

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA TRIGENERACIJE

Rijeka, svibanj 2016.

Antonio Šipek

0069045166

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA TRIGENERACIJE

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Srđan Skok

Rijeka, svibanj 2016.

Antonio Šipek

0069045166

TEHNIČKI FAKULET

Povjerenstvo za završne ispite
preddiplomskog stručnog studija elektrotehnike
Br.: 602-04/15-14/11
Rijeka, 06.03.2015.

Z A D A T A K

za završni rad

Pristupnik: Antonio Šipek

Matični broj:0069045166
Lokalni matični broj: 08800046

Naziv zadatka:

MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA TRIGENERACIJE

Naziv zadatka na
engleskom jeziku:

The possibility of using trigeneration

Sadržaj zadatka:

U radu je potrebno objasniti tehnologiju kogeneracije i trigeneracije. Potrebno je opisati osnovne dijelove trigeneracije i njenu primjenu. Opisane tehnologije trigeneracije potrebno je otkrijepiti stvarnim primjerom primjene trigeneracije.

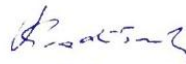
Zadano: 17.03.2015.

Mentor:



Izv. prof. dr. sc. Srđan Skok

Predsjednica Povjerenstva:



Izv. prof. dr. sc. Vera Gradišnik

Zadatak preuzeo dana: 17.03.2015.



(potpis pristupnika)

Dostaviti:

- Predsjednica Povjerenstva
- Mentor
- Djelovođa Povjerenstva
- Evidencija studija
- Pristupnik
- Arhiva Zavoda

IZJAVA

Sukladno s člankom 9. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, od lipnja 2011., izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku br. 602-04/15-14/11 od 06.03.2015.

Rijeka, svibanj 2016.

Antonio Šipek

1. UVOD	1
2. PRIMARNI IZVORI ENERGIJE	3
2.1. Neobnovljivi izvori energije	4
2.1.1. Nafta.....	4
2.1.2. Plin.....	6
2.1.3. Ugljen.....	7
2.1.4. Nuklearna goriva.....	8
2.2. Obnovljivi izvori energije	8
2.2.1. Biomasa.....	9
3. KOGENERACIJA	11
3.1. Osnovni dijelovi kogeneracijskih postrojenja	12
3.1.1. Pogonski stroj.....	12
3.1.2. Generator električne energije.....	16
3.2. Osnovni tipovi kogeneracijskih postrojenja	19
3.2.1. Kogeneracijsko postrojenje sa parnom turbinom.....	19
3.2.2. Kogeneracijsko postrojenje sa plinskom turbinom.....	20
3.2.3. Kombi-kogeneracijsko postrojenje.....	21
4. TRIGENERACIJA	22
4.1. Osnovni dijelovi trigeneracijskih postrojenja	24
4.1.1. Pogonski stroj.....	24
4.1.2. Sorpcijski rashladni uređaji.....	28
4.2. Osnovni tipovi trigeneracijskih postrojenja	31
4.2.1. Trigeneracijska postrojenja sa motorom na unutarnje sagorijevanje.....	31
4.2.2. Trigeneracijska postrojenja sa mikroturbinom.....	32
4.2.3. Trigeneracijska postrojenja sa Stirlingovim motorom.....	33
4.2.4. Trigeneracijska postrojenja sa gorivnim svežnjem.....	34
5. PRIMJERI KORIŠTENJA TRIGENERACIJE	36
5.1. Mikro sustav	36
5.2. Mini sustav	37
5.3. Mali sustav	38
5.4. Veliki sustav	40
6. ZAKLJUČAK	41

POPIS LITERATURE	42
POPIS SLIKA I TABLICA	43

1. UVOD

U ovome radu opisana su u prvome redu trigeneracijska postrojenja, način rada istih, mogućnostima primjene, te najčešći tipovi postrojenja s obzirom na pogonski stroj. Također posvećena je pažnja i kogeneracijskim postrojenjima kao tehnologiji iz koje se razvila trigeneracija. Radi povezanosti sa temom također je opisan pojam energije i njenih oblika.

Trigeneracija (eng. CCHP, combined cooling, heating and power) predstavlja tehnologiju istovremene proizvodnje električne, toplinske i rashladne energije korištenjem jednog primarnog izvora energije. Tehnologija je razvijena iz kogeneracije (eng. CHP, combined heat and power) dodatnim iskorištavanjem otpadne topline korištenjem sorpcijskih rashladnih uređaja. Takvim pristupom u proizvodnji dodatno povećavamo efikasnost te ona može iznositi i do 0.9, što je iznenađujuće mnogo uspoređujući sa tradicionalnim termoenergetskim postrojenjima gdje se proizvodi posebno električna energija pri prosječnoj efikasnosti pretvorbe energije od oko 0.33, toplinska energija pri efikasnost od 0.85, te rashladna energija pomoću kompresorskih rashladnika pogonjenih električnom energijom. Najčešće korišteno gorivo za pogon trigeneracijskih postrojenja je prirodni plin, što za posljedicu ima smanjene emisije dimnih plinova i zagađivača zraka, što je danas cijenjena činjenica s obzirom na sve veće napore razvijenih zemalja za smanjenjem emisija stakleničkih plinova. Osim prirodnog plina kao gorivo za pogonski stroj mogu se koristiti: bioplin, biomasa, benzin, dizel i gorivne ćelije. Izbor energenta ovisi prvenstveno o dostupnosti, ekonomskoj opravdanosti, ekološkim normama i željama investitora. Najčešće su projektirani kao distribuirani izvori energije snage manje od 1MW locirani blizu potrošača, što smanjuje gubitke u prijenosu energije.

Trigeneracija može predstavljati rješenje u onim slučajevima gdje imamo konstantnu potrebu za rashladnom i toplinskom energijom, kao kod industrijske proizvodnje hrane ili sezonsku potrebu, npr u zgradarstvu, gdje se zimi konzumira uglavnom toplinska energija, a ljeti u većoj mjeri rashladna energija. Proizvedenu električnu energiju možemo koristiti u vlastitom konzumu, a u slučaju viškova istu predajemo u mrežu. Također

povećavamo i stabilnost napajanja samog potrošača kod mogućih kvarova u distribucijskoj i prijenosnoj mreži.

2. PRIMARNI IZVORI ENERGIJE

Energija označava sposobnost sustava da izvrši određeni rad, a njeno najvažnije svojstvo je da ne može nestati jedino može prijeći iz jednog oblika u drugi u skladu sa zakonom o očuvanju energije. Energiju i rad označavamo jedinicom džul (J), te ona predstavlja energiju ili rad što je izvršila sila od jednog njutna (N) na putu od jednog metra (m) u smjeru sile. [1,2,10]

$$J = N \cdot m = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \quad (1.1)$$

Pod primarne oblike energije podrazumijevamo one koje se mogu naći u prirodi u nepromijenjenom obliku. Dijelimo ih u dvije skupine s obzirom na vremensku mogućnost njihovog korištenja:

- 1.) Neobnovljivi
- 2.) Obnovljivi

Neobnovljive izvore energije dijelimo na :

- 1.) Fosilna goriva
- 2.) Nuklearna goriva
- 3.) Geotermalnu energiju

Obnovljive izvore energije dijelimo na:

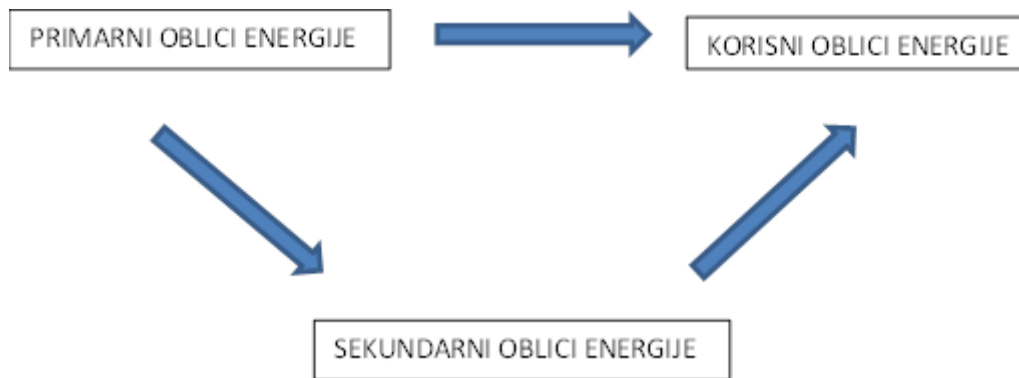
- 1.) Biomasa
- 2.) Gorive ćelije
- 3.) Vjetar
- 4.) Energiju vodenih masa
- 5.) Energiju sunčevog zračenja

Prema zastupljenosti i uobičajenosti korištenja dijelimo ih na:

- 1.) Konvencionalne (Fosilna goriva, nuklearna energija, energija vodenih masa, geotermalna energija)
- 2.) Nekonvencionalne (vjetar, biomasa, bioplin, sunčeva energija)

Energetskim transformacijama primarnih oblika energije možemo stvoriti sekundarne oblike energija kao što su električna ili toplinska, te korisne

oblike energije kao što su mehanička i rasvjetna. Tijekom transformacija između oblika energije u lancu nastaju gubici za koje želimo da budu što manji, a to postizemo racionalnom i efikasnom upotrebom energije kroz razne procese.



Slika 2.1. Energetske transformacije

2.1. Neobnovljivi izvori energije

Pod neobnovljive izvore energije podrazumijevamo sve one čija mogućnost iscrpljivanja je vremenski ograničena, te pod njih ubrajamo:

- Naftu
- Prirodni plin
- Ugljen
- Nuklearno gorivo

2.1.1. Nafta

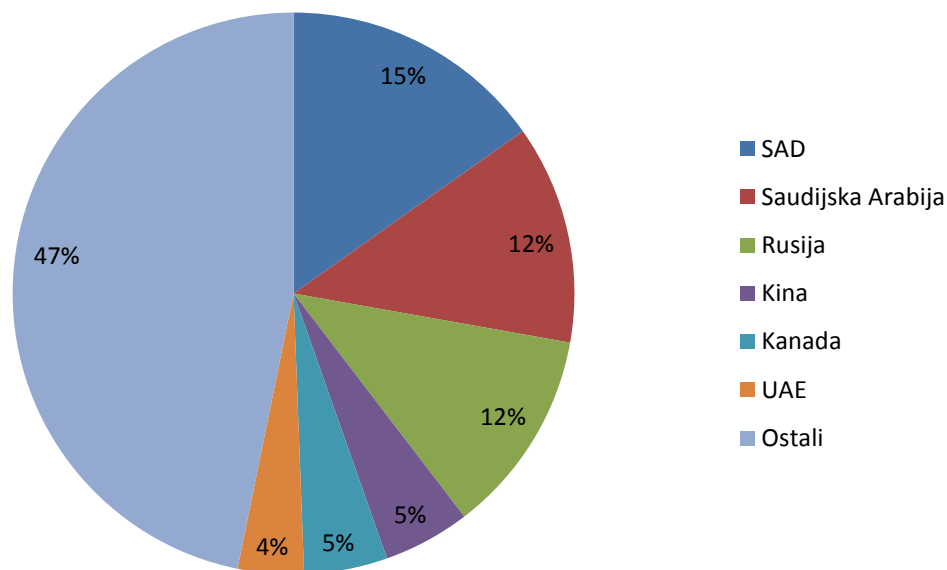
Sirova nafta je tekuće fosilno gorivo koje nalazimo u sedimentnim slojevima zemlje zbijeno u porama između stijena pod visokim tlakom. U sastavu nafte prevladavaju ugljikovodici no prisutni su i spojevi dušika, sumpora, kisika i teških metala. Crpimo je tehnikama bušenja kroz slojeve pijeska, stijena ili mulja. Daljnjim rafiniranjem nafte dobivamo derivate kao što su:

- Benzin
- Dizel
- Ukapljeni naftni plin
- Loživo ulje
- Parafin
- Motorna ulja
- Bitumen



Slika 2.2. Nafta u porama

Procjenjuje se da su zalihe nafte ograničene te da će biti potrošene u slijedećih 60 do 100 godina iako prognoze iz godine u godinu variraju. Vodeći proizvođači nafte u svijetu su SAD, Saudijska Arabija i Rusija koji čine preko 45% svjetske proizvodnje.



