Efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije

Maradin, Dario

Doctoral thesis / Disertacija

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Economics / Sveučilište u Rijeci, Ekonomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:192:232158

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

SVEUČILIŠTE U RIJECI
EKONOMSKI FAKULTET

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Rijeka, Faculty of Economics and Business - FECRI Repository

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
EKONOMSKI FAKULTET

Dario Maradin

EFIKASNOST VJETROENERGETSKIH PODUZEĆA U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

DOKTORSKI RAD

Rijeka, 2015

SVEUČILIŠTE U RIJECI
EKONOMSKI FAKULTET

Dario Maradin

EFIKASNOST VJETROENERGETSKIH PODUZEĆA U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Ljerka Cerović

Rijeka, 2015

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF ECONOMICS

Dario Maradin

THE EFFICIENCY OF WIND POWER COMPANIES IN ELECTRICITY GENERATION

DOCTORAL THESIS

Rijeka, 2015

Mentor rada: prof. dr. sc. Ljerka Cerović

Doktorski rad obranjen je dana 16. srpnja 2015. godine na Ekonomskom fakultetu, Sveučilište u Rijeci, pred povjerenstvom u sastavu:

1. **prof. dr. sc. Nela Vlahinić Lenz**, predsjednik povjerenstva, Sveučilište u Rijeci, Ekonomski fakultet
2. **prof. dr. sc. Lorena Škuflić**, član, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet
3. **prof. dr. sc. Ljerka Cerović**, mentor i član, Sveučilište u Rijeci, Ekonomski fakultet

Posveta

Pokojnoj baki Ivanki

ZAHVALA

Zahvaljujem se, od srca, svojoj mentorici prof. dr. sc. Ljerki Cerović što mi je pomogla pri izradi moje doktorske disertacije te u to uložila puno truda, vremena i znanja, pruživši nesebičnu potporu mojem znanstveno-istraživačkom razvoju i radu.

Također se najljepše zahvaljujem članovima Povjerenstva za ocjenu i obranu doktorske disertacije: prof. dr. sc. Neli Vlahinić Lenz i prof. dr. sc. Loreni Škuflić, na njihovim korisnim i stručnim smjernicama i komentarima. Veliko hvala iskazujem i prof. dr. sc. Alemki Šegota na dragocjenim sugestijama.

Ove doktorske disertacije ne bi bilo bez ljubavi i potpore supruge Maje kojoj se zahvaljujem na strpljivosti zbog moje posvećenosti dugotrajnom radu i učenju. Hvala i mojim predivnim roditeljima što su uvijek vjerovali u mene, prijateljima u Rijeci i Karlovcu na riječima potpore, te kolegama na hvalevrijednim savjetima.

Najviše se zahvaljujem milosrdnom Ocu.

SAŽETAK

U doktorskoj disertaciji ocjenjuje se relativna efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije. Temeljna svrha doktorske disertacije je utvrditi čimbenike kojima će se unaprijediti efikasnost poduzeća u proizvodnji električne energije iz energije vjetra te tako utjecati na efikasnost vjetroelektrana kao značajnog nositelja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Slijedom navedenog, cilj istraživanja je ispitati i utvrditi izvore neefikasnosti vjetroenergetskih poduzeća te dobivenim spoznajama utjecati na njihovo otklanjanje, kao i osigurati informacije o opsegu, odnosno veličini mogućeg poboljšanja pojedinih čimbenika efikasnosti proizvodnje električne energije iz energije vjetra. Važno je napomenuti da se u doktorskoj disertaciji ne ocjenjuje apsolutna efikasnost, već relativna efikasnost vjetroenergetskih poduzeća, pri čemu se efikasnost svakog pojedinog subjekta mjeri, uspoređuje i ocjenjuje u odnosu na ostale subjekte u referentnom skupu. U tom smislu, kao osnovna znanstvena metoda istraživanja, primijenjena je analiza omeđivanja podataka (inputu-usmjereni DEA model), kojom metodom se ocjenjuje stupanj efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije u određenom vremenskom trenutku (jedna kalendarska godina) - statički uvjeti analize. U istraživanju je, metodom slučajnog odabira, obuhvaćeno i analizirano 78 vjetroenergetskih poduzeća iz Republike Hrvatske i ostalih 11 država članica Europske unije. Uzorkom su obuhvaćena samo ona poduzeća koja za proizvodnju električne energije (i njezinu predaju u elektroenergetsku mrežu) koriste energiju vjetra. Navedeno predstavlja jedinu djelatnost promatranih poduzeća te su time iz uzorka isključena sva ostala energetska poduzeća koja proizvode električnu energiju iz različitih energetskih resursa. Time je zadovoljena jedna od temeljnih pretpostavki metodologije analize omeđivanja podataka da su poduzeća međusobno usporediva te da djeluju u sličnim uvjetima. U doktorskom istraživanju, čimbenici (inputi modela) kojima se ocjenjuje relativna efikasnost vjetroenergetskih poduzeća klasificirani su na varijable tehničke i ekonomske prirode. Promatrajući prosječna poboljšanja varijabli inputa u modelu, moguće je uočiti relativno podjednake iznose projekcija s blagim odstupanjima vrijednosti. Spomenuto je u skladu s očekivanjima, s obzirom da je nužno kvalitetno upravljati svim aspektima poslovanja poduzeća, odnosno ukupnim resursima vjetroenergetskog poduzeća (ekonomskim i tehničkim obilježjima vjetroelektrana) u svrhu postizanja ravnoteže između angažiranih čimbenika proizvodnje te postizanja optimalne razina

proizvodnje u tehničkom i ekonomskom smislu. Navedenim se potvrđuje temeljna hipoteza doktorske disertacije prema kojoj je moguće ekstrahirati čimbenike koji utječu na efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije, potvrditi važnost upravljanja sveukupnim resursima poduzeća, odnosno ekonomskim i tehničkim obilježjima vjetroelektrana, te spoznajama o istima izravno utjecati na efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u Republici Hrvatskoj, posljedično i na efikasnost elektroenergetskog sektora u području obnovljivih izvora energije.

KLJUČNE RIJEČI: vjetroenergetska poduzeća, djelatnost proizvodnje električne energije, relativna efikasnost, metoda analize omeđivanja podataka (DEA metoda)

ABSTRACT

The doctoral dissertation covers the assessment of relative efficiency of wind power companies in electricity generation. The basic purpose of this doctoral dissertation is to identify the factors that will improve the efficiency of companies in the generation of electricity from wind energy and thus affect the efficiency of wind power plants as important producers of electricity from renewable energy sources. Therefore, the objective of the research is to explore and identify the causes of inefficiency of wind power companies and use the obtained knowledge to eliminate them, as well as provide information on the scope, i.e. size of possible improvement of certain factors of efficiency in electricity production from wind energy. It is important to note that absolute efficiency is not assessed in this doctoral dissertation, but rather the relative efficiency of wind power companies, and the efficiency of each entity is measured, compared and evaluated in relation to other entities in the reference set. In this respect, the Data Envelopment Analysis method was applied as the basic scientific research method (input-oriented DEA model), which is used to assess the level of efficiency of wind power companies in the generation of electricity at a specific point in time (one calendar year) – static conditions of the analysis. The research was based on random selection and covered and analysed 78 wind power companies from the Republic of Croatia and another 11 EU Member States. The sample includes only the companies that use wind energy in the production of electricity (and its transmission to the electricity network). This is the only activity of the analysed companies, and all other energy companies that generate electricity from different energy sources are therefore excluded from the sample. This supports one of the basic preconditions of the data envelopment analysis methodology, that the companies are mutually comparable and that they operate in similar conditions. In this doctoral dissertation, the factors (inputs of the model) used to assess the relative efficiency of wind power companies are classified into variables of technical and economic nature. By analysing average improvements of input variables in the model, it is possible to observe relatively equal amounts of projections with slight deviations in the values. The above is in line with the expectations, given the necessity for quality management of all aspects of company operations, i.e. total resources of the wind power company (economic and technical characteristics of wind power plants) in order to achieve balance between the involved production factors and optimal production levels in technical and economic terms. This supports the basic hypothesis of the

doctoral dissertation according to which it is possible to extract the factors that affect the efficiency of wind power companies in the electricity generation, confirm the importance of management of total company resources, i.e. economic and technical characteristics of wind power plants, and use this knowledge to directly influence the efficiency of wind power companies in the Republic of Croatia, and consequently the efficiency of the electric power sector in the field of renewable energy sources.

KEY WORDS: wind power companies, electricity generation, relative efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA) method

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKT ISTRAŽIVANJA 1

1.2. ZNANSTVENA HIPOTEZA I POMOĆNE HIPOTEZE 2

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA 3

1.4. ZNANSTVENE METODE 4

1.5. KOMPOZICIJA RADA 5

2. OBILJEŽJA I SPECIFIČNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA 8

2.1. PROCESI RESTRUKTURIRANJA ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA 9

2.1.1. Liberalizacija i uvođenje konkurencije u elektroenergetski sektor 9

2.1.2. Vertikalno razdvajanje elektroenergetskih djelatnosti 21

2.2. TRŽIŠNO ORIJENTIRANE DJELATNOSTI ELEKTRIČNE ENERGIJE 24

2.2.1. Djelatnost proizvodnje električne energije u liberaliziranom elektroenergetskom sektoru 24

2.2.2. Djelatnost opskrbe električne energije u konkurentnim tržišnim uvjetima 29

2.3. REGULIRANE DJELATNOSTI PRIRODNOG MONOPOLA ELEKTRIČNE ENERGIJE 33

2.3.1. Mrežne djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije 33

2.3.2. Vrste ekonomskih regulacija djelatnosti prirodnog monopola električne energije 37

3. RAZVOJ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE 40

3.1. KONCEPT SIGURNOSTI OPSKRBE ELEKTRIČNE ENERGIJE 40

3.1.1. Definicije i segmenti sigurnosti opskrbe energije 41

3.1.2. Odrednice sigurnosti opskrbe električne energije 46

3.2. RAZVOJ ALTERNATIVNIH OBLIKA ENERGIJE 48

3.2.1. Definiranje obnovljivih izvora energije 49

3.2.2. Prednosti korištenja obnovljivih izvora energije 50

3.2.3. Nedostaci korištenja obnovljivih izvora energije 56

3.3. „NOVI" OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U FUNKCIJI ODRŽIVOG RAZVOJA 63
3.3.1. Održivost proizvodnje električne energije 63
3.3.2. Primjena „novih" obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije 68
3.3.2.1. Značaj Sunčeve energije u proizvodnji električne energije 68
3.3.2.2. Značaj energije vodenih tokova u proizvodnji električne energije 69
3.3.2.3. Značaj energije iz biomase u proizvodnji električne energije 70
3.3.2.4. Značaj geotermalne energije u proizvodnji električne energije 73
3.3.2.5. Značaj energije mora u proizvodnji električne energije 74
3.4. ENERGIJA VJETRA U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE 75
3.4.1. Korištenje energije vjetra kroz povijest 75
3.4.2. Primjena energije vjetra u proizvodnji električne energije 76
3.4.3. Ekološke značajke primjene energije vjetra u proizvodnji električne energije 79

4. PRIKAZ TEORIJA I METODA OCJENJIVANJA EFIKASNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA 83
4.1. TEMELJNE ZNAČAJKE POJMA EFIKASNOSTI 83
4.2. KONCEPTI, TEORIJE I METODE MJERENJA EFIKASNOSTI PODUZEĆA 85
4.2.1. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom analize omjera 86
4.2.2. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom najmanjih kvadrata 87
4.2.3. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom ukupne faktorske produktivnosti 87
4.2.4. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom analize stohastičke granice 88
4.2.5. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom analize omeđivanja podataka 89
4.2.5.1. Temeljne karakteristike analize omeđivanja podataka 89
4.2.5.2. Osnovni modeli analize omeđivanja podataka 90
4.2.5.2.1. Charnes-Cooper-Rhodesov model (CCR model) 91
4.2.5.2.2. Banker-Charnes-Cooperov model (BCC model) 98
4.3. PRIKAZ METODA MJERENJA EFIKASNOSTI U ELEKTROENERGETSKOM SEKTORU 99

4.4. OCJENJIVANJE EFIKASNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA PRIMJENOM METODE ANALIZE OMEĐIVANJA PODATAKA 101

4.4.1. Rezultati mjerenja efikasnosti u djelatnosti proizvodnje električne energije iz tradicionalnih izvora energije 102

4.4.2. Rezultati mjerenja efikasnosti u djelatnosti proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije 107

5. UPORABA METODE ANALIZE OMEĐIVANJA PODATAKA U OCJENJIVANJU EFIKASNOSTI VJETROENERGETSKIH PODUZEĆA EUROPSKIH ZEMALJA I REPUBLIKE HRVATSKE 109

5.1. ODABIR I POTVRDA KORELACIJE INPUTA I OUTPUTA U MODELU..... 109

5.2. ODABIR MODELA S OBZIROM NA PRINOSE I ORIJENTACIJU..... 120

5.3. OCJENJIVANJE RELATIVNE EFIKASNOSTI VJETROENERGETSKIH PODUZEĆA U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE 123

5.4. IZVORI I OPSEG NEEFIKASNOSTI VJETROENERGETSKIH PODUZEĆA... 133

6. PRIJEDLOG MJERA PROMICANJA EFIKASNOSTI U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ ENERGIJE VJETRA U CILJU UNAPREĐENJA EFIKASNOSTI HRVATSKOG ELEKTRO-ENERGETSKOG SUSTAVA U DIJELU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE 139

6.1. RAZVOJ HRVATSKOG ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA U OKVIRU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE S NAGLASKOM NA ENERGIJU VJETRA 139

6.2. UNAPREĐENJE EFIKASNOSTI HRVATSKOG ELEKTRO-ENERGETSKOG SEKTORA U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ ENERGIJE VJETRA 146

7. ZAKLJUČAK 150

POPIS LITERATURE..... 158

POPIS TABLICA.....169

POPIS GRAFIKONA..... 170

ŽIVOTOPIS.....171

POPIS OBJAVLJENIH RADOVA.....172

1. UVOD

Mjerenje i ocjenjivanje efikasnosti svakog gospodarskog sustava, odnosno poslovnog subjekta je osobito značajno sa ciljem postizanja optimizacije određenog gospodarskog sektora, odnosno ostvarenja optimizacije poslovanja. Promatrajući pri tome mikroekonomsku razinu efikasnosti, poslovni subjekti, odnosno poduzeća bi trebala koristiti minimalne količine inputa uz postojeću razinu outputa, odnosno maksimalnu proizvodnju outputa uz postojeću upotrebu inputa.

S obzirom na važnost elektroenergetskog sektora u gospodarstvu svake države, analizira se i ocjenjuje efikasnost temeljnih djelatnosti elektroenergetskog sektora, kao i različitih tehnologija proizvodnje električne energije. Pri tome se osobiti značaj pridaje djelatnosti proizvodnje električne energije zbog same važnosti i prirode nastanka električne energije te ostvarenja mogućih multiplikativnih učinaka na gospodarstvo, no i negativnih eksternalija, prvenstveno ekoloških. U tom vidu, obnovljivi izvori energije djeluju na očuvanje okoliša, te se pojavljuju kao prikladna rješenja u dodatnom zadovoljenju potreba za električnom energijom. Vjetroenergetska poduzeća, odnosno vjetroelektrane predstavljaju specifična postrojenja za proizvodnju električne energije, prije svega, jer ne uzrokuju trošak energetskog resursa, odnosno goriva, te ne zahtijevaju veću količinu radne snage u samom procesu proizvodnje električne energije iz energije vjetra. U fokusu istraživačkog interesa ove doktorske disertacije je upravo ocjenjivanje efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, kao značajnog i perspektivnog oblika obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije.

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKT ISTRAŽIVANJA

U ovom dijelu doktorske disertacije, uvažavajući navedeno, definira se **znanstveni problem istraživanja** koji glasi:

Svjetska istraživanja pokazuju važnost i potrebu izučavanja restrukturiranog elektroenergetskog sektora sa ciljem unapređenja pojedinih djelatnosti navedenog sektora. U tom vidu, proizvodnja električne energije predstavlja ključni segment u procesu opskrbe električne energije krajnjim potrošačima. Obnovljivi izvori energije, a posebice energija

vjetra postaju sve prihvatljiviji izvori energije, prije svega zbog svoje ekološke komponente, te ograničenosti fosilnih energetskih resursa, a njihova razina efikasnosti posljedično implicira i efikasnost elektroenergetskog sektora u dijelu obnovljivih izvora energije. U Republici Hrvatskoj ne postoji analitičko znanstveno istraživanje o ocjenjivanju efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, niti ozbiljnije sveobuhvatne studije koje bi se bavile spomenutom problematikom. To je razlog da se u ovom doktorskom radu konzistentno istraže, utvrde i analiziraju čimbenici koji utječu na efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije.

Tako postavljen znanstveni problem istraživanja odredio je **predmet istraživanja**:
Istražiti, konzistentno utvrditi, analizirati i elaborirati relevantne značajke i specifičnosti elektroenergetskog sektora s posebnim osvrtom na djelatnost proizvodnje električne energije, te ocijeniti efikasnost vjetroenergetskih poduzeća kao specifičnog segmenta obnovljivih izvora energije, koje spoznaje će osigurati nove smjernice u upravljanju poduzeća u području obnovljivih izvora energije.

Problem i predmet istraživanja ukazuju na **objekt istraživanja** - vjetroenergetska poduzeća, te s tim u svezi ključnih pojmova - djelatnost proizvodnje električne energije, relativna efikasnost, metoda analize omeđivanja podataka (DEA metoda).

1.2. ZNANSTVENA HIPOTEZA I POMOĆNE HIPOTEZE

Sukladno definiranom znanstvenom problemu istraživanja, predmetu znanstvenog istraživanja, te objektu istraživanja, postavljena je i **temeljna znanstvena hipoteza:**

Znanstveno utemeljenim spoznajama o specifičnostima proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora primjenom energije vjetra, te uvažavajući postojeći stupanj efikasnosti vjetroelektrana u državama članicama Europske unije, moguće je ekstrahirati čimbenike koji utječu na efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije, potvrditi važnost upravljanja sveukupnim resursima poduzeća, odnosno ekonomskim i tehničkim obilježjima vjetroelektrana, te spoznajama o istima izravno

utjecati na efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u Republici Hrvatskoj, posljedično i na efikasnost elektroenergetskog sektora u području obnovljivih izvora energije.

Tako postavljena temeljna znanstvena hipoteza implicira dvije **pomoćne hipoteze:**

PH1: Vjetroenergetska poduzeća proizvodnjom električne energije utječu na promicanje i iskorištavanje obnovljivih izvora energije, čime obnovljivi izvori električne energije uz konvencionalne oblike dodatno doprinose funkcioniranju elektroenergetskog sektora u djelatnosti proizvodnje električne energije.

PH2: Primjenom metode analize omeđivanja podataka moguće je utvrditi izvore efikasnosti, odnosno neefikasnosti elektroenergetskog sustava u proizvodnji električne energije iz energije vjetra, te tako osigurati novu dimenziju kvalitete u upravljanju ovim alternativnim oblikom obnovljivih izvora energije.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

U izravnoj vezi sa znanstvenim problemom i predmetom znanstvenog istraživanja, determinirani su **svrha i ciljevi istraživanja**:

Temeljna svrha znanstvenog istraživanja doktorske disertacije je utvrditi čimbenike kojima će se unaprijediti efikasnost poduzeća u proizvodnji električne energije iz energije vjetra, te tako utjecati na efikasnost vjetroelektrana kao značajnog nositelja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.

Osnovni cilj istraživanja je istražiti i utvrditi izvore neefikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, te dobivenim spoznajama utjecati na njihovo otklanjanje, kao i osigurati informacije o opsegu, odnosno veličini mogućeg poboljšanja pojedinih čimbenika efikasnosti proizvodnje električne energije iz energije vjetra.

Kako bi se primjereno riješio postavljeni problem istraživanja, ostvario predmet istraživanja, dokazala postavljena znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze te postigli svrha i ciljevi istraživanja, u doktorskoj je disertaciji, primjenom znanstvenih metoda, potrebno dati znanstveno utemeljene odgovore na brojna pitanja od kojih su najvažnija sljedeća:

1. Koje posebnosti i specifičnosti obilježavaju elektroenergetski sektor?
2. Koji su osnovni razlozi restrukturiranja elektroenergetskog sektora?
3. Zbog čega se djelatnosti proizvodnje i opskrbe električne energije smatraju tržišno orijentiranim?
4. Koje značajke i obilježja karakteriziraju djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije?
5. Kakvo značenje ima sigurnost opskrbe električne energije u gospodarstvu i društvu općenito?
6. Koje su prednosti primjene obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije?
7. Koji „novi" obnovljivi izvori energije doprinose održivom razvoju?
8. Kakva je uloga i važnost korištenja energije vjetra u proizvodnji električne energije?
9. Koji su izvori i opsezi neefikasnosti vjetroenergetskih poduzeća?
10. Koje se metode najčešće primjenjuju u ocjenjivanju efikasnosti elektroenergetskog sektora?
11. Koji su dometi metode analize omeđivanja podataka u otkrivanju izvora neefikasnosti elektroenergetskog sektora i njihovom otklanjanju?
12. Je li metoda analize omeđivanja podataka primjenjiva i u ocjenjivanju efikasnosti vjetroenergetskog sektora, te koje specifične prilagodbe nalaže?
13. Kakva je održivost i perspektiva hrvatskog elektroenergetskog sustava, s posebnim osvrtom na djelatnost proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije, posebice energije vjetra?

1.4. ZNANSTVENE METODE

U znanstvenom istraživanju, formuliranju i prezentiranju rezultata istraživanja doktorske disertacije koristi se kombinacija standardnih znanstvenih metoda kao što su induktivna i deduktivna metoda, metoda analize i sinteze, metoda apstrakcije i konkretizacije, metoda

generalizacije i specijalizacije, metoda dokazivanja i opovrgavanja, metoda deskripcije, komparativna metoda, metoda klasifikacije, grafička, statistička i matematička metoda, metoda kompilacije i povijesna metoda radi preuzimanja tuđih spoznaja, te ostale metode. Konačno, kao temeljna znanstvena metoda istraživanja, u doktorskoj disertaciji se koristi analiza omeđivanja podataka (engl. *Data Envelopment Analysis* – DEA), kojom metodom se ocjenjuje stupanj efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije.

1.5. KOMPOZICIJA RADA

Ukupno istraživanje prezentirano kroz teorijski i aplikativni aspekt ove doktorske disertacije je podijeljeno u osam međusobno povezanih cjelina.

U prvom dijelu doktorske disertacije, **UVODU**, definirani su problem, predmet i objekt istraživanja, znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze, te su determinirani svrha i ciljevi istraživanja. Zatim se navode znanstvene metode koje se koriste u doktorskoj disertaciji, te je prikazana kompozicija rada.

U drugom poglavlju doktorske disertacije, koji nosi naziv **OBILJEŽJA I SPECIFIČNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA**, analizirani su procesi restrukturiranja elektroenergetskog sektora, od kojih se ističe liberalizacija, deregulacija, privatizacija i vertikalno razdvajanje elektroenergetskih djelatnosti. Također se elaboriraju temeljne djelatnosti elektroenergetskog sektora, odnosno tržišno orijentirane djelatnosti električne energije koje uključuju proizvodnju i opskrbu električne energije, te regulirane djelatnosti prirodnog monopola električne energije koje se odnose na prijenos i distribuciju električne energije.

U trećem dijelu doktorske disertacije, s naslovom **RAZVOJ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE**, razmatraju se temeljne karakteristike te vrste obnovljivih izvora energije. Prvotno se definira koncept sigurnosti opskrbe električne energije, a zatim se opisuju alternativni (obnovljivi) oblici energije, pri čemu se posebno ističu prednosti i nedostaci korištenja obnovljivih izvora energije. Pored analize održivosti proizvodnje električne energije, navode se i opisuju pojedini „novi“ ili „održivi“

obnovljivi izvori energije, s naglaskom na energiju vjetra u proizvodnji električne energije, koja je u fokusu istraživanja ove doktorske disertacije.

PRIKAZ TEORIJA I METODA OCJENJIVANJA EFIKASNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA naslov je četvrtog dijela doktorske disertacije. Nakon prikaza temeljnih značajki pojma efikasnosti, navode se koncepti i metode mjerenja efikasnosti poduzeća općenito, bez posebnog naglaska na ijedan sektor ili djelatnost, pri čemu se razmatra pet metoda, s naglaskom na analizu omeđivanja podataka, kao temeljnu znanstvenu metodu istraživanja. Prikazuju se temeljne karakteristike navedene metode, te analiziraju osnovni modeli analize omeđivanja podataka, CCR i BCC modeli koji se koriste u empirijskom istraživanju. Također se prikazuju temeljne metode mjerenja efikasnosti u području elektroenergetskog sektora. Konačno, prezentiraju se rezultati prethodnih istraživanja relativne efikasnosti u elektroenergetskom sektoru, koja istraživanja se temelje na uporabi metode analize omeđivanja podataka (DEA metodi), s posebnom usmjerenošću na djelatnost proizvodnje električne energije. Pri tome se prvotno iznose rezultati prethodnih istraživanja djelatnosti proizvodnje električne energije u području konvencionalnih energetskih resursa, a zatim se, u okviru obnovljivih izvora energije, prezentiraju dosadašnja istraživanja u segmentu energije vjetra.

U petom dijelu doktorske disertacije, **UPORABA METODE ANALIZE OMEĐIVANJA PODATAKA U OCJENJIVANJU EFIKASNOSTI VJETROENERGETSKIH PODUZEĆA EUROPSKIH ZEMALJA I REPUBLIKE HRVATSKE**, prikazuju se rezultati empirijskog istraživanja provedenog u okviru ove doktorske disertacije. Pritom se najprije definiraju inputi i outputi modela, te se potvrđuje njihova korelacija. Slijedi odabir modela s obzirom na prinose na opseg i orijentaciju, pri čemu se odabire BCC inputu-usmjereni model. Zatim se ocjenjuje relativna efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije i utvrđuju izvori i opseg neefikasnosti promatranih vjetroenergetskih poduzeća, te izvode odgovarajući zaključci obzirom na dobivene rezultate.

U šestom poglavlju doktorske disertacije, s naslovom **PRIJEDLOG MJERA PROMICANJA EFIKASNOSTI U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ**

ENERGIJE VJETRA U CILJU UNAPREĐENJA EFIKASNOSTI HRVATSKOG ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA U DIJELU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE, analizira se i daje se prijedlog mjera daljnjeg razvoja, te unapređenja efikasnosti hrvatskog elektroenergetskog sektora u djelatnosti proizvodnje električne energije, u okviru obnovljivih izvora energije s naglaskom na energiju vjetra.

Posljednji, sedmi dio doktorske disertacije predstavlja **ZAKLJUČAK** u kojem je dana, na sustavan i jezgrovit način, sinteza svih relevantnih spoznaja do kojih se došlo izradom ove doktorske disertacije, te su prikazani najvažniji rezultati empirijskog istraživanja kojima je dokazana hipoteza doktorske disertacije.

2. OBILJEŽJA I SPECIFIČNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA

U elektroenergetskom sektoru se odvijaju različiti procesi upravljanja električnom energijom. Elektroenergetski sektor predstavlja industriju proizvodnje električne energije te opskrbe krajnjih korisnika električnom energijom. U tom smislu, iako se električna energija kao input pojavljuje u većini proizvodnih i uslužnih djelatnosti, elektroenergetski sektor je determiniran procesom proizvodnje i opskrbe električne energije. Elektroenergetski sektor se pojavljuje na tržištu kao specifičan tehničko-tehnološki sustav. Specifičnost elektroenergetskog sektora proizlazi, prije svega, iz tržišnih odnosa funkcioniranja sveukupnog sustava i načina djelovanja sustava na konkurentnim i reguliranim osnovama, te formiranja i primjene proizvodnog outputa u obliku električne energije. Prvotno se cjelokupni elektroenergetski sektor razvijao u monopolskim tržišnim uvjetima gdje je postojalo monopolsko, vertikalno integrirano poduzeće koje je obavljalo sve elektroenergetske djelatnosti. S vremenom se tržište električne energije počelo transformirati, uslijed djelovanja strukturnih reformi i procesa restrukturiranja, iz monopolskih tržišnih uvjeta u dvostrane tržišne odnose, konkurentne i nekonkurentne. Time elektroenergetski sektor djeluje u tržišno orijentiranim djelatnostima električne energije te reguliranim djelatnostima električne energije zbog postojanja prirodnog monopola u tom dijelu elektroenergetskog sektora.

U ovoj drugoj cjelini doktorske disertacije analiziraju se procesi restrukturiranja elektroenergetskog sektora, s posebnim osvrtom na liberalizaciju i uvođenje konkurencije u elektroenergetski sektor, te vertikalno razdvajanje elektroenergetskih djelatnosti električne energije. Slijedom prikazanih procesa restrukturiranja, opisuju se tržišno orijentirane djelatnosti električne energije, odnosno djelatnost proizvodnje električne energije te konkurentnost djelatnosti opskrbe električne energije. Poglavlje završava reguliranim djelatnostima prirodnog monopola električne energije, odnosno mrežnim djelatnostima prijenosa i distribucije električne energije te vrstama ekonomskih regulacija u djelatnostima prirodnog monopola električne energije.

2.1. PROCESI RESTRUKTURIRANJA ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA

Elektroenergetski sektor se suočava sa sveobuhvatnim promjenama koje se ogledaju u vidu reorganizacije cjelokupnog tržišta, načinu upravljanja ekonomskih odnosa te tehničko-tehnološkog funkcioniranja poduzeća. Promjene su zapravo posljedica djelovanja različitih procesa restrukturiranja elektroenergetskog sektora koji se usporedno odvijaju ovisno o tijeku i dinamici provođenja strukturnih reformi. U elektroenergetskom sektoru ti procesi prvenstveno uključuju liberalizaciju, odnosno otvaranje tržišta svim poslovnim subjektima čime se uvodi konkurencija na tržište električne energije. Uspostava konkurencije u dijelu elektroenergetskog sektora omogućena je procesom vertikalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti, a koje se mogu podijeliti na tržišno orijentirane i regulirane djelatnosti.

U ovom dijelu doktorske disertacije detaljnije se analiziraju procesi restrukturiranja elektroenergetskog sektora; započinje se liberalizacijom i uvođenjem konkurencije u elektroenergetski sektor, te se upotpunjava vertikalnim razdvajanjem elektroenergetskih djelatnosti.

2.1.1. Liberalizacija i uvođenje konkurencije u elektroenergetski sektor

U elektroenergetskom sektoru, kao i u drugim infrastrukturnim djelatnostima javnog sektora, primjerice, u sektoru telekomunikacija, djelatnosti vodoopskrbe ili tržištu plina, provode se strukturne reforme i procesi restrukturiranja koji imaju za cilj unaprijediti efikasnost tržišta. Nastale promjene implicirale su transformaciju iz monopolskih tržišnih struktura u, isprva djelomične, konkurentne tržišne uvjete. Naime, do početka devedesetih godina prošlog stoljeća većina država u svijetu je imala monopolsku, vertikalno integriranu elektroenergetsku djelatnost[1]. To je podrazumijevalo monopolsku poziciju poduzeća u pružanju usluga električne energije. Postojalo je odsustvo konkurencije, te činjenica da je samo jedno poduzeće obavljalo sve elektroenergetske djelatnosti.

[1] Restrukturiranje, privatizacija i deregulacija elektroenergetskog sektora započinje početkom 1980-tih godina u Čileu, Novom Zelandu i Ujedinjenom Kraljevstvu (Larsen, Bunn, 1999).

U elektroenergetskom sektoru se poslovni subjekti organizacijski razlikuju u značajnoj mjeri, u rasponu od visoke centraliziranosti i vertikalne organizacije, do više konkurentnih i deintegriranih subjekata (Shen, Yang, 2012). Iako se pojavljuju tržišne strukture u kojima električnu energiju pretežno opskrbljuju pojedina vertikalno integrirana poduzeća, suvremeni ustroj elektroenergetskih poduzeća obilježava drugačija organizacijska osnova. Time reforme u elektroenergetskom sektoru označavaju promjenu tržišnog stanja, te postupno uvođenje na tržište novih poslovnih subjekata. Monopolsko tržište električne energije se transformira na pojedine elektroenergetske djelatnosti koje su u jednom svome dijelu konkurentne, a u drugom nekonkurentne, što predstavlja specifičnost elektroenergetskog tržišta. Elektroenergetske djelatnosti kao što su proizvodnja i opskrba, početni i krajnji stadij u procesu transfera električne energije, u većini slučajeva se navode kao tržišno orijentirane djelatnosti, gdje je konkurencija poslovnih subjekata općeprihvaćena i provediva. Za razliku od toga, djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije, s obzirom na karakter prirodnog monopola, uglavnom nemaju tendenciju uvođenja tržišnih odnosa, jer je ono u velikoj mjeri ograničeno.

Svaka od djelatnosti elektroenergetskog sektora pridonosi ukupnim troškovima električne energije te sudjeluje u formiranju konačne cijene električne energije osiguravajući je krajnjim potrošačima. Prema istraživanju provedenim na primjeru Ujedinjenog Kraljevstva, navodi se da djelatnost proizvodnje električne energije sudjeluje u troškovima sa 65%, distribucija električne energije sudjeluje sa 20%, prijenos električne energije sa 10%, a opskrba električne energije iznosi samo 5% ukupnih troškova (Steiner, 2001). Kao što je moguće zaključiti, upravo proizvodnja električne energije predstavlja najveći udio u ukupnim troškovima električne energije, pa je stoga ista i u fokusu istraživanja ove doktorske disertacije.

Slijedom navedenog, elektroenergetski sektor, kao podsustav cjelokupnog energetskog sektora, predstavlja jedan od najsloženijih i najrasprostranjenijih tehničko – tehnoloških sustava. Tehnološki proces u elektroenergetskom sektoru započinje korištenjem raspoloživih količina (prirodnih oblika) energije, zatim se nastavlja transformacijom energije i proizvodnjom u električnu energiju te se potom električna energija putem prijenosnih i distribucijskih mreža dovodi do krajnjih potrošača. Na taj način, efikasan i dobro razvijen elektroenergetski sektor omogućava rast i poticaj gospodarstva, konkurentsku sposobnost nacionalne ekonomije, utječe na

unapređenje životnog standarda stanovništva i razvitak društva (Cerović, Maradin, Čegar, 2014). Navodi se da elektroenergetski sektor ima važne fizičke karakteristike koje oblikuju funkcioniranje industrije, te one podrazumijevaju sljedeće (Jamasb, Pollitt, 2005):

1. velike investicijske troškove koji ograničavaju mogućnost ulaska novih poslovnih subjekata u industriju;
2. vertikalne djelatnosti proizvodnje, prijenosa, distribucije i opskrbe električne energije s različitim optimalnim opsegom djelovanja;
3. električnu energiju koju je nemoguće trajno skladištiti u velikim količinama te koju se isporučuje putem elektroenergetskih mreža pri čemu se zahtijeva trenutna ravnoteža ponude i potražnje na svim čvorovima elektroenergetskog sektora.

U elektroenergetskom sektoru reforme su bile potaknute prvenstveno zbog unaprijeđene tehnologije u industriji te gospodarskim razlozima, kao i političkim motivima. Pod utjecajem reformi nastalih procesom restrukturiranja, odnosno deregulacije, liberalizacije, decentralizacije, pa i privatizacije, te vođeno spoznajom da se odjeljivanje elektroenergetskih djelatnosti smatra ključnim čimbenikom u uspostavi tržišnog natjecanja putem nediskriminirajućeg pristupa poslovnih subjekata energetskom sektoru, a time i čimbenikom veće efikasnosti tržišta, ostvarivanja bolje koordinacije resursa, smanjenja troškova te posljedično cijena, navedeno dovodi do značajnih promjena cjelokupnog elektroenergetskog sektora u vidu tehničke, tehnološke, pravne, organizacijske, a posebice ekonomske prirode (Filippini, Wetze, 2013).

Smatra se da je jedan od temeljnih poticaja za uvođenjem reformi i restrukturiranja elektroenergetskog sektora stajalište da proizvodnja električne energije više ne posjeduje karakteristike prirodnog monopola, odnosno smanjenja prosječnog troška s povećanjem obujma proizvodnje, zbog tehnološkog napretka, tj. poboljšanja tehnološki upravljanih procesa u elektroenergetskim postrojenjima (Kagiannas, Askounis, Psarras, 2004). Tehnološki razvoj je omogućio da se i s malim agregatima (s malom snagom instaliranog kapaciteta) električna energija proizvodi efikasno (O'Mahony, Vecchi, 2001). Stoga se i smanjenjem ekonomije opsega u proizvodnji mogla uspostaviti konkurencija između proizvođača električne energije. Time je restrukturiranje utjecalo na transformaciju centralno koordiniranog monopolskog poduzeća prema dereguliranom liberaliziranom tržištu koje čine elektroenergetska poduzeća koja

međusobno konkuriraju proizvodnjom i prodajom električne energije (Kagiannas, Askounis, Psarras, 2004). To, naravno, ne bi trebalo značiti da je restrukturiranje, odnosno liberalizacija istisnula s tržišta velike monopolske „igrače“, već da su se samo stvorili uvjeti za postupno otvaranje tržišta, odnosno ulazak novih poduzeća, proizvođača električne energije. Novim proizvođačima se mora osigurati mogućnost isporuke električne energije koju proizvedu, a velika (integrirana) monopolska poduzeća im ne smiju uskratiti pristup na postojeća prijenosna postrojenja koja su još uvijek većinom u njihovom vlasništvu (Banks, 1996). Također, u svome najopsežnijem obliku restrukturiranje, odnosno liberalizacija obično kulminira privatizacijom državnog monopolskog elektroenergetskog poduzeća, bilo u cijelosti ili barem djelomično (Pollitt, 1997).

Pored navedenih tehnoloških, organizacijskih i ekonomskih čimbenika koji su potaknuli strukturne reforme u elektroenergetskom sektoru, mogu se navesti i sljedeći razlozi preustroja elektroenergetskog sustava (Tešnjak, Banovac, Kuzle, 2010):

1. provedba deregulacije, koja podrazumijeva uklanjanje elemenata državne regulacije i državnog nadzora nad tržištem, odnosno nacionalnom ekonomijom, s obzirom da je elektroenergetska infrastruktura uglavnom poticana od strane države u čijem je vlasništvu, a to nije u skladu s tržišnim načelima;
2. smanjenje cijene električne energije koje bi moglo nastati uslijed očekivanog smanjenja troškova u konkurentnim djelatnostima proizvodnje i opskrbe električne energije zbog efikasnijeg ustroja novonastalih poduzeća;
3. povećanje izbora i kvalitete usluga za potrošače koje bi se ostvarilo konkurencijom u djelatnosti opskrbe električne energije; te
4. poticanje inovativnog i bržeg razvoja elektroenergetskog sektora, te, posljedično, nacionalne ekonomije uslijed otvaranja tržišta i očekivanih efikasnijih rješenja, te primjenom novih tehnologija i poslovnih pristupa.

Potaknuti strukturnim reformama elektroenergetskog sektora u različitim državama svijeta mogu se prikazati zajedničke mjere i koraci u postizanju i funkcioniranju tržišno orijentiranog elektroenergetskog sektora. Strukturne reforme elektroenergetskog sektora obično zahtijevaju provedbu jednog ili više međusobno povezanih koraka koji uključuju restrukturiranje sektora u

vidu vertikalnog i horizontalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti, uvođenje konkurencije na tržište veleprodaje, odnosno proizvodnje električne energije i tržište maloprodaje, odnosno opskrbe električne energije, poticajnu regulaciju u mrežnim djelatnostima prijenosa i distribucije električne energije, osnivanje neovisnog regulatornog tijela, te privatizaciju poslovnih elektroenergetskih subjekata.

Stoga se u tablici 1 navode koraci reforme vertikalno integriranog elektroenergetskog poduzeća u državnom vlasništvu prema konkurentnoj, privatiziranoj elektroenergetskoj industriji. U praksi je potrebno uzeti u obzir stvarne mjere reformi koje ovise o specifičnostima nacionalnog elektroenergetskog sektora te općim značajkama modela reformi.

Tablica 1. Osnovni koraci reforme elektroenergetskog sektora

Restrukturiranje	Vertikalno razdvajanje djelatnosti proizvodnje, prijenosa, distribucije i opskrbe Horizontalno dijeljenje djelatnosti proizvodnje i opskrbe
Konkurencija i tržišta	Veleprodaja i konkurencija u maloprodaji Omogućavanje ulaska novim poduzećima u djelatnosti proizvodnje i opskrbe
Regulacija	Osnivanje neovisnog regulatora Dozvoljavanje pristupa mrežnim djelatnostima trećoj strani Poticajna regulacija mrežnih djelatnosti prijenosa i distribucije
Vlasništvo	Dozvoljavanje pristupa novim privatnim poslovnim subjektima Privatizacija postojećih poduzeća u državnom vlasništvu

Izvor: Jamasb, Pollitt, 2005

Kao dopuna osnovnim koracima reforme elektroenergetskog sektora, u sljedećoj tablici 2 prikazuju se novonastale promjene na razini elektroenergetske industrije koje se pojavljuju kada se industrija restrukturira, odnosno prelazi iz monopolske tržišne strukture u konkurentne tržišne uvjete.

Dok je na monopolskom tržištu poslovno okruženje stabilno, s relativno predvidljivim razvijanjem, na konkurentnom tržištu uvjeti postaju značajno izmijenjeni sa slobodnim ulaskom novih poslovnih subjekata i novih vlasnika već postojećih elektroenergetskih poduzeća. Osim što nekadašnje monopolsko elektroenergetsko poduzeće više ne može voditi aktivnu politiku cijena i opskrbljivati sveukupne potrošače, također se pojavljuje neizvjesnost na tržištu kapitala, kao i

neizvjesnost u vlasništvu poduzeća koje se može mijenjati iz godine u godinu. Nadalje, na monopolskom tržištu većina informacija je javno dostupna. S druge strane, u konkurentnoj elektroenergetskoj industriji informacije su dragocjene i pružaju komercijalnu prednost. Nijedno elektroenergetsko poduzeće ne želi otkrivati planove ulaganja, rasporede održavanja, nadogradnje ili rashodovanja postrojenja, osim ako navedeno ne propisuje regulatorno tijelo ili tijelo javne vlasti.

Tablica 2. Promjene na razini industrije kada se industrija restrukturira

Obilježje	Monopolsko tržište	Konkurentno tržište
Poslovno okruženje	Stabilno, s postupnim prilagodbama i tehnički vođenim promjenama; neizvjesnosti u potražnji i troškovima	Nestabilno, volatilnost cijena, novi tržišni dionici s različitim ciljevima; tržišne, korporativne i regulatorne neizvjesnosti
Informacije	Javno dostupne	Postaju tajna
Regulatorno okruženje	Povezano s društvenim blagostanjem	Otežana ravnoteža između interesa potrošača i novih poslovnih subjekata
Tržišna moć	Nije upitna zbog reguliranog (prirodnog) monopola	Krucijalna za regulatore i poduzeća
Očuvanje i zaštita okoliša	Jednostavno uključeno u energetsku politiku	Postaje dodatni element u regulaciji tržišta
Javno ulaganje u R&D	Značajno učešće u dugoročnoj obvezi	Poduzeća ne mogu opravdati javnu domenu istraživanja i razvoja

Izvor: Larsen, Bunn, 1999

Pitanje reguliranja elektroenergetske industrije, odnosno poduzeća je također rezultiralo promjenama s monopolskog na konkurentno tržište. U monopolu je ono predstavljalo uravnoteženje između izdataka potrošača i primitaka poduzeća. Na konkurentnom tržištu, cilj je ostvarenje deregulacije, sa veletržištem za proizvedenu električnu energiju i tržištem maloprodaje za opskrbu električne energije, čime se postiže samoregulacija putem konkurentnih odnosa, uz zadržavanje regulacije samo za mrežne djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije, kao tradicionalno prirodne monopole.

