

Procjena utjecaja integracije fotonaponskih modula u energetske sustav Republike Hrvatske pomoću programa EnergyPLAN

Vrankić, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:953122>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

**PROCJENA UTJECAJA INTEGRACIJE FOTONAPONSKIH
MODULA U ENERGETSKI SUSTAV REPUBLIKE
HRVATSKE POMOĆU PROGRAMA ENERGYPLAN**

Diplomski rad

Iva Vrankić

N 200

Zagreb, 2017.

PROCJENA UTJECAJA INTEGRACIJE FOTONAPONSKIH MODULA U
ENERGETSKI SUSTAV REPUBLIKE HRVATSKE POMOĆU PROGRAMA
ENERGYPLAN

IVA VRANKIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Hrvatski energetska sustav značajno je ovisan o uvozu energije te ima obvezu prema integraciji obnovljivih izvora energije kao i smanjenju emisija stakleničkih plinova. Uz to, ovisi o nestabilnim cijenama energije i energenata. Ovaj rad analizira „bazni scenarij“ i šest scenarija koji integriraju značajne kapacitete fotonaponskih modula. Svaki od scenarija analiziran je kroz određene parametre. Proračuni su provedeni u EnergyPLAN programu, sa 2014. kao baznom godinom. Cilj EnergyPLAN modela je da pomogne u izradi nacionalnih strategija kod planiranja energetskih sustava na temelju tehničke i ekonomske analize.

Ključne riječi: energetska planiranje, energetska sustav, EnergyPLAN, toplinska pumpa, toplinski spremnik

Diplomski rad sadrži: 44 stranice, 15 slika, 19 tablica i 23 reference

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Luka Perković, docent RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Luka Perković, docent RGNF
Dr. sc. Igor Dekanić, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Tomislav Kurevija, izvanredni profesor RGNF

Datum obrane: 15. rujan 2017., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF INTEGRATING PHOTOVOLTAIC
MODULES INTO THE CROATIAN ENERGY SYSTEM USING THE ENERGYPLAN
PROGRAM

IVA VRANKIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

Croatian energy system depends significantly on imported energy, and as a part of the agreement Croatia is committed to integrating renewable energy resources and decreasing the greenhouse gas emission. Also, it depends on an unstable energy price and energy generating products. This thesis analyzes “the basic scenario” and six other scenarios utilizing large scale capacities of photovoltaic modules. Each of the scenarios has been analyzed using defined parameters. Calculations were made using the EnergyPLAN program, 2014 being the basic year. The goal of the EnergyPLAN model is to help plan national strategy through energy systems, based on technical and economic analysis.

Keywords: energy planning, energy system, EnergyPLAN, heat pump, thermal storage

Thesis contains: 44 pages, 15 figures, 19 tables and 23 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum
Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Luka Perković, PhD

Reviewers: Assistant Professor Luka Perković, PhD
Full Professor Igor Dekanić, PhD
Associate Professor Tomislav Kurevija, PhD

Date of defense: September 15, 2017., Faculty of Mining, Geology and Petroleum
Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA.....	II
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA	III
1. UVOD	1
2. METODA.....	6
2.1. EnergyPLAN model	6
3. ANALIZE SLUČAJA ZA REPUBLIKU HRVATSKU	11
3.1. Bazni scenarij.....	11
3.1.1. Shema energetskeg sustava Republike Hrvatske	11
3.1.2. Postavke energetskeg sustava Republike Hrvatske.....	14
3.1.2.1. Potražnja za energijom	14
3.1.2.2. Dobava energije.....	16
3.1.2.3. Uravnoteženje i skladištenje energije.....	23
3.1.2.4. Troškovi	25
3.1.3. Rezultati baznog scenarija	27
3.2. Analize slučaja.....	28
3.2.1. Analiza slučaja: scenariji sa povećanjem kapaciteta fotonaponskih modula	28
3.2.1.1. Scenarij sa 500 MW fotonaponskih modula	29
3.2.1.2. Scenarij sa 1000 MW fotonaponskih modula	30
3.2.1.3. Scenarij sa 1500 MW fotonaponskih modula	31
3.2.2. Analiza slučaja: scenariji sa povećavanjem kapaciteta fotonaponskih modula uz instaliranje toplinskih pumpi i toplinskih spremnika	32
3.2.2.1. Scenarij sa 1600 MW fotonaponskih modula, 100 MW toplinskih pumpi i 200 GWh toplinskih spremnika.....	33
3.2.2.2. Scenarij sa 2000 MW fotonaponskih modula, 600 MW toplinskih pumpi i 800 GWh toplinskih spremnika.....	34

3.2.2.3. Scenarij sa 2100 MW fotonaponskih modula, 800 MW toplinskih pumpi i 900 GWh toplinskih spremnika.....	35
4. ANALIZA REZULTATA.....	36
4.1. Međusobna usporedba scenarija	36
4.2. Analiza rezultata s obzirom na emisije CO ₂	37
4.3. Analiza rezultata s obzirom na strukturu potrošnje goriva	38
4.4. Analiza rezultata s obzirom na uvoz/izvoz električne energije	39
4.5. Analiza rezultata s obzirom na mjesečnu proizvodnju električne energije iz fotonaponskih modula.....	40
5. ZAKLJUČAK	41
6. LITERATURA.....	43

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Godišnje sunčevo zračenje na površini Zemlje u uspoređi sa zalihama fosilnih i nuklearnih goriva te godišnjom potrošnjom energije u svijetu	2
Slika 1-2. Deset vodećih zemalja po instaliranim kapacitetima fotonaponskih modula	3
Slika 1-3. Princip rada fotonaponskih sustava.....	3
Slika 2-1. Grafički prikaz EnergyPLAN modela.....	6
Slika 2-2. Prikaz podjele kartica u programu EnergyPLAN	10
Slika 3-1. Grafički prikaz energetskega sustava Republike Hrvatske	13
Slika 3-2. Geografski smještaj termoelektrana u Republici Hrvatskoj	16
Slika 3-3. Geografski smještaj hidroelektrana u Republici Hrvatskoj	18
Slika 3-4. Geografski smještaj vjetroelektrana u Republici Hrvatskoj	20
Slika 3-5. Grafički prikaz instaliranih kapaciteta fotonaponskih modula po scenarijima...	28
Slika 3-6. Instalirani kapaciteti toplinskih pumpi i toplinskih spremnika.....	32
Slika 4-1. Emisije CO ₂	37
Slika 4-2. Utjecaj instaliranih fotonaponskih modula na strukturu potrošnje goriva.....	38
Slika 4-3. Utjecaj instaliranih fotonaponskih modula na uvoz/izvoz el. energije	39
Slika 4-4. Mjesečna proizvodnja električne energije iz fotonaponskih modula.....	40

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Potrošnja energije u industriji po energentima.....	15
Tablica 3-2. Potrošnja energije u prometu po energentima.....	15
Tablica 3-3. Termoelektrane u Republici Hrvatskoj, podijeljeno u grupe po tipu i namjeni postrojenja	17
Tablica 3-4. Hidroelektrane u Republici Hrvatskoj	19
Tablica 3-5. Vjetroelektrane u Republici Hrvatskoj.....	21
Tablica 3-6. Solarne elektrane u Republici Hrvatskoj.....	21
Tablica 3-7. Količina ugljikovog dioksida u pojedinim gorivima (kg/GJ)	22
Tablica 3-8. Osnovne tehničke karakteristike RHE Velebit.....	24
Tablica 3-9. Prikaz investicijskih troškova i udio fiksnih troškova upravljanja i održavanja	26
Tablica 3-10. Prikaz varijabilnih troškova upravljanja i održavanja.....	26
Tablica 3-11. Prikaz rezultata „baznog scenarija“ prema odabranim parametrima	27
Tablica 3-12. Validacija postavki modela u EnergyPLAN-u.....	27
Tablica 3-13. Prikaz rezultata „scenarija sa 500 MW fotonaponskih modula“.....	29
Tablica 3-14. Prikaz rezultata „scenarija sa 1000 MW fotonaponskih modula“	30
Tablica 3-15. Prikaz rezultata „scenarija sa 1500 MW fotonaponskih modula“.....	31
Tablica 3-16. Prikaz rezultata „scenarija sa 1600 MW fotonaponskih modula, 100 MW toplinskih pumpi i 200 GWh toplinskih spremnika“	33
Tablica 3-17. Prikaz rezultata „scenarija sa 2000 MW fotonaponskih modula, 600 MW toplinskih pumpi i 600 GWh toplinskih spremnika	34
Tablica 3-18. Prikaz rezultata „scenarija sa 2100 MW fotonaponskih modula, 800 MW toplinskih pumpi i 900 GWh toplinskih spremnika“	35
Tablica 4-1. Usporedba scenarija	36

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA

CHP - kombinirana proizvodnja električne i toplinske energije (*engl. Combined Heat and Power*)

RES - obnovljivi izvori energije (*engl. Renewable Energy Sources*)

OIE - obnovljivi izvori energije

PP - elektrana (*engl. Power Plant*)

CO₂ - ugljikov dioksid

LPG - ukapljeni naftni plin (*engl. – Liquefied Petroleum Gas*)

CCS - hvatanje i zbrinjavanje ugljikovog dioksida (*engl. Carbon Capture and Storage*)

CCR - hvatanje i ponovno korištenje ugljikovog dioksida (*engl. Carbon Capture and Reuse*)

CEEP - kritični višak proizvodnje el. energije (*engl. Critical Excess of Electricity Production*)

JP - mlazno gorivo (*engl. Jet Fuel*)

PV - fotonaponska elektrana (*engl. Photo Voltaic*)

HP - toplinska pumpa (*engl. Heat Pump*)

TS - toplinski spremnik (*engl. Thermal Storage*)

1. UVOD

Danas se europski energetske sustavi susreću s brojnim problemima, a neki od njih su rastuća ovisnost o uvozu energije, obveze prema smanjenju emisija stakleničkih plinova (ugljikovog dioksida – CO₂, metana – CH₄, dušikovog oksida – N₂O, hidrofluorogljika - HFC, perfluorogljika – PFC i sumporovog heksafluorida – SF₆) te fluktuirajuće cijene energije i energenata. Europska unija usvojila je tzv. energetske-klimatski paket zakona koji bi do 2020. godine trebali rezultirati s:

- 20 % manjim emisijama stakleničkih plinova u usporedbi s 1990.godinom;
- 20 % udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj energetskej potrošnji;
- 20 % manjom potrošnjom energije (u odnosu na onu koja se do 2020. očekuje u slučaju neprovođenja mjera).

Zbog toga je kao zajednički naziv tih ciljeva odabrano ime „20-20-20“.

Kako bi se ostvarili ciljevi, svaka država članica dužna je donijeti nacionalne akcijske planove kojima se određuje postojeća i planirana politika, mjere i mehanizmi s kojima bi se predmetni ciljevi ostvarili do 2020. godine. Republika Hrvatska donijela je u listopadu 2013. godine Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore energije do 2020. godine u kojem se određuje ukupni nacionalni cilj za obnovljive izvore energije prema propisanoj metodologiji te sektorski ciljevi i trajektorije u proizvodnji električne energije, energije za grijanje i hlađenje te energije u prijevozu iz obnovljivih izvora energije (Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta, 2013).

Povećanje udjela OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije na 20% u 2020. godini, sektorski ciljevi su slijedeći:

- 35% udjela OIE u proizvodnji električne energije, uključujući velike hidroelektrane;
- 10% udjela OIE u prijevozu;
- 20% udjela OIE za grijanje i hlađenje.

Sunce je glavni izvor elektromagnetnog zračenja koje prolazi atmosferom i neiscrpan je obnovljivi izvor energije. Uzmemo li u obzir da Sunce u samo jednoj sekundi oslobodi više energije nego što je naša civilizacija tijekom svojeg razvoja iskoristila, važnost istraživanja

energije Sunca i pretvorbe energije sunčeva zračenja u korisne oblike energije poprima sasvim novu dimenziju s velikom mogućnošću rješavanja problema energetske krize, koja je u svijetu sve prisutnija (Majdandžić, 2014.).

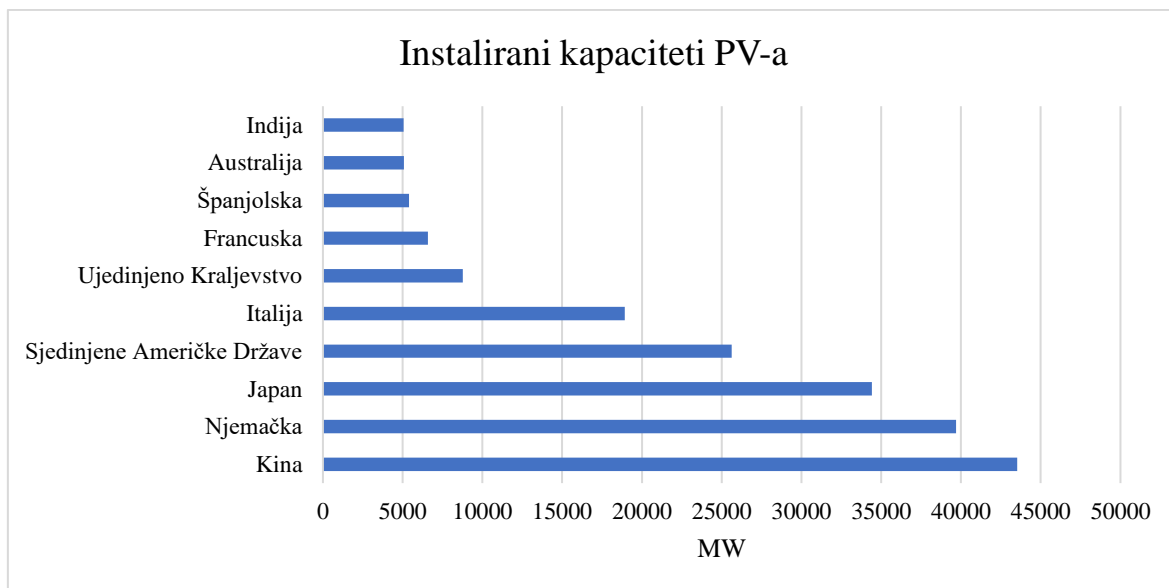
Na slici 1-1. prikazano je godišnje sunčevo zračenje na površini Zemlje u usporedbi s godišnjom potrošnjom energije u svijetu te zalihama fosilnih (ugljen, nafta, plin) i nuklearnih goriva (uran).



