

# Mikrokogeneracija u virtualnoj elektrani

---

**Brajković, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:682527>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-12**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Marko Brajković**

Zagreb, veljača 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Dražen Lončar

Student:

Marko Brajković

Zagreb, veljača 2017.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
 procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum: 4. 02. 2017. Prilog
Klasa: 602-04/14-6/14
Ur. broj: 15-1703-14-107

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marko BRAJKOVIĆ** Mat. br.: 0035185791

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **MIKROKOGENERACIJA U VIRTUALNOJ ELEKTRANI**

Naslov rada na engleskom jeziku: **MICROCOGENERATION IN VIRTUAL POWER PLANT**

Opis zadatka:

Za izravnavanje varijabilnosti proizvodnje obnovljivih izvora koriste se i kogeneracijska postrojenja primarno namijenjena za pokrivanje toplinskih potreba lokacije. Organiziranjem tzv. flote sličnih postrojenja odnosno povezivanjem u tzv. virtualne elektrane omogućava se i sudjelovanje na tržištu pomoćnih usluga i ostvarivanje dodatnih prihoda.

Na primjeru stambeno poslovni objekta ukupne grijane površine 750 m<sup>2</sup> i uz pretpostavljene specifične godišnje toplinske potrebe grijanja prostora od 70 kWh/m<sup>2</sup> potrebno je:

1. Procijeniti profile potrošnje toplinske i električne energije prilagodbom referentnih profila, definiranih u normi VDI 4655, klimatskim uvjetima odabrane lokacije u sjeverozapadnoj Hrvatskoj;
2. Definirati veličinu i konfiguraciju mikrokogeneracijskog postrojenja zajedno s kotlom za pokrivanje vršnih opterećenja i spremnikom toplinske energije;
3. Simulirati pogon mikrokogeneracijskog postrojenja u karakterističnim danima (zimskom, ljetnom i jesenskom) s ili bez sudjelovanja na tržištu pomoćnih usluga.

U tekstu završnog rada potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualnu pomoć pri izradi.

Zadatak zadan:  
30. studenog 2016.

Rok predaje rada:  
1. rok: 24. veljače 2017.  
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.  
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.  
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.  
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Dražen Lončar

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečenaznanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem **prof.dr.sc.Draženu Lončaru** na stručnoj i nesebičnoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

Marko Brajković

## Sadržaj

POPIS SLIKA .....	6
POPIS TABLICA.....	7
POPIS OZNAKA.....	8
1. UVOD .....	10
1.1 Tehnologija kogeneracije .....	10
1.2 Prednosti kogeneracije.....	13
1.3 Zastupljenost i stanjekogeneracije u EU i Hrvatskoj .....	15
2. MIKROKOGENERACIJA.....	18
2.1 Usporedba mikrokogeneracije s konvencionalnim tehnologijama u kućanstvu.....	19
3. NORMA VDI 4655 .....	21
3.1 Metodologija norme VDI 6455 .....	21
3.1.1 Godišnji iznosi utrošene energije .....	21
3.1.2 Utjecaj klime.....	22
3.1.3 Tipični dani .....	25
3.2 Satni profili potrošnje za sjeverozapadnu Hrvatsku.....	27
3.2.1 Referentni profili .....	27
3.2.2 Računanje satnih vrijednosti .....	27
3.3 Grafički prikaz tipičnih dana .....	28
3.4 Dimenzioniranje sustava .....	31
4. SIMULACIJA POGONA MIKROKOGENERACIJE .....	33
4.1 Prijelazno razdoblje .....	33
4.2 Ljetno razdoblje.....	34
4.3 Zimsko razdoblje.....	34
5. ZAKLJUČAK.....	36
POPIS LITERATURE.....	37

## POPIS SLIKA

Slika 1: ovisnost efikasnosti MUI o promjeni opterećenja [2].....	11
Slika 2: shema kombiniranog ciklusa parne i plinske turbine [2] .....	12
Slika 3: prikaz "spark spread" načela.....	16
Slika 4: shema mikrokogeneracije u stambenom objektu [4].....	18
Slika 5: jednostavna shema kondenzirajućeg kotla [7] .....	19
Slika 6: usporedba raspodjele energije u mikrokogeneraciji i sustavu s kondenzirajućim kotlom .....	20
Slika 7: prikaz siječanjских temperatura za Zagreb .....	23
Slika 8: klimatske zone u Njemačkoj .....	24
Slika 9: p-r-v tip satno opterećenje.....	28
Slika 10: p-r-o tip satno opterećenje.....	28
Slika 11: p-n-v tip satno opterećenje .....	29
Slika 12: p-n-o tip satno opterećenje .....	29
Slika 13: lj-r tip satno opterećenje.....	29
Slika 14: lj-n tip satno opterećenje .....	30
Slika 15: z-r-v tip satno opterećenje.....	30
Slika 16: z-n-v tip satno opterećenje .....	31
Slika 17: z-n-o tip satno opterećenje .....	31
Slika 18: simulacija rada mikrokogeneracije u jesenskom danu .....	33
Slika 19: simulacija rada mikrokogeneracije u jesenskom danu .....	35

## POPIS TABLICA

Tablica 1: usporedba cijena godišnje potrošene energije [7] .....	14
Tablica 2: cijene električne energije za proizvođače [11] .....	17
Tablica 3: vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura i padalina za Zagreb i Mainz [15] .....	25
Tablica 4: broj tipičnih dana u godini za Zagreb.....	26
Tablica 5: Faktori $F_g$ , $F_v$ , $F_e$ .....	27



## POPIS OZNAKA

$A_o$  [m<sup>2</sup>] površina grijanog prostora

## SAŽETAK

U radu je najprije dan pregled tehnologija kogeneracije. Opisana su područja primjene i karakteristike pojedinih tehnologija. Napravljena je podjela kogeneracije i dodatno opisana primjena mikrokogeneracijskih postrojenja u kućanstvu.

Izvršene su prilagodbe norme VDI4655 te pokazani satni profili za tipične dane za električno i toplinsko opterećenje.

Konačno, simuliran je pogon kogeneracije za tri karakteristična dana: ljetni zimski te jesenski.

## 1. UVOD

### 1.1 Tehnologija kogeneracije

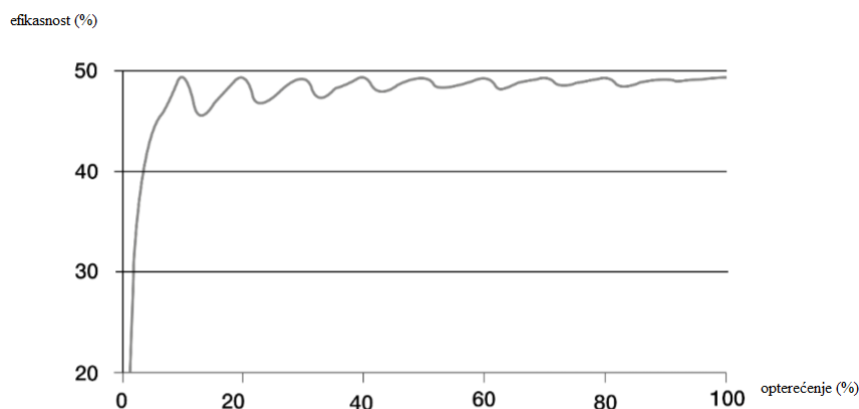
Definicijom kogeneracija jest istovremena proizvodnja toplinske i električne energije iz jednog izvora odnosno postrojenja. Valja naglasiti kako se pri procesu koristi jedna vrsta goriva koja sudjeluje u proizvodnji oba oblika energije. Pojmovi toplinske i električne energije u ovom slučaju uključuju čitav niz korisnih produkata kao što su: grijanje prostora, toplinski procesi u industriji, spremanje toplinske energije, opskrba električnom energijom, prodaja električne energije u mrežu, transformacija električne energije u druge korisne oblike itd. .S obzirom na širok spektar primjene, tehnologija kogeneracije također zahtjeva temeljitu podjelu s nekoliko aspekata, na primjer: projektno opterećenje, tip korisnika tehnologije, lokacija, namjena, zahtjevi na proizvodnju i prodaju energije te zahtjevi na izvedbu pojedine tehnologije.

Prvi i posljednji aspekt kruto su vezani u primjeni i izvedbikogeneracije. Naime, danas se na tržištu ustalilo nekoliko izvedbikogeneracije i to prvenstveno s obzirom na veličinu samog postrojenja odnosno projektno opterećenje. Sljedećih pet tehnologija, baziranih na osnovnoj jedinici za proizvodnju energije u sustavu kogeneracije, zastupljeno je u više od 90% ukupno instaliranih kapaciteta:

- motori s unutrašnjim izgaranjem – klipni
- mikroturbine
- gorive ćelije
- plinske turbine
- parne turbine[1] .

Uglavnom se danas motori s unutrašnjim izgaranjem primjenjuju u slučaju manjih opterećenja, fleksibilnijeg pogona te u slučaju potrebe za pokretnim postrojenjem uz iznimku velikih brodskih dizel motora. Tehnologija je zrela u smislu vrlo visoke razvijenosti te područja primjenjivosti [1]. Upravo su zato motori s unutrašnjim izgaranjem najzastupljenija tehnologija čineći preko polovine ukupno dostupnih tehnologija [1]. Drugi razlog, ujedno i najveća prednost kogeneracije primjenom motora s unutrašnjim izgaranjem je iznimna

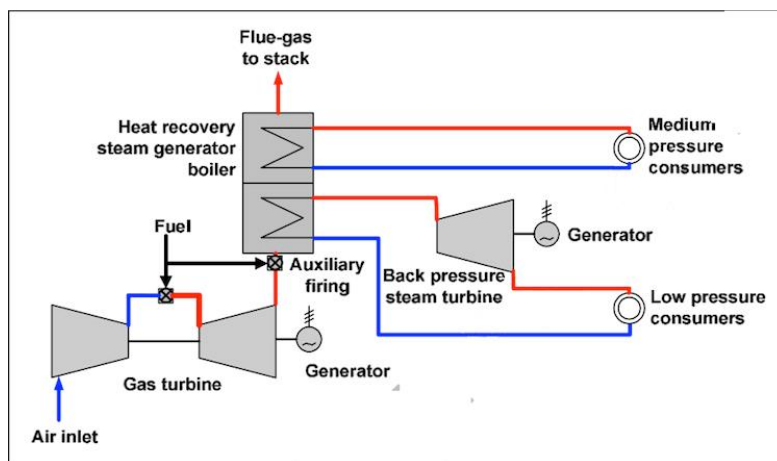
otpornost na variranje opterećenja. Naime motori s unutrašnjim izgaranjem pokazuju zadržavanje efikasnosti (električne) unatoč većim promjenama opterećenja.



