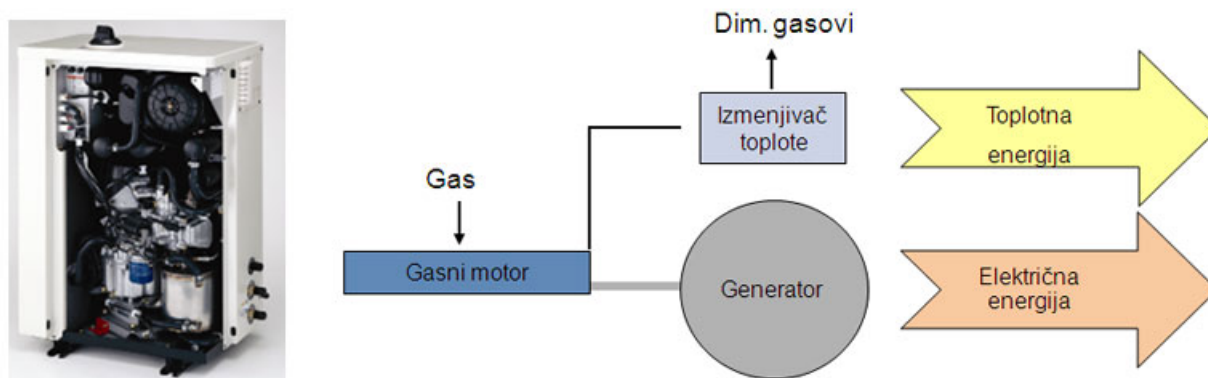


Slika 9. Gorive ćelije

### 3. Mikrokogeneracija

Kogeneracijska postrojenja instalirane snage do 1 MW, mogu biti: mikro kogeneracija (do 50 kW) i mini kogeneracija (od 50 kW do 1 MW). Razvijen za korišćenje u manjim i većim porodičnim kućama, malim industrijskim pogonima kao i u ugostiteljstvu.

#### 3.1. Princip rada



Slika 10. Princip rada

Gasni motor pokreće generator koji proizvodi električnu energiju. Dodatna toplota se preko pločastog izmenjivača toplote koristi u svrhe grejanja i pripreme potrošne tople vode (slika 10.). Promenljivom regulacijom broja obrtaja motora, dostiže se stepen korisnosti od 90% (za najniže brojeve obrtaja) do 96%. Motor se priključuje na prirodni (0,6 – 1,9 m<sup>3</sup>/h) ili tečni gas (propan 0,76 – 1,55 kg/h).

Ovakva centrala može da nezavisno snabdeva željeni objekt po potrebi monofaznom ili trofaznom strujom snage do 4,7 kW.

Da bi se postigao profitabilan rad mCHP aparata, potrebno je:

- Da toplotna snaga mCHP-a bude primetno manja od snage koja je potrebna da pokrije celokupne zahteve za grejanjem objekta,
- Adekvatan “puffer” rezervoar,
- Gasni motor sa varijabilnim brojem obrtaja (varijabilna termička i električna snaga prema trenutnim potrebama),
- Decentralizovano snabdevanje električnom energijom (trofazna naizmjenična struja)
- Podrška sistemu grejanja i priprema tople potrošne vode (za pripremu potrošne vode potrebno je da se koristi „puffer“ rezervoar)
- Niske emisije štetnih materija zahvaljujući trosmernom katalizatoru i lambda regulaciji CO<sub>2</sub> < 240 g/kWh
- Step en iskorišćenja > 90 % na celokupnom području broja obrtaja
- Niska temperatura dimnih gasova
- Smanjena težina uređaja (najlakši u klasi)
- Jednostavno rukovanje
- Jednostavno održavanje zahvaljujući dijagnostičkom sistemu (servis nakon 4000 radnih časova), opcija daljinskog nadzora
- Prva mikro kogeneracija na tržištu koja je sertifikovana prema strogoj evropskoj smernici za gasne uređaje (90/396/EEC)

### 3.2. Prednosti

- Povećanje energetske efikasnosti (u poređenju sa konvencionalnim elektranama i kućnim aparatima)
- Značajno umanjenje CO<sub>2</sub>
- Štednja energetske resursa
- Smanjenje gubitaka u prenosu energije decentralizovanom proizvodnjom.

### 3.3 Faktori uticaja na korišćenje mCHP

Interni tržišni uslovi koji mogu da utiču na poželjnost korišćenja mCHP uređaja:

- Zakonska regulativa
- Direktiva o korišćenju obnovljivih izvora energije
- Direktiva o smanjenju emisije CO<sub>2</sub>

Odnos cena gasa i električne energije:

- Što je cena gasa niža u odnosu na cenu električne energije, to je opravdanije korišćenje kogeneracije
- Subvencije
- Subvencije za kupovinu mCHP aparata
- Dobri uslovi za prodaju električne energije mreži: Mogućnost otkupa električne energije koja se ne iskoristi u domaćinstvu od strane Elektrodistribucije
- Subvencije za sopstvenu proizvodnju električne energije
- Subvencionisana cena goriva koje se koristi za mCHP aparate
- Praktična upotreba mikrokogeneracionog uređaja

### 3.4 Primer ecoPower

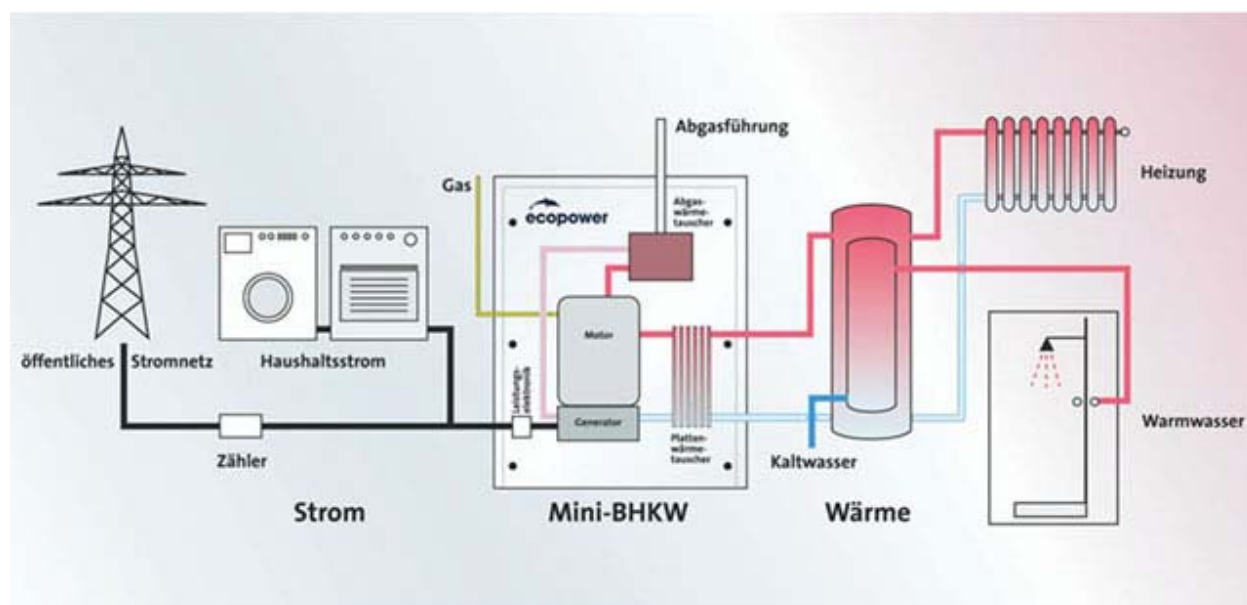
Sistem ecoPower je razvijen za korišćenje u manjim većim porodičnim kućama, malim industrijskim pogonima kao i u ugostiteljstvu. Moguć je monovalentan pogon (zamena klasičnog grejanja) no puno je učestaliji bivaletni pogon koji uz podršku grejanju pruža mogućnost pripreme tople potrošne vode. Pri tome treba da se predvidi „puffer“ rezervoar.