Slika 1-1. Godišnje sunčevo zračenje na površini Zemlje u usporedbi sa zalihama fosilnih i nuklearnih goriva te godišnjom potrošnjom energije u svijetu (Majdandžić, 2014.)

Fotonaponska ćelija je poluvodički uređaj koji pretvara sunčevu energiju izravno u električnu pomoću fotoelektričnog efekta. Fotonaponska ploča sastoji se od grupe fotonaponskih ćelija, kojih je najčešće oko 36, serijski povezanih, stvarajući module nominalnog napona od 12 V. Svaki pojedini fotoelektrični članak ima maksimalni izlazni napon od 600 do 700 mV pa se fotoelektrični članci serijski povezuje stvarajući module nominalnog napona od 12 V. Snaga koju proizvodi jedan fotonaponski članak relativno je mali pa se u praksi više članaka povezuju u grupu čime se formira fotonaponska ćelija, a više fotonaponskih ćelija čini jedan fotonaponski modul ili solarni panel ili fotonaponsku ploču. Kada se poveže više sunčevih panela dobije se polje fotonaponskih ploča, koji je dio solarne fotonaponske elektrane. Glavni dijelovi fotonaponske elektrane priključene na elektroenergetsku mrežu su fotonaponsko polje i fotonaponski izmjenjivač. Sunčeva energija se u fotonaponskim ćelijama direktno prevara u istosmjernu električnu energiju. Istosmjerni napon potrebno je pretvoriti u izmjenični, odgovarajuće frekvencije (400 V, 50 Hz) (SOLARNI PROJEKTI Hrvatska).

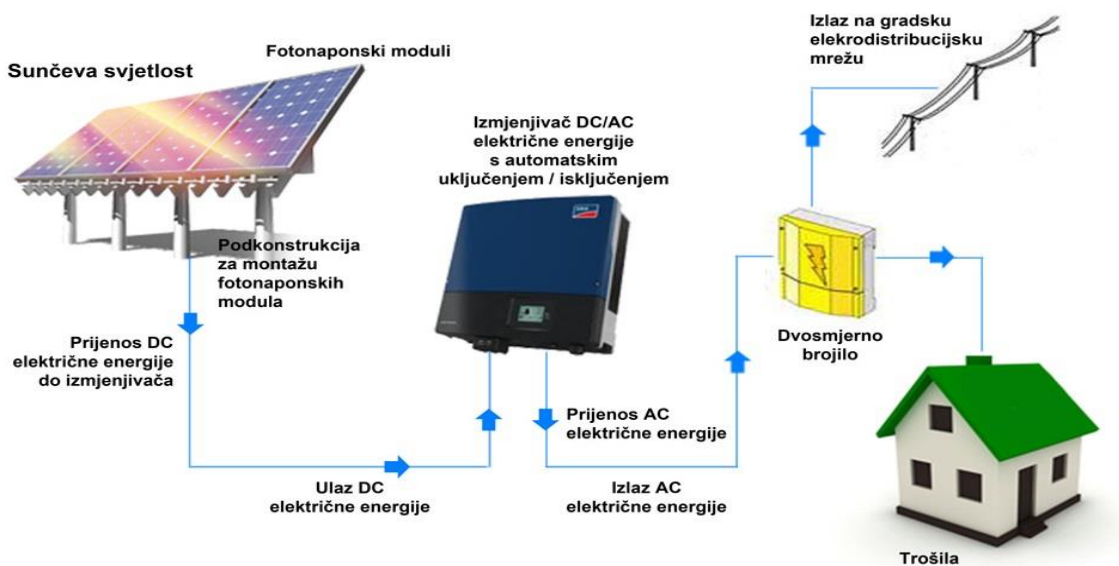
Prema podacima iz 2016. godine 10 vodećih zemalja po instaliranim kapacitetima fotonaponskih modula prikazane su na slici 1-2.



Slika 1-2. Deset vodećih zemalja po instaliranim kapacitetima fotonaponskih modula (British Business Energy, 2016.)

U Republici Hrvatskoj trenutna instalirana snaga fotonaponskih modula iznosi 52 MW. Time je Hrvatska pri dnu ljestvice članica Europske unije po proizvedenoj energiji iz fotonaponskih ćelija, ali istovremeno dolazi do velike ekspanzije zadnjih godina.

Princip rada fotonaponskih sustava prikazan je na slici 1-3.



Slika 1-3. Princip rada fotonaponskih sustava (SOLARNI PROJEKTI Hrvatska)

Fotonaponski sustavi mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine:

- Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (*engl. Off-grid*);
- Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (*engl. On-grid*).

Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (nazivaju se još i samostalni sustavi) mogu biti sa ili bez pohrane energije, što će ovisiti o vrsti primjene i načinu potrošnje energije.

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu mogu biti izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije (International Energy Agency, 2010.).

U ovom diplomskom radu analizirati će se trenutno stanje energetske sustava Republike Hrvatske u scenariju koji će biti nazvan „bazni scenarij“. Uz „bazni scenarij“ proučavati će se ukupno šest scenarija. Prva tri scenarija podrazumijevati će integraciju, odnosno povećanja kapaciteta fotonaponskih modula, u postojeći energetske sustav, a preostala tri scenarija podrazumijevati će, uz povećanje kapaciteta fotonaponskih modula, novoinstalirane kapacitete toplinskih pumpi i toplinskih spremnika. Svaki od njih biti će promatran kroz nekoliko odabranih parametara kao što su instalirani kapaciteti fotonaponskih modula, toplinskih pumpi i toplinskih spremnika, emisije CO₂, strukturu potrošnje goriva te uvoz i izvoz električne energije.

Cilj analize je utvrditi kako bi hrvatski energetske sustav reagirao na integraciju većih kapaciteta fotonaponskih modula s obzirom na:

- emisije CO₂;
- strukturu potrošnje goriva;
- uvoz i izvoz električne energije.

Hipoteza, od koje ovaj rad polazi, je da će integracija fotonaponskih modula rezultirati smanjenjem emisija stakleničkih plinova, promijeniti strukturu potrošnje goriva (u vidu smanjenja fosilnih goriva), smanjiti uvoz te povećati izvoz električne energije.

Također, za potrebe integracije fotonaponskih modula iznad nekog određenog instaliranog kapaciteta, potrebno je u energetske sustav integrirati i neki od oblika toplinskih spremnika koji služe za privremenu pohranu viškova toplinske energije kao posrednog energetskog oblika transformiranog iz viškova samih fotonaponskih modula. Teoretski, toplinski spremnici mogu biti geotermalna ležišta u blizini sustava centraliziranog grijanja/naselja.

Pri tome ovaj rad ne obuhvaća:

- prostornu raspodjelu potencijalnih ležišta za pohranu toplinske energije u odnosu na gusto naseljena naselja sa sustavima centraliziranog područnog grijanja;
- detaljnu fiziku i dinamiku pohrane u toplinske spremnike;
- termofizikalna svojstva toplinskih spremnika.

Program EnergyPLAN ne može detaljno obuhvatiti svaku komponentu sustava, već služi za konceptualno i načelno dizajniranje energetskih sustava, tako da gore navedene odlike stvarnog sustava nije moguće interpretirati u samom programu.

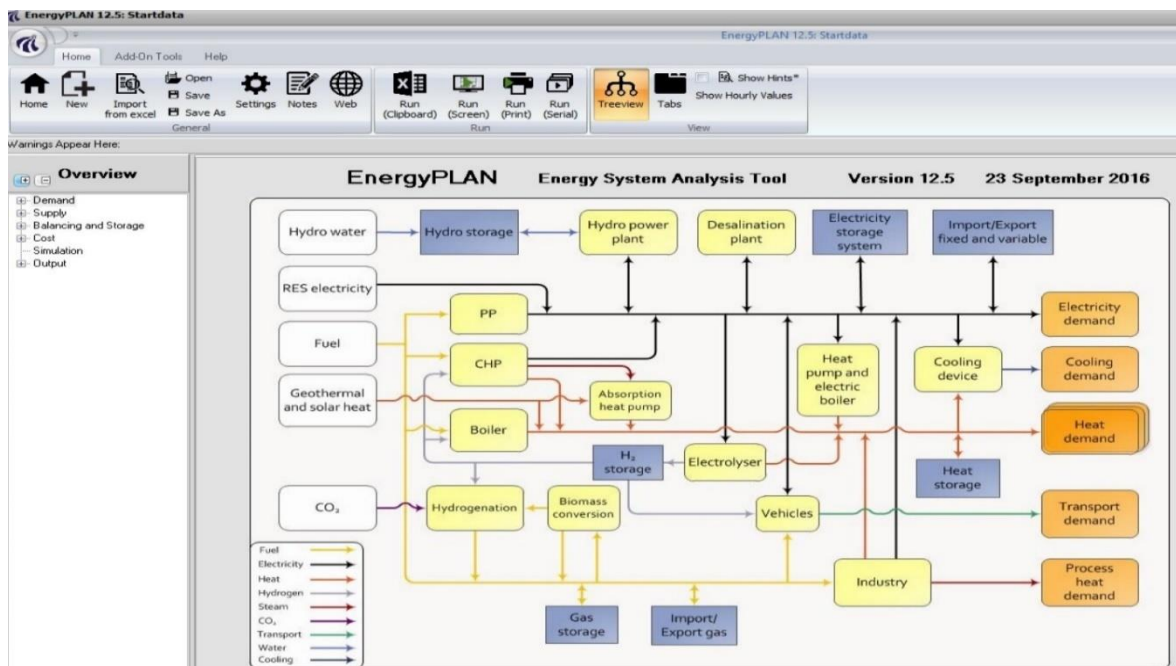
2. METODA

Metoda se sastoji od modeliranja energetskeg sustava pomoću modela EnergyPLAN i obrade rezultata u programu MS Office Excel.

2.1. EnergyPLAN model

EnergyPLAN model je računalni model koji se koristi za analizu energetskeg sustava. Model se kontinuirano razvija i proširuje od 1999. godine. Osnovni princip rada EnergyPLAN modela temelji se na godišnjoj razini pomoću ulaznih podataka sa vremenskim korakom od jednog sata. Glavni cilj modela je da pomogne u izradi nacionalnih strategija kod planiranja energetskeg sustava na temelju tehničke i ekonomske analize. Međutim, model je primjenjiv i na europskoj razini kao i na lokalnoj razini, odnosno na razini gradova i/ili općina. Od prve verzije, model naglašava analizu različitih simulacijskih strategija s naglaskom na interakciju između kombinirane proizvodnje toplinske i električne energije (CHP) i promjenjivih obnovljivih izvora energije (Lund, 2015.). S obzirom na to, glavna prednost ovog modela je naglasak koji se stavlja na obnovljive izvore energije kao i na njihovu integraciju u postojeći energetskeg sustav (Komušanac et al., 2016.)

Početno sučelje i princip rada samog modela prikazan je na slici 2-1.