**Slika 1: ovisnost efikasnosti MUI o promjeni opterećenja[2]**

Na Sliku 1 prikazano je kretanje vrijednosti efikasnosti za motor s unutrašnjim izgaranjem u ovisnosti o promjeni opterećenja. Vidljivo je da u rasponu od 30%-100% opterećenja motor s unutrašnjim izgaranjem radi gotovo na maksimalnoj efikasnosti. Ova karakteristika izrazito je bitna kod sustava koji zahtijevaju dinamičan pogon. Dobar primjer je kućanstvo u kojem potreba za električnom i toplinskom energijom tijekom dana može varirati upravo u takvom širokom spektru u kojem motor s unutrašnjim izgaranjem zadržava efikasnost [2]. Također, moguće je primijeniti princip paketne izvedbe u kojoj se kogeneracija odvija iz nekoliko zasebnih jedinica koje se mogu u kratkom vremenu paliti i gasiti ovisno o potrebi [2]. Samo korištenje otpadne topline može se odvijati na tri načina: prisilnom cirkulacijom vode kroz motor koja primljenu toplinu predaje u vanjskom izmjenjivaču zatim korištenjem vrele kapljevine ulja koja prirodno cirkulira te korištenjem topline dimnih plinova [3]. Najčešća je prva izvedba koja je ujedno i pogodna za upotrebu u kućanstvu budući da postiže temperature toplovodnog grijanja te ne daje visoke tlakove. Motori s unutrašnjim izgaranjem u kogeneraciji uglavnom koriste sljedeća goriva: ukapljeni naftni plin, prirodni plin, bioplin ili otpadne plinove iz procesa. Valja napomenuti kako je ukapljeni naftni plin najčišći, ima najvišu ogrjevnu vrijednost te je prema tome i najzastupljeniji [3]. Udio štetnih tvari kao što su dušikovi monoksidi te ugljikov monoksid uvelike ovise o pogonskim uvjetima i kvaliteti izvedbe samog motora ali su u usporedbi s ostalim tehnologijama niski.

Najbolji primjer tehnologije primjenjive na velikim postrojenjima reda veličine nekoliko stotina MW je kombinirani ciklus koji se sastoji od plinske i parne turbine.



**Slika 2: shema kombiniranog ciklusa parne i plinske turbine[2]**

Slika 2: shema kombiniranog ciklusa parne i plinske turbine prikazuje način proizvodnje električne i toplinske energije prilikom kombiniranog ciklusa. Dimni plinovi iz plinske turbine preusmjeravaju se dijelom na izmjenjivač topline a dijelom prema parnom kotlu u kojem sudjeluju u proizvodnji pare za parnu turbinu. Obje turbine tijekom ciklusa pokreću generator i time proizvode i električnu energiju. Jasno je iz priloženoga da je glavna odlika kogeneracije visoka učinkovitost procesa.

Procesi kao na

Slika 2 postižu učinkovitosti do 90% [2]. Razlog tome je očit, kogeneracija je proces koji najbolje koristi toplinsku vrijednost goriva. U klasičnim termoenergetskim procesima javljaju se iznimno visoke vrijednosti otpadne topline. Dimni plinovi nastali izgaranjem bilo krutog, tekućeg ili plinovitog stanja imaju temperature višestruko više od okolišne i prema tome visoku entalpiju koja se u kogeneracijskim procesima iskorištava za dobivanje raznih korisnih oblika toplinske energije.

Mikroturbine su plinske turbine male izlazne snage. Ova tehnologija još uvijek je u razvoju i na tržištu je slabo dostupna u odnosu na gore navedene tehnologije [1]. Konstrukcija je temeljena na turbopunjačima kakve nalazimo kod kamiona i ostalih transportnih vozila koji koriste takvu izvedbu nabijanja motora. Najveći problem mikroturbina je niski mehanički stupanj djelovanja. Izlazne snage kreću se oko nekoliko stotina kW što mikroturbine čini potencijalnim izborom za kogeneraciju u kućanstvima.

Gorivi članci su također relativno nova tehnologija u kontekstu kogeneracije. Općenito proces proizvodnje električne energije izuzetno je efikasan korištenjem gorivih članaka. Jednostavan

sustav se sastoji od elektrolizatoralamelnog rasporeda članaka i sustava za dovod vodika. Danas se najčešće koristi prirodni plin ili metanol iz kojih se sintetizira vodik ali je na tržištu dostupan veliki broj elektrolita i goriva iz kojih je moguće pripremiti vodik. Kogeneracija se kod ove tehnologije događa spontano budući da se radi u egzotermnom termokemijskom procesu. Sustav hlađenja ujedno može biti i sustav prihvata topline čineći ovu tehnologiju prikladnom za kogeneraciju. Tehnologija gorivih članaka se rapidno razvija, posebno u zemljama Azije poput Japana i zasad najveću primjenu nalazi u malim instalacijama od nekoliko stotina kW, ipak, još uvijek je slabo zastupljena na svjetskom tržištu u odnosu na već zrele tehnologije [3].

## **1.2 Prednosti kogeneracije**

Kogeneracija predstavlja niz dokazanih i pouzdanih ali i ekonomičnih tehnologija koje daju važan doprinos ispunjavanju globalnih potreba za toplinskom i električnom energijom uz očuvanje okoliša. Korištenje takve tehnologije donosi povećanu učinkovitost, iskorištavanje otpadne topline i otvara mogućnosti korištenju obnovljivih izvora energije. Kogeneracija, uz uvođenje centraliziranih sustava grijanja čini važan dio nacionalnih i regionalnih strategija smanjenja emisija ugljikova dioksida i ostalih stakleničkih plinova. Međutim, izražen je raskorak u prihvaćanju i primjeni tih tehnologija na globalnom planu prvenstveno zbog teškoća u formiranju zajedničkih energetske strategije i, naravno, ekonomske nejednakosti. Mjere koje potiču korištenje kogeneracije trebaju biti direktan produkt dobrih energetske strategije i politike u naporu da se prije svega očuva okoliš [6].

Nadalje, danas je aktualno postizanje energetske sigurnosti i neovisnosti. Počevši od regionalne razine i makroekonomskih razloga pa sve do krajnjeg potrošača i uspostavljanja liberalnih energetske tržišta. Pored toga kogeneracija pridonosi stabilnosti električne mreže te daje mogućnosti stvaranja zalihe toplinske energije i time uspijeva odgovoriti na eventualna neizvjesna kretanja cijena električne i toplinske energije.

Uvođenjem kogeneracije dolazi do osjetnog smanjenja cijena energije.

**Tablica 1: usporedba cijena godišnje potrošene energije[7]**

	I	II
	kotao na plin + električna energija iz mreže	kogeneracija s MUI
cijena godišnje potrošene energije	<b>2154 EUR</b>	<b>1558 EUR</b>

**Tablica 1: usporedba cijena godišnje potrošene energije**

Tablica 1 prikazuje razliku u cijeni godišnje potrošene energije za dva sustava. Prvi sustav se sastoji od konvencionalnog kotla na plin te koristi električnu energiju iz mreže dok drugi sustav koristi kogeneraciju baziranu na motoru s unutrašnjim izgaranjem. Račun je proveden za slučaj potpunog korištenje električne energije ili prodaje viška po cijeni od 9c€/kWh na primjeru kućanstva koje godišnje potroši 17000 kWh toplinske energije (za grijanje i pripremu potrošne tople vode) te 3500 kWh električne energije. Dakle ušteda je jasno vidljiva u ovom slučaju iznosi 26% ukupnog godišnjeg iznosa. Ovakav primjer možda jest izoliran ali rasprostranjivanjem sustava kogeneracije dolazi do čitavog niza ekonomskih dobiti budući da se tržište energijom bitno liberalizira povećanjem broja kogeneracija.

Konačno, kogeneracija posebno olakšava implementaciju obnovljivih izvora energije. Naime, zbog mogućnosti brzog i dinamičnog prilagođavanja promjenama opterećenja odnosno potreba za električnom i toplinskom energijom, ovakvi sustavi lako kompenziraju intermitentnost obnovljivih izvora energije. Primjena solarnih fotonaponskih ćelija te vjetroturbina nužno dovodi do problema neujednačenosti proizvodnje i potrebe za energijom.

Primjerice za vrijeme povoljnog vjetra dolazi do viška električne energije zbog dobre učinkovitosti vjetroturbina u tom slučaju jedinica kogeneracije može koristiti električnu energiju za pogon toplinskih pumpi, odnosno pretvarati je u toplinsku energiju i spremati je u toplinske spremnike. S druge strane u slučaju veće potrebe za električnom energijom prilikom nepovoljnih vremenskih uvjeta, slabog vjetra, kogeneracija pokriva opterećenje.

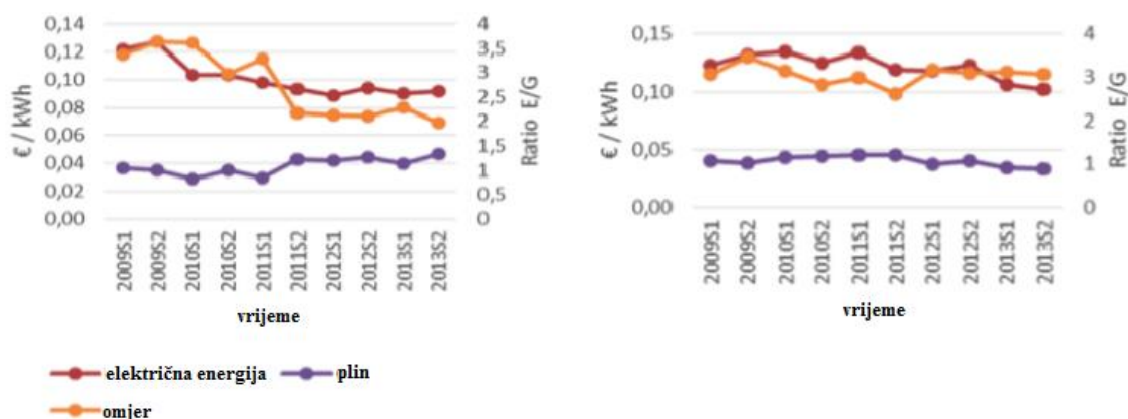
### **1.3 Zastupljenost i stanje kogeneracije u EU i Hrvatskoj**

Procjene su da bi do 2030. iz kogeneracijskih postrojenja trebalo biti proizvedeno čak 20% od ukupne proizvodnje električne energije u EU. Paralelno s time sustavi se sve više prilagođavaju korištenju obnovljivih izvora energije te goriva kao što su biomasa ili bioplina. Od 2012. do 2014. godine provedeno je ekstenzivno i temeljito istraživanje europskog tržišta energije s naglaskom na kogeneraciju u kojem su sudjelovali stručnjaci iz 27 zemalja članica Europske Unije [8]. Cilj je bio a temelju postojećeg stanja ponuditi cjelovitu zajedničku strategiju razvoja kogeneracije. Veliku ulogu u promicanju i samom realiziranju sustava imaju državne politike, regulative i strategije kojima se stvaraju prilike na tržištu energije. S obzirom na ključnu karakteristiku sustava kogeneracije s ekonomskog aspekta koja je mogućnost trgovanja energijom, nužno je da se uvjeti kao što su: mehanizam tržišta, cijene, ograničenja i odnosi između korisnika i distributera uredno i jasno odrede od strane državnih resora i agencija. Ističe se posebno područje javnih objekata kao što su: bolnice, obrazovne ustanove te državne institucije koji su od velikog socio-ekonomskog značaja a idealni su za primjenu sustava kogeneracije. U tom kontekstu najveća prepreka je zainteresirati proizvođače i distributere koji prirodno očekuju mogućnosti profita i ekonomskog razvoja za što sama energetska učinkovitost još uvijek nije dovoljan stimulans [8].