Varijabilni broj obrtaja motora (modulacija), a time i optimalno prilagođavanje toplotnog učinka, odnosno električne snage trenutnim potrebama, čini ecoPower jedinstvenim na tržištu.

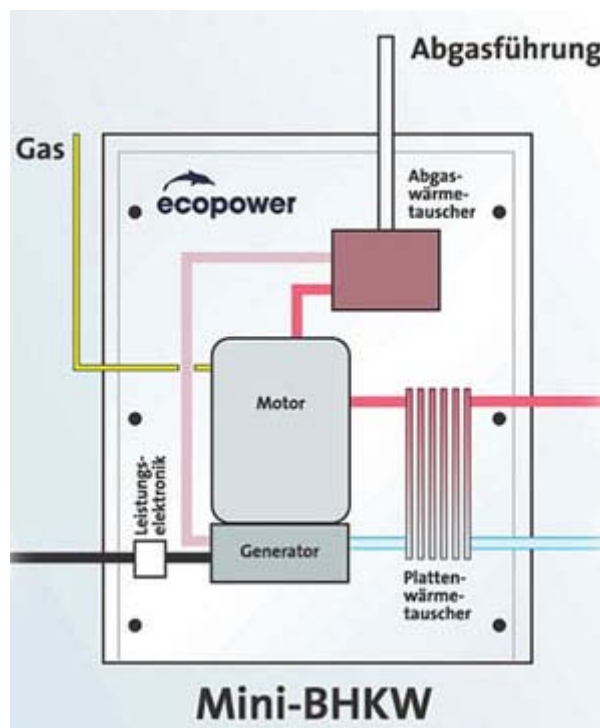


Slika 11. Šematski prikaz sistema ecoPOWER

Komandni sistem ecoPower-a na osnovu unete krive grejanja, odnosno unete pretpostavljene potrebe za strujom i spoljašnje temperature, izračunava optimalan broj obrtaja motora tokom celog dana. Cilj se sastoji od što dužeg održavanja motora u pogonu, te da se proizvodi samo onoliko toplote koliko je stvarno potrebno. Upravljanje stalno ocenjuje podatke poslednjeg dana rada te se na taj način ono automatski prilagođava navikama stanara kuće.



Slika 12. mCHP priključen na mrežu



Slika 13. mCHP ecoPOWER

Pregled osnovnih tehničkih karakteristika uređaja ecopower:

|                                       |                                                               |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Snaga uređaja                         | modulacija od 1,3 do 4,7 kW                                   |
| Toplotna snaga                        | modulacija od 4,0 do 12,5 kW                                  |
| Ukupan stepen korisnosti              | konstantan > 90%                                              |
| Radna zapremina gasnog motora         | 272 cm <sup>3</sup>                                           |
| Varijabilni broj obrtaja motora       | 1.200 – 3.600 o/min                                           |
| Gorivo                                | zemni gas i TNG (propan)                                      |
| Emisija                               | NO <sub>x</sub> < 70 mg/Nm <sup>3</sup> pri 5% O <sub>2</sub> |
|                                       | CO < 300 mg/Nm <sup>3</sup> pri 5% O <sub>2</sub>             |
| Maksimalna temperatura dimnih gasova  | 120°C                                                         |
| Minimalan/maksimalan pritisak gasa    | 15-50 mbar                                                    |
| Dimenzije (Visina/širina/dubina u mm) | 1.080/740/1.370                                               |
| Nivo zvuka                            | 56 dB(A), na rastojanju od 2 m                                |
| Masa                                  | 395 kg                                                        |
| CE – sertifikat (PIN 0063AU3290)      |                                                               |

#### 4. Fakultet inženjerskih nauka

Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu formiran je na inicijativu bivšeg sreza Kragujevac i Mašinskog fakulteta u Beogradu, Uredbom Izvršnog veća Narodne skupštine Narodne Republike Srbije br. 522 od 1. oktobra 1960., kao odeljenje Mašinskog fakulteta u Beogradu. Odeljenje Fakultet inženjerskih nauka započelo je rad 9. oktobra 1960. u prostorijama Prve Kragujevačke Gimnazije. Prva predavanja iz predmeta Matematika održao je, 10. oktobra 1960., prof. dr Božidar Đerasimović. Prvi starešina (dekan) Odeljenja Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu bio je prof. Branislav Ilić, dipl. inž..

Nove zgrade Fakulteta inženjerskih nauka podignute su na poljani pored Gornjeg parka 1962., a konačno preseljenje u nove zgrade obavljeno je 5. januara 1963. Izgrađeni objekti su obuhvatili 5.600 m<sup>2</sup> učioničkog i 700 m<sup>2</sup> laboratorijskog prostora.



*Slika 14. Grb fakulteta inženjerskih nauka*

Izgradnjom objekata stekli su se potrebni uslovi za uspešan rad i razvoj fakulteta. Prvi rezultati su bili vidljivi već nakon nekoliko godina: 10. oktobra 1964. odbranjen je prvi diplomski rad (Miloš Kojić), 23. novembra 1968. prva magistarska teza (Aleksandar Kuzmanović) i 24. juna 1969. prva doktorska disertacija (Branislav Devedžić). Time je započeo proces stvaranja sopstvenog nastavnog kadra kao osnovne pretpostavke za osamostaljenje fakulteta.

Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu postao je samostalan fakultet, u sastavu Univerziteta u Beogradu, 2. decembra 1971. Prvi dekan samostalnog Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu bio je prof. dr Dušan Simić, dipl. ing.

Od 1976. Fakultet inženjerskih nauka se nalazi u sastavu Univerziteta "Svetozar Marković" u Kragujevcu, danas Univerziteta u Kragujevcu. Od svog osnivanja do danas fakultet se intenzivno razvijao i razvija, uz značajno prostorno, kadrovsko i materijalno jačanje. Izgradnjom novih objekata, u periodu od 1987. - 1990., proces prostornog jačanja je zaokružen tako da je ukupna površina svih zgrada fakulteta 15.000 m<sup>2</sup>, od čega oko 8.000 m<sup>2</sup> čine prostori laboratorija, centara, konstrukcionih biroa, računarskih i sličnih učionica.

U periodu od 1960. do danas, Fakultet inženjerskih nauka je značajno doprineo bržem, privrednom i društvenom, razvoju ne samo Kragujevca, Republike i zemlje, već i mnogih kompanija širom sveta.

Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu spada u grupu najuglednijih i prestižnih naučno-obrazovnih institucija u oblasti tehničkih nauka. Danas je to savremena naučno-obrazovna institucija sa jasno definisanom misijom, vizijom, ciljevima i programskim opredeljenjima.

Obrazovanje na Fakultetu inženjerskih nauka obuhvata čitav spektar razvoja moderne i savremene tehnologije usklađen sa Evropskim trendovima, idealno postavljen za praktičnu profesiju, ali i kao osnova za delotvorne kreativne radove.



*Slika 15. Snimak zgrada fakulteta inženjerskih nauka*

**U objektu A** su smeštene: prostorije dekana i prodekana, Laboratorija za obradu metala i tribologiju; Odeljenja za: inženjerski softver, obradu metala deformisanjem, Centri za terotehnologiju, tribologiju, kompjuterom integrisano poslovanje, kvalitet, revitalizaciju industrijskih sistema, integrisani razvoj proizvoda i procesa i inteligentne sisteme, informacione tehnologije, biblioteka, mali amfiteatar, konstrukcioni biro i kabineti, računarske učionice, univerzitetski informacioni centar; internet kafe za student.

**U objektu B** se nalaze: Laboratorija za motorna vozila, laboratorija za motore SUS i pogonske materijale, laboratorija za energetiku i procesnu tehniku, centri za tehničku ispravnost vozila, bezbednost saobraćaja, regionalni evro-centar za energetske efikasnost, sala za sednice, računarski centar, konstrukcioni biro i kabineti.

