

Mala kogenerativna postrojenja kao ekonomski opravdana, energetska efikasna a ekološki prihvatljiva tehnologija

D.Zukić¹ A.Stone² R.Cox³

¹Cummins, Beograd, Srbija

²Cummins Power Generation, Ramsgate, Engleska

³Cummins Power Generation, Ramsgate, Engleska

Rezime: Mala kogenerativna postrojenja, čiji je pogon gasni motor sa unutrašnjem sagorevanjem, su potpuno prilagođena stvarnim potrebama potrošača za koje se i dimenzionišu, pri tome iskorištavaju svih 88% energije prirodnog gasa i tako obezbeđuju jeftiniju i kvalitetniju energiju, omogućavaju dugoročno planiranje troškova jednog preduzeća, objekta ili institucija a sve to u skladu sa najstrožim evropskim ekološkim standardima.

Ključne reči: kogenerativno postrojenje, efikasnost, ekologija, isplativost

Small scale cogeneration units as cost effective, energy efficient and ecological acceptable technology

Abstract: Small cogeneration unit, with gas internal combustion engine prime mover, are completely adjusted to actual consumer demands, use 88 percent of the natural gas and provide cheap and quality energy, allow long term cost plan for customer and in accordance with strict EU ecological regulations.

Key words: cogeneration unit, efficiency, ecology, cost effective

1. UVOD - Opšti kriterijumi

Jedan kogeneracioni sistem se inače sastoji iz glavnog pogona koji pokreće generator i proizvodi električnu energiju a otpadnu toplotu koja se oslobađa u samom pogonu i kroz izduvne gasove iskorištava preko izmenjivača toplote. Glavni pogon može biti dizel motor, gasni motor sa tzv. lean-burn tehnologijom ili gasna turbina.

Kogenerativni zakon koji je stupio na snagu 1990 –tih na nivou članica Evropske Unije jasno definiše uslove kogeneracije.

- Prvi i osnovni princip je definisati ko je zaista „kogenerator“:

$$E + 0.5xT > 0.45xC$$

gde je:

E - godišnje proizvedena električna energija (KWh)

T - toplotna energija koju je te godine konzum upotrebio (KWh)

C – potrošeno gorivo na godišnjem nivou (KWh)

Dakle efikasnost sistema mora biti veća od 55% da bi se on kvalifikovao kao kogeneracioni.

- Drugi fundamentalni princip definiše koja količina električne energije se sme isporučiti (prodati) mreži:

$$E_{er} = (4.5x((E+T)/E + 0.5xT)) - 4.5) x E$$

E+T = ukupna energija

E_{er} – električne energija isporučena mreži u posmatranoj godini (KWh)

Što više toplotne energije raspoložive u samom sistemu bude i iskorišćeno to više električne energije može biti isporučeno (prodato mreži). Dakle i sa malom potrošnjom električne energije na mestu ugradnje još uvek je moguće instalirati sistem većeg kapaciteta u smislu proizvedene toplotne i električne energije i još uvek takav sistem definisati kao kogeneracioni.

U tabeli 1.1 je prikazan primer za četiri QSV81 jedinice koje daju ukupno 6.5Mwe.

Tabela 1.1. primer

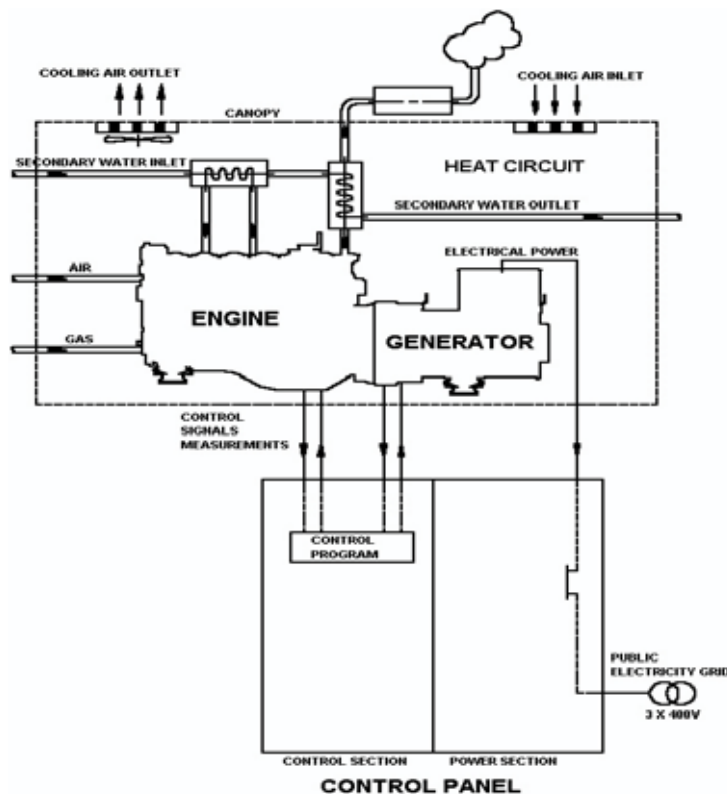
Iskorišćena toplota postrojenja	Proizvedena el. energija	Dozvoljena isporuka
500 KWt	6500 KWe	1080 KWe
1500 KWt	6500 KWe	3020 KWe
2500 KWt	6500 KWe	4720 KWe
3899 KWt	6500 KWe	6500 KWe