Još jedna prepreka na putu za bolju implementaciju kogeneracije jest nesigurnost ulaganja kao direktna posljedica još uvijek slabo razvijenih regulatornih načela koja ovise o državi. Najbolji primjer su cijene električne energije koja je ujedno i najčvršća veza kogeneracije i tržišta. Prodajom električne energije u mrežu dolazi do financiranja i retrofita za ulagače u sustave kogeneracije. Trenutno cijene električne energije imaju iznimno neizvjestan karakter i u vremenu energetske tranzicije koja neminovno u europske sustave uvodi obnovljive izvore energije nemoguće je ponuditi sigurne uvjete ulaganja i planiranja novih postrojenja bez inicijativa državnih politika. Valja napomenuti kako unutar EU dolazi do velikih raskoraka u stanju energetske sustava i samim time otežano je provoditi jedinstvenu strategiju [8].



Od svih parametara kogeneracije dva se posebno ističu jer vrlo jednostavno oslikavaju isplativost sustava kogeneracije. Kako je već navedeno kogeneracija na tržištu prodaje električnu energiju kao koristan oblik odnosno gotov proizvod a u najvećem broju slučajeva kupuje plin (lpg, prirodni, bioplin) kao primarni oblik energije. Upravo omjer cijene električne energije za prodaju i cijene plina definira (eng. *sparkspread*) isplativost kogeneracije.



**Slika 3: prikaz "sparkspread" načela**

Na slici 3 jasno se vidi kretanje cijene plina te električne energije kroz vrijeme. Narančastom krivuljom opisan je omjer te dvije cijene odnosno "sparkspread". Pojednostavljeno, dok god je omjer viši od 3 isplativo je pogoniti kogeneraciju, u periodima kad se omjer smanji dolazi do problema jer kogeneracija prelazi u režim manjih opterećenja i samim time gubi na efikasnosti. U posljednje vrijeme cijena plina je poprilično zahtjevna za predviđanja. Jedno od rješenja bilo bi dobro raspolaganje zalihama plina. Primjerice za vrijeme visokih cijena plina država može posegnuti u zalihe i obratno u slučaju povoljnih cijena ili pronalaska lokalnih izvora trebalo bi se provoditi skladištenje [8].

Države kao što su Belgija, Nizozemska, Luksemburg i Ujedinjeno Kraljevstvo imaju najviše udjele kogeneracije u ukupnoj proizvodnji energije. Razlog tome je veliki broj industrija, primjerice kemijska u Nizozemskoj, koje generiraju velike količine otpadne topline u procesima proizvodnje električne energije i samim time dolazi do velikog potencijala sa strane toplinske energije. S druge strane male, komercijalne kogeneracije zasad se najviše implementiraju u Njemačkoj koja ima vrlo veliki rast udjela obnovljivih izvora energije.

U Hrvatskoj se zakonski prate direktive Europske Unije: Direktiva 2009/28/EZ te Direktiva 2012/27/EU. To je samo mali korak prema izgradnji i reguliranju stvarnog stanja kogeneracije u državi. Biomasa kao gorivo je posebno zastupljeno u gradnji novih postrojenja. Razlog je iznimno niska cijena biomase u Hrvatskoj oko 270 kn/ton [9]. Trenutno je u Hrvatskoj registrirano 6 postrojenja kogeneracije koji imaju status povlaštenog proizvođača električne energije te zauzimaju drugo mjesto prema instaliranoj snazi, ispred su vjetroelektrane. Ukupna snaga u kogeneracijskih postrojenja u je 114 MW [10]. Valja napomenuti kako je udio mikrokogeneracije za komercijalne primjene iznimno mali. Hrvatska je u vrlo povoljnom periodu s obzirom na mogućnosti iskorištavanja poticaja iz europskih fondova i potencijal za gradnju manjih kogeneracija postoji[10].

Vrlo važan faktor u daljnjem razvoju kogeneracije u Hrvatskoj je stanje na tržištu električne energije. Cijena je još uvijek niska u odnosu na cijenu plina ali se aktualna kretanja pomiču prema povoljnijem omjeru. Također, trendovi uvođenja obnovljivih izvora energije te istovremeno potencijalna gradnja LNG terminala na Krku idu u prilog kogeneraciji. Istočna regija obiluje manjim postrojenjima uglavnom na biomasu kao što je Hrast iz Strizivojne. Ipak, još uvijek razlozi ulaganja i izgradnje kogeneracije leže u nužnosti kao na primjeru industrije dok je zastupljenost u drugim sektorima još uvijek neznatna.

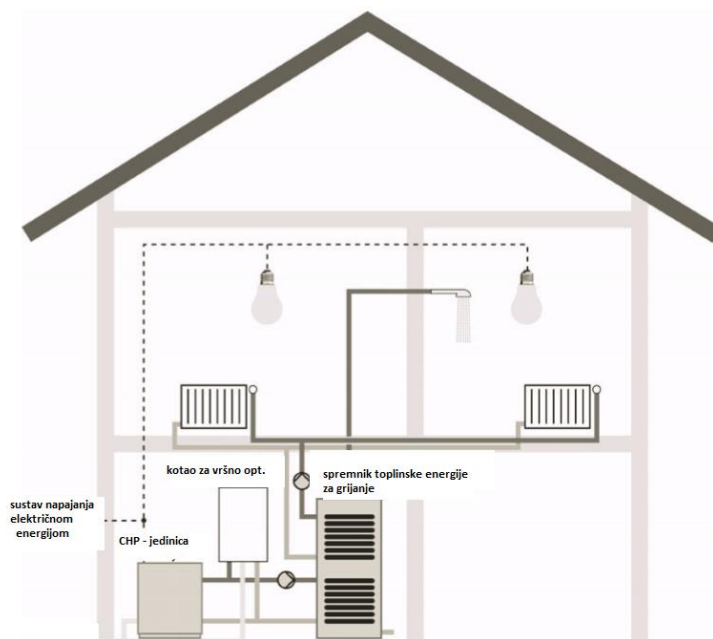
**Tablica 2: cijene električne energije za proizvođače[11]**

Grupa	Tip postrojenja	C od siječnja 2013.g. (kn/kWh)		C od siječnja 2014.g. (kn/kWh)		C od siječnja 2015.g. (kn/kWh)		C od svibnja 2015.g. (kn/kWh)		C od siječnja 2016.g. (kn/kWh)		C od svibnja 2016.g. (kn/kWh)		C od siječnja 2017.g. (kn/kWh)	
		VT	NT	VT	NT	VT	NT	VT	NT	VT	NT	VT	NT	VT	NT
3.a.	Kogeneracijska postrojenja instalirane električne snage do uključivo 50 kW, tzv. mikro-kogeneracije te sva kogeneracijska postrojenja koje koriste gorivne ćelije na vodik	1,2300	0,6452	1,2485	0,6550	1,2485	0,6550	1,2143	0,6370	1,2143	0,6370	0,9963	0,5227	0,9963	0,5227
3.b.	Kogeneracijska postrojenja instalirane električne snage veće od 50 kW do uključivo 1 MW, tzv. male kogeneracije	1,0284	0,5243	1,0439	0,5322	1,0439	0,5322	1,0153	0,5176	1,0153	0,5176	0,8330	0,4247	0,8330	0,4247
4.a.	Kogeneracijska postrojenja instalirane električne snage veće od 1 MW do uključivo 35 MW, tzv. srednje kogeneracije priključene na distribucijsku mrežu	0,8872	0,4436	0,9006	0,4503	0,9006	0,4503	0,8759	0,4380	0,8759	0,4380	0,7187	0,3593	0,7187	0,3593
4.b.	Kogeneracijska postrojenja instalirane električne snage veće od 35 MW, tzv. velike kogeneracije, te sva kogeneracijska postrojenja priključena na prienosnu mrežu	0,6049	0,3025	0,6140	0,3070	0,6140	0,3070	0,5972	0,2986	0,5972	0,2986	0,4900	0,2450	0,4900	0,2450

Tablica 2 prikazuje cijene za povlaštene proizvođače električne energije iz kogeneracije u Hrvatskoj. Najveći broj postrojenja spada u skupinu 4.a. koja se odnosi na postrojenja snage 1-35 MW. Kako je navedeno ranije jedan od najboljih pokazatelja isplativosti rada kogeneracije je omjer cijene plina i cijene električne energije na tržištu. Uzimajući prosječnu cijenu plina na području grada Zagreba koja iznosi oko 20 lipa, omjer cijene električne energije i cijene plina bio bi nešto viši od 3. To je samo pojednostavljeno pokazivanje kako potencijala za razvoj i primjenu kogeneracije ima.

## 2. MIKROKOGENERACIJA

U ovom radu razmatrat će se rad mikrokogeneracije namijenjene višestambenom-poslovnom objektu. Mikrokogeneracijom možemo smatrati sustave manje izlazne snage (do 50kW), instalirane unutar ili u neposrednoj blizini objekta koji je korisnik kogeneracije valja istaknuti razliku od centraliziranih toplinskih sustava koji također mogu biti kogeneracijski a koji distribuiraju energiju na veći broj objekata i uglavnom imaju višestruko veće snage toplinske i električne energije.