Slika 2.3. Udio zemalja u proizvodnji nafte (2014. godina) [7]

2.1.2. Prirodni plin

Prirodni plin je nastao kao i nafta razgradnjom biljnih i životinjskih ostataka od prije 300 do 400 milijuna godina uz pomoć tlaka nastalog taloženjem sedimenata na zemljinoj površini i topline zemljine unutrašnjosti. Nalazimo ga na istim mjestima kao i naftu uglavnom zarobljen iznad nje ili rastvoren u nafti, iako ga je moguće naći i samostalno u bušotinama. On je plin bez boje, okusa i mirisa. Prirodni plin se sastoji uglavnom od metana (CH_4) koji je u dodiru sa zrakom vrlo zapaljiv te njegovim sagorijevanjem nastaje vodena para ($2\text{H}_2\text{O}$) i ugljik dioksid (CO_2). Njegova prednost je i u tome što sagorijevanjem ne ostavlja šljaku i sagorijeva uz 45% manje CO_2 od ugljena i do 30% manje CO_2 od nafte. [1,10]

Jedna od specifičnosti prirodnog plina je što se može ukapljiti pa ga onda nazivamo LNG (eng. liquefied natural gas). Proces ukapljivanja se obavlja uz temperaturu od oko -160°C te takav zauzima 1/600 volumena plina u plinovitom stanju što ga čini idealnim za prijevoz i skladištenje.

2.1.3. Ugljen

Ugljen je fosilno gorivo biljnog podrijetla nastalo taloženjem biljnih ostataka u slatkovodnim stajaćim vodama gdje je došlo do procesa truljenja pod ograničenim utjecajem kisika i aerobnih bakterija. Preko tih ostataka nataložilo se blato i mulj što je stvorilo veliku temperaturu i pritisak te je u konačnici dovelo do stvaranja lignita. Daljnjom dehidracijom lignita došlo je do stvaranja smeđeg, a zatim i kamenog ugljena koji je danas tržišno dominantan.

Ugljen se prvenstveno sastoji od ugljika koji je i nositelj njegove toplinske vrijednosti, zatim imamo prisutne i spojeve dušika i sumpora koji smanjuju njegovu toplinsku vrijednost. Ovisno o vrsti ugljena količina ugljika može varirati od 30% za lignit do 98% za antracit. Uzima se da je donja ogrjevna moć ugljena 29,307 MJ/kg što predstavlja standardni ugljen. Kako bi mogli uspoređivati količine ugljena i drugih energetskih sirovina koristimo ogrjevnu vrijednost standardnog ugljena i jedinicu tce (tone of coal equivalent) koja iznosi 29,307GJ/t. Njegova velika ogrjevna moć prepoznata je u industriji te je danas daleko najzastupljeniji oblik primarne energije kod proizvodnje električne energije sa udjelom od preko 35% u svjetskoj proizvodnji. Najveće zalihe ugljena se nalaze u SAD-u, gdje je locirano 27% svih svjetskih zaliha, zatim u Rusiji 17,6% i Kini 12.6%. Kina je prema zadnjim podacima najveći eksploatator ugljena na svijetu sa udjelom od preko 39%. U Hrvatskoj je zadnji ugljenokop Tupljak ugašen 1999. godine zbog nerentabilnosti i visoke količine sumpora u ugljenu. Glavni potrošač ugljena u Hrvatskoj je termoelektrana Plomin koja otprilike potroši 800000t godišnje.

Problem kod uporabe ugljena je njegovo zagađenje prvenstveno emisije ugljičnog dioksida (CO_2), zatim sumporovog dioksida (SO_2) te dušikovih oksida (NO_x) i raznih lebdećih čestica. Iako danas postoje tehnologije za odvajanje sumporovog dioksida i lebdećih čestica iz dimnih plinova još uvijek nije komercijalno zaživjelo izdvajanje ugljičnog dioksida iz dimnih plinova, dok je izdvajanje dušikovih oksida skupo.

2.1.4. Nuklearna goriva

Jedino prirodno nuklearno gorivo je izotop uranij-235 (^{235}U) koji čini 0,7% prirodnog elementa uranija, a ostalih 99,3% čini uranij-238 (^{238}U) koji nije fisibilan. Osim uranija-235 koriste se još uranij-233 i plutonij-239 koji se još nazivaju sekundarna nuklearna goriva pošto se dobivaju u nuklearnim reaktorima. Uranij-233 se dobiva bombardiranjem torija-232 neutronima, a plutonij-239 bombardiranjem uranija-238 neutronima.

Najbitnija ruda za dobivanje uranija je mineral uranit u kojoj je pomješan sa ostalim mineralima pa ga je potrebno izdvojiti. Izdvajanjem uranija iz rude dobivamo pročišćeni koncentrat koji se sastoji od triuranijevog oktoksida (U_3O_8) u omjeru od 70% do 90%, zatim od uranijevog dioksida (UO_2) i uranijevog trioksida (UO_3). Kao gorivo se koristi uranijev dioksid tako što se koncentrat topi i pročišćuje. Rezerve uranija uzimaju se na 5,5 milijuna tona, što uz godišnju potrošnju od 6500 tona daje vrijeme eksploatacije od 85 godina.

Nuklearna goriva imaju veliki energetske potencijal, no zbog opasnosti koje mogu donijeti na ljudsko zdravlje i okoliš postupno dolazi do njihove manje upotrebe, posebno nakon katastrofe u nuklearnoj elektrani Fukushima Daiichi u Japanu.

2.2 Obnovljivi izvori energije

Pod obnovljive izvore energije podrazumijevamo one čija mogućnost iscrpljivanja nije ograničena no potencijali jesu. Svojstvo obnovljivih izvora je u tome što su CO_2 neutralni.

Glavni predstavnici obnovljivih izvora energije su:

- Biomasa
- Energija vjetra
- Energija sunčevog zračenja
- Geotermalna energija
- Energija vodenih masa

2.2.1. Biomasa

Pod biomasu podrazumijevamo svu drvnu i ne drvnu građu te ostatke organskog i neorganskog otpada.

Glavni predstavnici biomase su:

- Drvna masa
- Bio plin
- Biodizel

Drvna masa

Od drvne mase za kao gorivo se najčešće koriste ostaci iz drvoprerađivačke industrije, te ogrjevno drvo i otpad nastali eksploatacijom šuma.

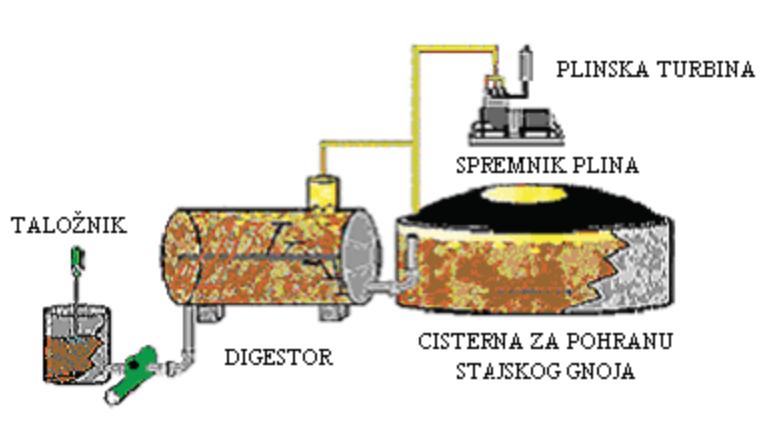
Kod klasične prerade šumske mase ostaje i do 30% neiskorištenog otpada koji se može iskoristiti za dobivanje goriva. Ostaci i otpad od drvne mase se dalje prerađuju i usitnjavaju a zatim prešaju te se na tržištu nalaze u obliku briketa i peleta. Energetska iskoristivost drvne mase ovisi o udjelu vlage te ona najčešće iznosi od 8,2 do 18,7MJ/kg. [11]



Slika 2.4. Drvni peleti

Bio plin

Bioplin označava mješavinu plinova nastalu razgradnjom biorazgradivog otpada bez prisustva kisika. Bioplin se sastoji od metana (40%-75%), ugljičnog dioksida (20-60%) te ostalih plinova u koncentraciji manjoj od 2%. Proizvodnja se vrši u postrojenjima zvanim anaerobni digestori, koji osiguravaju idealne uvjete za anaerobnu razgradnju otpada. Digestor se sastoji od jame za sakupljanje otpada, reaktora te spremnika i sustava za iskorištavanje plina.



Slika 2.5. Postrojenje za proizvodnju bioplina

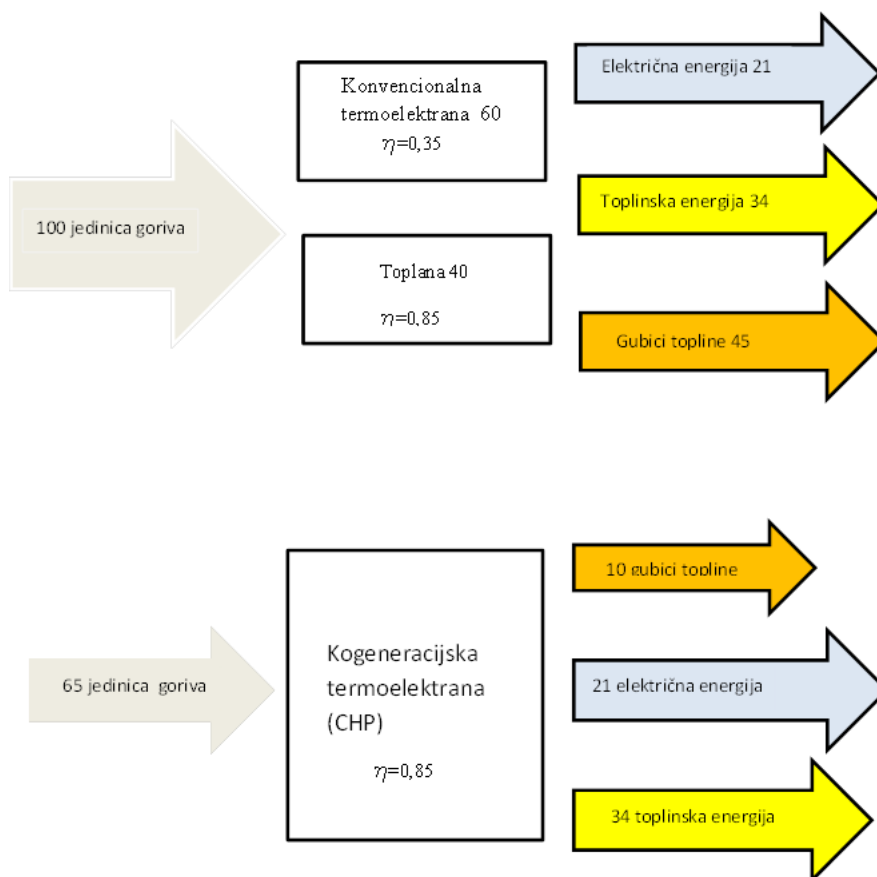
Biodizel

Biodizel je nemineralno, razgradivo tekuće gorivo koje se još naziva i metil-ester jer nastaje reakcijom biljnog ulja ili životinjske masti s metanolom uz prisutnost katalizatora. Kao sirovina za dobivanje biodizela koristi se uljana repica, soja, suncokret, životinjski loj i ostale malo zastupljene sirovine. Ogrijevna vrijednost biodizela iznosi oko 37MJ/l i nešto je niža od ogrijevne vrijednosti običnog dizel goriva.

Kao nusprodukt proizvodnje biodizela nastaje pogača koja je proteinski dodatak stočnoj hrani, glicerol te uljni mulj koji se koristi u poljoprivredi.

3. KOGENERACIJA

Kogeneracija označava proces u kojemu se od jednog primarnog izvora energije proizvode dva korisna oblika i to mehanička energija za pokretanje električnog generatora i toplinska energija za proizvodnju pare ili tople vode. Njih karakterizira visoka učinkovitost s obzirom na konvencionalna elektroenergetska postrojenja gdje se proizvodi samo električna energija. Stupanj korisnosti konvencionalnih elektroenergetskih postrojenja sa parnom turbinom iznosi od 0.35 do 0.45, dok kod kogeneracijskih postrojenja to iznosi od 0.7 do 0.8 zbog dodatnog iskorištavanja otpadne topline.