**U objektu C** su smeštena: Odeljenja za mašinske materijale i zavarivanje, kompozitne materijale, laboratorija za mašinske konstrukcije i mehanizaciju, CAD laboratorija (CAD/LAB), laboratorija za automatiku, hidrauliku, elektrotehniku i robotiku, centri za mehaničke prenosnike, ispitivanje i proračun mašinskih elemenata i mašinskih sistema, racionalno gazdovanje energijom, grejanje, klimatizaciju i solarnu energiju, primenjenu automatiku, konstrukcioni biro i kabineti.

**U objektu D** se nalaze: učionice - slušaonice, kabineti, veliki amfiteatar sa oko 250 mesta, centar za reciklažu dotrajale PC opreme, prostorije administrativne jedinice, studentske prostorije.

Tabela 2. Osnovni podaci podaci

|                                                                                     |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Stalno zaposlenih (npr. nastavnici, lekari) u 2009.                                 | 96    |
| Broj stalnih korisnika (broj đaka u školama, broj kreveta u bolnicama i sl.) u 2009 | 650   |
| Ukupan broj korisnika u 2009.                                                       | 746   |
| Projektovani kapacitet objekta u pogledu broja stalnih korisnika                    | 1500  |
| Popunjenost kapaciteta objekta u 2009. (%)                                          | 49,7  |
| Procenjeni dnevni broj povremenih korisnika objekta                                 | 50    |
| Prosečan broj radnih sati tokom dana                                                | 8     |
| Broj radnih dana tokom sedmice (od 1 do 7)                                          | 5     |
| Broj neradnih dana tokom zime (zimski raspusti)                                     | 11    |
| Broj neradnih dana tokom leta (letnji raspusti)                                     | 48    |
| Ukupna površina zgrade (m <sup>2</sup> )                                            | 15000 |
| Ukupna zapremina zgrade (m <sup>3</sup> )                                           | 12896 |
| Grejana zapremina zgrade (m <sup>3</sup> )                                          | 60000 |

#### 4.1. Postojeće stanje fakulteta

Analizirani objekti fakulteta izgrađeni su u veoma širokom vremenskom intervalu. Naime objekat D i prizemlje objekta C izgrađeni su 1963.godine. Ovi objekti su u realtivno lošem stanju. Objekat A, objekat B i prvi sprat objekta C građeni su naknadno kako bi se proširio kapacitet fakulteta. Ovi pomenuti objekti građeni su u razdoblju od nekih 10-tak godina, a njihovo korišćenje je ozvaničeno 1990.godine. Ovi “novi” objekti su u relativno dobrom stanju ali poseduju određene nedostatke.

U daljem ramatranju postojećeg stanja bavićemo se odvojeno “starim” delom Fakulteta inženjerskih nauka gde spadaju: objekat D i prizemlje objekta C kao i “novim” delom Fakulteta inženjerskih nauka gde spadaju objekat A, objekat B i prvi sprat objekta C.

##### 4.1.1. Analiza zidne konstrukcije

- Stari deo

Analizirani stari deo fakulteta poseduje sledeću zidnu konstrukciju sastavljenu od cigle sa cementnim punjenjem između, sa unutrašnje i spoljašnje strane se nalazi sloj maltera od 25mm, spoljašnji malter je vremenom oštećen i ukupna debljina zida je 25 cm. Zid nije termo i hidro izolovan pa su zbog toga česte pojave vlage na zidovima i toplotnih mostova na gredama i ogoljenim delovima zidova. Opadanje maltera je takođe česta pojava koja i utiče na pojavu toplotnih mostova. Prema svemu navedenom veoma je jasno da su toplotni gubici u starom delu fakulteta izuzetno veliki.

- Novi deo

Analizirani novi deo fakulteta je u potpunosti urađen od Aluminijskih sendvič zidova (Al-u fasada). Ovaj deo objekta poseduje sledeću zidnu konstrukciju sastavljenu od Aluminijskih ploča 2mm između kojih se nalazi tervol. Ukupna debljina zida je 11 cm. Generalno gledano zidovi su u relativno dobrom stanju.

#### 4.1.2 Analiza stolarije

- Stari deo

U starom delu fakulteta zastupljene su tri vrste prozora. Prva vrsta se sastoji iz jednog drvenog okvira sa duplim staklom, druga vrsta su betonski prozori sa jednostrukim staklo, i metalni prozori sa jednostrukim staklom. Što se tiče drvenih prozora nisu zamenjeni od izgradnje fakulteta, samo su jednom prefarbani pa je samim tim i njihovo zaptivanje prilično umanjeno. Generalan zaključak je da je stolarija u prilično lošem stanju pa su toplotni gubici kroz istu izuzetno veliki.

Što se tiče vrata u starom delu fakulteta zastupljene su dve vrste. Prva vrsta se sastoji iz čeličnih okvira u kombinaciji sa jednim slojem stakla i bila je zastupljena je u objektu D. Druga vrsta vrata su metalna vrata koja se nalaze na ulazu u odeljenja za zavarivanje i rezanje, i pripadaju objektu C. Vrata su u solidnom stanju. Prva vrsta vrata je bila u izuzetno lošem stanju, zaptivanje gotovo i nije postojalo a na ulazu fakulteta vrata nisu ni mogla da se zatvaraju. Pošto je objekat D glavna zgrada fakulteta a uz to nalazi se na takvom mestu da ujedno predstavlja reprezentativnu zgradu vrata na ulazu u objekat morala su da budu zamenjena. Zamena je urađena 2010. godine sa vratima od Aluminijskog okvira u kombinaciji sa jednim slojem stakla.

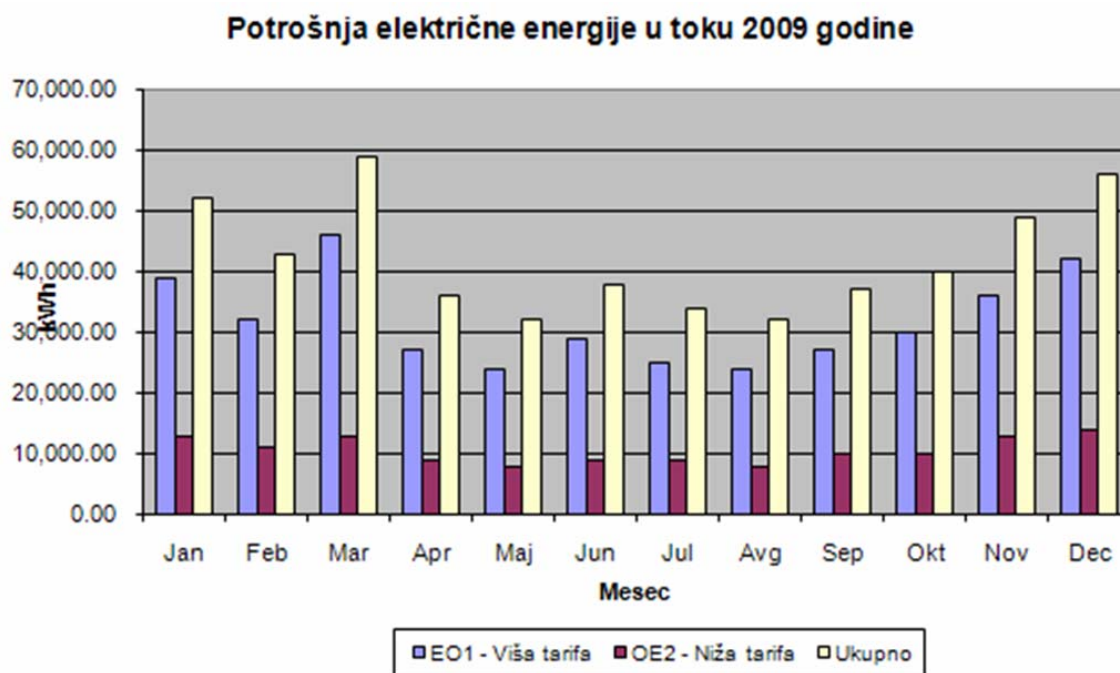
- Novi deo

U novom delu fakulteta zastupljena je jedna vrsta prozora različitih dimenzija. Dimenzije su 1.1m x 1.1m i 1.1m x 1.3m. Prozori su dvostruko zastakljeni, vakumski sa Al-ramom, bez termoprekida. Prozori su u prilično dobrom stanju, ali na pojedinim mestima zbog loše zaptivenosti javljaju se toplotni gubici usled infiltracije. Takođe uz ovaj tip prozora vezuje se i problem nastanka toplotnih mostova.