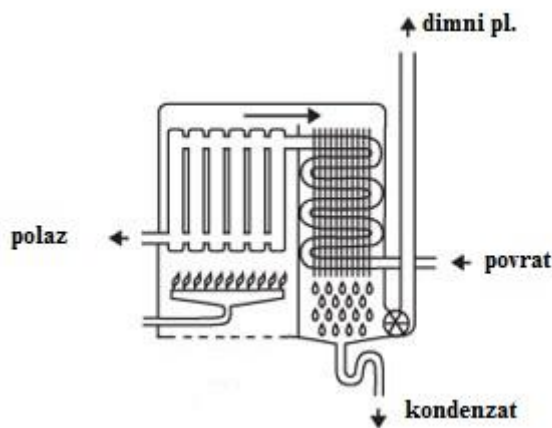
**Slika 4: shema mikrokogeneracije u stambenom objektu[4]**

Kako Slika 4 prikazuje, sustav se sastoji od jedinice za proizvodnju električne i toplinske energije (primarna jedinica), kotla za pokrivanje vršnih toplinskih opterećenja te spremnika za toplinsku energiju koja se tijekom navedenog procesa predaje sustavu toplovodnog grijanja

odnosno potrošnoj toploj vodi. To su ujedno i glavni parametri mikrokogeneracije. Električna energija potrebna je tijekom cijele godine dok toplinska energija za grijanje prostora i potrošne tople vode varira tijekom godine s vrhuncima u zimskih mjesecima do izostanka tijekom ljetnih mjeseci. Također danas je moguće sudjelovati na tržištu električne energije pa time uvelike ekonomizirati troškove kogeneracije. Posljednji element karakterističan za kogeneraciju je spremanje topline korištenjem toplinskih spremnika koji omogućuju dodatnu autonomiju u gospodarenju energijom unutar kućanstva. Konačno implementacija obnovljivih izvora energije, prvenstveno solarnih panela i kolektora, moguća je u sustavima kogeneracije te vrlo dobro nadopunjuje raznolikost rješenja mikrokogeneracije kao zasebnog sustava.

## **2.1 Usporedba mikrokogeneracije s konvencionalnim tehnologijama u kućanstvu**

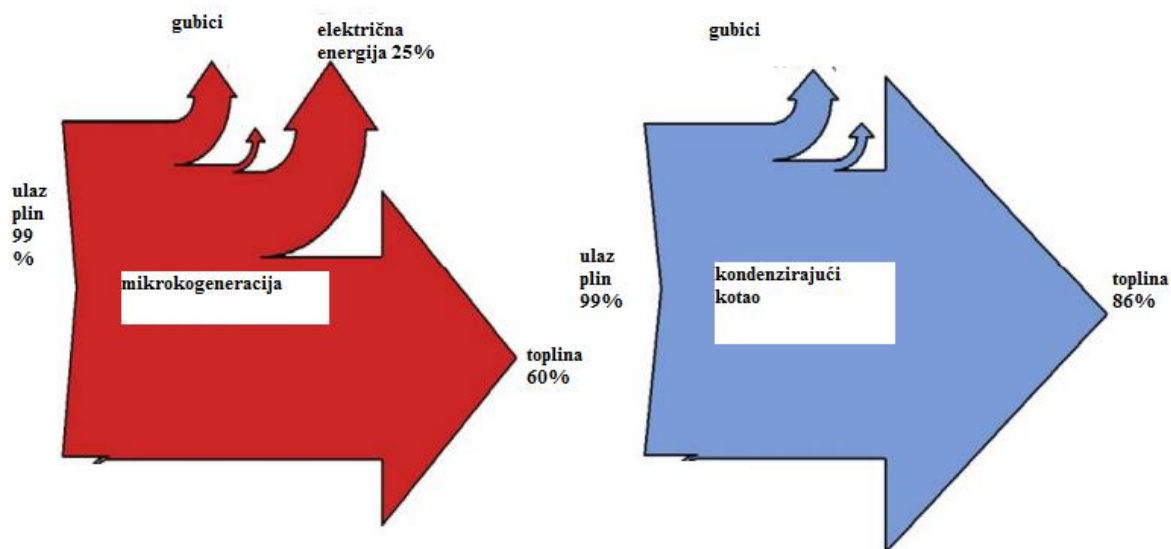
Obično se usporedba kogeneracije provodi s komercijalno najrasprostranjenijim kondenzirajućim kotlovima kakvi se koriste u kućanstvima. Takvi kotlovi pokazuju najveće učinkovitosti na strani toplinske pretvorbe, često proizvođači navode vrijednosti koje prelaze vrijednosti od 100%. Naime, princip rada takvih kotlova prikazuje Slika 5.



**Slika 5: jednostavna shema kondenzirajućeg kotla[7]**

Nakon što se toplina dimnih plinova nastalih gorenjem plina preda sustavu toplovodnog grijanja u primarnom izmjenjivaču, dimni plinovi provode se u sekundarni izmjenjivač u kojem dolazi do kondenzacije daljnjim predavanjem topline. U sekundarnom izmjenjivaču se povrat iz sustava toplovodnog grijanja predgrijava i time znatno smanjuje opterećenje primarnog izmjenjivača. Posljedica je znatno povećanje ukupne učinkovitosti procesa. Računajući s donjim ogrjevnim vrijednostima goriva s obzirom da dolazi do

kondenzacije učinkovitost, jasno, prelazi vrijednosti od 100% [7]. Kogeneracija troši više goriva nego kondenzacijski kotlovi. Ipak, korist od kogeneracije dolazi iz popratne proizvodnje struje. Ako motor s unutrašnjim izgaranjem ne radi u duljem razdoblju i ne proizvodi značajnu količinu električne energije kogeneracija može postati niskoučinkovita te dovesti do većih emisija ugljikova dioksida. Općenito uzima se da je 3000 sati rada kogeneracije u punom režimu uvjet za isplativost. Stoga je bitno da su jedinice pravilno dimenzionirane uz nužnu kontrolu i regulaciju rada sustava koja će biti opisana kasnije. S druge strane, pretjerano dimenzionirani sustavi također stvaraju gubitke i opet pokazuju veće emisije od konvencionalnih kotlova i sustava [10]. Problem koji je svojstven mikrokogeneraciji jest velika osjetljivost na klimu odnosno vremenske prilike. U takvim relativno teško predvidljivim uvjetima ranije navedeni elementi sustava moraju pravilnim korištenjem kompenzirati eventualni manjak ili višak kapaciteta sustava.



**Slika 6: usporedba raspodjele energije u mikrokogeneraciji i sustavu s kondenzirajućim kotlom**

Slika 6 pokazuje usporedbu mikrokogeneracije i konvencionalnog kondenzirajućeg kotla s aspekta raspodjele energije u procesu. Vidi se da su gubici gotovo jednakog iznosa a valja napomenuti kako je u ovom slučaju mikrokogeneracija u pravilnom režimu rada, odnosno pravilno je dimenzioniran sustav. U slučaju promjene radnih uvjeta iznos gubitaka se višestruko povećava.

Uz korištenje odgovarajuće regulacije sustava mikrokogeneracija nudi izuzetno učinkovito rješenje za današnje energetske potrebe kućanstava. Korištenjem autonomnog sustava otvara se i mogućnost za edukaciju korisnika i eventualnu promjenu navika korištenja energije.

Takvom povratnom vezom još se pojačava efekt racionalnog korištenja energije. Još jedan bitan faktor kod ovakvih sustava je i postojanje dobre infrastrukture. Dobra izolacija samog objekta i kvalitetni građevinski elementi uvelike nadopunjuju rad mikrokogeneracije.

### **3. NORMA VDI 4655**

Ova norma nastala je 2008. godine u Njemačkoj iz potrebe za stvaranjem smjernica u korištenju mikrokogeneracijskih sustava odnosno da bi se uredili uvjeti rada samog sustava te sudjelovanje na tržištu električne energije koje je ključno za isplativosti i učinkovitost ove tehnologije. Norma je rađena na temelju prikupljenih i obrađenih podataka na već instaliranim jedinicama te je ponudila referentne profile opterećenja za kućanstva i višestambene objekte. Tri su osnovna produkta kogeneracije razmotrena u normi: toplinska energija za grijanje prostora, toplinska energija za grijanje potrošne tople vode te električna energija. Podaci su prikupljeni u periodu od dvije godine [12]. U ovom radu norma je korištena za izradu referentnih profila za sjeverozapadnu Hrvatsku s meteorološkim podacima za 2016. godinu.

Kako se u normi navodi namijenjena je za dimenzioniranje sustava mikrokogeneracije te procjenu isplativosti investicije.

#### **3.1 Metodologija norme VDI 6455**

Kako je ranije spomenuto norma se bavi kretanjem potrošnje topline i električne energije unutar jednog dana svedene na petnaestominutne ili jednominutne vrijednosti. U obzir su uzeti lokalni gubici unutar sustava ali ne i utjecaj toplinskog spremnika. Izrada profila rađena je na primjeru stambeno-poslovnog objekta zadane površine  $A_o = 750 \text{ m}^2$  te godišnje potrebe za grijanjem  $Q_1 = 70 \text{ kWh/m}^2$ . Za potrebe određivanja topline za grijanje potrošne tople vode ukupna površina podijeljena je na 8 stambenih jedinica.

##### **3.1.1 Godišnji iznosi utrošene energije**

Godišnji iznos topline za potrebe grijanja prostora računa se prema jednadžbi (1):

$$Q_{gg} = Q_1 \cdot A_o = 70 \cdot 750 = 52500 \text{ kWh(1)}$$

Toplinska energija također se troši za zagrijavanje potrošne tople vode. U normi je dan napatk kako računati godišnji iznos ovisno o tome radi li se o višestambenom objektu ili zasebnom kućanstvu. Za višestambeni objekt specifična potrošnja po stambenoj jedinici iznosi  $Q_{v,s} = 1000 \text{ kWh}$

U ovom slučaju toplina za zagrijavanje potrošne tople vode računa se prema jednadžbi (2):