Reformski procesi elektroenergetskog sektora postavljaju pred tijela javne vlasti, odnosno nositelje ekonomske politike određena pitanja i dileme koji mogu biti sljedeći (Vlahinić-Dizdarević, Žiković, 2011):

1. način realizacije razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti;
2. dinamika otvaranja tržišta;
3. odabir modela i organiziranja tržišta električne energije;
4. rješavanje naslijeđenih troškova;
5. obveza javne usluge;
6. zaštita socijalno osjetljivih kupaca.

Osobito značajno za nositelje ekonomske politike, a posljedično i za potrošače električne energije, odnosno cjelokupnu nacionalnu ekonomiju je odabir modela organizacije elektroenergetskog sektora. Modeli zapravo predstavljaju faze restrukturiranja tržišta električne energije. Ovisno o tijeku procesa restrukturiranja i otvaranja tržišta, odnosno različitim stupnjevima konkurencije, mogu se navesti četiri temeljna modela organizacije elektroenergetskog sektora (Hunt, Shuttleworth, 1996):

1. *Vertikalno integrirani monopol* je model prije restrukturiranja tržišta električne energije. Na tržištu ne postoji konkurencija niti u proizvodnji niti u opskrbi električne energije, te potrošači nemaju pravo izbora jer mogu kupovati energiju isključivo od jednog, monopolskog poduzeća koje je, u pravilu, u vlasništvu države (Vlahinić-Dizdarević, Žiković, 2011). Pri tome su sve funkcije, odnosno djelatnosti u poduzeću objedinjene te regulirane. Ovaj model je dobro funkcionirao gotovo jedno stoljeće, te još uvijek postoji u određenim elektroenergetskim sustavima.
2. *Jedan kupac* je model prvi puta usvojen 1978. godine u SAD-u[2] gdje je jednom poduzeću (vertikalno integriranom kupcu) omogućeno ili se od njega zahtijeva kupnja električne energije od više proizvođača. Model predstavlja prvi korak u liberalizaciji elektroenergetskog sektora u kojem se ulaganje u proizvodnju električne energije ostvaruje privatnim kapitalom. U ovom modelu nezavisni proizvođači prodaju električnu energiju isključivo postojećem integriranom poduzeću koje, s druge strane, ima monopol u opskrbi krajnjih potrošača.
3. *Veletržište* je model u kojemu distribucijska poduzeća (ili veliki industrijski potrošači) na veleprodajnom tržištu ostvaruju konkurenciju, te mogu izabrati opskrbljivača od kojega će kupovati električnu energiju (i dalje je prisutna konkurencija u proizvodnji električne

[2] U SAD-u cilj nije bio uvođenje konkurencije, nego poticanje proizvodnje iz ekološki prihvatljivih izvora.

energije), uz zadržavanje monopolske moći nad krajnjim potrošačima u maloprodaji. Drugim riječima, prve tri djelatnosti elektroenergetskog sektora su odvojene, dok su distribucija i opskrba električne energije i dalje integrirane (Ferrari, Giulietti, 2005).

4. *Maloprodaja* je model završne faze restrukturiranja elektroenergetskog sektora u kojemu je omogućeno, na potpuno otvorenom tržištu, svim potrošačima izbor opskrbljivača. Kao u modelu *veletržišta*, i u *maloprodaji* je prisutna konkurencija distribucijskih poduzeća, ali s osiguravanjem dodatnih elemenata, kao što su zaključivanje ugovora s potrošačima, očitavanje brojila, naplata, te ostalo. Prednost ovog modela je u tome što pruža svim potrošačima mogućnost izbora u ponudi električne energije, čime se suzbijaju potencijalni nedostaci tržišta.

Optimalan model elektroenergetskog tržišta ovisi o ekonomskim, tehničkim, ali i institucionalnim i socijalnim specifičnostima svake pojedine države pri čemu je, stoga, potrebno donijeti tržišna pravila i tehničke norme kojima se potiče otvaranje i razvoj tržišta (Vlahinić-Dizdarević, Žiković, 2011).

Iako se pretpostavlja da sveobuhvatan proces restrukturiranja elektroenergetskog sektora prvenstveno implicira pojavu uvođenja konkurencije, a konkurencijom se povećava troškovna efikasnost u proizvodnji te smanjuje cijena za korisnike usluga električne energije, postoje i oprečna stajališta glede uvođenja konkurencije u proizvodnju električne energije. Kwoka navodi pretpostavke, za koje smatra da su pogrešne, o tome kako bi trebao funkcionirati reorganiziran elektroenergetski sektor (Kwoka, 2008). Osnovno gledište se odnosi na činjenicu da bi konkurencija mogla nastati uz postojeće (velike) proizvođače na tržištu te da bi se ulazak novih poduzeća dogodio kada i gdje bi to bilo potrebno. Nadalje, principi slobodnog tržišta, odnosno postojanje konkurencije bi eliminiralo potrebu za regulacijskim mjerama, a tržište bi zamijenilo državna regulatorna tijela. Sve od navedenog bi trebalo osigurati adekvatnu i dostatnu opskrbu električne energije, smanjiti proizvodne troškove i zaštititi potrošače od visokih cijena i monopolskog profita. Te pretpostavke se nisu potvrdile, a kao razlog se ističe stajalište da se, u stvarnosti, elektroenergetski sektor ne može izjednačiti s ostalim mrežnim industrijama[3] te da

[3] Mrežna industrija se definira kao svaka industrija koja sudjeluje u transferu ljudi, proizvoda ili informacija između dva područja pomoću određene vrste fizičke mreže ili infrastrukture (van der Linden, 2005).

zasigurno ne može biti sustavno konkurentan. No, iako je obilježje proizvodnje električne energije konkurentno tržište, te je danas prisutno nekoliko nacionalnih proizvođača koji proizvode najveći udio električne energije, postoje stajališta da spomenuto tržište ne sudjeluje s dovoljnim brojem stvarnih sudionika koji bi nametnuli djelatnu konkurenciju (Kwoka, 2008). Pored toga, određeni čimbenici, kao što su visok stupanj kapitalne opremljenosti, sofisticirana tehnologija ili dugotrajan povrat investicije, dodatno mogu otežavati ulazak novih poduzeća u industriju, što za posljedicu ima nedovoljnu konkurentnost djelatnosti proizvodnje električne energije.

Pojava liberalizacije u osnovi je promijenila okvir u kojem se donose investicijske odluke te je potaknula određenu zabrinutost zbog mogućeg značajnog smanjenja ulaganja u elektroenergetsku infrastrukturu. S obzirom na rastuću potrošnju električne energije i potrebu za zamjenom starih, dotrajalih elektroenergetskih postrojenja, neke projekcije pokazuju da bi se Europska unija mogla suočiti s ozbiljnim nedostatkom električne energije, osim ako se ne ostvare opsežna ulaganja u elektroenergetsku industriju (Pierre et al., 2006). Može izgledati paradoksalno, no sadašnji procesi deregulacije i liberalizacije elektroenergetskog sektora mogu uzrokovati poteškoće u samom radu elektroenergetskog sustava te time utjecati na nemogućnost pouzdane i sigurne opskrbe električne energije, čime se također stvara i određena nesigurnost tržišnih sudionika, potrošača i investitora (Chevalier, 2006). Da bi se utjecalo na sprječavanje manjka ponude električne energije te mogućih prekida opskrbe električne energije, odnosno poremećaja u radu nacionalnih elektroenergetskih sektora, uspostavom i razvojem Europskih zajednica te, u konačnici, osnivanjem Europske unije, javila se potreba za funkcioniranjem jedinstvenog europskog unutarnjeg tržišta.

Postoje različiti motivi stvaranja jedinstvenog europskog tržišta električne energije, a neki od njih mogu biti sljedeći (Kandžija, Bezić, Galović, 2010):

1. povećanje efikasnosti elektroenergetskog sektora uvođenjem konkurentnih tržišnih odnosa;
2. postojanje enormnih razlika u razinama cijena električne energije između država članica Europske unije zbog neprihvatljive i nepotrebne distorzije unutar konkurentnih uvjeta jedinstvenog tržišta;

3. povećana efikasnost ima za rezultat niže cijene električne energije što dovodi do veće konkurentnosti gospodarstva Europske unije;
4. osiguravanje opskrbe električne energije, odnosno obveza javne usluge može se ostvariti formiranjem konkurentnog jedinstvenog tržišta električne energije, uz prisutnost odgovarajućih regulatornih mjera;
5. međusobno povezana energetska tržišta zahtijevaju manje količine rezervi, što je racionalno, jer višak rezervi stvara dodatni trošak.

Stvaranje unutarnjeg europskog tržišta električne energije odvijalo se u nekoliko faza te taj proces traje još i danas. U fokusu analize jest elektroenergetski sektor Europske unije obzirom da su aplikativnim dijelom istraživanja obuhvaćene upravo države Europske unije. Osnovni zahtjevi za uspostavu jedinstvenog tržišta nalažu se državama članicama Europske unije pomoću direktiva i ostalih pratećih dokumenata.[4] Prva faza je započela tijekom 1990. godine Direktivama 90/377/EEC i 90/547/EEC. U njima se ističe transparentnost cijena energije budući da cijene variraju ovisno o državi članici ili regiji unutar Europske unije. Transparentnost cijena je jedna od glavnih pretpostavki za funkcioniranje unutarnjeg energetskog tržišta. Time se poboljšavaju uvjeti za osiguravanje poštenog tržišnog natjecanja te se provodi suzbijanje diskriminacije potrošača promovirajući slobodu izbora raznih energijskih oblika i opskrbljivača na elektroenergetskom tržištu. Također, zagovara se veća integracija europskog energetskog tržišta u kojem državne granice ne utječu na slobodan prijelaz električne energije. Navedeno označava da operator elektroenergetske mreže jedne države članica Europske unije ne može ometati ili onemogućiti trgovinu električne energije između drugih država članica (Bruketa et al., 2010).

Druga faza uspostave unutarnjeg tržišta električne energije pojavljuje se u prosincu 1996. godine Direktivom 96/92/EC. Navedeni dokument predstavlja tzv. Prvi paket energetskih propisa Europske unije te omogućuje dodatnu liberalizaciju tržišta električne energije. Cilj Direktive je uspostaviti energetski sustav umjesto djelovanja „od slučaja do slučaja“, te dati ovlasti i uskladiti rad javnih tijela radi stvaranja europskog unutarnjeg tržišta energije. S obzirom na različitu

[4] Direktiva zadaje samo cilj, okvir koji se mora postići; ona ne nameće gotova rješenja državama članicama, već nacionalnim vlastima prepušta izbor forme i metode provedbe Direktive pomoću zakona, podzakonskih akata i sl. Za razliku od Direktive, uredba je obvezujuća za državu članicu Europske unije. Iz navedenoga se zaključuje da države članice Europske unije nemaju jedinstveni, odnosno propisani elektroenergetski sektor, već ga same oblikuju i razvijaju poštujući zadane propise.

razvijenost nacionalnih gospodarstava, nastoje se uvažiti ove različitosti, te odrediti daljnji koraci u funkcioniranju elektroenergetskog tržišta. Potrebno je istaknuti kako se ovom Direktivom uvodi pojam *obveza javne usluge* koja podrazumijeva nužnost sigurne opskrbe električne energije kao javne usluge, iako elektroenergetski sektor djeluje u konkurentnim tržišnim uvjetima (Majlathova et al., 2003). Naime, slobodno tržišno natjecanje, samo po sebi, ne može garantirati sigurnost opskrbe električne energije, ispunjenje zahtjeva u vezi sa zaštitom okoliša niti zaštitu potrošača.
Sljedeća faza predstavlja tzv. Drugi paket energetskih propisa Europske unije koji datira iz 2003. godine i veže se uz Direktivu 2003/54/EC, a u primjeni je od 1. srpnja 2004. godine. Uz navedenu Direktivu, kao dodatak su propisani i drugi određeni dokumenti i uredbe. Uredba za električnu energiju 1228/2003/EC ima za cilj regulirati prekograničnu trgovinu električne energije, te sigurnu i pouzdanu opskrbu električne energije po razumnim, lako i jasno usporedivim te transparentnim cijenama (Bruketa et al., 2010). Na taj način se, ovim i prethodnim dokumentima, izravno podupire stvaranje unutarnjeg europskog tržišta električne energije s obzirom na povećanje efikasnosti, sniženje cijena, povećanje standarda usluge i konkurentnosti, uzimajući u obzir specifičnosti i razlike nacionalnih tržišta. Ovim dokumentima se također obvezuje države članice Europske unije na osnivanje kompetentnih regulatornih tijela ili agencija sa ciljem provođenja regulatorne aktivnosti elektroenergetskog sektora, odnosno da se osiguraju uvjeti za efikasno funkcioniranje tržišta električne energije.

Godine 2009. donesena je, u ovom trenutku, posljednja Direktiva koja se odnosi na stvaranje unutarnjeg tržišta električne energije prema zajedničkim propisima. Navedena Direktiva 2009/72/EC je stupila na snagu 3. ožujka 2011. godine, te čini tzv. Treći paket energetskih propisa Europske unije. Njime se ne uvode praktički nikakve promjene u osnovnim obilježjima; jednostavno predstavlja nastavak i nadogradnju prethodna „dva paketa“. Liberalizirano tržište električne energije koje je temeljeno na jedinstvenoj europskoj energetskoj strategiji, u kojemu nacionalne granice ne predstavljaju nikakvu prepreku, u kojemu su energetski subjekti potpuno ravnopravni u pristupu mreži i kupcima, a kupci potpuno slobodni u izboru svog opskrbljivača, u kojemu je jednako djelotvorna razina regulatornog nadzora u svim državama članicama Europske unije, bio je i ostao krajnji cilj svih dokumenata koji navedeno reguliraju. U daljnjem napretku stvaranja unutarnjeg europskog tržišta električne energije, u okviru Trećeg paketa energetskih propisa pridaje se značajnija uloga regulatornim tijelima, te se uspostavlja Agencija za suradnju

nacionalnih energetskih regulatora (engl. *Agency for the Cooperation of Energy Regulators - ACER*). U odnosu na njegova prethodnika ERGEG (Europska regulatorna grupa za električnu energiju i prirodni plin, engl. *European Regulators Group for Electricity and Gas*), ACER ima mnogo veće i jasnije ovlasti, osobito u smislu korekcije pojedinih odluka nacionalnih regulatora u korist općeg europskog interesa (Bruketa et al., 2010). Na taj način želi se osnažiti uloga regulatora, kako na nacionalnoj, tako i na europskoj razini.

Naposljetku, navodi se da će brzina razvoja elektroenergetskog tržišta u Europskoj uniji umnogome ovisiti o riješenim međusobnim institucionalnim odnosima, pri čemu se može očekivati sljedeće (Majstrović, 2008):

1. potpuno vlasničko razdvajanje elektroenergetskih djelatnosti, odnosno razdvajanje tržišno orijentiranih djelatnosti od reguliranih mrežnih djelatnosti električne energije;
2. povećanje razine transparentnosti mrežnih djelatnosti, odnosno operatora prijenosnog i distribucijskog sustava;
3. ulaganje značajnih napora na očuvanju sigurnosti opskrbe električne energije;
4. smanjenje velikog nesrazmjera između dugog roka povrata investicije u sustav i ovisnosti projekta o svakodnevnim tržišnim rizicima;
5. znatnija integracija i primjena obnovljivih izvora energije u elektroenergetskom sektoru pomoću sustava poticaja (što je, s druge strane, u određenoj mjeri u suprotnosti s funkcioniranjem slobodnog tržišta);
6. uređenje sustava emisija stakleničkih plinova koji smanjuje mogućnost proizvodnje električne energije za potrebe drugih država;
7. povećanje ovlasti i neovisnosti energetskih regulatornih tijela;
8. jačanje mehanizama za suradnju nacionalnih regulatornih tijela te suradnju mrežnih operatora sustava.

Kao što je prethodno istaknuto, restrukturiranje elektroenergetskog sektora, uz djelovanje liberalizacije, otvaranja tržišta, vertikalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti te ostalih reformskih procesa, označava transformaciju sektora iz monopolskih tržišnih struktura u konkurentne tržišne uvjete. Upravo je vertikalno razdvajanje elektroenergetskih djelatnosti omogućilo ostvarivanje tržišnog natjecanja u odgovarajućim djelatnostima tržišta električne

energije. Opširnije o vertikalnom razdvajanju elektroenergetskih djelatnosti navodi se u sljedećem dijelu doktorske disertacije.

2.1.2. Vertikalno razdvajanje elektroenergetskih djelatnosti

Vertikalno razdvajanje tržišta električne energije pojavljuje se kao rezultat procesa restrukturiranja elektroenergetskog sektora. Navedeno označava razdvajanje (engl. *unbundling*) vertikalno integriranog poduzeća, tj. odvajanje zasebnih djelatnosti elektroenergetskog sektora kao što su proizvodnja električne energije, prijenos, distribucija i opskrba, odnosno prodaja električne energije. Razdvajanjem tih djelatnosti omogućava se postizanje efikasnih tržišnih, te konkurentnih odnosa u pojedinim djelatnostima elektroenergetskog sektora. Spomenuto potiče konkurenciju u djelatnostima u kojima je ona moguća, a to su proizvodnja i opskrba električnom energijom. U ostalim djelatnostima, prijenosu i distribuciji električne energije, formiranje konkurencije je u velikoj mjeri otežano zbog postojanja prirodnog monopola. U takvim uvjetima, jedno poduzeće može djelovati i poslovati efikasnije, nego kada postoji više poduzeća na tržištu, tj. prisutnost konkurencije. S tim u vezi, potrebno je provoditi nadzor i kontrolu, odnosno regulaciju takvih monopolskih poduzeća kako bi se eliminiralo moguće štetno djelovanje poduzeća prema potrošačima (Cerović, Maradin, Čegar, 2014).

Vertikalno razdvajanje elektroenergetskih djelatnosti provodi se sa ciljem osiguravanja transparentnosti poslovanja elektroenergetskih poduzeća. Također, nastoji se spriječiti moguće subvencioniranje između reguliranih, mrežnih djelatnosti i tržišnih djelatnosti u slučaju da na tržištu djeluje vertikalno integrirano poduzeće koje, isto tako, može štetno djelovati na način da, kao subjekt sa značajnom tržišnom i financijskom moći, koristi pravo upravljanja mrežnim djelatnostima prijenosa i distribucije električne energije kako bi davalo prednost tržišnim djelatnostima, odnosno proizvodnom i/ili opskrbnom segmentu poduzeća u svome vlasništvu (Tešnjak, Banovac, Kuzle, 2010). Time se potiče sukob interesa unutar vertikalno integriranog poduzeća, te također diskriminacija prema ostalim elektroenergetskim poduzećima na tržištu. Navedeno je u suprotnosti s pravilima tržišnog natjecanja koje propisuje Europska unija.

Ne analizirajući detaljnije tijek procesa vertikalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti (razdvajanje operatora prijenosnog sustava i razdvajanje operatora distribucijskog sustava) po pojedinim Direktivama Europske unije, mogu se navesti četiri razine razdvajanja (Tešnjak, Banovac, Kuzle, 2010; Banovac, Zmijarević, 2007):

1. računovodstveno razdvajanje;
2. funkcionalno razdvajanje;
3. pravno razdvajanje;
4. vlasničko razdvajanje.

Računovodstveno razdvajanje podrazumijeva vođenje odvojenih računa za različite djelatnosti elektroenergetskog sektora radi izbjegavanja mogućih negativnih posljedica, odnosno prelijevanja sredstava između elektroenergetskih djelatnosti ili njihovo međusobno subvencioniranje, te time narušavanja tržišnog natjecanja.
Funkcionalno razdvajanje predstavlja sljedeću razinu razdvajanja koja se odnosi na organizacijsko izdvajanje zasebne organizacijske jedinice unutar vertikalno integriranog poduzeća, odnosno izdvajanja djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije sa svrhom osiguravanja njihove neovisnosti, tj. djelovanja bez vanjskih utjecaja u organizaciji poslovanja i donošenju odluka unutar energetski integriranog poduzeća.
Pravno razdvajanje podrazumijeva formiranje novog poduzeća za obavljanje djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije.
Vlasničko razdvajanje označava krajnji cilj razdvajanja elektroenergetskog sektora pri čemu su djelatnosti prijenosa i distribucije[5] električne energije vlasnički odvojene od djelatnosti proizvodnje i opskrbe električne energije[6].

Glavni cilj vertikalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti je sprječavanje diskriminacije u tržišno konkurentnim djelatnostima elektroenergetskog sektora, no također osiguravanje prava pristupa ostalim poslovnim subjektima u reguliranim djelatnostima prijenosa i distribucije električne energije, ukoliko je navedeno provedivo s obzirom na tehnička i/ili ekonomska ograničenja.

[5] Novi Zeland je bila prva država u svijetu koja je 1998. godine provela vlasničko razdvajanje djelatnosti distribucije električne energije od ostatka elektroenergetske industrije (Nillesen, Pollitt, 2008).
[6] Obveza vlasničkog razdvajanja nije propisana dosadašnjim energetskim Direktivama Europske unije.

Stoga je potrebna određena razina razdvajanja između elektroenergetskih djelatnosti, odnosno između prijenosa i proizvodnje, distribucije i proizvodnje, te distribucije i opskrbe električne energije. Razdvajanje djelatnosti proizvodnje i prijenosa električne energije omogućava lakši ulazak novih poslovnih subjekata u konkurentnu djelatnost proizvodnje električne energije, čime se stvara i potiče tržišno natjecanje koje bi trebalo dovesti do smanjivanja cijene proizvedene električne energije. Budući da je trošak proizvodnje električne energije približno 65% ukupnog troška isporučene električne energije, te kako bi se osigurala konkurencija u djelatnosti proizvodnje i smanjila cijena električne energije, navodi se da je razdvajanje djelatnosti prijenosa električne energije najvažniji element u procesu otvaranja tržišta elektroenergetskog sektora (Copenhagen Economics, 2005).

Postoje različita tumačenja i stavovi donosioca odluka, energetskih stručnjaka, ekonomista, pravnika te ostalih uključenih sudionika glede opravdanosti provođenja vertikalnog razdvajanja spomenutih djelatnosti. Tako npr. opsežna istraživanja (Copenhagen Economics, 2005) o učincima vertikalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti, posebice prijenosa električne energije, u državama članicama Europske unije pokazuju da ekonomski ishod ovisi o različitim razinama razdvajanja u promatranim elektroenergetskim djelatnostima, odnosno da viša razina razdvajanja (najviši oblik predstavlja vlasničko razdvajanje) dovodi do nižih cijena električne energije. Također se navodi da računovodstveno i funkcionalno razdvajanje ima ograničenu sposobnost u sprječavanju diskriminacije na elektroenergetskom tržištu. Ako se navedena razdvajanja ipak primjenjuju, tada je potrebno osigurati značajan regulatorni nadzor i snažno prisustvo tržišnog natjecanja. S druge strane, vlasničko razdvajanje, koje zahtijeva različite vlasnike imovine za različite elektroenergetske djelatnosti, ima najveći potencijal za eliminiranje diskriminacije. Drugo istraživanje (Pollitt, 2008) analizira pozitivne i negativne argumente vlasničkog razdvajanja prijenosnih mreža elektroenergetskog sektora. Pielow, Brunekreeft i Ehlers (2009) navode da određeni dio ekonomista posebno ističe značajnu rezerviranost protiv razdvajanja vlasništva elektroenergetskih djelatnosti te argumentiraju da koristi ne premašuju troškove razdvajanja vlasništva. U razdoblju od 1994. do 2008. godine provedeno je istraživanje o utjecaju vertikalnog razdvajanja proizvodnje od prijenosa i distribucije električne energije na djelovanje efikasnosti termoelektrana u državnom vlasništvu u Indiji (Cropper et al., 2011). Ističe se da je razdvajanje djelatnosti signifikantno poboljšalo prosječnu godišnju upotrebljivost

termoelektrana i smanjilo prisilne zastoje poslovanja. Ipak, restrukturiranje nije unaprijedilo efikasnost poduzeća, što se može zaključiti i iz činjenice da vertikalno razdvajanje još uvijek nije potaknulo nezavisne proizvođače električne energije na ulazak u tržište, kao što se to, primjerice, dogodilo u SAD-u.

Procesi restrukturiranja elektroenergetskog sektora, među ostalima, uz procese liberalizacije i vertikalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti, doveli su do stvaranja tržišno orijentiranih i reguliranih djelatnosti električne energije. Time se osigurava mogućnost provedbe konkurencije u jednom dijelu elektroenergetskog sektora, dok se u drugom dijelu provode regulatorne mjere i aktivnosti zbog postojanja prirodnog monopola. U narednim cjelinama 2.2. i 2.3. analiziraju se tržišno orijentirane i regulirane djelatnosti električne energije.

2.2. TRŽIŠNO ORIJENTIRANE DJELATNOSTI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Restrukturiranjem tržišta električne energije formiraju se dva segmenta tržišta, konkurentno i monopolsko tržište. Dok će se u sljedećoj cjelini 2.3. prikazati monopolsko tržište, odnosno regulirane djelatnosti prirodnog monopola električne energije, u ovoj cjelini doktorske disertacije analiziraju se konkurentne, tržišno orijentirane djelatnosti električne energije. Navedeno se odnosi na djelatnost proizvodnje električne energije, koja je u središtu istraživanja ove doktorske disertacije, te djelatnost opskrbe električne energije koje se prikazuju u nastavku.

2.2.1. Djelatnost proizvodnje električne energije u liberaliziranom elektroenergetskom sektoru

Djelatnost proizvodnje električne energije, u odnosu na četiri temeljne elektroenergetske djelatnosti, predstavlja osnovu u funkcioniranju elektroenergetskog sektora. Električna energija se proizvodi[7] u elektroenergetskim postrojenjima koja imaju široki raspon instalirane snage, od nekoliko kilovata (kW), u malim hidroelektranama do preko dva gigavata (GW), u nuklearnim elektranama, te koja upotrebljavaju različite energetske resurse, tj. konvencionalna (fosilna)

[7] U stvarnosti, energija se ne može proizvesti, nastati niti nestati, već se samo pretvara iz jednog oblika energije u drugi. Prema tome, električna energija se dobiva transformacijom prirodnog ili pretvorbenog oblika energije u električni oblik (Kalea, 2007).

goriva, nuklearna goriva ili obnovljive izvore energije. Efikasno (proizvodno i troškovno) pretvarajući energetske resurse u električnu energiju, efikasnost djelatnosti proizvodnje električne energije, u određenoj mjeri i opsegu, odražava i efikasnost cjelokupnog elektroenergetskog sektora, odnosno njegovu konkurentnost.

U promijenjenim okolnostima nastalim procesima restrukturiranja elektroenergetskog sektora, u djelatnosti proizvodnje električne energije ne pojavljuje se samo jedno vertikalno integrirano elektroenergetsko poduzeće, već više proizvodnih subjekata, odnosno elektrana koje zajednički djeluju proizvodnjom električne energije na određenom elektroenergetskom tržištu. Ovisno o strukturi i razvijenosti energetskog tržišta, te dostupnosti, odnosno raspoloživosti potrebnih energetskih resursa koji čine osnovne inpute proizvodnje električne energije, ali i potrebama za električnom energijom u svim segmentima života, uz pretpostavku izostanka uvoza električne energije, na tržištu sudjeluju različiti tipovi elektroenergetskih subjekata, odnosno elektrana. Uz sve veću primjenu obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije, potrebno je istaknuti da postrojenja na fosilne energetske resurse značajno prednjače u proizvodnji električne energije.

Elektroenergetska poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije suočena su s novim izazovima u liberaliziranom elektroenergetskom sektoru. Liberalizacija i deregulacija uzrokovale su promjene u gotovo svim područjima uključenih elektroenergetskih poduzeća, od sustava zapošljavanja i osiguravanja novčanih sredstava za potrebna ulaganja, do planiranja i strategije poslovanja poduzeća. Kako bi se zorno prikazale promjene koje se odvijaju na razini poduzeća uslijed restrukturiranja elektroenergetske industrije[8], odnosno kada ista postepeno prelazi iz monopolske tržišne strukture na tržište konkurencije, navodi se sljedeća tablica 3.

Za razliku od tržišne strukture monopola gdje se pojavljuje jedno elektroenergetsko poduzeće koje provodi sve elektroenergetske djelatnosti, na konkurentnom, liberaliziranom tržištu elektroenergetska poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije djeluju vođeni drugačijim motivima i ciljevima.

[8] Promjene se odnose na elektroenergetsku industriju, no većina promjena se može generalizirati i na ostale (komunalne) industrije.

Tablica 3. Promjene na razini poduzeća kada se industrija restrukturira

Obilježje	Monopolsko tržište	Konkurentno tržište
Fokusiranje	Najbolje tehničko rješenje	Najbolje troškovno efikasno rješenje
Upravljanje	Tehničko	Poslovno
Potrošačev izbor	Nema izbora	Konkurencija dovodi do izbora
Metode planiranja	Klasične metode operacijskog istraživanja	Nove metode povezane sa strateškim planiranjem, ograničenim informacijama i neizvjesnošću
Outsourcing	Malo ili nikakvo	Povećanje interesa
Poslovno djelovanje	Društvena ravnoteža	Vrijednost dioničara

Izvor: Larsen, Bunn, 1999

U monopolskim uvjetima vertikalno integrirana elektroenergetska poduzeća nemaju dovoljno poticaja za provođenje ekonomske efikasnosti, već teže ciljevima koji su potaknuti, između ostaloga, i političkim motivima, a mogu predstavljati rast poduzeća, maksimizaciju prihoda, povećanje zaposlenosti, pružanje dodatnih usluga uz kontinuirano opskrbljivanje potrošača električnom energijom, ili bilo koje druge ciljeve (Dyner, Larsen, 2001). Fokus poduzeća se premješta s „najbolje mogućih tehničko-tehnoloških rješenja“, odnosno stajališta da upravljanje ukupnim resursima poduzeća s obzirom na njihove cijene ne predstavlja glavni interes poduzeća, na „najbolje moguće troškovno efikasno rješenje“. Time srž upravljanja i djelovanja elektroenergetskog poduzeća postaje način na koji se upotrebljavaju resursi u optimalnom omjeru uzimajući u obzir njihove cijene uz raspoložive tehničko-tehnološke proizvodne mogućnosti. Premještanje iz tehničkih/političkih usmjerenja prema više poslovnom/ekonomskom načinu razmišljanja i djelovanja predstavlja zahtijevan proces koji uključuje temeljnu reorganizaciju prema kupcima i njihovim potrebama, konkurentima na tržištu, vlasnicima, odnosno dioničarima poduzeća, te ostalim dionicima. Navedeno se posebno odnosi na tržište gdje se pojavljuje i potiče stvarna konkurencija tržišnih sudionika (Larsen, Bunn, 1999).

Na monopolskom tržištu, jedno vertikalno integrirano elektroenergetsko poduzeće proizvodi električnu energiju neovisno o broju proizvodnih jedinica monopolskog poduzeća[9] ili o energetskom resursu kojim se proizvodi električna energija. S druge strane, u konkurentnom, liberaliziranom elektroenergetskom sektoru više poduzeća, odnosno proizvođača električne

[9] Monopolsko poduzeće koje posjeduje dvije ili više proizvodne jedinice, odnosno pogona naziva se multitvornički monopol (Pavić, Benić, Hashi, 2007)

energije međusobno sudjeluju na zajedničkom tržištu. Da bi se pri tome potaknula i unaprijedila proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije, ulažu se značajna novčana sredstva i poticaji u sektor obnovljivih izvora. Primjerice, proizvođači električne energije iz obnovljivih izvora imaju pravo prvenstva pri prodaji električne energije[10] te za takvu isporučenu električnu energiju u elektroenergetsku mrežu dobivaju poticajnu cijenu[11]. Usprkos znatnim ulaganjima i poticajima, obnovljivi izvori energije još uvijek nisu u potpunosti ekonomski konkurentni tradicionalnim, fosilnim energetskim resursima, osim za izdvojene elektroenergetske sustave koji su odvojeni od nacionalne elektroenergetske mreže.

Nadalje, nekad monopolska poduzeća, koja su sada „transformirana“ i djeluju u djelatnosti proizvodnje električne energije, kao i novi poslovni subjekti, moraju se prilagoditi novim metodama planiranja poslovanja, načinu upravljanja i funkcioniranja poduzeća na dereguliranom konkurentnom tržištu. Tradicionalni načini analiziranja elektroenergetske industrije se zamjenjuju dinamičnom, neizvjesnom i subjektivnom prirodom pretpostavki koje se trebaju uključiti u strateške analize planiranja poslovanja elektroenergetskog poduzeća (Larsen, Bunn, 1999). Da bi postojeća elektroenergetska poduzeća na tržištu ostala konkurentna, odnosno zadržala tržišni udio u odnosu na rastući broj novih poslovnih subjekata, tj. proizvođača električne energije, trebala bi smanjiti troškove poslovanja i unaprijediti izvršavanje poslovnih aktivnosti, odnosno poboljšati efikasnost poslovanja bez snižavanja kvalitete usluge ili profitabilnosti. Isto tako, novi poslovni subjekti u djelatnosti proizvodnje električne energije prihod ostvaruju prodajući električnu energiju na konkurentnom, liberaliziranom tržištu, te da bi opstali na takvom tržištu, moraju poduzimati konkretne mjere i aktivnosti u cilju smanjivanja troškova i konkuriranja s ostalim elektroenergetskim poduzećima. Također, poduzeća nastoje ostvariti i zadržati, što je moguće duže, tržišnu snagu uz veću razinu cijene električne energije. Navedeno se osobito pojavljuje u početnim fazama restrukturiranja i liberalizacije elektroenergetskog tržišta. Povezano s troškovima poslovanja u djelatnosti proizvodnje električne energije, elektroenergetska poduzeća se mogu specijalizirati u upravljanju određenog tipa elektrane. Vertikalno integrirana poduzeća

[10] Za ispunjavanje obveza Republike Hrvatske vezano uz količine proizvedene električne energije iz obnovljivih izvora, Hrvatski operator tržišta energije (HROTE), koji obavlja djelatnost organiziranja tržišta električne energije u Republici Hrvatskoj, ima pravo prvokupa električne energije iz obnovljivih izvora energije od strane povlaštenog proizvođača električne energije koji je u sustavu poticanja (Narodne novine, 2013).

[11] Više o poticajnim cijenama za električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj može se pogledati na http://www.hrote.hr/default.aspx?id=38.

su tradicionalno imala dovoljno proizvodnih kapaciteta u zadovoljavanju potražnje na području u kojem su opskrbljivala električnu energiju. Pri tome su poduzeća koristila različite proizvodne tehnologije (parna turbina, plinska turbina, kombinirani proces turbine) i različite energetske resurse (ugljen, nafta, plin, nuklearno gorivo) u proizvodnji električne energije. Na liberaliziranom tržištu, novi poslovni subjekti, s druge strane, više nisu prisiljeni osigurati potražnju za električnom energijom na pojedinom geografskom području[12] te mogu odabrati troškovno optimalan tip elektrane, odnosno energetski resurs kojim će obavljati svoju temeljnu djelatnost proizvodnje električne energije (Wolfram, 2003).

U takvim novim tržišnim uvjetima s drugačijom organizacijskom strukturom, optimizacija planiranja i poslovanja elektroenergetskog poduzeća postaje ključna, bilo da se radi o tehničkom i/ili ekonomskom aspektu proizvodnje električne energije. Uvažavajući navedeno, u empirijskom istraživanju doktorske disertacije dokazuje se važnost upravljanja ukupnim resursima elektroenergetskih poduzeća, odnosno njihovim tehničkim i ekonomskim obilježjima.

Djelatnost proizvodnje električne energije, zajedno s pripadajućim mrežnim djelatnostima prijenosa i distribucije električne energije, u europskom elektroenergetskom sustavu predstavljaju velik izazov u prijeko potrebnom ostvarivanju zacrtanih ciljeva koji se odnose na sigurnost opskrbe električne energije i postizanje održivosti, kao i u pristupačnom i efikasnom korištenju električne energije. Brzi razvoj i konstrukcija obnovljivih izvora energije, koji zbog svojih prirodnih obilježja u prekidima, nekontinuirano sudjeluju u proizvodnji električne energije (kao što su energija vjetra ili Sunčeva energija), često zahtijevaju potrebu za dodatnom visokonaponskom prijenosnom mrežom koju je, s druge strane, sve teže izgraditi, uglavnom zbog ekoloških i društveno prihvatljivih zahtjeva te visokih kapitalnih ulaganja. Kao posljedica navedenoga, pojavljuje se sve veći jaz između dinamike razvoja obnovljivih izvora energije i nužnosti dodatnih prijenosnih kapaciteta. Naime, dok je potrebno vrijeme za izgradnju prijenosne mreže između pet i sedam godina, za postrojenja obnovljivih izvora energije ono iznosi samo nekoliko godina (često manje od tri godine, ne uključujući vrijeme za dobivanje potrebnih lokacijskih, ekoloških i drugih dozvola) (Hadjsaid, Sabonnadiere, Henry, 2014). Slično stanje

[12] Navedeno ne isključuje *obvezu pružanja javne usluge* koja podrazumijeva nužnost sigurne i pouzdane opskrbe električne energije kao javne usluge, koju je potrebno osigurati i u konkurentnim, liberaliziranim tržišnim uvjetima (Public service obligations, 2004).

pojavljuje se i u niskonaponskoj distribucijskoj mreži, gdje su neophodni dodatni kapaciteti radi sigurne opskrbe električne energije krajnjem potrošaču. S druge strane, europski elektroenergetski sustav postaje sve više međusobno ovisan o pojedinim nacionalnim elektroenergetskim sustavima. Prekid rada ili poremećaj u određenom dijelu elektroenergetskog sustava može dovesti do pada cjelokupnog nacionalnog elektroenergetskog sustava, što posljedično može rezultirati i prekidom opskrbe električnom energijom dijela europskog elektroenergetskog prostora[13]. Isto tako, značajnije odstupanje u radu vjetroenergetskih ili solarnih elektrana ne samo da može utjecati na normalno funkcioniranje elektroenergetskog sustava na pojedinom području, već njihov učinak u proizvodnji električne energije može djelovati na nekoliko država, što može dovesti cijeli elektroenergetski sustav pod određeni pritisak zbog mogućih poteškoća u radu sustava. U liberaliziranom elektroenergetskom sektoru stoga je nužno osigurati stabilno funkcioniranje djelatnosti proizvodnje električne energije, u sinergiji konvencionalnih oblika energije i obnovljivih izvora energije, kako bi cjelokupni elektroenergetski sustav mogao djelovati na zadovoljavajući način, pružajući električnu energiju krajnjim potrošačima.

U sljedećem dijelu doktorske disertacije analizira se djelatnost opskrbe električne energije koja predstavlja krajnji stadij u procesu transfera električne energije u elektroenergetskom sektoru.

2.2.2. Djelatnost opskrbe električne energije u konkurentnim tržišnim uvjetima

Uz djelatnost proizvodnje električne energije, uspostava tržišnih odnosa, odnosno konkurencije omogućena je procesima restrukturiranja, tj. razdvajanja elektroenergetskog sektora i u djelatnosti opskrbe električne energije. U toj djelatnosti električna energija se isporučuje, odnosno prodaje krajnjim potrošačima, a uključuje mjerenje i naplatu električne energije, te ostale povezane aktivnosti u vezi isporuke električne energije. Na konkurentnim, liberaliziranim osnovama u djelatnosti opskrbe električne energije, električna energija se može isporučiti na tržištu veleprodaje (poslovnim subjektima) i maloprodaje (kućanstvima). U takvim uvjetima

[13] Prekid rada elektroenergetskog sustava u sjevernoj Njemačkoj 2006. godine utjecao je na prestanak opskrbe električne energije za više od 15 milijuna europskih kućanstava (UCTE, 2007).

presudnu ulogu u opskrbljivanju tržišta predstavlja upravo uspostava konkurencije između poduzeća koja se pojavljuju u navedenoj djelatnosti opskrbe električne energije.

Na monopolskom tržištu potrošači kupuju električnu energiju od vertikalno integriranog elektroenergetskog poduzeća te time nemaju izbora u „odabiru“ električne energije, odnosno prisiljeni su platiti odgovarajuću cijenu za korištenje električne energije. Štoviše, na takvom monopolskom tržištu gotovo je nemoguće ne odlučiti se za električnu energiju proizvedenu od vertikalno integriranog poduzeća, zbog toga što ne postoji alternativno poduzeće koje bi opskrbljivalo potrošače električnom energijom. Navedeno predstavlja jedno od temeljnih obilježja u monopolskom elektroenergetskom sektoru (Dyner, Larsen, 2001). S druge strane, na liberaliziranom tržištu potrošači mogu odabrati najpovoljnijeg opskrbljivača električne energije između više diferenciranih elektroenergetskih poduzeća. Time na konkurentnom elektroenergetskom tržištu potrošači, odnosno kupci imaju značajnu kontrolu, dok na monopolskom tržištu vertikalno integrirano poduzeće uspostavlja cijene električne energije i određuje uvjete poslovanja, uz uvažavanje zahtijeva regulatornih agencija. Nacionalna tržišta električne energije su danas, ovisno o razini restrukturiranja, odnosno otvorenosti tržišta i vertikalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti, u suštini konkurentna, uz postojanje reguliranih djelatnosti prirodnog monopola električne energije. Iako su regulacije u mrežnim, monopolskim djelatnostima elektroenergetskog sektora neophodne i opravdane, o čemu se detaljnije analizira u sljedećem poglavlju, monopolsko tržište kao takvo danas više ne predstavlja osnovni okvir elektroenergetskog sektora.

U djelatnosti opskrbe električne energije interesi potrošača se očituju u nabavi električne energije po što nižoj cijeni uz istovremeno ostvarivanje što bolje kvalitete i sigurnosti opskrbe električne energije. Vođeni racionalnim djelovanjem, potrošači u odabiru opskrbljivača električne energije preferiraju isključivo ona poduzeća koja mogu isporučiti električnu energiju po minimalnoj cijeni, zbog toga što ne postoje stvarne razlike u samom proizvodu, odnosno može se konstatirati da električna energija, u osnovi, ima obilježje homogenosti. Iako je isporučena električna energija gotovo uvijek jednake kvalitete, ona mora biti takva da nedvojbeno zadovolji sve kvalitativne potrebe krajnjeg potrošača, odnosno ne smije u odstupanjima u naponu, struji ili frekvenciji

uzrokovati smetnje ili greške u radu električne opreme krajnjeg potrošača (Šagovac, 2008). Isto tako, električna energija mora biti dostupna u svakom trenutku i u količini u kojoj je potrebna.