- Jedan od vrlo važnih principa koji je usvojen je kontrolisana emisija izduvnih gasova u skladu sa Kjoto protokolom.

Tako se ispunjenjem uslova kogeneracije svaki kombinovani proizvođač može prepoznati u akuelnim zakonima i direktivama Evropske Unije, kao povlašćeni proizvođač. On je za svoju zemlju strateški aktuelan i bitan. Zato se on dotira i subvencionije.

2. Gasni motor-generator kogeneracioni moduli

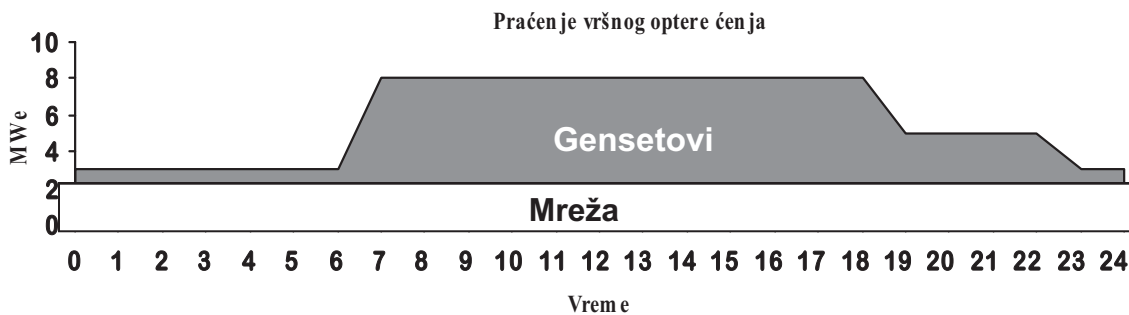
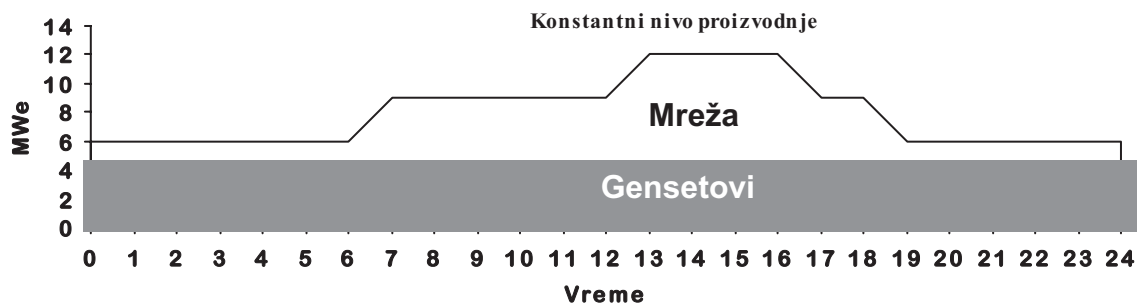
Postrojenja sa gasnim motorom kao glavnom pogonskom mašinom u kogenerativnom ciklusu, postižu najviši stepen efikasnosti i iskorišćenja i to do 90% od ukupne energije goriva i tako koristi onih 35% energije koji se u klasičnim sistemima proizvodnje bukvalno baca i ne koristi. Dakle ovi sistemi maksimiziraju stepen energetske efikasnosti kroz istovremenu proizvodnju više vidova energije: električne i toplotne (rashladne). Moguće je korišćenje i ugljen dioksida, za pospešivanje rasta biljaka u staklenicima, koji je jedan od produkata sagorevanja prirodnog gasa. Na slici 1.1 je prikazan klasičan model ovakvog modula.