$$Q_{vg} = Q_{v,s} \cdot N_s = 1000 \cdot 8 = 8000 \text{ kWh} \quad (2).$$

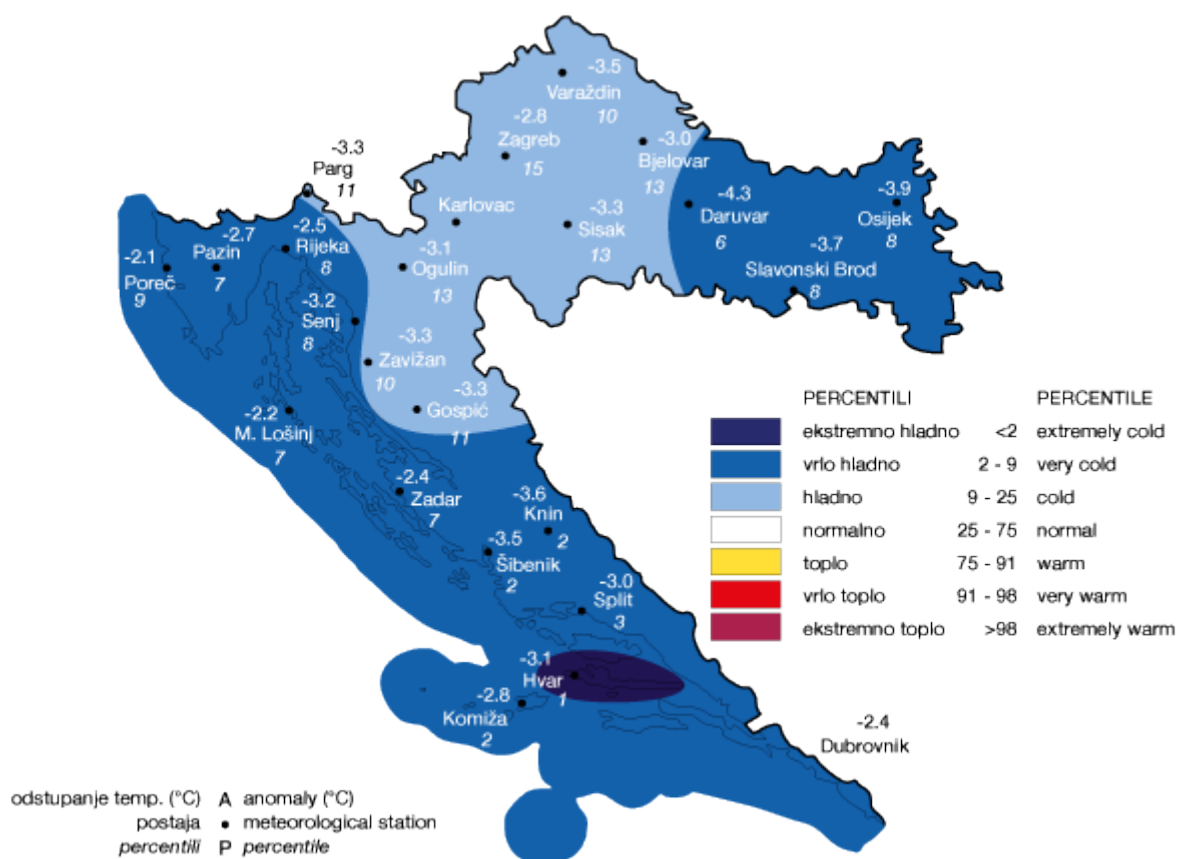
Potrošnja električne energije računa se na sličan način. Specifična potrošnja električne energije po stambenoj jedinici iznosi  $E_{e,s} = 3000 \text{ kWh}$ . Iz jednadžbe (3) slijedi:

$$E_{eg} = E_{e,s} \cdot N_s = 3000 \cdot 8 = 24000 \text{ kWh} \quad (3).$$

Valja napomenuti kako u ovom računu nije u obzir uzeto korištenje toplinskog spremnika. U sustavima u kojima se koristi spremanje topline potrebno je predvidjeti energiju potrebnu za rad toplinskog spremnika.

### 3.1.2 Utjecaj klime

Najvažniji faktor koji utječe na potrošnju toplinske energije svakako je klima. Poznavajući klimu, zadaje se okvir unutar kojeg se očekuju vremenski parametri koje direktno određuju rad sustava grijanja odnosno opterećenje a prema tome i proizvodnju električne energije u slučaju kogeneracije. U normi se koristi model tridesetogodišnjeg mjerenja vremena za izradu klime određenog prostora. Njemačka je podijeljena u 15 klimatskih zona[12]. Bitno je napomenuti kako je upravo meteorologija ključan temelj za planiranje i izgradnju sustava kogeneracije. Današnji trendovi globalno pokazuju sve veći rast prosječne temperature povezane s emisijama stakleničkih plinova i nužno je da se u takvim uvjetima korigiraju dosadašnji projektni meteorološki parametri. S druge strane vrijeme ima izrazito teško predvidljiv karakter stoga je nužno da se što boljom implementacijom meteoroloških modela i praćenja vremena poboljšaju sustavi regulacije i fleksibilnost sustava.



Slika 7: prikaz siječanjskih temperatura za Zagreb

Slika 7 vrlo je dobar primjer kako se samo unutar jednog mjeseca može dogoditi iznimno nepovoljna meteorološka situacija. Čitav siječanj 2017. godine imao je vrlo velika odstupanja u odnosu na spomenuti tridesetogodišnji prosjek. Upravo takve situacije nužno zahtjevaju da sustav kogeneracije sadrži elemente kojima može odgovoriti na pojavu velikih odstupanja meteoroloških parametara. Primjena toplinskih spremnika i vršnih kotlova u tom slučaju omogućava da se se izade iz okvira projektnog opterećenja za koje je sustav dimenzioniran i pokrije dodatni zahtjev ta toplinskom energijom. Danas je posebno u poslovnim objektima toplinska ugodnost nužna a iz navedenog je jasno koliko je teško konvencionalnim sustavima odgovoriti na potrebe u trenucima kad dolazi do velikih odstupanja temeperature. To je još jedan od primjera prednosti kogeneracije koja svojom fleksibilnošću i složenošću sustava ima mogućnost odgovoriti na zahtjeve toplinske ugodnosti.





**Slika 8: klimatske zone u Njemačkoj**

Slika 7 prikaz je podijele Njemačke na klimatske zone. Tijekom referentne godine mjere se vrijednosti srednje dnevne temperature te naoblaka[12]. Usporedba se vrši s vrijednostima unutar klimatske zone. Ovakav model primjenjiv je za područje razmatrano u ovom radu, sjeverozapadnu Hrvatsku (grad Zagreb), budući da se može naći odgovarajuća zona koja je vrlo slična klimi sjeverozapadne Hrvatske.

**Tablica 3: vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura i padalina za Zagreb i Mainz[15]**

mjeseci	Srednja mjesečna temperatura zraka		Padaline [mm]	
	ZAGREB	MAINZ	ZAGREB	MAINZ
1.	0.2°C	1.5°C	7	9
2.	2.9°C	2.3°C	7	7
3.	7.1°C	6.1°C	8	9
4.	11.7°C	9.5°C	9	8
5.	16.1°C	14.3°C	10	9
6.	19.2°C	17.3°C	11	10
7.	21.2°C	19.5°C	8	9
8.	20.4°C	19.1°C	8	7
9.	16.9°C	14.9°C	7	8
10.	11.7°C	9.8°C	7	9
11.	6.3°C	5.0°C	8	9
12.	1.8°C	2.6°C	8	9

Iz tablice 3 vidi se da je klima grada Mainz, koja pripada klimatskoj zoni TRY12, slična klimi grada Zagreba. Uočavaju se odstupanja tijekom ljetnih mjeseci u kojima Zagreb pokazuje više prosječne temperature dok su za Mainz za nekoliko stupnjeva niže. Za točnije rezultate samih profila trebalo bi razviti klimatske modele za Hrvatsku. Specifičnost je miješanje mediteranske i kontinentalne umjerene klime u kojoj i leži potencijal za iskorištavanje širokog spektra vremenskih uvjeta.

### 3.1.3 Tipični dani

Norma definira tipične dane s obzirom na tri osnovna uvjeta: srednju dnevnu temperaturu, dan u tjednu odnosno je li radni ili neradni te naoblaku. Referenti profili potrošnje energije izrađuju se su za 10 tipičnih dana.

Tijekom ljeta kad potrošnja toplinske energije potpuno iščezava ili je vrlo malog iznosa, naoblaka nema nikakav utjecaj na kretanje profila pa se stoga ne pravi razlika na temelju tog uvjeta. Za sezonu tipičnog dana definirane su tri kategorije: prijelazno, zima i ljeto. Kao granice postavljeni su sljedeći intervali srednjih dnevnih temperatura[12]:

$$T_{sd} < 5 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ vrijedi za zimu}$$

$$5 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_{sd} \leq 15 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ vrijedi za prijelaz}$$

$$T_{sd} > 15 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ vrijedi za ljeto}$$

Naoblaka se izražava u osminama tijekom dana odnosno za period od 24 sata. Ako je prekrivenost oblacima veća ili jednaka  $5/8$ , dan je oblačan a za vrijednosti niže od  $5/8$  dan je vedar [12].

Konačno, za neradne dane se uzimaju sve subote i nedjelje tijekom godine te neradni blagdani.

Na temelju navedenih uvjeta, koristeći meteorološke podatke za sjeverozapadnu Hrvatsku iz 2016. godine za svaki je dan izvršena kategorizacija te na kraju zbrojen broj tipičnih dana za pojedini mjesec u godini.

**Tablica 4: broj tipičnih dana u godini za Zagreb**

<b>p-r-v</b>	<b>p-r-o</b>	<b>p-n-v</b>	<b>p-n-o</b>	<b>lj-r</b>	<b>lj-n</b>	<b>z-r-v</b>	<b>z-r-o</b>	<b>z-n-v</b>	<b>z-n-o</b>
22	80	7	27	102	48	15	42	3	20

U tablici 4 iznesen je broj dana za pojedini tip. Korištene su sljedeće kratice navedene u zagradama koje će biti primjenjivane i kasnije u radu: prijelazni radni vedri dan (p-r-v), prijelazni radni oblačni dan (p-r-o), prijelazni neradni vedri dan (p-n-v), prijelazni neradni oblačni dan (p-n-o), ljetni radni dan (lj-r), ljetni neradni dan (lj-n), zimski radni vedri dan (z-r-v), zimski radni oblačni dan (z-r-o), zimski neradni vedri dan (z-n-v) te zimski neradni oblačni dan (z-n-o)

Valja još napomenuti kako je upravo prema broju tipičnih dana po tipu izvršena usporedba s klimatskim zonama u Njemačkoj. Na temelju sličnih brojeva tipičnih dana izabran je grad

Mainz odnosno TRY12 klimatska zona Njemačke te je potom izvršena provjera na temelju meteoroloških podataka kako je pokazano u tablici 3.

### 3.2 Satni profili potrošnje za sjeverozapadnu Hrvatsku

#### 3.2.1 Referentni profili

Priloženo uz normu VDI 4655 zadani su referentni dnevni profili potrošnje toplinske i električne energije za kućanstvo i višestambeni objekt. Norma navodi kako su profili izrađeni s obzirom na mjerenje dnevnih kretanja potrošnje u periodu od dvije godine te su zadani za 15 klimatskih zona Njemačke, svaki prilagođen meteorološkim parametrima pojedine zone i izrađen prema ranije spomenutoj kategorizaciji za svaki tipičan dan.

#### 3.2.2 Računanje satnih vrijednosti

Za višestambene objekte vrijednosti su zadane na razini petnaestominutnih prosjeka za 24 sata u tipičnom danu. Svaki od tri referentna profila množi se dnevnim iznosom energije koji se računaju na sljedeći način:

- $Q_{gd} = Q_{gg} \cdot F_g$  (4)
- $Q_{vd} = Q_{vg} \cdot \left( \frac{1}{365} + N_s \cdot F_v \right)$  (5)
- $E_{ed} = E_{eg} \cdot \left( \frac{1}{365} + N_s \cdot F_e \right)$  (6)

U jednadžbama (4), (5) i (6) faktori  $F_g, F_v, F_e$  preuzeti su iz norme a ovise o klimatskoj zoni i tipu objekta. Prema tome za primjer u ovom radu uzete su vrijednosti iz zone TRY12.