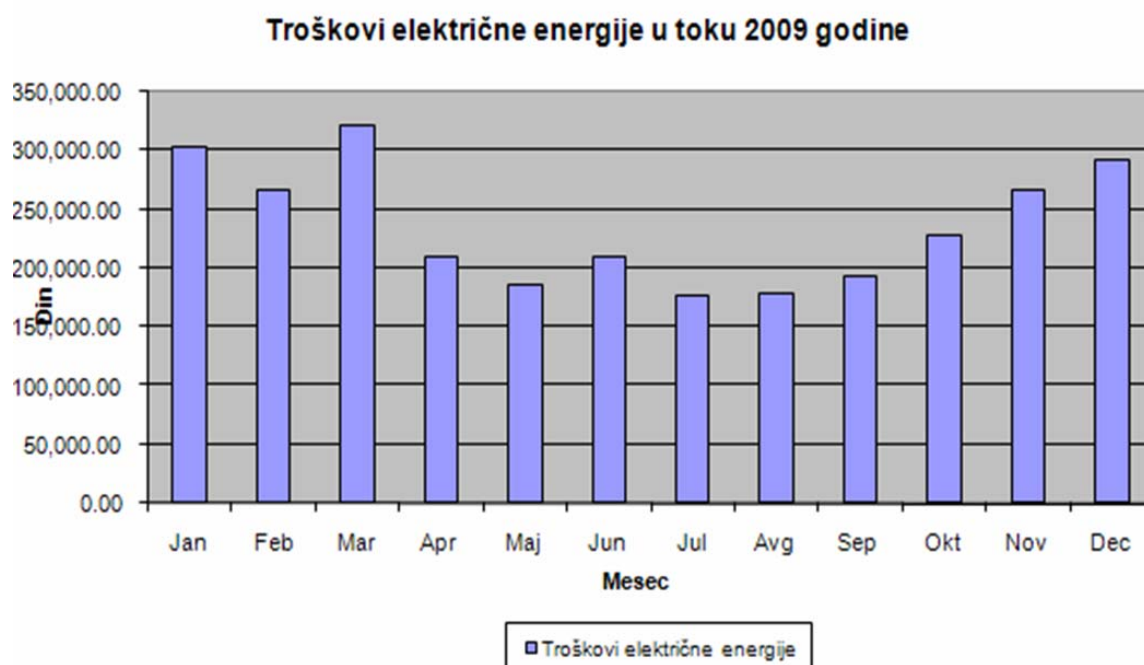
U novom delu objekta zastupljena su dva tipa vrata. Prvi tip su Aluminijska vrata u kombinaciji sa jednim slojem stakla i nalaze se na ulazima u objekta. Drugi tip vrata su koja su kompletno izrađena od Aluminijskog. Sva vrata su u prilično dobrom stanju, pa je i njihova zaptivenost na zavidnom nivou.

#### 4.2. Potrošnja električne i toplotne energije

Usled svega viđenog do sada zaključujemo da je Fakultet inženjerskih nauka veliki potrošač električne i toplotne energije.

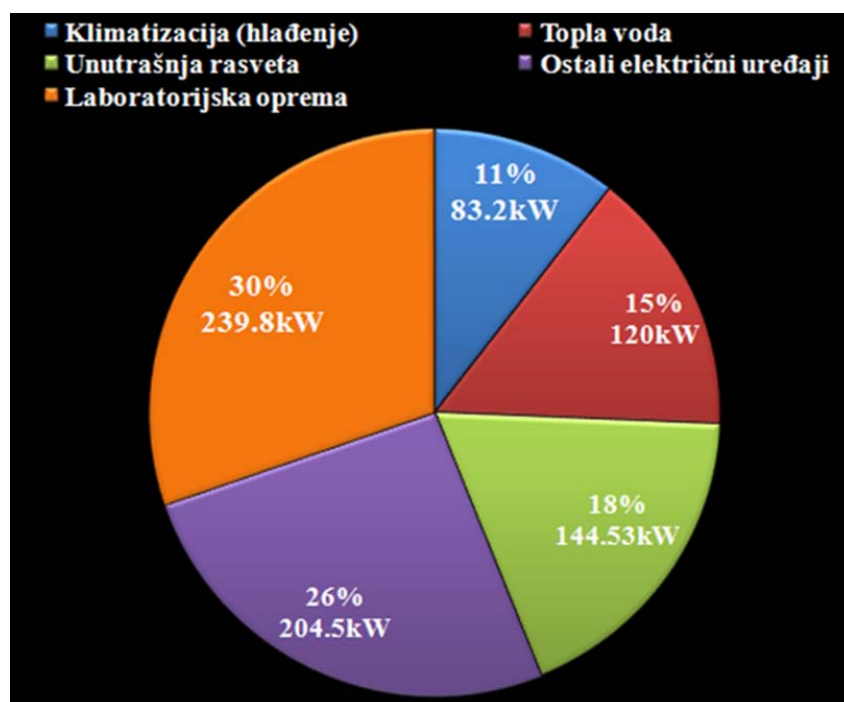


Grafik 1. Potrošnja električne energije



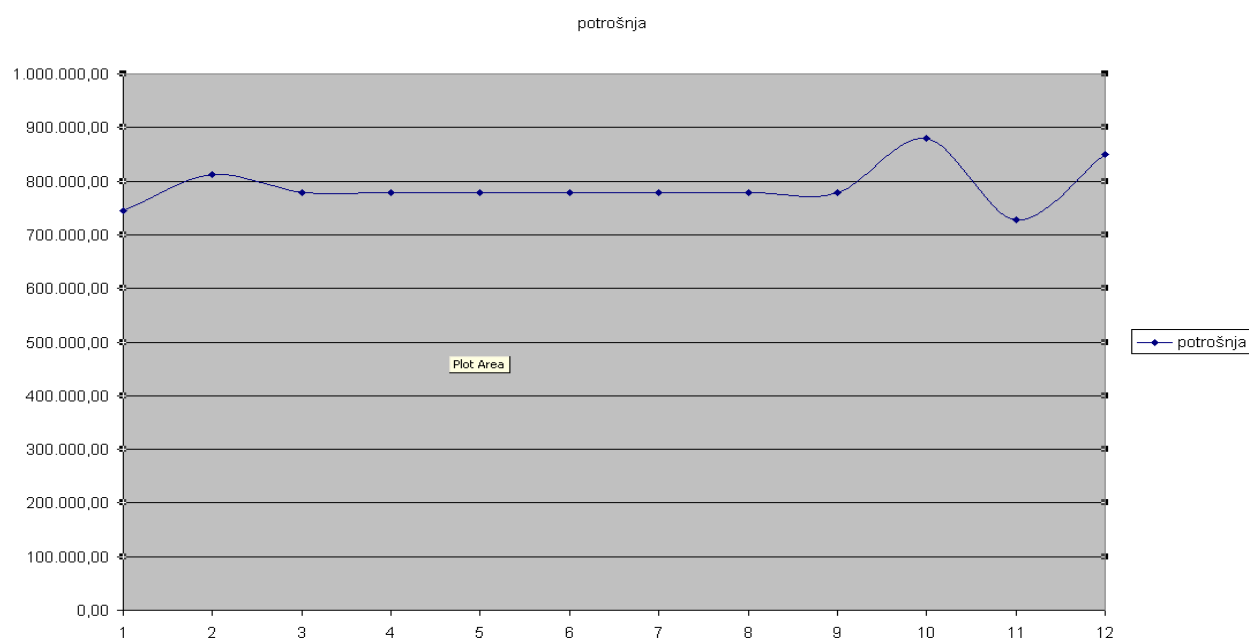
Grafik 2. Troškovi za električnu energiju

Raspodela potrošača električne energije po instalisanoj snazi.



