

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ivan Bačeković

Zagreb, veljača 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Student:

Ivan Bačeković

Zagreb, veljača 2015.



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 5 -02- 2015 Prilog
Klasa: 602-04/15-6/3
Ur.broj: 15-1709-15-71

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ivan Bačeković** Mat. br.: 0035186783

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Energetski sustavi sa visokim stupnjem penetracije centralnog grijanja i hlađenja u Hrvatskoj – primjer energetske planiranja Karlovačke županije**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Energy systems with a high penetration of district heating and cooling in Croatia – an example of energy planning for the Karlovac county**

Opis zadatka:

Visokoučinkovita kogeneracija i centralno grijanje i hlađenje imaju znatan potencijal za uštedu primarne energije koji je u velikoj mjeri neiskorišten u EU. Centralni toplinski sustavi imaju veliku važnost u kontekstu planiranja budućih energetske sustava obzirom da omogućavaju fleksibilnije vođenje te veću implementaciju obnovljivih izvora energije. Europska Komisija je prepoznala navedene prednosti, što se najbolje očituje u Direktivi o energetske učinkovitosti gdje je jasno propisano da svaka država članica mora provesti sveobuhvatnu procjenu potencijala za visokoučinkovitu kogeneraciju i centralno grijanje i hlađenje. Ciljevi ovog završnog zadatka su:

1. opisati trenutno stanje te buduće trendove razvoja sustava centralnog grijanja i hlađenja u Republici Hrvatskoj i Europskoj Uniji;
2. dati pregled zakonskih regulativa na nacionalnoj te direktiva na europskoj razini vezanih za primjenu centralnog grijanja i hlađenja te obnovljivih izvora energije;
3. dati pregled trenutnog stanja te planova razvoja energetske sustava Karlovačke županije sa posebnim naglaskom na centralne sustave grijanja;
4. kreirati bazni model energetske sustava Karlovačke županije za referentnu godinu te tri scenarija razvoja energetske sustava do 2050. godine, scenarij razvoja prema planu županije i trenutnim trendovima, scenarij unaprijeđenija sustava centralnog grijanja i scenarij visoke penetracije obnovljivih izvora energije i centralnih sustava grijanja i hlađenja. Za analizu slučaja treba koristiti model *EnergyPLAN*.

Sva literatura, modeli te ulazni podaci za analizu slučaja će biti dostupni od strane mentora i neposrednog voditelja.

25. studenog 2014.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Rok predaje rada:

1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

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

Zahvaljujem **prof.dr.sc. Nevenu Duiću** i asistentu **Tomislavu Novoselu, mag.ing.mech.** na stručnoj i nesebičnoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

Ivan Bačeković

Sadržaj

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
1.1 Centralizirani toplinski sustavi.....	1
1.2 Pregled stanja centraliziranih toplinskih sustava u Hrvatskoj	2
1.3 Pregled stanja centraliziranih toplinskih sustava u Europskoj Uniji.....	4
1.4 Budući trendovi razvoja	8
1.4.1 U Hrvatskoj	8
1.4.2 U Europskoj Uniji	9
2. PREGLED ZAKONSKIH REGULATIVA	12
2.1 Zakon o tržištu toplinske energije	12
2.2 Zakon o energetskej učinkovitosti	14
2.3 Direktiva 2012/27/EU Europske Komisije o energetskej učinkovitosti.....	15
3. ENERGETSKI SUSTAV KARLOVAČKE ŽUPANIJE.....	16
3.1 Opis Karlovačke županije	16
3.2 Analiza potrošnje energije	17
3.3 Elektroenergetski sustav	20
3.4 Toplinarstvo	21
3.5 Kratak pregled planova razvoja	22
4. METODOLOGIJA	24
4.1 EnergyPLAN.....	24
4.2 Finalna potrošnja energije.....	25
4.2.1 Promet	25
4.2.2 Kućanstva.....	26
4.2.3 Usluge	27
4.2.4 Industrija	28
4.2.5 Poljoprivreda.....	29
4.2.6 Graditeljstvo.....	29
5. SCENARIJI	31
5.1 Scenarij za referentnu godinu	31
5.2 Distribucijske krivulje.....	32
5.3 Temeljni scenarij.....	34
5.4 Scenarij unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava.....	36
5.5 Scenarij visoke penetracije obnovljivih izvora energije i centraliziranih toplinskih sustava.....	37
6. REZULTATI I DISKUSIJA.....	39
6.1 Validacija scenarija za referentnu godinu.....	39
6.2 Rezultati temeljnog scenarija	40

6.3	Rezultati scenarija unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava	41
6.4	Rezultati scenarija visoke penetracije obnovljivih izvora energije i centraliziranih toplinskih sustava.....	43
6.5	Usporedba scenarija	45
6.6	Analiza osjetljivosti.....	47
7.	Zaključak	49
LITERATURA.....		50

POPIS SLIKA

Slika 1. Toplinska energija iz centraliziranih toplinskih sustava po sektorima [3].....	2
Slika 2. Energenti korišteni u centraliziranim toplinskim sustavima [3]	3
Slika 3. Broj potrošača topline iz toplinskih mreža u Republici Hrvatskoj [3]	3
Slika 4. Udio CHP sustava u pojedinim europskim zemalja [1].....	5
Slika 5. Udio centraliziranih toplinskih sustava u pojedinim europskim zemljama [6]	6
Slika 6. Goriva korištena u centraliziranim toplinskim sustavima u EU27 [PJ/godini] [1].....	7
Slika 7. Goriva korištena u centraliziranim toplinskim sustavima u EU27 [%] [1].....	7
Slika 8. Porast korištenja sustava centralnog hlađenja [1].....	8
Slika 9. Smanjenje potrošnje primarne energije i emisija CO ₂ uz penetraciju centraliziranih toplinskih sustava i dodatnih mjera [8]	10
Slika 10. Kretanje korištenja centraliziranih toplinskih sustava do 2050. godine [8].....	11
Slika 11. Smještaj Karlovačke županije i smještaj gradova unutar županije	16
Slika 12. Dijagram toka EnergyPLAN modela [36]	25
Slika 13. Distribucijska krivulja elektroenergetskog opterećenja.....	32
Slika 14. Distribucijska krivulja satnog sunčevog zračenja.....	32
Slika 15. Distribucijska krivulja opterećenja vjetroelektrana	33
Slika 16. Predviđanja potrošnje energije po sektorima i potrošnje električne energije	34
Slika 17. Kretanje potrošnje fosilnih goriva u temeljnom scenariju	40
Slika 18. Kretanje potrošnje fosilnih goriva u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava	41
Slika 19. Kretanje potrošnje fosilnih goriva u scenariju visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava	43
Slika 20. Usporedba uvoza električne energije	45
Slika 21. Usporedba izvoza električne energije	45
Slika 22. Usporedba emisija CO ₂ s uvozom	46
Slika 23. Usporedba udjela električne energije proizvedene iz OIE.....	47
Slika 24. Promjena izvoza u ovisnost o različitim tehnologijama	48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Broj stanovnika po gradovima [18].....	17
Tablica 2. Potrošnja energenata u sektoru prometa [TJ] [20,21,22,23,24]	18
Tablica 3. Prosječan broj vozila po stanovniku u gradovima Karlovačke županije, Hrvatskoj i EU27 za 2009. godinu [18], [26].....	19
Tablica 4. Potrošnja energenata u sektoru zgradarstva [TJ] [20,21,22,23,24].....	19
Tablica 5. Tehnički podaci o hidroelektranama [29,30,31]	21
Tablica 6. Potrošnja pojedinih energenata po sektorima u referentnoj godini [GWh]	31
Tablica 7. Instalirani kapaciteti u referentnoj godini [kW].....	31
Tablica 8. Podaci o potrošnji energije korišteni u EnergyPLAN-u [GWh]	35
Tablica 9. Tipovi postrojenja i njihove snage korištene u temeljnom scenariju [kW].....	35
Tablica 10. Podaci o pojedinačnoj potrošnji korišteni u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava u EnergyPLAN-u [GWh].....	36
Tablica 11. Tipovi postrojenja i njihove snage korišteni u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava [kW].....	37
Tablica 12. Podaci o pojedinačnoj potrošnji korišteni u scenariju visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava u EnergyPLAN-u [GWh]	37
Tablica 13. Tipovi postrojenja i njihove snage korišteni u scenariju visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava	38
Tablica 14. Usporedba rezultata.....	39
Tablica 15. Rezultati temeljnog scenarija [GWh].....	40
Tablica 16. Rezultati scenarija unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava [GWh]	42
Tablica 17. Rezultati scenarija visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava....	44

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Naziv
$BDP_{\text{žup}}$	[EUR]	bruto društveni proizvod po glavi stanovnika u županiji
$BDP_{\text{drž}}$	[EUR]	bruto društveni proizvod po glavi stanovnika u državi
E_{prom}	[J]	finalna potrošnja energije u sektoru prometa
$E_{\text{prom},i}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa
$E_{\text{prom},i,KA}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Karlovcu
$E_{\text{prom},i,OG}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Ogulinu
$E_{\text{prom},i,DR}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Dugoj Resi
$E_{\text{prom},i,SL}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Slunju
$E_{\text{prom},i,OZ}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Ozlju
$E_{\text{kuć}}$	[J]	finalna potrošnja energije u sektoru kućanstva
$E_{\text{kuć},i}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva
$E_{\text{kuć},i,KA}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Karlovcu
$E_{\text{kuć},i,OG}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Ogulinu
$E_{\text{kuć},i,DR}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Dugoj Resi
$E_{\text{kuć},i,SL}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Slunju
$E_{\text{kuć},i,OZ}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Ozlju
E_{usl}	[J]	finalna potrošnja energije u sektoru usluga
$E_{\text{usl},i}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga
$E_{\text{usl},i,KA}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Karlovcu
$E_{\text{usl},i,OG}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Ogulinu
$E_{\text{usl},i,DR}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Dugoj Resi
$E_{\text{usl},i,SL}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Slunju
$E_{\text{usl},i,OZ}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Ozlju
E_{ind}	[J]	finalna potrošnja energije u sektoru industrije
$E_{\text{ind},i}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru industrije
$E_{\text{ind},i,DRŽ}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru industrije u državi
E_{polj}	[J]	finalna potrošnja energije u sektoru poljoprivrede

$E_{polj,i}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru poljoprivrede
$E_{polj,i_{DRŽ}}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru poljoprivrede u državi
E_{grad}	[J]	finalna potrošnja energije u sektoru graditeljstva
$E_{grad,i}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru graditeljstva
$E_{grad,i_{DRŽ}}$	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru graditeljstva u državi
i	[-]	oznaka energenta (ugljen, prirodni plin, tekuća goriva, električna energija,...)
$P_{žup}$	[m ²]	obrađivana poljoprivredna površina u županiji
$P_{drž}$	[m ²]	obrađivana poljoprivredna površina u državi
$S_{žup}$	[-]	broj novoizgrađenih stanova u županiji
$S_{drž}$	[-]	broj novoizgrađenih stanova u državi
$V_{žup}$	[-]	broj registriranih vozila u županiji
V_{grad}	[-]	broj registriranih vozila u promatranih 5 gradova zajedno
$Z_{žup}$	[-]	broj stanovnika županije
Z_{grad}	[-]	broj stanovnika u promatranih 5 gradova zajedno

SAŽETAK

U ovom radu prikazan je postupak energetskeg planiranja na primjeru Karlovačke županije. Poseban naglasak stavljen je na centralizirane toplinske sustave i njihov utjecaj na cijeli energetski sustav u vidu omogućavanja fleksibilnijeg vođenja sustava te veće implementacije obnovljivih izvora energije. U prvom dijelu rada dane su teoretske osnove kojima se nastojalo opisati centralizirane toplinske sustave, način njihova funkcioniranja te prednosti koje donose. Opisano je i trenutno stanje tih sustava u Hrvatskoj i Europskoj Uniji, kao i budući trendovi razvoja. Nadalje, dan je pregled najvažnijih zakonskih regulativa i direktiva na nacionalnoj i europskoj razini koje se odnose na centralizirane toplinske sustave te njihovu implementaciju. U drugom dijelu rada opisan je konkretan postupak energetskeg planiranja Karlovačke županije. Za uspješno izvođenje tog postupka bilo je potrebno opisati trenutno stanje energetskeg sustava županije te se upoznati s postojećim planovima razvoja. Prikazana su tri scenarija razvoja energetskeg sustava. Prvi scenarij je razvijen prema principu „business as usual“ i on podrazumijeva nastavak postojećih trendova, dok preostala dva scenarija uključuju unaprjeđenje centraliziranih toplinskih sustava te visoku penetraciju obnovljivih izvora energije i centraliziranih toplinskih sustava. Izvršena je analiza potrošnje energije, kretanje uvoza i izvoza energije te emisija CO₂ u različitim scenarijima.

Ključne riječi: energetske planiranje, centralizirani toplinski sustavi, EnergyPLAN, OIE, emisije CO₂

SUMMARY

In this paper an example of energy planning for the Karlovac County has been demonstrated. District heating systems and their impact on the whole energy system in terms of more flexible control of the system and higher implementation of renewable energy sources have been emphasised. In the first part of the paper the theoretical background has been given with the purpose of describing district heating and cooling systems, principles of their operation and the benefits they bring. Current state of these systems in Croatia and European Union has been described, as well as the future development trends. Furthermore, an overview of the most important legislations and directives on the national and European level related to the district heating and cooling systems and their implementation has been given.

In the second part of the paper the energy planning method for the Karlovac County has been described. For the successful application of this method, it was necessary to describe the current state of the energy system of the county, as well as get acquainted with the existing development plans. Three scenarios of the energy system development have been described. First scenario was developed by the „business as usual“ principle and it purports continuation of the existing trends, while the two other scenarios include district heating systems development and a high penetration of renewable energy sources and district heating systems. Energy consumption, energy import and export and CO₂ emissions have been analysed in different scenarios.

Keywords: energy planning, district heating systems, EnergyPLAN, RES, CO₂ emissions

1. UVOD

1.1 Centralizirani toplinski sustavi

Centralizirani energetske sustavi obuhvaćaju jedan ili više centralnih izvora u kojima se proizvodi para, vrela ili rashlađena voda i potom isporučuje do korisnika koji mogu biti kućanstva, zgrade komercijalnih i uslužnih djelatnosti i industrijske zgrade. Voda ili para se koristi za grijanje, proizvodnju potrošne tople vode (PTV) ili za hlađenje i klimatizaciju. Ovi sustavi mogu koristiti konvencionalna goriva, otpadnu toplinu iz industrijskih procesa ali i obnovljive izvore energije (OIE) poput biomase, geotermalne energije, solarne sustave ili dizalice topline. Vrlo često se koristi i otpadna toplina iz postrojenja za proizvodnju električne energije. Takvi sustavi, koji kombinirano proizvode toplinu i električnu energiju nazivaju se kogeneracijski sustavi (eng. *combined heat and power* ili CHP). U njima se para odvaja iz turbine na temperaturi koja je viša od temperature pare na izlazu iz turbine kada se proizvodi samo električna energija. Tako se smanjuje proizvodnja električne energije, ali se osigurava značajna količina iskoristive toplinske energije, što doprinosi povećanju ukupnog stupnja iskoristivosti [1].

Otpadna toplina uglavnom dolazi iz postrojenja koja koriste fosilna goriva uz koje je obično povezana visoka razina štetnih emisija. Korištenjem kombiniranih postrojenja smanjuje se štetan utjecaj na okoliš s obzirom na to da se zbog većeg stupnja iskoristivosti za istu proizvedenu energiju potroši manje goriva. Osim toga, fleksibilnost ovih sustava omogućuje povećanu penetraciju OIE osiguravajući im infrastrukturnu potporu i suočavajući se s problemima intermitencije i potrebe za pokrivanjem vršnog toplinskog opterećenja. Također, korištenje OIE dodatno smanjuje štetne emisije i osigurava napredak prema globalnom smanjenju štetnog utjecaja na okoliš [1].

Implementacija ovih sustava omogućuje i uštede za krajnjeg korisnika zbog toga što je cijena otpadne topline vrlo niska, a osigurava i povećanu ugodnost i komfor zbog dobre i jednostavne mogućnosti lokalne regulacije učinka. Također, u slučaju kvara omogućeno je trenutno djelovanje osoblja koje radi na održavanju sustava pa se tako za korisnika povećava i pouzdanost [2].

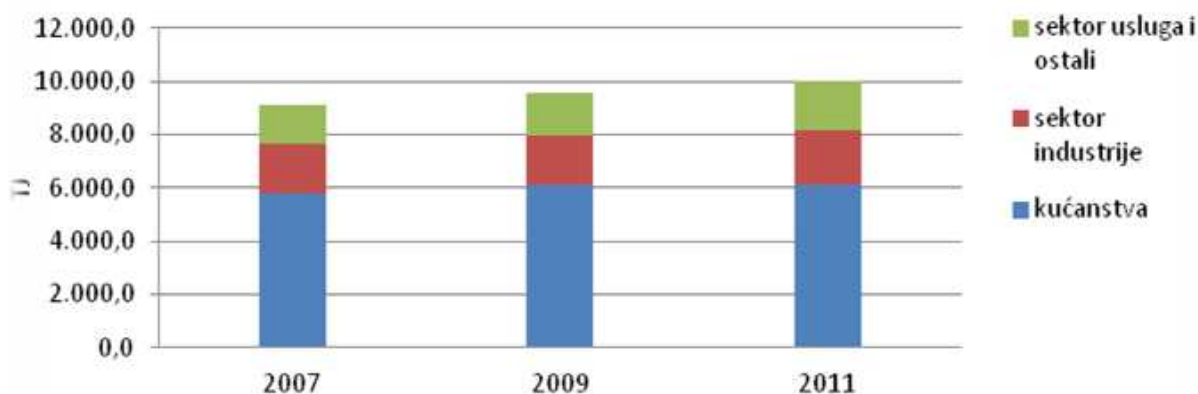
Konačno, korištenje centraliziranih toplinskih sustava povećava fleksibilnost glede arhitektonske izvedbe građevine. Naime, korištenjem ovih sustava zgrade ne moraju imati ventilacijske sustave (mogući izvori buke) i sustave zaštite od požara, kao ni dimnjake [2].

1.2 Pregled stanja centraliziranih toplinskih sustava u Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj više od 155 000 potrošača koristi usluge centraliziranih toplinskih sustava za grijanje i pripremu potrošne tople vode. Najveći dio potrošača su kućanstva, čiji je udio u ukupnom broju čak 95% [3].

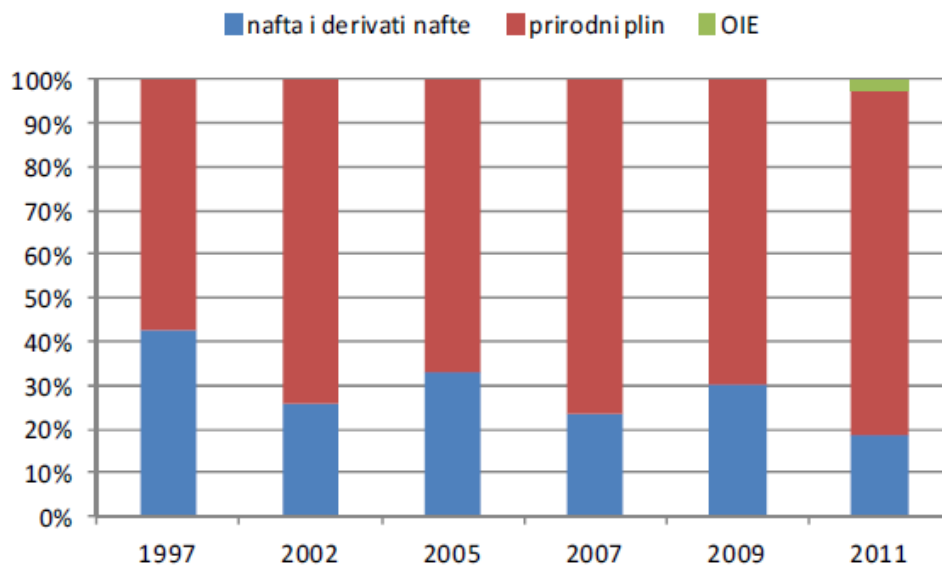
Centralizirani toplinski sustavi u Hrvatskoj postoje uglavnom u većim gradovima koji se u pravilu nalaze u kontinentalnom dijelu zemlje. U ukupno 18 gradova u kojima postoje takvi sustavi, 2011. godine registrirano je 12 tvrtki koje se bave proizvodnjom, distribucijom i opskrbom toplinske energije [3]. Toplinska energija proizvodi se u kogeneracijskim termoelektranama, posebice u većim gradovima ili u malim toplanama i podružnim kotlovnica, što je karakteristično za manje gradove i pojedine gradske četvrti.