**Tablica 5: Faktori  $F_g, F_v, F_e$**

	p-r-v	p-r-o	p-n-v	p-n-o	lj-r	lj-n	z-r-v	z-r-o	z-n-v	z-n-o
Fh	2,510E-03	2,963E-03	2,091E-03	2,327E-03	2,241E-04	2,485E-04	7,188E-03	5,636E-03	5,999E-03	4,838E-03
Fel	1,952E-05	9,306E-06	-8,050E-06	-8,050E-06	-3,357E-05	-3,562E-05	5,933E-05	2,564E-05	3,891E-05	6,243E-06
Ftv	2,129E-05	1,211E-05	1,211E-05	2,537E-05	-4,705E-05	-3,787E-05	3,761E-05	3,659E-05	2,945E-05	2,333E-05

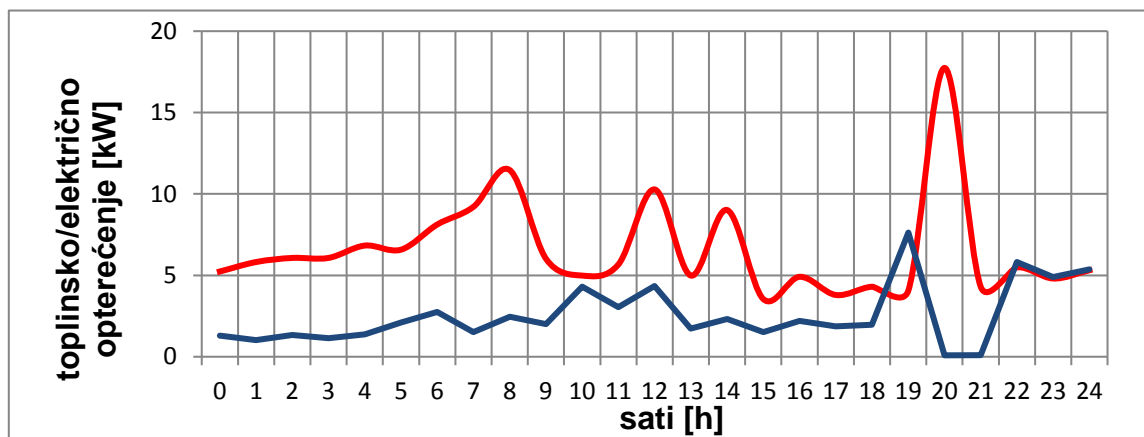
Tablica 5 prikazuje vrijednosti faktora po tipičnim danima koji su korišteni u daljnjim računima.

Za potrebe simulacije pogona kogeneracije, petnaestominutne vrijednosti sumirane su u stane. Time je dobiven profil satnih vrijednosti za tipične dane kroz 24 sata. Toplinska energija uzima se kao zbroj energije za grijanje prostora i energije za grijanje potrošne tople vode.

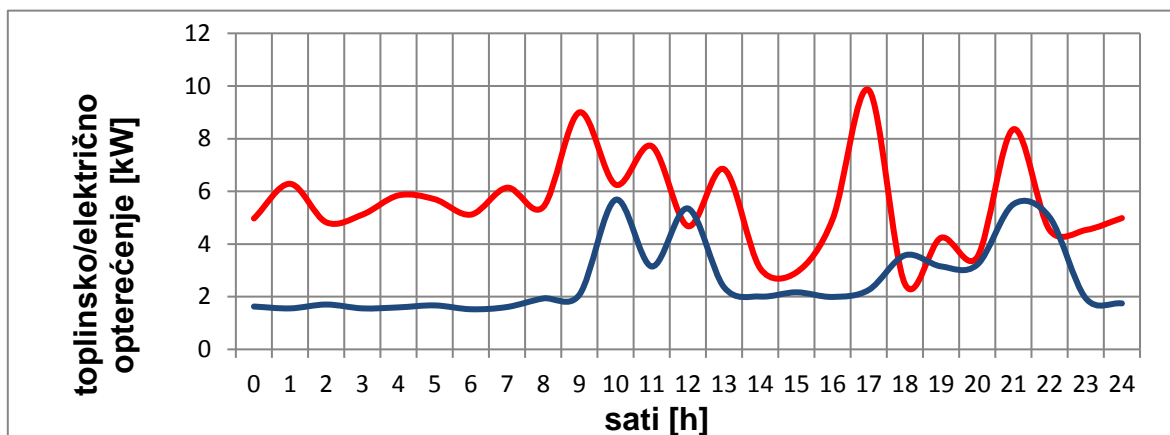
Slijedi prikaz dnevnih satnih profila potrošnje za svih deset tipičnih dana.

### **3.3 Grafički prikaz tipičnih dana**

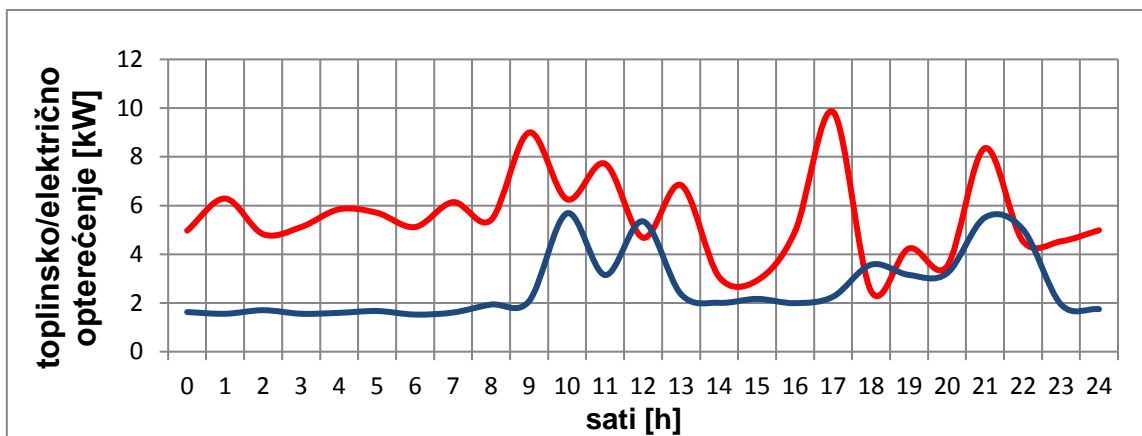
Svaki graf sadrži dvije krivulje, crvena krivulja predstavlja toplinsko opterećenje dok plava označava električno opterećenje.



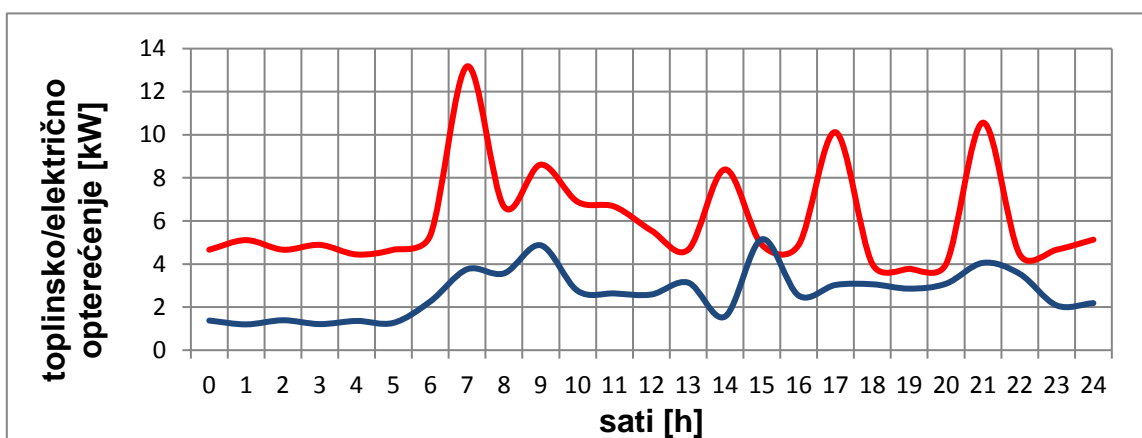
**Slika 9: p-r-v tip satno opterećenje**



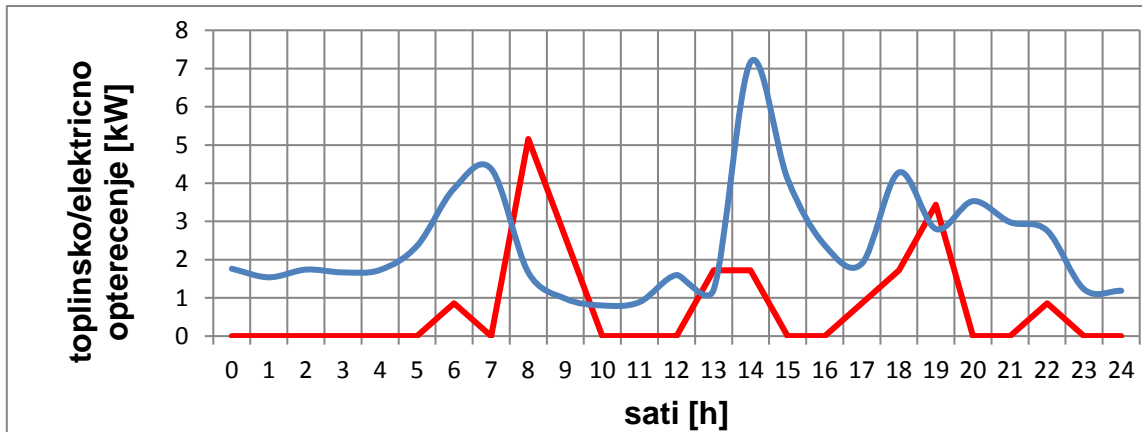
**Slika 10: p-r-o tip satno opterećenje**