Na liberaliziranom elektroenergetskom tržištu, sa sve većim razvojem i primjenom obnovljivih izvora energije, pojavljuje se „diferencirani“ proizvod, tzv. zelena električna energija koja se odnosi na električnu energiju isporučenu u cijelosti ili djelomično iz „zelenih“ resursa, odnosno obnovljivih izvora energije. Opskrbljivači električne energije pružaju mogućnost prodaje zelene električne energije te se uobičajeno naplaćuje viša cijena za zelenu električnu energiju kako bi se uravnotežio nastali veći trošak proizvodnje iz obnovljivih izvora te potaknuo njihov daljnji razvoj. Temeljeno na dobrovoljnoj osnovi, potrošačima se ostavlja mogućnost odabira opskrbljivača i kupnje takvog proizvoda, čime se doprinosi iskorištavanju i primjeni obnovljivih izvora energije u elektroenergetskom sektoru. Konačno, upravo potrošači svojim izborima mijenjaju proizvodnu ulogu proizvođača električne energije, te utječu na zajednicu da ista postupa u skladu s njihovim (etičkim) načelima.

Zelena električna energija može osigurati brojne prednosti u poslovanju elektroenergetskih poduzeća koja opskrbljuju poslovne subjekte i potrošače zelenom električnom energijom, kao i utjecati na ostala poduzeća koja upotrebljavaju navedeni input, te vjerojatno doprinijeti zadovoljstvu potrošača (Pérez-Plaza, Linares, 2009). Zelena električna energija može pomoći poduzećima u djelatnosti opskrbe električne energije u poboljšanju ekološkog djelovanja i korporativnog ugleda poduzeća, diferenciranju od konkurencije i usmjeravanju na specijalizirane segmente tržišta (tržišne niše), zadržavanju već postojećih ili stjecanju novih ekološko osviještenih potrošača, te ostalo. Za poduzeća koja u proizvodnom procesu upotrebljavaju električnu energiju, kupnja zelene električne energije, čak i uz višu cijenu, pokazuje zanimanje poduzeća ne samo za kvalitetu okoliša, već također i za napredak društva uz čiste izvore energije (Fouquet, 1998). Upotreba zelene električne energije može pomoći i u ostvarivanju korporativnih i institucionalnih ciljeva povezanih s društvenom odgovornošću poduzeća (engl. *Corporate Social Responsibility – CSR*). Individualni kupci, odnosno kućanstva su voljni upotrebljavati zelenu električnu energiju iz različitih razloga, koji mogu biti ekološki interesi, altruistički stavovi ili osobne preferencije, te ostalo. Čak štoviše, potrošači su dodatno spremni platiti (engl. *willingness to pay – WTP*) korištenje zelene električne energije te time doprinijeti povećanju

obnovljivih izvora energije u elektroenergetskom sustavu. Stoga se javlja pozitivna spremnost na plaćanje zelene električne energije koja spremnost može ovisiti o više različitih čimbenika (uključujući već spomenutu ekološku svijest), kao što su osobine potrošača[14], vrsta obnovljivog izvora iz kojeg se dobiva zelena električna energija[15], razina viška cijene po kojoj se zelena električna energija kupuje[16], te ostalo. Može se zaključiti da ponuda i potražnja zelene električne energije omogućuje svim zainteresiranim stranama, odnosno proizvođačima i opskrbljivačima s jedne strane, te potrošačima s druge strane, postizanje zajedničkih ciljeva koji se očituju u što većem iskorištavanju čistih obnovljivih izvora energije te, posljedično, u očuvanju okoliša, odnosno smanjenju štetnih ispušnih plinova u atmosferu.

U liberaliziranom elektroenergetskom sektoru, pored tržišno orijentiranih djelatnosti proizvodnje i opskrbe električne energije, gdje je konkurencija općeprihvaćena, pojavljuju se i djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije koje djeluju u uvjetima prirodnog monopola. Navedene djelatnosti električne energije, kao i vrste ekonomskih regulacija koje su potrebne u normalnom funkcioniranju tog dijela elektroenergetskog sektora, prezentiraju se u narednoj cjelini doktorske disertacije.

[14] U istraživanju (Roe et al., 2001) se navodi da viši osobni dohodak, viša razina obrazovanja i pripadnost ekološkoj organizaciji povećavaju spremnost na plaćanje za ekološku električnu energiju, odnosno smanjenje onečišćenja u okoliš. Takvi rezultati su u skladu s istraživanjem (Rowlands, Scott, Parker, 2003) u kojem se utvrđuju sljedeće karakteristike potrošača koji su spremni platiti više cijene zelene električne energije: ekološki interesi, liberalni stavovi, altruizam, obrazovanje, percipirani stavovi potrošača oko smanjenja onečišćenja, godine (mlađi potrošači izražavaju veću spremnost na plaćanje), dohodak, te sudjelovanje u zajednici ili ekološkim organizacijama. Više o zelenim proizvodima i etičkim potrošačima vidjeti u: Kos Kavran, Cerović, Jelušić, 2015; Cerović, Stašić, Galović, 2009.

[15] Raznovrsnost obnovljivog energetskog resursa može pružiti različite vidove korisnosti za potrošače. U istraživanju (Borchers, Duke, Parsons, 2007) se ističe preferencija solarne energije nad energijom vjetra i općenito obnovljivim izvorima energije, dok su biomasa i metan najmanje poželjni izvori energije.

[16] Sudionici u istraživanju (Zarnikau, 2003) spremni su platiti dodatni novčani iznos mjesečnog računa za investiranje elektroenergetskog poduzeća u obnovljive izvore energije i energetsku efikasnost. Oko 50% ispitanika je spremno dodatno platiti 1 dolar za zelenu električnu energiju te poboljšanje energetske efikasnosti, 40% ispitanika je spremno platiti 5 do 6 dolara, dok bi oko 19%, odnosno 12% ispitanika dodatno platilo 12 dolara za zelenu električnu energiju, odnosno efikasniju proizvodnju električne energije. Drugo istraživanje (Wüstenhagen, Markard, Truffer, 2003) navodi da je 20% ispitanika u Njemačkoj, Ujedinjenom Kraljevstvu i Švedskoj spremno dodatno platiti oko 15% višu cijenu za zelenu električnu energiju, pri čemu gotovo nitko nije spreman platiti 40% višu cijenu (također se navodi da je u Švicarskoj mnogo veća spremnost za plaćanje zelene električne energije, dijelom i zbog visokog dohotka kućanstava).

2.3. REGULIRANE DJELATNOSTI PRIRODNOG MONOPOLA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Elektroenergetski sektor, u ostvarivanju svoje osnovne funkcije, mora osigurati u svakom trenutku pristup i korištenje električne energije krajnjim potrošačima. U izvršavanju te zadaće potrebno je nadzirati i kontrolirati, odnosno regulirati pojedine temeljne djelatnosti elektroenergetskog sektora koje se pojavljuju kao prirodni monopoli. U takvim mrežnim elektroenergetskim djelatnostima, odnosno djelatnostima prijenosa i distribucije električne energije, pojavljuje se samo jedan poslovni subjekt koji obavlja određenu djelatnost na pojedinom geografskom području.

Slijedom navedenog, u ovom dijelu doktorske disertacije analiziraju se mrežne djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije, te vrste ekonomskih regulacija, metoda regulacije stopom povrata i metoda poticajne regulacije, u djelatnostima prirodnog monopola električne energije.

2.3.1. Mrežne djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije

U elektroenergetskom sektoru mrežne djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije osiguravaju transfer električne energije od proizvođača do potrošača električne energije. Pri tome, prijenos uključuje premještanje električne energije na visokom naponu na velikim udaljenostima, dok distribucija podrazumijeva prenošenje električne energije na niskom naponu putem lokalnih mreža od prijenosne mreže do prostora krajnjeg korisnika (Jamasb, Marantes, 2011). Mrežne djelatnosti elektroenergetskog sektora predstavljaju bitnu komponentu u procesu opskrbe električne energije do krajnjih potrošača, te je znatan njihov udio troška, koji iznosi oko 30% (Steiner, 2001), u konačnoj cijeni električne energije.

U mrežnim djelatnostima prijenosa i distribucije električne energije nije moguće provoditi tržišno natjecanje zbog postojanja prirodnog monopola u tom dijelu elektroenergetskog sektora. Zbog velike ekonomije opsega i smanjenjem prosječnih troškova koji se javljaju s povećanjem proizvodnje, jedan poslovni subjekt može proizvesti čitavu tržišnu proizvodnju pri trošku koji je niži nego kada bi postojalo više poslovnih subjekata (Pavić, Benić, Hashi, 2007). Stoga je

poslovnim subjektima u interesu imati što veći broj krajnjih korisnika, odnosno kućanstava, poduzeća i ostalih organizacijskih subjekata kako bi dugoročno smanjili svoje prosječne troškove te time mogli ponuditi svoje proizvode/usluge po nižoj cijeni, čime bi izravno utjecali na veličinu svojih prihoda. Drugim riječima, na tržištu je katkad efikasnije imati samo jedno poduzeće (monopolistu) za obavljanje određene gospodarske ili energetske djelatnosti, u ovom slučaju djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije.

Prirodni monopoli su tradicionalno podvrgnuti različitim vrstama nadzora i kontrole, odnosno regulacije, jer smanjuju društveno blagostanje zbog ostvarivanja iznadprosječnih profita, visokih troškova, odnosno mogućih (pre)visokih cijena na štetu potrošača ili nedovoljne razine kvalitete i raspoloživosti pruženih usluga (Agrell, Bogetoft, Tind, 2005). Pomoću specifičnih mjera, reformi i aktivnosti, cilj regulacije je pružiti poticaje reguliranim poduzećima kako bi unaprijedili operativnu efikasnost poslovanja i osigurali potrebno investiranje, no također potrebno je osigurati da i potrošači imaju koristi od uvećane efikasnosti (Jamasb, Pollit, 2000). Također, regulacije bi trebale biti prihvatljive samim reguliranim poduzećima te djelovati na maksimiziranje ukupnog društvenog blagostanja (Kopsakangas-Savolainen, 2002). Počeci primjene regulacije u gospodarstvu veže se uz pojavu komunalnih usluga kao što su isporuka električne energije, plina, vodoopskrba, koje usluge se odnose na specifične djelatnosti društvenog djelovanja, odnosno na tržište prirodnog monopola.

U mrežnim djelatnostima elektroenergetskog sektora, osobito s ekonomskog aspekta, važno je uspostaviti i provoditi odgovarajuće regulatorne mjere i aktivnosti. Ponajprije, potrebno je osigurati „normalno“ funkcioniranje elektroenergetskog poduzeća, odnosno djelovanje poduzeća bez ostvarivanja iznadprosječnog profita, ali i omogućiti poduzećima, u vidu poticaja, pravo na nužna ulaganja u infrastrukturne kapacitete i ostale proizvodne procese. Primjenom odgovarajuće ekonomske regulacije, stvaranje (cjenovno) efikasnog poslovnog okruženja u mrežnim djelatnostima prijenosa i distribucije električne energije predstavlja izazovan zadatak zbog same prirode elektroenergetske industrije (Viljainen et al., 2004). Kao ilustracija navedenog, može se navesti stajalište da infrastrukturni kapaciteti predstavljaju najvažniji troškovni faktor u reguliranim djelatnostima elektroenergetskog sektora. S obzirom na to, primjenom adekvatne regulacije nužno je odrediti ravnotežu između optimalnog proširenja kapaciteta, koji

podrazumijeva troškovnu pokrivenost, odnosno osiguravanje dostatnih novčanih sredstava, i optimalne iskorištenosti kapaciteta koji zahtijeva fluktuirajuće cijene (Vogelsang, 2002). S druge strane, provedbom regulacije elektroenergetskih poduzeća u djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije, potrošači ne bi smjeli plaćati visoke naknade za pružene mrežne usluge, te bi električnu energiju trebali koristiti kontinuirano i u potrebnoj količini, bez obzira na moguće poremećaje ili prekide u mrežnom transportu energije.

Postoje brojne karakteristike koje općenito mogu biti prihvaćene kada se govori o opravdanosti, odnosno ispravnim i djelotvornim učincima regulacije u mrežnim djelatnostima elektroenergetskom sektoru. Oni mogu biti determinirani sljedećim karakteristikama (Farrell et al., 2004):

1. jasnoća, nedvosmislenost i razumijevanje utvrđenih regulatornih ciljeva postavljenih na dugi rok;
2. proporcionalnost, pri čemu se pristupa reguliranom poslovnom subjektu bez znatnih suvišnih troškova ili prekomjernih ograničenja;
3. konzistentnost koja se pojavljuje kada su regulatorne mjere i odluke jednoobrazne, nediskriminatorne, racionalne te osiguravaju stabilnost i održivost energetskih subjekata;
4. transparentnost koja podrazumijeva otvoren i dostupan regulatorni proces sa slobodnim pristupom relevantnim informacijama i dokumentima vezanim za sve sudionike regulirane djelatnosti;
5. nezavisnost između interesa poslovnih subjekata i potrošača, tj. samostalnost u osiguravanju i provođenju regulatornih mjera, odluka i akcija;
6. odgovornost za provedbu potrebnih mjera te osiguravanje racionalnih odluka i aktivnosti;
7. efektivnost i efikasnost u provođenju regulatornog procesa s naglaskom na konkretne pravovremene mjere, što znači da učinci mogu biti i veći ako se raspolaže sa svim relevantnim, ispravnim i adekvatnim informacijama;
8. fleksibilnost u obavljanju odgovarajućeg djelovanja i zadaća na reguliranom tržištu, odnosno sposobnost uočavanja i razvijanja s promjenama u dinamičnom okruženju, te mogućnost korištenja alternativnih regulatornih inicijativa da bi se ostvarili zacrtani ciljevi.

Praksa je pokazala da najbolji regulirani sustav postoji ondje gdje navedene karakteristike ne dovode u pitanje poslovanje reguliranog elektroenergetskog poslovnog subjekta, te su one s jednakim značajem uključene unutar samog regulatornog procesa. Navedene karakteristike trebaju se pojavljivati te razvijati neovisno o regulatornom modelu koji je uspostavljen.

Potrebno je istaknuti presudnu ulogu države u procesu osiguravanja nadzora i kontrole pružanja usluge električne energije krajnjim potrošačima, od njezine proizvodnje do potrošnje, prvenstveno u reguliranim djelatnostima elektroenergetskog sektora. Institucije putem svojih agencija, odnosno regulatornih tijela, provode potrebite mjere i aktivnosti regulacije elektroenergetskog sektora, odnosno osiguravaju uvjete za efektivno i efikasno funkcioniranje tržišta električne energije. Temeljni dio ovlasti regulatornih tijela je regulacija pristupa elektroenergetskim mrežama, prijenosu i distribuciji električne energije, od strane poslovnih subjekata, kao i određivanje tarifa električne energije. Također, regulatorna tijela su zadužena za osiguravanje potrebne kvalitete opskrbe električne energije.

Države članice Europske unije se nalaze u različitim fazama restrukturiranja i liberalizacije elektroenergetskog tržišta, te stoga različitim djelovanjem osiguravaju i unapređuju sigurnost opskrbe električne energije, te utječu na stvaranje konkurentnog, integriranog europskog energetskog tržišta koje omogućava prekograničnu razmjenu električne energije između država članica. U ostvarivanju navedenog, uz nacionalna energetska regulatorna tijela, prisutna u svih 28 država članica Europske unije, sudjeluje i Agencija za suradnju energetskih regulatora, kao nadnacionalno europsko tijelo zaduženo za suradnju i preispitivanje odluka nacionalnih energetskih regulatora koji djeluju u mrežnim reguliranim djelatnostima elektroenergetskog sektora (http://www.acer.europa.eu/ The_agency/Pages/default.aspx).

U tom smislu, za adekvatno funkcioniranje mrežnih djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije, te, posljedično, cjelokupnog elektroenergetskog sektora, potrebno je kvalitetno djelovanje energetskih regulatornih tijela, s odgovarajućim ovlastima i potrebnoj neovisnosti od tijela javne vlasti koje su ih osnovale. Navedeno predstavlja jamstvo regulatorne stabilnosti te isključuje mogućnost da se odluke regulatornog tijela neprekidno preispituju i modificiraju.

Također, regulatorna tijela imaju zadatak osigurati pravednost u donošenju mjera i odluka pod jednakim uvjetima, bez diskriminacije, za sve.

Spomenuto ukazuje na značaj reguliranih djelatnosti elektroenergetskog sektora, uz primjenu prihvatljive regulacije, u procesu formiranja optimalne tržišne cijene električne energije, kao i funkcioniranja elektroenergetskog sektora u cjelini.

Stoga se u sljedećem dijelu doktorske disertacije prikazuju temeljne karakteristike regulatornih mjera i aktivnosti, odnosno vrste regulacija te načini njihovog funkcioniranja u mrežnim reguliranim djelatnostima elektroenergetskog sektora, pri čemu se opisuju dvije osnovne vrste metode regulacija cijene električne energije.

2.3.2. Vrste ekonomskih regulacija djelatnosti prirodnog monopola električne energije

Sa ciljem osiguravanja određenog stupnja regulacije mrežnih djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije, regulatorna tijela primjenjuju različite oblike, vrste i načine regulacija. Zasigurno najvažniji način je regulacija cijene električne energije, no u posljednje vrijeme pojavljuju se i ostali oblici regulacija, kao što su regulacija kvalitete opskrbe električne energije ili regulacija pouzdanosti opskrbe kao njezin najznačajniji element, prelazeći tako sa tradicionalnih na suvremene koncepte regulacije.

Regulacija cijene električne energije jedan je od bitnih ciljeva regulatornih mjera i aktivnosti na tržištu električne energije. Regulacija cijene s jedne strane kontrolira i eliminira ostvarivanje prekomjernog profita reguliranog poslovnog subjekta, a s druge strane ga potiče na povećanje efikasnosti i smanjenje troškova. Postoje dvije osnovne vrste, tj. metode regulacija cijene električne energije, a to su metoda regulacije stopom povrata (engl. *rate of return regulation*) i metoda poticajne regulacije (engl. *incentive regulation*).

Metoda regulacije stopom povrata predstavlja tradicionalnu metodu. Njezina osnovna značajka je da regulatorno tijelo utvrđuje određenu stopu povrata na investirani kapital koji će reguliranom

poslovnom subjektu omogućiti pokrivanje troškova koji se javljaju pri obavljanju mrežne elektroenergetske djelatnosti. Regulacija stopom povrata omogućuje poslovnom subjektu pokrivanje svih operativnih troškova, kao i troškova kapitala kroz povrat na uloženu imovinu. Pri tome, regulatorno tijelo mora biti detaljno upoznato s poslovanjem reguliranog poslovnog subjekta te mora ocijeniti opravdanost svih troškova poduzeća. Iako se u početku primjene spomenuta regulacija smatrala pogodnom metodom regulacije, pojavio se osnovni nedostatak metode zbog prekomjernog investiranja u industriji, odnosno nastajanja prekomjernih troškova. Naime, ukoliko poslovni subjekt ostvaruje veće troškove, regulatorno tijelo će mu dozvoliti podizanje cijene usluge u skladu s porastom troškova. Na taj način poslovni subjekt nema interesa smanjiti troškove i unaprijediti svoje poslovanje, odnosno nedostaju mu poticaji kojima bi ostvarivao veće uštede te time i veću troškovnu efikasnost. Mogući visok trošak regulacije se također navodi kao značajan nedostatak metode regulacije stopom povrata (Štritof, Krajcar, 2008).

Zbog velikih nedostataka u primjeni metode regulacije stopom povrata, a u svrhu povećanja efikasnosti reguliranih poslovnih subjekata te kontrole visokih troškova, nastajale su nove metode s drugačijim načelima regulacije cijene električne energije. Metoda poticajne regulacije trebala je otkloniti nedostatke metode regulacije stopom povrata te snažnije djelovati na efikasnost reguliranih djelatnosti elektroenergetskog sektora. U načelu, svaka metoda kojom se nastoje anulirati nedostaci regulacije stopom povrata predstavlja određeni oblik poticajne regulacije.

Metoda poticajne regulacije omogućuje reguliranom subjektu ostvarivanje (pa čak i porast) profita koji nastaje kroz smanjenje troškova poslovanja, ali istodobno nameće povećanje efikasnosti. Iako postoji više metoda poticajne regulacije, najčešće se koristi metoda regulacije maksimalne cijene (engl. *price cap regulation*). Ovom metodom regulatorna tijela poslovnom subjektu određuju (opravdane) maksimalne razine cijena usluge na početku svakog regulatornog razdoblja (Štritof, Krajcar, 2008). S obzirom da se određuje gornja granica cijene usluge, poslovni subjekt nastoji povećati količinu isporučene električne energije kako bi ostvario veće prihode, a time i veći profit. Manjkavost ove metode može se uočiti u uvjetima kada, zbog eventualne smanjene potražnje električne energije, poslovni subjekt ostvaruje manje prihode od planiranih, čime se može dovesti u pitanje normalno funkcioniranje poduzeća te time i mrežne

djelatnosti električne energije. Druga vrsta metode koja se provodi na sličnom principu je metoda regulacije maksimalnog prihoda (engl. *revenue cap regulation*). Primjenom ove metode regulatorno tijelo određuje i propisuje maksimalni prihod koji poslovni subjekt može ostvariti u poslovanju. Nedostatak ove metode je što ograničavanje prihoda, osim na funkcioniranje poduzeća, može utjecati i na ograničavanje poticaja u efikasnosti poslovanja poduzeća koja time mogu postati neefikasna (Gelo, Štritof, 2005). Karakterističnost ovih dviju metoda je da regulirani poslovni subjekt ostvaruje profit na osnovu ušteda koje ostvari temeljem smanjenja troškova poslovanja.

Iako se poticajnom regulacijom nastojalo izbjeći nedostatke tradicionalne regulacije stopom povrata, pojavile su se nove poteškoće u provedbi ove regulacije. Poteškoće se odnose na smanjenja kvalitete opskrbe električne energije na račun smanjenja troškova reguliranog poslovnog subjekta, tj. smanjenja troškova investicija, održavanja ili zaposlenja sa ciljem povećanja profita.

Uspješnost provedbe određene vrste regulacije predstavlja ključni faktor u mrežnim djelatnostima prirodnog monopola električne energije. To je osobito važno za krajnje potrošače električne energije kojima se mora osigurati sigurna i kvalitetna opskrba električne energije uz njezinu prihvatljivu cijenu. Također, regulacija mora potaknuti zadovoljavajuće poslovanje poduzeća u mrežnim djelatnostima, s jedne strane, da ne ostvaruju gubitak, ali također i da ne posluju s iznadprosječnim profitom na štetu potrošača. Na taj način, primjenom optimalne vrste regulacije, omogućava se i adekvatno funkcioniranje cjelokupnog elektroenergetskog sektora.

U restrukturiranom elektroenergetskom sektoru odvijaju se konkurentne i regulirane djelatnosti električne energije. U konkurentnoj djelatnosti proizvodnje električne energije pojavljuju se novi tržišni sudionici, proizvođači električne energije koji privučeni profitom ulaze na otvoreno konkurentno energetsko tržište. Razvijanjem tržišta i unapređenjem tehnoloških procesa, sve veći broj poslovnih subjekata sudjeluje u proizvodnji „diferenciranog“ outputa, odnosno obnovljive električne energije iz obnovljivih izvora energije. Prema tome, u sljedećem trećem poglavlju doktorske disertacije prikazuje se i analizira razvoj obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije.

3. RAZVOJ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

U djelatnosti proizvodnje električne energije obnovljivi izvori, uz konvencionalne oblike energije, dodatno pospješuju funkcioniranje elektroenergetskog sektora. Uz osiguravanje dodatnih količina električne energije, obnovljivi izvori energije omogućuju i doprinose gospodarskom razvoju nacionalne ekonomije te ostvarivanju konkurentnosti. Također, obnovljivi izvori u proizvodnji električne energije ne onečišćuju okoliš emisijom stakleničkih plinova te omogućavaju upotrebu ograničenih fosilnih resursa i u budućnosti. Navedeno predstavlja glavne razloge sve većeg ulaganja i primjene obnovljivih izvora energije.

U trećem poglavlju doktorske disertacije prikazuje se razvoj obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije. Najprije se definiraju i analiziraju segmenti sigurnosti opskrbe energije, odnosno odrednice sigurnosti opskrbe električne energije koje podrazumijevaju i diverzifikaciju cjelokupnih energetskih resursa, među kojima se pojavljuju i obnovljivi izvori energije. U sljedećoj cjelini se definira pojam alternativnih (obnovljivih) oblika energije, pri čemu se prezentiraju brojne prednosti i nedostaci korištenja obnovljivih izvora energije. Primjena „novih“ obnovljivih izvora energije u održivom razvoju se prikazuje u narednom dijelu u kojem se razmatra pojam održivosti proizvodnje električne energije te se ističu „novi“ obnovljivi izvori, odnosno Sunčeva energija, energija vodenih tokova, energija iz biomase, geotermalna energija i energija mora u proizvodnji električne energije. Naposljetku, također kao „novi“ obnovljivi izvor, analizira se energija vjetra, i to korištenje energije vjetra kroz povijest, kao i primjena energije vjetra u proizvodnji električne energije. Na kraju trećeg poglavlja se prikazuju ekološke značajke energije vjetra u proizvodnji električne energije.

3.1. KONCEPT SIGURNOSTI OPSKRBE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Električna energija je neophodna u suvremenom društvu i gospodarstvu općenito. Kao jedan od temeljnih resursa, pojavljuje se u gotovo svakom proizvodnom procesu; sudjeluje u iskorištavanju ostalih resursa u poslovnim ciklusima te u stvaranju nove vrijednosti i zadovoljenju potreba.

Električna energija se na tržištu pojavljuje kao specifičan proizvod koji se ne može usporediti niti s jednim drugim. Na današnjem stupnju tehničko-tehnološkog razvoja ne postoji alternativa električnoj energiji u svakodnevnoj uporabi. Kao output elektroenergetskih postrojenja, električna energija se ne može skladištiti, i jednom proizvedena mora se utrošiti gotovo trenutno. Stoga, ponuda i potražnja električne energije moraju biti u ravnoteži u bilo kojem vremenskom trenutku. To na određeni način predstavlja otežavajuću okolnost u proizvodnom procesu električne energije i njezinom korištenju, neovisno o energetskom izvoru koji se upotrebljava u proizvodnji električne energije. Osim navedenoga, javljaju se i određene poteškoće u proizvodnji električne energije kao što je npr. raspoloživost energetskih resursa za samu proizvodnju električne energije (cf. Feretić, 2006). Nedostatak kapaciteta prijenosne i distribucijske mreže može ograničiti pravovremenu isporuku i potrošnju električne energije. Kako bi se uočile moguće poteškoće u proizvodnji i opskrbi električne energije te se utjecalo na njihovo otklanjanje, potrebno je pobliže objasniti i analizirati sigurnost opskrbe energije, odnosno koncepte sigurnosti opskrbe električne energije koji se navode u nastavku doktorske disertacije.

3.1.1. Definicije i segmenti sigurnosti opskrbe energije

S obzirom na različita gledišta, na što se zapravo odnosi sigurnost opskrbe energije, od čega se sastoji i kako se može ostvariti, brojne definicije se navode u promatranoj literaturi. Jednu od najopćenitijih definicija predlaže Međunarodna energetska agencija (engl. *International Energy Agency*) koja opisuje sigurnost opskrbe energije kao fizički neprekidnu upotrebljivost energije po cijeni koja je dostupna, uz poštivanje ekološki prihvatljivih uvjeta. Drugi pristup koji se pojavljuje je rizik energetske nesigurnosti, odnosno poremećaja ili prekida u opskrbi energije te mogućnost gubitka blagostanja koji može nastati kao posljedica promjene cijena ili dostupnosti energije (Qureshi, Sonnsjö, 2011). Oba principa potvrđuju tezu o važnosti i nužnosti kontinuirane opskrbe energije.

Temeljeno na sličnom gledištu, Azijsko pacifički energetski istraživački centar (engl. *Asia Pacific Energy Research Centre*) koji je osnovan od država članica APEC-a (Azijsko-pacifičke ekonomske suradnje) definira sigurnost opskrbe energije kao sposobnost gospodarstva da jamči ponudu energetskog resursa na održiv i pravovremen način uz cijenu energije koja neće

negativno utjecati na ekonomske performanse gospodarstva (APERC, 2007). S obzirom na takvo stanje, Azijsko pacifički energetski istraživački centar utvrđuje nekoliko čimbenika koji mogu utjecati na sigurnost opskrbe energije, kao što su dostupnost energetskog resursa od proizvođača/dobavljača na domicilnom i inozemnom tržištu; sposobnost nacionalne ekonomije za nabavom dovoljnih količina energije koje će omogućiti zadovoljenje projicirane potrošnje energije; razina diverzificiranosti izvora energije u gospodarstvu te također energetska diverzificiranost dobavljača; dostupnost izvora energije u smislu raspoloživosti povezane energetske infrastrukture i energetske transportne infrastrukture; geopolitičko zanimanje za stjecanje i koncentraciju energetskih resursa; te ostalo.

Sigurnost opskrbe energije se može definirati i kao sposobnost isporuke neophodnih količina energije potrebnih za životne potrebe i zaštitu stanovništva, za funkcioniranje nužne infrastrukture i javnih usluga, rada institucija i gospodarskih subjekata kojima to zahtijevaju tehnološki procesi ili su dio sustava sigurnosti opskrbe te sposobnost osiguranja strateških i operativnih rezervi energenata potrebnih za održavanje nacionalne pripravnosti i obrane u slučaju ozbiljnih poremećaja i izvanrednih situacija (Granić, Majstrović, Pešut, 2012).

Tradicionalno se sigurnost opskrbe energije povezivala s osiguravanjem pristupa, odnosno raspoloživosti nafte i neposrednim crpljenjem ostalih fosilnih goriva. Pomanjkanje nafte kao globalne robe na svjetskom tržištu uzrokovalo je kratkoročne fluktuacije i dugoročno povećanje cijene. Time se djelomično odjeljuje sigurnost opskrbe energije od čisto fizičkog nalazišta fosilnih goriva (koje sada uglavnom razmatraju geolozi) prema onome koji uključuje cijenu energije i posljedice koje, uslijed promjene cijene, utječu na gospodarstvo (Jenny, 2007). Stoga, sigurnost opskrbe energije poprima i ekonomski aspekt.

Na taj način se pojam sigurnosti opskrbe energije proširio tijekom vremena te je postao kompleksniji i sveobuhvatniji. U današnje suvremeno vrijeme mogu se odrediti četiri glavna segmenta sigurnosti opskrbe energije, a Azijsko pacifički energetski istraživački centar predlaže klasifikaciju poznatu kao „4A“ (Kruyt, et al., 2009):

a) dostupnost (engl. *availability*) – elementi povezani s geološkim postojanjem;
b) pristupačnost (engl. *accessibility*) – geopolitički elementi;

c) raspoloživost (engl. *affordability*) – ekonomski elementi;
d) prihvatljivost (engl. *acceptability*) – ekološki i društveni elementi.

Potrebno je napomenuti kako to nisu nipošto izolirane kategorije, već međusobno povezani elementi koji ovisno funkcioniraju.

Prvi i temeljni segment koji je sadržan u svim ostalim segmentima je *dostupnost* energije potrebitim korisnicima, odnosno gospodarstvu, kućanstvima i ostalim subjektima. Navedeno podrazumijeva apsolutnu dostupnost energije, tj. njezino fizičko postojanje kako bi gospodarstvo i društvo moglo normalno funkcionirati (Kruyt, et al., 2009). U izvješću Azijsko pacifičko energetsko istraživačkog centra navodi se da je segment dostupnosti ograničen na naftu i ostala fosilna goriva. To se odnosi na ponuđenu količinu primarnog energetskog resursa u odnosu na postojeće rezerve, jer je općeprihvaćena teza da su fosilni resursi u osnovi ograničeni. Takvo značenje se smatra suženo, jer sadrži samo geološke resurse, kao što su fosilna goriva i radioaktivni materijal, kao izvor primarnih energetskih resursa. U suvremeno vrijeme, navedeni segment nastoji uključivati i druge energetske resurse, kao što su, primjerice, hidroelektrična energija, sunčana energija, energija vjetra ili energija iz biomase. Na dostupnost energetskih resursa također utječu i drugi čimbenici poput energetske infrastrukture i energetske transportne infrastrukture (Qureshi, Sonnsjö, 2011).

Pristupačnost energije je sljedeći segment sigurnosti opskrbe energije koji opisuje poteškoće i prepreke koje se mogu pojaviti u opskrbljivanju energetskih resursa. Segment je značajan s obzirom na moguće geopolitičke implikacije koje mogu nastati uslijed velike prostorne razlike između crpljenja ili proizvodnje energetskog resursa i njegove potrošnje. Taj geopolitički element čini pristupačnost teško mjerljivim pa ga je samim time gotovo nemoguće istražiti i analizirati. Također je obuhvaćen i geografskim elementom budući su sadašnje energetske rezerve određenim dijelom neiskorištene, pa i neistražene, te su uglavnom smještene u izoliranim područjima kao što su duboka mora ili područja Arktika čime je crpljenje resursa otežano te zahtijeva velika financijska sredstva. Poteškoće u pribavljanju energetskih resursa mogu sadržavati i politički i fizički element, čime nastaje preklapanje koncepta dostupnosti i pristupačnosti.

U prikazivanju aspekta sigurnosti opskrbe energije potrebno je istaknuti *raspoloživost* energije u kontekstu prihvatljive cijene ili opravdanog troška, bilo da se pretpostavlja trošak energetske infrastrukture, trošak usluge ili trošak energenta krajnjem potrošaču u određeno vrijeme. Jednostavnije rečeno, raspoloživost energije obuhvaća njezin ekonomski element. Navedeni segment može dovesti i do energetske oskudice, što se nerijetko događa i u razvijenim državama. Ekonomska raspoloživost označava da čak i najsiromašniji dio populacije mora imati isporučenu (električnu) energiju po cijeni koja je prihvatljiva. U suprotnome, pojavljuje se energetska nestašica (Qureshi, Sonnsjö, 2011). Navedenu problematiku prepoznala je Europska unija kada je 1996. godine donijela Direktivu 96/92/EC u kojoj uvodi odredbu *obveza pružanja javne usluge* (engl. *public service obligations*) u okviru koje države članice mogu nametnuti energetskim poduzećima obvezu pružanja javne usluge, što se može (ali ne i isključivo) odnositi na „sigurnost, uključujući sigurnost opskrbe električne energije, regularnost, kvalitetu i cijenu opskrbe i zaštitu okoliša“. Usvajanjem nove Direktive 2003/54/EC značajno je proširen opseg djelovanja *obveze javne usluge* te su navedena nova opća načela i odredbe pružanja javne usluge među kojima se najvažnija odnosi na pružanje *opće usluge* (engl. *universal service*). Taj koncept je definiran u Direktivi kao „pravo na opskrbu električnom energijom specifične kvalitete unutar određenog područja po razumnim, lako i jasno usporedivim i transparentnim cijenama“. Pored te odredbe gdje postoji obveza da svi korisnici, posebice kućanstva i po potrebi mala poduzeća, budu povezani i opskrbljeni električnom energijom, određeni su i ostali ciljevi koji imaju svrhu unaprijediti europsko energetsko tržište, a odnose se na načela kao što su zaštita krajnjih potrošača, pri čemu se osobito smatraju ranjivi (osjetljivi) potrošači, kao i potrošači u udaljenim područjima. Također se naglašava socijalna i ekonomska kohezija, zaštita okoliša, zatim *opskrbljivač u krajnjoj nuždi* pod kojim se podrazumijeva opskrba onih kupaca koji nisu odabrali svog opskrbljivača na tržištu ili im je opskrbljivač prestao s radom. Na taj se način sprečava nemogućnost isporuke električne energije zbog stvarnog izostanka opskrbljivača (Sandøy, et al., 2004; Majstrović, 2008).

Konačno, u razmatranje sigurnosti opskrbe energije potrebno je uključiti ekološki pristup, odnosno element održivosti okoliša kao što je, primjerice, racionalna upotreba ugljena, nuklearnih i nekonvencionalnih goriva (biogoriva ili bitumenskog pijeska) (Hughes, Shupe, 2010). Azijsko pacifički energetski istraživački centar ističe da se predviđa značajno povećanje

potražnje za energijom koje će zasigurno imati negativne ekološke učinke u vidu značajnog povećanja emisije stakleničkih plinova. Suočeni s neminovnim izazovima i poteškoćama vezanim za energetska pitanja očuvanja okoliša, tijela javne vlasti i ostali donosioci odluka pokušavaju suzbiti onečišćenja definiranjem i uvođenjem strožih propisa zaštite okoliša. Stroža ekološka pravila i odredbe, u kombinaciji s povećanom ekološkom svijesti sve većeg broja ljudi o pitanjima vezanim za (elektro)energetski sektor te u konačnici održivi razvoj, utječu na stvaranje određenih ograničenja u upotrebi fosilnih goriva te istovremeno, na značajnije korištenje alternativnih oblika energije (APERC, 2007). Tome pridonosi i činjenica da su fosilni resursi ograničeni pa se njihovo korištenje postepeno mora smanjiti ili supstituirati drugim, alternativnim energetskim izvorima. Smatra se, čak i ako se ne poveća sadašnja potražnja za energijom, da bi preostala nafta mogla biti dostatna još samo 45 godina, plin 65 godina i ugljen otprilike 170 godina, no ugljen je ujedno i najveći onečišćivač okoliša (Ward et al., 2011; APERC, 2007). Ograničenja u upotrebi fosilnih goriva mogu se riješiti unapređenjem energetske efikasnosti, odnosno uvođenjem novih tehnologija i tehnoloških procesa koristeći manje energije u proizvodnji većeg broja proizvoda i usluga, te primjenom obnovljivih izvora energije. Upravo je energetska efikasnost, uz zaštitu klime, učinkovitost upravljanja potražnjom i ispunjavanja ostalih ekoloških zahtjeva, jedan od ciljeva zaštite okoliša, prema Direktivi Europske unije 2003/54/EC (Sandøy, et al., 2004). U sagledavanju segmenta *prihvatljivosti*, Azijsko pacifički energetski istraživački centar također ističe promjene koje se odvijaju na energetskom tržištu u pogledu, već spomenutog, povećanja emisije stakleničkih plinova, ali i poreznog opterećenja za konvencionalna „prljava“ goriva koja će time utjecati na raspoloživost energenta, odnosno na sigurnost opskrbe pojedinog energetskog resursa. Smatra se da je segment prihvatljivosti u nekim slučajevima važniji i širi pojam od ekonomskog utjecaja sigurnosti opskrbe energije, jer npr. može uključivati društvena i politička pitanja kao što su rasprave o problematici hrane ili goriva (biogoriva), raseljavanje autohtonog stanovništva zbog crpljenja energije, te ostalo.

Definirajući pojam sigurnosti opskrbe energije te analizirajući segmente sigurnosti opskrbe energije poput dostupnosti, pristupačnosti, raspoloživosti i prihvatljivosti energije, potrebno je suziti koncept sigurnosti energije na koncept sigurnosti električne energije. Stoga se u narednom dijelu doktorske disertacije prikazuju odrednice sigurnosti opskrbe električne energije u restrukturiranom elektroenergetskom sektoru.

3.1.2. Odrednice sigurnosti opskrbe električne energije

Koncept sigurnosti opskrbe električne energije postaje jedno od ključnih pitanja u otvorenom, liberaliziranom elektroenergetskom tržištu posljednjih nekoliko godina. Savez industrije električne energije (Eurelectric) definira da je sigurnost opskrbe električne energije (engl. *security of electricity supply*) sposobnost elektroenergetskog sustava da osigura i pruži električnu energiju krajnjim korisnicima s određenom (specifičnom) razinom kontinuiteta i kvalitete na održiv način koji se odnosi na postojeće standarde i ugovorne sporazume na mjestima isporuke (Pierre, 2006). Srž sigurnosti opskrbe električne energije odnosi se na zadovoljenje potreba krajnjeg potrošača za električnom energijom, bilo to kućanstva, poduzeća ili institucije, te u isto vrijeme funkcioniranje svih procesa elektroenergetskog sustava koji moraju raditi ispravno da bi se potrošnja električne energije odvijala nesmetano. Navedeno podrazumijeva, prije svega, upotrebu dostatne količine energetskog resursa kako bi se mogla proizvesti električna energija u predviđenom opsegu; zatim i tzv. „dodatno postrojenje“ koje čini postotak instaliranih proizvodnih kapaciteta iznad maksimalne potrošnje električne energije u određenom razdoblju; održavanje energetske kvalitete ulaganjima u prijenosnu i distribucijsku infrastrukturu; usklađivanje ponude i potražnje za električnom energijom u stvarnom vremenu, budući se električna energija teško može pohraniti; mogućnost fleksibilnije upotrebe elektroenergetskog sustava u reagiranju na nepravilnosti u potražnji, npr. veliki industrijski potrošači prihvaćaju povremeni manji napon električne energije ili kratkotrajne prekide u opskrbi u zamjenu za niže cijene električne energije; sposobnost da veliki industrijski potrošači nabavljaju električnu energiju izravno iz proizvodnih postrojenja čime bi se rasteretila elektroenergetska mrežna infrastruktura; te ostalo (Parliamentary Office of Science and Technology, 2003).

Sigurnost opskrbe električne energije je vrlo složena tematika, prvenstveno jer je električna energija specifičan, nematerijalan proizvod na tržištu koji se ne može jednostavno prenositi te se proizvedena električna energija gotovo trenutno isporučuje i koristi[17]. Navedeno je nedjeljiv proces, pri čemu paralelno djelovanje tržišno konkurentnih djelatnosti proizvodnje i opskrbe električne energije te reguliranih djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije dodatno otežava sigurnost opskrbe električne energije (Denona Bogović, Cerović, Maradin, 2012).

[17] Električna energija se upotrebljava u desetinki sekunde nakon svoje proizvodnje (Tešnjak, Banovac, Kuzle, 2010).

U cilju dodatnog osiguranja sigurne i pouzdane opskrbe električne energije te djelovanja na stabilnost elektroenergetskog sustava u okviru nepredviđenih događaja, odnosno poremećaja ili prekida opskrbe električne energije, potrebno je uključiti više fleksibilnosti i raznolikosti u proizvodnju električne energije.

Fleksibilnost elektroenergetskog sustava se odnosi na sposobnost brze prilagodbe cijelog sustava po niskoj cijeni. To se prvenstveno odnosi na prilagodbu i korištenje energetskog resursa, odnosno goriva. U suštini, fleksibilnost ima dva važna obilježja. Kao prvo, poboljšava se sigurnost ponude goriva u slučaju prekida opskrbe; te kao drugo, omogućava se konkurencija u izboru goriva čime se utječe na smanjenje troškova. Navodi se mogućnost korištenja više od jednog energetskog resursa u proizvodnji električne energije ili stvaranje zaliha goriva (osobito ugljena) kako se ne bi dogodili prekidi u opskrbi (Parliamentary Office of Science and Technology, 2003). Razlozi prijelaza na drugi energetski resurs su osobito važni u elektroenergetskom sektoru budući je kontinuitet nabavke goriva jedan od primarnih uvjeta sigurnosti opskrbe energije. Također se ističe da gorivo predstavlja veliki udio u ukupnim troškovima električne energije (posebice u plinskim postrojenjima) te da su tržišta goriva veoma promjenjiva i neizvjesna. Kako se tržišta električne energije sve više dereguliraju, tako će mogućnosti zamjene za prihvatljiviji energetski resurs postati vjerojatnije i učestalije nego što je to bilo do sada (Söderholm, 2000).