Udio centraliziranih toplinskih sustava kao izvora energije koji se koristi za proizvodnju topline u Hrvatskoj u sektorima kućanstva, usluga, industrije i opće potrošnje je 9,5% [3].



Slika 1. Toplinska energija iz centraliziranih toplinskih sustava po sektorima [3]

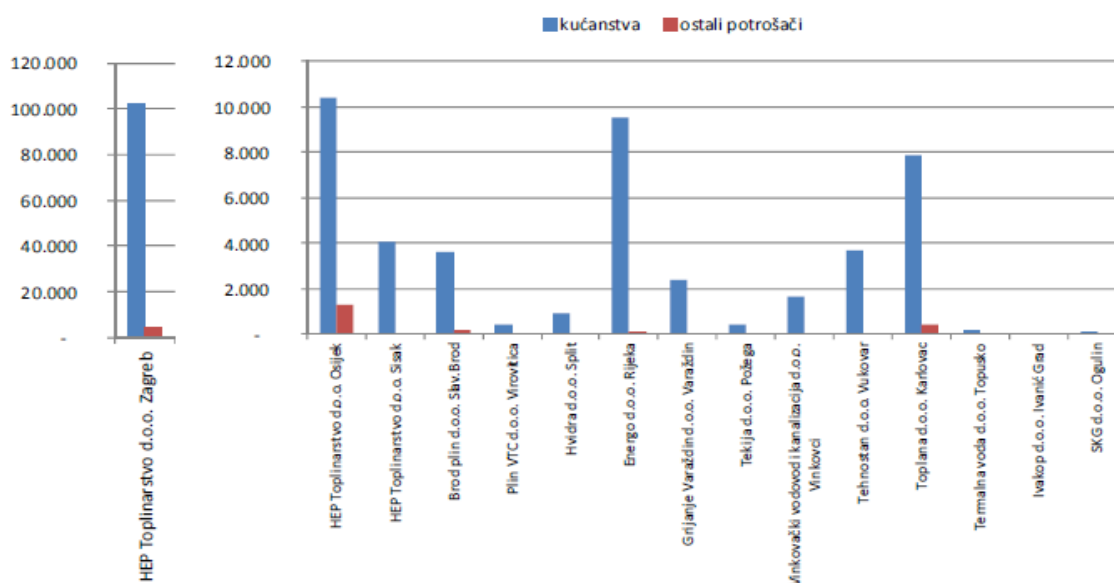
Slika 1 prikazuje kako se u 2011. godini u sektor kućanstva isporučilo oko 6 000 TJ toplinske energije, što iznosi nešto više od 60% ukupne isporuke [3]. Količina toplinske energije isporučene u sektore industrije, usluga i ostale sektore porasla je u razdoblju od 2007. do 2011. godine s oko 3 000 TJ na gotovo 4 000 TJ, dok je za sektor kućanstva za isti period iznos ostao približno isti. Također, zabilježen je i trend porasta ukupne isporuke energije iz ovih sustava, s nešto više od 9 000 TJ u 2007., na gotovo 10 000 TJ u 2011. godini, što predstavlja povećanje od gotovo 10% [3].



Slika 2. Energenti korišteni u centraliziranim toplinskim sustavima [3]

Glavni energent za proizvodnju toplinske energije u centraliziranim toplinskim sustavima je prirodni plin, a udio njegova korištenja u odnosu na ostale energente narastao je s 57% u 1997. godini na oko 80% u 2011. godini, kao što prikazuje slika 2. Ostali korišteni energenti su derivati nafte (loživo ulje i lako loživo ulje), a vrijedi spomenuti i kako se od 2011. godine OIE (prvenstveno biomasa) pojavljuju kao energenti u proizvodnji toplinske energije iz ovih sustava [3].

Udio CHP sustava u proizvodnji električne energije u Hrvatskoj u 2011. godini iznosio je 28,9%. Kao gorivo se najviše koristio prirodni plin, potom loživo ulje i lako loživo ulje [3].



Slika 3. Broj potrošača topline iz toplinskih mreža u Republici Hrvatskoj [3]

Na slici 3 prikazana je raspodjela potrošača po postojećim toplinskim mrežama u Hrvatskoj. Ponovno se može primijetiti kako sektor kućanstava dominira u potrošnji toplinske energije u svim dijelovima zemlje. Primjetno je i kako je uvjerljivo najveći broj potrošača s područja grada Zagreba, gdje je gotovo 10 puta više potrošača nego u Osijeku, koji je sljedeći po broju potrošača [3].

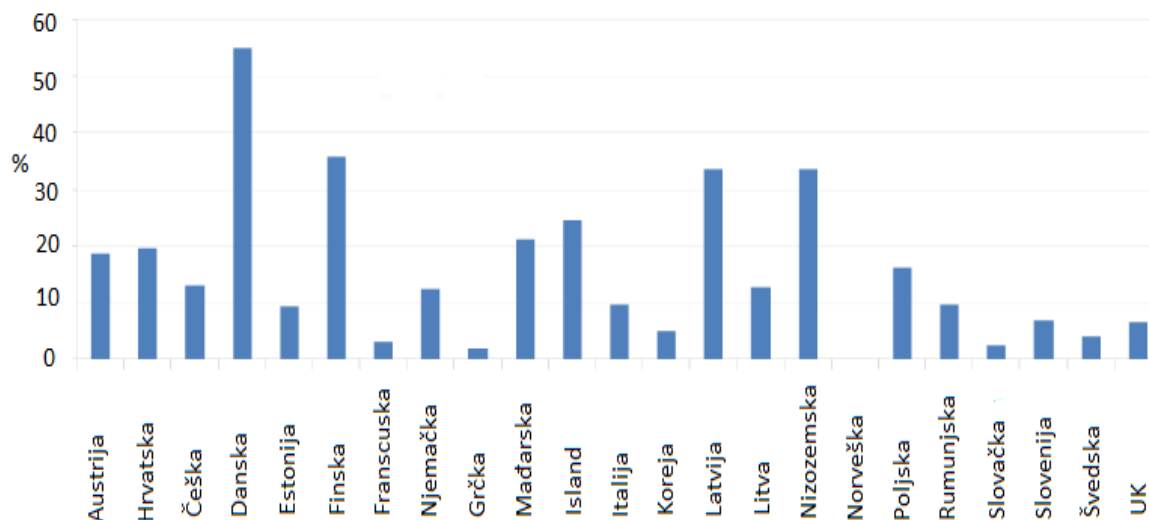
Tvrtke koje se bave proizvodnjom, distribucijom i opskrbom toplinske energije najčešće se bave i drugim komunalnim uslugama, kao što je primjerice distribucija plina. Najveća je tvrtka HEP Toplinarstvo d.o.o. koja opskrbljuje više od 80% potrošača priključenih na centralizirane toplinske sustave [3]. Osim toga, HEP je vlasnik jedinih CHP postrojenja u Republici Hrvatskoj u gradovima Zagrebu, Osijeku i Sisku. Ta postrojenja osim topline, proizvode i paru za procesne i druge potrebe.

U Republici Hrvatskoj za sada ne postoje sustavi centralnog hlađenja, osim rijetkih slučajeva korištenja pare iz centraliziranih toplinskih sustava za apsorpcijske rashladne sustave [3].

1.3 Pregled stanja centraliziranih toplinskih sustava u Europskoj Uniji

Niskotemperaturno grijanje jedan je od glavnih energetske zahtjeva za budućnost u Europi [1]. Grijanje prostora i priprema potrošne tople vode za zgrade trenutačno je jedan od vodećih sektora u ukupnoj potrošnji energije – oko 40% ukupne finalne potrošnje energije u EU otpada na ovaj sektor [4]. Također, to je i područje koje je pokazalo najveće probleme u vidu dekarbonizacije sustava (smanjenje emisija CO₂). Toplinska energija diljem cijele Europe uglavnom se proizvodi tako što se fosilna goriva dostavljaju direktno do pojedinačnih zgrada, gdje se potom u kotlovnica pale i griju vodu, stvarajući pritom sigurnosne i okolišne probleme na lokalnoj razini.

Ukupni trošak uvoza energije u EU u 2011. godini bio je 400 milijardi eura [1]. U 2008. godini gubici topline prilikom distribucije u energetske sustavima zemalja EU27 bili su procijenjeni na 480 milijardi eura [1]. Oko 48% ovih gubitaka su nusprodukt iz postrojenja za proizvodnju električne energije, gdje se toplina gubi u rashladnih tornjevima nakon čega se ne može koristiti za ekonomično grijanje zgrada, upravo zbog toga što je obično na preniskoj temperaturi. Ta količina topline znatno je veća od količine niskotemperaturne topline potrebne za grijanje zgrada u Europi danas. Zbog toga je nastala potreba da se razvijaju sustavi koji su sposobni iskoristiti tu energiju, odnosno ostvariti temperaturu pogodnu za korištenje za grijanje i hlađenje gradova pomoću centraliziranih toplinskih sustava [1].



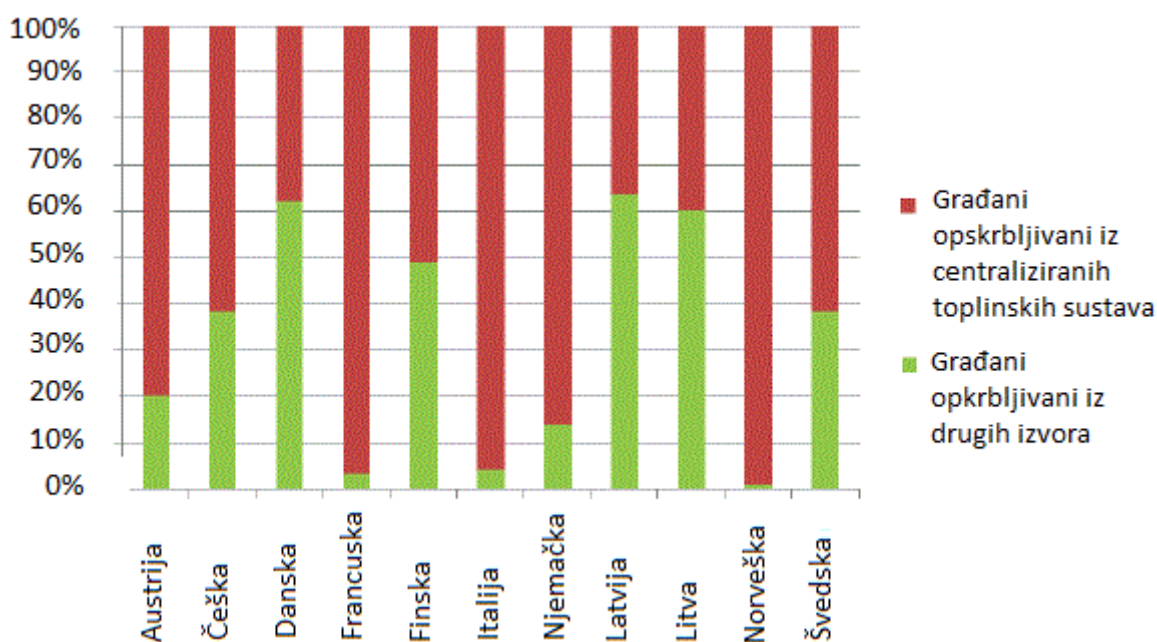
Slika 4. Udio CHP sustava u pojedinim europskim zemalja [1]

Slika 4 prikazuje udio CHP sustava u nacionalnim sustavima proizvodnje električne energije pojedinih europskih zemalja. Iz slike je jasno kako najveći udio CHP postrojenja (oko 55%) u Europi ima Danska koja je sa svojim programom visoke penetracije centraliziranih toplinskih sustava započela nakon naftne krize 1973. godine, kada su sve lokalne jedinice morale pripremiti tzv. „Plan grijanja“ koji bi stambene zone podijelio na „plinske“ i one u kojima se koristi centralizirani toplinski sustav [1]. Zahvaljujući tome, u Danskoj je u 2011. godini potrošnja primarne energije iznosila 135 GJ/stanovniku, što je znatno manje od europskog prosjeka koji iznosi 198 GJ/stanovniku [5]. Od tada se Danska navodi kao primjer dobre implementacije CHP postrojenja i centraliziranih toplinskih sustava u nacionalne sustave proizvodnje i opskrbe električne i toplinske energije.

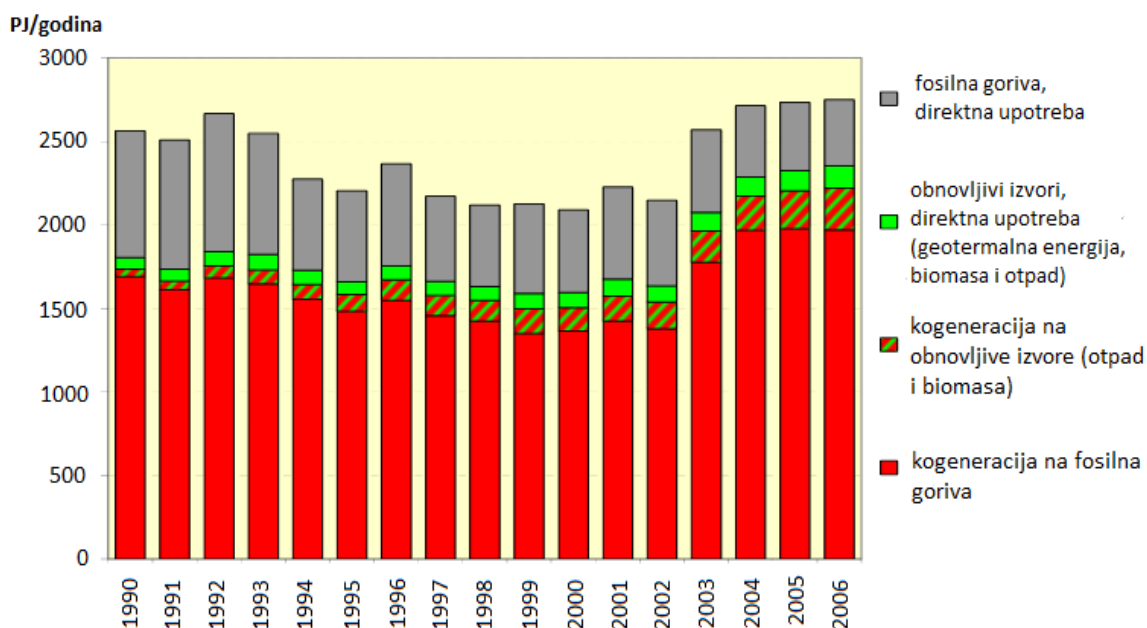
U cilju dokazivanja kako centralizirani toplinski sustavi nisu pogodni i isplativi samo za sjeverne dijelove Europe, provedena je studija koja je uključivala tri europska grada: Barcelonu, Köln i Liverpool, kao predstavnike južne, srednje i sjeverne Europe [1]. Radilo se o analizi isplativosti i mogućim prednostima transformacije postojećih termoelektrana u CHP postrojenja koja bi koristila centralizirane toplinske sustave. Studija je pokazala nekoliko važnih činjenica. Uzimajući u obzir sve eventualne prepreke, dokazan je povrat investicije u novu infrastrukturu u roku 4-10 godina, gledajući iz aspekta ukupnih smanjenja troškova. Kada bi krajnji korisnici osjetili smanjenje cijena, ovisi o svakom pojedinom gradu. Također, pokazano je kako centralno hlađenje ima potencijala jedino u Barceloni, gradu predstavniku južne Europe. Studija je također rezultirala pozitivnim rezultatima glede smanjenja emisija

CO₂. Naime, očekivano smanjenje emisija uvođenjem centraliziranih toplinskih sustava u Barceloni, Kölnu i Liverpoolu je redom 13%, 12% i 19% [1].

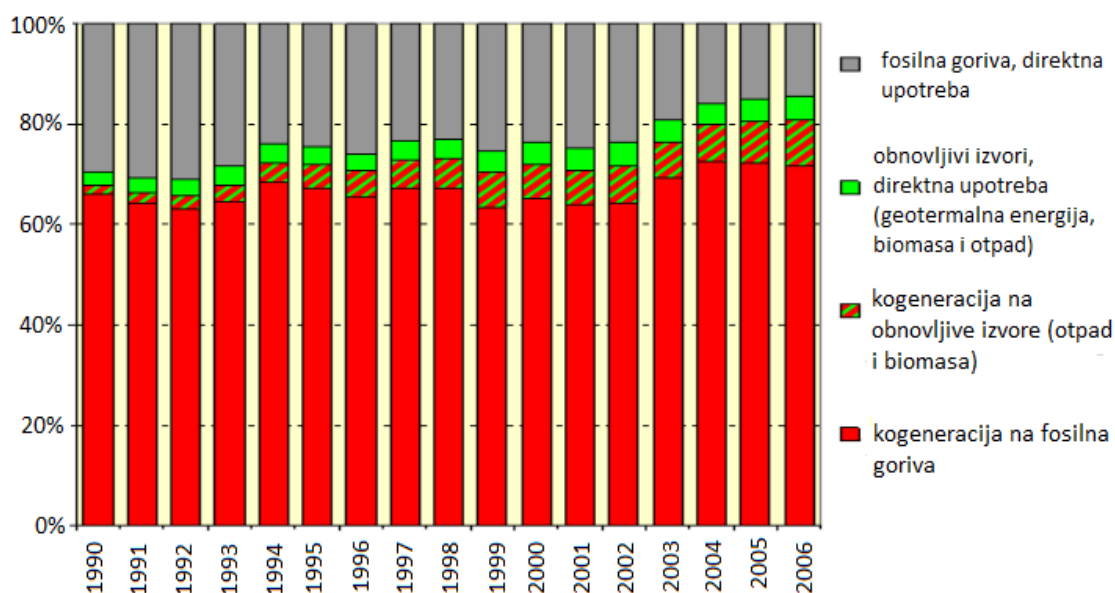
Slika 5 prikazuje udio centraliziranih toplinskih sustava u pojedinim europskim državama. Ovdje se ponovno ističe Danska, s nešto više od 60% udjela centraliziranih toplinskih sustava u ukupnom nacionalnom sustavu opskrbe toplinskom energijom. Treba napomenuti kako je taj udio usko povezan s ranije spomenutim visokim udjelom CHP sustava i rezultat je brojnih provedenih mjera, projekata, ali i financijskih mehanizama koji su za cilj imali upravo takvo povećanje. Također, ističu se i baltičke zemlje, Litva i Latvija, s vrlo sličnim udjelom od preko 60%. Međutim, zanimljivo je promotriti neke razvijene europske zemlje poput Njemačke, Francuske, Norveške i Italije, koje manje od 5% svojih potreba za toplinskom energijom (izuzev Njemačke, kod koje je ta brojka nešto veća od 10%) zadovoljavaju iz centraliziranih toplinskih sustava. Razlog za tako mali udio kod Norveške je njihov prilično razvijeni sustav proizvodnje električne energije iz hidroelektrana.