Slika 2.1 Kogeneracioni modul

Ovaj sistem je potpuno integrisan i sastoji se od: gasnog četvorotaktnog, elektronski vođenog motora vezanog za nisko ili srednje-naponski generator sa PMG pobudom i automatskom naponskom regulacijom, zatim kontrolno upravljačke i zaštitne jedinice, toplotno izmenjivačkih komponenti i gasne rampe. Sve to je moguće spakovati u jedan mobilni kontejner, potpuno fabrički testiran, otporan na sve vremenske uslove, sa mogućom brзом isporukom i jednostavnim vezivanjem na postojeći elektro energetska, termotehnička i gasna sistema po sistemu plug-in. Ovakav sistem ima i ograničen nivo buke koji ne prelazi 50dB na 50 metara. Najmanje su jedinice od 100 KWe a najveće oko 2Mwe.

Ovakav sistem može da radi ostrvski i tada samostalno zadovoljava potrebe konzuma za električnom energijom (aktivna i reaktivna) ili paralelno sa mrežom i tada sinhronizovano kvalitetno i pouzdano pokriva željeni deo potrošnje.

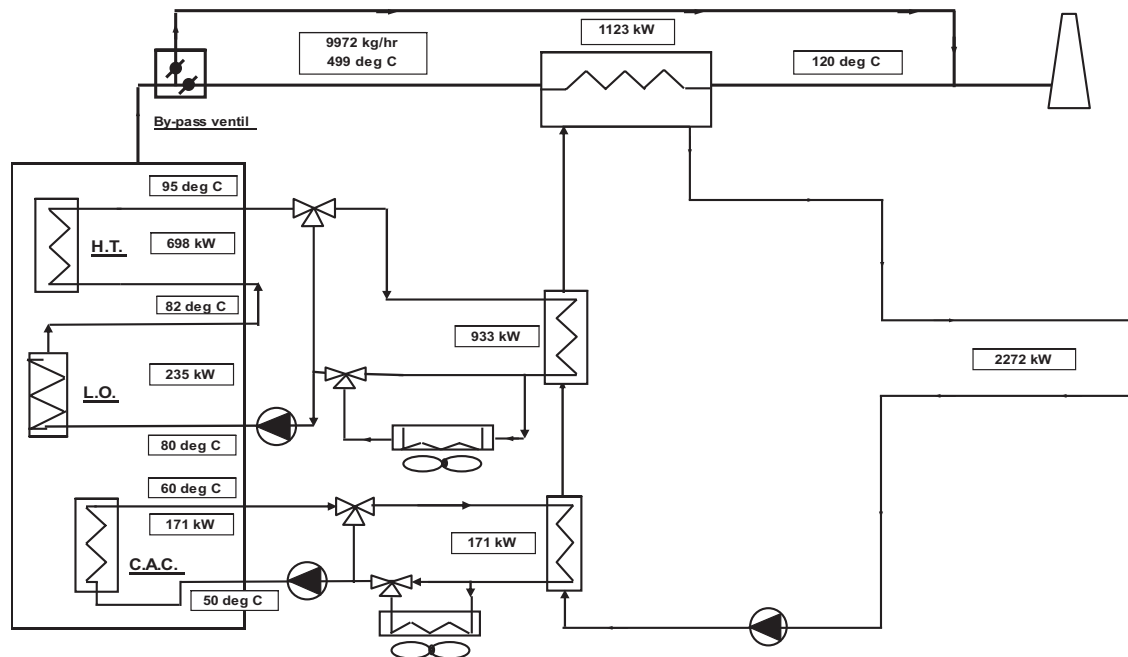


Slika2.2 Pokrivanje potrošnje

Ukoliko se želi što bolje iskoristiti kogeneracioni modul, potrebno je da on radi sa sto posto opterećenja i tada su uštede najveće. Nekadaseme čutim još veće uštede beleže kada generator set pokriva pikove u potrošnji u periodima skupe tarife koje bi inače beležio maksigraf kroz mesečne račune. Moguće je naime da sistem u različitim sezonama ili delovima dana i noći bude podešen da radi na jedan ili drugi način a kada se registruju loše naponske prilike ili potpuni gubitak napona na mreži automatski prebaci na ostrvski rad tako da konzum u svakom trenutku ima kvalitetno, jeftino i pouzdano snabdevanje.