Raznolikost, odnosno diverzifikacija[18] energetskih resursa, koja se pojavljuje samo kao jedan od elemenata sigurnosti opskrbe energije, može se povećati primjenom šireg raspona energetskih resursa, novih proizvodnih tehnologija te geografskom raspršenošću energetskih proizvodnih postrojenja i primarnih energetskih izvora (Parliamentary Office of Science and Technology, 2003; Grubb, Butler, Twomey, 2006). Što je veća diverzifikacija proizvodnje električne energije, to je manja vjerojatnost da će nastati poremećaj u radu cjelokupnog elektroenergetskog sustava ako jedan oblik energije (energetski resurs), u određenom vremenskom trenutku, nije moguće transformirati i isporučiti električnu energiju. Navodi se i da je adekvatna diverzifikacija energetskog sustava ekološki prihvatljiva te da doprinosi održivom razvoju (Li, 2005).

[18] Iako se pretpostavljaju kao sinonimi, diverzifikacija se navodi kao širi pojam (Grubb, Butler, Twomey, 2006).

Diverzifikacija energetskih resursa se povijesno mogla postići korištenjem različitih oblika fosilnih goriva, tj. ugljena, nafte, prirodnog plina te ostalih umjetno proizvedenih vrsti goriva. Zbog oskudnosti i problema pristupačnosti prirodnih resursa fosilnog porijekla te, s druge strane, sve intenzivnije potrošnje energije, njihovo se iscrpljivanje i korištenje postepeno mora smanjivati te supstituirati alternativnim energetskim resursima uvodeći nove tehnologije i tehnološke procese. Upravo o razvoju i sve većoj primjeni, odnosno o prednostima i nedostacima korištenja alternativnih oblika energije govorit će se u narednom poglavlju.

3.2. RAZVOJ ALTERNATIVNIH OBLIKA ENERGIJE

Sve veća primjena alternativnih oblika energije posljedica je sve veće gospodarske razvijenosti pojedinih nacionalnih ekonomija (kao kriterij gospodarske razvijenosti može poslužiti klasifikacija Međunarodnog monetarnog fonda, Svjetske banke ili Programa Ujedinjenih naroda za razvoj). S druge strane, proizvodnja i upotreba alternativnih energetskih postrojenja potiče razvoj novih tehnologija u energetici, potiče razvoj poduzetništva te, u konačnici, cjelokupnog gospodarstva, potvrđujući obosmjeran utjecaj jednoga na drugo.

Alternativni, odnosno obnovljivi oblici energije pojavljuju se kao dopuna konvencionalnim oblicima energije, te, iako u određenim razvijenim državama sudjeluju u znatnom udjelu u proizvodnji energije, još uvijek nisu prevladavajući resurs energije u energetskom sektoru. Potrebno je istaknuti da, uz proizvodnju električne energije koja se u ovoj doktorskoj disertaciji istražuje, alternativni oblici energije osiguravaju značajnu ulogu i u proizvodnji toplinske energije.

U analiziranju alternativnih oblika energije u ovom dijelu doktorske disertacije najprije se definira sam pojam alternativnih, odnosno obnovljivih oblika energije, nakon čega se navode brojne prednosti i nedostaci korištenja obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije.

3.2.1. Definiranje obnovljivih izvora energije

Na sadašnjem stupnju tehničko-tehnološkog razvoja, fosilna goriva opskrbljuju većinu svjetskih energetskih potreba. Iako se pojavljuju pitanja oko dostupnosti energetskih resursa, problematike onečišćenja okoliša te s time povezana ograničenja u njihovoj upotrebi, očekuje se da će fosilna goriva i u sljedećim desetljećima biti važan resurs u osiguravanju energije, a posebice električne energije (Dresselhaus, Thomas, 2001). Ipak, kako bi se zadovoljile sve veće globalne potrebe za energijom uz istodobno očuvanje okoliša, te ostavila mogućnost upotrebe fosilnih goriva u budućnosti, razvijaju se alternativni „čisti“ izvori energije koji ne ovise o fosilnim resursima i imaju prihvatljiv utjecaj na okoliš.

Precizno definiranje alternativnih izvora energije je „nezahvalno“, prvenstveno zbog postojanja raznovrsnih energetskih resursa i izbora, kao i različitih ciljeva kojima se promiče njihovo djelovanje. Ipak, najjednostavnije rečeno, alternativni izvori energije su svi oni izvori energije koji su alternativa fosilnim resursima. Iako određeni autori (Michaelides, 2012; Kowalski, 2011) navode nuklearnu energiju kao jedan od izvora alternativnih oblika energije te o tome postoje oprečna stajališta, u ovoj doktorskoj disertaciji ne analizira se opravdanost ili osporavanje takvog uključivanja niti se nuklearna energija promatra u kontekstu alternativnih oblika energije.

Izraz alternativni oblici energije se obično upotrebljava za obnovljive izvore energije. Obnovljivi izvori energije se definiraju kao svaki energetski resurs koji se može prirodno obnavljati po stopi koja je usporediva ili brža od stope potrošnje energije tog resursa ili kao trajni resurs koji je obilno dostupan u prirodi (van Vliet, 2012). Obnovljivi izvori energije su neiscrpni izvori, odnosno iako se procesima pretvorbe energije troše, njihove se količine samo privremeno iscrpljuju, tj. mogu se uvijek nadoknaditi ili obnoviti (Labudović et al., 2002). Upotrebom obnovljivih izvora energije djeluje se na očuvanje okoliša, odnosno pridonosi se ekološkom aspektu održivosti, jer se direktnom primjenom obnovljivih izvora, u osnovi, ne onečišćuje okoliš. Navedena karakteristika predstavlja jednu od glavnih prednosti u poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.

U tom vidu, u sljedećem dijelu doktorske disertacije analizira se ekološka dimenzija obnovljivih izvora energije, odnosno nastale emisije stakleničkih plinova pojedinih obnovljivih izvora tijekom ukupnog životnog ciklusa obnovljivog postrojenja, te ostale prednosti koje se ostvaruju korištenjem obnovljivih izvora energije.

3.2.2. Prednosti korištenja obnovljivih izvora energije

Obnovljivi izvori energije, uz sve veće zanimanje dostupnosti i raspoloživosti fosilnih energetskih resursa te eksponencijalnog rasta potražnje za energijom tijekom posljednjih desetljeća, postaju važan dodatni energetski resurs u zadovoljenju potreba, prije svega, za električnom energijom. Iskorištavanje prirodnih, neograničenih energetskih resursa iz okoliša sa ciljem njihove pretvorbe u električnu energiju, uz osiguravanje ekološkog aspekta, daje obnovljivim izvorima energije brojne prednosti u njihovom korištenju, prije svega one očuvanja okoliša. Navedeno se potvrđuje činjenicom da obnovljivi izvori proizvodnjom električne energije sudjeluju s nula ili gotovo nula posto emisije stakleničkih plinova i ostalog onečišćenja zraka (United Nations Development Programme, 2000).

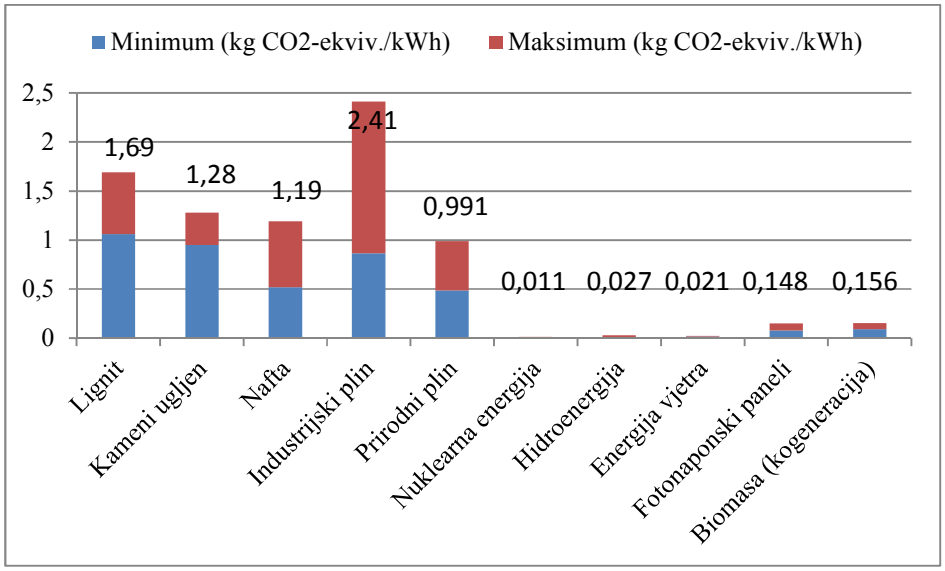
Sveobuhvatan pokazatelj onečišćenja okoliša koji je uzrokovan određenim tipom energetskog postrojenja u djelatnosti proizvodnje električne energije može se odrediti ukupnim životnim vijekom trajanja pojedine elektrane. Procjena ukupnog životnog ciklusa različitih tipova elektrana razumljivo pokazuje najvišu razinu emisije stakleničkih plinova kod termoelektrana koje u proizvodnji električne energije upotrebljavaju fosilna goriva. Staklenički plinovi se, kao nusprodukt proizvodnje električne energije, ne pojavljuju kod primjene nuklearne energije. S obzirom na tu činjenicu koja je u suprotnosti s fosilnim resursima, navedeno je jedan od razloga promatranja nuklearne energije u kontekstu „obnovljivih izvora“. Međutim, zaboravlja se radioaktivni nuklearni otpad koji ima visok utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi.

Ako se promatra ukupni životni ciklus postrojenja koje koristi obnovljivi izvor energije, emisija stakleničkih plinova izražena u ekvivalentu ugljikova dioksida (CO_2) je i tada iznimno mala, odnosno zanemariva. Sljedeći grafikon 1. prikazuje raspon emisije stakleničkih plinova

(iskazanih u kilogramu ekvivalenta ugljikova dioksida (CO_2) po kilovat-satu (kWh)) tijekom životnog ciklusa različitih tipova elektrana.

U svojem ukupnom životnom ciklusu, elektrane primjenom klasičnih obnovljivih izvora energije poput energije vjetra ili hidroenergije imaju neznatne količine emisije stakleničkih plinova, čime se potvrđuje njihova ekološka prihvatljivost.

Grafikon 1. Emisija stakleničkih plinova tijekom ukupnog životnog ciklusa elektrane



Izvor: Dones, Heck, Hirschberg, 2004

Upravo su negativne eksternalije uzrokovane onečišćenjem od izgaranja konvencionalnih, fosilnih goriva jedan od glavnih argumenata promicanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije. Kao ekološki prihvatljivi energetski resursi, obnovljivi izvori energije se prvenstveno pojavljuju u elektroenergetskom sustavu kao dodatna podrška već postojećim konvencionalnim energetskim postrojenjima u pružanju dodatnih količina električne energije. Time se izravno utječe na smanjivanje energetskog fosilnog goriva koje bi se inače utrošilo u konvencionalnoj elektrani za proizvodnju jednake količine električne energije. Također, obnovljivi izvori energije smanjuju ovisnost o uvozu, i to prije svega električne energije, ali i uvozu potrebnih fosilnih energetskih resursa, tj. goriva kojima se proizvodi električna energija.

Sljedeća prednost u korištenju obnovljivih izvora energije očituje se u poticanju razvoja gospodarstva, odnosno razvoja energetskog sektora i svih pratećih djelatnosti koje su vezane za tu industriju. Obnovljivi izvori imaju znatan učinak multiplikatora na one države čija je industrija sposobna i u stanju proizvoditi energetske strojeve i opremu temeljenu na tehnološkim inovacijama, osobito kod njihova izvoza (Granić, 2010). Navodi se da najvažnija dobrobit od primjene obnovljivih izvora energije može biti inovacija koja potiče tehničke promjene u novim tržišnim strukturama (Fankhauser, Sehlleier, Stern, 2008). Isto tako, dugoročno, tehnološke promjene i inovacije te postepeni razvoj obnovljivih izvora energije povećavaju potražnju za kvalificiranom radnom snagom. Stvaranje novih mogućnosti za ulaganja u „zelenu" energiju, istraživanja i tehnološke inovacije te posljedično i nastajanje gospodarskog rasta većim je dijelom posljedica klimatskih promjena te politika za očuvanje okoliša. Naglašava se velika uloga ciljanih politika usmjerenih prema motivirajućim energetsko-tehnološkim inovacijama (Simas, Pacca, 2013). One bi se trebale poticati politikama koje smanjuju institucionalne i tržišne barijere te ograničenja za nove tehnologije i tržišta. Jedna od takvih mjera je i ekonomski razvoj temeljen na energiji (engl. *energy-based economic development*) koji integrira ekonomski razvoj te energetsku politiku i planiranje u novo područje upravljanja nacionalnom ekonomijom. Ekonomski razvoj temeljen na energiji se definira kao proces u kojem donositelji odluka ekonomskog i energetskog planiranja i razvoja, vladini dužnosnici i ostala tijela javne vlasti, energetski regulatori, industrija i komunalne djelatnosti, odnosno njihovi menadžeri i rukovoditelji, te ostali dionici na tržištu nastoje povećati energetsku efikasnost i/ili diverzifikaciju energetskih resursa na način koji doprinosi otvaranju novih radnih mjesta i zadržavanju zaposlenosti te potiče regionalno blagostanje (Carley et al., 2011). Suština koncepta ekonomskog razvoja temeljenog na energiji je u ostvarenju ekonomskih i energetskih razvojnih potreba. Pri tome se temeljni ciljevi odnose na povećanje energetske efikasnosti, diverzifikaciju resursa i samodostatnosti, unapređenje industrije te gospodarski rast i razvoj, razvijanje poduzetništva i poticanje tehnoloških inovacija, povećanje razine zaposlenosti i usavršavanja, te ostalo. Upravo energetska diverzifikacija, energetska samodostatnost i unapređenje tehnoloških inovacija razvijaju regionalnu konkurentnost i pružaju mogućnosti za stvaranje novih radnih mjesta, pogotovo kada je fokus usmjeren na obnovljive izvore energije. U tome smislu, pioniri u razvijanju čiste „zelene" tehnologije imaju mogućnost postati regionalni, pa i globalni

predvodnici u dotičnoj industriji. Ističe se primjer Njemačke koja se navodi kao lider u izvozu tehnologija obnovljivih izvora energije (Fankhauser, Sehlleier, Stern, 2008; Simas, Pacca, 2013).

Općenito se smatra da obnovljivi izvori energije snažno djeluju na povećanje zaposlenosti, pogotovo na zapošljavanje lokalnog stanovništva gdje se određeni obnovljivi izvor i nalazi. Istraživanja su pokazala da navedeno nije u potpunosti ispravno, već se značajno razlikuje ovisno o stupnju aktivnosti životnog ciklusa postrojenja koji eksploatira obnovljivi izvor energije. Iako svaki segment obnovljivog izvora energije ima specifične karakteristike, svi imaju zajednički životni ciklus koji uključuje pet faza (Llera et al., 2010):

1. istraživanje i projektiranje;
2. razvoj i proizvodnja;
3. izgradnja i postavljanje;
4. funkcioniranje i održavanje i/ili servisiranje;
5. modernizacija ili rastavljanje.

Kako bi se adekvatno prikazao utjecaj životnog ciklusa energetskog postrojenja na stvaranje količine i kvalitete te mjesta i trajanja zaposlenosti, kao i indirektno na smjernice razvoja energetskog sektora, prethodno navedenih pet faza se modificira na tri osnovne faze. One se sastoje od tehnološkog razvoja, instalacije ili rastavljanja energetskog postrojenja te funkcioniranja, odnosno upravljanja i održavanja postrojenja. U nastavku se ukratko obrazlažu modificirane faze životnog ciklusa postrojenja.

Smatra se prikladnijim da se prva i druga faze, tj. faza istraživanja i projektiranja te razvoja i proizvodnje promatraju kao zasebna cjelina zbog velike komplementarnosti između tih područja rada te generirane istovjetne zaposlenosti. Time nastaje nova početna faza životnog ciklusa naziva „tehnološki razvoj“. Iako su treća i peta faza, odnosno faza izgradnje i postavljanja te modernizacije ili rastavljanja vremenski udaljene, one čine jedinstvenu fazu „instalacija / rastavljanje“, jer se ne razlikuju u uvjetima vrste aktivnosti i karakteristikama angažirane zaposlenosti. Aktivnosti uključene u održavanje poslovanja energetskog postrojenja su treća i zadnja faza životnog ciklusa. Primjerice, neke od tih aktivnosti uključuju upravljanje i održavanje vjetroenergetskog postrojenja, zatim prikupljanje, opskrbljivanje i logistiku rada postrojenja na

biomasu, te općenito ostale poslove vezane za normalno funkcioniranje elektrana. Ovakva podjela faza životnog ciklusa energetskog postrojenja može biti korisna za određivanje potreba za uvođenjem strategije koja poboljšava generiranje zaposlenosti u jednoj od tri faze kao što je povećanje tehnoloških inovacija (kojom se povećava utjecaj na lokalnu zaposlenost u prvoj fazi) ili stručno usavršavanje (kojom se smanjuje potreba za stranim inženjerima i monterima postavljanja postrojenja).

Utjecaj navedenih triju faza životnog ciklusa energetskog postrojenja (koje upotrebljava obnovljivi izvor) na prethodno spomenute elemente zaposlenosti navodi se u sljedećoj tablici 4.

Tablica 4. Faze životnog ciklusa energetskog postrojenja i utjecaj na zaposlenost

Faze	**Otvaranje novih radnih mjesta**	**Mjesto zaposlenosti**	**Trajanje zaposlenosti**	**Razina specijalizacije**
Tehnološki razvoj	Srednje	Od inozemnog prema lokalnom	Trajno	Vrlo visoka
Instalacija / rastavljanje	Visoko	Od lokalnog prema inozemnom	Privremeno	Visoka
Upravljanje i održavanje	Nisko	Lokalno	Trajno	Srednja

Izvor: Llera et al., 2010

Tablica 4 prikazuje osnovne karakteristike elemenata zaposlenosti koje se javljaju u svakoj od tri faza djelovanja energetskog poduzeća. Budući se u ovoj doktorskoj disertaciji promatra djelatnost proizvodnje električne energije, potrebno je istaknuti fazu upravljanja i održavanja energetskog postrojenja. Kako će se u empirijskom dijelu dodatno obrazložiti, samo funkcioniranje elektrane na obnovljivi izvor ne iziskuje potrebu za velikom količinom radne snage, osobito ako se radi o industriji vjetra. Razina stručnosti i specijalizacije u tehničkom održavanju ili popravljanju neispravnih komponenti postrojenja ne mora biti visoka, dok se na to radno mjesto uglavnom trajno zapošljava lokalna radna snaga.

Pored brojnih pozitivnih strana korištenja obnovljivih izvora energije koje se očituju u vidu ekoloških prednosti, smanjivanja potrošnje fosilnih goriva i uvozne ovisnosti, poticanja

gospodarskog razvoja te utjecaja na povećanje zaposlenosti, prisutnost obnovljivih izvora energije u ruralnim područjima, posebno onih koje karakterizira slaba razvijenost, može doprinijeti njihovom ekonomskom razvoju te uopće civilizacijskoj potrebi za električnom energijom. Takvo okruženje je pogodno za investiranje u postrojenja obnovljivih izvora energije prvenstveno zbog nedostataka alternativnih razvojnih projekata na tome području, adekvatnih prostornih i vremenskih uvjeta, mogućnosti zapošljavanja lokalnog stanovništva zbog pretpostavljene visoke stope nezaposlenosti, te ostalo. Na taj način, obnovljivi izvori energije, uz to što su dodatni izvori energije konvencionalnoj elektroenergetskoj industriji, osiguravaju prijeko potrebnu električnu energiju na onim područjima u kojima je elektroenergetska mreža nedovoljno razvijena ili uopće ne postoji, kao što su udaljena mjesta ili otoci. Tehnologije obnovljivih izvora energije mogu se smatrati adekvatnim, troškovno efikasnim alatom u smanjenju elektroenergetske oskudice gdje god se provode na temelju odgovarajuće politike. Izdvojeni elektroenergetski sustavi, koji nisu spojeni na nacionalnu elektroenergetsku mrežu, koristeći hibridne sustave obnovljivih izvora energije postavljaju se na onim mjestima gdje proširenje mreže nije tehnički izvedivo i/ili ekonomično zbog udaljenosti mjesta, nepristupačnosti terena, i slično (Sreeraj, Chatterjee, Bandyopadhyay, 2010). Također, proširenje elektroenergetske mreže u ruralnim područjima nije ekonomski održivo zbog visokih troškova distribucije električne energije i povezanih gubitaka energije u prijenosnoj mreži. Stoga električna energija izvan mreže, koja je proizvedena hibridnim sustavom obnovljivih izvora energije, tj. energetskim sustavom s mogućnostima skladištenja energije ili proizvodnje električne energije iz višestrukih obnovljivih energetskih resursa, omogućava širenje ruralnih kapaciteta elektrifikacije te ima značajne prednosti za društvenu zajednicu kao troškovno prikladna strategija korištenja električne energije (Borhanazad et al., 2013).

Ipak, potrebno je istaknuti da obnovljivi izvori energije nisu uvijek najbolje rješenje u osiguravanju dodatnih količina električne energije te se u njihovom isporučivanju u elektroenergetsku mrežu pojavljuju određeni nedostaci i poteškoće koje se prikazuju u sljedećoj cjelini doktorske disertacije.

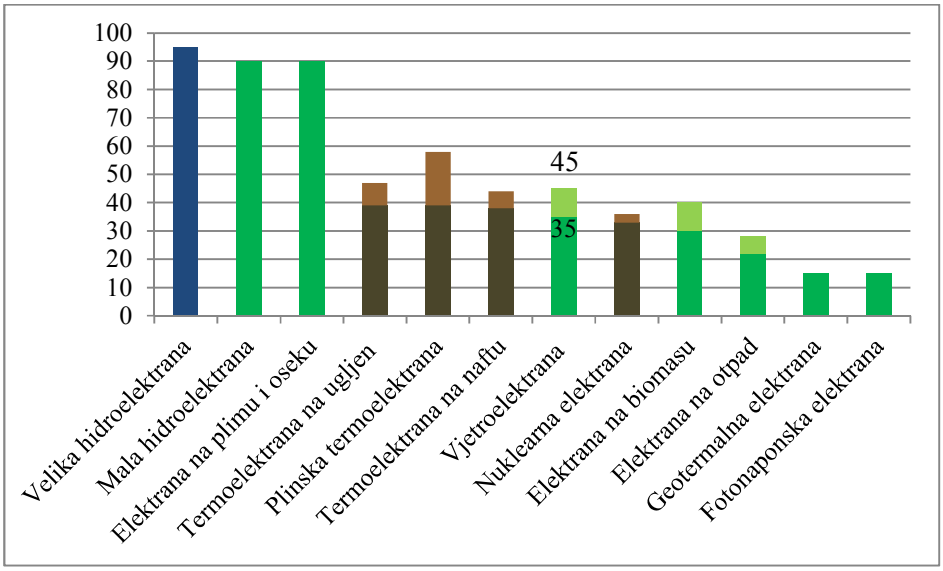
3.2.3. Nedostaci korištenja obnovljivih izvora energije

Uz višestruke prednosti korištenja obnovljivih izvora energije, pojavljuju se i određeni nedostaci te ograničenja u njihovoj svakodnevnoj upotrebi. Prije svega zbog svojih prirodnih obilježja, obnovljivi izvori u potpunosti ovise o geografskom razmještaju i vremenskim uvjetima, tj. nestalnost i nepredvidljivost obnovljivog izvora predstavlja znatno ograničenje i poteškoću u proizvodnji električne energije. Navedeno ograničenje se može ublažiti kvalitetnim planiranjem i pomnim odabirom lokacije za određeni obnovljivi izvor energije, te provođenjem mjerenja i izradom ekoloških studija. Također, zbog velikih dnevnih oscilacija u dostupnosti obnovljivog izvora temeljem kojeg se stvara električna energija, nužno je razmotriti mogućnosti prihvata obnovljive električne energije u elektroenergetski sustav. U mreži elektroenergetskog sustava neprestano mora postojati dovoljna pričuva u vidu raspoložive instalirane snage energetskog postrojenja koja može otkloniti nedostatak koji nastaje kada pojedini obnovljivi izvor energije nije dostupan. Nadalje, elektroenergetska mreža na određenoj lokaciji može primiti samo određenu količinu električne energije bez opasnosti od preopterećenja i/ili narušavanja stabilnosti elektroenergetskog sustava. Ističe se da najveće poteškoće s prihvatom u mrežu elektroenergetskog sustava predstavljaju vjetroenergetska poduzeća, prvenstveno zbog relativno visokih instaliranih kapaciteta vjetroelektrana, te se stoga njihova snaga mora ograničiti u pojedinom elektroenergetskom sustavu sa ciljem osiguravanja stabilnog i sigurnog djelovanja cjelokupnog elektroenergetskog sektora (http://www.hep.hr/oie/oie/nestalnostIzvora.aspx).

Uspoređujući obnovljive izvore energije s tradicionalnim fosilnim energetskim resursima, tada obnovljivi izvori imaju manjak sposobnosti (kapaciteta) proizvodnje električne energije, odnosno nisu u stanju proizvesti toliko velike količine električne energije kao elektrane s fosilnim gorivima. Da bi se pokušao umanjiti navedeni nedostatak, potrebno je dodatno ulagati u razvoj tehnologija obnovljivih izvora energije, ali i jednostavno graditi više obnovljivih energetskih postrojenja (Agboola, 2014). S tim povezano, obnovljivi izvori energije također imaju manji odnos instalirane snage postrojenja (u MW) ili proizvodnje električne energije (u GWh) u odnosu na površinu područja (u m^2) koju elektrana zauzima, u usporedbi s energetskim postrojenjima na fosilne resurse. Navedeno označava da postrojenja obnovljivih izvora trebaju imati daleko veću površinu prostora u odnosu na termoelektrane u proizvodnji jednake količine električne energije.

Osim potrebne površine prostora, obnovljivi izvori energije ostvaruju i relativno manju energetsku efikasnost, uz izuzetak elektrana na vodne resurse i vjetroelektrana. Efikasnost u proizvodnji električne energije može se definirati kao omjer između upotrebljivog outputa električne energije nastalog u proizvodnom subjektu u određenoj jedinici vremena i energetske vrijednosti resursa energije isporučene u proizvodni subjekt u isto vrijeme (Honorio et al., 2003). Efikasnost različitih tehnologija, odnosno pojedinih vrsta energetskih resursa u elektranama prikazuje se u narednom grafikonu 2.

Grafikon 2. Efikasnost različitih tehnologija u proizvodnji električne energije (%)



Izvor: Honorio et al., 2003

Prikazane vrijednosti energetske efikasnosti različitih proizvodnih tehnologija predstavljaju minimalnu i maksimalnu razinu efikasnosti određene elektrane. Obnovljivi izvori energije, kao „čista“ energija, su prikazani zelenom bojom; velike hidroelektrane, kao postrojenja koja značajnije utječu na ekosustav, se ističu plavom bojom; dok su termoelektrane i nuklearne elektrane prikazane smeđom bojom. Navodi se da energetska efikasnost termoelektrane na naftu može biti od 38 do 44%, termoelektrane na ugljen od 39 do 47%, plinske termoelektrane do 39%, no ako se sagledava plinska termoelektrana u kombiniranom procesu (sastavljena od plinsko-turbinskog i parno-turbinskog dijela), tada se povećava iskoristivost samog energetskog procesa koja doseže i do 58%, jer se gotovo istovremeno proizvodi i toplinska energija i električna energija. Ističe se i da nuklearna elektrana ima relativno nisku energetsku iskoristivost od 33 do

36%. Obnovljivi izvori energije ostvaruju relativno nižu energetsku efikasnost, osim već spomenutih elektrana na vodne resurse i vjetroelektrana. Pri tome, elektrane na biomasu i bioplin imaju iskoristivost od 30 do 40%, elektrane na otpad od 22 do 28%, dok najmanju energetsku efikasnost od 15% imaju fotonaponske i geotermalne elektrane (Honorio et al., 2003). S druge strane, najvišu energetsku efikasnost od 95% imaju velike hidroelektrane koje se, iako sadrže obnovljive vodne resurse, ne klasificiraju kao obnovljivi izvori energije što će se pojasniti u nastavku doktorske disertacije. Time velike hidroelektrane imaju najefikasniju tehnologiju za proizvodnju električne energije. Također izrazito visoku efikasnost od čak 90% posjeduju obnovljive elektrane na vodne resurse, odnosno male hidroelektrane i elektrane na morske mijene, tj. elektrane na plimu i oseku. Iako se navodi da prosječna vjetroelektrana ima energetsku iskoristivost oko 35%, u najmodernijim vjetroagregatima ona može dosezati i 45%. Štoviše, teoretski najveća moguća razina iskoristivosti energije vjetra u vjetroagregatu definirana je tzv. Betzovim zakonom ili Betzovom granicom i ona iznosi 59,3%. Nijedan trenutno dostupan sofisticiran vjetroagregat ne može imati energetsku efikasnost veću od navedenih 59,3% (http://www.vjetroelektrane.com/moderni-vjetroagregati-i-pretvorba-energije?showall=1). Time proizlazi da se, u stvarnosti, manje od polovice kinetičke energije vjetra može iskoristiti kao korisna električna energija u vjetroelektranama.

Isto tako, zbog svojih prirodnih obilježja i raspoloživosti energije, obnovljivi izvori općenito djeluju manji broj sati u jednoj godini pri punoj snazi, odnosno pri maksimalno iskorištenim kapacitetima u odnosu na fosilna energetska postrojenja. Primjerice, uz konstataciju da jedna kalendarska godina sadrži 8.760 sati, termoelektrane na ugljen ili plin, te nuklearne elektrane mogu u prosjeku raditi čak i do 7.500 sati godišnje pri instaliranoj (punoj) snazi, dok obnovljivi izvori energije (energija vjetra ili solarna energija) u prosjeku djeluju samo oko 2.000 sati godišnje pri maksimalnoj snazi (Blesl, Wissel, Mayer-Spohn, 2008). Navodi se da vjetroelektrane na kopnu (engl. *onshore wind farms*) uobičajeno rade od 2.000 do 2.500 sati godišnje, dok vjetroelektrane na moru (engl. *offshore wind farms*) funkcioniraju čak 4.000 sati godišnje pri maksimalno iskorištenim kapacitetima, prvenstveno zbog manjih turbulencija vjetra i većih brzina vjetra. Navedeni pokazatelji označavaju djelovanje energetskog postrojenja samo pri instaliranoj (punoj) snazi tijekom jedne godine. Normalno je za očekivati funkcioniranje elektrane i veći broj sati godišnje, no ne uz maksimalno iskorištene proizvodne kapacitete. Slično

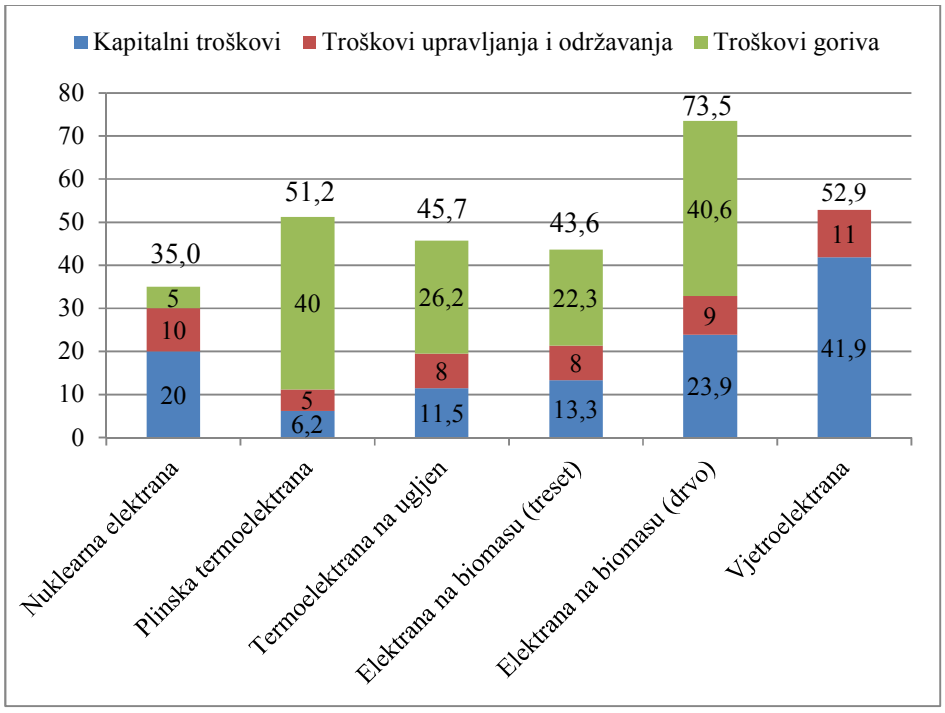
navedenom pokazatelju, potrebno je istaknuti i pokazatelj faktora kapaciteta koji predstavlja omjer stvarne količine energije isporučene u elektroenergetsku mrežu tijekom godine i potencijalne količine energije koja bi mogla biti proizvedena ukoliko bi elektrana radila pri maksimalnoj instaliranoj snazi tijekom svih 8.760 sati godišnje. Ekvivalentno broju sati rada elektrane pri punoj snazi tijekom jedne godine, obnovljivi izvori energije imaju znatno niži faktor kapaciteta od elektrana na fosilna goriva. Tako npr. vjetroelektrane imaju faktor kapaciteta samo oko 20 do 35% ovisno o prirodnim obilježjima, odnosno o karakteristikama vjetra i geografskom položaju te tehničkim mogućnostima vjetroagregata, u usporedbi s oko 60% faktora kapaciteta drugih oblika elektrana u proizvodnji električne energije.

Značajan nedostatak još veće upotrebe obnovljivih izvora energije je zasigurno njihova relativno visoka cijena proizvodnje električne energije. Literatura upućuje na viši trošak izgradnje postrojenja na obnovljive izvore energije u odnosu na fosilna energetska postrojenja. To se osobito odnosi na elektrane koje koriste energiju mora, čija tehnologija je izrazito skupa, te zbog specifičnosti lokacije, navedeni izvor energije sudjeluje u zanemarivom udjelu u proizvodnji električne energije. Visok trošak predstavlja i izgradnja fotonaponskih sustava, također zbog visoke cijene tehnologije te složenosti izrade solarnih panela (http://www.hep.hr/oie/oie/visokaCijena.aspx). Ovisno o čimbenicima koji se uključuju u formiranje cijene proizvodnje električne energije uspoređujući obnovljive i neobnovljive izvore, pojavljuju se različite projekcije. Navedeno se pojašnjava sljedećim primjerom. Procjenjujući ekonomsku konkurentnost elektroenergetskih postrojenja koja upotrebljavaju različite vrste goriva, u Finskoj je provedeno istraživanje (Tarjanne, Kivistö, 2008) u kojem se analizira i troškovno uspoređuje proizvodnja električne energije iz nuklearnih elektrana, plinskih termoelektrana u kombiniranom procesu, termoelektrana na ugljen, elektrana na biomasu (treset i drvo), te vjetroelektrana. Time se nastoji istražiti ekonomska alternativa za dodatnu proizvodnju električne energije u nevršnim (temeljnim) elektranama. Promatrajući razinu cijena (npr. cijena izgradnje elektroenergetskog postrojenja, cijena goriva, te ostalo) s početka 2008. godine, izračuni se prikazuju u narednom grafikonu 3.

Promatrajući tri vrste troškova, u vidu troškova kapitala, troškova upravljanja i održavanja elektroenergetskog postrojenja i troškova goriva, tada se uočavaju viši troškovi proizvodnje

električne energije postrojenja (iskazan u €/MWh) na obnovljive izvore energije, s izuzetkom postrojenja na biomasu koje kao gorivo upotrebljava treset, u odnosu na postrojenja fosilnih goriva. Navedeno je posljedica visokih troškova kapitala, posebno izraženo kod izgradnje vjetroenergetskog postrojenja koji troškovi kapitala (41,9%) su daleko najviši u strukturi promatranih subjekata, te gotovo isti troškovima goriva u obliku drvne građe u postrojenjima na biomasu (40,6%). Od promatranih elektroenergetskih postrojenja, vjetroelektrane, koje upotrebljavaju (u osnovi) neograničen energetski resurs vjetra, jedine nemaju trošak goriva. U promatranom razdoblju plinska postrojenja imaju također značajan iznos troška goriva (kao i postrojenja na drvnu biomasu), no uz izrazito nisku razinu ostalih troškova.

Grafikon 3. Troškovi proizvodnje električne energije različitih elektroenergetskih postrojenja i njihova struktura (€/MWh)

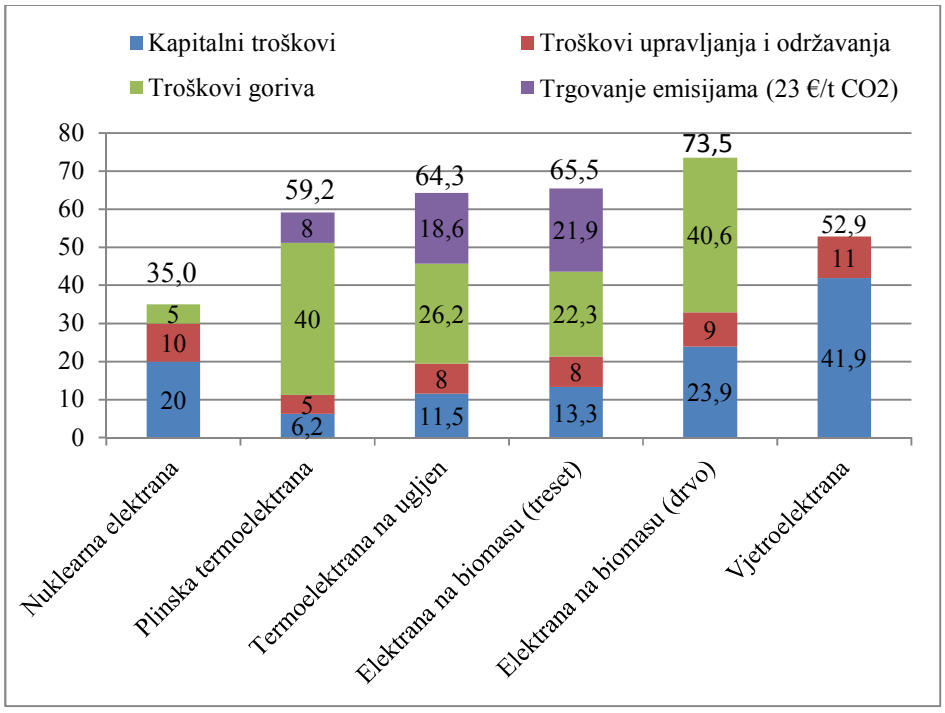


Izvor: Tarjanne, Kivistö, 2008

Ukoliko se u sagledavanju troškova proizvodnje električne energije elektroenergetskih postrojenja uključe i troškovi trgovanja emisija ugljikova dioksida (CO_2), obnovljivi izvori energije postaju konkurentni fosilnim, konvencionalnim energetskim postrojenjima. Navedeno se prikazuje u sljedećem grafikonu 4.

Uzimajući u obzir ekološku komponentu proizvodnje električne energije, zbog ispušnih plinova u atmosferu, odnosno štetnih emisija koje nastaju kao nusprodukt proizvodnje električne energije te koje bi se trebale ograničiti, postrojenja na plin, ugljen i treset (najraniji oblik stvaranja ugljena) imaju dodatni trošak proizvodnje električne energije. Ograničavanje emisije stakleničkih plinova provodi se putem troška prava na emisije, odnosno tržišne cijene certifikata jedinica emisija u okoliš koja je u vrijeme objave rezultata istraživanja (2008. godine) autora grafikona 4 iznosila oko 23 €/t CO_2. Potrebno je istaknuti da je današnja cijena ekološkog certifikata, odnosno trgovanja emisijama znatno niža i iznosi oko 7 €/t CO_2 (https://www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/ auction-market/european-emission-allowances-auction#!).

Grafikon 4. Troškovi proizvodnje električne energije različitih elektroenergetskih postrojenja i njihova struktura s troškovima trgovanja emisija ugljikova dioksida (€/MWh)



Izvor: Tarjanne, Kivistö, 2008

Sa ciljem smanjenja emisije stakleničkih plinova, trgovina certifikatima emisija u okoliš za države članice Europske unije započela je 1. siječnja 2005. godine. Kupnja certifikata zamišljena je kao alternativa neuspjelom projektu uvođenja jedinstvenog poreza na emisije u okoliš. Sustav certifikata obuhvaća emisije stakleničkih plinova u atmosferu te ostale plinove koji imaju štetan

utjecaj na ozonski omotač. Svi plinovi su denominirani u ekvivalente ugljikova dioksida (Mance, Škalamera-Alilović, 2013). Uključujući trgovanje certifikata emisija u okoliš, time je novonastali trošak proizvodnje električne energije postrojenja na fosilna goriva viši od troška proizvodnje vjetroenergetskog postrojenja. Navedenim se sugerira da je u procesu proizvodnje električne energije potrebno razmotriti i uključiti sveukupne troškove poslovanja elektroenergetskog postrojenja, kako bi se kvalitetno i adekvatno mogla ocijeniti efikasnost poslovanja.

Iz svega navedenog, može se konstatirati da obnovljivi izvori energije imaju brojne prednosti i nedostatke u osiguravanju dodatnih količina električne energije, te se njihova primjena, prije svega, treba sagledavati u kontekstu unapređenja elektroenergetskog sektora i razvoja nacionalnog gospodarstva. Da bi se pregledno istaknule prednosti i nedostaci korištenja obnovljivih izvora energije, koji su prezentirani u prethodnom i ovom dijelu doktorske disertacije, navodi se sljedeća tablica 5.

Tablica 5. Prednosti i nedostaci korištenja obnovljivih izvora energije

Prednosti	Nedostaci
Očuvanje okoliša (smanjena emisija stakleničkih plinova)	Ovisnost o vremenskim uvjetima
Smanjena potrošnja fosilnih goriva	Nekontinuiranost i nepredvidljivost
Smanjena ovisnost o uvozu energije	Prihvat obnovljive električne energije u elektroenergetski sustav
Poticanje razvoja inovacija i gospodarstva	Niska sposobnost proizvodnje električne energije
Povećanje zaposlenosti	Niska energetska efikasnost
Razvoj ruralnih područja	Niska maksimalna iskorištenost kapaciteta / niski faktor kapaciteta
Smanjenje energetske oskudice (širenje ruralnih kapaciteta elektrifikacije)	Relativno visoka cijena proizvodnje električne energije

Izvor: Autor

Nakon analiziranja važnijih obilježja obnovljivih izvora energije u cjelini, odnosno njihovih prednosti i nedostataka, potrebno je usredotočiti se na svaki pojedini obnovljivi izvor energije. Obnovljivi izvori energije se mogu podijeliti na energiju vjetra, Sunčevu energiju, energiju vodenih tokova, energiju dobivenu iz biomase (biljne tvari), geotermalnu energiju (toplina Zemlje) te energiju mora koja može uključivati energiju valova, energiju plime i oseke te energiju morskih struja (Armstrong, Hamrin, 2000). U sljedećem dijelu doktorske disertacije navode se i

analiziraju pojedinačni obnovljivi izvori energije, a koji doprinose održivom gospodarskom razvoju.