Slika 5. Udio centraliziranih toplinskih sustava u pojedinim europskim zemljama [6]



Slika 6. Goriva korištena u centraliziranim toplinskim sustavima u EU27 [PJ/godini] [1]

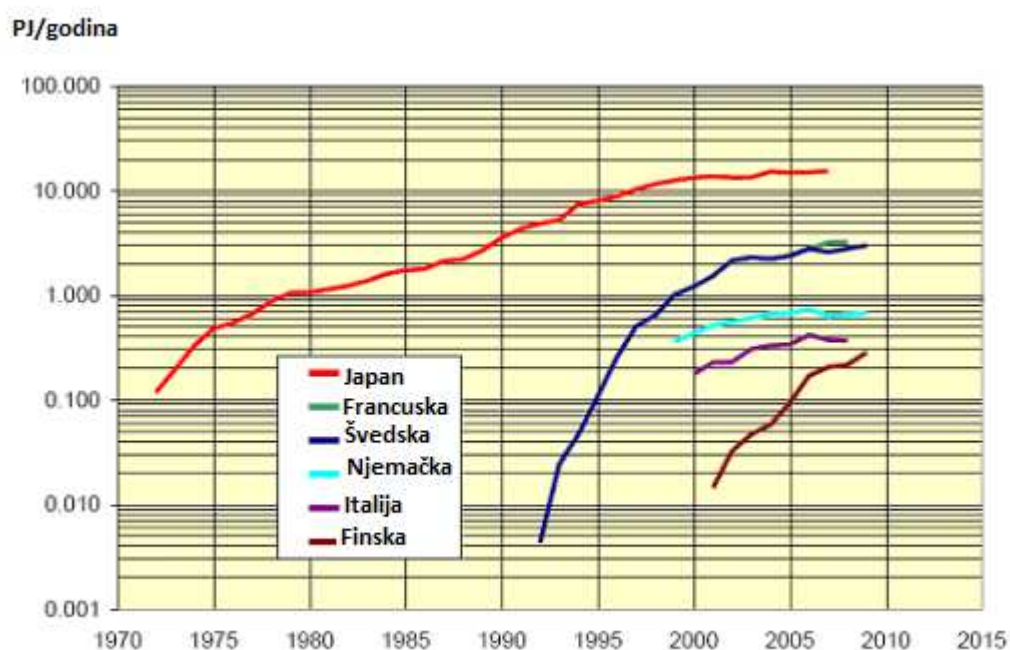


Slika 7. Goriva korištena u centraliziranim toplinskim sustavima u EU27 [%] [1]

Slike 6 i 7 prikazuju goriva korištena u centraliziranim toplinskim sustavima u zemljama EU27, izraženo u PJ/godini te u postocima. Može se zaključiti kako je dominantan izvor topline kroz čitavo promatrano razdoblje (1990.-2006.) reciklirana topline iz postrojenja za proizvodnju električne energije, odnosno CHP postrojenja. Postoji i blagi trend povećanja tog

izvora topline kao i OIE. Ti trendovi su postali nešto značajniji u posljednjih 10 godina, kada su donesene brojne regulative koje potiču korištenje efikasnijih i čistih izvora energije.

Slika 8 prikazuje trend porasta korištenja sustava centralnog hlađenja, koje nema toliko značaj kao grijanje, ali postaje sve popularnije. Danas centralno hlađenje pokriva oko 1% ukupnih europskih potreba za hlađenjem. Značajniji porast zabilježen je u sjevernim europskim zemljama, Finskoj i Švedskoj, nešto manji u Njemačkoj, Italiji i Francuskoj, dok ostale europske zemlje ne bilježe zamjetni porast korištenja daljinskog hlađenja u posljednjih 20 godina. [1]



Slika 8. Porast korištenja sustava centralnog hlađenja [1]

1.4 Budući trendovi razvoja

1.4.1 U Hrvatskoj

Neki od osnovnih preduvjeta koje Hrvatska mora stvoriti za razvoj centraliziranih toplinskih sustava su formiranje i prilagodba zakonodavnih okvira, usvajanje i intenzivnije korištenje dugoročnog energetskog planiranja i ostvarivanje tehničkih uvjeta za unaprjeđenje postojećih sustava. Vjerojatno najveći izazov s kojim će se Hrvatska suočiti u budućnosti je unaprjeđenje Tarifnog sustava za usluge energetskih djelatnosti proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom, koje je nužno kako bi djelatnost centraliziranih toplinskih sustava postala profitabilna. Na početku razvoja takvih tehnologija bitno je uspostaviti razine cijena

koje mogu potaknuti njezin razvoj u smislu održavanja, zamjene, obnove, proširenja i ulaganja u nove tehnologije [3].

Glavne mogućnosti centraliziranih toplinskih sustava upravo su u povećanju energetske učinkovitosti te većoj pouzdanosti i sigurnosti opskrbe primjenom novih tehnologija, uključujući CHP, postrojenja na biomasu i postrojenja za spaljivanje otpada, zamjenu starih mreža predizoliranim cjevovodima, te bolju regulaciju centraliziranih toplinskih sustava na svim razinama. To uključuje i kontrolu potrošnje toplinske energije u vidu ugradnje razdjelnika topline koji bi omogućavali mjerenje pojedinačne potrošnje.

Neki od preporučenih budućih koraka, osim unaprjeđenja tarifnog sustava za toplinsku energiju i daljnji razvoj Strategije energetskog razvoja u kojoj su centralizirani toplinski sustavi jedan od prioriteta, je i strateško energetsko planiranje koje može omogućiti znatno povećanje učinkovitosti uporabe raspoloživih resursa i tehnologija. Također, spominje se i važnost uvođenja financijskih potpora za ulaganja u razvoj centraliziranih toplinskih sustava, kao i njihovu distribuciju i uvođenje novih priključaka. OIE su se počeli koristiti za proizvodnju toplinske energije u centraliziranim toplinskim sustavima tek unazad nekoliko godina, pa je iznimno važno uvođenje potpora ulaganjima u njihov razvoj u ovom sektoru. Uvođenje ovih potpora ima za cilj stvaranje ravnopravnih uvjeta za tehnologije koje konkuriraju na tržištu. To je važno zbog toga što postojeći centralizirani toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj zahtijevaju znatna ulaganja u obnovu i modernizaciju, kako bi im se povećala efikasnost i pouzdanost, a time posljedično i sigurnost opskrbe za potrošače [3].

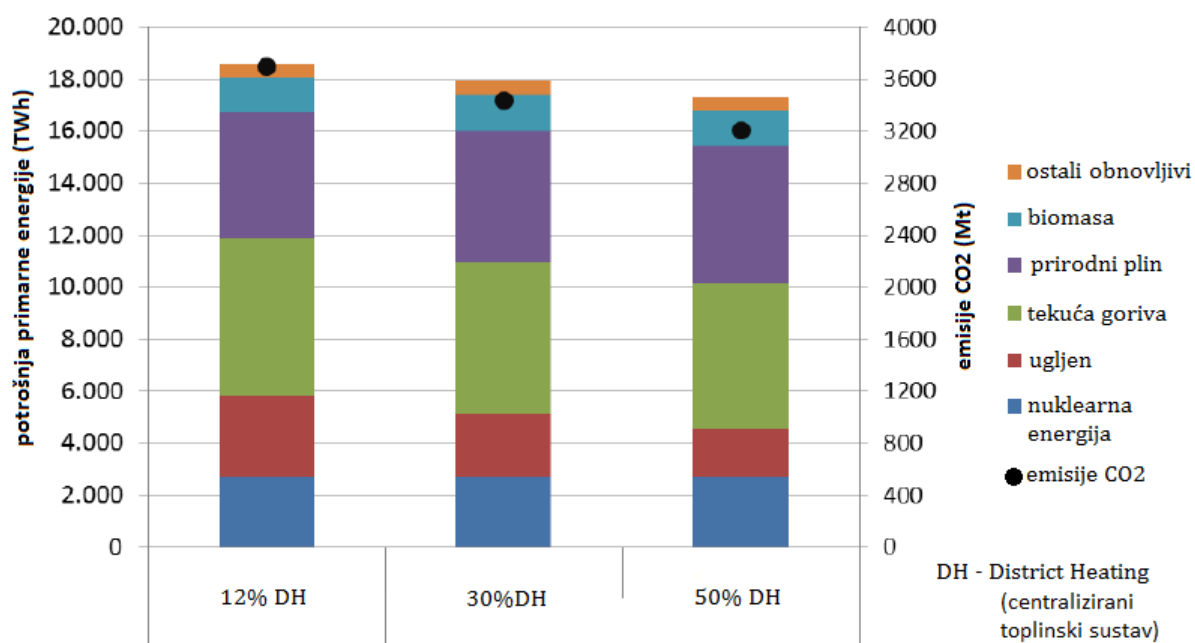
1.4.2 U Europskoj Uniji

Europska Unija potiče razvoj CHP sustava i centraliziranih toplinskih sustava, kao i tehnologija OIE zbog toga što njihova upotreba može osigurati smanjenje uporabe primarne energije za više od 30% [7]. Takve uštede nužne su zbog sve veće potrebe za redukcijom štetnih emisija stakleničkih plinova i težnje za unaprjeđenjem energetske neovisnosti, što prvenstveno podrazumijeva smanjenje ovisnosti o uvoznjoj nafti s Bliskog Istoka i plinu iz Rusije [7].

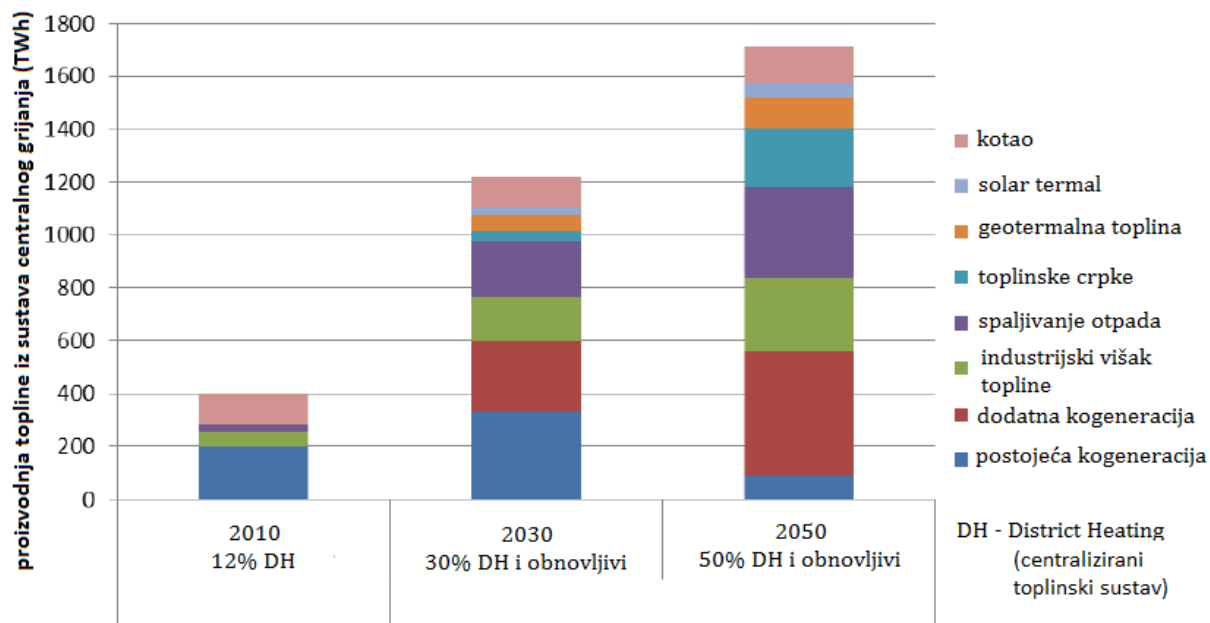
Europska Komisija financirala je studiju čiji su rezultati prikazani pod nazivom *Heat Roadmap Europe 2050*. [8], a naglašavaju otkrića vezana za očekivanu značajnu ekspanziju centraliziranih toplinskih sustava u Europi do 2050. godine. Studija je provedena na sveučilištima Aalborg i Halmstad i u načelu proučava interakciju tržišta toplinske energije s ostalim dijelovima energetskog tržišta.

U konačnici, rezultati studije su pokazali kako će ekspanzija korištenja centraliziranih toplinskih sustava smanjiti potrošnju primarne energije u EU za 7%, fosilnih goriva za 9% i emisija ugljičnog dioksida za 13%, dok će isti broj korisnika i dalje imati omogućene jednake usluge isporuke toplinske energije [8]. Također, naglašava se kako su potencijali za uštedom goriva vjerojatno i veći nego što je izračunato, s obzirom na to da postoje i dodatne alternative koje mogu biti implementirane i tako dodatno smanjiti potrošnju goriva.

Dodatne pogodnosti povećanog korištenja centraliziranih toplinskih sustava mogu se postići uz investicije kao što su: povećanje spaljivanja otpada, korištenje OIE kao što su geotermalna toplina i solarno grijanje, te povećanje korištenja viška topline iz industrijskih procesa. Implementacijom ovih investicija uz povećano korištenje centraliziranih toplinskih sustava mogu se postići uštede i veće od spomenutih, a iznosile bi smanjenje potrošnje fosilnih goriva za 13% i emisija CO₂ za 17% [8]. Detaljniji rezultati prikazani su na slici 9.



Slika 9. Smanjenje potrošnje primarne energije i emisija CO₂ uz penetraciju centraliziranih toplinskih sustava i dodatnih mjera [8]



Slika 10. Kretanje korištenja centraliziranih toplinskih sustava do 2050. godine [8]

Slika 10 prikazuje očekivano kretanje korištenja centraliziranih toplinskih sustava za grijanje zgrada do 2050. godine po scenariju studije. Prikazana je i očekivana podjela pojedinih izvora, kao i udio implementacije spomenutih dodatnih mjera. Primjećuje se značajno povećanje proizvodnje toplinske energije iz centraliziranih toplinskih sustava od više od 300% u periodu 2010. - 2050., kao i povećanje udjela korištenja OIE.

2. PREGLED ZAKONSKIH REGULATIVA

Zakon Republike Hrvatske donosi brojne odredbe unutar različitih zakona kojima se uređuju područja poput učinkovitog korištenja energije, donošenja potrebnih mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti na lokalnoj i regionalnoj razini, planiranja energetske strategije, ali i odredbe koje uređuju sustave proizvodnje i tržišta različitih oblika energije. Ovim se zakonima nastoje osigurati uvjeti za sigurnu i pouzdanu proizvodnju, prijenos i distribuciju energije, kao i tarifni sustavi koji uređuju modele tržišta energijom, s posebnim naglaskom na sustave poticanja korištenja OIE.

Kako je čitavo područje energetike ključno za razvoj gospodarstva Republike Hrvatske, broj zakona iznimno je velik i podvrgnuti su čestim izmjenama i dopunama. Stoga su u ovom radu opisani samo pojedini zakoni koji se odnose na primjenu centraliziranih toplinskih sustava i OIE. Dan je vrlo kratak pregled Zakona o tržištu toplinske energije [9] i Zakona o energetske učinkovitosti [10]. Također, sažete su i osnovne odredbe iz Direktive 2012/27/EU Europske komisije o energetske učinkovitosti [11]. Također, prilikom same izrade scenarija u postupku energetske planiranja Karlovačke županije moralo se voditi računa o pojedinim odredbama spomenutih dokumenata.

Ostali dokumenti u kojima se mogu pronaći vezane odredbe za neka srodna područja su Zakon o tržištu električne energije [12], Zakon o energiji [13], Zakon o biogorivima za prijevoz [14], Zakon o promicanju čistih i energetski učinkovitih vozila u cestovnom prometu [15] itd.

2.1 Zakon o tržištu toplinske energije

Zakon o tržištu toplinske energije [9], koji je na snazi od 06.07.2013., uređuje mjere za sigurnu i pouzdanu opskrbu toplinskom energijom, korištenje sustava za grijanje i hlađenje, uvjete dobivanja koncesije za izgradnju mreže za distribuciju toplinske energije, mjere za sigurnu i pouzdanu proizvodnju, distribuciju i opskrbu toplinske energije te mjere za postizanje energetske učinkovitosti u toplinskim sustavima. U Zakonu je naglašena primjena pravne stečevine iz regulativa Europske Unije, definirani su osnovni izrazi potrebni za razumijevanje zakona, te su opisane stavke koje se odnose na interes Republike Hrvatske, obavljanje energetske djelatnosti, djelatnosti kupaca toplinske energije i djelatnosti proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom.

Zakon ističe kako je izgradnja i razvoj centraliziranih toplinskih sustava, kao i proizvodnja toplinske energije iz visokoučinkovitih CHP postrojenja od interesa za Republiku Hrvatsku, a naglašava se i kako su ti sustavi jedan od najbitnijih elemenata za postizanje ciljeva energetske učinkovitosti. Također, potiče se korištenje novih i inovativnih tehnologija i OIE.

Nadalje, pojedine odredbe tiču se obveza jedinica lokalne samouprave. Naime, osim što su dužne poticati, planirati i odobriti izgradnju toplinskih sustava, one u skladu s mjerama energetske učinkovitosti moraju osigurati prednost centraliziranim toplinskim sustavima pri izgradnji te osigurati priključenje zatvorenih na centralizirane toplinske sustave. Međutim, ako na području pojedinih jedinica lokalne samouprave nije gospodarski isplativa izgradnja centraliziranih toplinskih sustava, nužno je planiranje zatvorenih ili samostalnih sustava.

U odredbi o proizvodnji toplinske energije definira se kako proizvođač energije koji koristi CHP postrojenje u kojem koristi otpad, biorazgradive dijelove otpada ili OIE za proizvodnju toplinske energije, može steći status povlaštenog proizvođača električne i toplinske energije, te tako ući u sustav poticaja. Također, električna energija proizvedena u CHP postrojenjima, zbog istodobne proizvodnje toplinske energije za grijanje, ima prioritet prihvata u elektroenergetskoj mreži. Nadalje, pri izgradnji postrojenja za proizvodnju energije, CHP postrojenja koja koriste OIE ili otpad, uvijek imaju prednost u odnosu na ostala postrojenja.

Kako je potencijal za veću učinkovitost u grijanju i hlađenju u Republici Hrvatskoj u znatnoj mjeri neiskorišten, ovaj zakon donosi i smjernice za procjenu većeg iskorištenja tog potencijala. Ovdje se ističe određivanje potencijalnih lokacija za izgradnju visokoučinkovitih CHP postrojenja i postrojenja za spaljivanje otpada, tako da se predvidi potrošnja energije i ušteda energenata, te da se odredi potražnja za toplinskom energijom koja se potencijalno može zadovoljiti iz CHP postrojenja.

Konačno, Zakon ističe važnost donošenja strategija i mjera kako bi se željeni planovi uspješnije i učinkovitije ostvarili. One se odnose na poticanje razvoja infrastrukture za učinkovite centralizirane toplinske sustave, razvoja visokoučinkovitih CHP postrojenja, priključenja novih stambenih zona na centralizirane toplinske sustave te prenamjenu postojećih postrojenja za proizvodnju električne energije i industrijskih postrojenja u kojima nastaje otpadna toplina u CHP postrojenja.

2.2 Zakon o energetske učinkovitosti

Zakonom o energetske učinkovitosti [10], koji je na snazi od 05.11.2014., uređuje se područje učinkovitog korištenja energije, donošenja planova na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini za poboljšanje energetske učinkovitosti te njihovo provođenje, mjere i obveze energetske učinkovitosti, kao i obveze regulatornog tijela za energetiku, proizvođača i operatora prijenosnog i distribucijskog sustava. Uređuju se i obveze operatora tržišta energije, utvrđuju uštede energije te prava potrošača u primjeni mjera energetske učinkovitosti. Ovdje se ponovno naglašava primjena pravne stečevine Europske Unije, interes Republike Hrvatske, te definiraju osnovni pojmovi potrebni za razumijevanje zakona.