Naravno pošto je ceo sistem tehničko-tehnološki spregnut i vođen i osim električne proizvodi i toplotnu energiju potrebno je postrojenje pravilno dimenzionisati tako da zadovolji visoke kriterijume ukupne energetske efikasnosti. To se postiže kvalitetnom, prethodno sprovedenom analizom stvarne energetske potrošnje i njenom dinamikom na satnom, dnevnom i mesečnom nivou. Ukoliko se pokaže da je potrošač kandidat za kogeneraciju, postrojenja se prema tome dimenzionišu i biraju.

Na slici 2.3 prikazana je uprošćena šema tokova toplotne energije, njeno usmeravanje ka konzumu i eksploataisanje.



Slika2.3 Tokovi toplotne energije

Na gornjoj slici se vidi da se jedan deo toplotne energije, polovina otprilike, proizvodi hlađenjem plašta motora, visoko i nisko temperaturnog afterkulera i motornog ulja u vidu tople vode na temperaturi preko 95°C. Ostatak je toplota koja se proizvodi od izduvnih gasova koji se izmenjuju sistemom voda/vazduh ili para/vazduh i hlade sa 500°C na nekih 120°C. U ovom konkretnom primeru primenjen je gasni generator set QSV91 koji osim 2MW električne proizvodi ukupno 2272 KWt toplotne energije u vidu tople vode ili tople vode i pare. Ovde treba napomenuti da na ulazu u motor postoji zahtev u smislu najviše temperature povratne vode i kada on nije ispunjen, da se motor ne bi pregrevao, potrebno je ovu vodu hladiti sistemom ventilatora ili ukoliko je sistem podešen tako da prati potrošnju toplotne energije automatski se smanjuje dovod gasa pa tako i proizvodnja toplotne energije i tako na energetski efikasan način prati potrošnja bez disipiranje suviše toplote. Dalje je primenom pojednostavljenih formula prenosa toplote moguće dati neke karakteristične vrednosti:

$$Q = m \times C_p \times \text{delta}T$$

Gde su:

- Q - toplota u kWtopl
- m - maseni protok kg/sec
- C_p - specifični toplotni kapacitet kJ/(kg°C)
- delta T - Promena temperature u °C

Ukoliko se zamene parametri u slučaju gasnog generator seta QSV91 (2MWe)

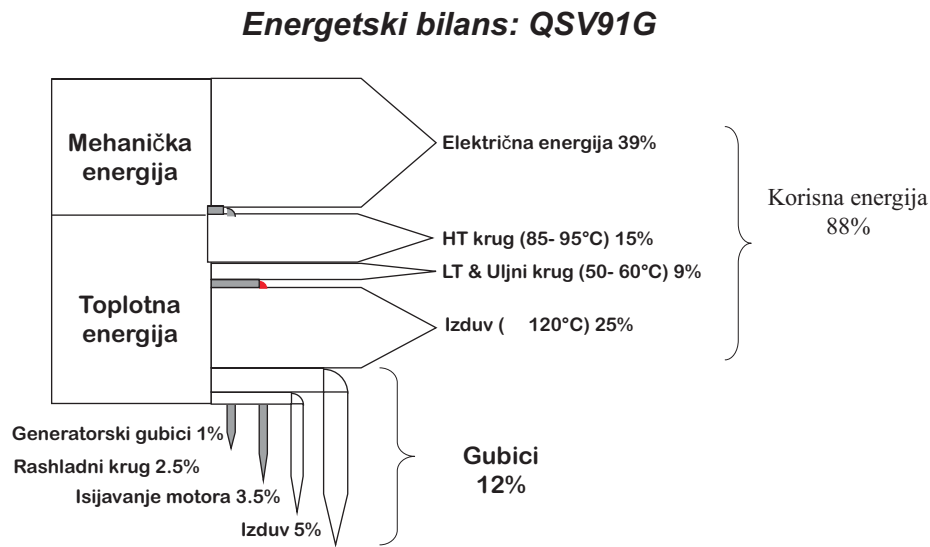
deltaT je (499 - 120) = 379 °C

C_p za izduvni gas = 1.07

m = 2.77 kg/sec

računamo da je količina toplote koja se dobija iz izduva otprilike polovina ukupno dobijene toplotne energije iz motora i izduvne grane i iznosi 1123 KWth. Ovu energiju možemo iskoristiti na primer za dobijanje preko 1,5 ton/h suvozasicene pare na pritisku od 10bar-a.