3.3. „NOVI" OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U FUNKCIJI ODRŽIVOG RAZVOJA

Obnovljivi izvori energije uglavnom se sagledavaju u kontekstu postizanja održivosti, odnosno održivog razvoja. Iako obnovljivi izvori energije, zbog ograničenja dostupnosti i kontinuiranosti primjene, samostalno ne mogu ostvariti uvjete za ispunjenje održivog razvoja, prije svega onog ekonomskog elementa razvoja, pojavljuju se kao primjereni, dodatni oblici konvencionalnoj energiji. Očekuje se da će s vremenom obnovljivi izvori energije osiguravati još značajniju ulogu u proizvodnji električne energije te time doprinositi održivosti. Stoga se u ovom dijelu doktorske disertacije najprije analizira održivost proizvodnje električne energije te primjena „novih" obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije.

3.3.1. Održivost proizvodnje električne energije

U svim segmentima društvenog djelovanja, pa tako i u djelatnosti proizvodnje električne energije, potrebno je ostvariti održivost. Promatrajući općenito, održivost se odnosi na kvalitetu života u društvu, uključujući ekonomsku komponentu, društvenu komponentu i komponentu zaštite okoliša pružajući zdraviji, produktivniji i smislen život za sve stanovnike društva, kako one sadašnje tako i buduće (http://www.sustainablemeasures.com/node/42). Sam pojam održivosti, odnosno održivog razvoja prvotno koristi Organizacija Ujedinjenih naroda 1972. godine za definiranje fenomena/kategorije očuvanja prirode. Godine 1987. Svjetska komisija za okoliš i razvoj definira koncept održivog razvoja u izvješću pod naslovom „Naša zajednička budućnost". U toj studiji navodi se da je cilj održivog razvoja zadovoljiti potrebe sadašnjosti ne ugrožavajući sposobnost budućih naraštaja da zadovolje svoje vlastite potrebe. Ističe se hitno provođenje odgovarajućih mjera i aktivnosti u četiri ključna koraka održivosti koji se odnose na brzi rast svjetskog stanovništva, probleme proizvodnje i opskrbe hrane, razvitak čistih energetskih i proizvodnih tehnologija te očuvanje prirodnih resursa (Goodstein, 2003). U tom smislu, razvoj tehnologija obnovljivih izvora energije te njihova značajnija primjena doprinose održivom

razvoju. Štoviše, uz čiste obnovljive izvore energije koji imaju prihvatljiv utjecaj na okoliš, djeluje se i na smanjeno iscrpljivanje prirodnih (konvencionalnih) resursa, čime se omogućuje njihovo daljnje korištenje u budućnosti. Održivi razvoj je stoga dinamična kategorija društvenih, ekoloških, gospodarskih (i tehnoloških) pokazatelja koji omogućuju društvu napredak prema boljem i kvalitetnijem životu (Meyar-Naimi, Vaez-Zadeh, 2012). U takvom razvoju važno je postići ravnotežu funkcioniranja između pojedinih komponenti kako se ne bi djelovalo samo na jedan, npr. ekonomski, aspekt.

Proizvodnja električne energije, kao djelatnost koja predstavlja osnovu u radu elektroenergetskog sustava, ima značajnu ulogu u održivom razvoju. Ono pokreće i doprinosi gospodarskom i društvenom napretku, te različito utječe na okoliš, ovisno primjenjuje li se u proizvodnji električne energije konvencionalno gorivo ili obnovljivi, čisti energetski resursi.

Iz ekonomske perspektive, djelatnost proizvodnje električne energije stvara ekonomsku vrijednost u vidu električne energije koja se na tržištu može pojaviti dvojako: u obliku outputa, tj. gotovog proizvoda, pri čemu se proizvodnja električne energije pojavljuje kao važna djelatnost gospodarstva ili u obliku inputa za druge proizvodne procese ili djelatnosti, pri čemu se sudjelovanjem u gospodarskim procesima utječe na ekonomsku aktivnost. Time je električna energija prijeko potrebna u stvaranju nove vrijednosti i zadovoljenju potreba, bilo da se radi o industrijskim ili ostalim gospodarskim granama i djelatnostima. Stoga je postizanje veće efikasnosti u djelatnosti proizvodnje električne energije nužno sa stajališta rasta i poticanja gospodarstva, ostvarivanja gospodarske konkurentnosti te, u konačnici, unapređenja životnog standarda stanovništva i razvitak društva.

Iz društvene perspektive, uz stvaranje ekonomske vrijednosti, djelatnost proizvodnje električne energije omogućuje pružanje usluge koja se razlikuje od bilo koje druge te je prijeko potrebna u temeljnim aktivnostima društva. Ponuda, odnosno opskrbljivanje električne energije svim tržišnim dionicima predstavlja važan čimbenik u održavanju nacionalne i globalne stabilnosti i prosperiteta. Budući se električna energija teško može pohraniti za kasniju uporabu, sigurna i pouzdana ponuda električne energije preduvjet je gospodarskog razvoja, društvene sigurnosti i općeg blagostanja. U mnogim državama u razvoju gdje postoji nemogućnost korištenja ili niska

iskorištenost električne energije, ograničene su brojne društvene djelatnosti, poput socijalnih usluga, kao što je, primjerice, javno zdravstvo ili obrazovanje. U takvim državama potrebno je osigurati uspostavljanje/proširenje elektrifikacije, čime bi se značajno doprinijelo ublažavanju siromaštva, kako na razini kućanstava, tako i na društvenoj razini. Jedan od adekvatnih načina proširenja elektroenergetske mreže, ali i djelovanja u izdvojenim elektroenergetskim sustavima je postavljanje/stavljanje u pogon pojedinog obnovljivog izvora energije koji izbor ovisi o prostorno-vremenskim uvjetima koji su karakteristični za tu lokaciju.

Kao posljednje, iz ekološke perspektive, djelatnost proizvodnje električne energije ima različite implikacije ovisno o kojim se proizvodnim kapacitetima i tehnologijama radi, odnosno kakvi se resursi upotrebljavaju u proizvodnji električne energije. Primjerice, proizvodnja električne energije pomoću fosilnih goriva rezultira štetnim emisijama u atmosferu; upotreba nuklearne energije otvara pitanja koja se odnose na rukovanje i skladištenje radioaktivnog otpada; velike hidroelektrane imaju značajne posljedice na okoliš, kao što je utjecaj na riječne sustave, močvare, bioraznolikost; te ostalo. S druge strane, obnovljivi izvori energije u proizvodnji električne energije ne onečišćuju okoliš, odnosno sudjeluju s gotovo 0% emisije stakleničkih plinova. No, niti svi obnovljivi izvori energije ne zadovoljavaju kriterije održivosti, kao što su, već spomenute, velike hidroelektrane ili tradicionalna biomasa u obliku ogrjevnog drva. Stoga je nužno da se u proizvodnji električne energije primjenjuju samo „održivi“ ili „novi“ obnovljivi izvori energije koji nemaju značajniji negativan utjecaj na okoliš. Također je važno istaknuti da, osim proizvodnje električne energije, i mrežne djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije imaju značajan utjecaj na okoliš, društveno okruženje, pa i fizičko stanje ljudi (Corporate responsibility report, 2002). Korištenje „održive“ električne energije osigurava maksimalni doprinos gospodarskom i društvenom razvoju te minimalni utjecaj na okoliš.

Sagledavajući djelatnost proizvodnje električne energije te cjelokupni elektroenergetski sustav u održivom razvoju, uspostavlja se tzv. koncept „održivosti elektroenergetskog sustava“. U najopćenitijem smislu, održivi elektroenergetski sustav se obično definira u kontekstu energetske efikasnosti, pouzdanosti i utjecaja na okoliš. Osnovni preduvjet za postizanje tog koncepta je proizvodnja dovoljnih količina energije za svačije potrebe po pristupačnoj cijeni te pružanje čiste, sigurne i pouzdane električne energije (Alanne, Saari, 2006). Acres (2007) definira održivi

elektroenergetski sustav kombinirajući energetsku hijerarhiju s nizom gospodarskih, društvenih i ekoloških načela. Navodi se da energetska hijerarhija započinje smanjenjem korištenja energije, nastavlja se mjerama energetske efikasnosti, odnosno poboljšanjima energetskih procesa, uvođenjem obnovljivih izvora energije, te na kraju primjenom efikasnih neobnovljivih, konvencionalnih izvora energije u kombinaciji s najboljim dostupnim tehnologijama. U sklopu te hijerarhije predlaže se nekoliko načela od kojih se navode sljedeća (Acres, 2007): energetski sustav bi trebao imati nula neto emisija stakleničkih plinova, tj. ne bi trebao utjecati na klimatske promjene; energetski sustav ne bi trebao imati značajniji utjecaj na okoliš; trebala bi se poboljšati sigurnost opskrbe električne energije, osobito jer prekidi energije imaju negativne društvene implikacije; trebali bi se smanjiti troškovi nabave energije i poboljšati raspoloživost energije (potrebno je uzeti u obzir velike industrijske potrebe s jedne strane i malu potrošnju energije za kućanstva uz relativno niske dohotke s druge strane); te bi se trebali iskoristiti obnovljivi izvori energije što je više moguće u današnjim uvjetima.

Ukoliko se promatraju isključivo obnovljivi izvori bez konvencionalnih oblika energije, tada nije moguće u potpunosti zadovoljiti održivost elektroenergetskog sustava zbog određenih ograničenja koja se pojavljuju u dostupnosti i kontinuiranosti primjene obnovljivih izvora energije. Primjerice, električnu energiju je nemoguće proizvesti iz Sunčeve energije za vrijeme noći ili iz energije vjetra ako ne postoji strujanje zračnih masa. U postizanju održivosti, navedeno se može suzbiti značajnom diverzifikacijom obnovljivih izvora energije ili skladištenjem određenih količina energije pomoću električnih akumulatora ili baterija za pohranu energije. Daljnji razvoj i potencijal obnovljivih izvora energije zasigurno će se povećati ovisno o uspješnosti rješavanja problema skladištenja energije. Sa skladištenjem energije rješava se problem ovisnosti o vremenu i njegovim karakteristikama, nekontinuiranost i nepredvidivost energetskog izvora, kao i proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora koja je vremenski različita od same povećane potražnje za električnom energijom.

S druge strane, Mitchell (2008) ukazuje na bitne razlike između „konvencionalnog“ i „održivog“ elektroenergetskog sustava. Konvencionalni sustav se obično karakterizira kao centralizirani hijerarhijski sustav koji se temelji na ponudi, odnosno opskrbi električne energije s velikim konvencionalnim energetskim postrojenjima spojenim na „pasivne“ prijenosne i distribucijske

mreže. U konvencionalnom sustavu potrošači električnu energiju doživljavaju tek „kada upale svjetlo ili uređaj“. Zabrinutost oko sigurnosti opskrbe električne energije se promatra jedino u vidu dodatnih konvencionalnih proizvodnih postrojenja, pri čemu su prihvatljive minimalne negativne ekološke eksternalije. Cjelokupno tržište konvencionalnog elektroenergetskog sustava je uglavnom u državnom vlasništvu monopolske tržišne strukture, pri čemu je mogućnost izbora za potrošače vrlo mala ili gotovo nikakva, te ne postoji zabrinutost oko rizika ili prekida opskrbe električne energije s obzirom na konstantnu državnu pomoć elektroenergetskom sektoru. U odnosu na konvencionalni elektroenergetski sustav, održivi elektroenergetski sustav karakterizira stanje u kojem su građani svjesni problematike i međuodnosa između energije i okoliša. Unutar ovog sustava, okoliš i čimbenici koji utječu na okoliš predstavljaju sve veću ulogu i postaju važan pokretač političkog djelovanja, dok se sigurnost opskrbe električne energije odnosi na diverzifikaciju proizvodnih tehnologija. Održivi elektroenergetski sustav uključuje proizvodnju električne energije većih razmjera iz obnovljivih izvora energije, ali i mikro proizvodnju za mala poduzeća ili pojedince iz ekološki prihvatljivih uvjeta; zatim uključuje smanjenu ovisnost energije temeljenu na uvoznoj nafti; smanjenje potražnje energije putem promjena ponašanja ili mjera energetske efikasnosti; različite tehnologije i proizvodne kapacitete povezane s prijenosnom i distribucijskom mrežom koje postaju „aktivne“ zahvaljujući dobroj koordinaciji gospodarskih subjekata i energetskih regulatornih tijela. Tržišna struktura održivog elektroenergetskog sustava je liberalizirana i privatizirana, pri čemu se pojavljuje tržišno natjecanje te se potrošačima daje mogućnost izbora elektroenergetskog operatora, a rizike, primjerice opskrbe električnom energijom, snose sama privatna poduzeća uz regulaciju i kontrolu energetskih regulatornih agencija (El-Fadel, et al., 2010).

Održivi elektroenergetski sustav mora biti u stanju postići „održivost“ u svakoj od triju komponenti održivog razvoja te osigurati uravnoteženje između navedenih društvenih, ekoloških i ekonomskih komponenti. Tu se osobito ističe pouzdanost elektroenergetskog sustava, kontinuirana raspoloživost električne energije zadovoljavajuće kvalitete svim potrošačima u količini i trenutku kada je potrebna na tržištu, energetska efikasnost pa i ukupna ekonomska (tehnička i alokativna) efikasnost, utjecaj na okoliš, te ostalo (Denona Bogović, Cerović, Maradin, 2012).

„Sveukupni“ (energija vodenih tokova iz velikih i malih hidroelektrana, energija iz biomase, energija vjetra, te ostalo) obnovljivi izvori energije, iako nastaju te se obnavljaju u prirodi, ne djeluju na načelima održivog razvoja na razini svih izvora. Takvi tradicionalni obnovljivi izvori energije značajno mijenjaju okoliš, te ne zadovoljavaju elemente održivosti. S druge strane, da bi se što jasnije istaknuli obnovljivi izvori energije koji ostvaruju održivost, navode se tzv. „novi“ ili „održivi“ obnovljivi izvori energije. Njihova podjela, kao i primjena u proizvodnji električne energije, prezentira se u narednom dijelu doktorske disertacije.

3.3.2. Primjena „novih” obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije

Danas postoje različiti izvori energije, odnosno prirodni, obnovljivi energetski resursi koji se koriste u proizvodnji električne energije. No, u ovom poglavlju doktorske disertacije navode se i ističu samo oni obnovljivi izvori energije koji doprinose održivom razvoju. Takvi „novi“ obnovljivi izvori uključuju Sunčevu energiju, energiju vodenih tokova, odnosno primjenu isključivo malih hidroelektrana, energiju iz „održive“ biomase, geotermalnu energiju, energiju mora, te, naravno, energiju vjetra. Njihove karakteristike i posebnosti navode se u nastavku doktorske disertacije.

3.3.2.1. Značaj Sunčeve energije u proizvodnji električne energije

Sunčeva ili solarna energija je temeljna energija koja omogućava život na Zemlji. Iako je Sunce i njegovo zračenje osnovni izvor cjelokupne energije svijeta iz koje proizlazi gotovo sva ostala energija, s aspekta obnovljivosti izvora, Sunčevu energiju je moguće iskoristiti za proizvodnju električne i/ili toplinske energije. Time je Sunčeva energija u velikoj mjeri primijenjen izvor energije među obnovljivim izvorima energije (Liu, Perng, Ho, 2013). Upravo je istovremena proizvodnja električne i toplinske energije u kogeneracijskim energetskim postrojenjima najbolji način očuvanja energije te postizanja veće energetske efikasnosti. Iako postoje različite tehnologije za proizvodnju električne energije, u najčešće korištene spadaju solarni fotonaponski sustavi u kojima se električna energija proizvodi kao izravan rezultat konverzije energije Sunčevih zraka, stvarajući tzv. fotonaponski učinak koji se komercijalno koristi u industriji i

kućanstvu od sredine 20. stoljeća (Lesourd, 2001). Iskorištavanje Sunčeve energije predstavlja dostupniji izvor čiste energije zbog geografske rasprostranjenosti energije, mogućnosti korištenja visoke tehnologije, relativno pristupačnih cijena koje će se s vremenom još više smanjiti, te odgovarajućih državnih poticaja za njezinu primjenu. Sljedeći obnovljivi izvor energije koji nastaje djelovanjem energije Sunca, isto kao i energija vjetra i energija iz biomase, je energija vodenih tokova.

3.3.2.2. Značaj energije vodenih tokova u proizvodnji električne energije

Na sadašnjem stupnju tehnološkog razvoja energija vodenih tokova, odnosno hidroenergija se smatra najznačajnijim obnovljivih izvorom, koji je ujedno i jedini ekonomski konkurentan fosilnim energetskim resursima. No, cjelokupna hidroenergija ne zadovoljava u potpunosti kriterije održivosti proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije. U odnosu na raspoloživu snagu, hidroelektrane se mogu podijeliti na velike i male. Velike hidroelektrane zahtijevaju izgradnju brana te uzrokuju negativan utjecaj na okoliš zbog promjena cjelokupnog ekosustava te se u suštini ne ubrajaju u „novije“ obnovljive izvore energije (Maradin, Ponikvar, Cerović, 2014). Iako velike hidroelektrane osiguravaju gotovo 17% svjetske električne energije, doprinos malih hidroelektrana proizvodnji električne energije svijeta je iznimno mali (REN21, 2013). Opće prihvaćena vrijednost malih hidroelektrana je maksimalne instalirane snage do 10 MW (Paish, 2002).

Postoji više opravdanih razloga koji upućuju na korištenje obnovljive energije i izgradnju malih hidroelektrana, a navodi se sljedeće (Kapetanović, Sarajlić, Džananović, 1999): strateško značenje malih hidroelektrana u izvanrednim okolnostima; stalni porast cijena svih oblika energije; očuvanje neobnovljivih izvora energije; kompleksno iskorištavanje i regulacija vodenih tokova; postojeće akumulacije izgrađene za navodnjavanje i vodoopskrbu koje osiguravaju sve uvjete za izgradnju malih hidroelektrana; angažiranje relativno malih investicijskih sredstava koja imaju brzi povrat; kratko vrijeme izgradnje male hidroelektrane i minimalni troškovi održavanja; prednost uključenja u lokalnu elektroenergetsku mrežu bez potrebe izgradnje skupih dalekovoda pri čemu se znatno poboljšavaju naponske prilike i smanjuju gubici u razvodnoj mreži;

mogućnost opskrbe električnom energijom naselja za koja je izgradnja opće energetske mreže skupa, kao što su, primjerice, objekti u planinama, farme, ribogojilišta, pilane, te ostalo.

Iako se radi o staroj i dobro razvijenoj tehnologiji, još uvijek postoji prostor za poboljšavanje i optimizaciju, pri čemu pravilno održavanje i rekonstrukcija postojećih hidroenergetskih objekata može značajno doprinijeti razvoju energetskog korištenja malih vodotoka (Bašić, 2010). Zbog jednostavnosti izgradnje, održavanja i načina rada, te razvojnim perspektivama s obzirom na neiskorišten potencijal vodenih tokova, zanimanje za male hidroelektrane je u porastu te poprimaju sve veću važnost u funkcioniranju elektroenergetskog sektora pojedinih država svijeta (Atelj, 2014). Obnovljivi izvor energije koji je moguće iskorištavati na održiv i neodrživ način, a prikazuje se u nastavku doktorske disertacije, je energija iz biomase.

3.3.2.3. Značaj energije iz biomase u proizvodnji električne energije

Energija iz biomase, koja se može pretvoriti u druge energetske oblike, nastaje djelovanjem energije Sunca i njezinog zračenja. Biomasa, kao obnovljiva energija koja je dostupna u ograničenim količinama, u pojedinim državama u razvoju smatra se najvažnijim energetskim resursom (Goldemberg, Coelho, 2004). S obzirom na veličinu udjela u kojem se pojavljuje, biomasa se općenito može podijeliti na drvnu i nedrvnu biomasu, unutar čega se mogu razlikovati sljedeći oblici biomase koji su raspoloživi za daljnju energetsku uporabu (Labudović et al., 2002, Šilić et al., 2004):

1. drvna biomasa koja uključuje otpadno drvo i drvne ostatke (piljevina, peleti, briketi);
2. drvna uzgojena biomasa koja podrazumijeva brzorastuće drveće;
3. nedrvna uzgojena biomasa koja uključuje poljoprivredne kulture;
4. otpad i ostaci iz poljoprivrede;
5. životinjski otpad i ostaci;
6. biorazgradivi komunalni otpad.

S obzirom na podjelu, biomasa može uključivati komunalni otpad koji se često samostalno ističe kao zasebni oblik obnovljivih izvora energije, ali i bioplin i deponijski plin iz razloga što se biomasa pojavljuje u tri agregatna stanja, krutom, tekućem i plinovitom obliku.

Biomasa može predstavljati strateški energetski resurs, ne samo zbog toga što je obnovljiva, nego jer je dostupna gotovo svugdje te se, za razliku od ostalih obnovljivih izvora, može skladištiti. Također se njezinim korištenjem ističe ekološka dobrobit i povećanje socio-ekonomskog razvoja, posebice u ruralnim područjima, no samo kada se upotrebljava na održivi način. Tzv. „moderna“ ili „održiva“ biomasa odnosi se na korištenje poljoprivrednih, prerađivačkih ili šumskih (drvnih) ostataka i krutog biootpada za proizvodnju električne i/ili toplinske energije, kao i transportnog goriva. S druge strane, „tradicionalna biomasa“ proizvodi, odnosno transformira energiju na neodrživ način i često u nekomercijalne svrhe (Goldemberg, Coelho, 2004). Na taj način se ogrjevno drvo, kao energetski resurs, koristi (uz nisku razinu efikasnosti) za kuhanje ili grijanje u ruralnim dijelovima država u razvoju, te predstavlja neodrživo upravljanje šumsko-energetskim resursima. Stoga se „novijim“ obnovljivim izvorima smatraju samo „održivi“ obnovljivi izvori energije (Cerović, Maradin, Čegar, 2014).

Upotreba biomase za proizvodnju energije u današnje (suvremeno) vrijeme zahtijeva zadovoljenje načela održivog razvoja. Pri tome se kao gorivo koristi „održiva“ biomasa u postrojenjima za proizvodnju električne i toplinske energije. Potrebno je napomenuti da se korištenjem biomase prvenstveno dobiva toplinska energija, a tek sekundarno električna energija. Ipak, kogeneracijska postrojenja, koja istodobnu proizvode toplinsku i električnu energiju, danas predstavljaju najznačajniji način proizvodnje električne energije iz biomase. Takva su rješenja ujedno i najviše efikasna te ekološki prihvatljiva za proizvodnju električne i toplinske energije, pri čemu cijena jedinice električne energije proizvedene u njima može biti i do 40% niža od cijene iz centraliziranih energetskih sustava (Šilić et al., 2004). Ukupni stupanj djelovanja, tj. efikasnosti u kogeneracijskim postrojenjima iznosi i do 93%, dok je za samostalnu proizvodnju električne energije iz postrojenja na biomasu energetska efikasnost znatno manja i iznosi oko 30% (Labudović et al., 2002).

Za potpuno vrednovanje biomase kao obnovljivog izvora energije, potrebno je sagledati različite društveno-gospodarske posljedice koje biomasa, kao energetski resurs, uzrokuje. Kao i kod ostalih obnovljivih izvora energije, tako se i primjenom biomase može utjecati na povećanje zaposlenosti, tj. otvaranja novih i zadržavanja postojećih radnih mjesta. Pri tome je važno istaknuti da je, za razliku od, primjerice, energije vjetra, biomasa izrazito radno intenzivna

tehnologija, što se najčešće ne ističe kao njezina glavna prednost. Mogućnosti zapošljavanja, odnosno potreba za ljudskim radom pojavljuje se kroz cijeli lanac iskorištavanja/primjene energije iz biomase. Osim zapošljavanja, korištenje biomase može potaknuti lokalnu i regionalnu gospodarsku aktivnost te utjecati na dodatni prihod u poljoprivredi i šumarstvu kroz prodaju biomase kao goriva. U sljedećoj tablici 6 se opširnije prikazuju različiti društveno-gospodarski aspekti primjene energije iz biomase.

Tablica 6. Društveno-gospodarski učinci primjene energije iz biomase

Dimenzije	Učinci
Društveni učinci	Povećana kvaliteta života (smanjenje onečišćenja okoliša, povećanje zdravlja) Smanjenje depopulacije ruralnih područja Regionalni razvoj
Gospodarski učinci – makrorazina	Povećanje zaposlenosti Izvozni potencijal Poboljšanje trgovinske bilance
Gospodarski učinci - proizvodnja (engl. *supply side*)	Povećana produktivnost Porast konkurentnosti Unaprijeđena infrastruktura
Gospodarski učinci - potrošnja (engl. *demand side*)	Osiguravanje dodatnog prihoda Povećanje ulaganja Poticaj razvoju gospodarskih grana

Izvor: Labudović et al., 2002

S obzirom na navedene prednosti korištenja biomase kao goriva za proizvodnju električne energije, no i nepoticajnih čimbenika u vidu niske energetske efikasnosti, u budućnosti se očekuje instaliranje većeg broja manjih proizvodnih kapaciteta u kojima bi se električna energija, uz istodobnu toplinsku energiju, proizvodila iz „održive“ biomase, odnosno otpada i ostataka koji proizlaze iz poljoprivrede i šumarstva. Korištenje biomase za proizvodnju energije zahtijevat će daljnje unapređenje tehnologije koja će omogućiti povećanje stupnja iskoristivosti goriva te snižavanje cijene proizvedene energije na ekonomski konkurentnu razinu. U nastavku doktorske disertacije navodi se geotermalna energija, obnovljivi izvor energije koji se trenutno više primjenjuje u obliku toplinske energije, nego električne energije.

3.3.2.4. Značaj geotermalne energije u proizvodnji električne energije

Geotermalna energija predstavlja obnovljivi, specifičan energetski resurs koji se u ogromnim količinama nalazi ispod Zemljine površine. Geotermalna energija je energija sadržana u obliku topline u unutrašnjosti Zemlje te je prikladna za iskorištavanje u svojem izvornom obliku ili za pretvorbu u druge oblike energije, kao što je električna energija. Za razliku od energije vjetra ili hidroenergije koja je uzrokovana isključivo Sunčevom energijom, geotermalna energija nastaje kao posljedica geoloških procesa u unutrašnjosti Zemlje[19], no i manjim dijelom, u slojevima pri Zemljinoj površini, kao rezultat Sunčeva zračenja.

Iako je geotermalna energija kategorizirana kao „novi" obnovljivi izvor energije, njezino je iskorištavanje poznato od davnina u vidu kupanja, pranja odjeće, liječenja, grijanja stambenih prostora, te ostalo. Značajnija upotreba geotermalne energije pojavljuje se u doba Prve industrijske revolucije u prvoj polovici 19. stoljeća (Labudović et al., 2002). Komercijalna proizvodnja električne energije iz geotermalnog izvora započinje 1913. godine, no tek je u posljednja tri desetljeća značajno poraslo njezino korištenje. S obzirom na ogroman potencijal koji pruža, sadašnja svjetska upotreba geotermalne energije predstavlja vrlo mali udio, odnosno do 2% u ukupnoj proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora (Fridleifsson, 2003). Time je iskorištavanje geotermalne energije u proizvodnji električne energije iznimno malo, s naznakom da se veća primjena geotermalne energije ostvaruje u obliku toplinske energije. Da bi se što bolje mogla iskoristiti energija iz geotermalnih izvora, poželjno je koristiti kogeneracijski sustav, tj. istodobno dobivanje električne energije i toplinske energije koja može služiti za zagrijavanje, primjerice, sustava za grijanje ili raznih industrijskih procesa. Prednost u korištenju geotermalne energije, čak ukoliko bi se njezino iscrpljivanje te, posljedično, proizvodnja električne energije eksponencijalno povećale, je postizanje održivosti, odnosno zadovoljenje energetskih potreba tijekom dugog vremenskog razdoblja (Rybach, 2003). Navedeno se može ostvariti zbog postojanja ogromnih količina geotermalne energije koja se, prema tome, može okarakterizirati gotovo i neiscrpnom energijom.

[19] Navodi se istraživanje Barbiera (1997) u kojem se prikazuju položaji geotermalnih polja na određenim područjima Zemlje.

Kao i kod svih drugih energetskih postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije, smatra se kako je utjecaj na okoliš znatno manji nego kod postrojenja koja koriste fosilna ili nuklearna goriva. Ipak, utjecaji geotermalnih postrojenja na okoliš uključuju promjenu krajolika zbog izgradnje postrojenja, stvaranje štetnih emisija u atmosferu te u površinske i podzemne voda za vrijeme izgradnje, ali i rada postrojenja zbog udjela štetnih tvari u samom geotermalnom resursu, slijeganje zemljišta zbog promjena u podzemnim slojevima, češća seizmološka aktivnost, buka, te ostalo (Rybach, 2003, Labudović et al., 2002).

Budući da je geotermalna energija koja bi se mogla iskoristiti procijenjena u znatno većim količinama nego fosilni energetski resursi u vidu nafte, ugljena ili zemnog plina, geotermalna energija bi trebala imati značajniju ulogu u osiguravanju potrebne toplinske i električne energije; posebice iz razloga jer je geotermalna energija relativno jeftin obnovljivi izvor koji je također i ekološki vrlo prihvatljiv. Budući da geotermalna energija nije svugdje lako dostupna, trebalo bi iskoristiti barem ona mjesta na kojima je ta energija dostupnija, primjerice rubovi tektonskih ploča, te tako malo utjecati na smanjenje korištenja fosilnih goriva i, s time povezanu, emisiju štetnih stakleničkih plinova (http://www.our-energy.com/geothermal_energy.html). Energija mora, koja se prikazuje u nastavku doktorske disertacije, odnosi se na „održivi“ obnovljivi izvor energije, a može biti uzrokovana energijom vjetra (energija valova) ili gravitacijskih sila koje se nalaze između Zemlje, Mjeseca i Sunca pri njihovom međusobnom kretanju kroz svemir (energija plime i oseke).

3.3.2.5. Značaj energije mora u proizvodnji električne energije

Alternativni oblik energije, koji bi definitivno trebalo više istraživati i razvijati, je energija mora. Energija mora, koja se navodi i kao energija oceana, može se podijeliti na energiju valova, energiju plime i oseke, energiju morskih struja, te ostale oblike energije. Energija mora sadrži ogromne količine energije, te ima potencijal pružanja velikih količina električne energije kojom je moguće višestruko opskrbiti ukupnu svjetsku potražnju (Pelc, Fujita, 2002). Ipak, energija mora je od svih obnovljivih izvora energije na početnom stupnju razvoja te njezinoj komercijalizaciji i široj primjeni odgovarajuće tehnologije prethode dugoročna i značajna financijska ulaganja (Zabihian, Fung, 2011).

Uz analizirane „nove" obnovljive izvore energije, tj. Sunčeve energije, energije vodenih tokova, energije iz biomase, geotermalne energije i energije mora, energija vjetra se ističe kao izrazito prikladan i perspektivan „održivi" obnovljiv izvor energije koji se primjenjuje u proizvodnji električne energije. Stoga se u sljedećoj cjelini prikazuje i analizira energija vjetra u proizvodnji električne energije, koja je u fokusu istraživanja ove doktorske disertacije.

3.4. ENERGIJA VJETRA U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Energija vjetra se, prije svega, pojavljuje kao potpora i nadopuna fosilnim energetskim resursima u proizvodnji električne energije, te na taj način postaje jedan od uobičajenih dodatnih izvora energije. Razlog znatnog povećanja udjela energije vjetra u dijelu obnovljivih izvora energije može se obrazložiti ekološkim prednostima energije vjetra, razvoju sofisticirane tehnologije te visokim poticajima kojima se unapređuje industrija energije vjetra. Kao „novi" obnovljivi izvor, energija vjetra pospješuje održivost proizvodnje električne energije, zadovoljavajući gospodarski, društveni, te osobito ekološki aspekt održivosti. Ovo poglavlje strukturirano je od tri dijela na način da se u prvom dijelu prikazuje korištenje te načini primjene energije vjetra kroz povijest. U drugom dijelu analizira se sadašnja primjena energije vjetra u proizvodnji električne energije, dok su u trećem dijelu prikazane ekološke značajke primjene energije vjetra u proizvodnji električne energije.

3.4.1. Korištenje energije vjetra kroz povijest

Korištenje energije vjetra je imalo važnu ulogu u dugom vremenskom razdoblju u povijesti čovječanstva. Još od antičkog doba se primjenjuje transformacija kinetičke energije vjetra u korisnu mehaničku energiju i time je energija vjetra, uz energiju strujanja vode, najstariji oblik energije koju upotrebljava čovjek. Jedna od najranijih primjena energije vjetra bila je pokretanje brodova na jedra na rijeci Nil u Egiptu 3000. godina prije Krista. Koristeći energiju vjetra brodovi, odnosno jedrenjaci su doprinijeli razvoju trgovine, otkrivanju novih prometnih putova i kontinenata, te su se upotrebljavali u pomorskom ratovanju. U prošlosti su bili najvažniji oblik vodnog transporta. Njihov značaj je umanjen pronalaskom novih tehnologija, primjerice motora s unutarnjim izgaranjem ili nuklearne energije, čime su plovila postala znatno brža i efikasnija.

Danas se energija vjetra u pomorstvu koristi tek u smanjenom opsegu, uglavnom u rekreativne svrhe. Energija vjetra se, također, u starom vijeku koristila i za dobivanje mehaničkog rada, odnosno za mljevenje žita u Perziji (današnji Iran i Afganistan) te za crpljenje vode i pokretanje pumpi za navodnjavanje u Kini i na Bliskom Istoku oko 2000. godina prije Krista (Ilkılıc, Aydın, Behcet, 2011). Najraniji primjer korištenja energije vjetra za pokretanje stroja putem rotora je „vjetreni rotor“ iz prvog stoljeća, grčkog inženjera Herona Aleksandrijskog (Jerkić, 2010). U ranom srednjem vijeku koristile su se vjetrenjače, odnosno postrojenja za dobivanje mehaničkog rada s vertikalnom (u srednjoj Aziji i na Bliskom istoku) i horizontalnom (u Europi) osi vrtnje za mljevenje žita i pumpanje vode, za navodnjavanje ili isušivanje. U kasnom srednjem vijeku započinje njihova praktična primjena i u druge svrhe, primjerice za pogon strojeva (npr. čekića ili pila) u pogonima, odnosno manufakturama. U to vrijeme se pojavljuju prva hibridna postrojenja koja su istodobno primjenjivala energiju vjetra i energiju vode (Labudović et al., 2002). Sredinom 19. stoljeća u Europi i SAD-u se upotrebljava ogroman broj vjetrenjača za obavljanje mehaničkog rada, nakon čega se njihov broj značajno smanjuje do početka 20. stoljeća. Pojavom električne energije vjetrenjače se transformiraju u postrojenja za proizvodnju električne energije, odnosno u vjetroelektrane čija se primjena prikazuje u narednom dijelu doktorske disertacije.

3.4.2. Primjena energije vjetra u proizvodnji električne energije

U ovom dijelu doktorske disertacije analiziraju se nove mogućnosti iskorištavanja energije vjetra. Tehničko-tehnološkim razvojem u drugoj polovici 19. stoljeća i na početku 20. stoljeća, tj. pojava velikih promjena u gospodarstvu i društvu općenito, u vidu Druge industrijske revolucije, rezultira prestankom korištenja vjetrenjača za obavljanje mehaničkog rada. S druge strane, počinje se koristiti električna energija te se uviđaju mogućnosti primjene energije vjetra u proizvodnji električne energije.

Prvu vjetroelektranu za proizvodnju električne energije, odnosno prvi vjetroagregat, izradio je James Blyth u Škotskoj 1887. godine. U međuvremenu je 1888. godine Charles F. Brush dizajnirao i konstruirao prvu samostalno upravljanu vjetroturbinu koja je proizvodila električnu energiju (Leung, Yang, 2012). Od početka 20. stoljeća do 1970 – ih godina razvoj vjetroagregata i prateće industrije vjetra je bio ograničen i vrlo usporen uslijed niskih cijena i velike

raspoloživosti drugih energetskih resursa, posebice ugljena i nafte. Povećanje cijene nafte i energetska kriza sedamdesetih godina prošlog stoljeća rezultiraju sve većim zanimanjem za obnovljivim izvorima energije, pa tako i za korištenje energije vjetra. Kućni i agrikulturni vjetroagregati se postepeno zamjenjuju vjetroenergetskim postrojenjima koja se masovno počinju upotrebljavati u proizvodnji električne energije. Prvotno se snažan razvoj industrije vjetra dogodio u američkoj saveznoj državi Kaliforniji, te Danskoj, zatim u još nekoliko zapadnoeuropskih država, da bi krajem 20. stoljeća sjeverna Europa preuzela primat u proizvodnji i instalaciji vjetroagregata te prateće industrije za proizvodnju potrebne opreme. U posljednje vrijeme, razvoju i primjeni energije vjetra sve se više priključuju pojedine sredozemne i azijske države. U 21. stoljeću daljnji napredak i razvoj industrije vjetra poprima neslućene razmjere, snaga pojedinačnih vjetroagregata se u manje od 20 godina povećala za sto puta, a dimenzije vjetroagregata su narasle više od dva puta[20]. Smatra se kako danas u svijetu ima oko 60 proizvođača opreme za iskorištavanje energije vjetra, dok se barem jedna vjetroelektrana (komercijalna ili ispitna) može naći u svakoj državi svijeta (Jerkić, 2010, Labudović et al., 2002). U današnje vrijeme energija vjetra postaje jedan od uobičajenih (dodatnih) izvora energije te predstavlja pogodno rješenje za brojne izazove i poteškoće koje se vežu uz energiju današnjice, upravo zato što prirodno nastaje u atmosferi i ne može se potrošiti. Kao čisti izvor energije, energija vjetra je najprikladniji te jedan od naprednijih i perspektivnijih obnovljivih izvora energije (Ilkılıc, Aydın, Behcet, 2011). Štoviše, energija vjetra se trenutno smatra najviše iskorištenim alternativnim izvorom energije (Kabalci, 2013).

Zbog razvoja sofisticirane tehnologije u industriji vjetra koja ima svrhu unapređenja proizvodnje električne energije, energija vjetra predstavlja značajan izvor energije u visoko razvijenim državama s očekivanim daljnjim povećanjem udjela energije vjetra u ukupnoj proizvodnji energije (Ilkılıc, Aydın, Behcet, 2011). Tako npr. Danska, koja je vodeća država svijeta u instaliranim kapacitetima vjetroagregata po broju stanovnika, proizvodi 20% električne energije iz energije vjetra, Portugal 12%, a Njemačka dobiva čak 7% električne energije iz vjetroenergetskih poduzeća (Lynn, 2012). Iako se u Republici Hrvatskoj korištenje energije vjetra sustavno istražuje već 30–ak godina te je prvi vjetroagregat instaliran 1988. godine, prva

[20] Najveći svjetski vjetroagregat (V164-8.0 MW) danskog proizvođača Vestas ima promjer lopatice rotora 164 metara (http://www.mhivestasoffshore.com/v164-8-0-mw-breaks-world-record-for-wind-energy-production).

komercijalna vjetroelektrana za proizvodnju električne energije započinje s radom 2004. godine na otoku Pagu. Promatrajući ukupno proizvedenu električnu energiju iz "novijih" obnovljivih izvora energije, u Republici Hrvatskoj je u okviru istih u 2011. godini proizvedeno 62,38% električne energije upravo iz energije vjetra (Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, 2011). U 2014. godini navedeni udio se još više povećao, te je energijom vjetra proizvedeno 78,55% električne energije od ukupne proizvodnje iz obnovljivih izvora i kogeneracije (HROTE, 2015). Time u Republici Hrvatskoj energija vjetra uvjerljivo prednjači u proizvodnji električne energije iz "novijih" obnovljivih izvora energije.

Za očekivati je da vjetroenergetsko poduzeće u svojoj temeljnoj djelatnosti ostvaruje profit, generiran prihodom s osnove prodaje i isporuke proizvedene električne energije te tako nadoknađuje trošak poslovanja poduzeća. Zbog raznih državnih programa potpora i poticaja kojima se otkupljuje električna energija proizvedena od strane vjetroenergetskih poduzeća, prihod se najčešće generira u obliku tarifnih potpora po jedinici (kWh) proizvedene električne energije. S druge strane, troškovi vjetroenergetskog poduzeća se mogu podijeliti na troškove ulaganja ili investicije (koji predstavljaju najveći dio troškova), troškove pogona i održavanja (koji čine od 1,5 do 3% ukupnih troškova) te troškove poreza i ostalo. Investicijski troškovi, kao najznačajnija skupina troškova, se dijele na troškove uvjetovane lokacijom te troškove izgradnje (pri čemu oko 70% svih troškova izgradnje predstavljaju troškovi nabave vjetroenergetske opreme i dijelova) vjetroenergetskog postrojenja na odabranoj lokaciji (Labudović et al., 2002).

Pri planiranju i odabiru lokacije (koja je uglavnom na neizgrađenoj površini izvan naselja) potrebno je pronaći optimum između energetskih (razvod elektroenergetske mreže), izvedbenih (mogućnosti izgradnje), prostorno-planskih (određenih odgovarajućim dokumentima) i ekoloških zahtjeva (zaštita okoliša). Financijska procjena projekta izgradnje vjetroenergetskog poduzeća može se analizirati s motrišta procjene likvidnosti i procjene isplativosti. Procjena likvidnosti, pri tome, podrazumijeva predviđanje može li poduzeće, za vrijeme cijelog vijeka trajanja poslovanja, pravovremeno (prema dospijeću) podmirivati nastale obveze, dok procjena isplativosti ulaganja utvrđuje u kojoj je mjeri projekt financijski isplativ za ulagače. Procjena isplativosti ulaganja može se analizirati korištenjem različitih tehnika i metoda. Obzirom na ograničenja tradicionalnih metoda vrednovanja investicija, kao što su, primjerice, metoda neto sadašnje vrijednosti ili

interne stope rentabilnosti, pri analizi isplativosti kompleksnog projekta kao što je izgradnja vjetroelektrana sugerira se primjena suvremenih metoda analize kao što je, primjerice, Monte Carlo simulacija distribucije vjerojatnosti (Žiković, Gržeta, Tomas Žiković, 2015).

Ovisno o tipu vjetroagregata, prosječni vijek trajanja istoga se procjenjuje na dvadesetak godina, odnosno na oko 120.000 radnih sati, dok vijek trajanja temelja, odnosno postolja na kojem se nalazi stup vjetroagregata, može biti i do 50 godina. Time se isti temelji mogu dva puta iskoristiti, odnosno mogu služiti dvjema generacijama vjetroagregata. Također, potrebno je istaknuti da je vrijeme raspoloživosti suvremenih vjetroagregata, odnosno udio vremena tijekom kojeg se može dobivati električna energija u ukupnom vijeku trajanja elektroenergetskog postrojenja, između 95 i 99%. Navedeno znači da je vjetroagregat samo 1 do 5% svog vijeka trajanja izvan pogona (primjerice, zbog održavanja ili kvara), što je u usporedbi s drugim elektroenergetskim postrojenjima vrlo mala, gotovo beznačajna veličina. S druge strane, kako je već navedeno u ovoj doktorskoj disertaciji (cf. str. 58), vjetroenergetska postrojenja, odnosno vjetroagregati djeluju znatno manji broj sati u jednoj kalendarskoj godini pri instaliranoj punoj snazi, odnosno pri maksimalno iskorištenim proizvodnim kapacitetima u odnosu na ostala (konvencionalna) energetska postrojenja. Nadalje, potrebno je istaknuti i relativno visoku energetsku efikasnost vjetroagregata od 35 do 45% u usporedbi s ostalim tehnologijama obnovljivih izvora energije.