Slika 3.1. Bilanca kogeneracije i konvencionalnog postrojenja

Kogeneracijska postrojenja kao gorivo mogu koristiti naftu, prirodni plin, ugljen te ostale nekonvencionalne izvore kao što su biomasa ili gorive ćelije. Projektiraju se u rasponu snaga od 1kW do 500MW i više. Slabija postrojenja

se instaliraju najčešće kao decentralizirani izvori energije u sklopu nekih ustanova, industrijskih objekata i sl. te su priključeni na distribucijsku mrežu, dok postrojenja od 10MW i više su vezani za centralizirani toplinski sustav u blizini većih gradova ili industrijskih zona u službi proizvodnje tehnološke pare i/ili tople vode, a generatori električne energije su vezani za prijenosnu mrežu. [3]

3.1. Osnovni dijelovi kogeneracijskih postrojenja

Pod osnovne dijelove kogeneracijskog postrojenja spadaju:

- Pogonski stroj
- Generator električne energije
- Generator pare

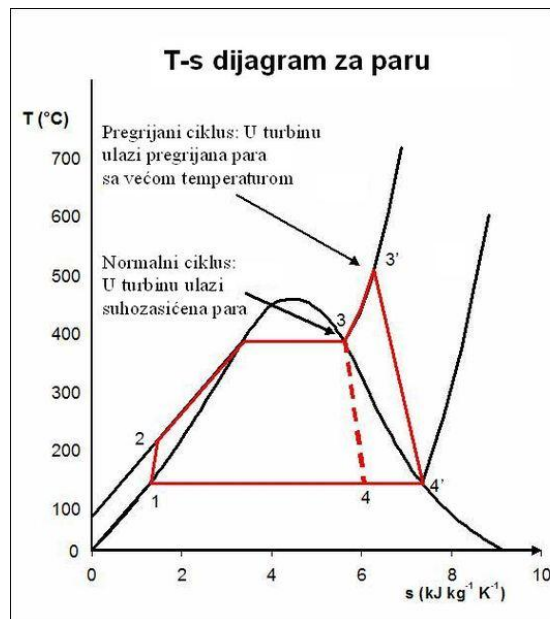
3.1.1 Pogonski stroj

Ovisno o tipu postrojenja kao pogonski stroj se koristi parna turbina, plinska turbina, motor sa unutarnjim sagorijevanjem, motor sa vanjskim sagorijevanjem ili gorive ćelije.

Parna turbina

Parna turbina je rotacijski stroj kod kojega se toplinska energija pare pretvara u kinetičku energiju parnog mlaza koji djeluje na pokretne lopatice rotora i proizvodi mehanički rad. Rad parne turbine je zasnovan na Rankineovu termodinamičkom kružnom procesu u četiri osnovna procesa:

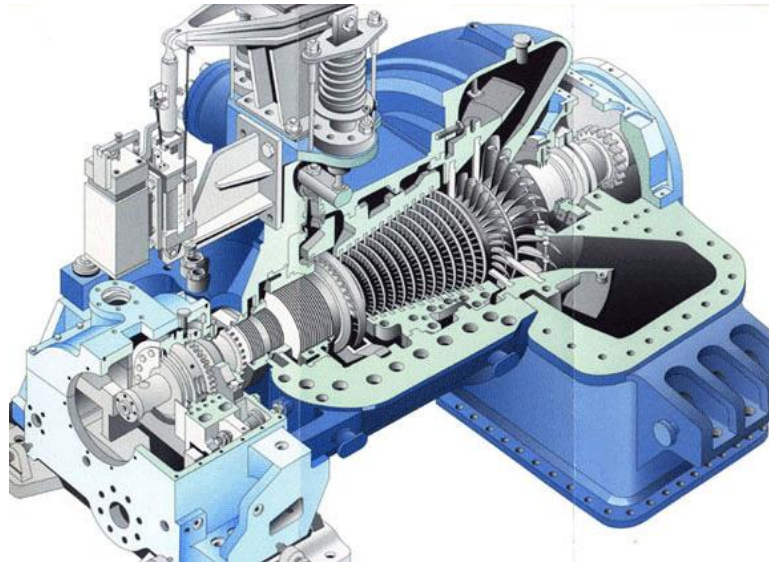
- Izentropsko tlačenje vode
- Zagrijavanje vode iz kapljevine u suho zasićenu paru
- Izentropsko ekspaniranje pare
- Zasićena para kondenzira u kapljevinu



Slika 3.2. Rankineov kružni proces

Prema načinu rada parne turbine dijelimo na akcijske i reakcijske, ovisno o tome gdje se vrši pretvorba toplinske energije u kinetičku energiju. Kod akcijske turbine pretvorba se vrši u statorskim lopaticama, dok reakcijske turbine djelomično u rotorskim te djelomično u statorskim lopaticama. Parne turbine karakterizira jednoličan rad pri konstantnim brzinama vrtnje što ih čini idealnim za pogon generatora električne energije. Rade se širokom rasponu snaga, te ih možemo podijeliti na:

- Male snage (do 10MW)
- Srednje snage (do 100MW)
- Velike snage (do 1000MW)
- Vrlo velike snage (preko 1000MW)



Slika 3.3. Prikaz parne turbine

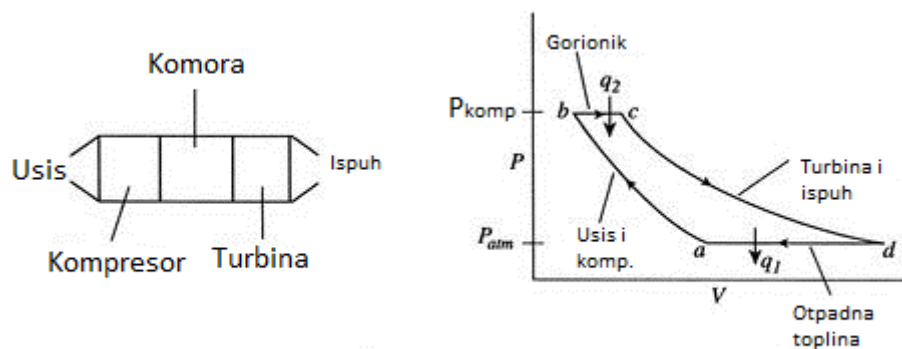
Prema načinu i mjestu gdje para izlazi iz turbine možemo ih podijeliti na:

- Kondenzacijske
- Kondenzacijske sa reguliranim oduzimanjem pare
- Protutlačne s reguliranim oduzimanjem pare
- Protutlačne bez reguliranog oduzimanja pare

Plinska turbina

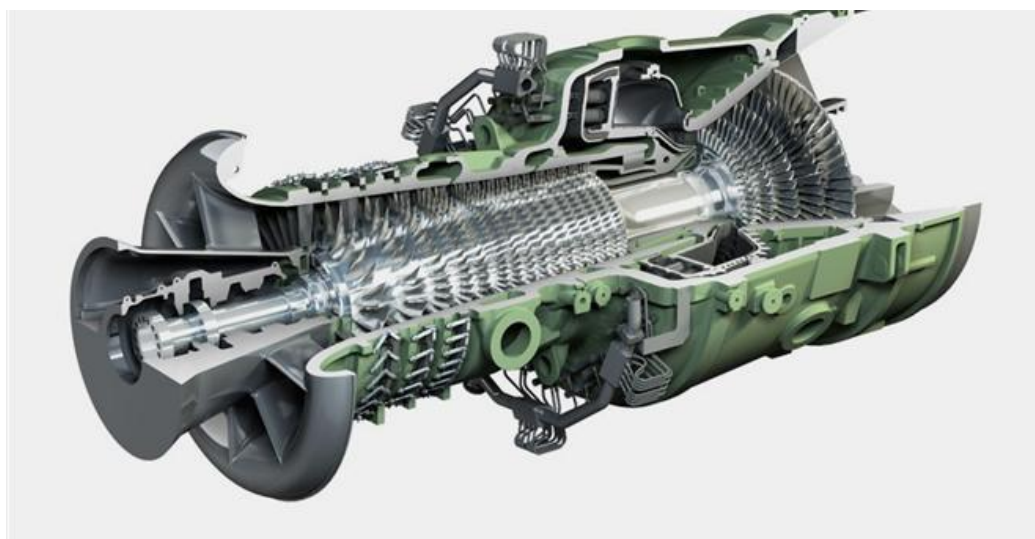
Plinska turbina je vrsta motora sa unutrašnjim sagorijevanjem koji energiju izgaranja plinova pretvara u mehanički rad. Rad se zasniva na Braytonovom kružnom ciklusu kroz tri procesa:

- Kompresija
- Izgaranje
- Ekspanzija



Slika 3.4. Idealan Braytonov ciklus

Plinska turbina se sastoji od kompresora, komore za izgaranje i turbine koji su najčešće smješteni na zajedničkom vratilu. Kompresor povećava tlak i temperaturu ulaznog plina koji se potom u komori za izgaranje miješa sa gorivom i pali, te se ti proizvodi izgaranja usmjeravaju preko mlaznica na lopatice turbine. Nakon turbine produkti izgaranja izlaze kao ispušni plinovi smanjenog tlaka i temperature. Plinska turbina se ne može samostalno pokrenuti nego je potreban dodatni motor za pokretanje, koji može biti električni, dizelski ili sl. U termoenergetskim objektima plinska turbina je stacionaran stroj vezan za generator najčešće preko zajedničkog vratila. Uglavnom se rabi za simultanu proizvodnju električne i toplinske energije gdje se visoka temperatura izlaznih plinova (i preko 1200°C) iskorištava za generiranje toplinske energije.



Slika 3.5. Presjek plinske turbine

3.1.2 Generator električne energije

Sinkroni generator

Sinkroni generator se sastoji od statora na kojemu je statorski namot te rotora sa rotorskim namotom. U jednom namotu se stvara stalni magnetski tok te se on naziva uzbudni namot, dok u drugom se inducira izmjenični napon te ga zovemo armaturni namot. Praksa je pokazala da je bolje rješenje da se uzbudni namot nalazi na rotoru generatora, a armaturni na statoru. Uzbudni namot iziskuje izvor istosmjernje struje za stvaranje stalnog magnetskog toka, a veza se ostvaruje preko kliznih kolutova pričvršćenih na vratilo rotora, i kliznih četkica. [6]

Ovisno o brzini vrtnje pogonskog stroja, sinkroni generatori se projektiraju za brzine vrtnje manje od 300 min^{-1} do 3000 min^{-1} stoga ih možemo podijeliti u tri skupine:

- Brzohodni ($750\text{-}3000 \text{ min}^{-1}$)
- Strojevi srednje brzine ($300\text{-}600 \text{ min}^{-1}$)
- Sporohodni ($\geq 300 \text{ min}^{-1}$)

Brzohodne sinkrone generatore još zovemo i generatori s neistaknutim polovima, dok one sa srednjom brzinom i sporohodne zovemo generatori s istaknutim polovima. Ovisno o brzini vrtnje imamo generatore sa jednim ili više pari polova. Broj pari polova možemo saznati preko relacije:

$$p = \frac{60 \cdot f}{n} \quad (3.1)$$

Gdje je:

f– frekvencija (Hz)

n– broj okretaja rotora (min^{-1})

p- broj pari polova

Tablica 3.1. Odnos brzine vrtnje i broja pari polova kod frekvencije 50Hz

p	1	2	5	10	50
n_s (min^{-1})	3000	1500	600	300	60

Sinkroni generator može raditi u paralelnom i otočnom režimu rada. Kod otočnog režima rada moramo se držati određeni uvjeta:

- Generator mora održavati konstantan napon, bez obzira na opterećenje, a to vršimo mijenjanjem struje uzbude
- Frekvencija generatora mora biti stabilna
- Opterećenje generatora ne smije biti više od njegove nazivne snage

Za upuštanje u paralelni rad dva i više generatora na zajedničkim sabirnicama ili paralelni rad u elektroenergetskom sustavu moraju biti ispunjeni slijedeći uvjeti:

- Napon generatora mora biti jednak naponu mreže na koju se priključuje
- Napon generatora mora imati istu frekvenciju kao i mrežni
- Naponi generatora i mreže mora biti istofazni, tj ne smije biti faznog pomaka
- Redosljed faza generatora i mreže mora biti jednak

Ukoliko su ispunjeni uvjeti za paralelni rad, generator se može sinkronizirati sa mrežom. Sam postupak sinkronizacije vrši se sinkronizacijskim uređajima.