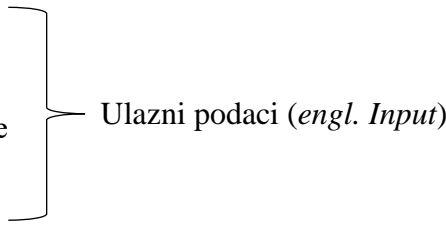


Slika 2-1. Grafički prikaz EnergyPLAN modela (EnergyPLAN, 2017)

Prijevod najvažnijih pojmova sa slike 2-1.:

- „*Hydro water*“ – potencijalna energija vode;
- „*RES electricity*“ – obnovljivi izvori el. energije;
- „*Geothermal and solar heat*“ – geotermalna i sunčeva toplina,
- „*Hydro storage*“ – skladištenje vode;
- „*Electricity storage system*“ – sustav za pohranu el. energije;
- „*Heat storage*“ – skladištenje topline;
- „*Gas storage*“ – skladištenje plina;
- „*Hydro power plant*“ – hidroelektrana;
- „*PP (Power Plant)*“ – elektrana;
- „*CHP*“ – kogeneracijsko postrojenje;
- „*Biomass conversion*“ – pretvorba biomase;

EnergyPLAN model sastoji se od pet osnovnih dijelova, a to su:

1. Potražnja za energijom (*engl. Demand*)
 2. Dobava energije (*engl. Supply*)
 3. Uravnoteženje i skladištenje energije
(*engl. Balancing and Storage*)
 4. Troškovi (*engl. Cost*)
 5. Izlazni podaci (*engl. Output*)
- 
- Ulazni podaci (*engl. Input*)

Prvi dio, potražnja za energijom (*engl. Demand*) zahtijeva unos sljedećih ulaznih parametara:

- Električna energija (TWh/godina): potrošnja i uvoz/izvoz;
- Toplinska energija (TWh/godina): individualni potrošači i grijanje na daljinu;
- Energija za hlađenje (TWh/godina): električne klime i hlađenje na daljinu;
- Potrošnja energije u industriji (TWh/godina);
- Potrošnja energije u prometu (TWh/godina);

Drugi dio, ponuda energije (*engl. Supply*) sastoji se od unosa sljedećih parametara:

- Proizvodnja toplinske i električne energije, podijeljeno u tri grupe prema veličini i tipu postrojenja;
 - a) **Grupa 1:** predstavlja sustave za grijanje na daljinu bez kogeneracijske proizvodnje energije (kotao);
 - b) **Grupa 2:** predstavlja sustave za grijanje na daljinu koji se baziraju na malim kogeneracijskim postrojenjima (CHP);
 - c) **Grupa 3:** predstavlja sustave za grijanje na daljinu koji se baziraju na velikim kogeneracijskim postrojenjima (industrijski CHP).
- Proizvodnja isključivo električne energije (dvije grupe);
 - a) Elektrane: akumulacijske hidroelektrane, nuklearne elektrane, geotermalne elektrane...
 - b) Postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije: vjetroelektrane, solarne elektrane, protočne hidroelektrane...
- Proizvodnja samo toplinske energije: toplinske pumpe;
- Distribucija goriva: ugljen, nafta, prirodni plin i biomasa;

Također, u odjeljku ponuda energije, nalazi se i dio kojem je potrebno unijeti koliko pojedina vrsta goriva emitira ugljikovog dioksida u procesu izgaranja. Goriva su ugljen, dizel, benzin, kerozin, prirodni plin, LPG i otpad, a mjerna jedinica emisije je kg/GJ.

Osim toga, tu se unose podaci i o količini ugljikovog dioksida (Mt) koja je izdvojena i pohranjena putem CCS i CCR tehnologije.

Treći dio, uravnoteženje i skladištenje energije (*engl. Balancing and Storage*) zahtijeva unos sljedećih podataka:

- Električna energija: zahtjevi za stabilizaciju električne mreže ograničenjem udjela intermitentnih izvora energije u ukupnoj dobavi na razini jednog sata, skladištenje električne energije i strategije uklanjanja kritičnog viška kod proizvodnje električne energije (CEEP);
- Toplinska energija: skladištenje toplinske energije;
- Tekuća i plinovita goriva: skladištenje goriva.

Četvrti dio, troškovi (*engl. Cost*) podijeljeni su u dvije osnovne grupe, a to su opći troškovi i troškovi koji se odnose na investicije te na rad i održavanje postrojenja.

Kod općih troškova upisuje se trenutna cijena ugljikovog dioksida na tržištu (€/tCO₂).

Također, u ovom dijelu općih troškova unosi se i podatak o iznosu kamatne stope (%).

Troškovi koji se odnose na investicije te na rad i održavanje postrojenja podijeljeni su na sljedeći način:

- Toplinska i električna energija;
- Energija iz obnovljivih izvora;
- Energija iz tekućih i plinovitih goriva;
- Infrastruktura za proizvodnju toplinske energije;
- Cestovna vozila;
- Ostala vozila.

U svim, prethodno navedenim, odjeljcima imamo navedene ili unosimo tipove postrojenja, trošak investicije (€/jedinici), period (godina) te trošak rada i održavanja postrojenja (% od investicije).

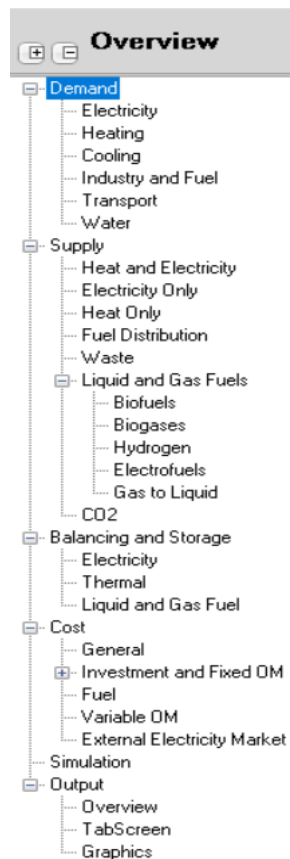
Zatim, zahtijeva se unos podataka koji se odnose na cijene goriva te iznose poreza:

- Cijena goriva na tržištu (€/GJ);
- Troškovi obrade goriva (€/GJ);
- Porezi (€/GJ);
- Porezi na električnu energiju za energetske pretvorbe (€/MWh).

Od troškova, još se zahtijeva i unos podataka koji se odnose na varijabilne troškove i troškove održavanja (€/MWh), a podijeljeni su na:

- Grijanje na daljinu i kogeneracijski sustavi;
- Elektrane;
- Skladištenje;
- Individualni potrošači.

Svi prethodno opisani dijelovi („kartice“) u EnergyPLAN-u sustavno su prikazani na slici 2-2.



Slika 2-2. Prikaz podjele kartica u programu EnergyPLAN (EnergyPLAN, 2017)

EnergyPLAN program nudi simulacijske strategije koje određuju cjelokupno ponašanje EnergyPLAN modela te tako značajno utječu na same rezultate. Dvije glavne simulacijske strategije su tehnička i tržišna optimizacija. Tehnička regulacija pokušava smanjiti uvoz i izvoz električne energije te potrošnju goriva unutar energetske sustava. Tržišna regulacija optimizira rad svakog postrojenja s obzirom na ekonomske faktore kao što su cijena električne energije, troškovi goriva, porezi, cijene emisije CO₂, troškovi rada i održavanja itd. Drugim riječima, tržišna regulacija pokušava pronaći financijski najpovoljnije rješenje za zadovoljavanje potreba sustava prema kriteriju marginalnog troška proizvodnje (*engl. marginal cost of electricity*) iz pojedinih izvora energije (Cerovac, 2013.).

Marginalnim troškom nazivamo operativni trošak potreban za proizvodnju svakog dodatnog megavat-sata (MWh) električne energije. Operativni troškovi za elektrane uključuju troškove goriva, rada i održavanja. Za razliku od kapitalnih troškova koji su "fiksni" (ne mijenjaju se s razinom proizvodnje), ukupni operativni trošak postrojenja ovisi o količini električne energije koju elektrana proizvodi (Department of Energy and Mineral Engineering). U ovom diplomskom radu koristi se tehnička simulacijska strategija.

3. ANALIZE SLUČAJA ZA REPUBLIKU HRVATSKU

Analize slučaja pokrivaju bazni slučaj, kao i hipotetske slučajeve koji podrazumijevaju povećanje kapaciteta fotonaponskih modula.

3.1. Bazni scenarij

Kako bi bilo moguće analizirati energetske sustav Republike Hrvatske po određenim parametrima prvo je izrađen bazni scenarij u EnergyPLAN-u. Ulazni podaci koji se odnose na potrošnju električne i toplinske energije, potrošnju energije u industriji i prometu preuzeti su iz godišnjeg energetskeg pregleda Ministarstva gospodarstva, poduzetništva i obrta „Energija u Hrvatskoj“ za 2014. godinu (Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta, 2014). Informacije koje se odnose na proizvodnju električne energije iz hidroelektrana, kao i proizvodnju električne i/ili toplinske energije iz termoelektrana preuzeti su sa stranica Hrvatske Elektroprivrede, odnosno njenog godišnjeg izvješća za 2016. godinu (Hrvatska Elektroprivreda, 2016). Zatim, informacije koje se odnose na proizvodnju električne energije iz vjetroelektrane preuzete su iz izvješća za drugi mjesec u 2017. godini Hrvatskog operatora prijenosnog sustava (Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., 2017). Izvještaji Hrvatskog operatora tržišta energije izvor su informacija o proizvodnji električne energije iz solarnih elektrana kao i nešto manje zastupljenih elektrana na biomasu, elektrana na bioplin, elektrana na deponijski plin, elektrana na plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda te iz manjih kogeneracijskih postrojenja. S obzirom da je nuklearna elektrana Krško u 50 %-tnom vlasništvu Republike Hrvatske, informacije o njenoj proizvodnji preuzete su s vlastitih internetskih stranica elektrane (Nuklearna Elektrana Krško, 2017).

3.1.1. Shema energetskeg sustava Republike Hrvatske

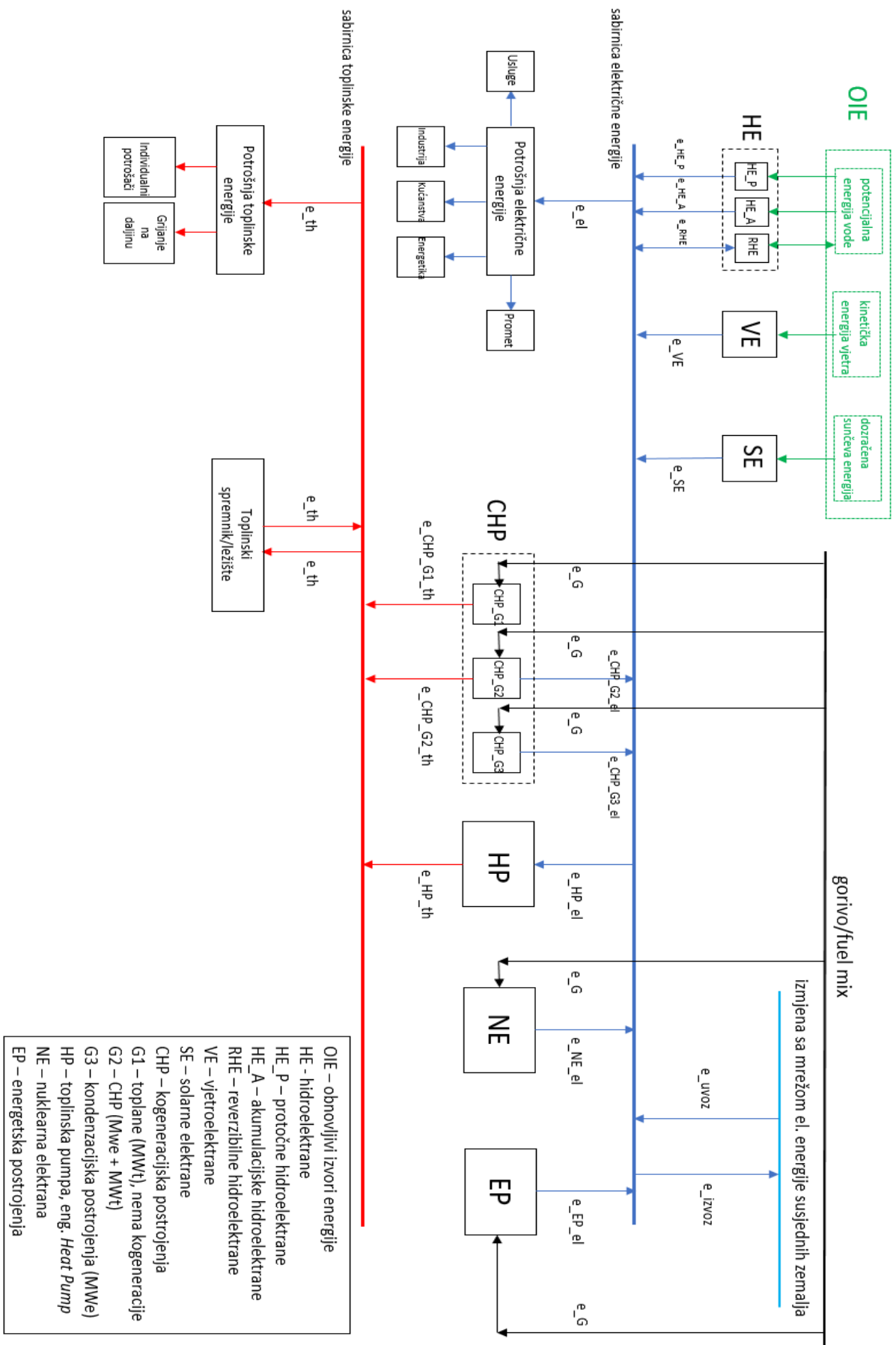
Grafički prikaz energetskeg sustava Republike Hrvatske prikazan je na slici 3-1.

Na grafičkom prikazu energetskeg sustava Republike Hrvatske prikazane su sabirnice električne i toplinske energije u koje ulazi ili iz kojih izlazi energija. Ulaz energije u sabirnicu električne energije čini energija dobivena iz obnovljivih izvora kao što su hidroelektrane (podijeljene na protočne HE, akumulacijske HE i reverzibilne HE), vjetroelektrane i solarne elektrane. Zatim, ulaz u sabirnicu električne energije čini energija dobivena iz kogeneracijskih postrojenja, nuklearne elektrane te ostalih energetskeg postrojenja kao i

električna energija dobivena iz uvoza susjednih zemalja. S druge strane, izlaz iz sabirnice električne energije sastoji se od same potrošnje, koja je podijeljena na potrošnju električne energije u kućanstvima, industriji, prometu te za potrebe energetike i usluga.

Također, izlaz iz sabirnice električne energije predstavlja energija koja je potrebna za pogon toplinskih pumpi te energija za izvoz električne energije u električnu mrežu susjednih zemalja.