Iako primjena energije vjetra u proizvodnji električne energije dovodi do brojnih prednosti, primjerice, u vidu očuvanja okoliša i odsustva emitiranja stakleničkih plinova u atmosferu, ipak se pojavljuju određeni ekološki nedostaci koji se analiziraju u narednom dijelu doktorske disertacije.

3.4.3. Ekološke značajke primjene energije vjetra u proizvodnji električne energije

Promatrajući ekološke značajke primjene energije vjetra u proizvodnji električne energije, potrebno je istaknuti da je utjecaj na okoliš razmjerno mali u odnosu na druge tehnologije energetskih postrojenja. Prednost vjetroelektrana je što se uglavnom grade na neizgrađenim,

neobradivim površinama, najčešće na šumovitom ili krškom zemljištu, te na moru. Također, ako se vjetroenergetsko poduzeće sastoji od više vjetroagregata, prostor između njih (razmak uobičajeno iznosi između 200 i 500 metara) može se iskoristiti i u druge svrhe, npr. za poljoprivredu ili stočarstvo, što se ne događa kod drugih energetskih postrojenja koja se vrlo često čak i ograđuju. Nakon prestanka rada, vjetroenergetsko postrojenje se lako uklanja, nakon čega na lokaciji ne ostaje nikakav otpad[21] te se prostor može koristiti u prvobitne svrhe.

Mogući ekološki nedostaci primjene energije vjetra uključuju buku, zauzimanje prostora, vizualni utjecaj, utjecaj na životinje, utjecaj na elektromagnetske valove, te ostale negativne značajke (Labudović et al., 2002).

Jedan od najvećih nedostataka je buka koja nastaje na rotirajućim dijelovima rotora vjetroagregata (mehanička buka) te zbog vrtnje lopatica rotora vjetroagregata koje sijeku strujanje zraka (aerodinamička buka). Daljnjim razvojem i usavršavanjem vjetroagregata nastoji se smanjiti nastala razina buke.

Nakon prolaska vjetra kroz lopatice rotora vjetroagregata dolazi do smanjenja brzine vjetra i do snažnih turbulencija u području iza ravnine lopatice rotora. Da bi se „kvaliteta" vjetra mogla „oporaviti" i vratiti u početno stanje, potrebno je predvidjeti najmanji potrebni razmak između vjetroagregata. Stoga, vjetroelektrane iziskuju velike površine prostora u proizvodnji električne energije. Iako je ukupna potrebna površina (koja se može dodatno koristiti) razmjerno velika, tek mali dio ukupne površine predstavlja stvarno zauzimanje prostora u vidu površine temelja, vodova, trafostanice, pristupnih prometnica, te ostalo.

Zbog velikih dimenzija lopatica rotora vjetroagregata (uobičajeni vjetroagregati mogu imati promjer lopatica i 100 metara) te samog stupa vjetroagregata (koji također može imati ukupnu visinu do 100 metara), vjetroelektrane su vrlo uočljive i predstavljaju prevladavajući objekt u prostoru, pri čemu se kod ljudi formira određena vizualna percepcija. Dakako, pozitivni ili negativni vizualni utjecaj vjetroelektrane ovisi o subjektivnom stavu pojedinca te općenitom stavu prema energiji vjetra i proizvodnji električne energije. Ipak, smatra se kako je njihov vizualni utjecaj malen, osim ako se vjetroelektrane ne nalaze u zaštićenim ili turističkim područjima.

[21] Pretpostavlja se da je vjetroagregat potrebno na ekološko prihvatljiv način zbrinuti te, po mogućnosti, reciklirati njegove sastavne dijelove.

Opasnost za ptice uglavnom se smatra jednim od glavnih nedostataka primjene energije vjetra. Izravnu opasnost za ptice predstavlja mogućnost sudara s lopaticama rotora vjetroagregata koje se vrte te upada u turbulentno područje iza njih, dok neizravna opasnost postoji od uznemiravanja i promjene ponašanja ptica, u vidu migracija, gniježđenja ili promjene staništa. Međutim, istraživanja pokazuju da je broj uginulih ptica zbog vjetroagregata zanemariv u odnosu na one koje stradaju u prometu ili od djelovanja fosilnih elektroenergetskih postrojenja (http://www.vjetroelektrane.com/mitovi-faq). Najnovija studija prikazuju kako više od 99% ptica izbjegavaju područja vjetroelektrana i preusmjeravaju svoje migracijske rute kako se ne bi sudarile s vjetroagregatima postavljenima na moru (http://www.bto.org/news-events/press-releases/ seabirds-steer-avoid-collision-course-offshore-wind-farms).
Naposljetku, vjetroenergetska poduzeća, odnosno vjetroagregati mogu predstavljati prepreke za prijam elektromagnetskih valova, odnosno mogu izazvati smetnje telekomunikacijskih i navigacijskih signala (Labudović et al., 2002). Bez obzira na određene ekološke nedostatke u korištenju energije vjetra, njezina uporaba u proizvodnji električne energije je neupitna.

Promatrajući samo upotrebu „novih“ obnovljivih izvora energije, tada je svjetska potrošnja električne energije gotovo pa i zanemariva, a iznosi tek oko 2%. No, ako se tome pridoda i toplinska energija dobivena iz „moderne“ biomase, solarnih i geotermalnih izvora, onda se udio energije povećava na 6% (REN21, 2013). Očekuje se da će se u sljedećim desetljećima proizvodnja i potrošnja energije iz obnovljivih izvora u velikoj mjeri povećati, prvenstveno zahvaljujući razvijanju i unapređivanju novih tehnologija obnovljivih izvora energije te postupnom smanjivanju cijena samih proizvodnih jedinica, što će rezultirati dodatnom ekspanzijom obnovljivih izvora energije na nova tržišta. Smatra se da će se time nadoknaditi manjak energije uzrokovan velikim povećanjem potrošnje energije te će se ugljen, kao jedan od većih zagađivača okoliša, supstituirati obnovljivom energijom (Fridleifsson, 2003). Procjenjuje se da će udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj svjetskoj potrošnji energije iznositi približno 35% do 2030. godine, odnosno da obnovljivi izvori energije mogu osigurati do 40% primarne energije u 2050. godini ili čak do 80% u 2100. godini (Panwar, Kaushik, Kothari, 2011; Fridleifsson, 2003).

Time obnovljivi izvori u proizvodnji električne energije osiguravaju vrlo bitnu ulogu, ne samo u ponudi dodatnih količina čiste električne energije te smanjenom potrebom za fosilnim gorivima, već i umjerenim utjecajem na okoliš bez emisija ugljikova dioksida, odnosno stvaranja stakleničkih plinova. Razvojem obnovljivih izvora energije dodatno se povećava zaposlenost, dolazi do razvoja ruralnih područja, utječe se na povećanje gospodarske konkurentnosti, te gospodarstva općenito.

4. PRIKAZ TEORIJA I METODA OCJENJIVANJA EFIKASNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA

Efikasnost predstavlja jedan od temeljnih pokazatelja poslovanja suvremenog poslovnog subjekta. Da bi se razumjela efikasnost koja implicira brojne „benefite“ u poslovanju, nužno je poznavati i implementirati u proces upravljanja poduzećem različite metode mjerenja efikasnosti poslovnih subjekata. S obzirom na ulogu koju elektroenergetski sektor ima u nacionalnom gospodarstvu i društvu općenito, ocjenjivanje efikasnosti elektroenergetskog sektora osobito je značajno. Pri tome se efikasnost može utvrđivati, primjerice, u različitim temeljnim djelatnostima elektroenergetskog sektora, za poduzeća koja upotrebljavaju različite energetske resurse u proizvodnji električne energije, i drugo. Uvažavajući specifičnost elektroenergetskog sektora, primjenjuju se različite metode mjerenja efikasnosti. Ipak, jedna od najviše korištenih metoda kojom se ocjenjuje efikasnost u elektroenergetskom sektoru je upravo metoda analize omeđivanja podataka, koja je ujedno i temeljna istraživačka metoda ove doktorske disertacije. Uz definiranje pojma efikasnosti, u ovom dijelu doktorske disertacije prikazuju se različite metode mjerenja efikasnosti poduzeća, kao i značajnije metode koje se koriste u elektroenergetskom sektoru.

4.1. TEMELJNE ZNAČAJKE POJMA EFIKASNOSTI

Temeljni cilj svakog gospodarskog sustava je postizanje ekonomske efikasnosti. Efikasnost u svom najširem smislu podrazumijeva efikasnost u proizvodnji, potrošnji i raspodjeli resursa. U tom smislu, nužno je istaknuti Pareto optimalnu ili efikasnu alokaciju resursa pri kojoj nije moguće poboljšati ekonomski položaj jednoga bez istodobnog smanjenja ekonomskog položaja drugoga. Iako je Pareto vjerojatno najviše doprinio teoriji ekonomije blagostanja i konceptu efikasnosti, u ocjenjivanju efikasnosti subjekata treba ukazati i na Pareto-Koopmansov koncept efikasnosti. Isti ističe da je subjekt potpuno efikasan ako i samo ako nije moguće poboljšati bilo koji njegov input ili output bez pogoršanja nekog drugog njegovog inputa ili outputa. Sam Koopmans definira efikasnu točku u prostoru proizvoda kao svaku moguću točku kod koje se povećanje jedne od koordinata (neto outputa jednog dobra) može postići samo „po cijenu“ smanjenja neke druge koordinate (neto outputa drugog dobra). Drugim riječima, točka je efikasna ako je output maksimalan uz dane inpute. Nadalje, Debreu mjeri efikasnost raspodjele sredstava u

gospodarstvu, ulazeći u sferu potrošnje, analizirajući uz koje smanjenje dobara je moguće dostići istu razinu zadovoljstva za potrošače. Shephard ističe problem korištenja prevelikog broja inputa u proizvodnji određene količine outputa. Moguće je uočiti da je u razmatranju efikasnosti i pitanju njezina postizanja, Shephard orijentiran prema inputima, dok je Koopmans orijentiran prema outputima.

S motrišta dopune kriterija Pareto efikasnosti u ocjeni društvena blagostanja, ovdje bi svakako trebalo spomenuti i Kaldor-Hicksov kriterij kompenzacije, prema kojemu neka mjera ekonomske politike povećava društveno blagostanje ako pojedinci koji tom mjerom dobivaju mogu nadoknadom više nego kompenzirati pojedince koji tom mjerom gube, te i nakon toga poboljšati svoje osobno blagostanje, a posljedično i društveno blagostanje. Također, i Scitovskyev dvostruki kriterij, prema kojemu neka mjera ekonomske politike povećava društveno blagostanje i onda kada pojedinci koji tom mjerom gube mogu više nego potkupiti pojedince koji tom mjerom dobivaju, te i nakon toga biti u boljem položaju.

S druge strane, prema radovima Koopmansa i Debreua, Farrell (1957) definira i analizira dva koncepta efikasnosti. Prvi se odnosi na *tehničku efikasnost* koja označava sposobnost poduzeća da iz raspoložive razine inputa ostvaruje maksimalan output, dok drugi koncept podrazumijeva *cjenovnu* (*alokativnu*) *efikasnost* koja označava sposobnost poduzeća da upotrebljava različite inpute u optimalnom omjeru s obzirom na njihove cijene i tehnologiju proizvodnje. Ako je poduzeće savršeno efikasno, odnosno ako je zadovoljena i tehnička i cjenovna efikasnost, tada je postignuta *ukupna* (*ekonomska*) *efikasnost*.

U rječniku ključnih pojmova u ocjenjivanju i upravljanju rezultatima, Organizacija za ekonomsku suradnju i razvoj navodi da je efikasnost mjera kojom se ekonomski resursi/inputi (sredstva, znanje, vrijeme, itd.) pretvaraju u rezultate. U toj definiciji, pojam rezultat se odnosi na output ili ishod, dok inputi i rezultati moraju biti uzročno povezani u procesu transformacije. Proces se smatra ekonomskim ako se troškovi oskudnih resursa minimalno upotrebljavaju za postizanje planiranih ciljeva. Prema tome, navedena definicija prikazuje efikasnost kao ukupnu (ekonomsku) efikasnost, pri čemu se inputi transformiraju u outpute te njihove relativne količine (omjeri) predstavljaju mjeru efikasnosti.

Kao što je moguće uočiti, pored maksimalne količine outputa uz postojeću razinu inputa, efikasnost subjekta moguće je ocijeniti i s aspekta ostvarenja određene razine outputa ili ciljeva uz minimalno iskorištavanje inputa ili raspoloživih resursa. S obzirom na izbor varijabli modela, pri čemu se poseban značaj pridaje upravljanju upravo inputima vjetroenergetskih poduzeća, kao i na interpretaciju rezultata istraživanja, u doktorskoj disertaciji primjenjuje se potonji pristup koji je usmjerenja prema inputima.

U nastavku doktorske disertacije elaboriraju se koncepti, teorije i metode mjerenja efikasnosti poduzeća.

4.2. KONCEPTI, TEORIJE I METODE MJERENJA EFIKASNOSTI PODUZEĆA

U današnje turbulentno vrijeme sa sve izraženijom konkurencijom, poduzeća neprekidno moraju promicati i unapređivati svoje poslovanje kako bi uspješno djelovala na tržištu. Ne postoji standardizirana formula za poboljšanje poslovanja poduzeća. Svaka organizacijska jedinica, odnosno poduzeće nastoji djelovati „na svoj pravi način". U tom vidu, primjerice, u određenim djelatnostima, poduzeća trebaju povećati korištenje inputa kako bi poboljšala kvalitetu proizvoda ili usluga. U drugim djelatnostima, uz postojeće resurse, nastoji se ostvariti maksimalni ishod, zadržavajući pritom jednaku kvalitetu outputa. U svojem poslovanju, uvažavajući navedeno, poduzeća su suočena s jednim od najtežih zadataka koji se odnose na utvrđivanje optimalnih veza između inputa i outputa.

U danim konkurentnim tržišnim uvjetima nije dovoljno promatrati poduzeće kao izdvojenu poslovnu jedinicu, neovisnu o drugim poslovnim subjektima. Štoviše, nužno je promatrati djelovanje poduzeća uspoređujući ga s ostalim poduzećima te u takvim okvirima ocijeniti performanse poduzeća, odnosno utvrditi efikasnost poduzeća. Dobre performanse poduzeća su ključne za uspješnost poslovanja te njihovo ocjenjivanje predstavlja jedan od temeljnih elemenata analize poslovanja poduzeća, tj. trenutnog stanja i pozicije poduzeća na tržištu te mogućeg ostvarenja željenih ciljeva. Mjerenje i analiziranje efikasnosti poduzeća provodi se različitim metodama među kojima Ozcan (2008) ističe analizu omjera, regresiju metodom najmanjih kvadrata, ukupnu faktorsku produktivnost, analizu stohastičke granice te analizu omeđivanja

podataka. Između brojnih metoda mjerenja efikasnosti poduzeća, prethodno istaknutih, u nastavku doktorske disertacije slijedi, kao prva u nizu, metoda analize omjera.

4.2.1. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom analize omjera

Analiza omjera (engl. *Ratio Analysis* – RA) je tradicionalna mjera za ocjenjivanje efikasnosti u mnogim gospodarskim djelatnostima, te se kao prednost ističe upravo njezina jednostavnost korištenja. Kao najjednostavnija metoda izračunavanja performansi, pruža informacije koje se temelje na odnosu između *jednog inputa* i *jednog outputa*. Stoga se analiza omjera, odnosno mjera efikasnosti definira kao broj jedinica outputa po jedinici inputa (Ozcan, 2008):

$$Efikasnost = \frac{Output}{Input} \tag{4.1}$$

Međutim, navedenu mjeru je potrebno promatrati unutar određenog poslovnog okruženja. Različiti pokazatelji unutar analize omjera otkrivaju raznovrsne aspekte poslovanja i upotrebljavaju se za različite svrhe. Prvenstveno pokazuju financijsko stanje poduzeća, također se koriste za procjene budućih trendova, te, naposljetku, neizravno ukazuju na menadžerske sposobnosti poduzeća. Pokazatelji omjera efikasnosti su osobito značajni za dioničare i investitore koji koriste navedene pokazatelje, među ostalima, i u donošenju važnih dugoročnih poslovnih odluka. Iako povijest korištenja analize omjera seže u daleku prošlost te se prvi puta spominje oko 300. godine pr.n.e. u Euklidovim Elementima, knjiga V., dok se usvajanje ovog pokazatelja kao „alata“ analize financijskih izvještaja pripisuje novijoj povijesti i razdoblju s početka 20.st. (Horrigan, 1968), menadžeri nisu izgubili zanimanje za metodu, unatoč dokazanim ograničenjima i nastalim pogreškama. Prvo i najočitije ograničenje metode analize omjera je fokusiranje samo na jedan čimbenik u jedinici vremena kao sredstvo usporedbe i utvrđivanja relativne efikasnosti (Mesarić, 2014). Navode se i ostali nedostaci analize omjera, kao i karakteristike zajedničke primjene analize omjera i analize omeđivanja podataka u ocjenjivanju relativne efikasnosti (cf. Thanassoulis, Boussofiane, Dyson, 1996). S obzirom na navedeno, rezultate analize omjera je potrebno pažljivo interpretirati, s obzirom na namjenu i prioritete analize, kao i unutar pravog konteksta, kao što su, primjerice, karakteristike tržišta, odnosno

specifičnosti industrijske grane ili pojedinog poduzeća, imajući u vidu i ostale značajne čimbenike i indikatore koji su uključeni u ocjenjivanje efikasnosti (Mesarić, 2014). Sljedeća metoda kojom je moguće ocijeniti efikasnost odnosi se na regresiju najmanjih kvadrata.

4.2.2. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom najmanjih kvadrata

Regresija metodom najmanjih kvadrata (engl. *Least-Squares Regression* – LSR) je parametarska tehnika ocjenjivanja efikasnosti koja se učestalo upotrebljava u ekonomskim analizama. Može uključivati višestruke inpute, ali također i slučajnu pogrešku koja se u općoj formuli regresijske analize označava s „e“:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_n x_n + e \qquad (4.2)$$

Regresijska analiza i analiza omeđivanja podataka su dva različita pristupa analize podataka. Regresijska analiza se koristi kod ocjenjivanja općih obilježja svih jedinica u određenom skupu, dok se analiza omeđivanja podataka koristi kada se promatra pojedina jedinica odlučivanja (engl. *Decision Making Unit* – DMU) u usporedbi s ostalim jedinicama odlučivanja. Time analiza omeđivanja podataka određuje efikasnost promatrane jedinice odlučivanja relativno u odnosu na ostale jedinice u referentnom skupu. Regresijska analiza se temelji na prosječnim vrijednostima, dok se analiza omeđivanja podataka temelji na ekstremnim opažanjima.
Ukupna faktorska produktivnost, koji pokazatelj je usko povezan s analizom omeđivanja podataka, prikazuje se u sljedećem dijelu doktorske disertacije.

4.2.3. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom ukupne faktorske produktivnosti

Iako se produktivnost i efikasnost često upotrebljavaju kao istovjetni pojmovi, u suštini su različiti ekonomski koncepti. Efikasnost se odnosi na poslovanje poduzeća koje se promatra relativno u odnosu na referentni skup uz postojeću razinu tehnološkog razvoja, dok produktivnost podrazumijeva promjenu tehnologije tijekom vremena (Färe, et al., 1994). Kao i efikasnost, i produktivnost se definira omjerom outputa i inputa. U slučaju kada se pojavljuje samo jedan output i jedan input, situacija je prilično jednostavna. Međutim, u realnijoj situaciji kada

poduzeće proizvodi više proizvoda i koristi više inputa, potrebno je objediniti, tj. agregirati skup outputa i inputa na način da izraz u brojniku i nazivniku postane skalarna vrijednost. Isti princip vrijedi i za mjerenje promjene produktivnosti koja nastaje uslijed tehnološkog napretka. Razlike u produktivnosti između poduzeća mogu biti uzrokovane čimbenicima koji mogu ili ne moraju biti pod utjecajem poduzeća, kao što su npr. razlike u tehnologiji proizvodnje ili opsegu proizvodnje, netočna mjerenja, te ostalo.

U ekonomskoj teoriji, ukupna faktorska produktivnost (engl. *Total Factor Productivity* – TFP) se neizravno mjeri kao rast proizvodnje koji se ne objašnjava promjenama u količini inputa (često se naziva Solowljev rezidual). S druge strane, u ekonomskoj praksi, ukupna faktorska produktivnost se mjeri pomoću indeksa produktivnosti ili pokazatelja produktivnosti, s time da indeksi imaju multiplikativni oblik, dok pokazatelji imaju aditivni oblik.

Među mjerama, na temelju funkcija udaljenosti, mogu se navesti Malmquistov indeks produktivnosti, Hicks-Moorsteenov indeks produktivnosti i Luenbergerov pokazatelj produktivnosti. Navedene mjere zahtijevaju rješavanje problema optimizacije (analiza omeđivanja podataka) ili regresijske metode koje mjere udaljenost od realne, ali nepoznate granice. Od ostalih mjera ukupne faktorske produktivnosti mogu se navesti, primjerice, Törnqvistov indeks produktivnosti, Fisherov indeks produktivnosti ili Bennet-Bowleyev pokazatelj produktivnosti, koje mjere koriste kako cjenovne tako i količinske podatke kod formiranja količinskog indeksa outputa i inputa. Najčešće korištene mjere ukupne faktorske produktivnosti su Malmquistov i Törnqvistov indeks produktivnosti (Machek, Hnilica, 2012). Pri tome se Malmquistov indeks produktivnosti uglavnom može primijeniti kao unapređenje modela ocjenjivanja relativne efikasnosti u metodi analize omeđivanja podataka. Analiza stohastičke granice, parametarska tehnika mjerenja relativne efikasnosti, prikazuje se u narednom dijelu doktorske disertacije.

4.2.4. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom analize stohastičke granice

Analiza stohastičke granice (engl. *Stochastic Frontier Analysis* – SFA) je parametarska metoda ocjenjivanja relativne efikasnosti, što znači da se zahtijeva uspostavljanje funkcionalnog oblika

granice proizvodnje koja mora biti ekonometrijski procijenjena, pri čemu se pojavljuju komponente dviju pogreški: prva koja se odnosi na statističku slučajnu pogrešku, s normalnom distribucijom, te druga pogreška koja je vezana uz tehničku neefikasnost, s alternativnim oblikom distribucije. Veliki doprinos u istraživanju ovog područja dali su Aigner i suradnici (1977), Battese i Corra (1977), te Meeusen i van den Broeck (1977). Modeli povezani sa stohastičkom granicom razvili su se u više pravaca, povećavajući time različite mogućnosti analize.

4.2.5. Mjerenje efikasnosti poduzeća metodom analize omeđivanja podataka

Analiza omeđivanja podataka (engl. *Data Envelopment Analysis* – DEA) je metoda za ocjenjivanje relativne efikasnosti proizvodnih i neproizvodnih subjekata koji imaju višestruke inpute i outpute, a međusobno se razlikuju prema razini resursa te gotovog proizvoda ili usluge unutar procesa transformacije. Kao interdisciplinarna znanstvena metoda, analiza omeđivanja podataka se primjenjuje u različitim područjima djelatnosti, te u ocjenjivanju relativne efikasnosti različitih poslovnih jedinica kao što su elektroenergetska poduzeća u djelatnostima proizvodnje, prijenosa, distribucije i opskrbe električne energije, elektrane kao tehničke jedinice, banke, osiguravajuća društva, škole, visokoobrazovne institucije, bolnice, trgovine na malo, poštanski uredi, organizacijske jedinice u šumarstvu, te ostalo. Danas je analiza omeđivanja podataka široko prihvaćena metodologija u znanstvenoj literature, s naznakama daljnjeg razvoja. U tom se vidu, u ovoj cjelini doktorske disertacije, analiziraju temeljne karakteristike metode te se prikazuju osnovni modeli analize omeđivanja podataka.

4.2.5.1. Temeljne karakteristike analize omeđivanja podataka

Analiza omeđivanja podataka je pouzdana metoda za procjenu relativne efikasnosti usporedivih jedinica koje upotrebljavaju istovjetnu tehnologiju poslovanja te djeluju u sličnim uvjetima. Kao neparametarska (deterministička) metoda, ne zahtijeva poznavanje funkcionalne veze između inputa i outputa, za razliku od ostalih pristupa ocjene efikasnosti kao što je to slučaj, primjerice, metode regresijske analize. Metoda analize omeđivanja podataka smatra se vrlo prikladnom za ocjenjivanje relativne efikasnosti poduzeća, odnosno uspoređivanje DMU subjekata/jedinica na način da određuje relativno efikasne subjekte kao one koji formiraju granicu efikasnosti te mjeri

neefikasnost inputa ili outputa drugih subjekata u odnosu na one efikasne. Time analiza omeđivanja podataka za svakog DMU subjekta ocjenjuje njegovu maksimalnu efikasnost, odnosno uspoređuje i rangira njegove performanse u odnosu na druge DMU subjekte u promatranom skupu. Osim pouzdanosti, jednostavnosti i fleksibilnosti ove metode, njezine prednosti ogledaju se posebno u dvjema sljedećim obilježjima (Mantri, 2008): 1) između izabranih varijabli, tj. inputa i outputa u modelu pretpostavlja se da postoji veza koju nije potrebno analitički odrediti, ali ju treba potvrditi; 2) varijable modela mogu se iskazati u različitim mjernim jedinicama.

Analiza omeđivanja podataka u ocjenjivanju relativne efikasnost koristi tehniku matematičkog programiranja koja omogućava primjenu velikog broja varijabli i ograničenja u modelu. Time analiza omeđivanja podataka predstavlja kvalitetnu mjeru ocjene relativne efikasnosti jer uzima u obzir sve važne čimbenike koji utječu na poslovanje poduzeća, za razliku od pokazatelja u formi različitih omjera koji ne osiguravaju „jasnu sliku“ ukupnog poslovanja, budući svaki od njih osigurava tek selektivnu informaciju o specifičnoj performansi poslovanja poduzeća. Nadalje, analiza omeđivanja podataka ne postavlja ograničenja glede vrste varijabli koje se mogu uključiti u model, kao niti glede njihovih mjernih jedinica. Na taj način postoji sloboda u izboru varijabli koje se žele analizirati u modelu, iako se pretpostavlja izbor ključnih čimbenika (inputa i outputa) koji „najbolje“ prikazuju proces koji se razmatra i ocjenjuje (Šegota, 2003).

U svrhu ocjenjivanja relativne efikasnosti metodom analize omeđivanja podataka pojavljuju se brojni modeli koji se, u osnovi, mogu podijeliti na osnovne, tj. tradicionalne (CCR i BCC modeli) te alternativne modele. U nastavku doktorske disertacije prikazuju se i opisuju samo navedeni osnovni modeli analize omeđivanja podataka budući su isti u fokusu istraživanja doktorske disertacije.

4.2.5.2. Osnovni modeli analize omeđivanja podataka

Osnovni model analize omeđivanja podataka je CCR model koji pretpostavlja konstantne prinose na opseg. Pri konstantnom prinosu povećanje inputa djeluje na proporcionalno povećanje outputa. S druge strane, neproporcionalno povećanje outputa uzrokovano povećanjem inputa

označava varijabilni prinos na opseg (rastući ili opadajući prinos). BCC model predstavlja proširenje osnovnog CCR modela, te podrazumijeva varijabilni prinos na opseg. U ovom dijelu doktorske disertacije se, dakle, prezentiraju CCR i BCC modeli analize omeđivanja podataka.

4.2.5.2.1. Charnes-Cooper-Rhodesov model (CCR model)

Jedan od osnovnih modela analize omeđivanja podataka je CCR model koji je nazvan po inicijalima autora Charnesa, Coopera i Rhodesa koji su ga inicirali 1978. godine (Charnes, Cooper, Rhodes, 1978). U literaturi se svaki subjekt, odnosno entitet, koji se ocjenjuje s motrišta sposobnosti pretvaranja inputa u outpute, označava jedinicom odlučivanja, tj. za potrebe ove doktorske disertacije DMU subjektom. Definicija DMU subjekta je neutvrđena, odnosno ostala je otvorena kako bi se osigurala fleksibilnost u njezinoj upotrebi tijekom širokog raspona mogućih primjena. Općenito se DMU subjekt promatra kao zasebna jedinica, subjekt odgovoran za pretvaranje inputa u outpute, subjekt čije se performanse ocjenjuju. U tom se modelu, za svaki DMU subjekt, definira virtualni input i virtualni output sa (za sada još nepoznatim) težinskim koeficijentima v_i i u_r:

$$\text{virtualni input} = v_1 x_{1o} + \ldots + v_m x_{mo} \tag{4.3}$$

$$\text{virtualni output} = u_1 y_{1o} + \ldots + u_s y_{so}. \tag{4.4}$$

Tada je potrebno odrediti težinske koeficijente, koristeći linearno programiranje, tako da se maksimizira omjer:

$$\frac{\text{virtualni output}}{\text{virtualni input}} \tag{4.5}$$

uz ograničenje da omjer virtualnog outputa i virtualnog inputa ne može biti veći od jedan te negativan za svaki promatrani DMU subjekt. Optimalne težine variraju od jednog do drugog DMU subjekta, pri čemu se zaključuje da su težine u metodi analize omeđivanja podataka izvedene iz podataka, umjesto da se unaprijed utvrđuju. Svakom DMU subjektu se dodjeljuje najbolji skup težina s vrijednostima koje mogu varirati od DMU subjekta do subjekta.

Pretpostavlja se da postoji n DMU subjekata: DMU_1, DMU_2, …, DMU_n. Određena zajednička obilježja inputa i outputa za svaki od tih $j = 1, \ldots, n$ DMU subjekata mogu se prikazati sljedećim:

1. numerički podaci su dostupni za svaki input i output, uz pretpostavku pozitivne vrijednosti za sve DMU subjekte;
2. stavke (inputi, outputi i izbor DMU subjekata) trebaju odražavati interes analitičara, menadžera ili druge zainteresirane strane u elementima koji ocjenjuju relativnu efikasnost subjekata;
3. načelno, preferiraju se manji količinski iznosi inputa te veći količinski iznosi outputa;
4. mjerne jedinice različitih inputa i outputa ne moraju biti podudarne.

Pretpostavlja se da je odabrano m inputa i s outputa. Neka su vrijednosti inputa i outputa za DMU_j subjekt dane s $(x_{1j}, x_{2j}, \ldots, x_{mj})$ i $(y_{1j}, y_{2j}, \ldots, y_{sj})$. Matrica input podataka X i matrica output podataka Y može biti uređena na sljedeći način:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \ldots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \ldots & x_{2n} \\ .. & .. & \ldots & .. \\ .. & .. & \ldots & .. \\ x_{m1} & x_{m2} & \ldots & x_{mn} \end{pmatrix} \tag{4.6}$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \ldots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \ldots & y_{2n} \\ .. & .. & \ldots & .. \\ .. & .. & \ldots & .. \\ y_{s1} & y_{s2} & \ldots & y_{sn} \end{pmatrix} \tag{4.7}$$

S obzirom na podatke, mjeri se efikasnost svakog DMU subjekta, te je stoga potrebno optimiziranje za svaki subjekt koji se ocjenjuje. Neka DMU_j bude ocijenjen i označen kao DMU_o, gdje je o u rasponu od 1, 2, …, n, pri čemu se rješava problem razlomljenog linearnog programiranja kako bi se dobile vrijednosti težina inputa (v_i) $(i = 1, \ldots, m)$ i vrijednosti težina outputa (u_r) $(r = 1, \ldots, s)$, a koje ujedno predstavljaju varijable traženog problema. Problem je predstavljen na sljedeći način:

$$(RP_o) \qquad \max \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + ... + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + ... + v_m x_{mo}} \tag{4.8}$$

$$\text{uz ograničenja} \qquad \frac{u_1 y_{1j} + ... + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + ... + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j = 1, \ldots, n) \tag{4.9}$$

$$v_1, v_2, \ldots, v_m \geq 0 \tag{4.10}$$

$$u_1, u_2, \ldots, u_s \geq 0 \tag{4.11}$$

Ograničenja osiguravaju da omjer „virtualnog outputa“ i „virtualnog inputa“ ne može biti veći od 1 za svaki DMU subjekt. Cilj je postići vrijednost težina inputa (v_i) i vrijednost težina outputa (u_r) koje maksimiziraju omjer DMU_o, odnosno DMU subjekta koji se ocjenjuje. Na temelju ograničenja, optimalna vrijednost koja se može dobiti za θ je najviše 1. Pretpostavlja se da svi outputi i inputi imaju vrijednosti različite od nule te će se ta pretpostavka odraziti na vrijednosti težina v_i i u_r kojima se dodjeljuju pozitivne vrijednosti.

Potrebno je zamijeniti prethodno prikazani problem razlomljenog programiranja (RP_o) sa sljedećim linearnim programom (LP_o):

$$(LP_o) \qquad \max \theta = \mu_1 y_{1o} + \ldots + \mu_s y_{so} \tag{4.12}$$

$$\text{uz ograničenja} \qquad v_1 x_{1o} + \ldots + v_m x_{mo} = 1 \tag{4.13}$$

$$\mu_1 y_{1j} + \ldots + \mu_s y_{sj} \leq v_1 x_{1j} + \ldots + v_m x_{mj} \tag{4.14}$$

$$(j = 1, \ldots, n)$$

$$v_1, v_2, \ldots, v_m \geq 0 \tag{4.15}$$

$$\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_s \geq 0 \tag{4.16}$$

Navodi se da je problem razlomljenog programiranja (RP_o) ekvivalentan linearnom programu (LP_o), pri čemu je $v = v$, $u = \mu$. Više o dokazu prikazuje se u Cooper, Seiford, Tone (2002). Nadalje, iako inputi i outputi mogu biti iskazani u različitim vrstama mjernih jedinica, ističe se da mjerne jedinice za svaki DMU subjekt moraju biti jednake, odnosno ako je mjerna jedinica, npr. u litrama nafte za jedan DMU subjekt, tada svi ostali subjekti moraju biti iskazani u litrama, a ne, primjerice, galonima nafte.

Pretpostavlja se da postoji optimalno rješenje (LP_o) koje se predstavlja s (θ^*, v^*, μ^*), gdje su v^* i μ^* vrijednosti s ograničenjima prikazanim u (4.15.) i (4.16.). Tada se može utvrditi da li se *CCR-efikasnost* može postići na sljedeći način:

Definicija CCR-efikasnosti

1. DMU_o je CCR-efikasan ako je $\theta^* = 1$ i ako postoji najmanje jedno optimalno rješenje (v^*, u^*) za koje vrijedi $v^* > 0$ i $u^* > 0$.
2. U protivnom, DMU_o je CCR-neefikasan.

Dakle, CCR-neefikasnost znači da je ili (*i*) $\theta^* < 1$ ili (*ii*) $\theta^* = 1$ i najmanje je jedan element (v^*, u^*) jednak nuli za svako optimalno rješenje (LP_o). Potrebno je napomenuti slučaj (*i*), gdje DMU_o subjekt ostvaruje vrijednost $\theta^* < 1$, odnosno koji je CCR-neefikasan. Tada mora postojati barem jedno ograničenje (ili DMU) u (4.14) za koje težine (v^*, u^*) daju jednakost između lijeve i desne strane, jer bi se inače vrijednost θ^* mogla povećati. Neka je skup $j \in \{1,...,n\}$ skup takvih j za koje je

$$E_0' = \left\{ j : \sum_{r=1}^{s} u_r^* y_{rj} = \sum_{i=1}^{m} v_i^* x_{ij} \right\} \tag{4.17}$$

Podskup $E_o$skupa E_0' koji se sastoji od CCR-efikasnih DMU subjekata naziva se *referentni skup* ili skupina ravnopravnih sudionika (engl. *reference set*, *peer group*). Skup dobiven spajanjem elemenata iz E_o se naziva granica efikasnosti (engl. *efficiency frontier*).

Na temelju matrica (*X, Y*), CCR model je definiran kao LP problem s vektorom v kao multiplikator inputa i vektorom u kao multiplikator outputa. Navedeni multiplikatori se tretiraju kao varijable u sljedećem LP problemu:

$$(LP_o) \qquad \max \quad uy_o \tag{4.18}$$

$$\text{uz ograničenja} \quad vx_o = 1 \tag{4.19}$$

$$-vX + uY \leq 0 \tag{4.20}$$

$$v \geq 0,\ u \geq 0. \tag{4.21}$$

Navedeno je identično kao i (4.12) – (4.16), samo što je sada (LP_o) izražen u vektor-matričnoj notaciji.

Dualni problem od (LP_o) izražen je realnom varijablom θ i varijablama nenegativnog vektora $\lambda = (\lambda_1, \ldots \lambda_n)^T$ na sljedeći način (tzv. forma ovojnice):

$$(DLP_o) \qquad \min \quad \theta \tag{4.22}$$

$$\text{uz ograničenja} \quad \theta x_o - X\lambda \geq 0 \tag{4.23}$$

$$Y\lambda \geq y_o \tag{4.24}$$

$$\lambda \geq 0. \tag{4.25}$$

Podudarnost između ograničenja i varijabli primarnog (LP_o) i dualnog (DLP_o) problema prikazuju se u narednoj tablici 7.

Tablica 7. Podudarnost primarnog (LP_o) i dualnog (DLP_o) problema

Ograničenje (LP_o)	**Dualna varijabla (DLP_o)**	**Ograničenje (DLP_o)**	**Primarna varijabla (LP_o)**
$vx_o = 1$	θ	$\theta x_o - X\lambda \geq 0$	$v \geq 0$
$-vX + uY \leq 0$	$\lambda \geq 0$	$Y\lambda \geq y_o$	$u \geq 0$

Izvor: Cooper, Seiford, Tone, 2002

(DLP_o) ima moguće rješenje $\theta = 1$, $\lambda_o = 1$, $\lambda_j = 0$ ($j \neq o$). Stoga, optimalna vrijednost θ, označena s θ^*, nije veća od 1. S druge strane, s obzirom na pretpostavku podataka različitih od nule (tj. polu pozitivnih), ograničenje (4.24) daje λ vrijednost različitu od nule, jer je $y_o \geq 0$ i $y_o \neq 0$. Stoga, iz (4.23) vrijednost θ mora biti veća od nule, te uvažavajući navedeno, vrijedi da je $0 < \theta^* \leq 1$.

Ne opisujući detaljnije povezanost između (DLP_o) i skupa proizvodnih mogućnosti P, kao i ne navodeći ostala svojstva, definira se *višak* inputa $s^- \in R^m$ te *manjak* outputa $s^+ \in R^s$ koje varijable se identificiraju kao dopunske varijable (engl. *slacks*) na sljedeći način:

$$s^- = \theta x_o - X\lambda, \qquad s^+ = Y\lambda - y_o, \tag{4.26}$$

sa $s^- \geq 0$, $s^+ \geq 0$ za svako moguće rješenje (θ, λ) od (DLP_o).

Da bi se otkrili mogući viškovi inputa i manjkovi outputa, potrebno je riješiti dvofazni problem linearnog programiranja.

Faza I.
Rješava se (DLP_o) za koji je optimalna vrijednost postavljenog cilja θ^*. Prema teoremu dualnog problema linearnog programiranja, vrijednost θ^* je jednaka optimalnoj ciljnoj vrijednosti (LP_o) te predstavlja CCR-efikasnost, koja se također naziva i „Farrellova efikasnost" prema M. J. Farrellu koji je 1957. godine pokazao kako primijeniti koncept efikasnosti u stvarnim uvjetima (na primjeru empirijskih podataka) (iako nije uspio dokazati uvjet da sve dopunske varijable moraju biti jednake nuli). Navedena vrijednost θ^* je uključena u sljedeću fazu II.

Faza II.
Uz pomoć poznate vrijednosti θ^*, rješava se sljedeći problem (LP) koristeći (λ, s^-, s^+) kao varijable:

$$\begin{aligned} \max \quad & \omega = es^- + es^+ && (4.27)\\ \text{uz ograničenja} \quad & s^- = \theta^* x_o - X\lambda && (4.28)\\ & s^+ = Y\lambda - y_o && (4.29)\\ & \lambda \geq 0,\ s^- \geq 0,\ s^+ \geq 0, \end{aligned}$$

gdje je $e = (1, \ldots, 1)$ jedinični vektor, tako da je $es^- = \sum_{i=1}^{m} s_i^-$ i $es^+ = \sum_{r=1}^{s} s_r^+$.

Cilj druge faze je pronaći rješenje koje maksimizira zbroj viškova inputa i manjkova outputa uz zadržavanje $\theta = \theta^*$. Funkcija cilja (4.27) može se zamijeniti bilo kojim zbrojem viškova inputa i manjkova outputa, kao što je:

$$\omega = w_x s^- + w_y s^+ \qquad (4.30)$$

gdje težine w_x i w_y predstavljaju pozitivne vektore. Modificirana funkcija cilja može rezultirati različitim optimalnim rješenjem za drugu fazu. Može se postići optimalan $\omega^* > 0$ u (4.27) ako i

samo ako je dobivena vrijednost različita od nule kada je cilj u (4.27) zamijenjen s (4.30). Stoga će se u (4.27) identificirati neke dopunske varijable različite od nule sa neefikasnošću ako i samo ako su neke (različite) dopunske varijable različite od nule identificirane neefikasno u (4.30). S tim u vezi, navode se sljedeće definicije:

Optimalno rješenje (λ^*, s^{-*}, s^{+*}) druge faze naziva se rješenje s najvećim dopunskim varijablama (engl. *max-slack solution*). Ako to rješenje zadovoljava uvjete $s^{-*} = 0$ i $s^{+*} = 0$, tada se ono naziva rješenje čije su dopunske varijable jednake nuli (engl. *zero-slack*).

Ako optimalno rješenje (θ^*, λ^*, s^{-*}, s^{+*}) gornjih dvaju *LP* zadovoljava uvjet $\theta^* = 1$ i dopunske varijable su jednake nuli ($s^{-*} = 0$, $s^{+*} = 0$), tada je DMU_o CCR-efikasan. Inače, DMU_o je CCR-neefikasan, jer da bi se zadovoljio uvjet za *potpunu efikasnost* (engl. *full efficiency*), mora vrijediti:

1) $\theta^* = 1$
2) sve dopunske varijable su jednake nuli.

Prvi od dva uvjeta se odnosi na „radijalnu efikasnost“ koja se često naziva i „tehničkom efikasnošću“, jer vrijednost $\theta^* < 1$ znači da svi inputi mogu biti istovremeno smanjeni, bez mijenjanja proporcija u kojima su korištene. Budući je maksimalno proporcionalno smanjenje dozvoljeno u skupu proizvodnih mogućnosti jednako $1 - \theta^*$, svako daljnje smanjivanje povezano s dopunskim varijablama različitim od nule nužno bi promijenilo proporcije inputa. Stoga se neefikasnosti povezane s bilo kojim dopunskim varijablama različitim od nule iz navedenih dvofaznih postupaka nazivaju „mješovitim neefikasnostima“. U definiranju izvora neefikasnosti koriste se i drugi nazivi. Na primjer, pojam „slaba efikasnost“ (engl. „*weak efficiency*“) se upotrebljava kada se ograničava uvjet 1) iz prethodno navedene definicije *potpune* efikasnosti. Ako se oba uvjeta (1 i 2) promatraju zajedno, tada se opisuje tzv. „Pareto-Koopmans-ova“ efikasnost koja glasi: DMU subjekt je potpuno efikasan ako i samo ako nije moguće poboljšati bilo koji input ili output bez pogoršanja nekog drugog inputa ili outputa. Implementacija navedene definicije efikasnosti ostvarena je matematičkom formulacijom putem opisanog dvofaznog postupka od strane Charnesa, Coopera and Rhodesa 1978. godine. Stoga se navedena

formulacija naziva i „CCR efikasnost“, a ista zahtijeva ispunjenje oba prethodno istaknuta uvjeta (1 i 2).