Asinkroni generator

Asinkroni generator je vrsta asinkronog stroja koji da bi radio u generatorskom režimu rada mora biti spojen na krutu mrežu i njegova brzina vrtnje mora biti veća od sinkrone brzine. Namot rotora je najčešće izveden kao kavezni, a njegovo klizanje u generatorskom režimu rada je negativno. Kod generatorskog režima rada asinkroni stroj predaje radnu energiju u mrežu, a troši jalovu energiju iz mreže za potrebe stvaranja magnetskog polja u rotoru stroja. Napon i frekvenciju generatora određuje kruta mreža, a njenim raspadom asinkroni stroj prestaje inducirati napon na stezaljkama i

razbuđuje se. Klizanje u generatorskom režimu rada možemo saznati preko relacije:

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad (3.2)$$

Gdje je:

n_s - sinkrona brzina generatora

n_m - brzina pogonskog stroja

Sinkronu brzinu generatora možemo saznati preko slijedeće relacije:

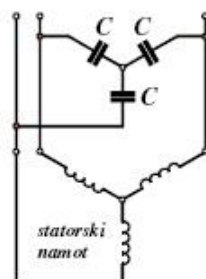
$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (3.3)$$

Gdje je:

f -frekvencija

p -broj pari polova generatora

Da bi asinkroni generator mogao raditi u otočnom režimu rada jalovu energiju potrebnu za stvaranje magnetskog toka osiguravamo pomoću kondenzatorskih baterija, koje se mogu spojiti u zvijezdu ili trokut. Remanentni magnetizam će inducirati napon u kondenzatoru potreban za uzbudu generatora. Napon koji generator daje u otočnom režimu rada ovisi o kapacitetu kondenzatora i brzini vrtnje. Uslijed promjene opterećenja nužno je prilagoditi kapacitet kondenzatora. [6]



Slika 3.6. Spoj kondenzatora na statorski namot

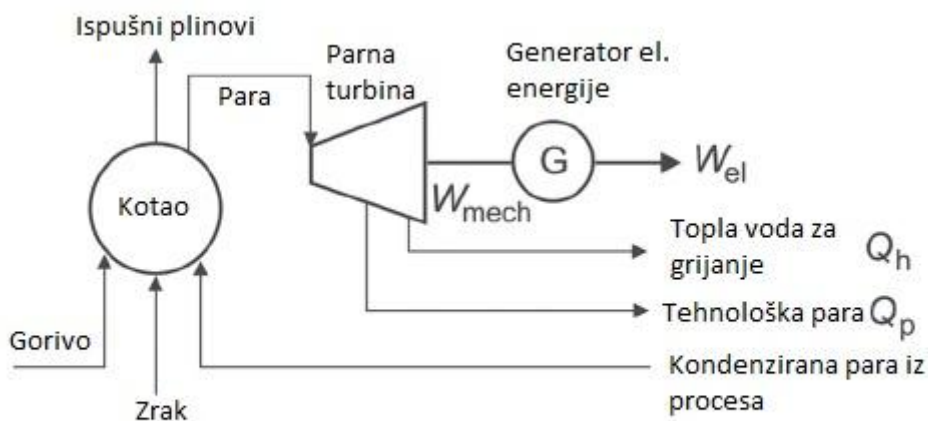
3.2. Osnovni tipovi kogeneracijskih postrojenja

Postoje tri glavna tipa kogeneracijskih postrojenja i to:

- 1.) Kogeneracijsko postrojenje sa parnom turbinom
- 2.) Kogeneracijsko postrojenje sa plinskom turbinom
- 3.) Kombi-kogeneracijsko postrojenja

3.2.2. Kogeneracijsko postrojenje sa parnom turbinom

Kogeneracijska postrojenja sa parnom turbinom se sastoje od: generatora pare, parne turbine i generatora električne energije.

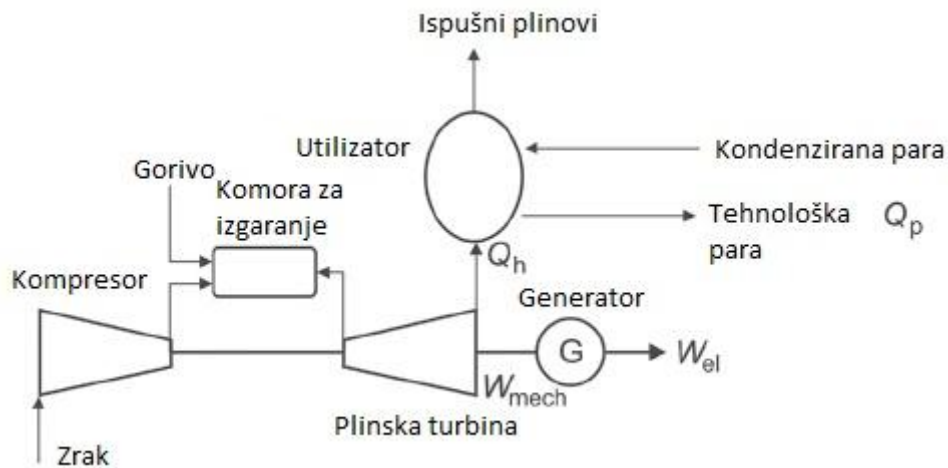


Slika 3.7. Kogeneracijsko postrojenje sa parnom turbinom

Uz dobavu goriva i zraka u kotlu se proizvodi para pod visokim tlakom koja služi za pokretanje parne turbine koja je vezana osovinom za generator električne energije. Izlazna para iz turbine se dalje koristi za potrebe grijanja u obliku tople vode ili u obliku pare za razne tehnološke procese. Ukoliko toplinska energija iz pare nije u potpunosti iskorištena u procesu ona se vraća u kondenzator te ponovno odlazi u kotao. Proizvodnja električne energije direktno je ovisna o potrošnji toplinske energije što znači da ukoliko nema dovoljno potrošnje toplinske energije nije moguće proizvoditi električnu energiju što je glavna mana ovih postrojenja. Efikasnost ovako koncipiranog postrojenja iznosi od 0.7 do 0.8, s time da najveću efikasnost postiže kod rada pri vršnom opterećenju. [3]

3.2.3. Kogeneracijsko postrojenje sa plinskom turbinom

Glavni dijelovi kogeneracijskog postrojenja sa plinskom turbinom su: plinska turbina, kompresor zraka, komora za izgaranje, kotao utilizator i generator električne energije.



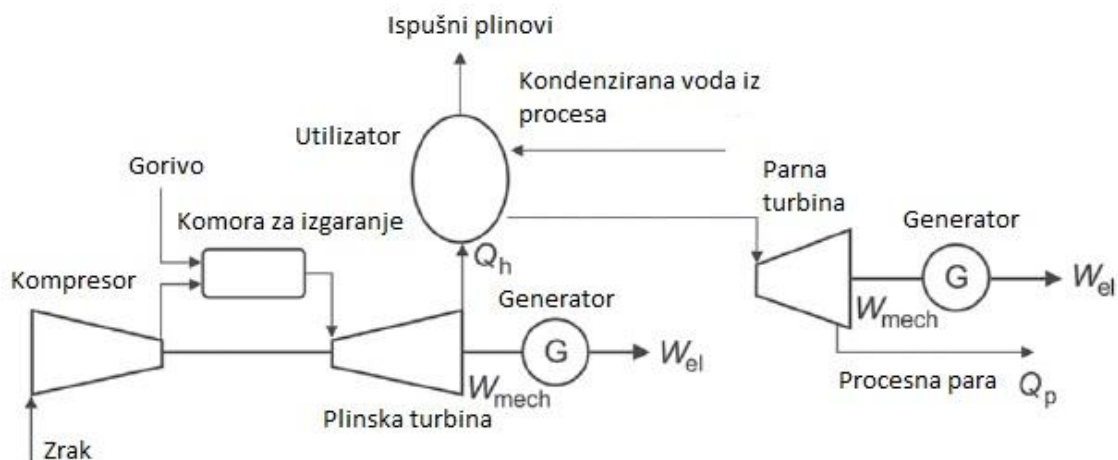
Slika 3.8. Kogeneracijsko postrojenje sa plinskom turbinom

Komprimirani zrak i gorivo su dovedeni u komoru za izgaranje odakle plinovi pod visokom temperaturom ulaze u turbinu i pokreću je. Generator je vezan direktno osovinom za plinsku turbinu, stoga oni imaju identičan broj okretaja. Izlazni plinovi iz turbine sa temperaturom od $450^{\circ}C$ do $600^{\circ}C$ ulaze u kotao utilizator te se tamo energija predaje vodi te se proizvodi para za razne tehnološke procese. Efikasnost plinske turbine je nešto niža nego parne turbine no zbog svojih prednosti kao što su kraće vrijeme izgradnje, manja cijena, fleksibilnija i brža promjena opterećenja generatora danas su preuzele primat na tržištu nad parnim turbinama. Velika prednost je i u tome što plinske turbine emitiraju puno manje emisija dimnih plinova nego što je to slučaj kod pokretanja parnih turbina. Efikasnost ovako koncipiranog sustava može iznositi od 0.7 do 0.75.

3.2.3 Kombi-kogeneracijska postrojenja

Kombi-kogeneracijsko postrojenje se sastoji od dvije turbine, jedne plinske i jedne parne na jednoosovinskom ili dvoosovinskom vodu, te s time u obzir imamo jedan ili dva generatora. U slučaju jednoosovinskog voda parna i plinska turbina vezani su spojkom. Ispušni plinovi iz plinske turbine prolaze kroz kotao utilizator gdje se proizvodi para za parnu turbinu, tako da imamo dva termodinamička ciklusa. Paru za parnu turbinu moguće je dodatno zagrijavati izgaranjem goriva u kotlu utilizatoru kako bi povećali samu temperaturu pare a s time i efikasnost postrojenja. Također moguća je izvedba plinske turbine sa dvostrukim izgaranjem goriva u procesu što može dodatno povećati korisnost. Tehnološka para i topla voda dobiva se oduzimanjem pare iz parne turbine.

U kondenzacijskom režimu rada efikasnost postrojenja iznosi oko 0.6, dok u slučaju oduzimanja pare na strani parne turbine za proizvodnju toplinske energije ona iznosi i do 0.85.