Grafik 3. Raspodela potrošača el. energije po instalisanoj snazi

Daljinsko grejanje se plaća paušalno:



Grafik 4. Troškovi za grejanje

## 5. RETScreen

RETScreen je alat koji nam pomaže pri donošenju odluka vezanih za problem poboljšanja energetske efikasnosti sistema. Bavi se pre svega čistim energijama. Jezgro alata se sastoji od integrisanog i standardizovanog softvera koji se bavi analizama čiste energije i može biti upotrebljen u širokom spektru kako bi se procenila proizvodnja energije, troškovi životnog ciklusa projekta i redukcija emisije gasova staklene bašte. Svaka tehnologija programskih modela je razvijena unutar Microsoft®Excel fajla. Svaki fajl se sastoji od niza radnih listova koji imaju zajednički izgled i prate standardni pristup za sve RETScreen modele. Osim softvera, ovaj alat sadrži još i: baze podataka vremenskih prilika i troškova, online uputstvo, projektat studije slučaja i obuku.

Osam radnih listova (*Start, Energy Model, Load & Network Design (Load & Network), Equipment Selection, Cost Analysis, Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis (GHG Analysis), Financial Summary, Sensitivity and Risk Analysis (Sensitivity)* i *Tools*) su dati u CHP Excel fajlu.

**5.1. Radni list (Start)**, u njega unosimo podatke slika:

- naziv projekta,
- mesto izvođenja,
- tip projekta
- tip elektro-distributivne mreže
- valuta
- klimatska zona i lokacija

The screenshot displays the RETScreen International software interface. The header includes the logo and website address. The main content area is divided into two sections: 'Project information' and 'Site reference conditions'. The 'Project information' section contains various input fields for project details, while the 'Site reference conditions' section includes fields for climate data location and a checkbox to show data.

| Project information     |                                     | <a href="#">See project database</a> |
|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Project name            | Mikrokogeneracija                   |                                      |
| Project location        | Kragujevac                          |                                      |
| Prepared for            | mikrokogeneraciju                   |                                      |
| Prepared by             | Djole                               |                                      |
| Project type            | Combined heating & power            |                                      |
| Grid type               | Central-grid                        |                                      |
| Analysis type           | Method 2                            |                                      |
| Heating value reference | Lower heating value (LHV)           |                                      |
| Show settings           | <input checked="" type="checkbox"/> |                                      |
| Language - Langue       | English - Anglais                   |                                      |
| User manual             | English - Anglais                   |                                      |
| Currency                | Euro                                |                                      |
| Units                   | Metric units                        |                                      |

| Site reference conditions |                          | <a href="#">Select climate data location</a> |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|
| Climate data location     | Kraljevo                 |                                              |
| Show data                 | <input type="checkbox"/> |                                              |

*Slika 17. Radni list START*

## 5.2. Radni list (*Load & Network*)

On se odnosi na trenutne uslove i stanje objekata za koje ćemo vršiti optimizaciju (Fakultet inženjerskih nauka). Sastoji se iz: projekta grejanja i elektro-energetskog projekta.

Što se projekta grejanja tiče, tu unosimo podatke o tome koliko zgrada ima, kolika je površina grejanog prostora, vrstu i cenu goriva itd (*Slika 18.*).

| Heating project                                              | Unit                               |        |                          |          |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------|--------------------------|----------|
| <b>Base case heating system</b>                              | Multiple buildings - space heating |        | <b>Building clusters</b> |          |
| <a href="#">See technical note on heating network design</a> |                                    |        | <b>1</b>                 | <b>2</b> |
| Heated floor area per building cluster                       | m <sup>2</sup>                     | 12.900 | 6.400                    | 6.500    |
| Number of buildings in building cluster                      | building                           | 4      | 2                        | 2        |
| Fuel type                                                    |                                    |        | Coal                     | Coal     |
| Seasonal efficiency                                          | %                                  | -      | 55%                      | 55%      |
| <b>Heating load calculation</b>                              |                                    |        |                          |          |
| Heating load for building cluster                            | W/m <sup>2</sup>                   | -      | 185                      | 240      |
| Domestic hot water heating base demand                       | %                                  | 0%     |                          |          |
| Total heating                                                | MWh                                | 5.476  | 2.363                    | 3.113    |
| Total peak heating load                                      | kW                                 | 2.744  | 1.184                    | 1.560    |
| Fuel consumption - unit                                      |                                    | -      | t                        | t        |
| Fuel consumption - annual                                    |                                    | -      | 475                      | 626      |
| Fuel rate - unit                                             |                                    | -      | €/t                      | €/t      |
| Fuel rate                                                    |                                    | -      | 60,000                   | 60,000   |
| Fuel cost                                                    | €                                  | 66.040 | € 28.495                 | € 37.544 |
| <b>Proposed case energy efficiency measures</b>              |                                    |        |                          |          |
| End-use energy efficiency measures                           | %                                  | 10%    | 10%                      | 10%      |
| Net peak heating load                                        | kW                                 | 2.470  | 1.066                    | 1.404    |
| Net heating                                                  | MWh                                | 4.928  | 2.126                    | 2.802    |

*Slika 18.*

Ukupna površina koja se greje je 12900 m<sup>2</sup>, a za gorivo smo uzeli ugalj, čija je cena 60 €/t. Takođe smo uneli podatke o temperaturi dolazne i odlazne vode za grejanje, 140°C-90°C (*Slika 19.*).

| Proposed case district heating network       | Estimate/Total |               |
|----------------------------------------------|----------------|---------------|
| <b>Heating pipe design criteria</b>          |                |               |
| Design supply temperature                    | °C             | 140           |
| Design return temperature                    | °C             | 90            |
| Differential temperature                     | °C             | 50            |
| <b>Main heating distribution line</b>        |                |               |
| Main pipe network oversizing                 | %              | 0%            |
| <b>Pipe sections</b>                         |                |               |
|                                              | <b>Load</b>    | <b>Length</b> |
|                                              | kW             | m             |
| Section 1                                    | 1.404,0        | 20            |
| Section 2                                    |                |               |
| Section 3                                    |                |               |
| Section 4                                    |                |               |
| Section 5                                    |                |               |
| Section 6                                    |                |               |
| Section 7                                    |                |               |
| Section 8                                    |                |               |
| Section 9                                    |                |               |
| Section 10                                   |                |               |
| Section 11                                   |                |               |
| Section 12                                   |                |               |
| Section 13                                   |                |               |
| Total pipe length for main distribution line | m              | 20            |