Zaključno, potrebno je istaknuti da je prethodno navedena *definicija CCR-efikasnosti* ekvivalentna definiciji *potpune CCR-efikasnosti*, a dokaz izrečenog teorema prikazuje se u istraživanjima autora Cooper, Seiford, Tone (2002). Također, prikazani CCR model je uglavnom imao za cilj minimizirati inpute kako bi se ostvarila zadana razina outputa. Takav model se naziva inputu-usmjereni model. Postoji drugi tip modela naziva outputu-usmjereni model koji maksimizira outpute koristeći jednake ili manje količine inputa, no kao što je već istaknuto, isti se u ovoj doktorskoj disertaciji ne opisuje detaljnije.

Nakon prikaza osnovnog modela metode analize omeđivanja podataka, CCR modela, u nastavku doktorske disertacije prezentira se BCC model koji predstavlja proširenje klasičnog CCR modela.

4.2.5.2.2. Banker-Charnes-Cooperov model (BCC model)

U prethodnom dijelu doktorske disertacije prikazane su temeljne postavke CCR modela koji se temelji na pretpostavci *konstantnih* prinosa na opseg. Navedeno označava da ako je (x, y) dopustiva (moguća) točka, tada je, za svaki pozitivan skalar t, (tx, ty) također dopustiva (moguća) veličina. Prema tome, proizvodna granica efikasnosti ima karakteristike konstantnih prinosa na opseg. Međutim, ta se pretpostavka može izmijeniti kako bi se skupu proizvodnih mogućnosti omogućile drugačije postavke. Naime, na samim počecima primjene analize omeđivanja podataka predložene su različite nadogradnje CCR modela, među kojima je najznačajniji BCC model, nazvan po inicijalima autora Bankera, Charnesa i Coopera. Kod BCC modela proizvodna granica je opisana konveksnom krivuljom efikasnih DMU subjekata. Proizvodna granica ima po dijelovima krivulje linearne i konkavne karakteristike koje dovode do *varijabilnih* prinosa na opseg obilježenih s a) rastućim prinosima na opseg koji se pojavljuju u prvom segmentu krivulje, nakon čega slijede b) opadajući prinosi na opseg u drugom segmentu, te c) konstantni prinosi na opseg koji se javljaju u točki prijelaza iz prvog u drugi segment.

Inputu-orijentirani BCC model ocjenjuje efikasnost za DMU_o (o = 1,…, n) rješavanjem sljedećeg linearnog programa u formi ovojnice:

$$(BCC_o) \qquad \min \quad \theta_B \tag{4.31}$$

$$\text{uz ograničenja} \quad \theta_B x_o - X\lambda \geq 0 \tag{4.32}$$

$$Y\lambda \geq y_o \tag{4.33}$$

$$e\lambda = 1 \tag{4.34}$$

$$\lambda \geq 0, \tag{4.35}$$

gdje θ_B predstavlja skalar.

Primarni program (BCC_o) rješava se dvo-faznom procedurom sličnoj onoj u slučaju CCR modela. U prvom koraku se minimizira θ_B, nakon čega se u drugom koraku maksimizira zbroj viškova inputa i manjkova outputa, pri $\theta_B = \theta_B^*$ (optimalnoj vrijednosti funkcije cilja). Veza između ocjena dobivenih iz CCR i BCC modela se odražava u tome što je dopustivo područje za (BCC_o) podskup područja CCR modela (zbog dodatnog ograničenja $e\lambda = 1$), pa slijedi da θ_B^* nije manji od θ_B.

U sljedećem dijelu doktorske disertacije prikazuju se metode mjerenja efikasnosti u elektroenergetskom sektoru.

4.3. PRIKAZ METODA MJERENJA EFIKASNOSTI U ELEKTROENERGETSKOM SEKTORU

Mjerenje efikasnosti u elektroenergetskom sektoru ima osobito važnu ulogu. Prije svega, u (elektro)energetskoj industriji može se razlikovati nekoliko koncepata efikasnosti koje se odnose, primjerice, na mjerenje energetske efikasnosti, ocjenjivanje relativne ekološke efikasnosti ili ukupne relativne efikasnosti (elektro)energetskih subjekata, odnosno poduzeća. Dok energetska efikasnost uključuje samo energiju, kao jedini input u proizvodnji outputa, relativna ekološka efikasnost uspoređuje pokazatelje stanja okoliša koji se mogu temeljiti na materijalnim i energetskim stavkama, a definira se kao mjera efikasnosti koja uzima u obzir nepovoljne, tj.

„nepoželjne“ aspekte vrednovanja, odnosno operativnog procjenjivanja ekoloških svojstava DMU subjekata. S druge strane, procjena ukupne relativne efikasnosti poduzeća u elektroenergetskom sektoru polazi od uporabe više proizvodnih faktora (npr. rada, kapitala, te goriva, tj. energije) u procesu stvaranja (jednog ili više) outputa. Osim na spomenutoj mikroekonomskoj razini, potrebno je istaknuti da je mjerenje efikasnosti u elektroenergetskom sektoru moguće provoditi i na makroekonomskoj razini. U tom smislu, procjenjujući energetsku efikasnost, ističe se pristup ukupne faktorske energetske efikasnosti (engl. *total-factor energy efficiency*) koji također može analizirati, kao inpute, sva tri proizvodna faktora te generirati bruto domaći proizvod, kao jedini output (Vlahinić-Dizdarević, Šegota, 2012).

Ocjenjivanje relativne efikasnosti poduzeća u elektroenergetskom sektoru provodi se prvenstveno graničnim metodama, kao što su analiza omeđivanja podataka (DEA) i analiza stohastičke granice (SFA), te ukupnom faktorskom produktivnosti koja sagledava promjene nastale uslijed tehnološkog razvitka. Također, u istraživanjima ocjene relativne efikasnosti nije rijedak slučaj da se istovremeno primjenjuju oba dvije metode, DEA metoda i SFA metoda. Ipak, u mjerenjima relativne efikasnosti prevladava metoda analize omeđivanja podataka. Štoviše, navodi se da većina postojećih istraživanja koja primjenjuju ukupnu faktorsku energetsku efikasnost koristi DEA metodu, odnosno samo tradicionalne CCR i BCC modele. Uz te najzastupljenije modele ocjenjivanja relativne efikasnosti DEA metodom, postoji i više alternativnih modela koji podrazumijevaju drugačije principe i načine provedbe efikasnosti. Ipak, takvi se napredniji DEA modeli, kao i SFA metode, još ne upotrebljavaju u značajnijoj mjeri u ocjenjivanju ukupnog faktora energetske efikasnosti.
Time je metoda analize omeđivanja podataka prihvaćena kao osnovna granična tehnika za sustavno vrednovanje („benchmarking“) različitih subjekata ili sektora, pa tako i elektroenergetskog sektora. Uz relativno velik broj istraživanja, u svakoj od četiri temeljne djelatnosti elektroenergetskog sektora, odnosno u djelatnostima proizvodnje, prijenosa, distribucije i opskrbe električne energije provode se raznovrsne studije analize efikasnosti DEA metodom koje imaju za cilj unaprijediti funkcioniranje elektroenergetskog sektora.

Ocjenjivanje relativne efikasnosti elektroenergetskih subjekata metodom analize omeđivanja podataka može se odrediti pomoću nekoliko tipova, odnosno modela analize omeđivanja

podataka. Oni se mogu razlikovati s obzirom na vrstu prinosa na opseg djelovanja (modeli koji se odnose na konstantne ili varijabilne prinose na opseg) ili na izbor putanje projekcije relativno neefikasnog subjekta na granicu efikasnosti u cilju poboljšanja relativne efikasnosti (modeli koji su orijentirani na smanjenje inputa ili na povećanje outputa). Iako se određivanje relativne efikasnosti provodi u statičkim uvjetima, tj. u određenom vremenskom trenutku, često se u istraživanjima ispituje i dinamička komponenta relativne efikasnosti, odnosno promjena efikasnosti tijekom vremena, koji pristup je poznat pod nazivom „analiza prozora“. Dodatno, uz ocjenjivanje promjene relativne efikasnosti, moguće je odrediti i promjenu produktivnosti pomakom granice koja je nastala uslijed tehnološkog napretka. Promjena takve produktivnosti se najčešće mjeri Malmquistovim indeksom. Tako je, u uvjetima promjene tehnološkog razvitka, metodu analize omeđivanja podataka moguće upotpuniti Malmquistovim indeksom, budući isti predstavlja svojevrsnu nadogradnju metode analize omeđivanja podataka te je s njom u komplementarnom odnosu.

S tim u vezi, u nastavku doktorske disertacije navode se i prikazuju rezultati prethodnih istraživanja relativne efikasnosti u elektroenergetskom sektoru, koja istraživanja se temelje na uporabi metode analize omeđivanja podataka (DEA metodi), s posebnom usmjerenošću na djelatnost proizvodnje električne energije. Pritom će se dati najprije osvrt na dosadašnju (prethodnih autora) uporabu DEA metode u području tradicionalnih izvora energije, a potom će se, u okviru obnovljivih izvora energije, istraživanje usmjeriti na dosadašnje „nalaze“ mjerenja efikasnosti proizvodnje električne energije u vjetroenergetskom sektoru.

4.4. OCJENJIVANJE EFIKASNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA PRIMJENOM METODE ANALIZE OMEĐIVANJA PODATAKA

Primjena metode analize omeđivanja podataka u ocjenjivanju efikasnosti elektroenergetskog sektora pruža uvid u specifičan aspekt funkcioniranja sektora, pojedinih djelatnosti, odnosno elektroenergetskih poduzeća, obilježen efikasnošću poslovanja. Ocjenjivanje efikasnosti posebno dobiva na značaju uspostavom konkurencije u elektroenergetskom sektoru. U konkurentnoj djelatnosti proizvodnje električne energije vrlo često se provodi mjerenje i ocjenjivanja upravo relativne efikasnosti u elektroenergetskom sektoru. U tom vidu, prvotno se analiziraju rezultati

mjerenja efikasnosti u djelatnosti proizvodnje električne energije iz tradicionalnih izvora energije, te potom iz obnovljivih izvora energije.

4.4.1. REZULTATI MJERENJA EFIKASNOSTI U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ TRADICIONALNIH IZVORA ENERGIJE

Nedugo nakon uspostavljanja metodologije, zabilježena je primjena analize omeđivanja podataka u području mjerenja razine efikasnosti, odnosno produktivnosti poduzeća i u području elektroenergetskog sektora. Prvi autori koji su koristili metodu analize omeđivanja podataka u djelatnosti proizvodnje električne energije bili su Färe, Grosskopf i Logan (1983), koji su ocjenjivali efikasnost elektroenergetskih poduzeća u američkoj saveznoj državi Illinois u razdoblju između 1975. i 1979. godine te su ustanovili da je samo nekoliko poduzeća tehnički efikasno u odnosu na druga poduzeća referentnog skupa. Isti autori, koji spadaju u sam vrh znanstveno istraživačkog potencijala prema broju objavljenih publikacija koje uključuju uporabu metode analize omeđivanja podataka (Tavares, 2002), uspoređuju efikasnost javnih i privatnih poduzeća u elektroenergetskom sektoru (Färe, Grosskopf, Logan, 1985). Istraživanjem su potvrdili da su javna poduzeća efikasnija od privatnih te da je neefikasnost posljedica uglavnom pomanjkanja alokativne efikasnosti. Suprotno rezultatima prethodnih autora, pojedine studije pokazuju da ne postoji značajnija razlika u efikasnosti između različitih oblika vlasništva poduzeća ili ekonomskih organizacija u djelatnosti proizvodnje električne energije u OECD državama članicama (Pollitt, 1995).

Produktivnost, kao dopuna i iskorak u ocjenjivanju promjene relativne efikasnosti, podrazumijeva promjenu tehnologije tijekom vremena, a najčešće se mjeri Malmquistovim indeksom. Pri tome je potrebno istaknuti istraživanje skupine autora (Färe, et al., 1990) koji su, među prvima, koristeći Malmquistov indeks produktivnosti, istražili rast produktivnosti 19 elektroenergetskih postrojenja, odnosno elektrana na ugljen u saveznoj državi Illinois u razdoblju od 1975. do 1981. godine. Utvrdili su da su prosječne stope rasta produktivnosti bile relativno stabilne, uz iznimku usporavanja produktivnosti tijekom 1976. i 1977. godine zbog tehnološke stagnacije, te da na razini postrojenja promjena efikasnosti značajno utječe na rast produktivnosti.

Uz samostalnu primjenu metode analize omeđivanja podataka, često se u istraživanjima paralelno upotrebljava i analiza stohastičke granice. Koristeći navedene metode, Coelli (1997) ocjenjuje promjenu ukupne faktorske produktivnosti (TFP metoda) na primjeru 13 elektrana na ugljen u Australiji u razdoblju od 1981. do 1991. godine. Empirijski rezultati su pokazali 16%–tni rast ukupne faktorske produktivnosti u spomenutom vremenskom razdoblju.

Koristeći metodu analize omeđivanja podataka u istraživanju efikasnosti elektroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije, uobičajeno se kao inputi koriste rad, kapital, te gorivo, dok se kao output najčešće ističe proizvedena električna energija.

Primjerice, u Maleziji je provedeno istraživanje efikasnosti elektroenergetskog sektora u djelatnosti proizvodnje električne energije metodom analize omeđivanja podataka, pri čemu je polazna točka bila uspostava politike privatizacije sredinom 1980-ih godina, zbog toga što državna poduzeća nisu bila efikasna. Koristeći dva pristupa, ocjenjivala se tehnička ili proizvodna efikasnost Nacionalnog odbora električne energije (engl. *National Electricity Board* - NEB). Primjenom podataka vremenskog presjeka, u prvom pristupu se ocjenjivala relativna efikasnost NEB-a u usporedbi s 27 ostalih proizvođača električne energije u različitim državama u 1987. godini. U drugom pristupu su se koristili podaci vremenskih serija za razdoblje od 1975. do 1990. godine, uspoređujući relativnu efikasnost NEB-a, Uprave za proizvodnju električne energije u Tajlandu, te Središnjeg odbora proizvodnje električne energije u Ujedinjenom Kraljevstvu. U analizi se primjenjuje inputu-orijentiran DEA model s četiri inputa (instalirani kapaciteti, rad, ukupni gubici elektroenergetskog sustava te faktor kapaciteta državne proizvodnje u prvom pristupu, odnosno toplinska efikasnost u drugom pristupu) i jednim outputom (bruto proizvodnja električne energije). Zaključci istraživanja pokazuju da u Maleziji mogu bili ostvarene neposredne prednosti kontinuiranim poboljšanjima u tehničkoj efikasnosti proizvodnje električne energije, dok promjene vlasništva ne vode poboljšanjima u performansama efikasnosti. Također, uočeno je da nijedna država nije ostvarila konkurentnost u proizvodnji električne energije (Yunos, Hawdon, 1997).

Na primjeru 9 japanskih i 14 američkih vertikalno integriranih elektroenergetskih poduzeća, za razdoblje od 1983. do 1993. godine, uspoređivala se i ocjenjivala proizvodna i troškovna

efikasnost. U modelu se koriste četiri inputa te dva outputa. Prva se tri inputa (instalirani proizvodni kapaciteti, količina upotrijebljenog energetskog resursa, odnosno goriva, te ukupan broj zaposlenih) učestalo primjenjuju za mjerenje performansi efikasnosti elektroenergetskih poduzeća, za razliku od četvrtog inputa (količina kupljene električne energije) koji predstavlja alternativu vlastitim sredstvima poduzeća (potrebnoj energiji) za proizvodnju električne energije. Količina prodane električne energije privatnim potrošačima te količina prodane električne energije ostalim potrošačima (industriji i ostalim djelatnostima, tj. veleprodaja), kao outputi, također se često upotrebljavaju u ovakvim analizama elektroenergetskog sektora. Uz ocjenjivanje relativne efikasnosti metodom analize omeđivanja podataka, u istraživanju se analizira unapređenje produktivnosti tijekom vremenskog razdoblja, i to „međuvremenskim indeksom efikasnosti" koji se smatra posebnom vrstom Malmquistovog indeksa produktivnosti. Empirijski rezultati istraživanja pokazuju da je u promatranom vremenskom razdoblju ukupna troškovna efikasnost japanskih elektroenergetskih poduzeća veća od onih američkih, te da japanska poduzeća imaju trend prekomjernog korištenja kapitala i nedovoljnog korištenja kupljene električne energije za troškovno-minimalnu proizvodnju u uvjetima konstantnih cijena inputa (Goto, Tsutsui, 1997).

Athanassopoulos, Lambroukos, Seiford (1999) primjenom analize omeđivanja podataka u scenarijima postavljanja ciljeva u pravcu postizanja veće efikasnosti elektroenergetskih poduzeća koriste višestruke inpute i outpute. Kao inpute navode potrošnju goriva, troškove rada i kapitala, dok se outputi odnose na proizvedenu električnu energiju i ostvarenje zadanog cilja uporabe postrojenja (udio stvarnog funkcioniranja u odnosu na ciljano djelovanje elektroenergetskog postrojenja). Nadalje, analizom su obuhvaćeni i oni outputi čije vrijednosti bi trebale biti minimalne, tzv. „nepoželjni" (engl. *undesirable*) ili „loši" (engl. *bad*) outputi koji iskazuju štetan ekološki i socijalni utjecaj pri mjerenju i ocjenjivanju (ekološke) efikasnosti, a u radu prethodno istaknutih autora oni predstavljaju nastale nesreće i generirano onečišćenje.

Ocjenjujući relativnu efikasnost 64 konvencionalne elektrane u Južnoj Koreji u 1990. godini, Park i Lesourd (2000) primjenjuju parametarski (ekonometrijski model i model stohastičke granice) te neparametarski pristup (metoda analize omeđivanja podataka). CCR i BCC modelom ocjenjuje se efikasnost 16 elektrana na energetski resurs nafte, 18 elektrana na ugljen, 10

elektrana na prirodni plin, te 20 manjih dizelskih elektrana. Proizvodni faktori, odnosno inputi u modelu predstavljeni su količinom goriva (u tonama ekvivalentne nafte), instaliranim kapacitetima elektrane (u kW), te ukupnom radnom snagom (u broju zaposlenih), dok je output prikazan neto proizvedenom električnom energijom (u MWh). Usporedba BCC efikasnosti elektrana po vrsti goriva, starosti elektrana, kao i po geografskom području provedena je pomoću Student testa i Fisher-Snedecorovog testa (Park, Lesourd, 2000).

Lam i Shiu (2001) u svojoj analizi kao inpute koriste kapital (instalirani kapaciteti postrojenja), gorivo (ukupna potrošnja različitih vrsti goriva, odnosno ugljena, nafte i plina) i rad (broj radnika), a proizvedenu električnu energiju u postrojenjima analiziraju kao jedini output. U istraživanju se ocjenjuje tehnička efikasnost BCC modelom analize omeđivanja podataka na uzorku od 30 kineskih pokrajina, samostalnih regija i općina na temelju podataka vremenskog presjeka za 1995. i 1996. godinu. Rezultati pokazuju da općine i pokrajine uz istočnu obalu Kine te one koje imaju velike količine ugljena ostvaruju najveću razinu tehničke efikasnosti; obzirom da ne postoje dokazi o višku instaliranih kapaciteta, moguća je pojava nestašice električne energije, što predstavlja svojevrsni problem u sigurnosti opskrbe energijom; višak „dopunske“ varijable (engl. *slack*) rada u mnogim regijama označava da je višak radne snage također ozbiljan problem u kineskoj elektroenergetskoj industriji; pokrajine i samostalne regije koje nisu pod kontrolom državne elektroenergetske korporacije postižu veću razinu efikasnosti; strana ulaganja u elektroenergetski sektor nemaju značajan utjecaj na efikasnost; postoje velike razlike u razini relativne efikasnosti između promatranih subjekata, te je svega osam pokrajina ocjenjeno efikasnima u obje analizirane godine (Lam, Shiu, 2001).

Cook i Green (2005) istražuju relativnu proizvodnu efikasnost elektroenergetskih postrojenja, te, s druge strane, pojedine elektroenergetske jedinice, odnosno agregate od kojih se sastoji određeno postrojenje. Tako formirana dvofazna „hijerarhija“ je poseban slučaj opće hijerarhijske strukture u kojoj se ocjenjuju subjekti koji se sastoje od 40 elektroenergetskih jedinica grupiranih u 8 postrojenja. Elektroenergetska postrojenja se pojavljuju u geografski odvojenim područjima, dok se elektroenergetske jedinice nalaze u neposrednoj blizini promatranog postrojenja. Outputi u modelu su radni sati pri punom kapacitetu, te broj prisilnih i iznenadnih zastoja u proizvodnji električne energije. Inputi su iskazani prisilnim poremećajima uzrokovanim kvarom opreme,

ukupnim troškom održavanja (troškovi rada i materijala), te ukupnim satima funkcioniranja izvan pogona. Ističe se da tako formiran dvofazni pristup (postrojenje - agregat) ima manjkavosti, pri čemu određena elektroenergetska jedinica može više ili manje doprinijeti ukupnoj proizvodnji električne energije postrojenja, dok se ekološko svojstvo odnosi samo na postrojenje (svaka elektroenergetska jedinica unutar postrojenja je jednako penalizirana) (Cook, Green, 2005).

Donedavno, rezultati prethodnih istraživanja (cf. Zhou, Ang, Poh, 2008,[22]) upućivali su na zaključak da se navedenom (DEA) metodom u djelatnosti proizvodnje električne energije provodila i ocjenjivala relativna efikasnost isključivo termoenergetskih postrojenja. U ovoj doktorskoj disertaciji se fokus istraživanja „premješta" na obnovljive izvore energije, odnosno na energiju vjetra, koji segment se analizira s posebnom pažnjom, ocjenjujući relativnu efikasnost vjetroenergetskih poduzeća. Također, u odnosu na spoznaje dosadašnjih istraživanja, u nastavku rada fokus istraživanja se „premješta" sa isključivo tehničkih inputa/outputa na ekonomske, dajući im (obzirom na učešće u modelu) jednaki značaj (tri tehnička i tri ekonomska inputa, te jedan tehnički i jedan ekonomski output), koja tematika se elaborira u sljedećem poglavlju rada. Čak i u okviru tehničkih inputa dolazi do svojevrsnog „premještanja" varijabli inputa od radno prema kapitalno intenzivnima, obzirom na nove spoznaje (doktorskog istraživanja) koje se razlikuju u odnosu na rezultate prethodnih istraživanja, a koje upućuju na irelevantnost faktora rada u djelatnosti proizvodnje električne energije iz energije vjetra. Spomenuto se smatra doprinosom u istraživanju ove tematike i iskorakom u odnosu na spoznaje postojećih autora koji su se bavili istim područjem istraživanja, te ujedno predstavlja svojevrsnu najavu sljedećeg kapitalnog 5. poglavlja rada.

Prije toga, u nastavku se prikazuju rezultati prethodnih istraživanja vezani uz mjerenje efikasnosti u djelatnosti proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije.

[22] U radu istaknutih autora je analiziran pregled literature u kojem se klasificira 100 publikacija o primjeni analize omeđivanja podataka u znanstveno istraživačkim radovima energetske i ekološke tematike.

4.4.2. REZULTATI MJERENJA EFIKASNOSTI U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Zbog svojih specifičnih karakteristika, u uvjetima sve snažnijeg rasta i razvoja obnovljivih izvora energije, primjena metode analize omeđivanja podataka nalazi svoje mjesto u ocjenjivanju efikasnosti i u području proizvodnje električne energije. S obzirom na sve veći značaj energije vjetra u obnovljivim izvorima energije, ocjenjivanje efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća ili pojedinih vjetroagregata pojavljuje se kao logičan izbor (cf. Maradin, Cerović, 2014).

Jedno od rijetkih istraživanja ovog segmenta obnovljivih izvora energije (vjetra) provedeno je u Španjolskoj, potaknuto činjenicom da je u 2007. godini čak 10% ukupne potražnje električne energije dobiveno iz energije vjetra (Iglesias, Castellanos, Seijas, 2010). U razdoblju od 2001. do 2004. godine u Španjolskoj je ocjenjena proizvodna efikasnost skupine od 57 vjetroelektrana, odnosno vjetroagregata koji su priključeni na prijenosnu ili distribucijsku mrežu, pomoću graničnih metoda analize omeđivanja podataka i analize stohastičke granice. U ocjenjivanju relativne efikasnosti vjetroelektrana razmatraju se tri inputa (kapital, rad i gorivo) i jedan output (proizvedena električna energija). Pritom, kapital predstavlja instalirani kapacitet vjetroelektrane (instalirana snaga izražena u MW); rad se odnosi na broj zaposlenih radnika s punim radnim vremenom u poslovima funkcioniranja, održavanja i kontroliranja postrojenja; a gorivo, u osnovi, predstavlja vjetar koji je trenutno prisutan (djeluje) u području rotora vjetroagregata, pri čemu gorivo po jedinici vremena (izraženo u MWh) uključuje vjetroagregate zajedno s njihovom jedinicom površine, gustoćom zraka i brzinom vjetra. Output predstavlja količinu električne energije koja je isporučena u prijenosnu ili distribucijsku mrežu (izraženo u MWh). Istraživanje je pokazalo da postoji velika podudarnost između rezultata tehničke efikasnosti dobivenih pomoću obje metode. Utvrdila se visoka prosječna tehnička efikasnost, veća od 75%, prema rezultatima jedne i druge metode. Ipak, rezultati se moraju promatrati s oprezom zbog ograničenog broja promatranih vjetroelektrana i vremenskog razdoblja istraživanja (Iglesias, Castellanos, Seijas, 2010).

Za razliku od ocjenjivanja relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, u istraživanju na primjeru komercijalnih kopnenih vjetroagregata (usmjerenost istraživanja na vrste vjetroagregata) se provodi analiza orijentirana podacima (engl. *data-centric analysis*), te se sustavno vrednuju DMU (engl. *Decision Making Units*) jedinice putem analize omeđivanja podataka, vizualne analize podataka (engl. *visual data analysis*), te testiranja statističkih hipoteza. Relativna efikasnost 74 vjetroagregata, čiji proizvođači su klasificirani u prvih deset najboljih u svijetu, ocjenjuje se BCC outputu-orijentiranim modelom. S obzirom da su u analizu uključeni isključivo vjetroagregati, tehnička obilježja varijabli se odnose na promjer rotora vjetroagregata i nominalnu brzinu vjetra (inpute), te nominalnu proizvodnju električne energije (output) (Ertek et al., 2012).

Sarıca i Or (2007) uspoređuju performanse elektroenergetskih postrojenja u djelatnosti proizvodnje električne energije, i to 65 termoelektrana na prirodni plin, ugljen i naftu, te hidroelektrane i vjetroelektrane, koje su u privatnom i državnom vlasništvu. Metodom analize omeđivanja podataka se definiraju i ispituju dva indeksa efikasnosti, prikazani operativnim i investicijskim performansama. U studiji je potvrđeno da vjetroelektrane imaju najveći rezultat relativne efikasnosti u navedenim performansama modela, koji pokazatelj predstavlja njihov visoki budući potencijal.

U već najavljenom, empirijskom dijelu doktorske disertacije slijedi prikaz metodologije i rezultata istraživanja dobivenih primjenom metode analize omeđivanja podataka u ocjenjivanju efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća država Europske unije i Republike Hrvatske.

5. UPORABA METODE ANALIZE OMEĐIVANJA PODATAKA U OCJENJIVANJU EFIKASNOSTI VJETROENERGETSKIH PODUZEĆA EUROPSKIH ZEMALJA I REPUBLIKE HRVATSKE

U empirijskom dijelu doktorske disertacije provedeno je istraživanje sa svrhom utvrđivanja ekonomskih i tehničkih čimbenika od utjecaja na efikasnost vjetroenergetskih poduzeća, te ocjenjivanja njihove relativne efikasnosti metodom analize omeđivanja podataka u okviru vremenskog razdoblja od jedne kalendarske godine, s fokusom na 2011. godinu.

Kao što je moguće uočiti iz podtočaka koje slijede, najprije se provodi odabir i potvrda korelacije inputa i outputa u modelu, a zatim se analiza usmjerava na odabir adekvatnog modela analize omeđivanja podataka s obzirom na prinose na opseg i orijentaciju. U nastavku se provodi ocjenjivanje relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije na uzorku od čak 78 vjetroenergetskih poduzeća smještenih u Republici Hrvatskoj te ostalim državama članicama Europske unije, a kao godina promatranja izabrana je 2011. Poglavlje se zaključuje definiranjem izvora i opsega neefikasnosti analiziranih vjetroenergetskih poduzeća.

5.1. ODABIR I POTVRDA KORELACIJE INPUTA I OUTPUTA U MODELU

U istraživanju je, između dvjestotinjak vjetroenergetskih poduzeća, obuhvaćeno i analizirano 78 vjetroenergetskih poduzeća iz Republike Hrvatske i izabranih država članica Europske unije, tj. iz Bugarske, Grčke, Irske, Italije, Njemačke, Poljske, Portugala, Rumunjske, Španjolske, Švedske i Velike Britanije. Formirajući uzorak istraživanja, korištenjem dviju relevantnih baza podataka („Amadeus“ i „The Wind Power“), prvotno su se selektirala vjetroenergetska poduzeća iz svih energetskih poduzeća koja proizvode električnu energiju u državama članicama Europske unije i ostalim europskim državama. Od ukupnog broja vjetroenergetskih poduzeća, njih nekoliko tisuća, odabrano je dvjestotinjak vjetroenergetskih poduzeća prema kriteriju dostupnosti faktora broja zaposlenih radnika, kao svojevrsnog polazišta prilikom formiranja modela. Potom je bilo potrebno odrediti ona vjetroenergetska poduzeća koja imaju raspoložive podatke uključene u obje spomenute baze podataka, te ih objediniti. Zbog nedostupnih podataka u navedenim bazama

podataka, ali i podataka „nesrodne prirode“, pri čemu je 18 vjetroenergetskih poduzeća sadržavalo više vjetroagregata različite instalirane snage koji, kao takvi, nisu adekvatni u istraživanju, broj vjetroenergetskih poduzeća kao i država u uzorku istraživanja se postepeno smanjivao do navedenih veličina.

Uzorkom su obuhvaćena samo ona poduzeća koja za proizvodnju električne energije (i njezinu predaju u elektroenergetsku mrežu) koriste energiju vjetra. Navedeno predstavlja jedinu djelatnost promatranih poduzeća te su time iz uzorka isključena ona energetska poduzeća koja proizvode električnu energiju iz različitih energetskih resursa. Time je zadovoljena jedna od temeljnih pretpostavki metodologije analize omeđivanja podataka da su poduzeća međusobno usporediva te da djeluju u sličnim uvjetima.

Uvažavajući ostale pretpostavke metodologije (koje će se pojasniti u nastavku doktorske disertacije) te proučavajući relevantnu literaturu u kojoj se primjenom analize omeđivanja podataka ocjenjuje relativna efikasnost subjekata u djelatnosti proizvodnje električne energije, postupnim analizama i mjerenjima utvrđeni su relevantni čimbenici koji doprinose unapređenju efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća. Promatrani kao inputi i outputi modela, spomenuti čimbenici opisuju ekonomska i tehnička obilježja potrebna za normalan rad i odvijanje proizvodnje pojedinog vjetroenergetskog poduzeća.

Osnovni pristup teorijskog određenja proizvodnog procesa poduzeća je klasična tehnologija proizvodnje opisana Cobb-Douglasovom proizvodnom funkcijom, a koja se u okvirima elektroenergetske djelatnosti kao proizvodna funkcija električne energije može definirati sljedećom općom formulom:

$$E = f(L, K, F) \tag{6.1}$$

gdje je *E* proizvedena električna energija, *L* rad, *K* kapital, a *F* gorivo, pri čemu gorivo/energetski resurs prema klasičnoj ekonomskoj teoriji predstavlja prirodni izvor, odnosno proizvodni faktor zemlje. Tako pojednostavljene varijable će se u modelu ocjene relativne efikasnosti

vjetroenergetskih poduzeća prilagoditi i modificirati specifičnostima obnovljivih izvora energije u segmentu energije vjetra.
U ovoj doktorskoj disertaciji podaci za varijable kojima se ocjenjuje relativna efikasnost vjetroenergetskih poduzeća su preuzeti iz različitih sekundarnih izvora podataka. Podaci ekonomskih veličina su preuzeti iz baze podataka Amadeus (https://amadeus.bvdinfo.com), podaci tehničkih veličina iz baze podataka vjetroagregata i vjetroelektrana „The Wind Power" (http://www.thewindpower.net), dok se podaci brzine vjetra i gustoće zraka temelje na metodologiji ECMWF ERA-Interim i dostavljeni su, na upit, od www.SANDER-PARTNER.com.

Relativna efikasnost vjetroenergetskih poduzeća ocjenjuje se tehničkim, fizikalnim (brzina, gustoća i drugo) te monetarnim jedinicama koje odrednice generiraju ukupnu ekonomsku efikasnost poduzeća. Upravo korištenje inputa i outputa s iskazanim različitim mjernim jedinicama predstavlja jednu od važnih karakteristika i prednosti primjene metodologije analize omeđivanja podataka.

Inputi i outputi modela doktorske disertacije su utvrđeni i prikazani sljedećim varijablama:

Inputi:

1. ***snaga vjetroagregata*** predstavlja nominalnu instaliranu snagu pojedinog vjetroagregata u vjetroenergetskom poduzeću (iskazano u kilovatima – kW);
2. ***broj vjetroagregata*** odnosi se na niz blisko smještenih vjetroagregata koji su istog tipa te izloženi istom vjetru;
3. ***gorivo*** predstavlja brzinu prijenosa energije vjetra u vjetroagregatu koja se pretvara u iskoristivu električnu energije (iskazano u kW);
4. ***dugotrajna materijalna imovina*** opisuje vrijednost vjetroenergetskih postrojenja, odnosno vjetroelektrana (iskazano u tisućama eura);
5. ***potraživanja i ostala kratkotrajna imovina*** obuhvaća potraživanja na ime državnih potpora i poticaja ili poslovnih subjekata za predanu električnu energiju u elektroenergetsku mrežu, te potraživanja od grupacije i povezanih društava, potraživanja za dane kratkoročne predujmove, vremenska razgraničenja, potraživanja s osnove

kratkotrajnih financijskih ulaganja, te ostala kratkotrajna financijska imovina (iskazano u tisućama eura);

6. ***novac & novčani ekvivalenti*** predstavljaju ukupna novčana likvidna sredstva, tj. novac u banci i/ili blagajni koji posjeduje vjetroenergetsko poduzeće (iskazano u tisućama eura).

Outputi:

1. ***proizvedena električna energija*** predstavlja procijenjenu godišnju proizvodnju električne energije vjetroenergetskog poduzeća, uz pretpostavku maksimalne iskorištenosti instaliranih kapaciteta od 2300 sati godišnje (iskazano u gigavat-satima – GWh);
2. ***EBITDA*** (engl. earnings before interest, taxes, depreciation and amortization) označava dobit prije kamata, poreza, deprecijacije i amortizacije, pokazatelj je financijskog rezultata poduzeća te predstavlja podatak o „čistom" profitu poduzeća (iskazano u tisućama eura).

Tehnička obilježja vjetroenergetskog poduzeća odnose se na tehničke vrijednosti pojedine vjetroelektrane koje čine snagu i broj vjetroagregata te gorivo. Sam vjetroagregat predstavlja temeljnu komponentu poduzeća. Naravno, veća instalirana snaga vjetroagregata omogućuje i veću proizvodnju električne energije. Osim instalirane snage važno je poznavati i broj vjetroagregata u određenom vjetroparku, odnosno poduzeću. Njihov umnožak označava ukupnu nominalnu snagu energetskog poduzeća. Ipak, kako bi se što kvalitetnije ocijenila relativna efikasnost vjetroenergetskih poduzeća nužno je zasebno sagledati i mjeriti instaliranu snagu te broj vjetroagregata pojedinog poduzeća. Posljednji tehnički input potreban za funkcioniranje vjetroenergetskog poduzeća je gorivo koje se koristi u proizvodnji električne energije. Ono u suštini predstavlja vjetar, odnosno brzinu vjetra koja je egzogeni faktor te ovisi o atmosferi. Pregledom literature (prethodna istraživanja) utvrđeno je da sama brzina vjetra nije dovoljno značajna i kvalitetna varijabla u izračunavanju relativne efikasnosti, već je potrebno odrediti precizniju mjeru kojom će se promatrati input goriva. U nastavku se prikazuje proces formiranja inputa (varijable) goriva:

E_k = kinetička energija (J) | $\frac{dm}{dt}$ = brzina protoka mase (kg/s) | x = udaljenost (m)

m = masa (kg) | $\frac{dE}{dt}$ = brzina protoka energije (J/s) | t = vrijeme (s)

v = brzina vjetra (m/s)[23] | ρ = gustoća zraka (kg/m^3)[24] | r = polumjer lopatice rotora (m)

P = snaga (W) | A = površina rotora vjetroagregata (m^2) | C_p = koeficijent snage

N = broj vjetroagregata

Polazeći od energije vjetra koju ona ima pri gibanju, kinetička energija mase u pokretu dana je jednadžbom:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (6.2)$$

Snaga vjetra je brzina prijenosa ili promjena energije koja je prikazana sljedećom jednadžbom:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} v^2 \frac{dm}{dt} \quad (6.3)$$

Kako je brzina protoka mase

$$\frac{dm}{dt} = \rho A \frac{dx}{dt} \quad (6.4)$$

te brzina promjene udaljenosti,

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (6.5)$$

tada je $$\frac{dm}{dt} = \rho A v \quad (6.6)$$

dok je površina rotora vjetroagregata polumjer lopatice rotora opredijeljen jednadžbom za površinu kruga:

$$A = \pi r^2 \quad (6.7)$$

Stoga, uključujući jednadžbu (6.3) i (6.6), snaga vjetra, za „ukupno“ vjetroenergetsko poduzeće pri određenom broju vjetroagregata, može biti definirana kao

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 N \quad (6.8)$$

Naposljetku, kinetička energija vjetra u struji zraka u vremenu *t* dobiva se množenjem snage vjetra s vremenom. Valja istaknuti da se ukupna kinetička energija vjetra ne može u potpunosti

[23] Veličina brzine vjetra je prosječna brzina vjetra izmjerena na području vjetroenergetskog poduzeća svaki dan od 1.1.2011. do 31.12.2011. godine, svaka tri sata, odnosno u 00:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 sati na visini od 50, 100 ili 150 metara iznad razine tla ovisno o visini stupa, tj. visini glavine (čvorište lopatica rotora) pojedinog vjetroagregata.

[24] Veličina gustoće zraka je prosječna gustoća zraka izmjerena na području vjetroenergetskog poduzeća svaki dan od 1.1.2011. do 31.12.2011. godine, svaka tri sata, odnosno u 00:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 sati na visini od 50 metara iznad razine tla.

iskoristiti u vjetroturbini u kojoj se ta energija pretvara u mehaničku energiju. Navedeno je ustanovio njemački fizičar Albert Betz koji je 1919. godine došao do zaključka da vjetroturbina ne može pretvoriti više od 16/27 (59.3%) kinetičke energije vjetra u mehaničku energiju. To je poznato kao Betz-ov zakon ili Betz-ova granica. Stoga je teoretski maksimum efikasnosti energije bilo kojeg vjetroagregata 0.59, a naziva se „koeficijentom snage“ i označava kao:

$$C_p = 0{,}59 \tag{6.9}$$

Kako bi se u cijelosti sagledao input goriva, u jednadžbu (6.8) je potrebno uključiti i Betz-ov koeficijent (6.9), što implicira konačnu varijablu goriva oblika:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p N \tag{6.10}$$

Moguće je zaključiti da je varijabla goriva (P) opredjeljenja gustoćom zraka (ρ), površinom rotora vjetroagregata (A), brzinom vjetra (v), koeficijentom snage (C_p) i brojem vjetroagregata (N). Nedvojbeno je, dakle, da je brzina vjetra tek jedna od komponenti koja kao takva ne bi u potpunosti izrazila kompleksnost ovog inputa. Stoga, ponovo se ističe kvaliteta ovako oblikovane varijable gorivo, kao značajni doprinos u kreiranju inputa modela ove doktorske disertacije.

U radovima prethodnih istraživanja koja su ocjenjivala relativnu efikasnost primjenom analize omeđivanja podataka, varijabla gorivo nije predstavljena u ovako kompleksnom izrazu kao u ovom modelu doktorske disertacije, nego je opisana samo jednim njegovim dijelom. Iglesias, Castellanos, Seijas (2010), ocjenjujući tehničku (proizvodnu) efikasnost skupine od 57 vjetroelektrana u španjolskoj pokrajini Galiciji, definiraju varijablu gorivo jednadžbom

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3, \tag{6.11}$$

ne uzimajući u obzir ograničeni faktor efikasnosti transformacije energije u vidu Betz-ovog koeficijenta. Navedeni koeficijent upotpunjuje varijablu gorivo osiguravajući potrebno ograničenje u iskorištavanju energije vjetra. U sljedećem radu ocjenjivanja relativne efikasnosti 74 komercijalna kopnena vjetroagregata čiji proizvođači su klasificirani u prvih deset u svijetu, Ertek et al. (2012) analiziraju varijablu gorivo samo pomoću nominalne brzine vjetra, navodeći da glavni problem u odabiru varijabli modela predstavlja dostupnost podataka. Konačno, niti jedan od autora nije odredio broj vjetroagregata (N) kao samostalnu varijablu, već se u literaturi sagledava ukupna instalirana snaga vjetroelektrane, dok se u doktorskoj disertaciji ona raščlanjuje na instaliranu snagu vjetroagregata i broj vjetroagregata, kojim varijablama se daje detaljniji

prikaz tehničkih obilježja pojedinog vjetroenergetskog poduzeća, odnosno postiže jasnije određenje u vidu potencijalnih poboljšanja određene varijable u cilju unapređenja relativne efikasnosti.

Brzina vjetra i gustoća zraka su zadani atmosferom, odnosno poduzeće nema utjecaja nad njima te ih ne može izravno kontrolirati. Takve varijable čija se vrijednost ne može mijenjati upravljanjem poduzeća nazivaju se nekontrolabilni inputi. Međutim, u varijabli goriva, brzina vjetra i gustoća zraka predstavljaju mali iznos u odnosu na površinu rotora vjetroagregata. Kako je rotor vjetroagregata kontrolabilni čimbenik koji se može mijenjati i prilagođavati potrebama poduzeća u procesu planiranja proizvodnje, varijabla goriva će se u modelu, uz uvjete ceteris paribus, predstaviti kao kontrolabilni input.

Kao značajna tehnička varijabla vjetroenergetskog poduzeća, rotor vjetroagregata, odnosno promjer rotora razmatrao se prvobitno, kao samostalna varijabla, te kao takav planirao uključiti u istraživanje i ocjenjivanje relativne efikasnosti poduzeća. Preliminarnim mjerenjima utvrđena je izrazito visoka korelacija između promjera rotora i snage vjetroagregata, što je i razumljivo s obzirom da veliki vjetroagregati (odnosno vjetroagregati visoke instalirane snage) imaju i jako velike lopatice rotora. Visoka povezanost između spomenutih varijabli može „iskriviti“ rezultat relativne efikasnosti te je stoga, u skladu s pretpostavkama DEA metode, input rotora vjetroagregata izostavljen iz analize. Ipak, rotor vjetroagregata, tj. lopatica rotora je posredno uključena u istraživanje putem inputa goriva.