Slika 3.9. Kombi-kogeneracijsko postrojenje

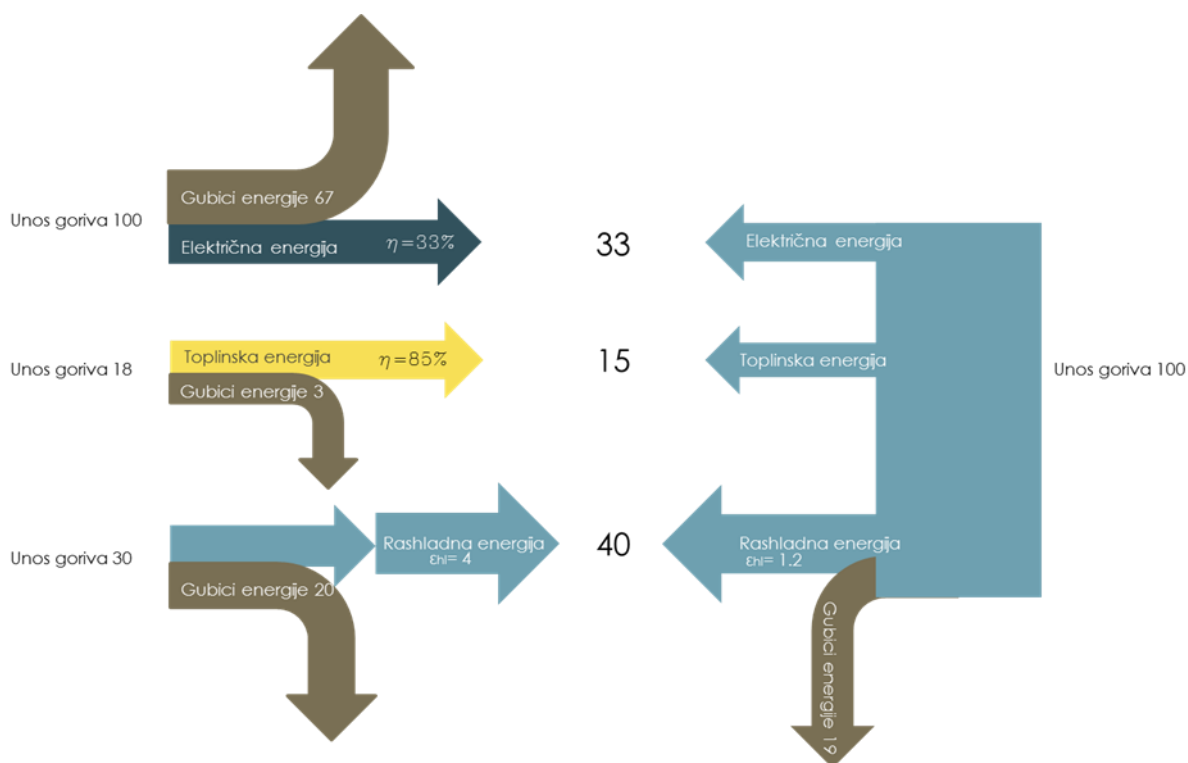
4. TRIGENERACIJA

Kombiniranu proizvodnju električne, rashladne i toplinske energije posredstvom jednog pogonskog stroja nazivamo trigeneracijom. Tako koncipiranom proizvodnjom možemo uštedjeti i do 35% goriva u usporedbi sa konvencionalnom odvojenom proizvodnjom. Za razliku od kogeneracijskih postrojenja čiji glavni predstavnici pogonskih strojeva su velike parne i plinske turbine, kod trigeneracijskih postrojenja najčešće se koriste motori sa unutrašnjim sagorijevanjem, mikro turbine, gorive ćelije i sl. ovisno o tome kolike su potrebe za energijom, ali snaga postrojenja rijetko prelazi 10MW. Trigeneracijska postrojenja zbog mogućnosti proizvodnje rashladne energije predstavljaju prihvatljiva rješenja u obliku distribuiranih izvora energije manjih dimenzija za potrebe industrijskih postrojenja, zgradarstva, bolnica i sl. Ovisno o potrebi za rashladnom energijom trigeneracijska postrojenja se mogu reducirati na kogeneracijska, npr u zimskim mjesecima.

Promatrano sa aspekta instaliranih snaga trigeneracijska postrojenja se projektiraju u rasponu od 1kW do 500MW, te ih možemo podijeliti u četiri kategorije:

- mikro postrojenja ($S_n < 20\text{kW}$),
- mini postrojenja ($20\text{kW} < S_n < 500\text{kW}$)
- mala ($500\text{kW} < S_n < 1000\text{kW}$)
- velika postrojenja ($S_n > 1\text{MW}$).

Rashladna energija se dobiva u sorpcijskim rashladnicima, koji mogu biti pogonjeni parom, toplom vodom ili toplinom ispušnih plinova, koje oslobađa pogonski stroj. Prednost takvih rashladnika je u tome što nemaju pokretnih dijelova što njihov rad čini nečujnim a vijek trajanja dugim. Osim hlađenja prostora, ili procesa, moguće je vršiti i odvlaživanje prostora. [3]



Slika 4.1. Bilanca energije trigeneracijskog postrojenja za tipičnog ljetnog dana

Uštednu primarne energije s obzirom na konvencionalna postrojenja možemo saznati preko relacije:

$$UPE = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_t}{\eta_{tref}} + \frac{\eta_e}{\eta_{eref}}} * 100\% \quad (4.1.)$$

Gdje je:

UPE – indeks uštede primarnog energenta

η_t - efikasnost proizvodnje toplinske energije trigeneracijskog postrojenja

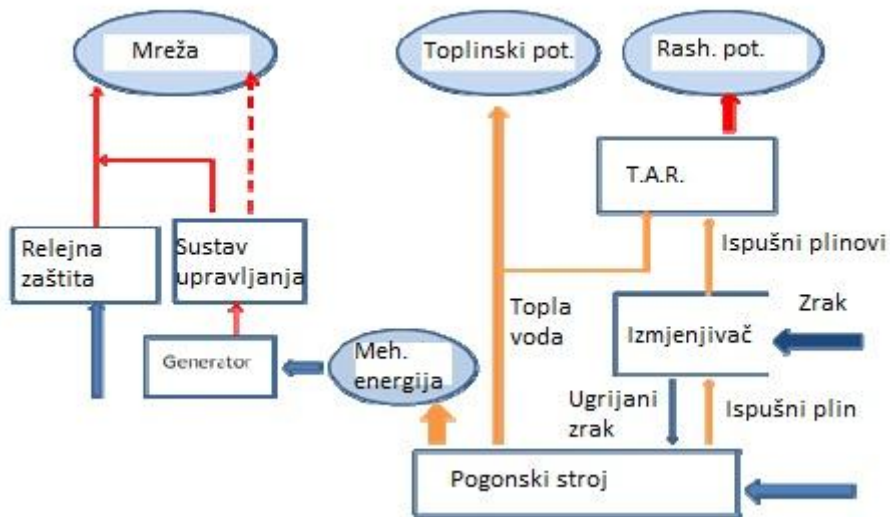
η_{tref} - referentna efikasnost proizvodnje toplinske energije konvencionalnog postrojenja

η_e - efikasnost proizvodnje električne energije trigeneracijskog postrojenja

η_{eref} - referentna efikasnost proizvodnje električne energije konvencionalnog postrojenja

Prema direktivama Europske unije iz 2004. i 2009. godine, 2004/8/EZ i 2009/28/EZ dane su smjernice i mjere za korištenje kogeneracije, s time i trigeneracija, te obnovljivih izvora energije u svrhu uspostave zajedničkog okvira za poticanje korištenja energije iz obnovljivih izvora, te razvoj visokoučinkovite kogeneracije (trigeneracije) . Prema tim kriterijima da bi se postrojenje nazvalo visokoučinkovito ono mora vršiti uštedu od 10% primarne energije u odnosu na ekvivalentnu proizvodnju u odvojenim referentnim postrojenjima.

Tipično trigeneracijsko postrojenja se sastoji od pet osnovnih dijelova, i to pogonskog stroja, generatora električne energije, sorpcijskog rashladnika, izmjenjivača topline i sustava upravljanja.



Slika 4.2. Shema tipičnog trigeneracijskog postrojenja

4.1. Osnovni dijelovi trigeneracijskih postrojenja

4.1.1. Pogonski stroj

Otto i Diesel motor

Otto i Diesel motori su motori sa unutarnjim izgaranjem čiji radni ciklus se može odvijati u četiri ili dva takta. Danas se uglavnom koriste 4-taktni motori zbog toga jer su ekonomičniji u radu i ispuštaju manje emisija štetnih plinova od 2-taktnih motora. Ciklus 4-taktnog motora se sastoji od:

- Usisa
- Kompresije
- Paljenja smijese
- Ispuha

Kao gorivo za Otto motore se koristi benzin i ukapljeni naftni plin, dok kod Diesel motora se koristi dizel gorivo. Osnovna razlika između Diesel i Otto je u načinu zapaljenja smijese, gdje se kod Otto motora smjesa goriva i zraka pali iskrom iz svjećice, a kod Diesel motora dolazi do samozapaljenja smjese uslijed topline stvorene visokim tlakom u cilindru. [1]

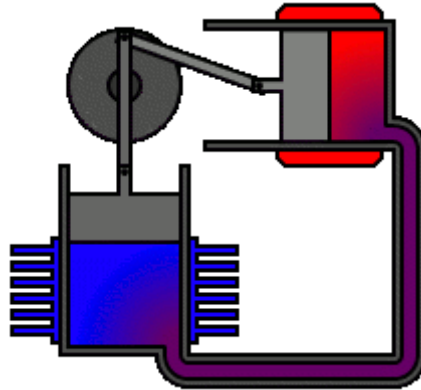
Stirlingov motor

Stirlingov motor spada u motore sa vanjskim sagorijevanjem koji kao radni medij koristi uglavnom zrak. Kao gorivo se mogu koristiti skoro svi izvori topline od fosilnih goriva, sunčevog zračenja, nuklearnih goriva i slično. Patentirao ga je Robert Stirling 1816. godine. Rad se zasniva na četiri termodinamička ciklusa:

- Izotermalna kompresija
- Izohorno dovođenje topline
- Izotermalna ekspanzija
- Izohorno odvođenje topline

Razlikujemo dva glavna tipa Stirlingovih motora i to su α i β tip. Razlika je u tome što α tip ima dva odvojena cilindra, svaki sa svojim klipom, dok β tip

ima jedan cilindar u kojemu su oba klipa. Radni klip je manjih, a potiskivajući klip je većih dimenzija.



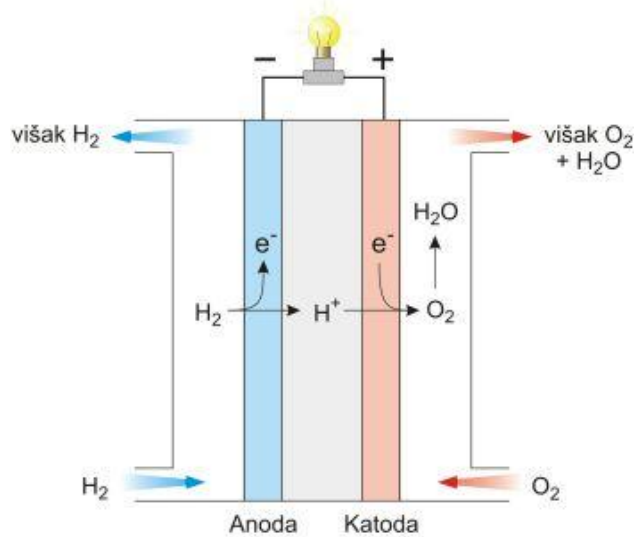
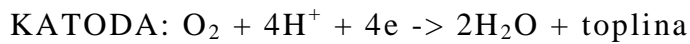
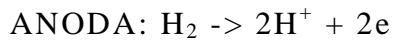
Slika 4.3. α tip Stirlingovog motora

Gorivni članak

Gorivni članak je elektrokemijski uređaj koji kemijsku energiju reaktanata pretvara u istosmjernu električnu energiju uz oslobađanje topline i vodene pare. Kao gorivo se koristi najčešće vodik, a moguće je korištenje i smjese vodika i ugljičnog dioksida, prirodni plin i metanol.

Gorivni članak sastoji se od dvije elektrode između kojih je elektrolit. Vodik prolazi duž jedne elektrode (anode) dok kisik prolazi duž druge elektrode (katode). Na anodi se posredstvom djelovanja katalizatora vrši električko razdvajanje atoma vodika. Slobodni elektroni tada putuju električnim vodičem preko trošila do katode, a pozitivna jezgra atoma vodika kroz elektrolit također do katode. Na samoj katodi vrši se regeneracija atoma vodika te spajanje sa molekulama kisika uslijed čega se stvaraju vodena para i toplinska energija. U prosjeku nominalni napon na krajevima elektroda je 0,7 V te se spajanjem više ćelija u seriju ovaj napon povećava. Spoj više gorivnih članaka zovemo gorivnim svežnjem.

Kemijske reakcije:



Slika 4.4. Prikaz rada gorivnog članka

Prema načinu rada gorivne članke dijelimo na primarne i sekundarne. Kod primarnih gorivnih članaka gorivo i oksidansi se dovode iz vanjskog spremnika, a produkti reakcije se odvođe. Kod sekundarnih gorivnih članaka produkti reakcije se regeneriraju i separiraju u polazne elemente uz dovođenje energije.