Ovaj sistem tako iskorištava preko 88% raspoložive energije goriva i to je prikazano na slici 2.4.



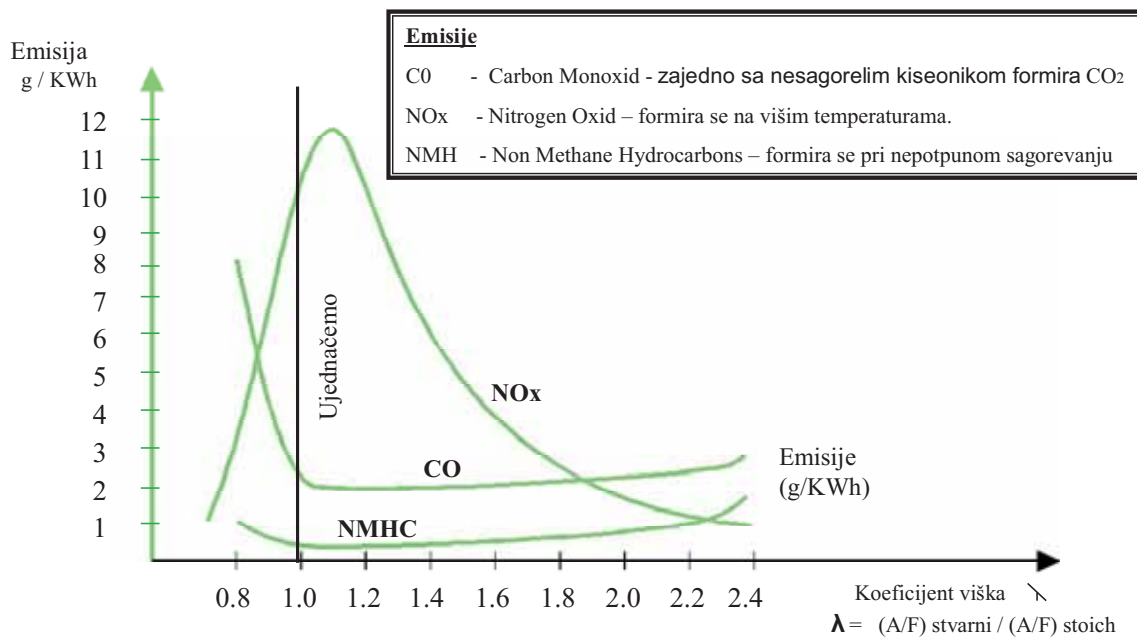
Slika 2.4. Energetska efikasnost

3. Lean-Burn tehnologija

Gasna motor generatorska kogenerativna postrojenja osim što su energetske izuzetno efikasne i pouzdane takođe su i ekološki prihvatljive a prema standardima definisanim i u samom Kjoto protokolu.

Zahtev za niskim nivoom potrošnje goriva i zahtev za smanjenom emisijom izduvnih gasova se čine kao da su u kontradikciji. Upravo lean-burn tehnologija uspeva da ispuni oba zahteva. Naime mešanje veće količine vazduha (kiseonika) od one koja je potrebna za paljenje gasa, sa jedne strane smanjuje emisiju štetnih azotnih oksida, ugljen monoksida i ugljovodoničnih jedinjenja na dozvoljen nivo a sa druge strane pospešuje se sagorevanje kompletne količine raspoloživog gasa i tako povećava energetska efikasnost. Na slici 3.1. vidimo da se u oblasti gde se koeficijent λ , koji predstavlja odnos količine vazduh/gas, kreće između 1.8 i 2.2 beleži najmanja emisija. Elektronskim vođenjem paljenja svećica u gasnim cilindrima, kontrolom sastava gasne smeše u turbo šaržeru izuzetno precizno se definišu i regulišu izlazne karakteristike celog modula u smislu izlazne toplotne i električne energije i emisije gasova. Ovako se ujedno izbegava i mogućnost nekontrolisanog paljenja u samom cilindru preko knock senzora koji identifikuje zone detonacija posle čega se učestalost paljenja automatski podešava bez redukovanja izlazne snage.