Druga sabirnica je sabirnica toplinske energije čiji se ulaz sastoji od toplinske energije dobivene iz kogeneracijskih postrojenja i energije dobivene iz toplinskih pumpi. Potrošnja toplinske energija na shemi podijeljena je na individualne potrošače te na grijanje na daljinu (tzv. područno grijanje ili centralizirani toplinski sustav) te predstavlja jedan od izlaza toplinske energije iz njene sabirnice. Drugi izlaz iz sabirnice toplinske energije je toplinski spremnik ili ležište gdje se skladište viškovi.



Slika 3-1. Grafički prikaz energetskog sustava Republike Hrvatske

3.1.2. Postavke energetske sustava Republike Hrvatske

Nakon izrade grafičkog prikaza energetske sustava Republike Hrvatske provedena je analiza njegovog trenutnog stanja.

3.1.2.1. Potražnja za energijom

a) Električna energija

Kao što je i opisano u drugom poglavlju ovog diplomskog rada u program „EnergyPLAN“ potrebno je prvo unijeti podatke koje se odnose na potrošnju energije. Finalna potrošnja električne energije u Republici Hrvatskoj prema podacima Ministarstva gospodarstva iznosi 17,507 TWh/godina. Hrvatski elektroenergetski sustav ovisi o uvozu električne energije pa je tako, prema podacima Ministarstva gospodarstva, od ukupno 17,507 TWh potrošene električne energije u 2014. godini čak 6,78 TWh došlo iz uvoza. Bitno je napomenuti da se hrvatski udio u NE Krško evidentira kao uvezena električna energija. S druge strane, Republika Hrvatska električnu energiju velikim dijelom dobiva iz hidroelektrana tako da njena proizvodnja, uvoz i izvoz ovise o kišnoj godini. U 2014. godini izvoz električne energije iznosio je 2,83 TWh (Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta, 2014). Ukupna finalna potrošnja električne energije u 2014. godini dobivena je kao ukupna potrošnja električne energije umanjena za izvoz električne energije i na kraju iznosi 14,68TWh.

b) Toplinska energija

Također, prema podacima Ministarstva gospodarstva, ukupna potrošnja toplinske energije, odnosno zbroj potrošnje toplinske energije individualnih potrošača i toplinske energije za grijanje na daljinu, u Republici Hrvatskoj za 2014. godinu iznosila je 15,79 TWh (Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta, 2014).

c) Energija za hlađenje

Potreba za energijom hlađenja određuje se godišnjom potrošnjom električne energije (klimatizacija itd.) i/ili godišnjom potrošnjom energije hlađenja (apsorpcijska tehnologija). Kako Republika Hrvatska trenutno ne posjeduje sustav hlađenja na daljinu, a potrošnja električne energije, već je unesena prethodno, ova kartica se ne koristi.

d) Potrošnja energije u industriji

Od ukupne neposredne potrošnje energije u Republici Hrvatskoj u 2014. godini oko 15 % otpada na potrošnju energije u industriji (Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta, 2014). U tablici 3-1. prikazana je potrošnja energije u industriji po energentima. Značajno mjesto u industrijskoj potrošnji energije zauzima ugljen sa udjelom od 21 %. Nakon ugljena, udio oko 17 % zauzima prirodni plin. Najveći potrošač energije je industrija građevinskog materijala koja ima udio oko 30 %, zatim su prehrambena industrija sa udjelom oko 20 % i kemijska industrija sa udjelom oko 15 %.

Tablica 3-1. Potrošnja energije u industriji po energentima (Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta, 2014)

Vrsta energenta	TWh/godina
Ugljen	2,37
Tekuća goriva	0,67
Prirodni plin	2,00
Biomasa	0,26

e) Potrošnja energije u prometu

Potrošnja energije u prometu zauzima malo više od 30 % ukupne potrošnje energije u Republici Hrvatskoj. U tablici 3-2. prikazana je potrošnja energije u prometu po energentima. Dizelsko gorivo je energent koji se najviše koristi u prometu te zauzima 60 %, nakon njega slijede motorni benzin sa udjelom oko 30 % te mlazno gorivo sa udjelom 6 %. Od vrsta prometa u Republici Hrvatskoj prisutni su željeznički, cestovni, zračni, pomorski i riječni promet te javni gradski prijevoz. Najveći udio otpada na cestovni promet, a iznosi malo manje od 90 %.

Tablica 3-2. Potrošnja energije u prometu po energentima (Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta, 2014)

Vrsta energenta	TWh/godina
JP (mlazno gorivo)	1,52
Dizelsko gorivo	14,05
Motorni benzin	6,46
Prirodni plin	0,04
LPG	0,79

3.1.2.2. Dobava energije

Nakon toga, u „EnergyPLAN“ program potrebno je unijeti podatke o dobavi energije.

a) Toplinska i električna energija

U energetsom sustavu Republike Hrvatske, trenutno, proizvodi se zajedno električna i toplinska energija te zasebno električna energija. Kod unosa proizvodnje električne i toplinske energije energetska postrojenja podijeljena su u tri grupe kako je i objašnjeno u drugom poglavlju. U Republici Hrvatskoj, to se odnosi na kotlove kao proizvođače toplinske energije te termoelektrane koje su podijeljene u tri grupe. U vlasništvu Hrvatske Elektroprivrede (HEP Proizvodnja) je sedam termoelektrana, s tim da su TE Rijeka, TE Plomin A i KTE Jertovec kondenzacijske za proizvodnju električne energije, a TE-TO Zagreb, EL-TO Zagreb, TE-TO Osijek i TE-TO Sisak, su termoelektrane toplane u kojima se u spojenom procesu proizvodi električna i toplinska energija. Kao pogonsko gorivo koriste se loživo ulje, prirodni plin i ugljen (HEP Proizvodnja, 2017).

Geografski smještaj termoelektrana na karti Republike Hrvatske prikazan je na slici 3-2.



Slika 3-2. Geografski smještaj termoelektrana u Republici Hrvatskoj (HEP Proizvodnja, 2017)

Popis termoelektrana i njihova podjela prikazana je u tablici 3-3.

Tablica 3-3. Termoelektrane u Republici Hrvatskoj, podijeljeno u grupe po tipu i namjeni postrojenja

	Ime	Grupa 1 (MWt)	Grupa 2 (MWe+MWt)	Grupa 3 (MWe)	Tip
	TE Sisak A			198	Kondenzacijski
	TE Sisak B			198	kondenzacijski
	TE Sisak C		230+50		Kogeneracijski
TE-TO Zagreb	Blok C		120+200		Toplifikacijski
	Blok D	52			Parna kotlovnica
	Blok E	58			Vrelovodni kotao
	Blok F	58			Vrelovodni kotao
	Blok G	116			Vrelovodni kotao
	Blok H	116			Vrelovodni kotao
	Blok K		208+140		Kogeneracijski
	Blok L		112+110		Kogeneracijski
	TE Rijeka			303	Kondenzacijski
	TE Plomin A			105	Kondenzacijski
	TE Plomin B			192	Kondenzacijski
	EL-TO Zagreb		88+347		Kogeneracijski
TE-TO Osijek	Blok A		45+110		Toplifikacijski
	Blok B1			25	Plinska turbina
	Blok B2			25	Plinska turbina
	KTE Jertovec			88	Kondenzacijski
	UKUPNO	400	803+957	1134	
			1760		

b) Proizvodnja isključivo električne energije

Za proizvodnju isključivo električne energije Republika Hrvatska koristi elektrane i postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije. U strukturi elektroenergetskog sustava, više od polovice čine hidroelektrane. Hrvatska zbog toga pripada među vodeće zemlje u proizvodnji energije iz obnovljivih izvora. Danas je u Hrvatskoj u pogonu 26 hidroelektrana, akumulacijskog i protočnog tipa, a raspoređene su u tri proizvodna područja PP HE Sjever, PP HE Zapad, PP HE Jug dok je HE Dubrovnik samostalni pogon) (HEP Proizvodnja, 2017).

Geografski smještaj hidroelektrana na karti Republike Hrvatske prikazan je na slici 3-3.



Slika 3-3. Geografski smještaj hidroelektrana u Republici Hrvatskoj (HEP Proizvodnja, 2017)

Popis hidroelektrana i njihova nazivna snaga nalazi se u tablici 3-4.

Tablica 3-4. Hidroelektrane u Republici Hrvatskoj

		Ime	Raspoloživa snaga (MW)	Tip
PP HE Sjever		HE Varaždin	92,46	Protočna
		HE Čakovec	77,44	Protočna
		HE Dubrava	79,78	Protočna
PP HE Zapad		HE Vinodol	90	Akumulacijska
		HE Rijeka	36,8	Protočna
		CHE Fužine	4,6	Akumulacijska
		RHE Lepenica	0,8	Akumulacijska
		HE Zeleni Vir	1,7	Akumulacijska
		HE Senj	216	Akumulacijska
		HE Sklope	22,5	Akumulacijska
		HE Gojak	55,5	Protočna
		HE Lešće	41,2	Protočna
		HE Lešće ABM	1,09	Protočna
	HE Ozalj	5,5	Protočna	
PP HE Jug		RHE Velebit	276	Akumulacijska
		HE Golubić	6,54	Protočna
		HE Miljacka	24	Protočna
		HE Jaruga	7,2	Protočna
		HE Krčić	0,34	Protočna
		CS Buško Blato	7,5	Akumulacijska
		HE Orlovac	237	Akumulacijska
		HE Peruća	60	Akumulacijska
		HE Đale	40,8	Akumulacijska
		HE Zakučac	535	Akumulacijska
	HE Kraljevac	46,4	Akumulacijska	
Pogon HE Dubrovnik		HE Dubrovnik	252	Akumulacijska
		HE Zavrle	2	Akumulacijska
		UKUPNO (MW)	2220,15	

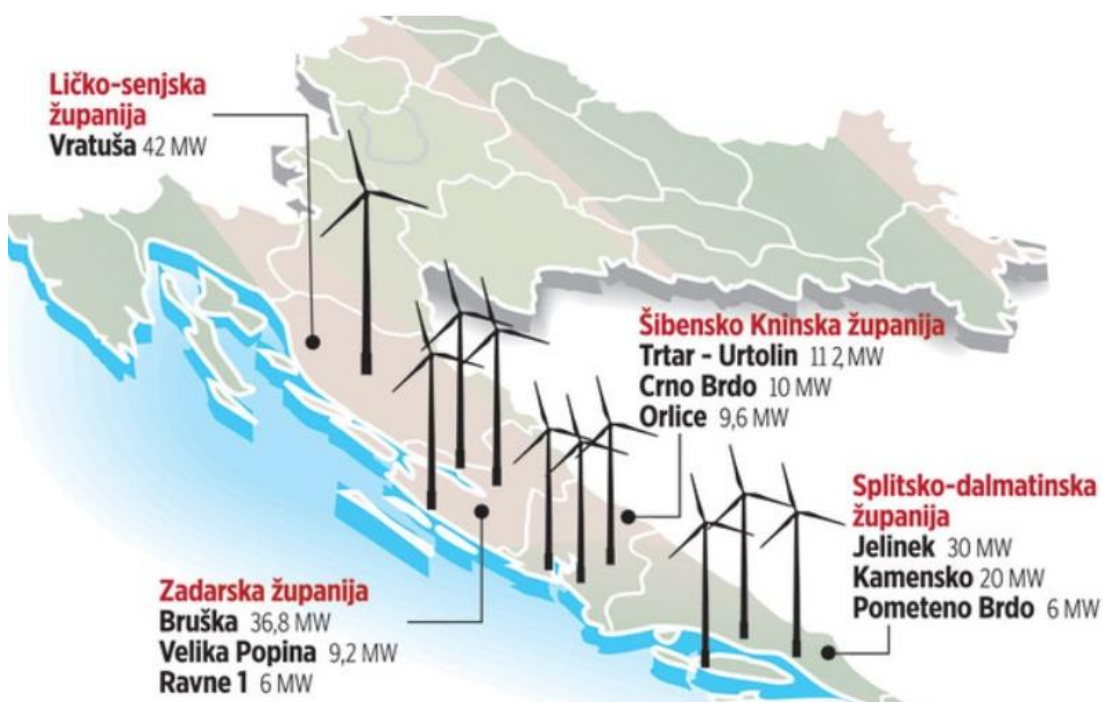
Ukupno na protočne hidroelektrane otpada 427,85 MW, a ukupna raspoloživa snaga akumulacijskih hidroelektrana iznosi 1792,3 MW.

Snaga električne energije koju Republika Hrvatska dobiva iz nuklearne elektrane iznosi 348 MW jer su Republika Hrvatska i Republika Slovenija suvlasnice, svaka s udjelom od 50 % te svaka dobiva 50 % proizvedene električne energije (Nuklearna Elektrana Krško, 2017).

Također, Republika Hrvatska električnu energiju dobiva iz proizvodnje vjetroelektrana, solarnih elektrana te nekih manjih energetske postrojenja.

Ukupna instalirana snaga iz vjetroelektrana u Republici Hrvatskoj iznosi 448,85 MW, a njihov popis prikazan je u tablici 3-5. (Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., 2017).

Geografski smještaj vjetroelektrana na karti Republike Hrvatske prikazan je na slici 3-4.



Slika 3-4. Geografski smještaj vjetroelektrana u Republici Hrvatskoj (Poslovni dnevnik, 2013.)