Prema vrsti elektrolita gorivne članke dijelimo na:

- Alkalne (AFC)
- Fosforno kiselinske (PAFC)
- Polimerno membranske (PEMFC)
- Rastopljeno karbonatne (MCFC)
- Čvrsto oksidne (SOFC)

Tablica 4.1. Vrste gorivnih članaka

Kratica	Radna temperatura [°C]	Električni stupanj djelovanja [%]	Gorivo	Oksidans	Područje primjene
AFC (eng. Alcalic Fuel Cells)	100	>70	vodik	kisik	Svemirska tehnologija
PAFC (eng. Phosphoric Acid Fuel Cell)	200-250	40-50	vodik	kisik ili zrak	Kogeneracija, trigeneracija
PEMFC (eng. Polymer Exchange Membrane Fuel Cells)	80-90	50-60	vodik	kisik ili zrak	Vozila, kogeneracija, trigeneracija (manjih snaga)
MCFC (eng. Molten Carbonate Fuel Cells)	650	50-60	vodik	kisik ili zrak i CO ₂	Vozila, kogeneracija, trigeneracija (većih snaga)
SOFC (eng. Solid Oxide Fuel Cells)	800-1000	50-60	vodik i CO	kisik ili zrak	Vozila, kogeneracija, trigeneracija (većih snaga)

4.1.2. Sorpcijski rashladni uređaji

Glavni predstavnici sorpcijskih rashladnika su:

- Adsorpcijski rashladni uređaji
- Apsorpcijski rashladni uređaji

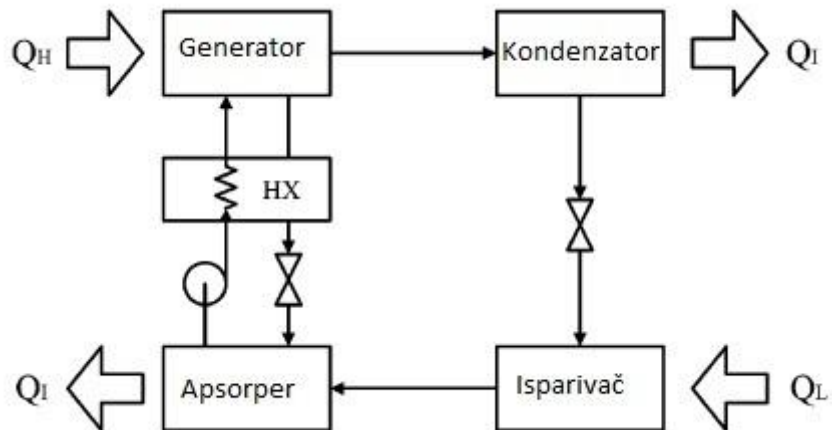
Apsorpcijski rashladni uređaj

Apsorpcijski rashladni uređaj je jedan od najčešće korištenih u trigeneracijskim postrojenjima, a po načinu rada je sličan kompresorskim rashladnicima, samo što umjesto kompresora koristi toplinu za povećanje tlaka rashladnog medija. Prijenos topline na rashladni uređaj se vrši preko izmjenjivača topline (generatora) kroz koji prolazi otpadna toplina ispušnih plinova ili u slučaju da se koristi kao pogonski stroj klipni motor sa unutarnjim sagorijevanjem onda to može biti tekućina za hlađenje motora. Kao rashladni medij koristi se mješavina dva fluida, i to fluid sa višom točkom isparavanja kojeg zovemo otopljeni tvar i fluid sa nižom točkom isparavanja kojeg zovemo otapalo. Najčešće korišteni miks je amonijak i voda, te litij bromid i voda. [5]

Apsorpcijske rashladne uređaje možemo podijeliti na jednostupanjske i dvostupanjske ovisno o tome koliko je puta toplina iz toplinskog izvora upotrijebljena u rashladniku. Temperatura koja se u tom procesu hlađenja dobiva je u vrijednostima od 0°C do 10°C. Faktor hlađenja iznosi od 0.5 do 0.7 za jednostupanjske, te 0.7 do 1.2 za dvostupanjske rashladne uređaje. Potrebna toplina za pogon mora biti u vrijednostima od 120°C do 540°C.

Glavni dijelovi apsorpcijskog rashladnog uređaja su:

- Generator
- Kondenzator
- Isparivač
- Apsorber



Slika 4.5. Apsorpcijski rashladnik

Isparivač je izmjenjivač topline u kojem rashladni medij apsorbira toplinu iz prostora kojeg hladi te proizvodi efekt hlađenja i prelazi iz tekućeg u plinovito stanje.

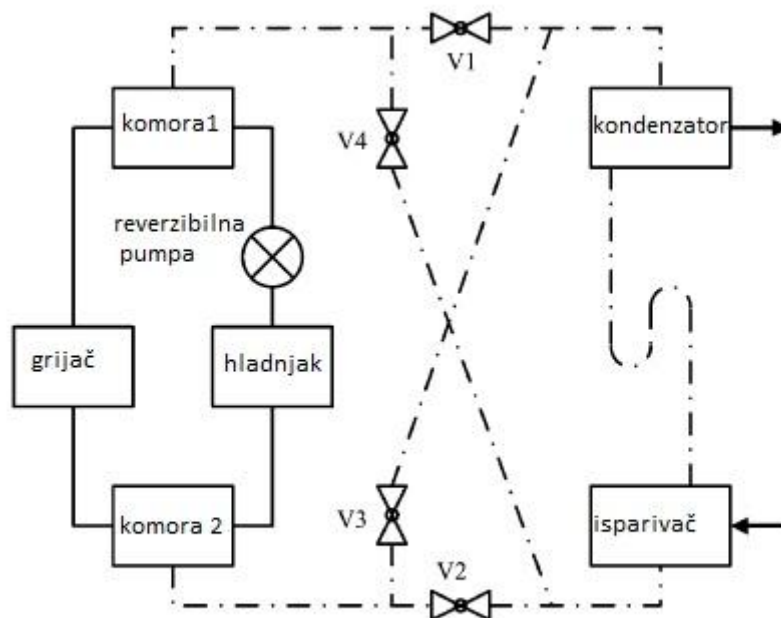
Apsorber je uređaj gdje para proizvedena u isparivaču ponovno prelazi u tekuće stanje i biva apsorbirana sa tekućinom koja dolazi iz generatora, te se ponovno odvodi u generator posredstvom pumpe. U generatoru se rashladni medij posredstvom izvora topline grije i separira na otapalo i otopljenu tvar, gdje otopljena tvar prelazi u plinovito stanje i odlazi u kondenzator, a otapalo ostaje u tekućem stanju i odlazi u apsorber. U kondenzatoru otopljena tvar ponovno prelazi u tekuće stanje oslobađajući toplinu.

Adsorpcijski rashladni uređaj

Adsorpcijski rashladni uređaj se sastoji od isparivača, kondenzatora i dvije adsorpcijske komore, koje se nalaze u skoro potpunom vakuumu. Za pogon adsorpcijskih rashladnih uređaja se koristi topla voda najmanje temperature 50°C. Kao radni medij koristi se silika gel i voda, gdje silika gel zovemo adsorbens, a vodu adsorbant. Osim silika gela kao adsorbensa koristi se još i zeolit.

Njihov rad se može opisati kroz dvije faze. U prvoj fazi adsorbant iz prve komore se regenerira korištenjem tople vode iz vanjskog izvora topline. Topla voda ulazi u prvu komoru i desorbira adsorbant te on odlazi u kondenzator i prelazi u tekuće stanje. Tako kondenziran adsorbant odlazi u komoru isparivača. U isto vrijeme adsorbens iz druge komore adsorbira vodenu paru koja dolazi iz isparivača. Komora mora biti hladena kako bi proces bio neometan.

Druga faza počinje kada je adsorbens iz prve komore suh, a iz druge komore prezasićen adsorbantom, tada se proces reverzira.



Slika 4.6. Adsorpcijski rashladnik

4.2. Osnovni tipovi trigeneracijskih postrojenja

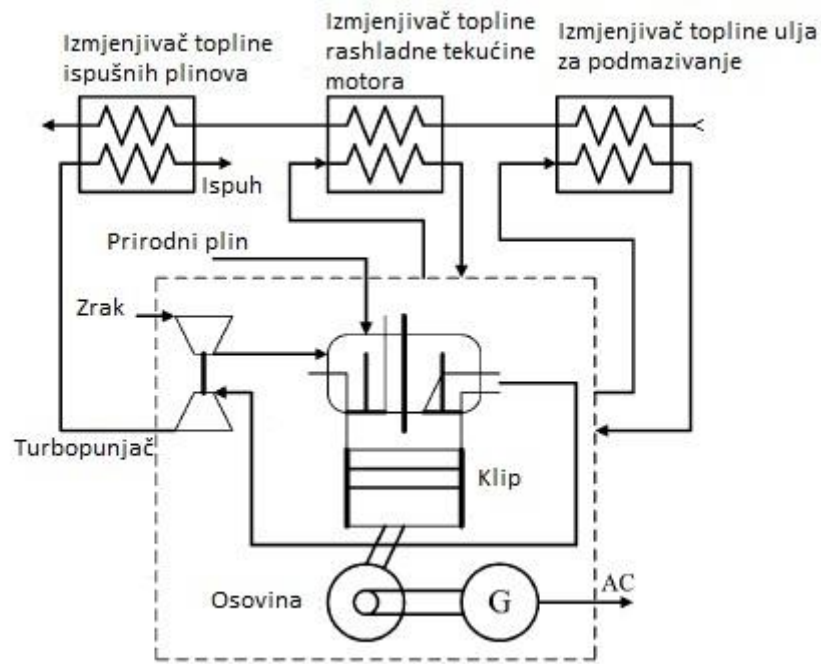
S obzirom na vrstu pogonskog stroja trigeneracijska postrojenja možemo podijeliti na:

- Trigeneracijska postrojenja sa motorom na unutarnje sagorijevanje
- Trigeneracijska postrojenja sa Stirlingovim motorom
- Trigeneracijska postrojenja sa mikroturbinom
- Trigeneracijska postrojenja sa gorivim svežnjem

4.2.1. Trigeneracijska postrojenja sa motorom na unutarnje sagorijevanje

Od motora na unutarnje sagorijevanje najčešće se koriste diesel i otto motori pogonjeni dizel ili benzinskim gorivom, s time da otto motori imaju mogućnost rada sa prirodnim plinom, dok se kod dizel motora ono može iskoristiti eventualno za poboljšavanje sagorijevanja.

Mehanička energija proizvedena posredstvom goriva se prenosi preko pogonske osovine na generator električne energija, te ona iznosi od 30 do 50% utrošene energije goriva. Ostala energija se manifestira kroz gubite u ispušnom sustavu i kroz zagrijavanje motora, stoga se ta toplina može iskoristiti posredstvom tri izmjenjivača topline, i to na ispušnom sustavu, sustavu hlađenja motora te na sustavu podmazivanja motora. Tako regeneriranu toplinu možemo koristiti za proizvodnju pare, tople vode i za pogon sorpcijskih rashladnika. [5]



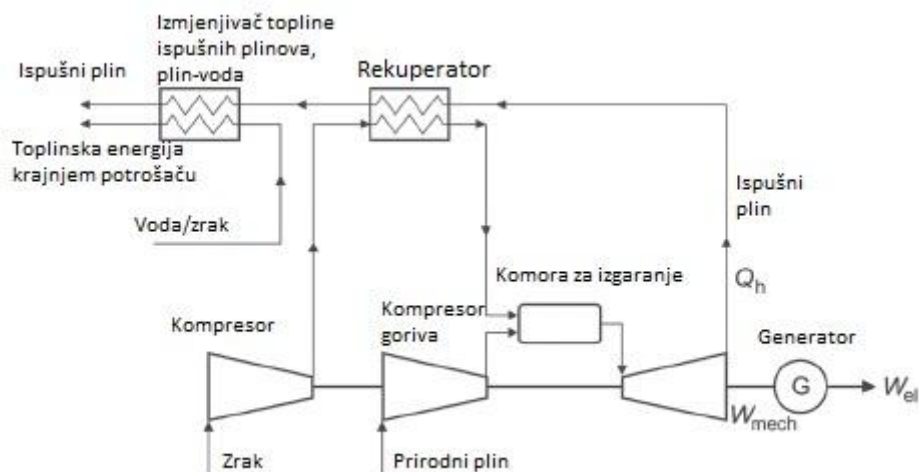
Slika 4.7. Trigeneracijsko postrojenja sa klipnim motorom na unutarnje sagorijevanje

4.2.2. Trigeneracijska postrojenja sa mikroturbinom

Mikroturbine rade na istom principu kao i velike plinske turbine, no zbog smanjene mase i potrebe za visokom efikasnošću rade na vrlo visokim okretajima i do 120000 o/min, što iziskuje potrebu za magnetskim ležajevima i složenijim sustavima prijenosa mehaničke energije na generator. Prednost takvih postrojenja je i u smanjenim emisijama dušikovih oksida i to do 10 puta u odnosu na postrojenja sa klasičnim plinskim turbinama, zbog nižih temperatura u komori za izgaranje. [3,5]