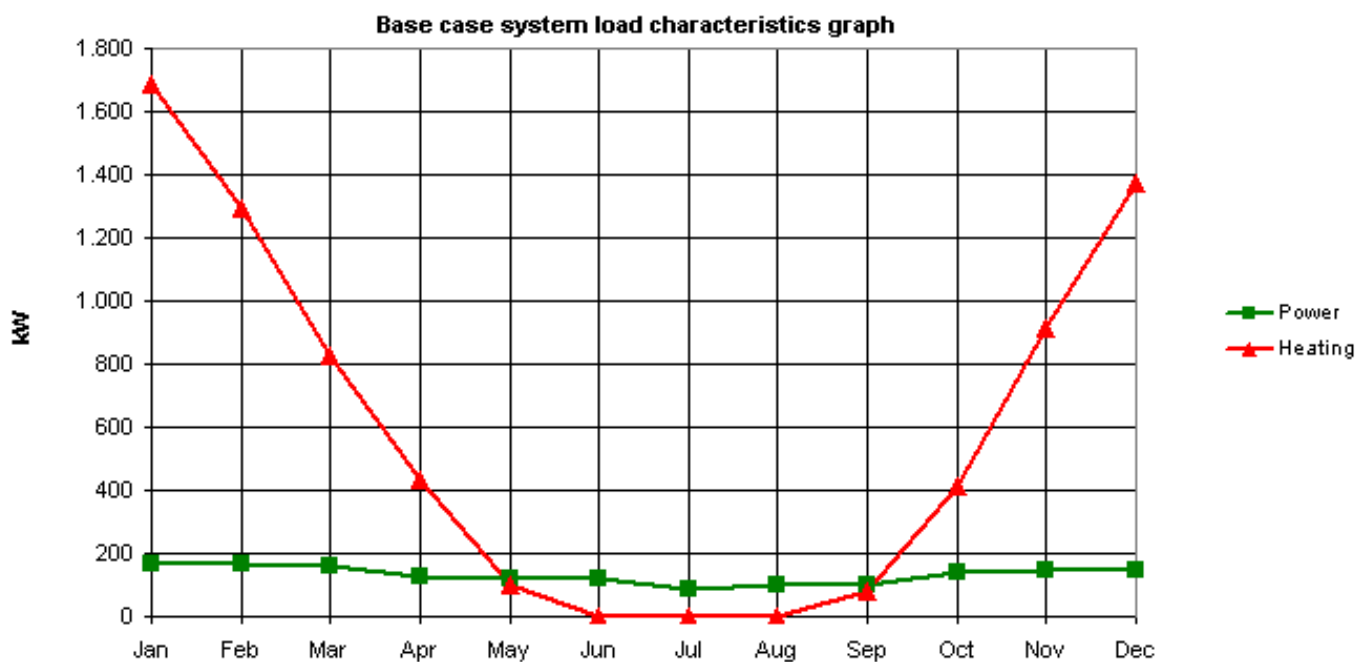
*Slika 19.*

U drugom delu vezanom za elektro-energetski projekat, unosimo o prosečnom elektro opterećenju za svaki mesec, i potom unosimo cenu struje (*Slika 20.*).

#### Base case load characteristics

| Month                                                 | Power<br>gross average load<br>kW | Power<br>net average<br>load<br>kW | Heating<br>average load<br>kW |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| January                                               | 170                               | 170                                | 1.688                         |
| February                                              | 170                               | 170                                | 1.296                         |
| March                                                 | 160                               | 160                                | 825                           |
| April                                                 | 130                               | 130                                | 434                           |
| May                                                   | 120                               | 120                                | 99                            |
| June                                                  | 120                               | 120                                | 0                             |
| July                                                  | 90                                | 90                                 | 0                             |
| August                                                | 100                               | 100                                | 0                             |
| September                                             | 100                               | 100                                | 78                            |
| October                                               | 140                               | 140                                | 414                           |
| November                                              | 150                               | 150                                | 912                           |
| December                                              | 150                               | 150                                | 1.372                         |
| System peak electricity load over max monthly average | 10,0%                             |                                    |                               |
| Peak load - annual                                    | 187                               | 187                                | 2.744                         |
| Electricity                                           | MWh                               | 1.174                              | 1.174                         |
| Electricity rate - base case                          | €/kWh                             | 0,050                              | 0,050                         |
| Total electricity cost                                | €                                 | 58.694                             | € 58.694                      |

*Slika 20.*



*Grafik 5. Toplotno i elektro opterećenje tokom godine*

Na osnovu ovog grafika vidimo da je najveće opterećenje, što se grejanja tiče, tokom zime, što je i logično. A što se električne energije tiče varira od 90 do 170 kW, u zavisnosti od godišnjeg doba i raspusta.

### 5.3. Radni list (*Energy model*)

U ovaj radni list, unosimo podatke:

- tehnologiji kogeneracije koju primenjujemo,
- podatke o gorivu,
- kapacitet kogeneracione jedinice
- finansijske stope za prodaju električne energije

| Proposed case power system                         |                      |        |       |         |  |
|----------------------------------------------------|----------------------|--------|-------|---------|--|
| System selection                                   | Base load system     |        |       |         |  |
| <b>Base load power system</b>                      |                      |        |       |         |  |
| Technology                                         | Reciprocating engine |        |       |         |  |
| Availability                                       | %                    |        | 95,0% | 8.322 h |  |
| Fuel selection method                              | Single fuel          |        |       |         |  |
| Fuel type                                          | Natural gas - m³     |        |       |         |  |
| Fuel rate                                          | €/m³                 | 0,330  |       |         |  |
| <b>Reciprocating engine</b>                        |                      |        |       |         |  |
| Power capacity                                     | kW                   | 100    | 84,9% |         |  |
| Minimum capacity                                   | %                    | 25,0%  |       |         |  |
| Electricity delivered to load                      | MWh                  | 532    | 71,9% |         |  |
| Electricity exported to grid                       | MWh                  | 28     |       |         |  |
| Manufacturer                                       |                      |        |       |         |  |
| Model                                              |                      |        |       |         |  |
| Heat rate                                          | kJ/kWh               | 11.000 |       |         |  |
| Heat recovery efficiency                           | %                    | 75,0%  |       |         |  |
| Fuel required                                      | GJ/h                 | 1,1    |       |         |  |
| Heating capacity                                   | kW                   | 154,2  | 6,2%  |         |  |
| <b>Operating strategy - base load power system</b> |                      |        |       |         |  |
| Fuel rate - base case heating system               | €/MWh                | 12,06  |       |         |  |
| Electricity rate - base case                       | €/MWh                | 50,00  |       |         |  |
| Fuel rate - proposed case power system             | €/MWh                | 34,96  |       |         |  |
| Electricity export rate                            | €/MWh                | 50,00  |       |         |  |
| Electricity rate - proposed case                   | €/MWh                | 50,00  |       |         |  |

Slika 21. Karakteristike kogeneracione jedinice

Izabrali smo gasni motor snage 100 kW i on ima efikasnost prikupljanja otpadne toplote 75%. Proizvodnja električne energije ne zadovoljava u potpunosti potrebe fakulteta, i iznosi oko 72%. Kapacitet našeg motora takođe ne zadovoljava vršno električno opterećenje, već njegovih 85%. Količine električne energije koju dostavljamo samom fakultetu iznosi 532 MWh, a u pojedinim trenucima kada fakultet nema potrebu za prevelikom potrošnjom električne energije, naš motor proizvodi višak i izvozi ga u mrežu. On u ovom slučaju iznosi skromnih 28 MWh, što nam ostvaruje izvestan prihod.

Električna opterećenja:

Sa *Slike 22.* vidimo da potrebe za vršnim opterećenjem zadovoljavamo povlačenjem električne energije iz mreže.