Ova tehnologija ujedno isključuje potrebu za dodatnim selektivnim katalitičkim reduktorima koji se koriste u zemljama gde su ekološki standardi izuzetno visoki. Ova dodatna komponenta se koristi tamo gde nije moguće redukovati koncentraciju izduvnih gasova koji izazivaju efekat staklene bašte na dozvoljen nivo. Takvi sistemi su onda osim investiciono, veoma skupi za održavanje.

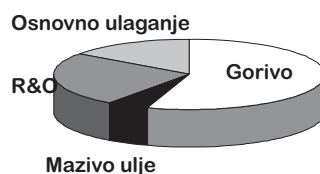


Slika 3.1. Emisija izduvnih gasova

4. Pojednostavljeni model procene isplativosti

Pošto se utvrdi da je neko kandidat za kogeneraciju i postrojenje/a pravilno izabere/u, utvrđuje se period isplativosti i to na osnovu više parametara a to su cena i kvalitet same opreme, troškovi održavanja i eksploatacije, cena gasa, cena ulja i faktor opterećenja. Kvalitetan gasni generator set je predviđen da se eksploatiše preko 100 hiljada sati odnosno preko petnaest godina u kontinuitetu. Na tom vremenskom horizontu utvrđeno je da je kupovina opreme samo 15% ukupnih troškova a da je recimo održavanje i servisiranje samog sistema 25%, potrošnja ulja 5% i naravno najveći deo potrošnja goriva 55%.

Ključni faktori isplativosti



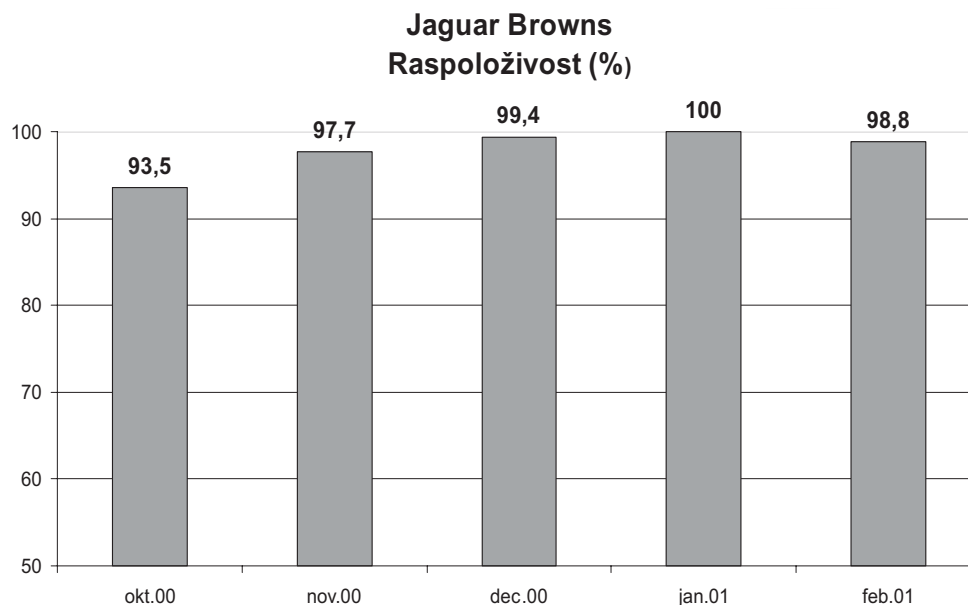
Slika 4.1. Troškovi

Naravno sistem je poželjno što maksimalnije opteretiti u što dužem vremenskom intervalu jer tada cena proizvedenog KWh električne u toplotne energije eksponencijalno opada. Dakle faktor opterećenja bi trebao da teži 100%.

Da bi postrojenje bilo raspoloživo odnosno da bi remont i eventualno otklanjanje kvarova kratko trajalo a troškovi i posledice zastoja bile manje neophodno je osim kvalitetno izabrane opreme imati 24h na raspolaganju lokalnog distributera i servisera ove specifične opreme koju mogu opsluživati jedino dobro obučeni inženjeri ovlašteni od samog proizvođača. Ovo je naročito važno ako se zna da u delu održavanja i sevisiranja u onih 25% troškova najznačajniji udeo predstavljaju troškovi čovek-sat i cene samih delova koji ako je to moguće trebaju biti lokalno dostupni. Potrebno je obezbediti i daljinsko praćenje i kontrolu rada samog postrojenja pa prema tome reagovanje i intervenisanje na terenu u najkraćem roku. Ako bi se ispunili gore navedeni preduslovi onda je moguće garantovati osim pouzdanosti i kvaliteta i visoku raspoloživost opreme na godišnjem nivou. Faktor raspoloživosti se izražava procentualno i izračunava kao:-