Osnovni dokument čije su stavke propisane ovim zakonom je Nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti kojeg donosi Ministarstvo gospodarstva. On se donosi za trogodišnje razdoblje, a neke od odredbi koje sadržava su sljedeće: prikaz stanja potrošnje energije u zemlji, ciljeve uštede energije i poboljšanja energetske učinkovitosti u vidu povećanja broja zgrada s dobrim energetske svojstvima, povećanog korištenja OIE i izvore financiranja plana.

Zakonom je također definiran i učinkoviti centralizirani toplinski sustav kao onaj koji upotrebljava najmanje 50% obnovljive energije, 50% otpadne topline, 75% topline dobivene kogeneracijom ili 50% kombinacije neke od spomenutih oblika energije i topline, a definicija je preuzeta iz Direktive 2012/27/EU Europske komisije o energetske učinkovitosti [11]. Također, definira se i poboljšanje energetske učinkovitosti kao smanjenje potrošnje energije uz iste referentne uvjete i jednak učinak kao prije provedbe mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti, a koje je posljedica primjene energetske učinkovite tehnologije, sustava i proizvoda te OIE za pretežno ili potpuno pokrivanje vlastite potrošnje energije.

Navodi se također, kako su neke od dužnosti regulatornog tijela za energetiku poticanje preusmjerenja opterećenja krajnjih kupaca iz vremena vršnog u vrijeme izvan vršnog opterećenja uzimajući u obzir raspoloživost obnovljive energije, energije iz kogeneracije i distribuirane proizvodnje energije, uštede i smanjenja potražnje energije na temelju poboljšanja energetske učinkovitosti, priključivanje postrojenja za proizvodnju energije koja su bliže mjestu potrošnje te planirano skladištenje energije. Osim toga, potrebno je osigurati i da električna energija iz OIE i visokoučinkovite kogeneracije ima prioritet u pristupu u distribucijsku mrežu, kao što se slično navodi i u Zakonu o tržištu toplinske energije.

Naposljetku, ističe se kako sve fizičke i pravne osobe koje koriste OIE i visokoučinkovitu kogeneraciju, mogu koristiti poticajne mjere namijenjene za projekte energetske učinkovitosti.

2.3 Direktiva 2012/27/EU Europske Komisije o energetskej učinkovitosti

Europska Unija suočava se s jedinstvenim energetskeim izazovima uvjetovanim velikom ovisnošću o uvozu energije, ograničenim vlastitim energetskeim resursima, potrebi za smanjenjem klimatskeih promjena i svladavanjem ekonomske krize. Povećanje energetske efikasnosti jedna je od temeljnih strategija Europske Unije koja za cilj ima osiguravanje pametnog i održivog razvoja te stvaranje novih radnih mjesta. Tako je krajem 2008. godine usvojen energetskeo-klimatskei paket, poznatiji kao „20-20-20“, koji bi do 2020. godine trebao rezultirati s 20% manjim emisijama stakleničkeih plinova u usporedbi s 1990. godinom, 20% udjela OIE u ukupnoj energetskej potrošnji i 20% manjom ukupnom potrošnjom energije u odnosu na onu koja se 2020. očekuje u slučaju neprovođenja posebneih mjera [16].

U Direktivi se navodi kako visokoučinkovita kogeneracija i centralizirani toplinski sustavi i hlađenja imaju znatan potencijal za uštedu primarne energije, što je prilično neiskorišteno u Europskej Uniji. Zbog toga zemlje članice moraju provesti analize isplativosti implementacije takvih sustava i moraju razvijati nacionalne energetske strategije. Nova postrojenja za proizvodnju električne energije, kao i ona postojeća koja će se u skorije vrijeme podvrgavati obnovi, trebaju biti opremljena sustavom visokoučinkovite kogeneracije, ako provedena ispitivanja pokažu potrebu i ekonomsku opravdanost za to. Također, pri planiranju izgradnje CHP postrojenja, treba uzeti u obzir cjelokupnu strukturu tog sektora, koji mora uključivati i velik broj malih i srednjeih proizvođača. U tom smislu treba uvijek davati prednost manjim proizvođačima.

Sve zemlje članice Europske Unije moraju do kraja 2015. godine provesti opsežna ispitivanja potencijala primjene visokoučinkoviteih CHP sustava i centraliziraneih toplinskeih sustava koja sadržavaju tehnokonomskeu analizu isplativosti i uzimaju u obzir geografskei položaj i klimatske promjene pojedinog područja. Također, one moraju poticati primjenu tih sustava na lokalnoj i regionalnoj razini, a posebno sustava koji koriste OIE i otpad. Učinkovitei centralizirane toplinskei sustav trebao bi u značajnoj mjeri smanjivati potrošnjeu primarne energije i to unutar granice isplativosti, uzimajući u obzir troškove dobave, pretvorbe, prijenosa i distribucije energije.

3. ENERGETSKI SUSTAV KARLOVAČKE ŽUPANIJE

3.1 Opis Karlovačke županije

Karlovačka županija nalazi se u središnjoj Hrvatskoj (slika 11) i pokriva površinu od 3 626 km², što iznosi oko 6,4% teritorija Republike Hrvatske, te je površinom šesta po veličini županija u Hrvatskoj. Ima veliku važnost zahvaljujući svom tranzitnom, prometnom i geostrateškom položaju [17].

Karlovačka županija graniči s dvije susjedne države: Republikom Slovenijom i Republikom Bosnom i Hercegovinom, a u doticaju je i s četiri županije: Zagrebačkom, Sisačko-moslavačkom, Primorsko-goranskom i Ličko senjskom županijom. Prema popisu stanovništva iz 2011. [18] godine u Karlovačkoj županiji živi 128 899 stanovnika (3,01% ukupnog stanovništva Republike Hrvatske) u 49 621 kućanstva (prosječno 2,59 osoba po kućanstvu). S gustoćom naseljenosti od 35,55 stanovnika/km², Karlovačka županija je jedan od rjeđe naseljenih dijelova Hrvatske koji također ima i negativan prirodni prirast stanovništva.



Slika 11. Smještaj Karlovačke županije i smještaj gradova unutar županije

U županiji se nalazi 5 gradova, 17 općina i 649 naselja. Grad Karlovac je administrativno, političko, gospodarsko, kulturno i sportsko središte te najveći grad županije s 55 705 stanovnika (43,22% ukupnog stanovništva županije), a ostali gradovi su Duga Resa, Ogulin, Slunj i Ozalj. Stanovnici u gradovima čine 71,91% ukupnog stanovništva županije. Detaljni popis stanovništva po gradovima prema Popisu stanovništva iz 2011. godine prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Broj stanovnika po gradovima [18]

Grad	Broj stanovnika
Karlovac	55 705
Ogulin	13 915
Duga Resa	11 180
Slunj	5 076
Ozalj	6 817

Prema podacima iz 2010. godine [19] BDP po glavi stanovnika u županiji iznosio je 7 404€, što je 73,62% prosječnog BDP po glavi stanovnika u Republici Hrvatskoj koji iznosi 10 057€. U 2011. godini na području Karlovačke županije bilo je registrirano 58 071 vozilo (0,45 vozila po stanovniku), od čega 46 446 na području gradova (79,98%), te 5835 poslovnih subjekata. Prema podacima iz iste godine, obrađuje se poljoprivredna površina od 19 678 ha [18].

Županija je 2009. godine objavila Strategiju održivog korištenja energije, međutim samo za razdoblje 2009. - 2011. godine. Iz iste godine sežu i Akcijski planovi energetske održivosti razvitka (eng. *Sustainable Energy Action Plan* ili SEAP) svih gradova u županiji. [20,21,22,23,24] U svim navedenim dokumentima stavlja se naglasak na načela održivosti, zaštite okoliša i korištenju OIE.

3.2 Analiza potrošnje energije

Analizu potrošnje energije s visokom razinom točnosti iznimno je teško provesti zbog toga što ne postoje podaci o potrošnji energije na razini županije. Postoje samo dokumenti kao što su SEAP-ovi gradova i publikacija Energija u Hrvatskoj [25], koju svake godine izdaje Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva Republike Hrvatske. Spomenuti SEAP-ovi daju podatke o potrošnji energije pojedinih gradova i to za sektore prometa, zgradarstva

(kućanstva i usluge zajedno) i javne rasvjete. Publikacija Energija u Hrvatskoj sadrži vrlo detaljne podatke o potrošnji pojedinih energenata u određenim sektorima, kao i podatke o ukupnoj potrošnji energije, energetske bilance, informacije o štetnim emisijama i sl., međutim svi podaci odnose se na razinu države, dok podataka za regionalne i lokalne jedinice gotovo da i nema. S obzirom na to, kao i na činjenicu da u SEAP-ima nisu dostupni podaci za sektore industrije, poljoprivrede i graditeljstva, korišteni su dodatni izvori kao što je Statistički ljetopis koji izdaje Državni zavod za statistiku [18]. U njemu se mogu pronaći pojedini statistički, potrošački i gospodarski pokazatelji (broj stanovnika, bruto društveni proizvod, broj registriranih vozila,...) koji su kasnije korišteni kako bi se dobila finalna potrošnja energije županije.

U nastavku je prikazana analiza potrošnje energije koja je dostupna u SEAP-ima gradova Karlovca [20], Ogulina [21], Duge Rese [22], Ozlja [23] i Slunja [24].

Tablica 2. Potrošnja energenata u sektoru prometa [TJ] [20,21,22,23,24]

	Dizel	Benzin	LPG	Električna energija
Karlovac	277,46	238,03	4,71	3,55
Ogulin	75,4	50,74	0,98	6,79
Duga Resa	48,62	42,63	0,84	1,16
Ozalj	46,79	27,17	0,52	0
Slunj	21,31	15,93	0,31	0
Ukupno	469,58	374,5	7,36	11,5

Tablica 2 prikazuje potrošnju energenata u sektoru prometa. Bitno je naglasiti da se glavnina potrošnje tog sektora odnosi na cestovni promet (osobna vozila i vozila u vlasništvu grada) te u nešto manjoj mjeri na željeznički promet. Riječni i zračni promet u Karlovačkoj županiji ne postoji u značajnijoj mjeri. Iz tog razloga logično je zamijetiti da je dizelsko gorivo najzastupljenije po potrošnji u svim gradovima, jer se ono osim u osobnim vozilima, koristi i u radnim i teretnim vozilima, te u željezničkom prometu. Nešto je manja potrošnja benzina koji se koristi isključivo kao gorivo u osobnim automobilima, dok se električna energija osim u pojedinim automobilima, troši i u željezničkom prometu [20,21,22,23,24].

Također, glavnina potrošnje u sektoru prometa je u gradu Karlovcu (60,7%), što je razumljivo s obzirom na broj registriranih vozila. U ostalim gradovima potrošnja energenata smanjuje se sa smanjenjem broja registriranih vozila, bez značajnijih odstupanja.

Tablica 3. Prosječan broj vozila po stanovniku u gradovima Karlovačke županije, Hrvatskoj i EU27 za 2009. godinu [18], [26]

	Stanovništvo	Reg. vozila	Vozila/stanovniku
Karlovac	55 705	29 015	0,5209
Ogulin	13 915	6 510	0,4678
Duga Resa	11 180	5 207	0,4657
Ozalj	6 817	3 666	0,5378
Slunj	5 076	2 048	0,4035
Hrvatska	4 284 889	1 969 405	0,4596
EU27(mil.)	497,83	231,9	0,4658

U 2009. godini finalna potrošnja energije u sektoru prometa u EU27 iznosila je 31,72 GJ/stanovniku [26], u Hrvatskoj 20,93 [25] GJ/stanovniku, u Karlovcu 9,4 GJ/stanovniku [20], Ogulinu 9,62 GJ/stanovniku [21], Dugoj Resi 8,34 GJ/stanovniku [22], Ozlju 10,93 GJ/stanovniku [23] i Slunju 7,4 GJ/stanovniku [24]. Unatoč tome što je broj vozila po stanovniku u svim gradovima županije, osim Slunja, veći od Hrvatskog prosjeka, a u Karlovcu i Ozlju veći i od prosjeka EU28 (tablica 3), prosječna potrošnja energije po stanovniku u sektoru prometa znatno je niža od Hrvatskog i prosjeka EU28.

Tablica 4. Potrošnja energenata u sektoru zgradarstva [TJ] [20,21,22,23,24]

	Prirodni plin	Lož ulje	Ogrjevno drvo	Električna energija
Karlovac	26,45	1166,73	1213,95	659,87
Ogulin	4	96,94	227,15	74,82
Duga Resa	5,19	100,6	116,92	115,19
Ozalj	23,73	75,03	86,53	75,63
Slunj	0	10,91	136,93	23,56
Ukupno	59,37	1450,21	1781,48	949,07

Tablica 4 prikazuje potrošnju energenata u sektoru zgradarstva. Ogrjevno drvo dominira kao energent za grijanje u svim gradovima, a pojavljuju se još i lož ulje te prirodni plin. Prirodni plin značajniji udio zauzima jedino u Ozlju, gdje mu je udio 9,1%, dok je u ostalim gradovima udio prirodnog plina zanemariv, a u Slunju se uopće ne koristi. Električna energija zauzima udio od 22,38% u ukupnoj potrošnji energije u sektoru zgradarstva u svim gradovima. Najveći udio ima u Dugoj Resi (34%), a najmanji u Slunju (13,75%), dok u Karlovcu ima udio od 21,51%. To je vrlo blizu prosjeka županije, što je za očekivati, s obzirom na to da grad Karlovac troši gotovo 70% električne energije u županiji.

U 2009. godini finalna potrošnja energije u sektoru zgradarstva u EU27 iznosila je 38,48 GJ/stanovniku [26], u Hrvatskoj 24,77 GJ/stanovniku [25], u Karlovcu 55,06 GJ/stanovniku, Ogulinu 28,96 GJ/stanovniku, Dugoj Resi 30,22 GJ/stanovniku, Ozlju 38,27 GJ/stanovniku i Slunju 33,77 GJ/stanovniku. Svi gradovi odskoču od Hrvatskog prosjeka (najviše Karlovac za čak 101%, a najmanje Ogulin za 5,85%), a Karlovac odskoče i od znatno većeg prosjeka EU28 i to za gotovo 43%.

3.3 Elektroenergetski sustav

Gotovo cijelo područje Karlovačke županije električnom energijom opskrbljuje HEP – Operator distribucijskog sustava d.o.o. s matičnim područjem Elektra Karlovac. Izuzetak su manji rubni dio uz državnu granicu s Republikom Slovenijom koje se napaja iz elektroenergetske mreže Elektro-Slovenija d.o.o. te općine Rakovica koja je u nadležnosti Elektrolike Gospić. Također, trafostanica Zdenčina koja je pod nadležnosti Elektre Karlovac, osim općine Lasinja na području Karlovačke županije, napaja područje Pogona Jastrebarsko, odnosno dio Zagrebačke županije te rubni dio Sisačko – moslavačke županije [27]. U ovom radu ta područja nisu razmatrana i pretpostavljeno da se cijela županija napaja iz Elektre Karlovac, kao i da Elektra opskrbljuje samo područje Karlovačke županije.

Elektra pokriva područje od oko 4300 četvornih kilometara i organizirana je u četiri pogona – Ogulin, Duga Resa, Jastrebarsko i Ozalj te dva pogonska ureda, Slunj i Vojnić. Ukupna opskrba u 2009. godini iznosila je 461 120 MWh, a u 2010. godini 456 829 MWh, dok je maksimalna snaga bila je 98,39 MW. Električna energija distribuira se preko 5 659 km mreže različitih napona i 1 645 trafostanica [28].

Do sada zabilježeno vršno opterećenje sustava iznosi 102 MW. Vršna opterećenja uvijek su ostvarivana u zimskim mjesecima, prosincu i siječnju. Posljednjih godina zabilježen je porast potražnje za električnom energijom koji je uvjetovan s nekoliko razloga. Neki od razloga su sve veći broj električnih kućanskih aparata, ubrzani tehnološki napredak i povećanje potrošnje električne energije u proizvodnom sektoru uzrokovano razvojem i širenjem proizvodnje u županiji. Također, novoizgrađene zgrade i poduzetničke zone donijele su sa sobom priključenje novih kupaca električne energije. Posljednji razlog je povrat progonjenog stanovništva nakon rata. Međutim, treba naglasiti kako taj razlog ima najmanji utjecaj s obzirom na to da je većina sela bila elektrificirana i prije, pa je vrlo mali broj priključaka uveden po programu sanacije i obnove [27].

Glavnina proizvedene električne energije na području županije dolazi iz hidroelektrana. Osnovni tehnički podaci svih postojećih hidroelektrana prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Tehnički podaci o hidroelektranama [29,30,31]

Hidroelektrana	Snaga [MW]	Tip	Srednja godišnja proizvodnja [GWh]	Max. proizvodnja [GWh]/godina
HE Gojak	55,5	akumulacijsko/protočna	191	280/2010.
HE Lešće	42,29	akumulacijsko/protočna	46	110,6/2013.
HE Ozalj	5,5	protočna	23,13	28/1984.

Što se OIE tiče, osim spomenute male HE Ozalj, prisutne su još tri fotonaponske elektrane ukupne snage 70 kW [32].

3.4 Toplinarstvo

Centralizirani toplinski sustavi u županiji postoje jedino u gradovima Karlovcu i Ogulinu. Postrojenje u Ogulinu opskrbljuje oko 150 potrošača [33] i godišnje isporučuje tek 2,5 GWh električne energije [34]. Zbog vrlo malog udjela u ukupnoj potrošnji toplinske energije iz centraliziranih toplinskih sustava (2,8%) u ovom radu to postrojenje nije uzeto u obzir.

Toplana Karlovac, ukupne snage 116 MW, proizvodi toplinsku energija za grijanje preko 7600 stanova i 400 poslovnih prostora, a toplina se predaje u 192 toplinske stanice. Kotlovnica Toplane sadrži tri vrelovodna kotla, od kojih je dosad plinificiran samo jedan dok ostala dva kao gorivo koriste mazut [20]. Skladištenje mazuta vrši se u dva spremnika zapremine po 1000 tona, što znači mogućnost skladištenja oko 1/5 ukupne godišnje potrošnje mazuta. U 2009. godini, Toplana je isporučila 87 GWh toplinske energije [35].

U narednom razdoblju planira se provođenje plinifikacije ostatka sustava. Iako su unazad nekoliko godina napravljeni planovi daljnje plinifikacije, do realizacije projekta nije došlo zbog nedostatka financijskih sredstava. Mogućnost koja se razmatra je i zamjena starih kotlova plinskim CHP postrojenjima. Također, pojedine dionice vrelovodne mreže starije su od trideset godina što uzrokuje gubitke vrele vode na godišnjoj razini od oko 8000 m³ [20]. Time je efikasnost sustava smanjena za čak 10%. Toplana je i jedan od dominantnih izvora emisija CO₂, koje su u 2009. godini iznosile 21 kt. Proračunato je da bi maksimalni vijek trajanja uz visoke troškove održavanja mogao biti do 2016. S obzirom na sve navedeno, kao i na iznimno visoke cijene mazuta, te potrebu za daljnjim ulaganjima u svrhu poboljšanja kvalitete usluge grijanja građanima Karlovca, planira se obnova i sanacija postrojenja [20].

Što se pojedinačnog grijanja tiče, najveći dio kućanstava grije se malim pećima na ogrjevno drvo. To su u pravilu stare peći niske efikasnosti, što za posljedicu ima veliku potrošnju. Jedan od ciljeva energetskeg razvoja Županije je i zamjena postojećih zastarjelih peći novim i učinkovitim pećima na biomasu za grijanje i pripremu potrošne tople vode [27].