Tablica 3-5. Vjetroelektrane u Republici Hrvatskoj

Ime	Raspoloživa snaga (MW)
Ravne	5,95
Trtar Krtolin	11,2
Orlice	9,6
Vrataruša	42
Velika Popina	9,2
Pometeno Brdo	20
Crno Brdo	10,5
Bruška	36,8
Ponikve	36,8
Jelinak	30
Voštane	42
Zadar4	9,2
Velika Glava	43,7
Zelengrad	42
Ogorje	45
Rudine	34,2
Glunča	20,7
UKUPNO (MW)	448,85

Ukupna količina električne energije dobivene iz proizvodnje solarnih elektrana u Republici Hrvatskoj iznosi 51,471 MW. Popis nekoliko većih solarnih elektrana i njihova raspoloživa snaga prikazani su u tablici 3-6.

Tablica 3-6. Solarne elektrane u Republici Hrvatskoj

Ime	Raspoloživa snaga (MW)
Kanfanar 1	1
Orahovica 1	0,5
Petrokov	0,4

c) Proizvodnja isključivo toplinske energije

Kako Republika Hrvatska trenutno nema velikih kapaciteta proizvodnje i skladištenja toplinske energije kao ni značajne proizvodnje toplinske energije iz geotermalnih izvora energije ova kartica se ne koristi.

d) Proizvodnja energije iz otpada

Također, u Republici Hrvatskoj ne koriste se postrojenja koja za proizvodnju energije koriste otpad tako da se ni ova kartica ne koristi.

e) Postrojenja koja koriste tekuća i plinovita goriva (*engl. Liquid and Gas Fuels*)

- Biogoriva (*engl. Biofuels*);
- Bioplinovi (*engl. Biogases*);
- Vodik (*engl. Hydrogen*);
- Električna energija i CO₂ (*engl. Electrofuels*);
- Pretvorba plinovitih u tekuća goriva (*engl. Gas to Liquid*).

Kao u prethodna dva slučaja, proizvodnje samo toplinske energije i proizvodnje energije iz otpada, zbog zanemarivih kapaciteta proizvodnje energije iz postrojenja koja koriste tekuća i plinovita goriva ove kartice se ne koriste.

U ovom dijelu „EnergyPLAN“ programa unose se još podaci o ugljikovom dioksidu. Odnosno, količina ugljikovog dioksida u pojedinoj vrsti goriva.

Vrijednosti tih količina po pojedinim gorivima prikazane su u tablici 3-7.

Tablica 3-7. Količina ugljikovog dioksida u pojedinim gorivima (kg/GJ) (EnergyPLAN, 2017)

Ugljen	Dizel, benzin	Prirodni plin	LPG	Otpad
94,6	74	56,7	59,64	32,5

3.1.2.3. Uravnoteženje i skladištenje energije

Skladištenje energije iz električne mreže odnosi se na postupke skladištenja električne energije unutar elektroenergetskog sustava. Za vrijeme kada proizvodnja nadmašuje potrošnju električna energija se skladišti, a rezerve se koriste kad je potrošnja veća od proizvodnje. Na ovaj način se proizvodnja električne energije ne treba drastično povećavati niti smanjivati prema zahtjevima potrošnje, već se održava na ravnomjernijoj razini.

Skladištenje energije korisno je uz korištenje intermitentnih izvora energija poput fotonaponskih sustava. Intermitentni izvori su po prirodi nepredvidivi - količina električne energije koju proizvode tijekom vremena znatno se mijenja i veoma ovisi o nasumičnim čimbenicima vremenskih uvjeta. U električnoj mreži bez pohrane energije, izvori koji ovise o energiji pohranjenoj u gorivu (ugljen, plin, nafta) moraju biti prilagođeni razmjerno povećanju ili smanjenju proizvedene energije iz intermitentnih izvora.

Skladištenje energije je način kako operator električne mreže prilagođava proizvodnju prema potrošnji električne energije, koja se tijekom vremena mijenja. Tako se povećava učinkovitost i smanjuju troškovi proizvodnje ili olakšava upotreba intermitentnih izvora energije.

Načini skladištenje električne energije su:

- Baterije;
- Električna vozila;
- Komprimirani zrak;
- Zamašnjak;
- Vodik;
- Reverzibilne hidroelektrane.

Za potrebe uravnoteženja i skladištenja energije u Republici Hrvatskoj koristi se reverzibilna hidroelektrana Velebit. RHE Velebit posebna je po tome što je najveća reverzibilna hidroelektrana u Hrvatskoj. Reverzibilna hidroelektrana posebna je vrsta hidroelektrane koja osim što proizvodi električnu energiju iz vode kao i svaka druga hidroelektrana, tu istu vodu može pumpati u doba kada je to najisplativije, što je uglavnom noću. RHE Velebit je postrojenje koje se sastoji od gornjeg umjetnog jezera Štikade s kojih koristi vodu za rad i u koje pumpa vodu kad radi kao crpka, tlačnog dovodnog cjevovoda i strojarnice s ostalim objektima, te donjeg umjetnog jezera Razovac (HEP Proizvodnja, 2014.).

Osnovne tehničke karakteristike reverzibilne hidroelektrane Velebit prikazani su u tablici 3-8.

Tablica 3-8. Osnovne tehničke karakteristike RHE Velebit (HEP Proizvodnja, 2014.)

Hidrološki podaci	Srednji godišnji dotok	$Q_{sr} = 11,94 \text{ m}^3/\text{s}$
Podaci o akumulacijskim jezerima		
Bazen Opsenica	Zapremnina	$2,7 \times 10^6 \text{ m}^3$
Bazen Štikada	Zapremnina	$13,65 \times 10^6 \text{ m}^3$
	Korisna zapremnina	$9,6 \times 10^6 \text{ m}^3$
Donji bazen - Razovac	Zapremnina	$1,84 \times 10^6 \text{ m}^3$
Energetski podaci	Najveći bruto pad	550,00 m
	Instalirani protok elektrane u turbinskom radu	$Q_i = 60,00 \text{ m}^3/\text{s}$
	Instalirani protok elektrane u crpnom radu	$Q_i = 40,00 \text{ m}^3/\text{s}$
	Instalirana snaga	276 MW
	Prosječna godišnja proizvodnja	430 GWh
	Energetska vrijednost akumulacije (Štikada + Opsenica)	14,8 GWh

Kada je riječ o uravnoteženju i skladištenju električne energije bitno je objasniti pojam kritičnog viška proizvodnje električne energije, odnosno strategiju njegovog uklanjanja. Strategija uklanjanja kritičnog viška proizvodnje električne energije (*engl. CEEP Regulation*) odnosi se na smanjenje proizvodnje i/ili uravnoteženje viškova električne energije.

Strategija uklanjanja kritičnog viška proizvodnje električne energije definira redoslijed postupaka kojima se on regulira nastali višak.

U ovom slučaju, regulacija viška proizvodnje električne energije provodila bi se sljedećim redoslijedom:

- smanjenje CHP grupe 2 zamjenom s kotlovima;
- smanjenje CHP grupe 3 zamjenom s kotlovima;
- zamjena kotlova električnim bojlerima (ovdje se ne smanjuje višak proizvodnje nego se povećava potražnja, dakle viškovi se "rješavaju" njihovim uravnoteženjem, a ne smanjenjem).

Kao što se može vidjeti, te je to potrebno i naglasiti, u regulaciji nema smanjenja obnovljivih izvora energije, već se oni moraju isključivo uravnotežiti, u ovom slučaju preko toplinske pumpe i toplinskog spremnika/ležišta.

3.1.2.4. Troškovi

Trenutna cijena CO₂ na tržištu je 5,2 €/tCO₂ (Business Insider, 2017). Ostali troškovi, koji su opisani u drugom poglavlju, preuzeti su iz dostupnih dokumenata „EnergyPLAN“ programa.

Investicijski trošak najvažnijih postrojenja kao i udio fiksnih troškova upravljanja i održavanja u investiciji prikazan je u tablici 3-9.

Također, varijabilni troškovi upravljanja i održavanja najvažnijih jedinica prikazani su u tablici 3-10.

Tablica 3-9. Prikaz investicijskih troškova i udio fiksnih troškova upravljanja i održavanja (EnergyPLAN, 2017)

Tip postrojenja	Jedinica	Trošak investicije (M€/jedinica)	Period	O & M (% od investicije)
Mali CHP	MWe	1,2	25	3,75
Veliki CHP	MWe	0,8	25	3,66
Toplinski spremnik	GWh	3,0	20	0,70
Apsorpcijska toplinska pumpa	MWth	0,4	20	4,68
Kotao	MWth	0,075	20	1,47
Elektrana	MWe	0,99	27	3,12
Nuklearna elektrana	MWe	3,6	30	2,53
Vjetroelektrana	MWe	1,3	20	3,05
Solarna elektrana	MWe	1,3	30	2,09
Protočna hidroelektrana	MWe	3,3	50	2,00

Tablica 3-10. Prikaz varijabilnih troškova upravljanja i održavanja (EnergyPLAN, 2017)

Jedinica	Varijabilni trošak upravljanja i održavanja (€/MWh)
Kotao	0,15
CHP	2,7
Toplinska pumpa	0,27
Hidroelektrana	1,19

3.1.3. Rezultati baznog scenarija

Nakon unošenja svih potrebnih podataka u program EnergyPLAN dobivaju se izlazni podaci.

U tablici 3-11. prikazani su rezultati „baznog scenarija“, prema odabranim parametrima, koji će se kasnije koristiti za usporedbu s drugim scenarijima.

Tablica 3-11. Prikaz rezultata „baznog scenarija“ prema odabranim parametrima

		Mjerna jedinica	Iznos
Sustav	Instalirani PV	MW	52
	Instalirani HP	MW	0
	Instalirani TS	GWh	0
	Emisije CO ₂	MtCO ₂	15,269
Potrošnja goriva	Ukupno	TWh	85,49
	Ugljen	TWh	9,79
	Nafta (derivati)	TWh	25,7
	Prirodni plin	TWh	18,53
	Biomasa	TWh	13,8
	Nuklearno gorivo	TWh	8,32
Proizvodnja	Toplinska energija	TWh	0
	Električna energija	TWh	0,08
Uvoz	Električna energija	TWh	3,97
Izvoz	Električna energija	TWh	0,02
Razlika uvoz-izvoz	Električna energija	TWh	3,95

Rezultati iz prethodne tablice mogu nam poslužiti za validaciju postavki modela u EnergyPLAN-u za slučaj Republike Hrvatske. Dva parametra su odabrana za validaciju: emisije CO₂ i razlika uvoza i izvoza električne energije. Validaciju pokazuje tablica 3-12.

Tablica 3-12. Validacija postavki modela u EnergyPLAN-u (Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta, 2014)

		EnergyPLAN bazni scenarij	2012.	2013.	2014.
Emisije CO ₂	MtCO ₂	15,269	16,437	15,950	15,113
Razlika uvoz-izvoz	TWh	3,95	7,43	3,87	3,95

3.2. Analize slučaja

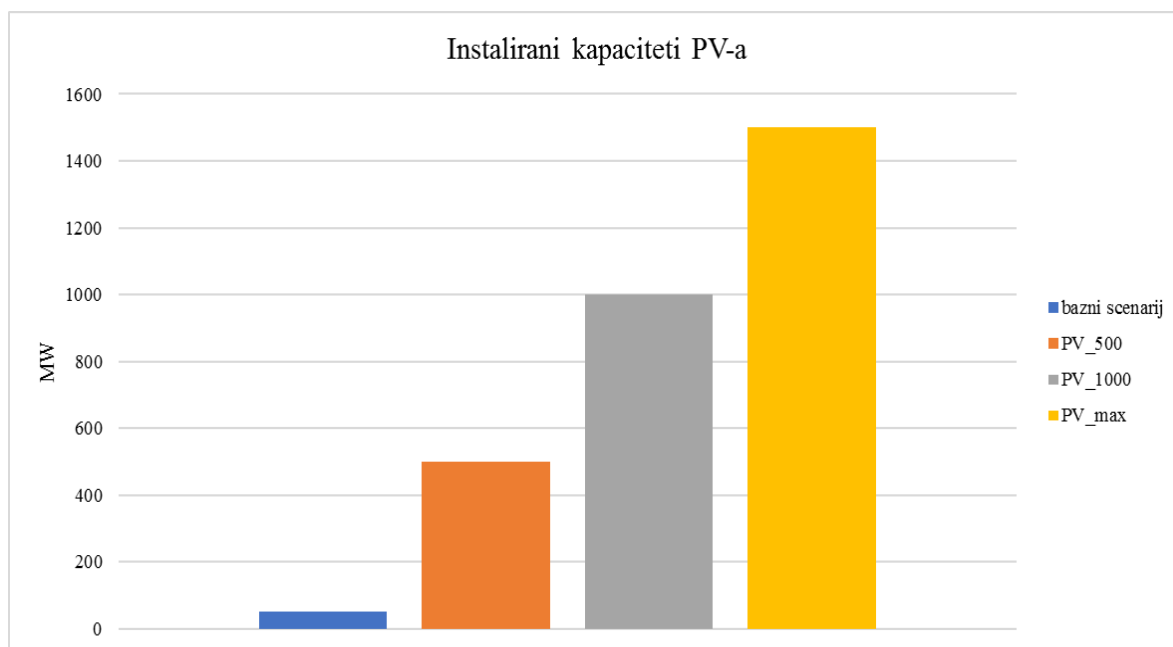
Nakon izrade baznog scenarija i opisa sadašnjeg stanja energetskog sustava Republike Hrvatske, obradit će se tri scenarija koji podrazumijevaju povećanje kapaciteta fotonaponskih modula te tri scenarija koji podrazumijevaju povećanje kapaciteta fotonaponskih modula uz instaliranje toplinskih pumpi i toplinskih spremnika.