Broj sati posmatranog perioda – Broj sati van pogona (planiran i neplaniran)
Broj sati posmatranog perioda

Tako recimo ako je broj sati posmatranog perioda 8760 a broj sati van pogona 613 sati dobijamo da je ukupna raspoloživost postrojenja 93%. Inače garantovani nivoi raspoloživosti za pouzdanu opremu sa dobro dimezionisanim a kasnije vođenim postrojenjem se kreću od 85% do 96% u zavisnosti od broja operativnih sati (industrijski standard). Ako se pak traži raspoloživost koja prelazi 96% potrebno je angažovati dodatni kapacitet (stand-by) dizel ili gasni agregat, ili pokrivanje od strane mreže.



Slika 4.2. Primer raspoloživosti

U fabrici automobila Jaguar u Engleskoj su ugrađena četiri Cummins-ova gasna generator seta QSV91 koja ukupno isporučuju 9120KWe električne i oko 10200 KWth toplotne energije. Tamo je i snimljen ovaj vremenski horizont od oktobra do februara. Ovde je ugovorena raspoloživost na godišnjem nivou iznosila 93%.

Ako su se pažljivo i detaljno obavili svi prethodni koraci moguća je i kvalitetna analiza isplativosti. Uzećemo primer postrojenja QSK60 i analizirati njegovu isplativost na osnovu postojeće cena energenata i energije u našoj zemlji:

Tabela 4.1 primer procene isplativosti

Gas-generator set QSK60		1,16 MWe
Godišnja eksploatacija		8000 sati
Ukupna investicija	500 € /kWe	580.000 €
Operativni i troškovi održavanja		7 € /MWhe
Električna efikasnost	33 - 40 %	38 %
Toplotna efikasnost	40 - 50 %	47 %
Cena gasa		16 € /MWh
Toplotni naspram troškova gasa		1,1
Cena električne energije	2,5 / 3,5	36 € /MWhe
Inicijativa države	10/25 € /MWhe	0 € /MWhe

Tabela 4.2 primer procene isplativosti

Gas	39,5 €/Mwhe	Toplota	21,8 €/MWhe
Servis	7 €/MWhe	El.energija	36 €/MWhe
Back-up	0 €/MWhe	Inicijativa	0 €/MWhe
	46,5 €/MWhe		57,8 €/MWhe
Bonus	11,3 €/MWh		104.864 €/god
Koeficijent isplativosti	18,08 %		
Period isplativosti	5,53 god		

U prvoj tabeli su dati ulazni podaci sa cenom postrojenja odnosno električne i toplotne energije na osnovu trenutne. Ovde se skreće pažnja na cenu samog Cummins postrojenja koja je za kratak period od nekoliko godina smanjena skoro duplo odnosno sa nekih 900 €/KWe na otprilike 500 €/KWe. Sa druge strane u analizi je predviđeno angažovanje domaćih stručnjaka za ovu vrstu opreme, tj. ovlašćenog Cummins distributera i serviseru sa kontinualnom obukom samog korisnika koji se tako, ukoliko on to želi, postepeno osposobljava za preuzimanje planskih i neplanskih intervencija na samom postrojenju. Ovaj pristup je dosta jeftiniji pa tako gornja cena održavanja verovatno nije realna i primenljiva u nekim drugim okolnostima.

Druga tabela sa jedne strane prikazuje ukupne troškove eksploatacije po proizvedenom MWh električne energije a sa druge strane su prikazani troškovi klasične, odvojene proizvodnje. Posle otprilike 5,5 godina korisniku se investicija potpuno isplatila. Napominje se da je ovo postrojenje predviđeno za preko 100 hiljada sati rada.

Dakle pored energetske efikasnosti i ekološke prihvatljivosti mala kogenerativna postrojenja i u trenutnim uslovima nalaze svoju ekonomsku opravdanost. Nesumljivo je da država konkretnom inicijativom koja je od skoro i dokumentovana može doprineti da se period isplativosti svede i na nekih dve ili tri godine, jer se u okolnostima gde se vodi računa o strategiji korišćenja prirodnih resursa, čistih i efikasnih tehnologija ovakav sistem za svaki proizvedeni MWh dodatno subvencionise.