Takva postrojenja se projektiraju u rasponu snaga od 15kW do 300kW, sa efikasnošću proizvodnje električne energije od 0,24-0,3 te ukupnom efikasnošću 0,74-0,82. Za njihov komercijalni uspjeh potrebno je zadovoljiti neke kriterije, kao što su:

- Istovremena potreba za električnom i toplinskom energijom
- Potrošači toplinske energije koji zahtijevaju toplinu u obliku tople vode
- Potreba za energijom veća od 3000 h/god

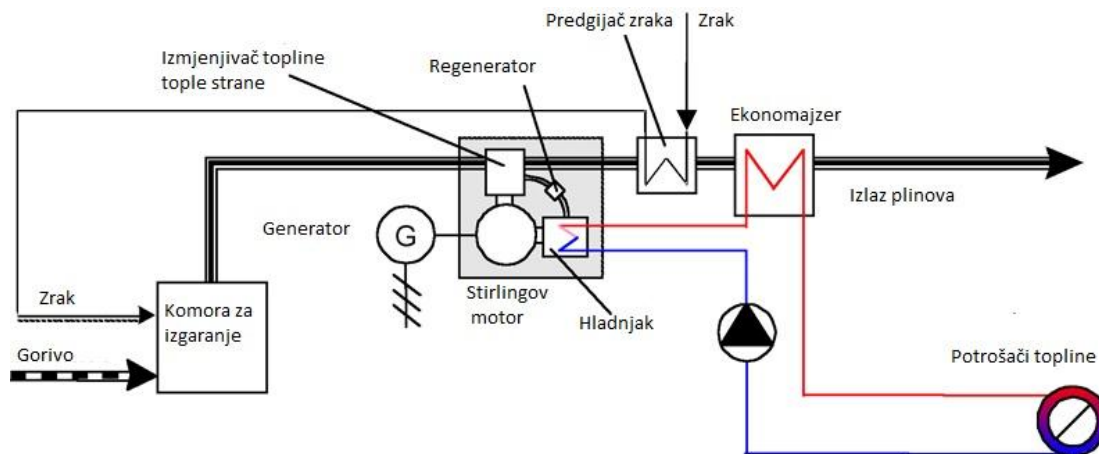


Slika 4.8. Trigeneracijsko postrojenje sa mikroturbinom

4.2.3. Trigeneracijska postrojenja sa Stirlingovim motorom

Postrojenja sa Stirling motorom spadaju u rang mini i malih postrojenja sa projektiranim snagama od 1Kw do 500kW, s time da jedinice jače od 100kW spadaju u vrlo rijetke. Priroda stirling motora otvara mogućnost upotrebe raznih goriva, od fosilnih do obnovljivih ovisno o ekonomskoj isplativosti, dostupnosti i željama investitora.

Postrojenja sa Stirling motorom odlikuje relativno niska efikasnost pretvorbe primarnog izvora energije u električnu energiju koji iznositi od 0.15-0.3, no ukupna efikasnost je od 0.8 do 0.9. Oduzimanje topline za potrošače se vrši na strani potiskivajućeg klipa, što ujedno služi i za hlađenje radnog medija, te na strani ispušnih plinova.



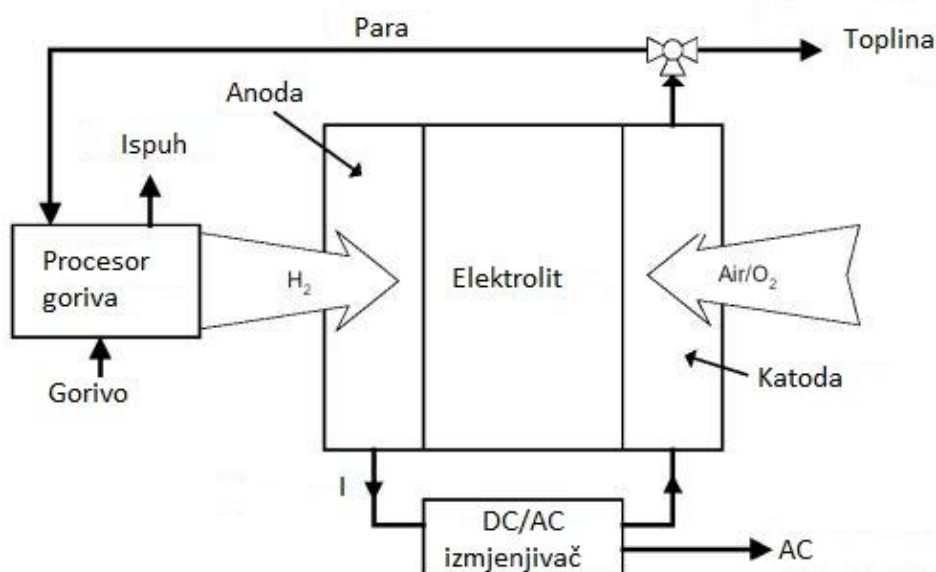
Slika 4.9. Trigeneracijsko postrojenje sa Stirlingovim motorom

4.2.4. Trigeneracijska postrojenja sa gorivnim svežnjem

U distribuiranim izvorima energije postrojenja s gorivnim svežnjem najčešće koriste prirodni plin kao gorivo, koji da bi bio prikladan za korištenje mora biti reformiran u vodikom bogati plinski mlaz, što se dešava u procesoru goriva.

Dovođenjem goriva i zraka u gorivni svežanj počinje elektrokemijski proces koji za produkte rada ima istosmjernu električnu energiju te toplinu kroz izmjenjivač topline gorivnog svežnja i izmjenjivač topline nusprodukta. Oslobođena toplina može biti u temperaturnom rasponu od 65°C do 1000°C ovisno o vrsti gorivnih članaka koje se koriste. Toplina regenerirana na izlazu nusprodukta je niže vrijednosti i ona može biti iskorištena u obliku tople vode za pogon sorpcijskog rashladnog uređaja, dok toplina regenerirana kroz izmjenjivač topline gorivnog svežnja je više vrijednosti i ona može biti korištena u obliku pare ili tople vode, ovisno o potrebama toplinski potrošača.

Efikasnost pretvorbe energije goriva u električnu energiju je u rasponu od 0.3 kod PEM sustava, do 0.46 kod MCFC sustava. Generirana električna energija je istosmjernog karaktera napona od 200V do 400V ovisno o broju članaka u svežnju, te se pomoću izmjenjivača pretvara u izmjeničnu električnu energiju frekvencije 50Hz. [4,5]



Slika 4.10. Trigeneracijsko postrojenje sa gorivnim svežnjem

5. PRIMJERI KORIŠTENJA TRIGENERACIJE

5.1. Mirko sustav



Slika 5.1. Yanmar diesel motor

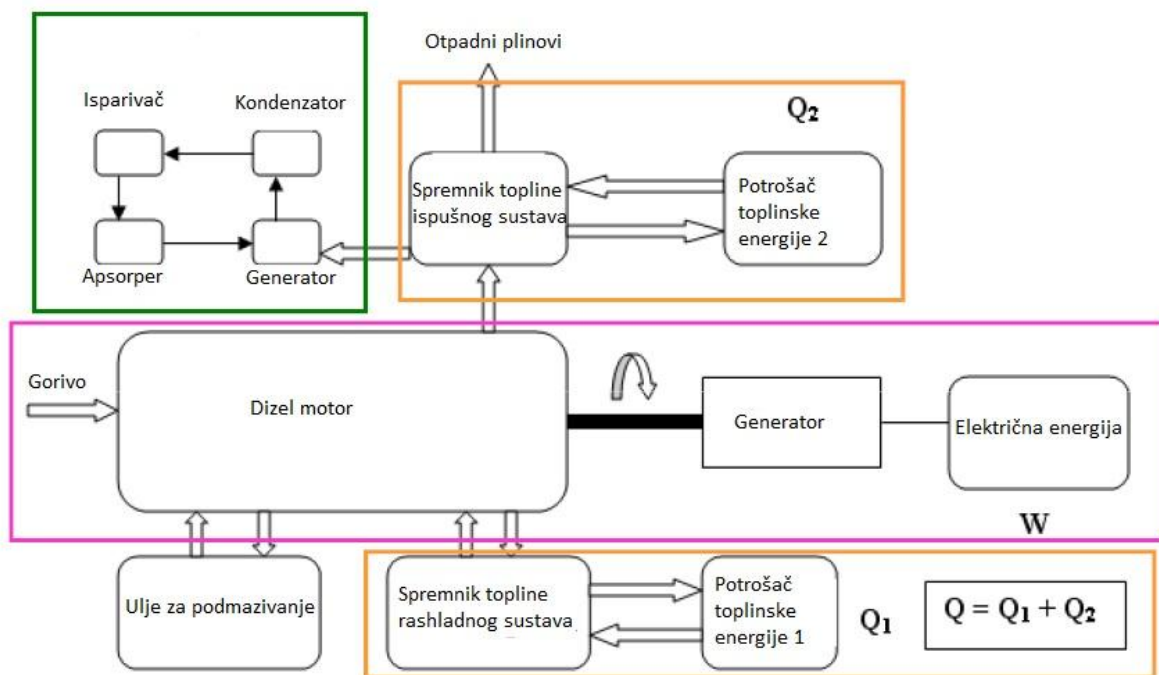
Pogonski stroj pokreće monofazni sinkroni samouzbudni generator proizvođača mecc alte tip S20FS - 160 snage 6.5kW, a upotrebljiva toplinska energija se oduzima na strani ispušnih plinova i rashlade motora. Temperatura ispušnih plinova iznosi 557°C te ona grije spremnik topline, na koji su spojeni relativno mali apsorpcijski hladnjak snage 400W koji konzumira 610W toplinske energije, i ostali potrošači toplinske energije. Regeneracija topline se također vrši i u sustavu rashlade motora.



Slika 5.2. Apsorpcijski hladnjak

Ukupna efikasnost postrojenja u trigeneracijskom načinu rada iznosi 0.8, gdje se 0.31 odnosi na električnu, a 0.49 na toplinsku energiju. Pretvorba toplinske energije kod apsorpcijskog rashladnog uređaja u rashladnu se vrši pri faktoru hlađenja 0.7. Dani sustav može raditi i u kogeneracijskom načinu rada te tada ukupna efikasnost iznosi 0.81. [9]

Emisija ugljikovog dioksida iznosi 0.329 kg/kWh, a potrošnja goriva 1.792 kg/h.



Slika 5.3. Blok shema mirko sustava

5.2. Mini sustav

Mini trigeneacijski sustavi podrazumjevaju one čija je vršna snaga veća od 20kW, a manja od 500kW. U toj grupi nalazimo mnogo sustava projektiranih za razne primjene, kao što su bolnice, škole, mala industrijska postrojenja i sl. Uzeti je primjer sa Sveučilišta Maryland u SAD-u, koji je pogonjen mikroturbinom, a otpadna toplina se koristi za hlađenje prostorija i odvlaživanje. Mikroturbina je proizvođača Capstone model C60 koja pri

90000 o/min pogoni električni generator snage 60kW, te ima temperaturu izlaznih plinova od 310°C poslije rekuperatora. Efikasnost proizvodnje električne energije je 0.27, a ukupna efikasnost postrojenja je 0.72. Otpadna toplina iz plinske turbine pogoni apsorpcijski rashladnik proizvođača Broad model BD6.4NF-15 te postiže 65kW rashladne energije pri faktor hlađenja od 0.65. [5]



Slika 5.4. Maryland mini sustav

5.3. Mali sustav

Primjer malog sustava temelji se na energetsom rješenju tvrtke General electric i njenom motoru na unutarnje sagorijavanje Janbacher serije 2 koji kao gorivo koristi prirodni plin ili bioplin. Janbacher serije 2 predstavlja kompaktnu izvedbu kogeneracijskog postrojenja koje upareno sa sorpcijskim rashladnikom čini trigeneracijsko postrojenje. Ukupna snaga postrojenja je 688 kW, gdje se 330 kW odnosi na električnu energiju, te 358 kW na toplinsku energiju. Toplina se akumulira u spremniku te ovisno o potrebi toplinski potrošača se distribuira dalje. U slučaju nedovoljne količine toplinske energije generirane od pogonskog stroja, aktivira se vršni bojler koji dodatno zagrijava toplu vodu.