#### Power

##### Base load power system

|                               |     |                        |       |
|-------------------------------|-----|------------------------|-------|
| Technology                    |     | Reciprocating engine   |       |
| Operating strategy            |     | Heating load following |       |
| Capacity                      | kW  | 100                    | 84,9% |
| Electricity delivered to load | MWh | 532                    | 71,9% |
| Electricity exported to grid  | MWh | 28                     |       |

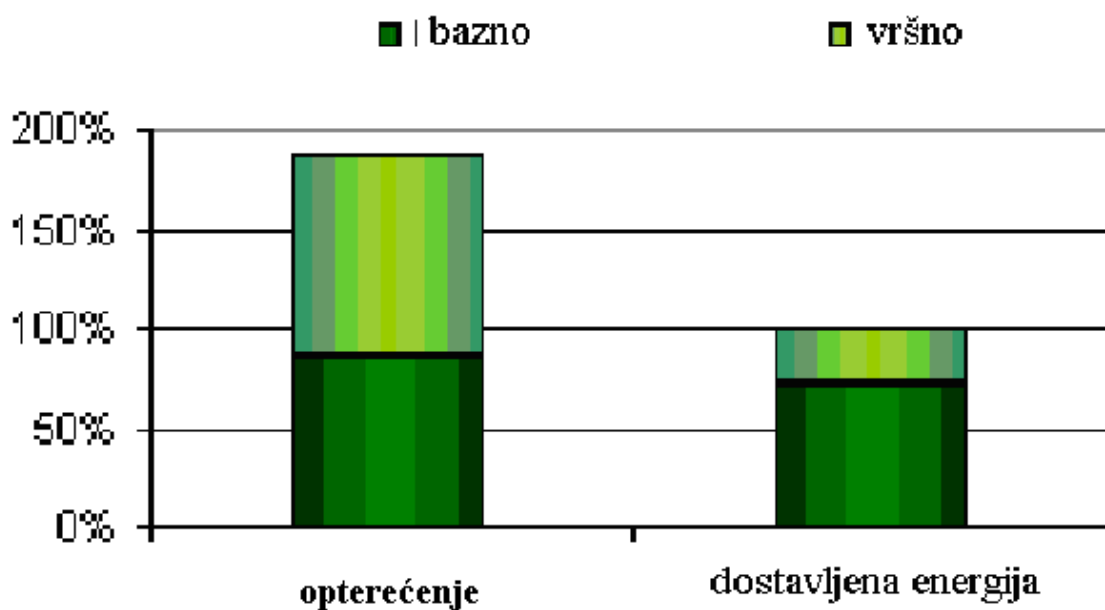
##### Peak load power system

|                               |     |                  |        |
|-------------------------------|-----|------------------|--------|
| Technology                    |     | Grid electricity |        |
| Suggested capacity            | kW  | 117,8            |        |
| Capacity                      | kW  | 120              | 101,9% |
| Electricity delivered to load | MWh | 208              | 28,1%  |

##### Back-up power system (optional)

|            |    |   |  |
|------------|----|---|--|
| Technology |    |   |  |
| Capacity   | kW | 0 |  |

*Slika 22. Zadovoljavanje vršnih opterećenja električne energije*



*Grafik 6. Električna opterećenja*

Sa grafikom jasno vidimo da naš gasni motor zadovoljava oko 85% kapaciteta, a isporučuje oko 72% električne energije.

Toplotna opterećenja:

Vršne potrebe za toplotnom energijom zadovoljavamo dogrevanjem uz pomoć kotla snage 3 MW, dok gasni motor zadovoljava potrebe od 6,2 % toplotnog konzuma, odnosno isporučuje 17.5% toplotne energije.

#### Heating

##### Base load heating system

Technology

Capacity

Heating delivered

|     |                      |       |
|-----|----------------------|-------|
|     | Reciprocating engine |       |
| kW  | 154,2                | 6,2%  |
| MWh | 863                  | 17,5% |

##### Intermediate load heating system

Technology

Not required

##### Peak load heating system

Technology

Boiler

Fuel type

Natural gas - m<sup>3</sup>

Fuel rate

0,330

Suggested capacity

€/m<sup>3</sup>

2.469,6

Capacity

kW

3.000

121,5%

Heating delivered

MWh

4.065,7

82,5%

Manufacturer

[See PDB](#)

Model

Seasonal efficiency

%

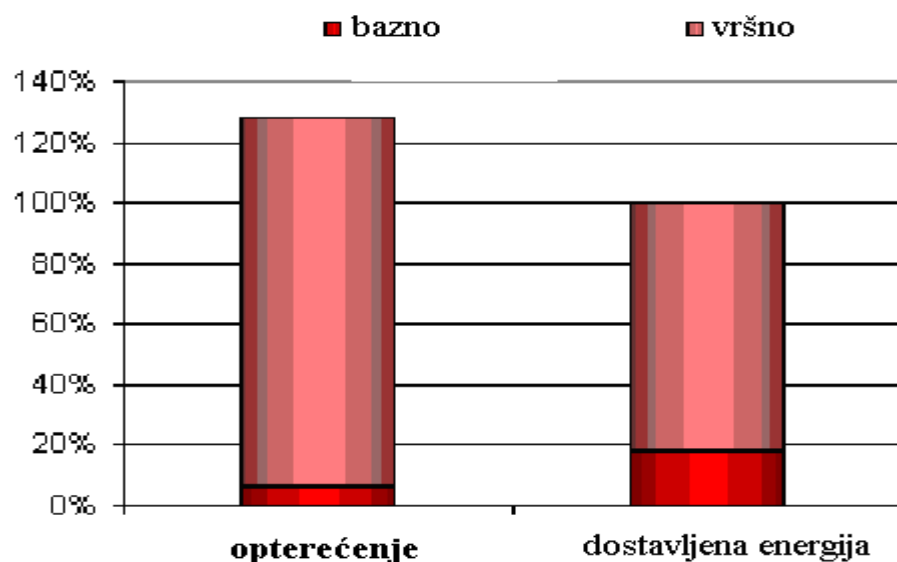
##### Back-up heating system (optional)

Technology

Capacity

kW

Slika 23. Zadovoljavanje vršnih opterećenja toplotne energije



Grafik 7. Toplotna opterećenja

## 5.4. Emisiona analiza (*Emission Analysis*)

### Base case electricity system (Baseline)

| Country - region | Fuel type   | GHG emission factor<br>(excl. T&D) | T&D losses | GHG emission factor   |
|------------------|-------------|------------------------------------|------------|-----------------------|
|                  |             | tCO <sub>2</sub> /MWh              | %          | tCO <sub>2</sub> /MWh |
| Serbia           | Natural gas | 0,271                              |            | 0,271                 |

### GHG emission reduction summary

|                                  | Base case<br>GHG emission | Proposed case<br>GHG emission | Gross annual<br>GHG emission<br>reduction | GHG credits<br>transaction fee | Net annual<br>GHG emission<br>reduction |
|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
|                                  | tCO <sub>2</sub>          | tCO <sub>2</sub>              | tCO <sub>2</sub>                          | %                              | tCO <sub>2</sub>                        |
| Combined heating & power project | 3.806,3                   | 394,0                         | 3.412,3                                   |                                | 3.412,3                                 |

Slika 24. Emisiona analiza

Za našu zemlju važi GHG emisioni faktor čija je vrednost 0,271 tCO<sub>2</sub>/MWh, što implicira da se pri svakom proizvedenom MWh energije emituje 0,271 ekvivalentna tCO<sub>2</sub>. Godišna redukcija emisije u ekvivalentnim tonama CO<sub>2</sub> za naš slučaj iznosi 3412,3 t.

## 5.5. Finansijska analiza (*Financial Analysis*)

| Project costs and savings/income summary |               |          |                |
|------------------------------------------|---------------|----------|----------------|
| <b>Initial costs</b>                     |               |          |                |
| Feasibility study                        | 8,8%          | €        | 10.000         |
| Development                              | 1,3%          | €        | 1.500          |
| Engineering                              | 1,3%          | €        | 1.500          |
| Power system                             | 88,5%         | €        | 100.000        |
| Heating system                           | 0,0%          | €        | 0              |
|                                          |               |          |                |
| Balance of system & misc.                | 0,0%          | €        | 0              |
| <b>Total initial costs</b>               | <b>100,0%</b> | <b>€</b> | <b>113.000</b> |
|                                          |               |          |                |
| <b>Annual costs and debt payments</b>    |               |          |                |
| O&M                                      |               | €        | 0              |
| Fuel cost - proposed case                |               | €        | 70.172         |
| <b>Total annual costs</b>                |               | <b>€</b> | <b>70.172</b>  |
| <b>Periodic costs (credits)</b>          |               |          |                |
|                                          |               |          |                |
| <b>Annual savings and income</b>         |               |          |                |
| Fuel cost - base case                    |               | €        | 124.733        |
| Electricity export income                |               | €        | 3.348          |
| <b>Total annual savings and income</b>   |               | <b>€</b> | <b>128.082</b> |