Scenariji će se međusobno uspoređivati s obzirom na emisije CO₂, strukturu potrošnje goriva te uvoz/izvoz električne energije.

3.2.1. Analiza slučaja: scenariji sa povećanjem kapaciteta fotonaponskih modula

Kao što je već i navedeno, prva tri scenarija podrazumijevaju povećanje kapaciteta fotonaponskih modula. Sa sadašnjih 52 MW fotonaponskih modula, kapaciteti će se povećati prvo na 500 MW, zatim na 1000 MW te na kraju na 1500 MW.

Grafički prikaz povećanja kapaciteta (TWh/godina) po scenarijima prikazan je na slici 3-5.



Slika 3-5. Grafički prikaz instaliranih kapaciteta fotonaponskih modula po scenarijima

3.2.1.1. Scenarij sa 500 MW fotonaponskih modula

Prvi scenarij uzima u obzir integraciju 500 MW fotonaponskih modula u postojeći energetska sustav Republike Hrvatske. Postojeći energetska sustav Republike Hrvatske može, bez ikakvih promjena, prihvatiti tih 500 MW što je za 450 MW više, nego sada.

Rezultati dobiveni ovim scenarijem prikazani su u tablici 3-13.

Tablica 3-13. Prikaz rezultata „scenarija sa 500 MW fotonaponskih modula“

		Mjerna jedinica	Iznos
Sustav	Instalirani PV	MW	500
	Instalirani HP	MW	0
	Instalirani TS	GWh	0
	Emisije CO ₂	MtCO ₂	14,76
Potrošnja goriva	Ukupno	TWh	84,92
	Ugljen	TWh	9,55
	Nafta (derivati)	TWh	25,15
	Prirodni plin	TWh	18,31
	Biomasa	TWh	13,56
	Nuklearno gorivo	TWh	8,32
Proizvodnja	Toplinska energija	TWh	0
	Električna energija	TWh	0,77
Uvoz	Električna energija	TWh	3,74
Izvoz	Električna energija	TWh	0,03
Razlika uvoz-izvoz	Električna energija	TWh	3,71

3.2.1.2. Scenarij sa 1000 MW fotonaponskih modula

Daljnjim povećavanjem kapaciteta fotonaponskih modula na 1000 MW postojeći energetska sustav Republike Hrvatske i dalje može funkcionirati.

Ovim scenarijem dobiveni su rezultati koji su prikazani u tablici 3-14.

Tablica 3-14. Prikaz rezultata „scenarija sa 1000 MW fotonaponskih modula“

		Mjerna jedinica	Iznos
Sustav	Instalirani PV	MW	1000
	Instalirani HP	MW	0
	Instalirani TS	GWh	0
	Emisije CO ₂	MtCO ₂	14,254
Potrošnja goriva	Ukupno	TWh	84,1
	Ugljen	TWh	9,2
	Nafta (derivati)	TWh	24,58
	Prirodni plin	TWh	17,99
	Biomasa	TWh	13,21
	Nuklearno gorivo	TWh	8,32
Proizvodnja	Toplinska energija	TWh	0
	Električna energija	TWh	1,54
Uvoz	Električna energija	TWh	3,59
Izvoz	Električna energija	TWh	0,06
Razlika uvoz-izvoz	Električna energija	TWh	3,53

3.2.1.3. Scenarij sa 1500 MW fotonaponskih modula

Povećavanjem kapaciteta fotonaponskih modula sa koracima od 100 MW do mjere kada se pojavi CEEP dolazi se do granice koja je maksimalna za sadašnje stanje energetske sustava Republike Hrvatske, a iznosi 1500 MW. Drugim riječima, bez da se išta mijenja u energetske sustavu, Republika Hrvatska može integrirati 1500 MW solarne energije, a da pri tome ne dođe do pojave CEEP-a.

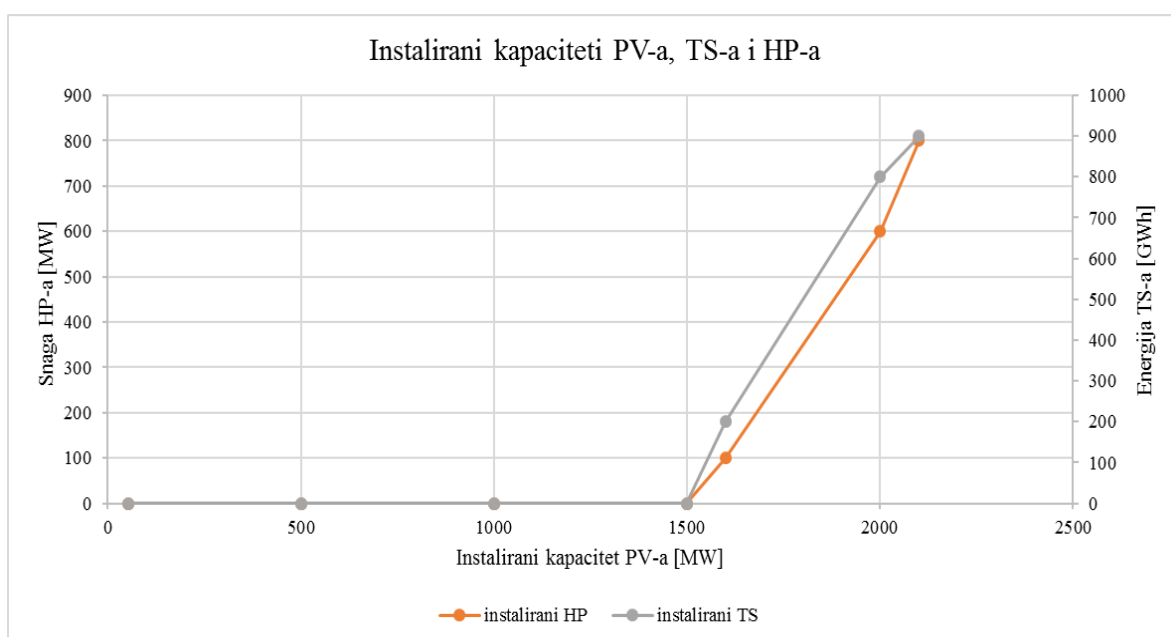
Rezultati ovog scenarija prikazani su u tablici 3-15.

Tablica 3-15. Prikaz rezultata „scenarija sa 1500 MW fotonaponskih modula“

		Mjerna jedinica	Iznos
Sustav	Instalirani PV	MW	1500
	Instalirani HP	MW	0
	Instalirani TS	GWh	0
	Emisije CO ₂	MtCO ₂	13,727
Potrošnja goriva	Ukupno	TWh	83,52
	Ugljen	TWh	8,91
	Nafta (derivati)	TWh	24,1
	Prirodni plin	TWh	17,71
	Biomasa	TWh	12,92
	Nuklearno gorivo	TWh	8,32
Proizvodnja	Toplinska energija	TWh	0
	Električna energija	TWh	2,31
Uvoz	Električna energija	TWh	3,45
Izvoz	Električna energija	TWh	0,16
Razlika uvoz-izvoz	Električna energija	TWh	3,29

3.2.2. Analiza slučaja: scenariji sa povećanjem kapaciteta fotonaponskih modula uz instaliranje toplinskih pumpi i toplinskih spremnika

Prethodna tri scenarija pokazala su da sadašnje stanje energetskog sustava Republike Hrvatske može primiti 1500 MW solarne energije. Sljedeća tri scenarija podrazumijevaju daljnje povećanje kapaciteta fotonaponskih modula, ali uz instaliranje toplinskih pumpi i toplinskih spremnika u postojeći energetski sustav. Time se podrazumijeva revitalizacija postojećih naftnih i geotermalnih ležišta. Grafički prikaz povećanja kapaciteta fotonaponskih modula, toplinskih pumpi i toplinskih spremnika prikazan je na slici 3-6.



Slika 3-6. Instalirani kapaciteti toplinskih pumpi i toplinskih spremnika

3.2.2.1. Scenarij sa 1600 MW fotonaponskih modula, 100 MW toplinskih pumpi i 200 GWh toplinskih spremnika

U ovom scenariju, za razliku od prethodnog, povećana je instalirana snaga PV-a za 100 MW, na konačnih 1600 MW, koje postojeći energetska sustav Republike Hrvatske više ne može primiti. Scenarij istražuje koliko treba dodati kapaciteta toplinskih pumpi i toplinskih spremnika da bude ostvareno tih dodatnih 100 MW. Postupak dolaska do rješenja je da se prvo poveća kapacitet PV-a za 100 MW, nakon toga dodaje se i 100 MW kapaciteta toplinskih pumpi, a onda se traži minimalni kapacitet toplinskih spremnika koji je potreban. Rješenje za uvođenje 1600 MW PV-a je da električni kapacitet toplinskih pumpi treba uvećati za 100 MW te instalirati kapacitet toplinskih spremnika od minimalno 200 GWh.

Rezultati prethodno opisanog scenarija nalaze se u tablici 3-16.

Tablica 3-16. Prikaz rezultata „scenarija sa 1600 MW fotonaponskih modula, 100 MW toplinskih pumpi i 200 GWh toplinskih spremnika“

		Mjerna jedinica	Iznos
Sustav	Instalirani PV	MW	1600
	Instalirani HP	MW	100
	Instalirani TS	GWh	200
	Emisije CO ₂	MtCO ₂	13,548
Potrošnja goriva	Ukupno	TWh	83,22
	Ugljen	TWh	8,84
	Nafta (derivati)	TWh	24,29
	Prirodni plin	TWh	17,2
	Biomasa	TWh	12,85
	Nuklearno gorivo	TWh	8,32
Proizvodnja	Toplinska energija	TWh	0,92
	Električna energija	TWh	2,47
Uvoz	Električna energija	TWh	3,43
Izvoz	Električna energija	TWh	0,24
Razlika uvoz-izvoz	Električna energija	TWh	3,19

3.2.2.2. Scenarij sa 2000 MW fotonaponskih modula, 600 MW toplinskih pumpi i 800 GWh toplinskih spremnika

Ovaj scenarij podrazumijeva povećanje kapaciteta PV-a za još 400 MW, odnosno na 2000 MW. Istom metodom, kao u prethodno opisanom scenariju, dolazi se do rješenja za kapacitete toplinskih pumpi i toplinskih spremnika. U ovom slučaju, potrebno je 600 MW toplinskih pumpi te 800 GWh toplinskih spremnika.

Rezultati ovog scenarija prikazani su u tablici 3-17.

Tablica 3-17. Prikaz rezultata „scenarija sa 2000 MW fotonaponskih modula, 600 MW toplinskih pumpi i 600 GWh toplinskih spremnika

		Mjerna jedinica	Iznos
Sustav	Instalirani PV	MW	2000
	Instalirani HP	MW	600
	Instalirani TS	GWh	800
	Emisije CO ₂	MtCO ₂	13,145
Potrošnja goriva	Ukupno	TWh	82,9
	Ugljen	TWh	8,6
	Nafta (derivati)	TWh	23,83
	Prirodni plin	TWh	17,04
	Biomasa	TWh	12,78
	Nuklearno gorivo	TWh	8,32
Proizvodnja	Toplinska energija	TWh	2,28
	Električna energija	TWh	3,08
Uvoz	Električna energija	TWh	3,32
Izvoz	Električna energija	TWh	0,3
Razlika uvoz-izvoz	Električna energija	TWh	3,02

3.2.2.3. Scenarij sa 2100 MW fotonaponskih modula, 800 MW toplinskih pumpi i 900 GWh toplinskih spremnika

Zadnji scenarij podrazumijeva maksimalne kapacitete fotonaponskih modula, toplinskih pumpi i toplinskih spremnika koje energetska sustav Republike Hrvatske može primiti. Do rješenja se dolazi da se kapacitet PV-a poveća na maksimalni kapacitet, a prethodno opisanom metodom dolazi se do rješenja za minimalne kapacitete toplinskih pumpi i toplinskih spremnika. Za Republiku Hrvatsku maksimalni kapacitet fotonaponskih modula iznosi 2100 MW i potrebno je 800 MW toplinskih pumpi te 900 GWh toplinskih spremnika.

Rezultati scenarija prikazani su u tablici 3-18.

Tablica 3-18. Prikaz rezultata „scenarija sa 2100 MW fotonaponskih modula, 800 MW toplinskih pumpi i 900 GWh toplinskih spremnika“

		Mjerna jedinica	Iznos
Sustav	Instalirani PV	MW	2100
	Instalirani HP	MW	800
	Instalirani TS	GWh	900
	Emisije CO ₂	MtCO ₂	13,027
Potrošnja goriva	Ukupno	TWh	82,89
	Ugljen	TWh	8,53
	Nafta (derivati)	TWh	23,8
	Prirodni plin	TWh	16,97
	Biomasa	TWh	12,77
	Nuklearno gorivo	TWh	8,32
Proizvodnja	Toplinska energija	TWh	2,25
	Električna energija	TWh	3,23
Uvoz	Električna energija	TWh	3,3
Izvoz	Električna energija	TWh	0,36
Razlika uvoz-izvoz	Električna energija	TWh	2,94

4. ANALIZA REZULTATA

4.1. Međusobna usporedba scenarija

Nakon opisa i prikazanih rezultata svih scenarija u prethodnom poglavlju, u ovom poglavlju biti će analizirani sami rezultati s obzirom na emisije CO₂, strukturu potrošnje goriva te uvoz/izvoz električne energije.