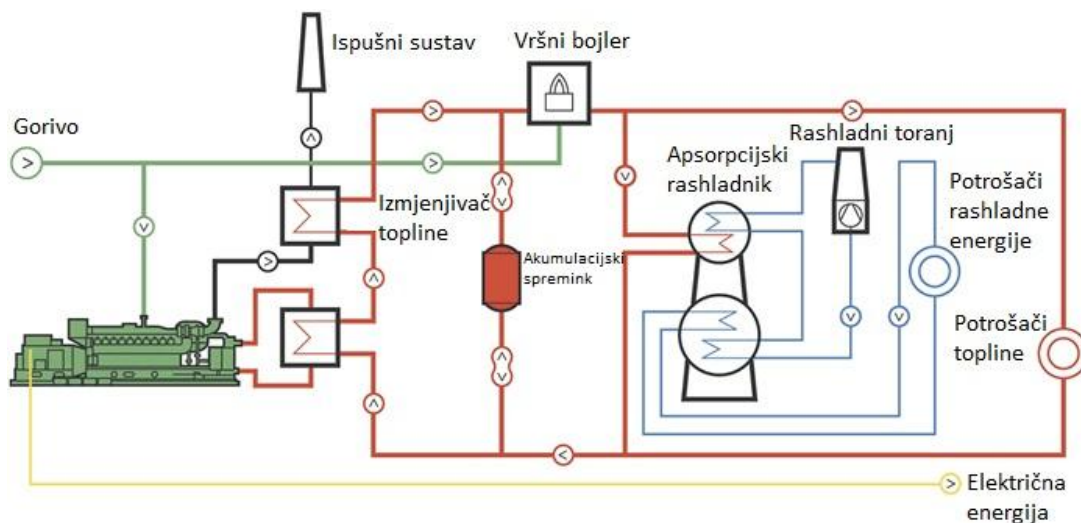
Efikasnost postrojenja je 0.8, gdje se 0.38 odnosi na proizvedenu električnu energiju, te 0.42 na toplinsku energiju.

Apsorpcijski rashladnik kompanije Thermax serije 2G predstavlja idealno rješenje za uparivanje sa Janbacher sustavom. Faktor hlađenja u tom rashladniku iznosi 1.4 što ga svrstava u red najefikasnijih apsorpcijskih rashladnika. Radni medij je litijum bromid i voda. Za pogon se koristi topla voda temperature od 150°C do 180°C , a efekt hlađenja je do temperature 1°C .



Slika 5.5. Apsorpcijski rashladni Thermax 2G

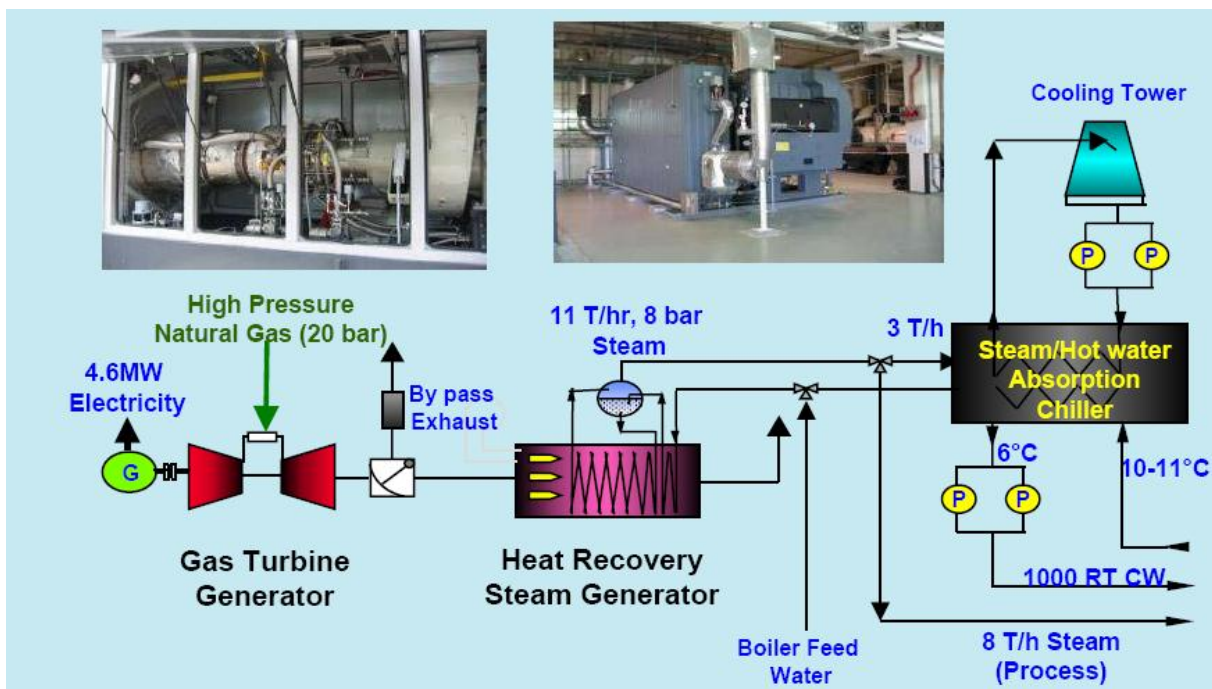
Generator električne energije je četveropolni samouzbudni sinkroni proizvođača Stamford tip HCI, nazivnog napona 400V i frekvencije 50Hz te prividne snage 600kVA.



Slika 5.6. General electricov koncept trigeneracije

5.4. Veliki sustav

Usljed čest kvarova u elektroenergetskom sustavu mnoge kompanije u Singapuru odlučile su se za vlastite izvore energije u obliku kogeneracija i trigeneracija. Jedno od takvih kompanija je Pfizer koji je u svom postrojenju u Singapuru instalirao trigeneracijsko postrojenje kao zamjenu za klasičnu opskrbu električnom i toplinskom energijom. Postrojenje je ukupne korisne snage 12.4MW, koje se sastoji od plinske turbine snage 5MW čiji ispušni plinovi zagrijevaju kotao ulizator snage 8MW gdje se proizvodi para za industrijske procese i apsorpcijski rashladnik snage 4.5MW. Kotao ulizator je kapaciteta 11t/h pare pri tlaku od 8bara, gdje se 8t/h koristi za industrijske procese te 3t/h za apsorpcijski rashladnik. U usporedbi sa konvencionalnim načinom proizvodnje ovo postrojenje emitira 17% manje CO₂, odnosno 6000 t/god manje. [4]



Slika 5.7. Pfizerov veliki sustav

6. ZAKLJUČAK

Iako su kogeneracijska i trigeneracijska postrojenja pogonjena najčešće fosilnim gorivima i to ponajprije prirodnim plinom njihov utjecaj na smanjenje emisija stakleničkih plinova je značajan ponajprije zbog efikasnijeg korištenja goriva u usporedbi sa konvencionalnim postrojenjima. Također sve je popularnija primjena obnovljivih izvora energije kao goriva i to u obliku biomase, što dodatno čini takva postrojenja prihvatljivim izvorima električne i toplinske energije. Stoga je izvjestan daljnji razvoj takvih postrojenja u obliku primjene novih tehnologija i kroz smanjenje investicijskih troškova za izgradnju što će učiniti trigeneracijska postrojenja konkurentnim u usporedbi sa konvencionalnim proizvođačima.

U Hrvatskoj razvoj i primjena trigeneracijskih postrojenja je u relativnim začecima što zbog još uvijek pristupačne cijene električne i toplinske energije na tržištu, te relativno visoke cijene izgradnje i eksploatacije takvih postrojenja, a rekli bi smo i nepoznavanja šire javnosti za mogućnostima takvih postrojenja. Stoga ne očekujemo masovniju primjena takvih postrojenja, osim u vidu postrojenja čiji je rad subvencioniran od strane države ili EU.

Za razliku od trigeneracijskih postrojenja, kogeneracijska postrojenja u Hrvatskoj su zastupljena i to u obliku velikih centraliziranih objekata za proizvodnju električne i toplinske energije. Najnoviji primjer takvog postrojenja je TE Sisak blok „C“ koji spada u kombi kogeneracijski tip, snage 230MW električne i 50MW toplinske energije, te je on od kraja 2015. godine u pokusnom radu.

POPIS LITERATURE

- [1] dr.sc. Nenad Mustapić, Prof.dr.sc. Zvonimir Guzović, Prof.dr.sc. Branko Staniša: „Energetski strojevi i sustavi“, Karlovac 2013.
- [2] Prof. dr. sc. Zmagoslav Prelec, dipl. ing: „Termodinamski osnovi energetskih sustava“, Rijeka
- [3] Marinko Stojkov, Emil Hnatko, Milan Kljajin, Marija Živić, Krunoslav Hornung: „CHP and CCHP Systems Today“, Osijek 2011.
- [4] Oluwatosin Ajayi, Lorenzo Angelo Veronelli, Davide Genini, Hui-Gyeongiang, Ho Jung Jung: „Natural Gas in Trigeneration“, Trondheim, studeni 2011.
- [5] D.W. Wu, R.Z. Wang: „Combined cooling, heating and power: A review“, Shanghai, China 2006.
- [6] Josip Jureković: „ Električni strojevi“, Zagreb 2005.
- [7] The Shift project data portal: „ <http://www.tsp-data-portal.org/TOP-20-Producer#tspQvChart>“, 5.siječanja 2016.
- [8] Ivan Strnad: „ Kogeneracija – usporedba legislative i tehnologije u Hrvatskoj i Europskoj uniji, CIRED 2010.
- [9] Dr Yaodong Wang, Sir Joseph Swan: „An investigation of a household size trigeneration running with hydrogen“, Newcastle upon Tyne, UK 2010.
- [10] <http://www.izvorienergije.com/>, 5.siječnja 2016.
- [11] Doc.dr.sc. Damir Šljivac, Doc.dr.sc. Zdenko Šimić: „Obnovljivi izvori Energije - Najvažnije vrste, potencijal i tehnologija“, Zagreb 2009

POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 2.1. Energetske transformacije

Slika 2.2. Nafta u porama

Slika 2.3. Udio zemalja u proizvodnji nafte (2014. godina)

Slika 2.4. Drvni peleti

Slika 2.5. Postrojenje za proizvodnju bioplina

Slika 3.1. Bilanca kogeneracije i konvencionalnog postrojenja

Slika 3.2. Rankineov kružni proces

Slika 3.3. Prikaz parne turbine

Slika 3.4. Idealan Braytonov ciklus

Slika 3.5. Presjek plinske turbine

Slika 3.6. Spoj kondenzatora na statorski namot

Slika 3.7. Kogeneracijsko postrojenje sa parnom turbinom

Slika 3.8. Kogeneracijsko postrojenje sa plinskom turbinom

Slika 3.9. Kobi-kogeneracijsko postrojenje

Slika 4.1. Bilanca energije trigeneracijskog postrojenja za tipičnog ljetnog dana

Slika 4.2. Shema tipičnog trigeneracijskog postrojenja

Slika 4.3. α tip Stirlingovog motora

Slika 4.4. Prikaz rada gorivnog članka

Slika 4.5. Apsorpcijski rashladnik

Slika 4.6. Adsorpcijski rashladnik

Slika 4.7. Trigeneracijsko postrojenja sa klipnim motorom na unutarnje sagorijevanje

Slika 4.8. Trigeneracijsko postrojenje sa mikroturbinom

Slika 4.9. Trigeneracijsko postrojenje sa Stirlingovim motorom

Slika 4.10. Trigeneracijsko postrojenje sa gorivnim svežnjem

Slika 5.1. Yanmar diesel motor

Slika 5.2. Apsorpcijski hladnjak

Slika 5.3. Blok shema mirko sustava

Slika 5.4. Maryland mini sustav

Slika 5.5. Apsorpcijski rashladni Thermax 2G

Slika 5.6. General electricov koncept trigeneracije

Slika 5.7. Pfizerov veliki sustav

Tablica 3.1. Odnos brzine vrtnje i broja pari polova kod frekvencije 50Hz

Tablica 4.1. Vrste gorivnih članaka