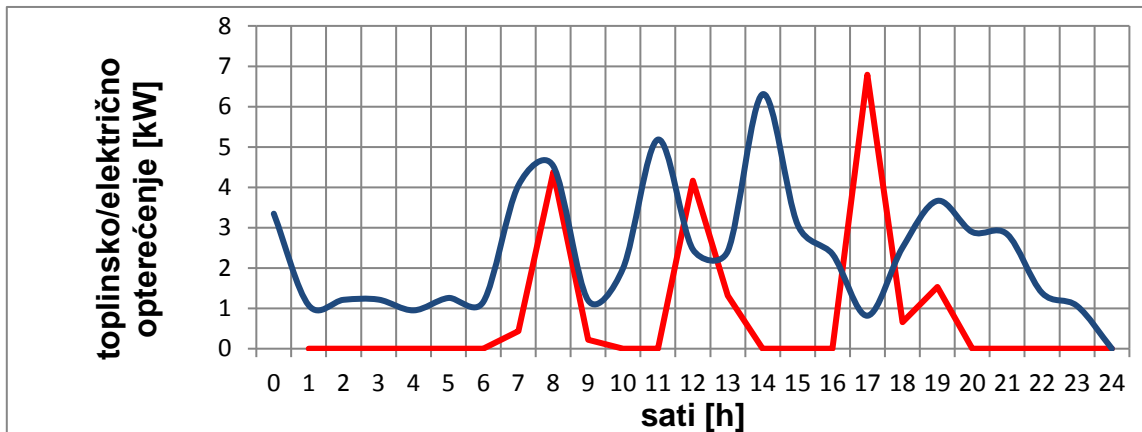
Slika 11: p-n-v tip satno opterećenje



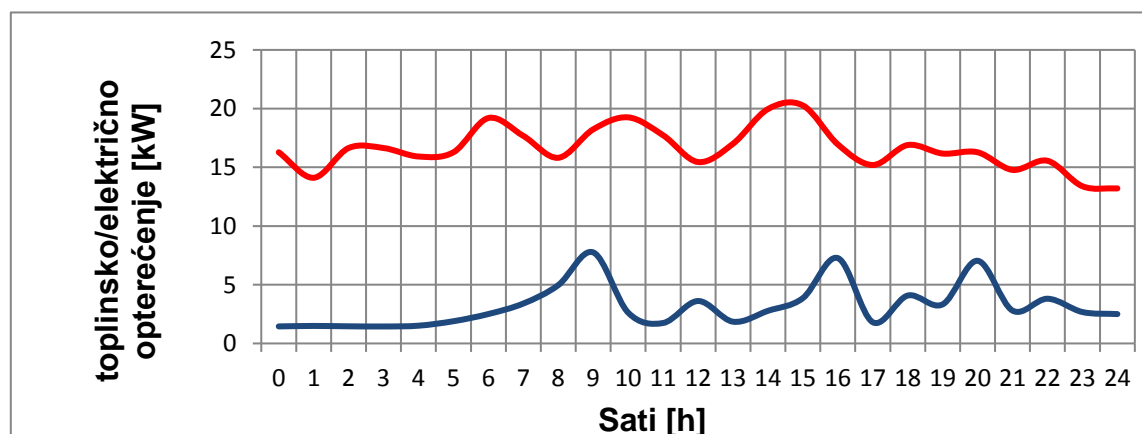
Slika 12: p-n-o tip satno opterećenje



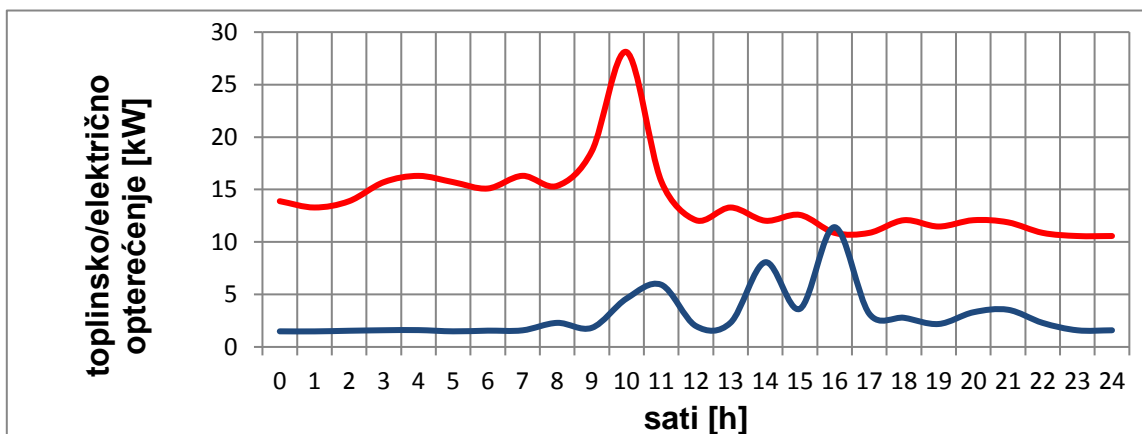
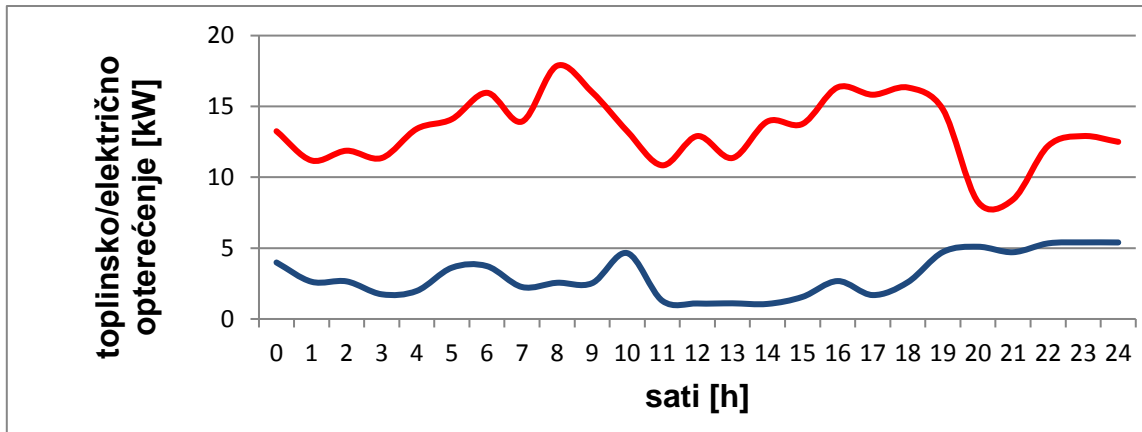
Slika 13: lj-r tip satno opterećenje



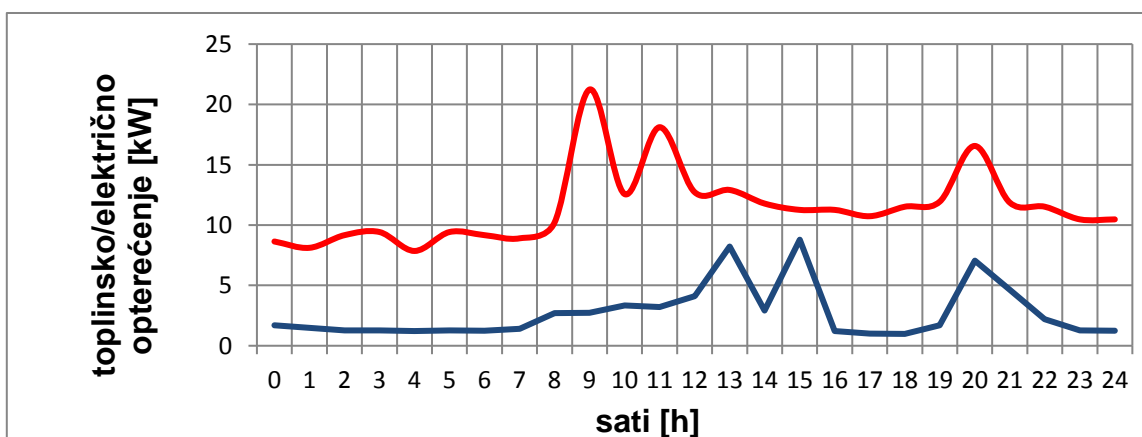
Slika 14: lj-n tip satno opterećenje



Slika 15: z-r-v tip satno opterećenje



Slika 16: z-n-v tip satno opterećenje



Slika 17: z-n-o tip satno opterećenje



### **3.4 Dimenzioniranje sustava**

U odnosu na konvencionalne sustave mikrokogeneracijazahtjeva složeniji pristup dimenzioniranju sustava. Prije svega treba naglasiti kako ne postoji jedinstvena metodologija dimenzioniranja. Norma koja je obrađena u ovom radu također navodi kako je na investitoru ili korisniku, ako se radi o kućanstvu, da odluči na temelju kojih parametara će se dimenzionirati sustav [12]. Razlog tome je već opisana dinamika rada sustava mikrokogeneracije koja uključuje parcijalno opterećenja, maksimalno opterećenje ali i prestanaka rada.

Na temelju izračunatih profila u ovom radu odabrano je kogeneracijsko postrojenje sastavljeno od motora s unutrašnjim izgaranjem na plin, toplinskog spremnika te kotla za pokrivanje vršnih opterećenja na plin. Izlazne snage i kapacitet toplinskog spremnika odabrani su za izračunate dnevne satne vrijednosti.

Vršna toplinska snaga kogeneracije iznosi  $P_{max,t} = 15 kW$ , minimalna toplinska snaga iznosi  $P_{min,t} = 6 kW$ . Rad kogeneracije odvija se između te dvije vrijednosti. Kapacitet toplinskog spremnika računa se kao:

$$Q_s = m_s \cdot c_v \cdot \Delta T \quad (7)$$

U jednadžbi  $7 m_s$  je masa vode u toplinskom spremniku pri punom kapacitetu,  $c_v$  specifični toplinski kapacitet vode a  $\Delta T$  jest temperaturna razlika između okolišne i temperature spremnika. Primjenom parametara za mikrokogeneraciju navedenu ranije kapacitet spremnika iznosi

$$Q_s = 200 \cdot 4.2 \cdot 50 = 42000 kJ = 11.7 kWh$$

Vršni kotao radi u režimu maksimalnog i minimalnog opterećenja u sljedećim vrijednostima  $Q_{max,vk} = 5 kW$  i  $Q_{min,vk} = 1kW$ .

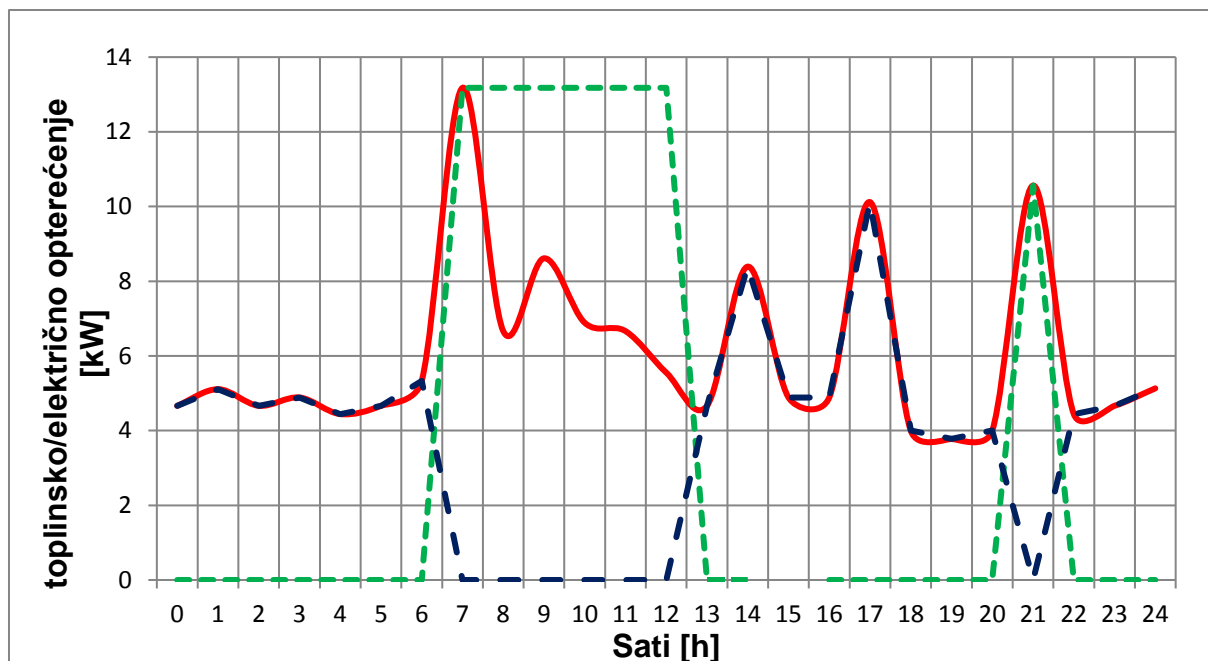
Električna snaga kogeneracije je  $P_{max,e} = 6 kW$  određena prema faktoru za odabrani tip kogeneracije[16].