Prikaz rezultata svih scenarija radi lakše usporedbe prikazan je u tablici 4-1.

Tablica 4-1. Usporedba scenarija

		Mjerna jedinica	Bazni scenarij	PV 500	PV 1000	PV max	PVmax +100	PVmax +500	PVmax +max
Sustav	Instalirani PV	MW	52	500	1000	1500	1600	2000	2100
	Instalirani HP	MW	0	0	0	0	100	600	800
	Instalirani TS	GWh	0	0	0	0	200	800	900
	Emisije CO ₂	MtCO ₂	15,3	14,76	14,254	13,727	13,548	13,145	13,027
Potrošnja goriva	Ukupno	TWh	85,5	84,92	84,1	83,52	83,22	82,9	82,89
	Ugljen	TWh	9,79	9,55	9,2	8,91	8,84	8,6	8,53
	Nafta (derivati)	TWh	25,7	25,15	24,58	24,1	24,29	23,83	23,8
	Prirodni plin	TWh	18,5	18,31	17,99	17,71	17,2	17,04	16,97
	Biomasa	TWh	13,8	13,56	13,21	12,92	12,85	12,78	12,77
	Nuklearno gorivo	TWh	8,32	8,32	8,32	8,32	8,32	8,32	8,32
Proizvodnja	Toplinska energija	TWh	0	0	0	0	0,92	2,28	2,25
	Električna energija	TWh	0,08	0,77	1,54	2,31	2,47	3,08	3,23
Uvoz	Električna energija	TWh	3,97	3,74	3,59	3,45	3,43	3,32	3,3
Izvoz	Električna energija	TWh	0,02	0,03	0,06	0,16	0,24	0,3	0,36

4.2. Analiza rezultata s obzirom na emisije CO₂

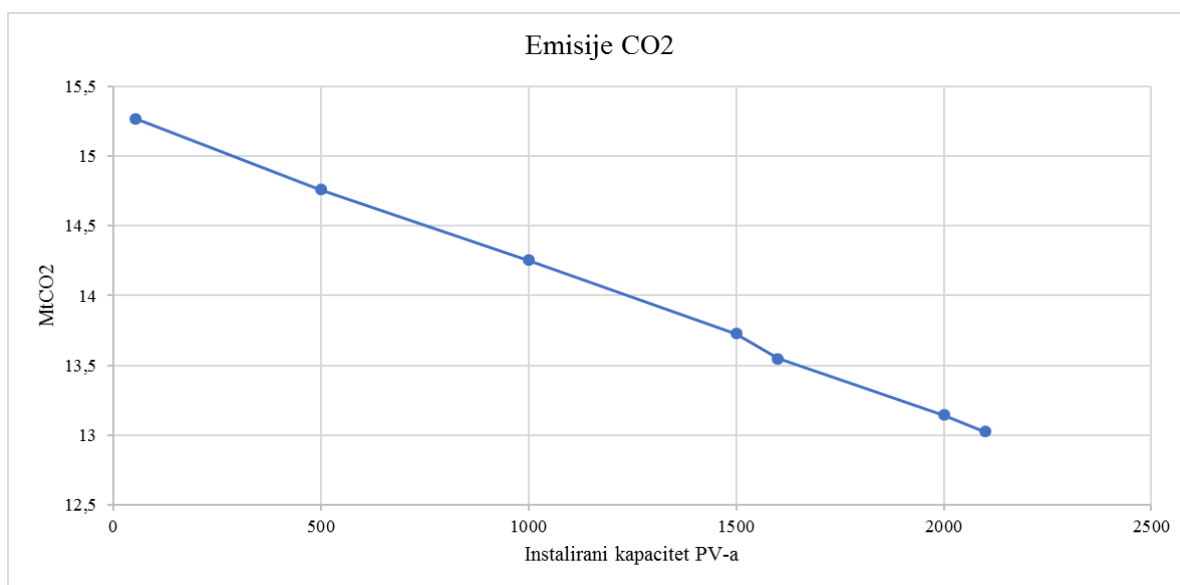
Kroz količinu emisija CO₂ promatrat će se zapravo utjecaj na okoliš svakog od scenarija. U „baznom scenariju“ emisije CO₂ iznose 15,269 MtCO₂.

Prema podacima Međunarodne energetske agencije emisije CO₂ u 2014. godini za Republiku Hrvatsku iznosile su 15,14 MtCO₂ (International Energy Agency, 2014).

Kod prva tri scenarija, odnosno kod scenarija s povećavanjem kapaciteta fotonaponskih modula vidljivo je smanjenje emisija CO₂, što je i glavna prednost obnovljivih izvora energije. Kako su se instalirani kapaciteti fotonaponskih modula povećavali prvo na 500 MW, zatim na 1000 MW te na 1500 MW tako su se i emisije CO₂ smanjivale na 14,76 MtCO₂, 14,254 MtCO₂ i 13,727 MtCO₂.

Sljedeća tri scenarija uvode i promjene u postojeći energetske sustav Republike Hrvatske, odnosno za daljnje povećanje kapaciteta fotonaponskih modula potrebno je instalirati toplinske pumpe i toplinske spremnike. Prvi takav scenarij sa 1600 MW fotonaponskih modula, 100 MW toplinskih pumpi i 200 GWh toplinskih spremnika rezultira daljnjim smanjenjem emisija CO₂ te one u tom slučaju iznose 13,548 MtCO₂. Svakim daljnjim povećanjem kapaciteta fotonaponskih modula, toplinskih pumpi i toplinskih spremnika emisije CO₂ nastavljaju se smanjivati. Emisije CO₂ u posljednja dva scenarija smanjuju se na 13,145 MtCO₂ i 13,027 MtCO₂.

Grafički prikaz kretanja emisija CO₂ prikazan je na slici 4-1.



Slika 4-1. Emisije CO₂

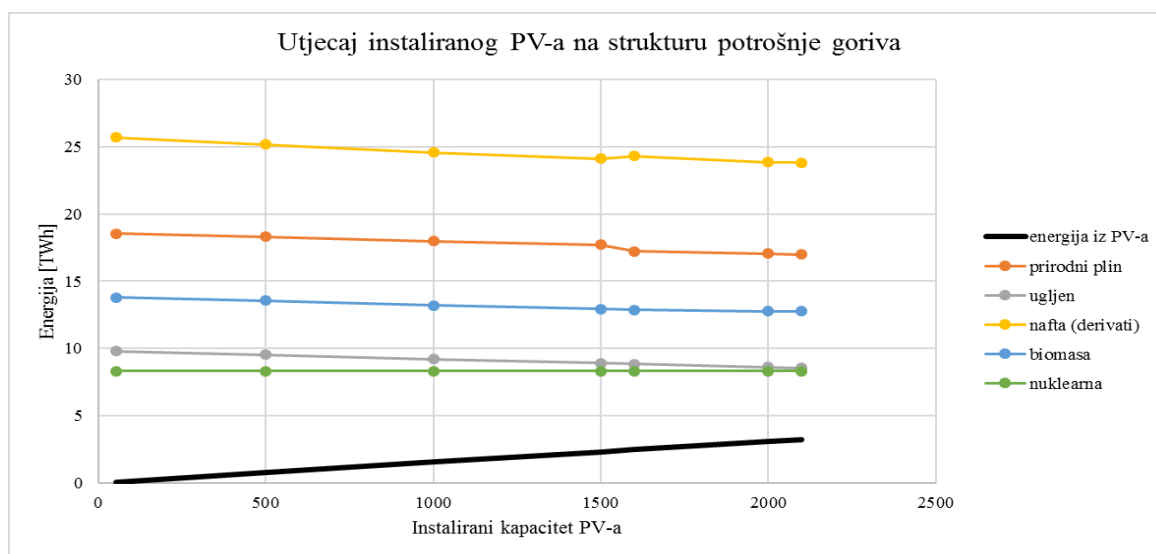
4.3. Analiza rezultata s obzirom na strukturu potrošnje goriva

Nakon analize rezultata s obzirom na emisije CO₂ slijedi analiza rezultata s obzirom na strukturu potrošnje goriva izraženu preko finalne potrošnje energije po energentu.

Prva tri scenarija pokazala su da povećanje instaliranih kapaciteta fotonaponskih modula ne utječu značajno na potrošnju goriva. Potrošnja ugljena, kroz prva tri scenarija, smanjivala se od 9,55 TWh u prvom, 9,2 TWh u drugom do 8,91 TWh u trećem scenariju. Isto tako, blago smanjivanje potrošnje vidljivo je i u slučaju nafte (derivata), prirodnog plina i biomase. Tako se potrošnja nafte (derivata), kroz prva tri scenarija, kretala od 25,15 TWh, 24,58 TWh do 24,1 TWh, a prirodnog plina od 18,31 TWh, 17,99 TWh do 17,71 TWh. Potrošnja biomase iznosila je 13,56 TWh, 13,21 TWh i 12,92 TWh. S druge strane potrošnja nuklearnog goriva nije se mijenjala s povećanjem kapaciteta fotonaponskih modula.

Sljedeća tri scenarija utjecala su najviše na smanjenje potrošnje prirodnog plina. Tako se potrošnja prirodnog plina kroz scenarije smanjivala na iznose od 17,2 TWh, 17,04 TWh do 16,97 TWh. Potrošnja nafte (derivata) porasla je prvo na 24,29 TWh, zatim se smanjila na 23,8 TWh u posljednja dva scenarija. Potrošnja ugljena i biomase nastavila se i dalje blago smanjivati. Tako je potrošnja ugljena iznosila 8,84 TWh, 8,6 TWh i 8,53 TWh, a potrošnja biomase 12,85 TWh, 12,78 TWh i 12,77 TWh. Potrošnja nuklearnog goriva i dalje je ostala na istoj razini.

Grafički prikaz utjecaja povećanja kapaciteta fotonaponskih modula na strukturu potrošnje goriva prikazan je na slici 4-2.



Slika 4-2. Utjecaj instaliranih fotonaponskih modula na strukturu potrošnje goriva

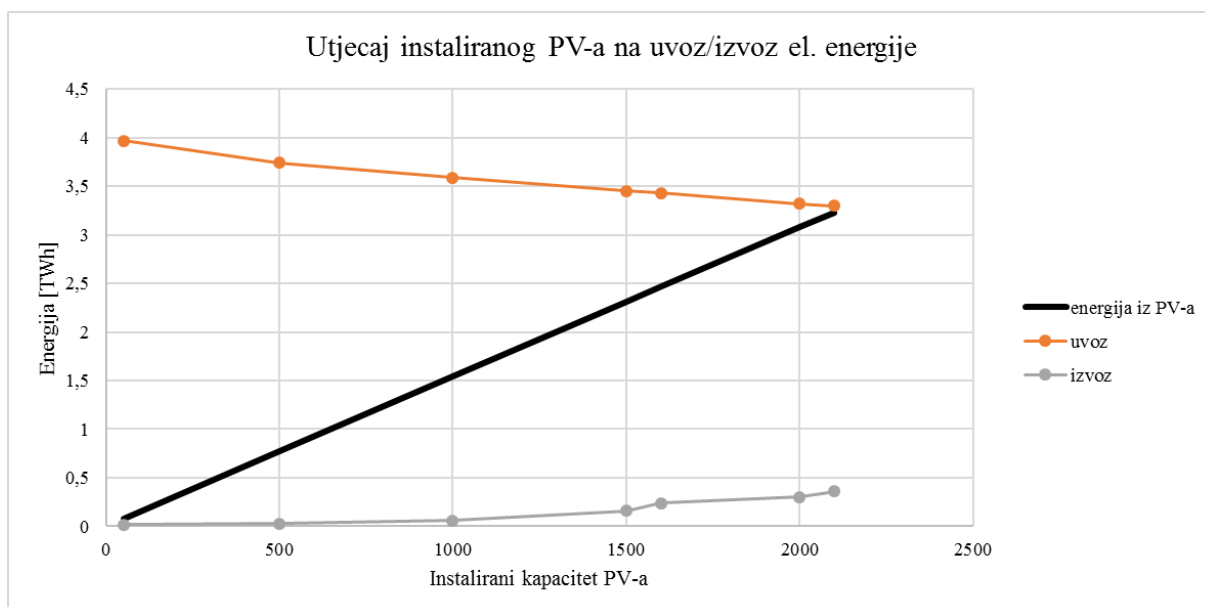
4.4. Analiza rezultata s obzirom na uvoz/izvoz električne energije

Sljedeća analiza odnosi se na uvoz i izvoz električne energije u Republici Hrvatskoj. Po „baznom scenariju“ uvoz električne energije u Republiku Hrvatsku iznosi 3,97 TWh, a izvoz električne energije iz Republike Hrvatske 0,02 TWh.

U odnosu na sadašnje stanje, prvi scenarij, odnosno prvo povećanje kapaciteta fotonaponskih modula u prvom scenariju na 500 MW pokazuje da bi uvoz električne energije pao na 3,74 TWh. Također, u drugom i trećem scenariju uvoz električne energije i dalje bi se nastavio smanjivati te bi iznosio 3,59 TWh i 3,45 TWh. S druge strane, povećavao bi se izvoz električne energije te bi, kroz prva tri scenarija, iznosio 0,03 TWh, 0,06 TWh i 0,16 TWh.