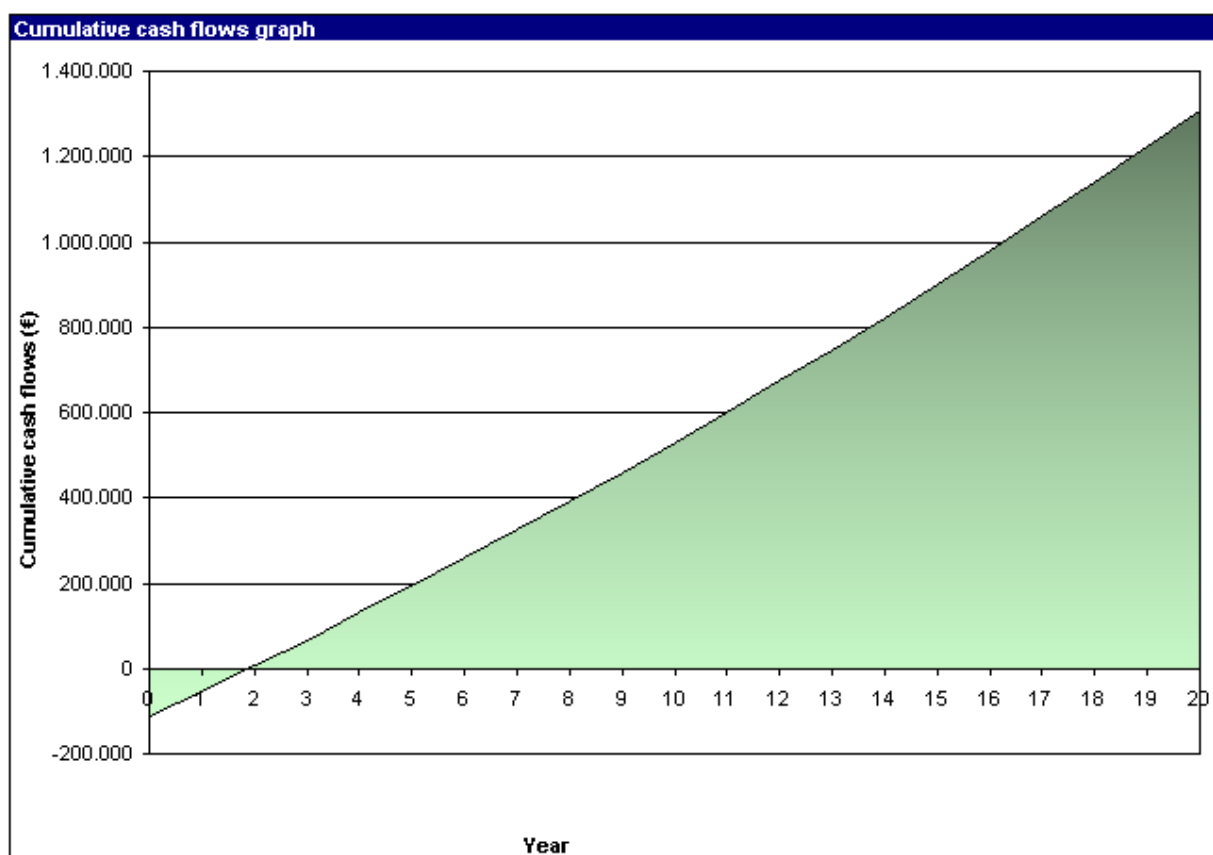
Slika 25. Troškovi i uštede

Pošto su nam početni troškovi 113 000 €, godišnji rashodi oko 70 000 € a prihodi 128 000 €, tabela godišnjeg toka novca će izgledati ovako, slika.

Povećanje sume novca koju zaradimo svake godine i vidimo u ovoj tabeli, pripisujemo inflaciji. Na osnovu svega priloženog do sada, vidimo grafik otplate, i na osnovu njega zaključujemo da je period otplate oko 2 godine, što predstavlja prilično dobar rezultat.

| Yearly cash flows |          |           |            |
|-------------------|----------|-----------|------------|
| Year              | Pre-tax  | After-tax | Cumulative |
| #                 | €        | €         | €          |
| 0                 | -113.000 | -113.000  | -113.000   |
| 1                 | 59.001   | 59.001    | -53.999    |
| 2                 | 60.114   | 60.114    | 6.116      |
| 3                 | 61.250   | 61.250    | 67.365     |
| 4                 | 62.408   | 62.408    | 129.773    |
| 5                 | 63.589   | 63.589    | 193.362    |
| 6                 | 64.794   | 64.794    | 258.155    |
| 7                 | 66.023   | 66.023    | 324.178    |
| 8                 | 67.276   | 67.276    | 391.454    |
| 9                 | 68.555   | 68.555    | 460.009    |
| 10                | 69.859   | 69.859    | 529.867    |
| 11                | 71.189   | 71.189    | 601.056    |
| 12                | 72.546   | 72.546    | 673.602    |
| 13                | 73.930   | 73.930    | 747.532    |
| 14                | 75.341   | 75.341    | 822.873    |
| 15                | 76.781   | 76.781    | 899.654    |
| 16                | 78.250   | 78.250    | 977.904    |
| 17                | 79.748   | 79.748    | 1.057.652  |
| 18                | 81.276   | 81.276    | 1.138.928  |
| 19                | 82.834   | 82.834    | 1.221.762  |
| 20                | 84.424   | 84.424    | 1.306.186  |

Slika 26. Godišnji tok novca



Grafik 8. Grafik otplate

## 6. ZAKLJUČAK

Potrošnja energije je u porastu pa će uskoro biti potrebni novi izvori za proizvodnju električne i toplotne energije, kako u sektoru industrije tako i u opštoj potrošnji. Osnovna prednost kogeneracije je povećana iskoristivost energenata u odnosu na konvekcionalne elektrane koje služe samo za proizvodnju električne energije, kao i u odnosu na toplane koje služe samo za proizvodnju toplote koja služi za tehnološke svrhe ili za proizvodnju tople vode. Pozitivni činioci kogeneracije su: manji gubici u mreži, smanjenje gubljenja u prenosu, povećanje kvaliteta napona i povećane pouzdanosti snabdevanja preduzeća energijom. Uz sve ovo navedeno smanjen je i štetan uticaj na okolinu.

Za konkretan slučaj koji sam ja obradio jedno mini kogeneraciono postrojenje bi dosta doprinelo poboljšanju energetske efikasnosti našeg fakulteta, ali bi takođe donelo i priliv novca od izvoza električne energije u mrežu. ovo postrojenje bi se isplatilo za 2 godine.

Ako bi uz to izvršili zamenu postojeće stolarije (prozora i vrata), i izolovali zidove na objektima C i D, ušteda bi bila mnogo veća.

|             | <b>Investicija</b> | <b>Ušteda energije</b> | <b>Ušteda novca</b> | <b>Vreme povraćaja investicije</b> |
|-------------|--------------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|
|             | <b>€</b>           | <b>kWh/year</b>        | <b>€/year</b>       | <b>years</b>                       |
| <b>ZBIR</b> | <b>511814</b>      | <b>1833966</b>         | <b>35515</b>        | <b>14.4</b>                        |

## 7. LITERATURA

[1] [cogeneurope.eu](http://cogeneurope.eu)

[2] [kogeneracija.rs](http://kogeneracija.rs)

[3] [Energy-Tech Magazine](#)

[4] [Mini-CHP-plants.](#)

[5] Zdravko N. Milovanović, modeli primjene i promovisanje sistema mikrokogeneracije u republici srpskoj, mašinski fakultet Banja luka, Republika Srpska, 2010.

[6] The European Association for the Promotion of Cogeneration EDUCOGEN Project, [A Guide to Cogeneration](#)

[7] “Energetsko bilansiranje Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu”, N. Rakić, M. Popović, Đ. Vukadinović, D. Canović, N. Petuhov

[8] [ecoPOWER.com](http://ecoPOWER.com)