3.5 Kratak pregled planova razvoja

Karlovačka županija je 2009. godina izdala Strategiju održivog korištenja energije [27] koja za cilj ima odrediti smjernice za uspješan gospodarski i energetskei razvitak Županija. Temelji ovog dokumenta su poticanje učinkovitog korištenja energije i OIE, smanjenje štetnih utjecaja na okoliš, razvitak lokalnog gospodarstva i poboljšanje socijalnih prilika stanovništva čime bi se značajno doprinijelo održivom razvoju Županije.

Strategijom su donesene mjere i preporuke za poboljšanje energetske učinkovitosti za 5 glavnih sektora: zgrade javne namjene, zgrade javne namjene u vlasništvu Županije, zgrade stambene namjene, javna rasvjeta te industrija i poduzetništvo. Predložene mjere odnose se na poboljšanja građevinskih karakteristika zgrade, sustava grijanja, PTV i hlađenja, smanjenje potrošnje električne energije i mjere štednje vode te povećano korištenje OIE.

Prije svega treba naglasiti kako se na području županije nalaze neki od značajnijih projekata u području OIE, pogotovo na području biomase i malih hidroelektrana, a postoji i značajan geotermalni potencijal. Stoga se i u ovoj Strategiji stavlja naglasak upravo na te izvore energije, ali su navedeni i potencijali za iskorištenje Sunčeve energije i energije vjetra. Ovdje treba napomenuti kako je potencijal iskorištenja energije vjetra u Karlovačkoj županiji znatno manji nego u nekim priobalnim područjima, pa su i količina projekata i preporuke za budući razvoj vjetroelektrana znatno manji u odnosu na ostale tehnologije OIE.

Ciljevi korištenja OIE podijeljeni su i analizirani u tri kategorije: proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora, proizvodnja toplinske energije iz obnovljivih izvora i proizvodnja biogoriva.

Najveći doprinos proizvodnji električne energije iz OIE na području Županije očekuje se od solarnih fotonaponskih sustava, malih hidroelektrana i geotermalne energije. Strategija datira iz 2009. godina i u njoj je postavljen cilj izgradnje novih malih hidroelektrana na lokacijama Ilovac, Brodarci, Globornica, Furijan, Puškarići, Primišlje, Barilović, Turanj i Feringovo do 2012. godine. Međutim, možemo svjedočiti kako na nijednoj od lokacija do danas nije izgrađena mala hidroelektrana.

Doprinos proizvodnji toplinske energije iz OIE očekuje se prvenstveno od biomase i energije Sunca, a dijelom i korištenjem toplinskih crpki. S obzirom na to navedeni su i neki od ciljeva unaprjeđenja sustava proizvodnje toplinske energije. Planirana je ugradnja novih peći na biomasu u 2500 kućanstava do kraja 2020. godine, čime bi se zamijenio veliki broj starih i neučinkovitih peći. Osim za kućanstva, korištenje biomase planirano je i u kotlovnica zgrada javne namjene te centraliziranim toplinskim sustavima. Tako je do kraja 2020. godine planirano instalirati snagu kotlovnica na biomasu za zgrade javne namjene od 2000 kW i izgraditi ukupno 15 centraliziranih toplinskih sustava na biomasu.

Što se tiče korištenja solarne energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode planirana je instalacija 24 000 m² solarnih kolektora do 2020. godine i 80 000 m² do 2030. godine, kako bi se ostvario prosjek EU od 26 m² solarnih kolektora na 1000 stanovnika. Također, planirano je ugraditi toplinske pumpe u 1000 kućanstava i instalirati 1000 kW u zgrade javne namjene do kraja 2020. godine.

U Strategiji su navedeni i ciljevi do kraja 2011. te 2015. godine. Do kraja 2015. godine planirana je ugradnja novih peći na biomasu u 750 kućanstava, toplinskih pumpi u 300 kućanstava i solarnih kolektora u 1 500 kućanstava (oko 24 000 m²). Također je planirana izgradnja kotlovnica na biomasu za zgrade javne namjene ukupne snage 500 kW, toplinskih pumpi ukupne snage 500 kW te izgradnja 5 centraliziranih toplinskih sustava na biomasu. Prema dostupnim podacima, dosada od planiranih 5 nije izgrađen niti jedan sustav centralizirani toplinski sustav na biomasu. S obzirom na to, može se također pretpostaviti kako se navedeni ciljevi do 2020. godine vjerojatno neće u potpunosti ostvariti.

Međutim, Županija razvija programe financijskih i organizacijskih mjera, pa se pretpostavlja kako će se dinamika razvoja u budućnosti ubrzati [27].

4. METODOLOGIJA

U ovom poglavlju opisan je postupak dobivanja finalne potrošnje energije u županiji pomoću koje se kasnije dobio bazni scenarij u referentnoj godini. Osim toga, opisane su i osnovne značajke modela EnergyPLAN koji je poslužio za analizu scenarija.

4.1 EnergyPLAN

EnergyPLAN je računalni model za analizu energetske sustava. Glavna funkcija modela je analiza energetske, okolišne i ekonomske utjecaja različitih energetske strategije. Cilj je razvijanje više različitih rješenja kako bi ona mogla biti međusobno uspoređivana, što se svakako smatra efikasnijim od korištenja samo jednog rješenja. Na taj način, model se koristi u razvoju nacionalnih energetske strategije kroz energetske planiranje. Strategija energetske planiranja bazira se na analizi različitih nacionalnih energetske sustava kroz dva aspekta – tehnički, uključujući tehničke karakteristike sustava i njegove komponente i ekonomski, koji podrazumijeva različite troškove investicije, potrošnje, cijene i ostale tržišne parametre. Osim na nacionalnoj, model je korišten i za analizu na europskoj i regionalnoj razini.

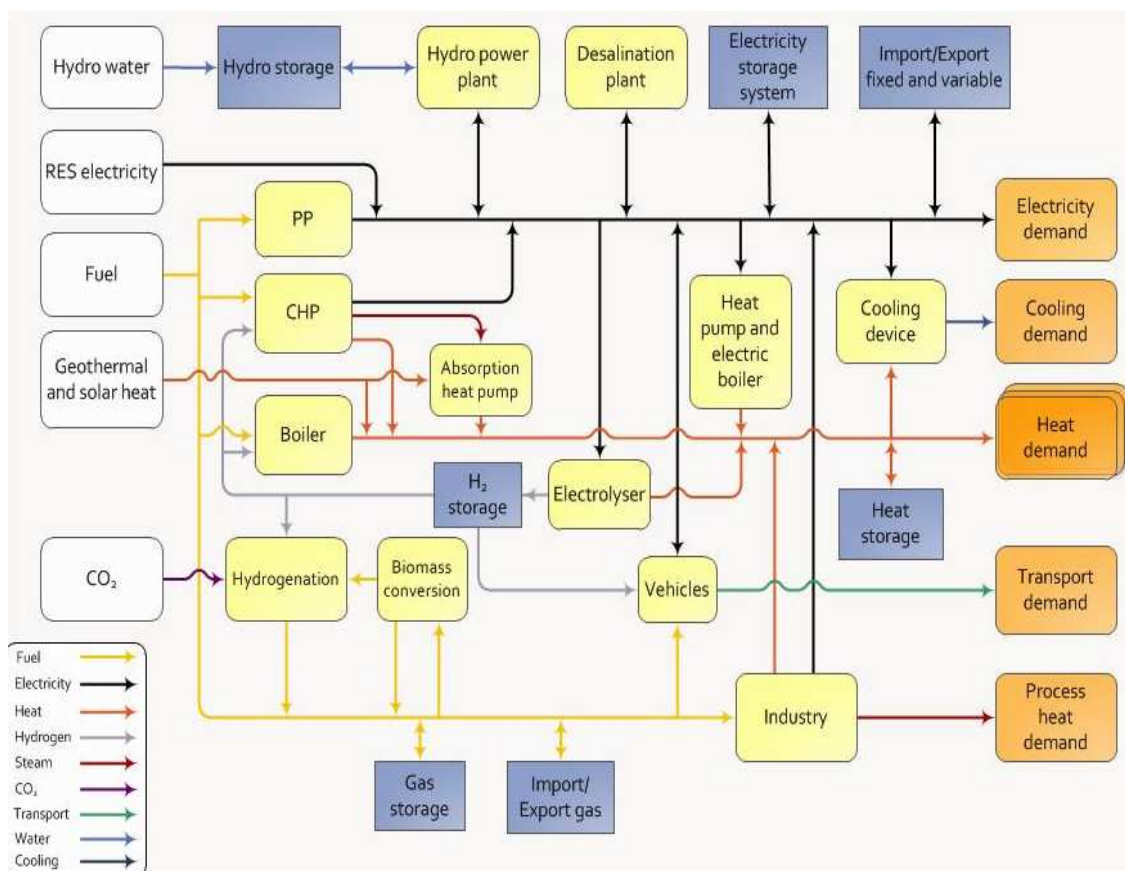
Model je u prvoj verziji razvijen 1999. godine i od samog početka naglašava analizu različitih regulacijske strategije s posebnim fokusom na interakciju između CHP sustava i OIE.

Nadalje, model se temelji na definiranju i analizi ulaznih i izlaznih parametara (eng. *input/output*). Ulazni parametri su potrošnja energije, obnovljivi izvori, kapaciteti instaliranih postrojenja, troškovi i razne regulacijske strategije. Izlazni parametri su energetske bilance, godišnja proizvodnja, potrošnja energije, uvoz i izvoz energije te ukupni troškovi.

Fokus ovog modela je na budućim energetske sustavima i načinu njihovog rada. Također, ističe se kako je model deterministički, što znači da za iste vrijednosti ulaznih parametara, uvijek dobivamo iste izlazne parametre. To je bitna razlika u odnosu na stohastičke modele i modele koji koriste Monte Carlo metodu. On također optimizira upravljanje radom zadanog sustava, a ne investicije u taj sustav. Naravno, analizirajući različite sustave i njihove investicije, moguće je doći do zaključaka o isplativosti.

Konačno, treba napomenuti i kako model radi sa satnim vremenskim korakom, odnosno kako analizira sustav kroz jednu godinu podijeljenu na 8 784 vremenska koraka, što za posljedicu ima mogućnost analize oscilacije OIE na sustav, kao i tjedne i sezonske razlike u zahtjevima za električnom i toplinskom energijom [36].

Slika 12 prikazuje dijagram toka modela.



Slika 12. Dijagram toka EnergyPLAN modela [36]

4.2 Finalna potrošnja energije

U ovom poglavlju prikazan je izračun potrošnje energije po sektorima u Karlovačkoj županiji. Promatrani sektori su promet, kućanstva, usluge, industrija, poljoprivreda i graditeljstvo. Podaci za sektore prometa, kućanstva i usluga dobiveni su iz SEAP-a gradova Karlovca [20], Ogulina [21], Duge Rese [22], Ozlja [23] i Slunja [24], koji ne sadrže podatke za ostala tri sektora, pa je za tu potrebu poslužila publikacija Energija u Hrvatskoj [25]. Svi podaci svedeni su na razinu županije na način koji je prikazan u narednim poglavljima.

4.2.1 Promet

$$E_{prom} = \sum E_{prom,i} \quad (1)$$

Jednadžba (1) prikazuje izračun finalne potrošnje energije u sektoru prometa kao sume potrošnje svakog pojedinog energenta u tom sektoru. Članovi jednadžbe predstavljaju:

- E_{prom} - finalna potrošnja energije u sektoru prometa [J]
- $E_{prom,i}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa [J]
- i - oznaka energenta (dizel, benzin,...)

$$E_{prom,i} = (E_{prom,i_{KA}} + E_{prom,i_{OG}} + E_{prom,i_{DR}} + E_{prom,i_{SL}} + E_{prom,i_{OZ}}) \cdot \frac{V_{\text{žup}}}{V_{\text{grad}}} \quad (2)$$

Potrošnja pojedinog energenta može se izračunati prema jednadžbi (2) čiji članovi predstavljaju:

- $E_{prom,i_{KA}}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Karlovcu [J]
- $E_{prom,i_{OG}}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Ogulinu [J]
- $E_{prom,i_{DR}}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Dugoj Resi [J]
- $E_{prom,i_{SL}}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Slunju [J]
- $E_{prom,i_{OZ}}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa u Ozlju [J]
- $V_{\text{žup}}$ - broj registriranih vozila u županiji [-]
- V_{grad} - broj registriranih vozila u promatranih 5 gradova zajedno [-]

Prikazano je kako se finalna potrošnja energije u sektoru prometa može izračunati zbrajajući potrošnju svakog pojedinog energenta u svakom promatranom gradu, te uvećavajući dobiveni iznos s obzirom na ukupni broj vozila u županiji.

4.2.2 Kućanstva

$$E_{kuć} = \sum E_{kuć,i} \quad (3)$$

Jednadžba (3) prikazuje izračun finalne potrošnje energije u sektoru kućanstva, kao sume potrošnje svakog pojedinog energenta u tom sektoru. Članovi jednadžbe predstavljaju:

- $E_{kuć}$ – finalna potrošnja energije u sektoru kućanstva [J]
- $E_{kuć,i}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva [J]
- i – oznaka energenta (prirodni plin, ogrjevno drvo, električna energija)

$$E_{kuć,i} = (E_{kuć,i_KA} + E_{kuć,i_OG} + E_{kuć,i_DR} + E_{kuć,i_SL} + E_{kuć,i_OZ}) \cdot \frac{Z_{žup}}{Z_{grad}} \quad (4)$$

Potrošnja pojedinog energenta može se izračunati prema jednadžbi (4) čiji članovi predstavljaju:

- $E_{kuć,i_KA}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Karlovcu [J]
- $E_{kuć,i_OG}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Ogulinu [J]
- $E_{kuć,i_DR}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Dugoj Resi [J]
- $E_{kuć,i_SL}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Slunju [J]
- $E_{kuć,i_OZ}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru kućanstva u Ozlju [J]
- $Z_{žup}$ - broj stanovnika županije [-]
- Z_{grad} - broj stanovnika u promatranih 5 gradova zajedno [-]

Prikazano je kako se finalna potrošnja energije u sektoru kućanstva može izračunati zbrajajući potrošnju svakog pojedinog energenta u svakom promatranom gradu, te uvećavajući dobiveni iznos s obzirom na ukupni broj stanovnika u županiji.

4.2.3 Usluge

$$E_{usl} = \sum E_{usl,i} \quad (5)$$

Jednadžba (5) prikazuje izračun finalne potrošnje energije u sektoru usluga, kao sume potrošnje svakog pojedinog energenta u tom sektoru. Članovi jednadžbe predstavljaju:

- E_{usl} – finalna potrošnja energije u sektoru usluga [J]
- $E_{usl,i}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru usl [J]
- i – oznaka energenta (prirodni plin, ogrjevno drvo, električna energija)

$$E_{usl,i} = (E_{usl,i_KA} + E_{usl,i_OG} + E_{usl,i_DR} + E_{usl,i_SL} + E_{usl,i_OZ}) \cdot \frac{Z_{žup}}{Z_{grad}} \quad (6)$$

Potrošnja pojedinog energenta može se izračunati prema jednadžbi (6) čiji članovi predstavljaju:

- $E_{usl,i,KA}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Karlovcu [J]
- $E_{usl,i,OG}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Ogulinu [J]
- $E_{usl,i,DR}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Dugoj Resi [J]
- $E_{usl,i,SL}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Slunju [J]
- $E_{usl,i,OZ}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga u Ozlju [J]

Prikazano je kako se finalna potrošnja energije u sektoru usluga može izračunati zbrajajući potrošnju svakog pojedinog energenta u svakom promatranom gradu, te uvećavajući dobiveni iznos s obzirom na ukupni broj stanovnika u županiji.

4.2.4 Industrija

$$E_{ind} = \sum E_{ind,i} \quad (7)$$

Jednadžba (7) prikazuje izračun finalne potrošnje energije u sektoru industrije, kao sume potrošnje svakog pojedinog energenta u tom sektoru. Članovi jednadžbe predstavljaju:

- E_{ind} - finalna potrošnja energije u sektoru industrije [J]
- $E_{ind,i}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru industrije [J]
- i - oznaka energenta (ugljen, tekuća goriva, električna energija,...)

$$E_{ind,i} = E_{ind,i,DRŽ} \cdot \frac{BDP_{žup}}{BDP_{drž}} \quad (8)$$

Potrošnja pojedinog energenta može se izračunati prema jednadžbi (8) čiji članovi predstavljaju:

- $E_{ind,i,DRŽ}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru industrije u državi [J]
- $BDP_{žup}$ – bruto društveni proizvod po glavi stanovnika u županiji [EUR]
- $BDP_{drž}$ – bruto društveni proizvod po glavi stanovnika u državi [EUR]

Prikazano je kako se finalna potrošnja energije u sektoru industrije izračunava svodeći ukupno potrošnju energije u tom sektoru na razini države koristeći BDP po glavi stanovnika županije, odnosno države.

4.2.5 Poljoprivreda

$$E_{polj} = \sum E_{polj,i} \quad (9)$$

Jednadžba (9) prikazuje izračun finalne potrošnje energije u sektoru poljoprivrede, kao sume potrošnje svakog pojedinog energenta u tom sektoru. Članovi jednadžbe predstavljaju:

- E_{polj} - finalna potrošnja energije u sektoru poljoprivrede [J]
- $E_{polj,i}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru poljoprivrede [J]
- i - oznaka energenta (ugljen, tekuća goriva, električna energija,...)

$$E_{polj,i} = E_{polj,i,DRŽ} \cdot \frac{P_{žup}}{P_{drž}} \quad (10)$$

Potrošnja pojedinog energenta može se izračunati prema jednadžbi (10) čiji članovi predstavljaju:

- $E_{polj,i,DRŽ}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru poljoprivrede u državi [J]
- $P_{žup}$ - obrađivana poljoprivredna površina u županiji [m²]
- $P_{drž}$ - obrađivana poljoprivredna površina u državi [m²]

Prikazano je kako se finalna potrošnja energije u sektoru poljoprivrede izračunava svodeći ukupno potrošnju energije u tom sektoru na razini države koristeći obrađivanu poljoprivrednu površinu u županiji, odnosno državi.

4.2.6 Graditeljstvo

$$E_{grad} = \sum E_{grad,i} \quad (11)$$

Jednadžba (11) prikazuje izračun finalne potrošnje energije u sektoru poljoprivrede, kao sume potrošnje svakog pojedinog energenta u tom sektoru. Članovi jednadžbe predstavljaju:

- E_{grad} - finalna potrošnja energije u sektoru graditeljstva [J]
- $E_{grad,i}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru graditeljstva [J]
- i - oznaka energenta (ugljen, tekuća goriva, električna energija,...)

$$E_{grad,i} = E_{grad,i_DRŽ} \cdot \frac{S_{žup}}{S_{drž}} \quad (12)$$

Potrošnja pojedinog energenta može se izračunati prema jednadžbi (12) čiji članovi predstavljaju:

- $E_{grad,i_DRŽ}$ - potrošnja pojedinog energenta u sektoru graditeljstva u državi [J]
- $S_{žup}$ - broj novoizgrađenih stanova u županiji [-]
- $S_{drž}$ - broj novoizgrađenih stanova u državi [-]

Prikazano je kako se finalna potrošnja energije u sektoru graditeljstva izračunava svodeći ukupno potrošnju energije u tom sektoru na razini države koristeći broj novoizgrađenih stanova u županiji, odnosno državi.

5. SCENARIJI

U ovom radu razrađena su tri scenarija razvoja energetskeg sustava. Prvi scenarij je izrađen prema planu županije i trenutnim trendovima, dok su u preostala dva uvedene mjere povećane penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava. Osim samih scenarija razvoja energetskeg sustava, u okviru ovog poglavlja prikazan je i scenarij za referentnu godinu i korištene distribucijske krivulje.