Nakon povećanja kapaciteta fotonaponskih modula i instaliranja kapaciteta toplinskih pumpi i toplinskih spremnika, uvoz električne energije u Republiku Hrvatsku i dalje bi se nastavio smanjivati te bi iznosio 3,43 TWh u prvom, 3,32 TWh u drugom i 3,3 TWh u trećem scenariju. I u ovom slučaju, izvoz električne energije nastavio bi rasti te bi se kretao od 0,24 TWh, 0,3 TWh do 0,36 TWh.

Grafički prikaz utjecaja povećanja kapaciteta fotonaponskih modula na uvoz i izvoz električne energije prikazan je na slici 4-3.



Slika 4-3. Utjecaj instaliranih fotonaponskih modula na uvoz/izvoz el. energije

4.5. Analiza rezultata s obzirom na mjesečnu proizvodnju električne energije iz fotonaponskih modula

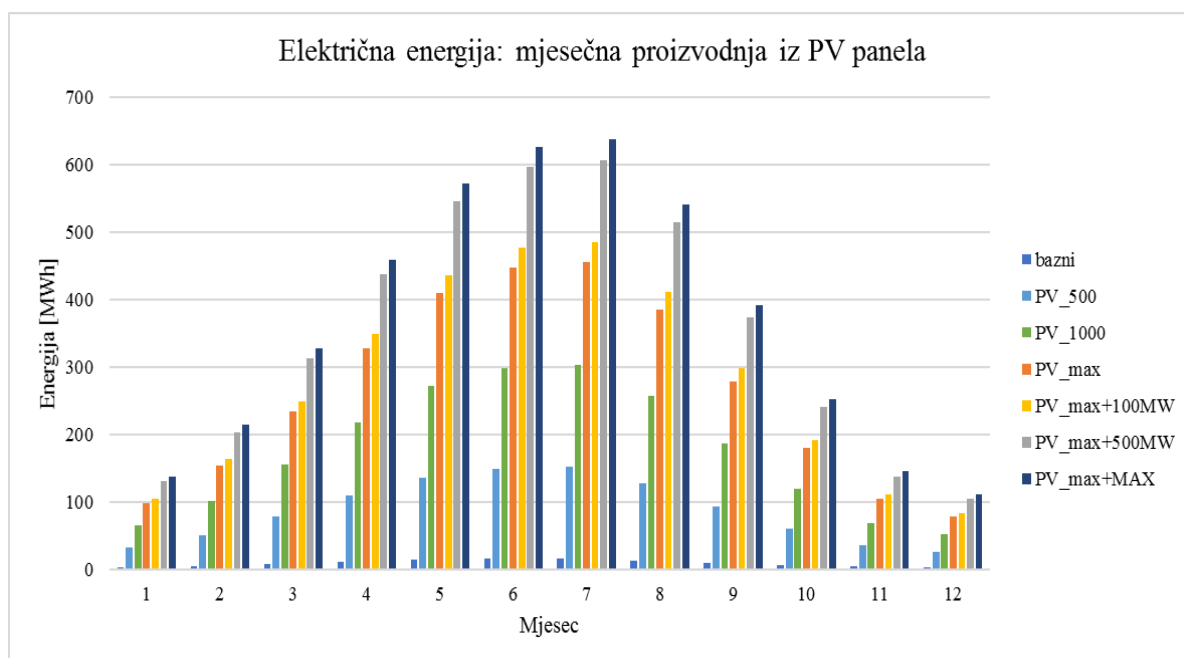
Posljednja analiza rezultata odnosi se na mjesečnu proizvodnju električne energije iz fotonaponskih modula u Republici Hrvatskoj.

Kao što je i vidljivo s grafa na slici 4-4., proizvodnja električne energije iz fotonaponskih modula veća je tokom ljetnih mjeseci, a najveća u sedmom mjesecu, što je bilo i za očekivati.

Općenito, proizvodnja električne energije iz fotonaponskih modula povećavala se s povećanjem instaliranih kapaciteta. Po „baznom scenariju“ proizvodnja električne energije iz fotonaponskih modula iznosila je 0,08 TWh.

Prva tri scenarija rezultirala su povećavanjem proizvodnje električne energije iz fotonaponskih modula prvo na 0,77 TWh, zatim na 1,54 TWh te na kraju na 2,31 TWh. Isto tako, sljedeća tri scenarija rezultirala su daljnjim povećanjem proizvodnje električne energije iz fotonaponskih modula. Tako da proizvodnja električne energije u posljednja tri scenarija kreće se od 2,47 TWh, 3,08 TWh do 3,23 TWh.

Grafički prikaz proizvodnje električne energije iz fotonaponskih modula po mjesecima prikazan je na slici 4-4.



Slika 4-4. Mjesečna proizvodnja električne energije iz fotonaponskih modula

5. ZAKLJUČAK

Ovaj diplomski rad obrađuje „bazni scenarij“ i šest scenarija koji predviđaju mogući razvoj energetskeg sustava Republike Hrvatske. Izrada „baznog scenarija“ predstavlja vjerodostojni model odabrane bazne godine, u ovom slučaju 2014. godine, u EnergyPLAN modelu te je njegova izrada prethodila analizama ostalih scenarija. Ostali scenariji podrazumijevaju integraciju fotonaponskih modula u postojeći energetske sustav Republike Hrvatske, ali i integraciju fotonaponskih modula uz instaliranje kapaciteta toplinskih pumpi i toplinskih spremnika koje Republika Hrvatska trenutno ne posjeduje.

Rezultati scenarija sadrže instalirane kapacitete fotonaponskih modula, toplinskih pumpi i toplinskih spremnika, emisije CO₂, strukturu potrošnje goriva te uvoz i izvoz električne energije. Dobiveni podaci promatrani su kroz aspekte zadovoljavanja potražnje, smanjenja emisija CO₂, smanjenja uvoza električne energije te smanjenja potrošnje goriva. Rezultati scenarija su se međusobno uspoređivali i analizirali s obzirom na prethodno navedene parametre.

Analizom rezultata svih scenarija dobiveno je nekoliko vrijednih zaključaka. Prva tri scenarija, nakon „baznog scenarija“, pokazala su da kapacitet fotonaponskih modula koji Republika Hrvatska može integrirati u postojeći energetske sustav iznosi 1500 MW. Za svako daljnje povećanje kapaciteta fotonaponskih modula u energetske sustav Republike Hrvatske potrebno je instalirati toplinske pumpe i toplinske spremnike. Drugim riječima, potrebno je provesti revitalizaciju postojećih naftnih i geotermalnih ležišta. Analiza i usporedba rezultata scenarija pokazala je da povećanje kapaciteta fotonaponskih modula ne utječe značajno na strukturu potrošnje goriva, osim na potrošnju prirodnog plina. Razlog tome je što se prirodni plin, kao gorivo, koristi u velikim CHP postrojenjima, a njima konkuriraju toplinske pumpe („Grupa 3“ opisana u drugom poglavlju ovog rada) koje se podrazumijevaju kod integriranja kapaciteta fotonaponskih modula iznad 1500 MW. Da bi energetske sustav Republike Hrvatske mogao funkcionirati uz povećanje instaliranih kapaciteta fotonaponskih modula pomoću novoinstaliranih kapaciteta toplinskih pumpi i toplinskih spremnika potrebno je povećati konzum toplinske energije prema područnom grijanju („Grupa 3“ opisana u drugom poglavlju ovog rada).

S obzirom na sve navedeno, u slučaju hrvatskog energetskeg sustava, postoji veliki potencijal za razvoj u smjeru kombiniranja konvencionalnih i obnovljivih izvora energije. Integracijom obnovljivog izvora energije, kao što su fotonaponski moduli, Republika Hrvatska ostvarila bi ciljeve koji su joj nametnuti ulaskom u Europsku uniju, a odnose se na smanjenje emisija stakleničkih plinova, smanjenje potrošnje fosilnih goriva, poticanje obnovljivih izvora energije te njihovo iskorištavanje u proizvodnji električne energije.

Bitno je napomenuti da, osim prikazanih investicijskih troškova te troškova emisija CO₂, u ovom radu nije provedena ekonomska analiza koja predstavlja bitan čimbenik za potpunu analizu i prosudbu slučajeva. No, već iz samog prikaza investicijskih troškova vidljivo je da tehnologija obnovljivih izvora energije još nije jeftina te je cijena te energije još i viša.

Dakle, integracija obnovljivih izvora energije podrazumijeva velike investicijske troškove te se trenutno ne mogu integrirati na ekonomski isplativ način. Ta činjenica pokazuje da su energetske sustavi i dalje, u velikoj mjeri, ovisni o fosilnim gorivima kao što su ugljen, nafta i prirodni plin, a pogotovo u trenutnom razdoblju niskih cijena nafte na svjetskim tržištima.

6. LITERATURA

1. BRITISH BUSINESS ENERGY. 2016. World Solar PV Energy Potential Maps.
URL: <https://britishbusinessenergy.co.uk/world-solar-map/> (11.8.2017.)
2. BUSINESS INSIDER. 2017. Markets Insider.
URL: <http://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechte>
(10.8.2017.)
3. CEROVAC, T. 2013. Diplomski rad.
URL: http://powerlab.fsb.hr/neven/pdf/supervision_of_msc_eq_thesis/tin_cerovac_diplomski.pdf (12.3.2017.)
4. CONNOLLY, D. 2015. EnergyPLAN Cost Database.
URL: <http://www.energyplan.eu/> (1.2.2017.)
5. CONNOLLY, D. 2015. Finding and Inputting Dana into EnergyPLAN.
URL: <http://www.energyplan.eu/> (1.2.2017.)
6. DANISH ENERGY AGENCY. 2016. Technology Dana for Energy Plants.
URL: <https://ens.dk/en> (1.2.2017.)
7. DEPARTMENT OF ENERGY AND MINERAL ENGINEERING. Energy Markets, Policy, and Regulation.
URL: <https://www.e-education.psu.edu/eme801/node/530> (11.8.2017.)
8. EnergyPLAN. URL: <http://www.energyplan.eu/> (1.2.2017.)
9. HEP PROIZVODNJA. 2014. Reverzibilna hidroelektrana Velebit.
URL: http://www.hro-cigre.hr/downloads/RHE_Velebit.pdf (12.8.2017.)
10. HEP PROIZVODNJA: HIDROELEKTRANE.
URL: <http://proizvodnja.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/default.aspx>
(8.3.2017.)
11. HEP PROIZVODNJA: TERMOELEKTRANE.
URL: <http://proizvodnja.hep.hr/proizvodnja/osnovni/termoelektrane/default.aspx>
(8.3.2017.)
12. HRVATSKE ENERGETSKA REGULATORNA AGENCIJA. 2015. Godišnje izvješće za 2014.godinu.
URL: https://www.hera.hr/hr/docs/HERA_izvjesce_2014.pdf (19.3.2017.)
13. HRVATSKI OPERATOR PRIJENOSNOG SUSTAVA D.O.O. 2017. Izvještaj o proizvodnji VE u RH.
URL: <https://www.hops.hr/wps/portal/hr/web/dokumenti/Publikacije/izvjestajive>
(6.3.2017.)
14. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2010. Technology Roadmap: Solar photovoltaic energy.
URL: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv_roadmap.pdf
(12.8.2017.)
15. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2014. Statistics.
URL: <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=CROATIA&product=indicators&year=2014> (12.8.2017.)

16. KOMUŠANAC, I., ČOSIĆ, B., DUIĆ, N. 2016. Impact of high penetration of wind and solar PV generation on the country power system load: The case study of Croatia. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916308741> (12.8.2017.)
17. LUND, H. 2015. EnergyPLAN: Advanced Energy Systems Analysis Computer Model. URL: <http://www.energyplan.eu/wp-content/uploads/2013/06/EnergyPLAN-Documentation-Version12.pdf> (1.2.2017.)
18. MAJDANŽIĆ, LJ. 2014. Fotonaponski sustavi. URL: http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf (25.7.2017.)
19. MINISTARSTVO GOSPODARSTVA, PODUZETNIŠTVA I OBRTA. 2013. Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore energije do 2020. godine. URL: https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/NAP_OIE.pdf (12.8.2017.)
20. MINISTARSTVO GOSPODARSTVA, PODUZETNIŠTVA I OBRTA. 2015. Energija u Hrvatskoj. URL: http://www.mingo.hr/public/energetika/Energija_RH_2014.pdf (10.5.2017.)
21. NUKLEARNA ELEKTRANA KRŠKO. URL: <http://www.nek.si/hr/> (6.3.2017.)
22. POSLOVNI DNEVNIK. 23.7.2013. 1200 MW do 2020.? Hrvatskoj treba nova strategije vjetroenergetike. URL: <http://www.poslovni.hr/hrvatska/1200-mw-do-2020-hrvatskoj-treba-nova-strategija-vjetroenergetike-248055> (28.5.2017.)
23. SOLARNI PROJEKTI HRVATSKA. Fotonaponski sustavi. URL: <http://www.solarniprojekti.hr/fotonaponski-sustavi.html?locale=hr> (02.08.2017.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad s naslovom „Procjena utjecaja integracije fotonaponskih modula u energetske sustave Republike Hrvatske pomoću programa EnergyPLAN“ izradila samostalno uz pomoć i savjete mentora te na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

Iva Vrankić