## **4. SIMULACIJA POGONA MIKROKOGENERACIJE**

U sljedećem poglavlju bit će grafički prikazano na primjeru tri tipična dana kako sustav mikrokogeneracije prati dnevno toplinsko i električno opterećenje. U ovom radu korišten je pristup baziran na zadovoljavanju toplinskog opterećenja optimalnim omjerom mikrokogeneracije i toplinskog spremnika. U takvom režimu rada cilj je ostvariti što veći broj radnih sati mikrokogeneracije budući da on direktno utječe na efikasnost sustava [16]. Kao primjeri uzeti su po jedan dan iz jesenskog (prijelaznog) razdoblja, zimskog te ljetnog.

### **4.1 Prijelazno razdoblje**

Kako je već navedeno prema normi VDI 4655 u ovo razdoblje spadaju dani prosječne dnevne temperature između pet i petnaest stupnjeva celzijusa. Potreba za toplinskom energijom je niska u odnosu na zimski period posebno za vrijeme noći i prijepodneva.



**Slika 18: simulacija rada mikrokogeneracije u jesenskom danu**

Slika 18 prikazuje rad mikrokogeneracije u jesenskom danu. Počevši od jutra vidljivo je da dolazi do naglog povećanja toplinskog opterećenja poslije 6 sati. Tad započinje i rad mikrokogeneracije označen zelenom bojom koja sve do podneva radi ujednačenim režimom, dakle na najvišoj efikasnosti. Čak i nakon pada toplinskog opterećenja nema smanjenja snage mikrokogeneracije jer se dio toplinske energije koristi za punjenje dnevnog toplinskog spremnika označenog plavom bojom. Popodne, nakon što je spremnik napunjen dolazi do prekida rada kogeneracije te isto vrijedi i za noć u tom razdoblju se toplinske potrebe pokrivaju iz spremnika toplinske energije. Treba napomenuti kako se za vrijeme prekida rada kogeneracije električna energija namiruje iz mreže i to najdulje tijekom noći zbog niske cijene.

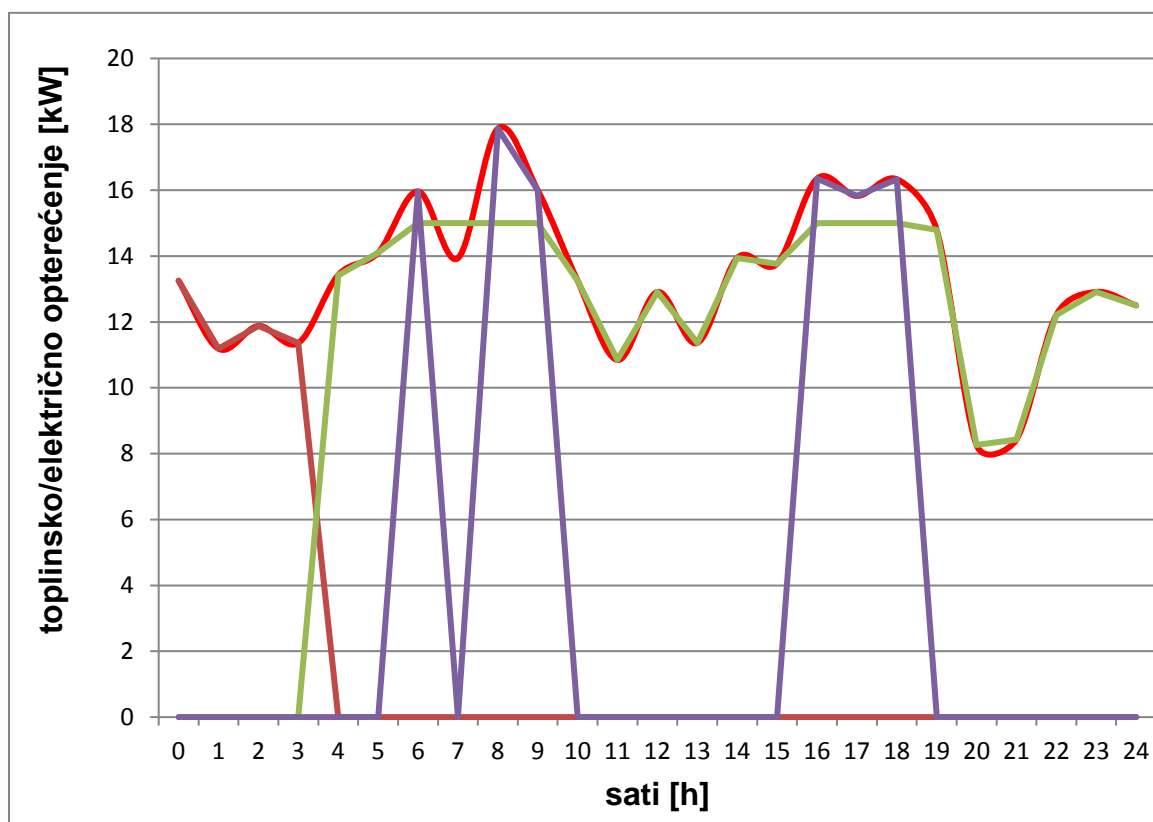
#### **4.2 Ljetno razdoblje**

U ljetnom razdoblju uglavnom nema potrebe za toplinskom energijom i to je ujedno najveći problem mikrokogeneracije u primjeni za kućanstva. Pod prepostavkom da se toplinsku energiju ne može spremati dulje od dana nema rješenja za viškove nastale mikrokogeneracijom. U takvim razdobljima moguća je opcija prestanka rada mikrokogeneracije ili periodični rad u niskom režimu. Naravno poteškoće su vezane uz električnu energiju za kojom ima potrebe čitave godine. Simulacija ovakvog pogona nema

nikakve matematičke osnove odnosno nikako se ne može podrediti gore navedenom temeljnom pristupu koji se bazira na toplinskom opterećenju [16].

### **4.3 Zimsko razdoblje**

Zimi je najveća potreba za toplinskom energijom i upravo se u takvim tipičnim danima najbolje ogleda prednost kogeneracije. Za kućanstvo se mogu odrediti neki ustaljeni profili potrošnje toplinske energije koji pokazuju dva kritična perioda u danu. Jutro, prije posla te večer prije odlaska na spavanje. U tom periodu je i najniža temperatura te je nužna upotreba vršnog kotla.



**Slika 19: simulacija rada mikrokogeneracije u jesenskom danu**

Tijekom noći je najniže opterećenje i tad je moguće koristiti toplinski spremnik označen smeđom bojom. Električna energija se kupuje iz mreže po nižoj tarifi. Zelenom bojom je označena mikrokogeneracija koja se za razliku od jesenskog režima pali mnogo ranije oko 3 sata ujutro. U zimskim danima kogeneracija radi čitav dan u režimu koji prati opterećenje. Skokovi opterećenja kompenziraju se paljenjem vršnog kotla koji u tom slučaju radi skupa s mikrokogeneracijom.

## 5. ZAKLJUČAK

U današnjim trendovima ali i zahtjevima energetike kogeneracija se nameće kao iznimno učinkovita tehnologija koja pokazuje višestruke prednosti kao što su: smanjenje emisija stakleničkih plinova, povećanje učinkovitosti te ekonomska isplativost.

Jedan od glavnih uvjeta za pravilno korištenje kogeneracije je dobra regulacija sustava te dobra infrastruktura.

Pokazano je kako kogeneracija na primjeru višestambenog objekta najveće prednosti donosi tijekom većepotrebe za toplinskom energijom.

## POPIS LITERATURE

- [1] **U.S. Environmental Protection Agency**. *Catalog of CHP Technologies*. 2015.
- [2] **Rajewski, A. i Alavillamo, H.** *Internal Combustion Engine Technology*. s.l. : Power-Gen Europe, 2015.
- [3] **U.S. Environmental Protection Agency**. *Section 2. Technology*. 2015.
- [4] [Mrežno] [Citirano: ] <http://ietd.iipnetwork.org/content/combined-heat-and-power-chp-generation>.
- [5] Current status of fuel cell based combined heat and power systems for. [Mrežno] <http://www.brunogpollet.com/wp-content/uploads/2016/04/Current-status-of-fuel-cell-based-combined-heat-and-power-systems-for-residential-sector.pdf>.
- [6] **International Energy Agency (IEA)**. *Evaluating the benefits of greater global investment*. 2008.
- [7] **Delta-ee**. *The benefits of micro-CHP*. 2015.
- [8] **Cogeneration Observatory and Dissemination Europe** .*European Cogeneration Roadmap* .2015.
- [9] **Hrvatske šume**. [http://nadmetanja.hrsume.hr/javnipoziv/20120829\\_sjecka/PrijedlogUgovoraProdaJaDrvneSjecke.pdf](http://nadmetanja.hrsume.hr/javnipoziv/20120829_sjecka/PrijedlogUgovoraProdaJaDrvneSjecke.pdf).
- [10] **HROTE**. *Mjesečni izvještaj siječanj 2017* .
- [11] —. [Mrežno] [http://files.hrote.hr/files/PDF/FITs\\_za\\_web\\_KOG2017\\_HRV.pdf](http://files.hrote.hr/files/PDF/FITs_za_web_KOG2017_HRV.pdf).
- [12] **VDI-Fachbereich Energiewandlung und -anwendung**. *VDI 4655 Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen*. 2008.
- [13] Condensing Boilers and Building Regulations. [Mrežno] [Citirano: 22. 2 2017.] <http://www.affordablewarmthscheme.co.uk/types-of-central-heating-boiler/>.
- [14] **Sustainable Energy Authority of Ireland**. *SEAI Commercial micro-CHP Field Trial Report*. 2011.
- [15] [Mrežno] [https://www.yr.no/place/Croatia/Grad\\_Zagreb/Zagreb/](https://www.yr.no/place/Croatia/Grad_Zagreb/Zagreb/).
- [16] **M. Houwing, R.R. Negenborn, and B. De Schutter**. *Demand response with micro-CHP*.