5.1 Scenarij za referentnu godinu

Proračunom finalne potrošnje prikazanim u poglavlju 4.2 dobio se scenarij za referentnu godinu. Za referentnu godinu je odabrana 2009. s obzirom na to da je većina korištenih podataka o potrošnji energije za gradove iz 2009. godine, a to su ujedno i najnoviji dostupni podaci. Scenarij za referentnu godinu poslužio je kao validacija ulaznih podataka i krivulja te da bi se postavila referenca u odnosu na koju se mogu uspoređivati kasnije kreirani scenariji. Finalna potrošnja energije po sektorima u referentnoj godini, kao i instalirana postrojenja prikazani su u tablicama 6 i 7.

Tablica 6. Potrošnja pojedinih energenata po sektorima u referentnoj godini [GWh]

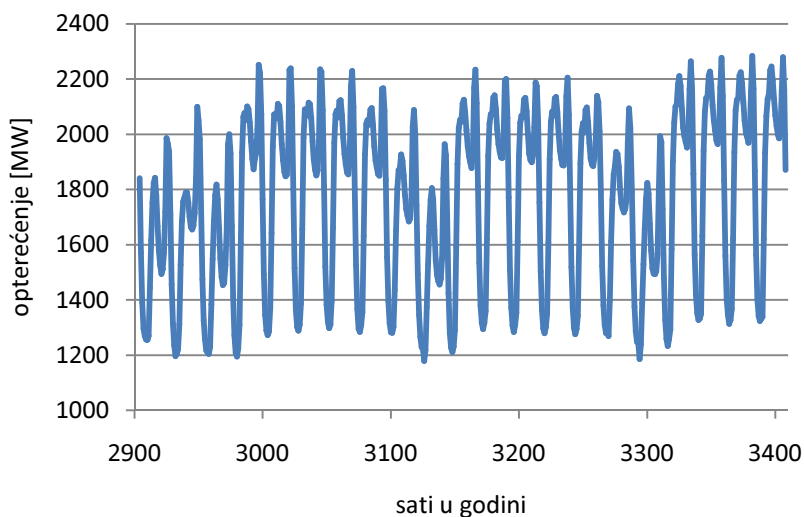
	Promet	Kućanstva	Usluge	Industrija	Poljoprivreda	Graditeljstvo
Ugljen	0	0	0	46,54	0	0
Tekuća goriva	295,71	208,72	351,44	61,22	18,95	18,67
Prirodni plin	0	11,45	11,50	87,97	1,26	0
Biomasa	0	368,86	319,29	15,36	0,00	0
Električna energija	3,99	217,69	148,91	71,45	0,51	3,54
Para i vrela voda	0	67,66	17,12	0	0	0
Ukupno po sektorima	299,70	874,38	848,25	282,54	20,73	22,21
Ukupno				2347,81		

Tablica 7. Instalirani kapaciteti u referentnoj godini [kW]

Protočne hidroelektrane	Akumulacijsko/protočne hidroelektrane	Fotonaponske elektrane	Toplana
5 500	97 790	70	116 000

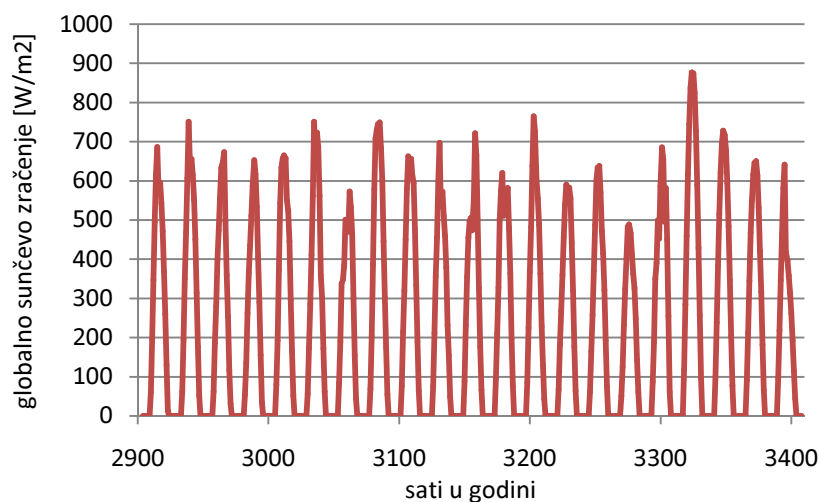
5.2 Distribucijske krivulje

Za analizu sustava u EnergyPLAN-u potrebno je izraditi distribucijske krivulje elektroenergetskog opterećenja, toplinskog opterećenja, dobave vode za hidroelektrane, sunčevog zračenja i brzine vjetra.



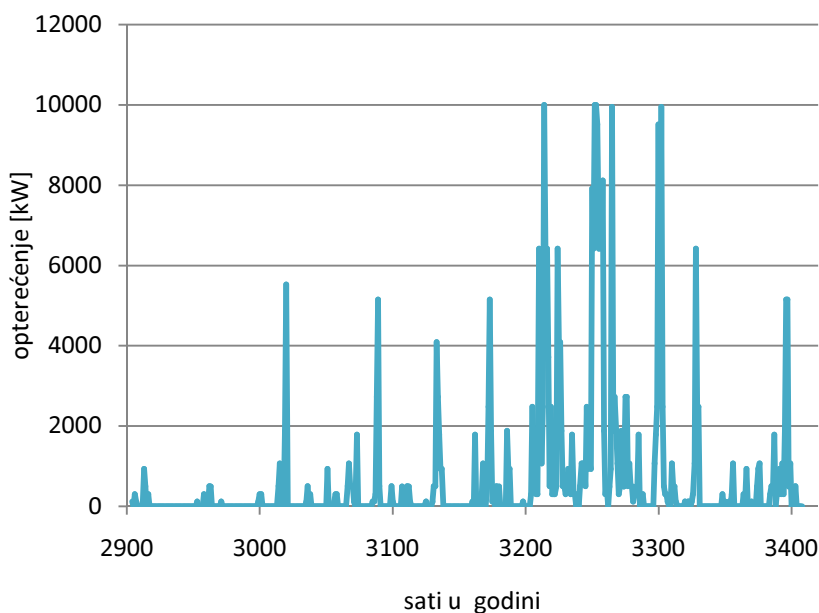
Slika 13. Distribucijska krivulja elektroenergetskog opterećenja

Slika 13 prikazuje distribucijsku krivulju elektroenergetskog opterećenja u Republici Hrvatskoj za prva tri tjedna svibnja 2009. godine. Krivulja je dobivena prema podacima Europske mreže operatora prijenosnih sustava za električnu energiju (ENTSO-E) [37]. Korišteni su podaci za Republiku Hrvatsku zato što podaci za županije ne postoje. EnergyPLAN skalira krivulje na razinu županije tako da tijekom krivulje ostaje isti, ali potrošnju energije skalira na razinu županije s obzirom na unesene podatke o potrošnji.



Slika 14. Distribucijska krivulja satnog sunčevog zračenja

Slika 14 prikazuje distribucijsku krivulju satnog sunčevog zračenja u Karlovačkoj županiji za prva tri tjedna svibnja 2009. godina. Podaci su dobiveni iz METEONORM-a [38]. Dobivena je satna globalna količina sunčevog zračenja na horizontalnu plohu te zračenja pod optimalnim kutem za gradove Karlovac, Ogulin, Ozalj i Slunj. Vrijednost za svaki grad određena je kao srednja vrijednost između ta dva podatka. Konačna krivulja za županiju dobivena je kao osrednjena vrijednost podataka za sva četiri grada.

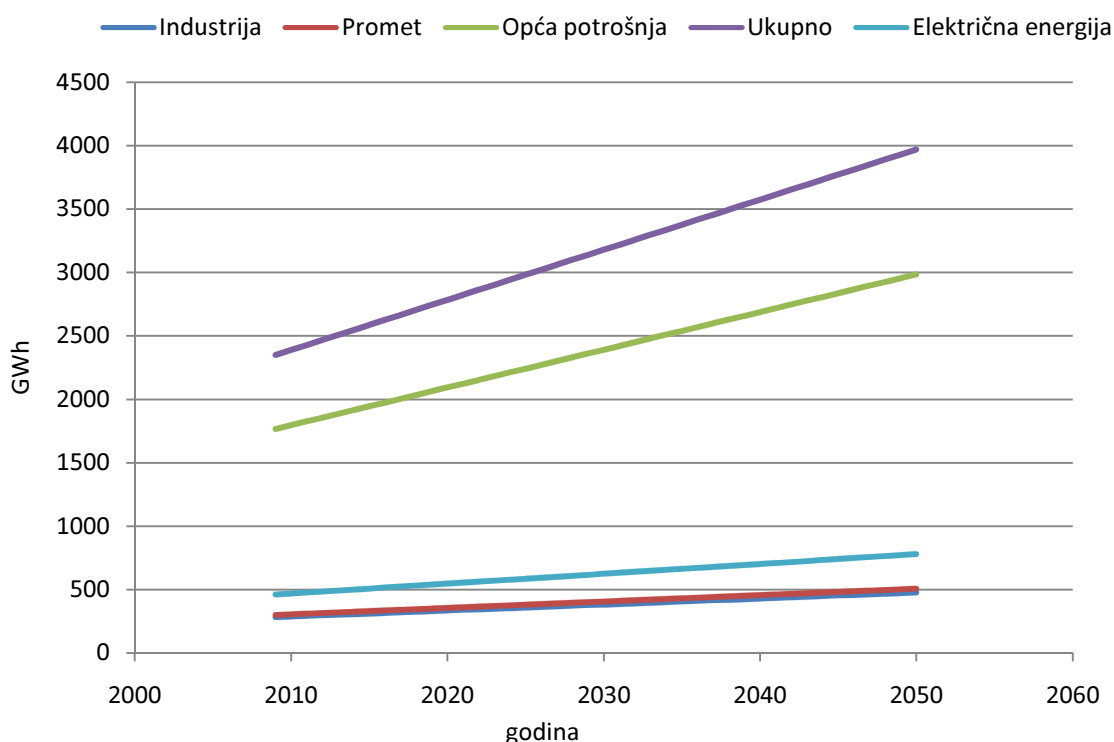


Slika 15. Distribucijska krivulja opterećenja vjetroelektrana

Slika 15 prikazuje distribucijsku krivulju opterećenja vjetroelektrana u Karlovačkoj županiji za prva tri tjedna svibnja 2009. godine. Podaci su također dobiveni iz METEONORM-a. [38]. Dobiveni su podaci o brzini vjetra na 10 metara u gradovima Karlovcu, Ogulinu, Slunju i Ozlju koji su preračunati na visine od 80 i 100 m. Konačna krivulja dobivena je koristeći krivulje snage za turbine od 2 MW, 3 MW i 5 MW.

5.3 Temeljni scenarij

Temeljni scenarij napravljen je prema planu županije i trenutnim trendovima. S obzirom na to da ne postoje konkretni podaci o detaljnom razvoju energetskeg sustava Karlovačke županije, napravljena su predviđanja po principu „business as usual“. Predviđanja su napravljena koristeći dostupne podatke o prosječnoj potrošnji energije na razini EU28 koje daje Međunarodna Energetska Agencija [39]. Prosječna potrošnja električne energije po stanovniku na razini EU28 u 2010. godini iznosila je 6,28 MWh/stanovniku, a u Karlovačkoj županiji u referentnoj godini 3,58 MWh/stanovniku, pa se ciljalo da se prosjek EU28 dostigne u 2050. godini. Nakon što se dobio podatak o potrošnji električne energije u 2050. godini, podaci za razdoblje 2009. – 2050. dobiveni su interpolacijom između ove dvije godine. Predviđanja o potrošnji energije po sektorima dobivena su tako što se koristio isti prirast kao i izračunati prirast potrošnje električne energije. Na kraju se usporedila dobivena ukupna potrošnja energije po stanovniku u županiji od 32,62 MWh/stanovniku s prosjekom EU28 od 39,66 MWh/stanovniku. Treba napomenuti kako opća potrošnja obuhvaća sektore kućanstva, usluga, poljoprivrede i graditeljstva. Detaljni rezultati predviđanja prikazani su na slici 16.



Slika 16. Predviđanja potrošnje energije po sektorima i potrošnje električne energije

Za potrebe analize scenarija u EnergyPLAN-u podaci su morali biti prilagođeni. Podaci sektorske potrošnje kućanstva i usluga su zbrojeni i uneseni pod stavku *Individual* (Pojedinačna potrošnja) u EnergyPLAN-u, sektorske potrošnje industrije, poljoprivrede i graditeljstva su također zbrojene i unesene pod stavku *Industry* (Industrija), dok se podaci za sektor prometa nisu posebno prilagođavali nego su uneseni pod stavku *Transport* (Promet). Podaci koji su se unosili u EnergyPLAN za potrebe analize temeljnog scenarija prikazani su u tablici 8.

Tablica 8. Podaci o potrošnji energije korišteni u EnergyPLAN-u [GWh]

	2009.	2020.	2030.	2050.
Pojedinačna potrošnja				
Tekuća goriva	560,16	663,85	758,12	946,66
Prirodni plin	22,94	27,19	31,05	38,78
Biomasa	688,15	815,54	931,34	1162,96
Električno grijanje	57,32	67,93	77,58	96,87
Industrija				
Ugljen	46,54	55,15	62,98	78,65
Tekuća goriva	98,84	117,14	133,77	167,04
Prirodni plin	89,23	105,75	120,77	150,81
Biomasa	15,36	18,20	20,79	25,96
Promet				
Dizel	163,09	193,28	220,72	275,61
Motorni benzin	130,06	154,14	176,03	219,81
UNP	2,56	3,03	3,46	4,32

Tablica 9. Tipovi postrojenja i njihove snage korištene u temeljnom scenariju [kW]

	2009.	2020.	2030.	2050.
Protočne hidroelektrane	5 500	5 500	5 760	5 920
Akumulacijsko/protočne hidroelektrane	97 790	97 790	97 790	97 790
Fotonaponske elektrane	70	120	170	220
Vjetroelettrane	0	0	0	0
CHP na biomasu	0	700	2 550	8 440
Toplana	116 000	116 000	116 000	116 000

Tablica 9 prikazuje tipove postrojenja korištene u analizi ovog scenarija u EnergyPLAN-u. Podaci o trenutnim postrojenjima dobiveni su od HEP-a i Ministarstva gospodarstva, dok su podaci za buduća postrojenja procijenjeni prema zahtjevima predanim ministarstvu gospodarstva.

Od trenutno predanih zahtjeva, procijenjeno je da će se do 2050. godine izgraditi 3 protočne male hidroelektrane ukupne snage 0,42 MW, i to jedna do 2030., te još dvije do 2050. godine. Također, procijenjeno je da će se svi predani zahtjevi za fotonaponske elektrane (0,05 MW) ostvariti do 2020. godine, te da će se još toliko snage izgraditi do 2030., kao i do 2050. godine. Što se elektrana na biomasu tiče, one su sve kogeneracijske i pretpostavljeno je da će se svi predani zahtjevi, ukupno 8,44 MW, postepeno ostvariti do 2050. godine.

Treba još napomenuti kako je gorivo korišteno za proizvodnju toplinske energije u Toplani u 2009. u sva tri kotla bilo lož ulje, u 2020. zbog planirane plinifikacije sustava jedan kotao koristi plin, u 2030. dva kotla koriste plin, dok je u 2050. cijelo postrojenje plinificirano. Snaga i proizvodnja toplinske energije su konstantne tijekom cijelog promatranog razdoblja.

5.4 Scenarij unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava

Ovaj scenarij izrađen je u cilj analize utjecaja povećane penetracije centraliziranih toplinskih sustava na energetske sustav Karlovačke županije. U obzir se uzimala jedino mogućnost izgradnje centraliziranog toplinskog sustava u gradu Karlovcu. Udio potrošnje toplinske energije iz centraliziranih toplinskih sustava u gradu je u referentnoj godini iznosio 13,71%. Scenarij je izrađen tako što se ciljalo da taj udio naraste na 20% u 2020., 30% u 2030. i 50% u 2050. godini. Predviđanja o potrošnji energije u sektorima industrije i prometa preuzeti su iz temeljnog scenarija, dok su podaci o pojedinačnoj potrošnji prilagođeni tako što je predviđena potrošnja svakog pojedinog energenta smanjena u odnosu na predviđanja u temeljnom scenariju na račun penetracije centraliziranih toplinskih sustava. Detaljni podaci o pojedinačnoj potrošnji korišteni u EnergyPLAN-u prikazani su u tablici 10.

Tablica 10. Podaci o pojedinačnoj potrošnji korišteni u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava u EnergyPLAN-u [GWh]

	2020.	2030.	2050.
Pojedinačna potrošnja			
Tekuća goriva	628,33	660,48	698,12
Prirodni plin	26,38	28,84	33,14
Biomasa	778,58	829,75	904,36
Električno grijanje	64,45	68,01	72,51

Tablica 11 prikazuje postrojenja korištena u EnergyPLAN-u. Podaci o hidroelektranama, fotonaponskim elektranama i kogeneracijama na biomasu također su preuzeti iz temeljnog scenarija. Ono što je dodatno uvedeno su plinska CHP postrojenja i toplinske pumpe.

Kapaciteti su im prilagođavani tako da se zadovolje spomenuti zahtjevi za toplinskom energijom iz centraliziranih toplinskih sustava u pojedinoj godini. Također, plinifikacija Toplane provodila se jednakom dinamikom kao i u temeljnom scenariju.

Tablica 11. Tipovi postrojenja i njihove snage korišteni u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava [kW]

	2020.	2030.	2050.
Protočne hidroelektrane	5 500	5 760	5 920
Akumulacijsko/protočne hidroelektrane	97 790	97 790	97 790
Fotonaponske elektrane	120	170	220
Vjetroelektrane	0	0	0
CHP	21 000	56 000	141 000
Toplinske pumpe	0	0	4 700
Toplana	116 000	116 000	116 000

5.5 Scenarij visoke penetracije obnovljivih izvora energije i centraliziranih toplinskih sustava

Ovaj scenarij izrađen je u cilju analize utjecaja povećane penetracije OIE i visokog udjela centraliziranih toplinskih sustava na energetske sustav Karlovačke županije. Udio sustava centraliziranih toplinskih sustava u ovom scenariju je dodatno povećan u odnosu na scenarij unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava. Naime, pretpostavilo se da će se centralizirani toplinski sustavi, osim u Karlovcu, razvijati i u Ogulinu te Dugoj Resi. Ta tri grada zajedno čine gotovo 63% ukupnog stanovništva županije, a udio potrošnje toplinske energije iz centraliziranih toplinskih sustava u referentnoj godini u tim gradovima iznosio je 11,32%. U ovom scenariju se ciljalo da taj udio bude 20% u 2020., 30% u 2030. te 50% u 2050. godini. Podaci o potrošnji energije u sektorima industrije i prometa preuzeti su iz temeljnog scenarija, dok su podaci o pojedinačnoj potrošnji prilagođeni na isti način kao i u prethodnom scenariju. Detaljni podaci o potrošnji energije u tom sektoru korišteni u EnergyPLAN-u prikazani su u tablici 12.

Tablica 12. Podaci o pojedinačnoj potrošnji korišteni u scenariju visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava u EnergyPLAN-u [GWh]

	2020.	2030.	2050.
Pojedinačna potrošnja			
Tekuća goriva	613,39	629,52	634,73
Prirodni plin	25,87	27,69	30,63
Biomasa	758,03	784,47	806,72
Električno grijanje	61,44	60,99	56,64

Kapaciteti plinskih CHP sustava ponovno su prilagođavani tako da se zadovolje zahtjevi za toplinskom energijom iz tih sustava. U ovom scenariju je dodatno proveden i prijelaz dijela postojeće Toplane u CHP sustav. U 2030. godini jedan od tri kotla prelazi u CHP, dok od preostala dva jedan kao gorivo koristi prirodni plin, jedan lož ulje, a u 2050. godini još jedan kotao prelazi u CHP te je ostatak Toplane plinificiran.

Osim centraliziranih toplinskih sustava, u ovom scenariju korištena je i povećana penetracija OIE. Prije svega treba napomenuti kako se analizom brzine vjetra i krivulje opterećenja vjetroelektrana u Karlovačkoj županiji, prikazane na slici 15, došlo do zaključka kako vjetroelektrane nemaju velikog potencijala u ovoj županiji. Naime, prosječna brzina vjetra od oko 1,5 m/s i faktor opterećenja koji ne prelazi 5% predstavljaju premale vrijednosti da bi izgradnja vjetroelektrana bila ekonomski opravdana. Zbog toga vjetroelektrane ni u ovom scenariju nisu korištene. Ono što je korišteno su solarne fotonaponske elektrane, toplinske pumpe i solarno termalno grijanje. Kombinacijom ova tri sustava nastojalo se postići smanjenje uvoza električne energije u odnosu na scenarij unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava za 15% u 2020., 30% u 2030. te 50% u 2050. godini. Cilj je također bio i da izvoz električne energije ne prelazi 5% ukupne potrošnje električne energije. Podaci o postrojenjima korištenim u ovom scenariju prikazani su u tablici 13.

Tablica 13. Tipovi postrojenja i njihove snage korišteni u scenariju visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava

	2020.	2030.	2050.
Protočne hidroelektrane	5 500	5 760	5 920
Akumulacijsko/protočne hidroelektrane	97 790	97 790	97 790
Fotonaponske elektrane	12 000	34 000	117 400
Vjetroelektrane	0	0	0
CHP	31 000	79 000	150 000
Toplinske pumpe	0	0	15 400
Toplana	116 000	78 000	38 000

6. REZULTATI I DISKUSIJA

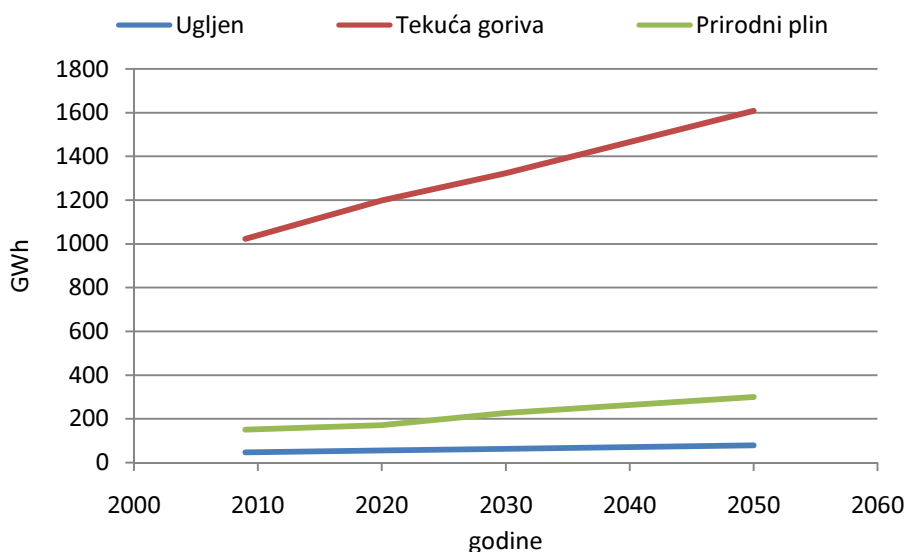
6.1 Validacija scenarija za referentnu godinu

Tablica 14 prikazuje usporedbu rezultata scenarija za referentnu godinu izračunatih pomoću SEAP-a gradova [20,21,22,23,24] i dobivenih u EnergyPLAN-u. Jedino znatno odstupanje odnosi na emisije CO₂ i ono iznosi 7,16%. Ta razlika je posljedica toga što SEAP-i ne sadrže nikakve podatke o sektorima industrije, poljoprivrede i graditeljstva, pa tako ni podatke o emisijama iz tih sektora. Zbog toga je na iznos emisija izračunatih pomoću SEAP-a dodan iznos prosječnih emisija iz sektora industrije i graditeljstva u Republici Hrvatskoj dostupnih u publikaciji Energija u Hrvatskoj [25] sveden na razinu županije koristeći BDP/stanovniku županije i države [18]. Također je prikazana usporedba ukupne potrošnje električne energije i toplinske energije iz toplane dobivene u referentnom scenariju s podacima dostupnim u publikaciji Energija u Hrvatskoj [25]. Potrošnje energije u općoj potrošnji, sektoru industrije i sektoru prometa potpuno su jednake u oba slučaja. Usporedbom rezultata može se zaključiti da se krivulje korištene u analizi referentnog scenarija mogu koristiti i za ostale scenarije.

Tablica 14. Usporedba rezultata

	Scenarij za referentnu godinu	EnergyPLAN	Razlika
Pojedinačna potrošnja [GWh]	1271,25	1271,25	0%
Industrija [GWh]	249,97	249,97	0%
Promet [GWh]	295,71	295,71	0%
Emisije CO₂ (bez uvoza) [kt]	346,01	321,25	7,16%
	Scenarij za referentnu godinu	Podaci iz Energije u Hrvatskoj	Razlika
Potrošnja električne energije [GWh]	460,99	441	4,34%
Potrošnja toplinske energije iz toplane [GWh]	84,78	87	2,62%

6.2 Rezultati temeljnog scenarija



Slika 17. Kretanje potrošnje fosilnih goriva u temeljnom scenariju

Slika 17 prikazuje kretanje potrošnje fosilnih goriva u temeljnom scenariju. Prikazani iznosi odnose se na goriva koja se troše po sektorima te za proizvodnju toplinske energije u centraliziranim toplinskim sustavima. Primjećuje se da je nakon 2020. godine porast potrošnje tekućih goriva nešto blaži, a prirodnog plina nagliji što je posljedica spomenute plinifikacije Toplane.

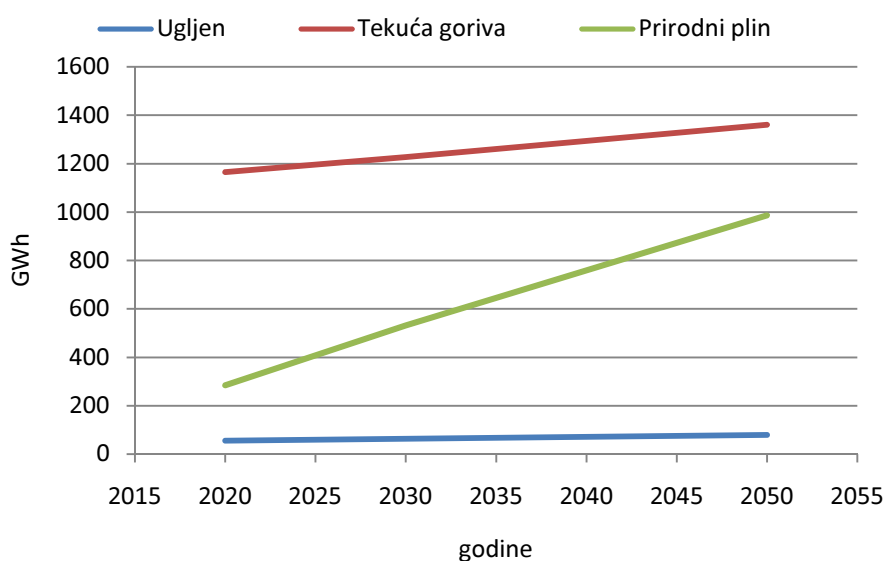
Tablica 15. Rezultati temeljnog scenarija [GWh]

	2009.	2020.	2030.	2050.
Potrošnja biomase	703,51	834,76	955,85	1201,26
Proizvodnja iz OIE (bez biomase)	20,33	20,40	21,42	22,07
Proizvodnja iz velikih hidroelektrana	237,60	237,6	237,60	237,60
Proizvodnja el. energije iz CHP	0	0,41	1,49	4,94
Proizvodnja toplinske energije iz CHP	0	0,51	1,86	6,71
Ukupna potrošnja električne energije	460,99	546,33	623,92	779,08
Uvoz električne energije	203,06	287,92	363,41	514,47
Izvoz električne energije	0	0	0	0
Emisije CO₂ bez uvoza [kt]	321,25	373,31	420,37	516,83
Emisije CO₂ s uvozom [kt]	397,60	481,57	557,01	710,27

Tablica 15 prikazuje ostale rezultate temeljnog scenarija. Prikazana potrošnja biomase, osim potrošnje po sektorima, uključuje i potrošnju u CHP postrojenjima. Udio električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora raste sa 7,89% u 2009. godini na 8,34% u 2050. godini, dok se ostatak povećanja ukupne potrošnje električne energije pokriva povećanjem uvoza. Kroz cijeli period primjećuje se i blago povećanje proizvodnje električne i toplinske energije iz CHP sustava na biomasu. Treba napomenuti kako se u ovom scenariju kroz cijelo promatrano razdoblje ne pojavljuje izvoz električne energije.

Prikazan je i konstantni porast emisija uzrokovan sve većom potrošnjom fosilnih goriva poput lož ulja i plina za grijanje, ugljena u industriji te benzina i dizela u prometu. Također, udio OIE, izuzev biomase koja je i u referentnoj godini zauzimala značajan udio, nije se značajno povećao. Emisije bez uvoza su zbog toga u 2050. godini veće za 60,88%, a emisije s uvozom (uračunate i emisije CO₂ od uvoza električne energije) za 78,64% u odnosu na 2009. Omjer emisija s uvozom i bez uvoza povećava se kroz cijelo promatrano razdoblje s obzirom na konstantni porast uvoza električne energije.

6.3 Rezultati scenarija unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava



Slika 18. Kretanje potrošnje fosilnih goriva u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava

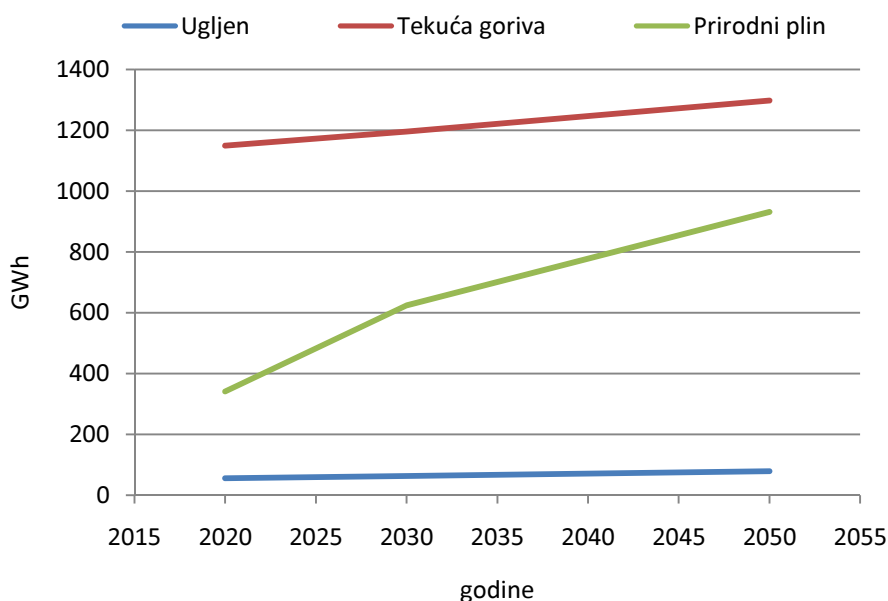
Slika 18 prikazuje kretanje potrošnje fosilnih goriva u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava. Može se primijetiti vrlo nagli porast potrošnje prirodnog plina što je posljedica postepenog uvođenja novih CHP postrojenja i manjim dijelom plinifikacije Toplane. Zbog toga potrošnja tekućih goriva raste znatno sporije nego u temeljnom scenariju i u svim promatranim godinama je manja nego u temeljnom scenariju. Promjena potrošnje ugljena jednaka je kao u temeljnom scenariju.

Tablica 16. Rezultati scenarija unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava [GWh]

	2020.	2030.	2050.
Potrošnja biomase	800,64	865,33	974,46
Proizvodnja iz OIE (bez biomase)	20,40	21,42	22,07
Proizvodnja iz velikih hidroelektrana	237,60	237,60	237,60
Proizvodnja el. energije iz CHP	46,79	128,63	294,26
Proizvodnja toplinske energije iz CHP	58,49	160,79	367,83
Proizvodnja toplinske energije iz toplinskih pumpi	0	0	34,11
Ukupna potrošnja električne energije	546,33	623,92	790,88
Uvoz električne energije	241,71	246,39	274,25
Izvoz električne energije	0,17	10,12	38,27
Emisije CO₂ bez uvoza [kt]	386,77	456,53	590,62
Emisije CO₂ s uvozom [kt]	477,65	549,17	693,94

Tablica 16 prikazuje ostale rezultate scenarija unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava. Ono što ovdje treba primijetiti u odnosu na temeljni scenarij je znatno povećanje proizvodnje električne i toplinske energije iz CHP postrojenja. Ukupna potrošnja električne energije ostaje ista kao u temeljnom scenariju, osim u 2050. godini kada se zbog uvođenja toplinskih pumpi poveća za 1,5%. Posljedica lokalnog povećanja proizvodnje električne energije je značajno smanjenje uvoza u odnosu na temeljni scenarij, međutim uvoz svejedno polagano raste kroz godine. Pojavljuje se i izvoz, koji iznosi 0,031% ukupne potrošnje električne energije u 2020., 1,62% u 2030. i 4,83% u 2050. godini. Emisije CO₂ i u ovom scenariju rastu kroz cijeli promatrani period. Međutim, taj porast je manji nego u temeljnom scenariju pa tako emisije bez uvoza u 2050. narastu za 52,71% u odnosu na 2009. godinu dok emisije s uvozom narastu za 45,28%. To je također posljedica značajnog smanjenja uvoza električne energije.

6.4 Rezultati scenarija visoke penetracije obnovljivih izvora energije i centraliziranih toplinskih sustava



Slika 19. Kretanje potrošnje fosilnih goriva u scenariju visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava

Slika 19 prikazuje kretanje potrošnje fosilnih goriva u ovom scenariju. Potrošnja ugljena jednaka je kao i u prethodna dva scenarija s obzirom na to da se ugljen koristi isključivo u sektoru industrije za koji su korišteni isti podaci u svim scenarijima. Ovdje se može primijetiti dodatno smanjenje potrošnje tekućih goriva u svim godinama, dok je potrošnja prirodnog plina u 2020. i 2030. godini veća u odnosu na scenarij unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava zbog još većeg udjela plinskih CHP sustava. Međutim, uvođenje toplinskih pumpi i solarnog termalnog grijanja u 2050. godini uzrokuje nešto blaži rast potrošnje prirodnog plina u periodu 2030. – 2050. da bi u 2050. godini ta potrošnja bila manja nego u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava u istoj godini.

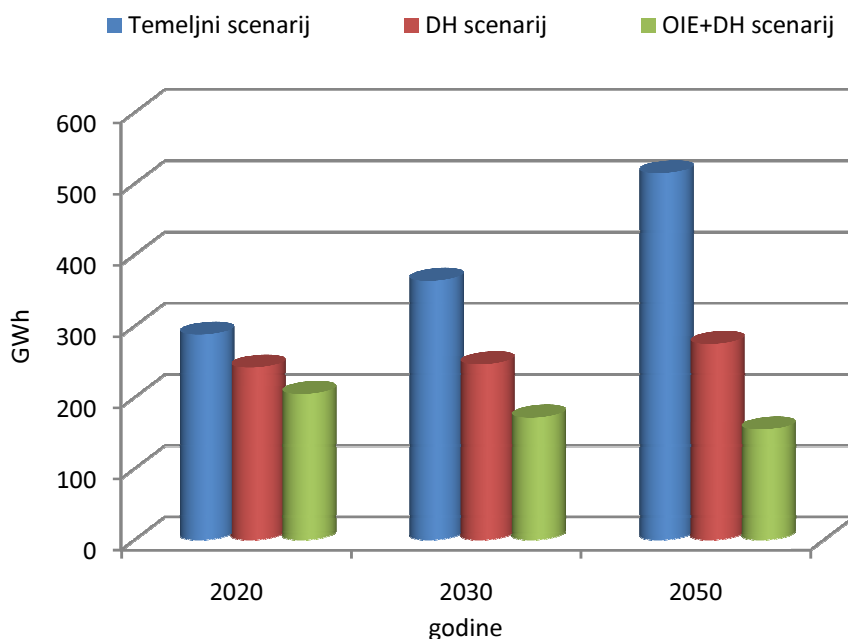
Tablica 17. Rezultati scenarija visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava

	2020.	2030.	2050.
Potrošnja biomase	780.26	819.69	874.82
Proizvodnja iz OIE (bez biomase)	36.15	66.29	177.5
Proizvodnja iz velikih hidroelektrana	237.6	237.6	237.6
Proizvodnja el. energije iz CHP	70.16	180.25	310.02
Proizvodnja toplinske energije iz CHP	87.7	225.31	376.28
Proizvodnja toplinske energije iz toplinskih pumpi	0	0	159.53
Proizvodnja toplinske energije iz solarnih termalnih sustava	0	0	10.47
Ukupna potrošnja električne energije	546.33	623.92	831.82
Uvoz električne energije	204.61	171.41	154.8
Izvoz električne energije	2.19	31.63	38.68
Emisije CO₂ bez uvoza [kt]	394,60	467,36	562,58
Emisije CO₂ s uvozom [kt]	471,53	531,81	620,78

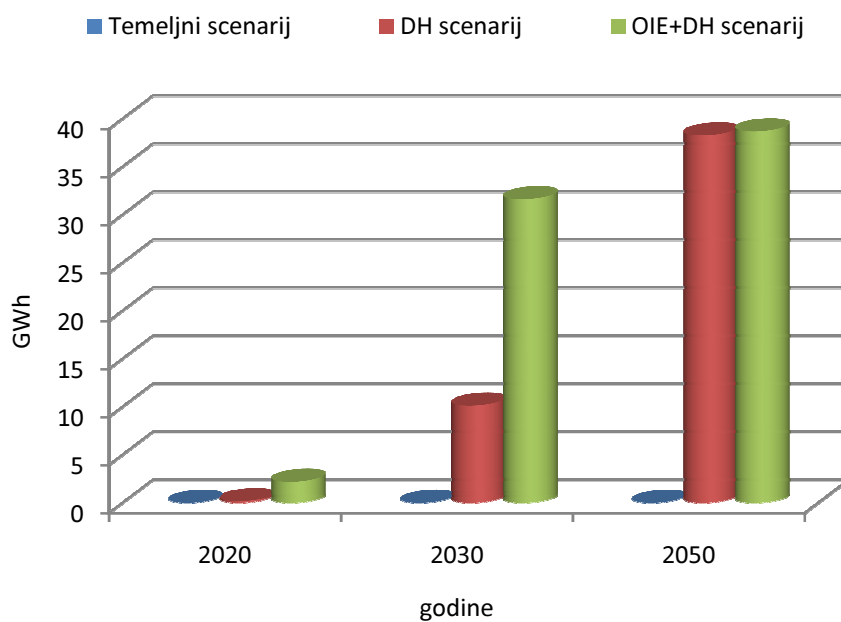
Tablica 17 prikazuje ostale rezultate scenarija visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava. U ovom scenariju primjećuje se znatno veći udio električne energije proizvedene u županiji iz OIE, koji iznosi 10,51% u 2020., 13,69% u 2030. te 24,48% u 2050. godini. Također, zbog još veće penetracije CHP sustava, povećana je proizvodnja toplinske i električne energije iz tih sustava. Povećanje potrošnje električne energije od 6,78% u 2050. godini u odnosu na temeljni scenarij uzrokovana je uvođenjem toplinskih pumpi. Spomenuto znatno povećanje lokalne proizvodnje električne energije ima za posljedicu dodatno smanjenje uvoza, koji u ovom scenariju, za razliku od ostalih, pada kroz promatrani period. Emisije CO₂ ponovno konstantno rastu zbog povećane potrošnje fosilnih goriva koja je prisutna i u ovom scenariju. Taj porast je dodatno smanjen u odnosu na prethodni scenarij što je posljedica sve veće penetracije OIE i smanjenja uvoza električne energije. Tako su emisije bez uvoza narasle za 42,57%, a emisije s uvozom za 31,65%.

6.5 Usporedba scenarija

U ovom poglavlju prikazana je usporedba najvažnijih dijelova rezultata svih scenarija. Prikazana je usporedba uvoza i izvoza električne energije, emisija CO₂ s uvozom te udjela električne energije proizvedene iz OIE.



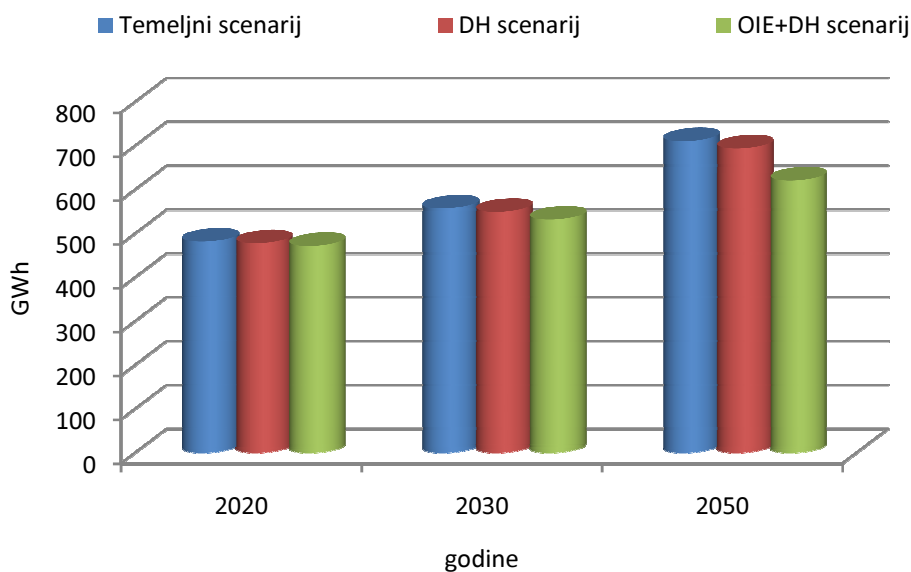
Slika 20. Usporedba uvoza električne energije



Slika 21. Usporedba izvoza električne energije

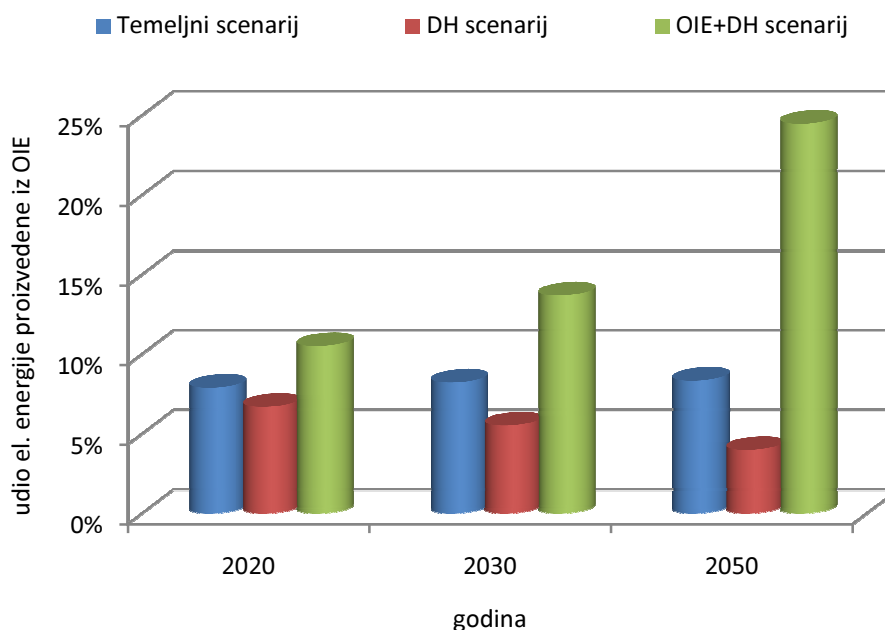
Slika 20 prikazuje kretanje količine uvezene električne energije po scenarijima. Zbog stalnog rasta potrošnje energije, u temeljnom scenariju primjećuje se vrlo nagli rast uvoza električne energije od čak 78,68% u razdoblju 2020. – 2050., s obzirom na to da u tom scenariju nije uvedena velika količina dodatnih postrojenja za proizvodnju električne energije. Uvođenjem CHP sustava u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava uvoz raste znatno manje i ovdje porast iznosi tek 13,68% u istom razdoblju. Konačno, visokom penetracijom OIE uz korištenje CHP sustava uvoz električne energije je znatno manji i on u posljednjem scenariju pada kroz cijelo promatrano razdoblje, pa tako u 2050. godini iznosi 76% uvoza u 2009. godini.

Izvoz nije zabilježen jedino u temeljnom scenariju. Kao što je već spomenuto, ostala dva scenarija su kreirana tako da se ciljalo da izvoz električne energije ne prelazi 5% ukupne potrošnje energije u toj godini. U oba scenarija izvoz raste kroz promatrano razdoblje da bi u 2050. godini dosegao udio od 4,84%, odnosno 4,65% ukupne potrošnje električne energije. Kretanje izvoza prikazano je na slici 21.



Slika 22. Usporedba emisija CO₂ s uvozom

Emisije CO₂ s uvozom su očekivano manje u scenarijima u kojima se više energije proizvede lokalno u CHP sustavima, kao što prikazuje slika 22. Uzrok tome je visoka efikasnost tih sustava, ali i smanjenje uvoza električne energije. Emisije s uvozom računane su tako što je na emisije bez uvoza dodana vrijednost dobivena pomoću faktora emisija CO₂ po jedinici uvezene električne energije koji prema podaci HEP-a iznosi 0,376 kg CO₂/kWh [40]. Taj postupak je korišten u svim scenarijima.

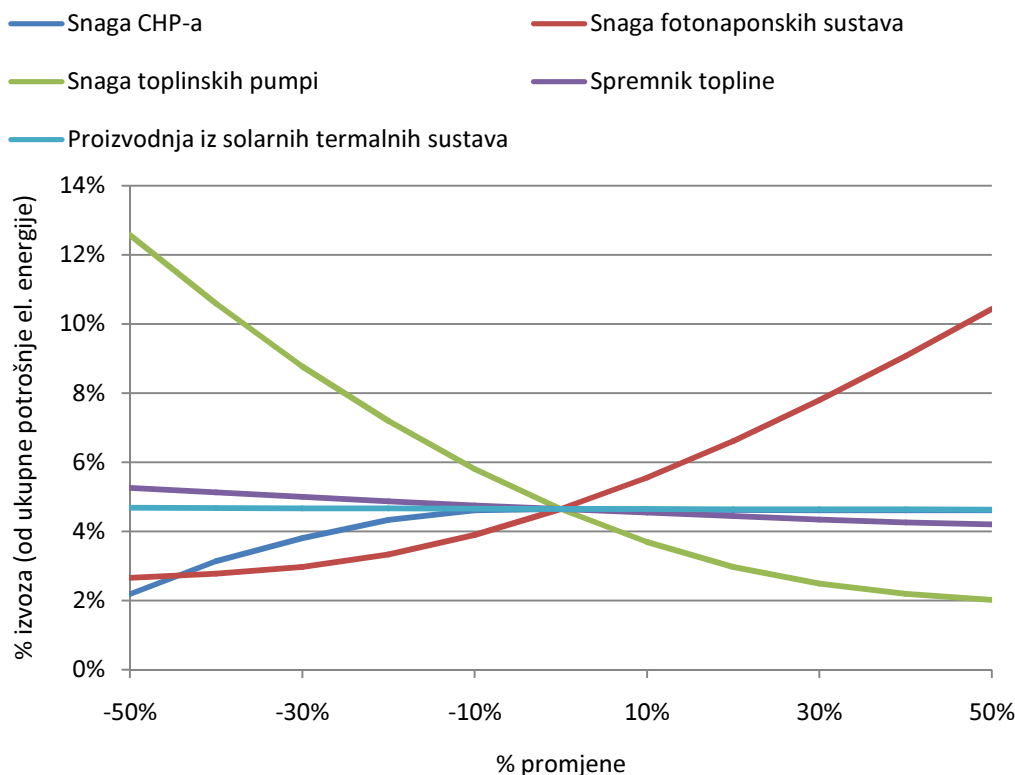


Slika 23. Usporedba udjela električne energije proizvedene iz OIE

Konačno, slika 23 prikazuje udio električne energije proizvedene iz OIE u pojedinim scenarijima. U temeljnom scenariju taj udio vrlo blago raste, dok u scenariju unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava čak i pada s obzirom na povećanje udjela električne energije proizvedene iz CHP sustava. U posljednjem scenariju bilježi se znatan porast proizvodnje iz OIE s obzirom na ugradnju velike količine fotonaponskih sustava. U 2050. godini taj udio iznosi gotovo 25% ukupne proizvodnje električne energije u županiji.

6.6 Analiza osjetljivosti

U ovom poglavlju prikazan je utjecaj različitih korištenih tehnologija na izvoz električne energije. Povoljnom kombinacijom tih tehnologija bilo je moguće ostvariti zahtjev da izvoz električne energije ne prelazi 5% ukupne potrošnje električne energije. Snage i kapaciteti instalirani u scenariju visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava u 2050. godini pojedinačno su povećavani i smanjivani za 10%, 20%, 30%, 40% i 50% te je promatrano kretanje izvoza električne energije u tim slučajevima.



Slika 24. Promjena izvoza u ovisnost o različitim tehnologijama

Slika 24 prikazuje promjenu udjela izvoza ukupnoj potrošnji električne energije u ovisnosti o instaliranim snagama i kapacitetima različitih tehnologija. Točka u kojoj se krivulje sijeku označava udio izvoza u scenariju visoke penetracija OIE i centraliziranih toplinskih sustava koji iznosi 4,65%. Može se primijetiti kako najveći utjecaj na promjenu izvoza imaju instalirana snaga solarnih fotonaponskih sustava i toplinskih pumpi. Za povećanje snage fotonaponskih sustava za 50% izvoz električne energije naraste na 10,43%, dok za smanjenje od 50% padne na 2,65%. Toplinske pumpe imaju obrnuti utjecaj na promjenu izvoza, pa tako za povećanje snage toplinskih pumpi od 50% primjećujemo smanjenje izvoza na 2%, dok za 50% manje snage izvoz naraste na čak 12,58%. Treba također primijetiti kako smanjenje instalirane snage CHP postrojenja uzrokuje smanjenje izvoza električne energije, međutim povećanje te snage gotovo da i nema utjecaja na izvoz. Uzrok tome je odabrana tehnička regulativa kojom se postiže da u slučaju zadovoljenja potrebe za toplinskom energijom, daljnje povećanje snage ne uzrokuje veću proizvodnju električne energije.

Promjena kapaciteta toplinskog spremnika neznatno mijenja izvoz, dok proizvodnja iz solarnih termalnih sustava gotovo da nema nikakvog utjecaja na izvoz električne energije.

7. Zaključak

U ovom radu prikazan je postupak planiranja energetskeg sustava Karlovačke županije uz implementaciju visokog udjela centraliziranih toplinskih sustava i obnovljivih izvora energije. Osim opisa trenutnog stanja, budućih planova razvoja te zakonskih regulativa u prvom dijelu rada, u drugom dijelu je uspješno razvijena metodologija izračuna finalne potrošnje energije u Karlovačkoj županiji. Tako je dobiven scenarij za odabranu referentnu godinu čija je validacija pokazala odstupanje od 7,16% u emisijama CO₂ u odnosu na vrijednost dobivenu pomoću EnergyPLAN-a. Kako je to bilo jedino značajnije odstupanje, zaključilo se kako scenarij za referentnu godinu prikazuje stvarno stanje te da se distribucijske krivulje korištene u njegovoj analizi mogu koristiti i u ostalim scenarijima.

Scenarij unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava pokazao je smanjenje emisija CO₂ za 2,3% i uvoza električne energije za 46,59% u 2050. godini u odnosu na temeljni scenarij u istoj godini. Ukupna potrošnja energije povećana je u tom scenariju u odnosu na temeljni scenarij, što je očekivano s obzirom na povećanu potrošnju prirodnog plina u instaliranim CHP sustavima. Međutim, ti sustavi zbog svoje visoke učinkovitosti i smanjenja izvoza omogućavaju smanjenje ukupnih emisija CO₂, a promatrajući širi aspekt, njihova povećana uporaba na razini države zasigurno bi osigurala i smanjenje ukupne potrošnje energije.

Scenarij visoke penetracije OIE i centraliziranih toplinskih sustava pokazao je kako je korištenjem visokog udjela tehnologija OIE u kombinaciji s centraliziranim toplinskim sustavima moguće dodatno smanjiti uvoz električne energije i emisije CO₂. U 2050. godini postignuto je smanjenje emisija za 14,42% te uvoza električne energije za gotovo 70% u odnosu na temeljni scenarij. Također, upotrebom toplinskih pumpi i solarnog termalnog grijanja moguće je efikasno smanjiti i izvoz. Konačno, taj scenarij je pokazao kako OIE uz visoki udio centraliziranih toplinskih sustava mogu smanjiti ukupnu potrošnju energije. Tako je u 2050. godini ukupna potrošnja energije u ovom scenariju u odnosu na scenarij unaprjeđenja centraliziranih toplinskih sustava (bez OIE) smanjena za 1,5%.

Analiza osjetljivosti pokazala je kako se balansiranjem snage solarnih fotonaponskih sustava i toplinskih pumpi može kvalitetno regulirati količina uvoza električne energije.

Zaključno, prikazano je kako se korištenjem centraliziranih toplinskih sustava i OIE, a posebno kvalitetne kombinacije te dvije tehnologije može postići veća nezavisnost energetskeg sustava i smanjiti štetan utjecaj na okoliš.

LITERATURA

- [1] Skupina autora; Background Report on EU-27 District Heating and Cooling Potentials, Barriers, Best Practice and Measures of Promotion, 2012.
- [2] IEA, District Heating and Cooling Connection Handbook, <https://setis.ec.europa.eu/system/files/1.DHCpotentials.pdf>
- [3] Energetski institut Hrvoje Požar d.o.o., New Business Opportunities for Solar District Heating and Cooling, National Report - Croatia
- [4] <http://www.iea.org/aboutus/faqs/energyefficiency/>.
- [5] International Energy Statistics, <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=44&pid=45&aid=2&cid=r3,&syid=2011&eyid=2011&unit=MBTUPP>.
- [6] <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2011/11/04102846/2>.
- [7] http://secfilings.com/News.aspx?title=eurosite%27s_chp_systems_reduce_energy_dependence&naid=935.
- [8] Henrik Lund and Sven Werner, "Heat Roadmap Europe 2050," 2012.
- [9] Zakon Republike Hrvatske, Zakon o tržištu toplinske energije, <http://www.zakon.hr/z/606/Zakon-o-tr%C5%BEi%C5%A1tu-toplinske-energije>
- [10] Zakon Republike Hrvatske, Zakon o energetskej učinkovitosti, <http://www.zakon.hr/z/747/Zakon-o-energetskej-u%C4%8Dinkovitosti>
- [11] Direktiva 2012/27/EU Europske komisije o energetskej učinkovitosti, 2012.
- [12] Zakon Republike Hrvatske, Zakon o tržištu električne energije, <http://www.zakon.hr/z/377/Zakon-o-tr%C5%BEi%C5%A1tu-elektri%C4%8Dne-energije>.
- [13] Zakon Republike Hrvatske, Zakon o energiji, <http://www.zakon.hr/z/368/Zakon-o-energiji>.
- [14] Zakon Republike Hrvatske, Zakon o biogorivima za prijevoz, <http://www.zakon.hr/z/189/Zakon-o-biogorivima-za-prijevoz>.
- [15] Zakon Republike Hrvatske, Zakon o promicanju čistih i energetski učinkovitih vozila u cestovnom prometu, <http://www.zakon.hr/z/677/Zakon-o-promicanju-%C4%8Distih-i-energetski-u%C4%8Dinkovitih-vozila-u-cestovnom-prometu>.
- [16] Europska komisija, <http://ec.europa.eu/clima/policies/package/>.
- [17] Službena web stranica Karlovačke županije, <http://www.kazup.hr/o-zupaniji/opci-podaci>.
- [18] Državni zavod za statistiku RH, Statistički ljetopis RH 2012.
- [19] Državni zavod za statistiku RH, Bruto domaći proizvod za Republiku Hrvatsku te prostorne jedinice za statistiku 2. i 3. razine za razdoblje 2000.-2010., Zagreb, 14. veljače 2013.
- [20] Skupina autora, Akcijski plan energetski održivog razvitka grada Karlovca, Zagreb 2012.
- [21] Skupina autora, Akcijski plan energetski održivog razvitka grada Ogulina, Zagreb 2012.
- [22] Skupina autora, Akcijski plan energetski održivog razvitka grada Duga Resa, Zagreb 2011.
- [23] Skupina autora, Akcijski plan energetski održivog razvitka grada Ozlja, Zagreb 2011.

- [24] Skupina autora, Akcijski plan energetske održivog razvitka grada Slunja, Zagreb 2012.
- [25] Skupina autora, Energija u Hrvatskoj 2009., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva Republike Hrvatske, Zagreb, 2010.
- [26] EU energy and transport in figures, Statistical pocketbook 2010., Europska komisija, 2010.
- [27] Skupina autora, Strategija održivog korištenja energije Karlovačke županije, Karlovac, 2009.
- [28] <http://www.hep.hr/ods/dp/karlovac/onama.aspx>.
- [29] <http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/zapad/gojak.aspx>.
- [30] <http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/zapad/lesce.aspx>.
- [31] <http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/zapad/ozalj.aspx>.
- [32] Registar obnovljivih izvora energije i kogeneracije, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, <http://oie.mingo.hr/default.aspx?id=24>.
- [33] KAportal.hr, <http://kaportal.hr/ogulin-racuni-grijanje-300>.
- [34] Skupina autora, Energija u Hrvatskoj 2011., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva Republike Hrvatske, Zagreb, 2012.
- [35] Gradska toplana Karlovac - službena stranica, <http://gradska-toplana.hr/hr/>.
- [36] EnergyPLAN, <http://www.energyplan.eu/training/introduction/>.
- [37] <https://www.entsoe.eu/data/data-portal/production/Pages/default.aspx>.
- [38] METEONORM, <http://meteonorm.com/>.
- [39] Međunarodna Energetska Agencija, službena web stranica, <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=EU28&product=indicators&year=2010>.
- [40] Metodologija provođenja energetske pregleda građevina, http://www.mgipu.hr/doc/Propisi/Metodologija_provođenja_epg.pdf.
- [41] <http://www.districtenergy.org/what-is-district-energy/>. International District Energy Association.
- [42] <http://district-heating.danfoss.com/applications/what-is-district-heating/>.
- [43] Strategija energetske razvoja Republike Hrvatske, http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_10_130_3192.html.
- [44] <https://setis.ec.europa.eu/system/files/1.DHCpotentials.pdf>.