Faktor rada (L) se u proizvodnoj funkciji pojavljuje kao jedan od osnovnih čimbenika proizvodnje. Iako u poduzeću i proizvodnji, općenito, input rada ima vrlo često značajnu ulogu, u vjetroenergetskom poduzeću input rada nije prijeko potreban jednom kada vjetroelektrana počne s djelovanjem. To je zbog toga što je proizvodnja električne energije iz energije vjetra visoko tehnološki automatizirana. Studije pokazuju da je za 20 MW instaliranih kapaciteta vjetroelektrana potreban tek jedan ili dva stalno zaposlena radnika koji će upravljati i održavati vjetroenergetsko postrojenje tijekom njegovog 20 do 30-godišnjeg očekivanog vijeka. Navodi se da je u fazi upravljanja i održavanja životnog ciklusa postrojenja prisutan nizak stupanj stvaranja novih radnih mjesta, dok je srednji stupanj u kategoriji tehnološkog razvoja, a visok u instalaciji i

demontaži postrojenja (Llera et al., 2010). Nadalje, većina „lokalnih“ radnika u industriji vjetra je privremeno zaposlena tijekom postavljanja, odnosno instalacije vjetroagregata, dok razina stručnosti i specijalizacije u tehničkom održavanju ili popravljanju neispravnih komponenti postrojenja ne mora biti visoka, za razliku od faze instalacije/rastavljanja vjetroagregata te osobito tehnološkog razvoja agregata (Simas, Pacca, 2013). Pored navedenog, u istraživanju je utvrđena neznatna korelacija između inputa rada, odnosno broja radnika u vjetroenergetskom poduzeću i ostalih promatranih varijabli, što potvrđuje pretpostavku da njihove povezanosti gotovo i nema. Stoga je input rada ispušten iz modela ocjenjivanja relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, suprotno sugestijama pojedinih autora (Iglesias, Castellanos, Seijas, 2010). Navedeno je dodatno opravdano činjenicom da otprilike polovica vjetroenergetskih poduzeća obuhvaćenih uzorkom nema niti jednog zaposlenog radnika u promatranoj 2011. godini. U opredjeljivanju inputa rada, prednost se dala nemonetarnoj veličini (broju radnika), obzirom da podatak o troškovima osoblja nije bio dostupan.

Nakon tehničkih obilježja vjetroenergetskih poduzeća, slijedi prikaz **ekonomskih obilježja** varijabli modela predstavljenih u izrazu dugotrajne materijalne imovine, potraživanja i ostale kratkotrajne imovine, te novca i novčanih ekvivalenata poduzeća.

Dugotrajna materijalna imovina je, prema Hrvatskom standardu financijskog izvještavanja[25] (HSFI 6), imovina (Narodne novine, 2008): (a) koju poduzeće posjeduje za korištenje u proizvodnji proizvoda ili isporuci roba ili usluga, za iznajmljivanje drugima ili u administrativne svrhe; (b) koja se očekuje koristiti duže od jednog razdoblja te (c) koja je namijenjena za korištenje na neprekidnoj osnovi u svrhu aktivnosti društva. U poslovanju zadržava isti pojavni oblik duže od godine dana i neće biti utrošena u jednom poslovnom ciklusu. Bitna karakteristika dugotrajne imovine je postojanje određenog stupnja izvjesnosti da će se njezinom uporabom ostvariti buduća ekonomska korist. Kod vjetroenergetskog poduzeća ona u svom najznačajnijem dijelu predstavlja vrijednost vjetroenergetskog postrojenja, odnosno vjetroagregata, pored ostalih oblika dugotrajne materijalne imovine (nekretnina, oprema, zemljište i drugo). Iako se dugotrajna materijalna imovina u poslovanju poduzeća koristi duži niz godina, u ovoj doktorskoj disertaciji se doprinos imovine efikasnosti poslovanja vrednuje i mjeri samo tijekom razdoblja od jedne

[25] Hrvatski standardi financijskog izvještavanja se temelje na hrvatskoj računovodstvenoj teoriji i praksi, odrednicama Međunarodnih standarda financijskog izvještavanja, kao i na IV. i VII. direktivi Europske unije.

kalendarske godine. Time se u DEA analizi izlazi iz „analize prozora“ (engl. *window analysis*) kojom se ocjenjuje relativna efikasnost poduzeća tijekom dužeg vremenskog perioda. U tom smislu, irelevantno je analizom obuhvatiti cjelokupni životni vijek vjetroenergetskog poduzeća, već samo vrijednost u promatranoj 2011. godini. Neizravno, cjeloživotni trošak poduzeća (engl. *whole life costing*) je obuhvaćen varijablom dugotrajne materijalne imovine u dijelu ostatka vrijednosti imovine.

Kratkotrajna imovina je imovina koja ispunjava sljedeće uvjete (Narodne novine, 2009): (a) očekuje se da će se realizirati ili se namjerava prodati ili potrošiti u redovnom tijeku poslovanja; (b) prvenstveno se drži radi trgovanja; (c) očekuje se da će se realizirati unutar dvanaest mjeseci nakon izvještajnog razdoblja te (d) predstavlja novac ili novčani ekvivalent (kako je određeno u Međunarodnom računovodstvenom standardu (MRS-u) 7), osim ako mu je ograničena mogućnost razmjene ili uporabe za podmirenje obveza u razdoblju od najmanje dvanaest mjeseci nakon izvještajnog razdoblja. Kratkotrajna imovina vjetroenergetskih poduzeća odnosi se na potraživanja poduzeća i ostalu kratkotrajnu imovinu te novac poduzeća, odnosno novčane ekvivalente. Potraživanja u kontekstu vjetroenergetskih poduzeća prvenstveno predstavljaju potraživanja za isporučenu električnu energiju u elektroenergetsku mrežu od raznih državnih tijela, agencija, poslovnih subjekata ili operatora tržišta energije, kao što je to slučaj u Republici Hrvatskoj. Država putem svojih potpora i poticaja otkupljuje električnu energiju proizvedenu od strane vjetroenergetskih poduzeća te na taj način nastoji potaknuti i pospješiti daljnji razvoj obnovljivih izvora energije u segmentu energije vjetra. Ostala kratkotrajna imovina obuhvaća moguća potraživanja od grupacije i povezanih društava, potraživanja za dane kratkoročne predujmove, vremenska razgraničenja, potraživanja s osnove kratkotrajnih financijskih ulaganja, te ostalu kratkotrajnu financijsku imovinu.

Iako su novac i novčani ekvivalenti najlikvidniji oblik kratkotrajne imovine, za potrebe doktorske disertacije izdvaja se kao zasebna kategorija podložna detaljnijoj analizi. Novac s kojim raspolaže vjetroenergetsko poduzeće prema MRS-u 7 obuhvaća novac u blagajni i depozite po viđenju s rokom dospijeća do godine dana, a novčani ekvivalenti predstavljaju uloge novca koji se mogu brzo konvertirati u poznate iznose novca i podložni su beznačajnom riziku promjene vrijednosti.

Potrebno je istaknuti da ranije spomenuti radovi (rezultati prethodnih istraživanja) u modelima ocjenjivanja relativne efikasnost ne analiziraju ekonomska obilježja vjetroelektrana izražena u

monetarnim jedinicama, kao što su prikazana u modelu ove doktorske disertacije. Time se u prethodnim istraživanjima ne ocjenjuje cjenovna (alokativna) efikasnost subjekata, već se ističe samo njihova tehnička (proizvodna) efikasnost. Kao tehnička obilježja vjetroelektrana, Iglesias, Castellanos, Seijas (2010) upotrebljavaju ukupnu nominalnu snagu, odnosno instalirane kapacitete vjetroelektrana i prethodno predstavljenu varijablu gorivo kao inpute u modelu, dok električnu energiju isporučenu u distribucijsku ili prijenosnu mrežu predstavljaju kao output. S druge strane, Ertek et al. (2012) u modelu koriste tri ključne varijable nužne za funkcioniranje vjetroagregata, a odnose se na promjer rotora, nominalnu brzinu vjetra i nominalni output, tj. električnu energiju proizvedenu vjetroagregatom. Uključivanje i analiziranje, u ovoj doktorskoj disertaciji, tehničkih i ekonomskih obilježja u modelu ocjenjivanja relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća osigurava provedbu cjelovite analize poduzeća te ocjenjivanje njihove ukupne ekonomske efikasnosti.

Za razliku od termoelektrana koje imaju u zalihama velike količine fosilnih goriva, zbog svojih specifičnosti u načinu obavljanja gospodarske djelatnosti, vjetroenergetska poduzeća ne posjeduju zalihe (goriva ili materijala) u proizvodnji električne energije iz energije vjetra. Također, u analizi ocjenjivanja relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća nije uključena niti varijabla dugotrajne nematerijalne imovine iz razloga što je u prosjeku utvrđena, kao kod varijable rada, izrazito niska korelacija između dugotrajne nematerijalne imovine i drugih varijabli u istraživanju. Gotovo 2/3 od ukupnog broja poduzeća u uzorku nema pozitivnu vrijednost dugotrajne nematerijalne imovine, odnosno vrijednost iznosi nula (0) te je stoga isključena iz analize kao irelevantna.

Osim šest predstavljenih varijabli koje se odnose na **inpute** u modelu, u istraživanju se upotrebljava i dva **outputa**, proizvedena električna energija koja predstavlja tehničko obilježje i dobit prije kamata, poreza, deprecijacije i amortizacije (EBITDA) koja predstavlja ekonomsku varijablu. Proizvedena električna energija, kao jedini proizvodni output u tehničko-tehnološkom procesu, nastaje djelovanjem energije vjetra u vjetroagregatu. Kinetička energija vjetra se prvotno pretvara u mehaničku energiju te potom u električnu energiju. Jednom kada je električna energija proizvedena mora se isporučiti u elektroenergetsku mrežu da bi se transferirala do krajnjih korisnika i imala uporabnu vrijednost. Drugi output koji se primjenjuje u modelu je dobit prije

kamata, poreza, deprecijacije i amortizacije (EBITDA). Ta varijabla izravno ukazuje na uspješnost poduzeća, odnosno financijski rezultat poduzeća u promatranoj 2011. godini. Osim u analizama profitabilnosti, EBITDA se može koristiti i u ocjenjivanju relativne efikasnosti poduzeća, jer eliminira efekte odluka o financiranju, propisanim poreznim stopama te primjene različitih računovodstvenih politika.

Kao što je moguće uočiti, u izboru inputa i outputa modela postignuta je svojevrsna ravnoteža s motrišta varijabli tehničke i ekonomske prirode, te konačni oblik modela uključuje tri tehnička i tri ekonomska inputa, te jedan tehnički i jedan ekonomski output. Spomenuti odnos i njihov značaj u modelu elaborirat će se u nastavku doktorske disertacije.

Nakon odabira odgovarajućih varijabli inputa i outputa u modelu ocjenjivanja relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, u nastavku se prezentira statistika promatranih varijabli korištenih primjenom metode analize omeđivanja podataka. Navedeno se predstavlja u narednoj tablici 8.

Tablica 8. Statistika inputa i outputa u DEA modelu u 2011. godini

	Snaga vjetroagreg. (kW)	Broj vjetroagregata	Gorivo (kW)	Dugotrajna materijalna imovina (u 1000 €)	Potraživanja i ostala kratkotrajna imovina (u 1000 €)	Novac & novčani ekvivalenti (u 1000 €)	Proizvedena električna energija (GWh)	EBITDA (u 1000 €)
Max	3.600	59	58.406,6	278.774,772	30.628,051	11.856,335	317	51.223,406
Min	225	1	37,44	35,794	0	3,703	0,5	23,021
Prosjek	1.532,31	12,22	3.352,78	28.533,42	2.531,88	1.085,57	50,82	20.502,54
SD	743,88	13,61	7.244,95	48.586,29	5.048,70	2.210,60	64,34	5.410,38

Izvor: Obrada autora

Zbog činjenice da je nekolicina vjetroenergetskih poduzeća ostvarivala gubitak u poslovanju u 2011. godini, pri čemu jedno poduzeće najveći gubitak od 17.977 novčanih jedinica (eura), te kao takva nisu prikladna za ocjenu relativne efikasnosti, potrebno je istaknuti da su sve vrijednosti u varijabli EBITDA uvećane za 18.000 novčanih jedinica (eura). Time se anulirala negativna vrijednost varijable i omogućilo ocjenjivanje relativne efikasnosti poduzeća pozitivnim vrijednostima koje predstavlja jednu od važnih pretpostavki metode analize omeđivanja podataka. Valja dodati da su ovakve intervencije u skladu s pretpostavkama DEA metode, a isto se pojašnjava u nastavku. Kao što nisu moguće negativne vrijednosti, tako se u matematičkom programiranju DEA metode vrijednost nula (0) zamjenjuje jako malom pozitivnom vrijednošću

(10^{-8}) uz identičan rezultat relativne efikasnosti. U odabiru prikladnih varijabli inputa i outputa, nužno je pretpostaviti njihovu pozitivnu korelaciju koja se prikazuje u sljedećoj tablici 9.

Tablica 9. Koeficijenti korelacije inputa i outputa u 2011. godini

Inputi / Outputi	Snaga vjetroagreg.	Broj vjetroagreg.	Gorivo	Dugotr. materijalna imovina	Potraživanja i ostala kratkotrajna imovina	Novac & novčani ekvivalenti	Proizv. električna energija	EBITDA
Snaga vjetroagregata	1	0,31785	0,57090	0,59348	0,56465	0,24565	0,63882	0,42646
Broj vjetroagregata	0,31785	1	0,36450	0,47539	0,36044	0,52659	0,82461	0,42017
Gorivo	0,57090	0,36450	1	0,73091	0,74333	0,15455	0,60462	0,76311
Dugotrajna materijalna imovina	0,59348	0,47539	0,73091	1	0,79896	0,40034	0,70274	0,51119
Potraživanja i ostala kratkotrajna imovina	0,56465	0,36044	0,74333	0,79896	1	0,24161	0,57891	0,55767
Novac & novčani ekvivalenti	0,24565	0,52659	0,15455	0,40034	0,24161	1	0,49267	0,48107
Proizvedena električna energija	0,63882	0,82461	0,60462	0,70274	0,57891	0,49267	1	0,50376
EBITDA	0,42646	0,42017	0,76311	0,51119	0,55767	0,48107	0,50376	1

Izvor: Obrada autora

Iz tablice 9 se uočava da su koeficijenti korelacije inputa i outputa pozitivni te da je njihova povezanost značajna. Visoka korelacija varijabli se javlja kod broja vjetroagregata i proizvedene električne energije. Oni izrazito ovise jedan o drugome, odnosno kada vrijednost broja vjetroagregata raste, raste i vrijednost proizvedene električne energije. S druge strane, iako je značajna povezanost varijabli broja vjetroagregata i EBITDA, odnosno dobiti prije kamata, poreza, deprecijacije i amortizacije, njihova je korelacija između promatranih inputa i outputa u modelu najniža. Nakon odabira varijabli inputa i outputa te prikazanih koeficijenata korelacije, u nastavku se prezentira izbor odgovarajućeg DEA modela s obzirom na prinose na opseg.

5.2. ODABIR MODELA S OBZIROM NA PRINOSE I ORIJENTACIJU

Osnovni model analize omeđivanja podataka je CCR model (prema inicijalima autora Charnes, Cooper i Rhodes) koji pretpostavlja konstantne prinose na opseg (engl. *constant returns to scale*

– CRS). Pri konstantnom prinosu povećanje inputa djeluje na proporcionalno povećanje outputa. S druge strane, neproporcionalno povećanje outputa uzrokovano povećanjem inputa označava varijabilni prinos na opseg (rastući ili opadajući prinos). BCC model (prema inicijalima autora Banker, Charnes i Cooper) predstavlja proširenje klasičnog CCR modela te podrazumijeva varijabilni prinos na opseg (engl. *variable returns to scale* – VRS). Uz te najzastupljenije modele ocjenjivanja relativne efikasnosti DEA metodom, postoji i više alternativnih modela koji podrazumijevaju drugačije principe i načine procjene efikasnosti. Jedan od takvih modela je i nekontrolabilni DEA model, pri čemu se o obilježjima nekontrolabilnih inputa već navodilo u prethodnom dijelu disertacije. Nakon što su varijabla goriva te sve ostale varijable u modelu predstavljene kontrolabilnim inputima na koje se može utjecati, slijedi izbor između CCR ili BCC modela koji će se primijeniti u ocjenjivanju relativne efikasnosti poduzeća. S obzirom na činjenicu da nije moguće predvidjeti djelovanje promatranih vjetroenergetskih poduzeća s obzirom na prinose, potrebno je, u prvom koraku, ocijeniti relativnu efikasnost uz primjenu konstantnih i varijabilnih prinosa na opseg, a tek po rezultatima, sukladno pretpostavkama DEA metode, učiniti izbor. Navedeno se prikazuje u sljedećoj tablici 10.

Tablica 10. Relativna efikasnost uz primjenu konstantnih i varijabilnih prinosa na opseg u 2011. godini

Rezultati relativne efikasnosti	**CRS**	**VRS**
Broj efikasnih DMU[26]	33	58
Broj neefikasnih DMU	45	20
Prosječan rezultat efikasnosti	0,9009	0,9652
Max. rezultat efikasnosti	1	1
Min. rezultat efikasnosti	0,4983	0,5702

Izvor: Obrada autora

U tablici 10 se prikazuju rezultati relativne efikasnosti 78 subjekata (DMU), tj. vjetroenergetskih poduzeća ocijenjenih metodom analize omeđivanja podataka uz korištenje softverskog paketa DEA-Solver Professional Release 11.0 te primjenom konstantnih i varijabilnih prinosa na opseg. Uočava se značajnija razlika te znatno veći broj efikasnih ($\theta^* = 1$) subjekata ocijenjenih varijabilnim prinosom na opseg. Također je prosječni rezultat efikasnosti viši u uvjetima

[26] Zbog ograničenja u softverskom paketu prikazuje se broj potpuno (engl. *fully*) efikasnih i slabo (engl. *weakly*) efikasnih subjekata s najvišim rezultatom efikasnosti ($\theta^* = 1$).

varijabilnih prinosa, nego u uvjetima konstantnih prinosa na opseg. Navedeno sugerira djelovanje poduzeća u varijabilnim prinosima. Dodatni argument za primjenu varijabilnog prinosa na opseg je stajalište da je za model s varijabilnim prinosom moguće izvršiti pomicanje (promjenu) podataka bez mijenjanja granice efikasnosti te je tada razvrstavanje DMU subjekata na neefikasne ili efikasne (navedenim premještanjem podataka) nepromjenjivo, odnosno translatorno invarijantno (Ali, Seiford, 1990). Translatorna invarijantnost opisat će se u nastavku, u kojem se određuje model s obzirom na orijentaciju.

Kod ocjenjivanja relativne efikasnosti, orijentacija označava da li je model usmjeren prema inputima ili prema outputima te je potrebno odrediti ili smanjenje inputa ili povećanje outputa. Inputu-usmjereni model ima za cilj smanjenje inputa na granicu efikasnosti uz konstantne outpute, dok outputu-usmjereni model maksimizira output u postojećim kapacitetima inputa.
U doktorskoj disertaciji istraživanje efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća temelji se na modelu usmjerenom prema inputima, odnosno modelu koji određuje najmanju moguću razinu inputa za postignuće zadanog outputa. Temeljni razlog izbora inputu-usmjerenog DEA modela je primjerenija interpretacija rezultata istraživanja s obzirom da se ocjenjuje relativna efikasnost energetskih poduzeća. Inputu-usmjereni model uz varijabilni prinos na opseg pogodan je za potrebe provođenja translatorne invarijantnosti s obzirom na outpute, te istovremeno nikako i obzirom na inpute (Cooper, Seiford, Tone, 1999). Navedeno označava da je moguće transformirati negativne vrijednosti varijable outputa u pozitivne vrijednosti. Kao što je već istaknuto, pojedina vjetroenergetska poduzeća su ostvarivala negativnu vrijednost varijable EBITDA u 2011. godini, pa su postupkom translatorne invarijantnosti sve vrijednosti spomenute varijable promatranih poduzeća uvećane za 18.000 novčanih jedinica (eura) te tako pretvorene u pozitivne vrijednosti. Zbog translatorne invarijantnosti granica efikasnosti se nije promijenila unatoč izmijenjenim vrijednostima varijable EBITDA. U nastavku doktorske disertacije se prikazuju rezultati relativne efikasnosti 78 vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj i ostalim državama članicama Europske unije ocijenjenih metodom analize omeđivanja podataka.

5.3. OCJENJIVANJE RELATIVNE EFIKASNOSTI VJETROENERGETSKIH PODUZEĆA U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Ocjenjivanje relativne efikasnosti 78 vjetroenergetskih poduzeća promatranih u 2011. godini provodi se BCC modelom koji označava varijabilni prinos na opseg, te modelom usmjerenja prema inputima. Njihov rezultat relativne efikasnosti, kao i država kojoj pripadaju, navodi se u sljedećoj tablici 11.

Tablica 11. Relativna efikasnost 78 vjetroenergetskih poduzeća (DMU) u 2011. godini

Rang	DMU	Država	Rezultat
1	BACKGÅRDEN VIND	Švedska	1
1	BENGTSSONS VIND & KRAFT	Švedska	1
1	BLÅSUT VIND	Švedska	1
1	BONDORLUNDA VIND	Švedska	1
1	CERNAVODA POWER	Rumunjska	1
1	DRAGALIDEN VIND	Švedska	1
1	EBBORP VIND	Švedska	1
1	ELCOMEX EOL	Rumunjska	1
1	EVIVA AGIGHIOL	Rumunjska	1
1	EXPLOTACIONES EOLICAS DE ALDEHUELAS	Španjolska	1
1	EXPLOTACIONES EOLICAS EL PUERTO	Španjolska	1
1	EXPLOTACIONES EOLICAS SIERRA LA VIRGEN	Španjolska	1
1	FLOSAL VIND	Švedska	1
1	GISSE VIND	Švedska	1
1	HÅBO VINDKRAFT	Švedska	1
1	KILABACKEN VIND	Švedska	1
1	KNÄPPLAN VIND	Švedska	1
1	KRÅGE VIND	Švedska	1
1	LONGANO EOLICA	Italija	1
1	MAMMARPS WIND	Švedska	1
1	PARQUE EOLICO CORRAL NUEVO	Španjolska	1
1	PESTERA WIND FARM	Rumunjska	1
1	RHYL FLATS WIND FARM	Ujedinjeno Kraljevstvo	1
1	RYDSGÅRD VIND	Švedska	1
1	SALEBY VIND	Švedska	1
1	SCE WIND PUSCHWITZ	Njemačka	1
1	SILKOMHÖJDEN ENTERPRISE	Švedska	1
1	SÖRGÅRDSVIND	Švedska	1
1	TOPLEŢ ENERGY	Rumunjska	1
1	UNIWINDET PARQUE EOLICO TRES VILLAS	Španjolska	1
1	VETROKOM	Bugarska	1
1	VINDKRAFT I VARNÄS	Švedska	1
1	VJETROELEKTRANA TRTAR KRTOLIN	Hrvatska	1

1	**VOLTWERK WINDPARK WÖRBZIG**	Njemačka	1
35	*BURGSTEIN WIND*	Švedska	1
35	*CORKERMORE WINDFARM*	Irska	1
35	*ELEKTROWNIA WIATROWA KAMIEŃSK*	Poljska	1
35	*FRI-EL GROTTOLE*	Italija	1
35	*HÄRJEVAD VIND*	Švedska	1
35	*HUNTER'S HILL WIND FARM*	Ujedinjeno Kraljevstvo	1
35	*KALIAKRA WIND POWER*	Bugarska	1
35	*KLEVBERGET VIND*	Švedska	1
35	*KÖVLINGE VIND*	Švedska	1
35	*KROKA VIND*	Švedska	1
35	*LARGAN HILL WINDFARM*	Irska	1
35	*LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM*	Ujedinjeno Kraljevstvo	1
35	*PARQUE EOLICO DE ABARA*	Španjolska	1
35	*PARQUE EOLICO ESCEPAR*	Španjolska	1
35	*PARQUE EOLICO VILLAMAYOR*	Španjolska	1
35	*RYDA VIND*	Švedska	1
35	*SCE WIND BEPPENER BRUCH*	Njemačka	1
35	*SCOUT MOOR WIND FARM*	Ujedinjeno Kraljevstvo	1
35	*SIRAL ENERGI*	Švedska	1
35	*SKONBERGA VIND*	Švedska	1
35	*THE HOLLIES WIND FARM*	Ujedinjeno Kraljevstvo	1
35	*TÖS VIND*	Švedska	1
35	*TUNGELUNDA VIND*	Švedska	1
35	*VÄSTERVIND I SKALLMEJA*	Švedska	1
59	KNABS RIDGE WIND FARM	Ujedinjeno Kraljevstvo	0,9937
60	PARQUE EOLICO TESOSANTO	Španjolska	0,9908
61	RÖBERGSFJÄLLET VIND	Švedska	0,9892
62	KYRKBERGET VINDKRAFT	Švedska	0,9848
63	PARQUE EOLICO PERALEJO	Španjolska	0,9693
64	BRAHEHUS VIND	Švedska	0,9404
65	EXPLOTACIONES EOLICAS SASO PLANO	Španjolska	0,9344
66	HEDBODBERGET VIND	Švedska	0,9197
67	BRATTÖN VIND	Švedska	0,913
68	WINDKRAFT DIETLAS	Njemačka	0,8843
69	ANEMOΣ ALKYONIS ENERGY	Grčka	0,8595
70	BLIEKEVARE VIND	Švedska	0,8361
71	GRANBERGET VIND	Švedska	0,8026
72	EUROWIND ORDONA	Italija	0,7971
73	PARQUE EÓLICO DE MARVILA	Portugal	0,7924
74	KIL VIND	Švedska	0,7896
75	VINDKRAFT I YTTERBERG	Švedska	0,7891
76	VJETROELEKTRANA CRNO BRDO	Hrvatska	0,7692
77	PARQUE EOLICO SANTA CATALINA	Španjolska	0,761
78	GREIFENSTEIN WIND	Švedska	0,5702

Izvor: Obrada autora

Kao što je već prikazano u tablici 10, a prethodna tablica to potvrđuje, 58 vjetroenergetskih poduzeća (DMU) je u 2011. godini ocijenjeno potpuno efikasnima (rang 1) i slabo efikasnima (rang 35). Od tih 58 poduzeća, 24 ih je ocijenjeno slabo efikasnima. Navodi se da DMU djeluju slabo efikasno ako i samo ako je $\theta^* = 1$ i dopunske varijable, tj. viškovi inputa i/ili manjkovi outputa su različiti od nule ($s^{-*} \neq 0$, $s^{+*} \neq 0$) (Cooper, Seiford, Zhu, 2004). Ostala 20 vjetroenergetska poduzeća su ocijenjena relativno neefikasnima ($\theta^* < 1$). Nadalje, ako se utvrđuju poduzeća koja nemaju dopunske varijable uz najviši rezultat relativne efikasnosti, odnosno ona koja su potpuno efikasna, tada je ocijenjeno 34 poduzeća. Djelovanje DMU je potpuno (100%) efikasno ako i samo ako je $\theta^* = 1$ i sve dopunske varijable su jednake nuli ($s^{-*} = s^{+*} = 0$) (Cooper, Seiford, Zhu, 2004).

Potrebno je istaknuti da, iako se ovim istraživanjem ne ispituje izravan utjecaj države (reformi) na efikasnost, iste su indirektno sadržane u svim ekonomskim varijablama (inputima i outputima) modela. U tim vrijednostima (dugotrajna materijalna imovina, potraživanja i ostala kratkotrajna imovina, novac i novčani ekvivalenti, EBITDA) sadržane su posljedice aktivnosti, politika i zakonskih odredbi države, odnosno tijela državnih institucija.

Kako bi se prikazala vjetroenergetska poduzeća koja su ocijenjena slabo efikasnima, odnosno koja imaju rezultat efikasnosti jedan te pozitivne viškove inputa i/ili manjkove outputa, pri čemu se analizi priključuju i neefikasna poduzeća s dopunskim varijablama, navodi se sljedeća tablica 12.

Tablica 12. Dopunske varijable slabo efikasnih i neefikasnih vjetroenergetskih poduzeća (DMU) u 2011. godini

		Višak inputa						Manjak outputa	
DMU	Score	Snaga agregata (kW)	Broj agregata	Gorivo (kW)	Dugotr.mat. imovina (u 1000 €)	Potraž. i kratkotr. im. (u 1000 €)	Novac(u 1000 €)	Proizv.el. energija (GWh)	EBITDA (u 1000 €)
BURGSTEIN WIND	1	0	0	0,142	0	0,378	0	0	0
CORKERMORE WINDF.	1	0	0	0,343	1,792	0	0,006	0	0
EL. WIATROWA KAMIEŃSK	1	0	0	0,23	0	0	0	0	0
FRI-EL GROTTOLE	1	0	0	0	0	0,072	0,203	0	0
HÄRJEVAD VIND	1	64,375	0	0	202,366	0	38,085	0,271	0
HUNTER'S HILL WIND F.	1	0,008	0	0	0,856	0,171	0,085	0	0
KALIAKRA WIND POWER	1	0	0	0,008	1,134	0	0,062	0	0
KLEVBERGET VIND	1	101,827	0	111,73	0	0	0	0	0

KÖVLINGE VIND	1	0	0	62,97	110,575	35,505	0	0	36,071
KROKA VIND	1	70,787	0	85,108	0	4,094	0	0,384	9,153
LARGAN HILL WINDFARM	1	0	0,004	1,105	0,088	0	0	0	0
LITTLE CHEYNE COURT	1	0	0	0,108	0	0,068	0	0	0
PARQUE EOL. DE ABARA	1	0	0	0	1,736	0,14	0	0	0
PARQUE EOL. ESCEPAR	1	0	0	0	0	0,201	0	0	0
PAR. EOL. VILLAMAYOR	1	0	0	0	0	0,633	0	0	0
RYDA VIND	1	28,555	0	44,886	0	17,109	35,846	0	0
WIND BEPPENER BRUCH	1	0	0	0,313	0	0,048	0,123	0	0
SCOUT MOOR WIND FARM	1	0	0	0,016	0,478	0	0,065	0	0
SIRAL ENERGI	1	0	0	86,655	0	46,856	0	0,023	0
SKONBERGA VIND	1	0	0,001	0	0	0	0	0	0
THE HOLLIES WIND FARM	1	0	0	0	0,49	0,143	0	0	0
TÖS VIND	1	33,427	0	0	22,022	0	20,829	0,208	0
TUNGELUNDA VIND	1	0,859	0,005	0	0	0,231	0	0	0
VÄSTERV. I SKALLMEJA	1	0,575	0	0	0	0,051	0,126	0	0
KNABS RIDGE WIND FARM	0,9937	855,188	0	0	0	0	0	0	0
PAR. EOLICO TESOSANTO	0,9908	0	0,599	1550,9	23026,22	0	0	0	1759,58
RÖBERGSFJÄLLET VIND	0,9892	64,579	0	0	0	0	0	0	0
KYRKBERGET VINDKRAFT	0,9848	141,711	0	0	9769,308	13583,712	0	0	0
PARQUE EOL. PERALEJO	0,9693	380,96	0	0	0	1224,562	0	0	0
BRAHEHUS VIND	0,9404	52,123	0	1889,6	0	0	0	0	0
EXPL. EOL. SASO PLANO	0,9344	0	1,104	0	5745,79	752,677	0	0	0
HEDBODBERGET VIND	0,9197	0	0	0	0	0	0	0	0
BRATTÖN VIND	0,913	205,087	0	2642,3	2746,638	0	0	0	375,401
WINDKRAFT DIETLAS	0,8843	0	0	0	0	102,917	0	0	0
ANEMOΣ ALKYONIS EN.	0,8595	0	0	0	0	0	0	0	0
BLIEKEVARE VIND	0,8361	0	0	0	0	0	0	0	0
GRANBERGET VIND	0,8026	0	0	0	0	0	0	0	0
EUROWIND ORDONA	0,7971	128,008	0	0	0	3172,657	3299,54	0	322,789
PARQUE EÓL DE MARVILA	0,7924	372,624	0	283,67	0	0	266,297	0	0
KIL VIND	0,7896	133,539	0	23,528	0	0	0	0	0
VINDKRAFT I YTTERBERG	0,7891	0	0	3255,7	14199,23	0	0	0	1882,74
VJETROEL. CRNO BRDO	0,7692	297,981	0	0	0	437,659	140,702	0	359,162
PAR. E. SANTA CATALINA	0,761	0	0,943	0	115089,6	7163,879	0	0	20339,5
GREIFENSTEIN WIND	0,5702	0	0	58,092	596,704	284,432	0	0	30,501

Izvor: Obrada autora

Dopunske varijable se odnose na viškove inputa (s^-*) i manjkove outputa (s^+*) pri čemu eksponent minus označava potrebno smanjenje inputa, dok pozitivan eksponent zahtijeva povećanje outputa. Dopunske varijable predstavljaju dodatni iznos za koji input (output) može biti smanjen (povećan) u ostvarenju tehničke efikasnosti nakon smanjenja (povećanja) svih inputa (outputa) u jednakim omjerima radi dosezanja proizvodne granice. S obzirom da se u istraživanju provodi inputu-usmjereni DEA model koji za cilj ima minimizirati inpute za danu razinu outputa,

potrebno je analizu usmjeriti isključivo na vrijednosti viškova inputa. Iz podataka tablice 12 nije moguće utvrditi određenu pravilnost ili povezanost u pojavljivanju viškova inputa kod promatranih vjetroenergetskih poduzeća. Nakon prikaza ocjene relativne efikasnosti 78 vjetroenergetskih poduzeća, kao i dopunskih varijabli koje smanjuju relativnu efikasnost poduzeća, moguće je analizirati ona vjetroenergetska poduzeća koja se pretpostavljaju „najboljima" te čije bi se efikasno poslovanje moglo uzeti kao dobar primjer.

Učestalost, odnosno frekvencija pojavljivanja relativno efikasnih poduzeća u referentnom skupu može pomoći u određivanju onih efikasnih subjekata, pri čemu prevladavaju potpuno efikasni subjekti (u tablici 13 označeni **„bold"**), no ističu se i slabo efikasni (u tablici 13 označeni „*italic*"), koji imaju najbolje ukupne vrijednosti obilježja. Referentni skup zapravo identificira te „najbolje" subjekte s kojima se uspoređuju relativno neefikasni subjekti. Efikasni subjekti koji se u referentnom skupu najčešće pojavljuju postaju „globalni predvodnici", odnosno subjekti - lideri na čije se poslovanje treba ugledati. U narednoj tablici 13 se prikazuje učestalost pojavljivanja relativno efikasnih vjetroenergetskih poduzeća prema drugim neefikasnim poduzećima u referentnom skupu.

Tablica 13. Učestalost pojavljivanja potpuno i slabo efikasnih vjetroenergetskih poduzeća prema drugim DMU u referentnom skupu u 2011. godini

BENGTSSONS VIND & KRAFT	15	**EXPLOTACIONES EOLICAS SIERRA LA VIRGEN**	2
VETROKOM	15	*SIRAL ENERGI*	2
DRAGALIDEN VIND	14	**SÖRGÅRDSVIND**	2
KRÅGE VIND	11	**VOLTWERK WINDPARK WÖRBZIG**	2
LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM	11	**BONDORLUNDA VIND**	1
EBBORP VIND	9	*ELEKTROWNIA WIATROWA KAMIEŃSK*	1
ELCOMEX EOL	8	**EXPLOTACIONES EOLICAS DE ALDEHUELAS**	1
BLÅSUT VIND	6	**EXPLOTACIONES EOLICAS EL PUERTO**	1
RHYL FLATS WIND FARM	6	*FRI-EL GROTTOLE*	1
LONGANO EOLICA	5	**HÅBO VINDKRAFT**	1
PARQUE EOLICO ESCEPAR	5	**KNÄPPLAN VIND**	1
MAMMARPS WIND	4	*PARQUE EOLICO DE ABARA*	1
BACKGÅRDEN VIND	3	**PESTERA WIND FARM**	1
PARQUE EOLICO VILLAMAYOR	3	**SILKOMHÖJDEN ENTERPRISE**	1
SCE WIND PUSCHWITZ	3	**TOPLEŢ ENERGY**	1
UNIWINDET PARQUE EOLICO TRES VILLAS	3	*VÄSTERVIND I SKALLMEJA*	1
VINDKRAFT I VARNÄS	3	**VJETROELEKTRANA TRTAR KRTOLIN**	1

Izvor: Obrada autora

Prva tri potpuno efikasna vjetroenergetska poduzeća koja se najčešće pojavljuju u referentnom skupu dijela slabo efikasnih i relativno neefikasnih poduzeća (cf. tablica 14), kao njihovi lideri (na koja bi se isti trebali ugledati), su Bengtssons Vind & Kraft (15), Vetrokom (15) i Dragaliden Vind (14). Poduzeća Bengtssons Vind & Kraft i Dragaliden Vind se nalaze u Švedskoj te nemaju niti jednog zaposlenog radnika, dok poduzeće Vetrokom zapošljava 3 radnika u Bugarskoj zbog izrazito velike instalirane snage postrojenja koje je primjerice tri puta veće od snage poduzeća Dragaliden Vind. Poduzeće Bengtssons Vind & Kraft se sastoji samo od jednog vjetroagregata snage 600 kW, s druge strane, poduzeće Vetrokom obuhvaća čak 29 vjetroagregata instalirane snage 72,5 MW ukupne vrijednosti 116 milijuna eura (http://www.alpiq.com/news-stories/media-releases/media_releases.jsp?news=tcm:95-80190). Također se navodi da je svih 12 vjetroagregata poduzeća Dragaliden Vind ukupne instalirane snage 24 MW počelo s proizvodnjom električne energije krajem 2010. godine, a ukupna investicija se procjenjuje na 43 milijuna eura (http://www.enercon.de/en-en/589.htm; http://www.svevind.se/Projects/Project.aspx?projectID=2&lang=en-US).

U referentnom skupu posebna pažnja se pridaje utvrđivanju relativno efikasnih subjekata u kojima se ogledaju relativno neefikasni subjekti, pri čemu veliki značaj predstavlja vrijednost λ (lambda) koja se odnosi na relativnu težinu koja se dodjeljuje svakom (efikasnom) članu referentnog skupa kojom se izračunava ocjena relativne efikasnosti *(θ)* subjekta. Što je veća vrijednost λ u referentnom skupu, time je taj član referentnog skupa više određen „predvodnikom“, odnosno liderom za pripadajući relativno neefikasni subjekt – DMU opisan odgovarajućim rezultatom relativne efikasnosti (score). Navedeno se prikazuje u sljedećoj tablici 14 u kojoj se opisuju članovi referentnog skupa za vjetroenergetska poduzeća. Sva potpuno efikasna te dio slabo efikasnih vjetroenergetskih poduzeća imaju referentni skup prema sebi samima, odnosno zbog dobre efikasnosti su „vlastiti predvodnici“ te im je $\lambda = 1$.

Tablica 14. Članovi referentnog skupa za vjetroenergetska poduzeća (DMU) u 2011. godini

DMU	Score	Referentni skup (λ)
BACKGÅRDEN VIND	1	BACKGÅRDEN VIND (1)
BENGTSSONS VIND & KRAFT	1	BENGTSSONS VIND & KRAFT (1)
BLÅSUT VIND	1	BLÅSUT VIND (1)
BONDORLUNDA VIND	1	BONDORLUNDA VIND (1)

BURGSTEIN WIND	1	BURGSTEIN WIND (1)
CERNAVODA POWER	1	CERNAVODA POWER (1)
CORKERMORE WINDFARM	1	CORKERMORE WINDFARM (1)
DRAGALIDEN VIND	1	DRAGALIDEN VIND (1)
EBBORP VIND	1	EBBORP VIND (1)
ELCOMEX EOL	1	ELCOMEX EOL (1)
EL. WIATROWA KAMIEŃSK	1	ELEKTROWNIA WIATROWA KAMIEŃSK (1)
EVIVA AGIGHIOL	1	EVIVA AGIGHIOL (1)
EXPL. EOL. DE ALDEHUELAS	1	EXPLOTACIONES EOLICAS DE ALDEHUELAS (1)
EXPL. EOLICAS EL PUERTO	1	EXPLOTACIONES EOLICAS EL PUERTO (1)
EXP. EOL. SIERRA LA VIRGEN	1	EXPLOTACIONES EOLICAS SIERRA LA VIRGEN (1)
FLOSAL VIND	1	FLOSAL VIND (1)
FRI-EL GROTTOLE	1	FRI-EL GROTTOLE (1)
GISSE VIND	1	GISSE VIND (1)
HÅBO VINDKRAFT	1	HÅBO VINDKRAFT (1)
HUNTER'S HILL WIND FARM	1	HUNTER'S HILL WIND FARM (1)
KALIAKRA WIND POWER	1	KALIAKRA WIND POWER (1)
KILABACKEN VIND	1	KILABACKEN VIND (1)
KNÄPPLAN VIND	1	KNÄPPLAN VIND (1)
KRÅGE VIND	1	KRÅGE VIND (1)
LARGAN HILL WINDFARM	1	LARGAN HILL WINDFARM (1)
LITTLE CHEYNE COURT	1	LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM (1)
LONGANO EOLICA	1	LONGANO EOLICA (1)
MAMMARPS WIND	1	MAMMARPS WIND (1)
PAR. EOL. CORRAL NUEVO	1	PARQUE EOLICO CORRAL NUEVO (1)
PARQUE EOLICO DE ABARA	1	PARQUE EOLICO DE ABARA (1)
PARQUE EOLICO ESCEPAR	1	PARQUE EOLICO ESCEPAR (1)
PAR. EOLICO VILLAMAYOR	1	PARQUE EOLICO VILLAMAYOR (1)
PESTERA WIND FARM	1	PESTERA WIND FARM (1)
RHYL FLATS WIND FARM	1	RHYL FLATS WIND FARM (1)
SALEBY VIND	1	SALEBY VIND (1)
SCE WIND BEPPENER BRUCH	1	SCE WIND BEPPENER BRUCH (1)
SCE WIND PUSCHWITZ	1	SCE WIND PUSCHWITZ (1)
SCOUT MOOR WIND FARM	1	SCOUT MOOR WIND FARM (1)
SILKOMHÖJDEN ENTERPRISE	1	SILKOMHÖJDEN ENTERPRISE (1)
SÖRGÅRDSVIND	1	SÖRGÅRDSVIND (1)
THE HOLLIES WIND FARM	1	THE HOLLIES WIND FARM (1)
TOPLEŢ ENERGY	1	TOPLEŢ ENERGY (1)
UNI. PAR. EOL. TRES VILLAS	1	UNIWINDET PARQUE EOLICO TRES VILLAS (1)
VETROKOM	1	VETROKOM (1)
VINDKRAFT I VARNÄS	1	VINDKRAFT I VARNÄS (1)
VJETROEL. TRTAR KRTOLIN	1	VJETROELEKTRANA TRTAR KRTOLIN (1)
VOLTW. WINDPARK WÖRBZIG	1	VOLTWERK WINDPARK WÖRBZIG (1)

KÖVLINGE VIND	1	BENGTSSONS VIND & KRAFT (0,98), MAMMARPS WIND (0,02)
RYDSGÅRD VIND	1	RYDSGÅRD VIND (0,998), KRÅGE VIND (0,002)
SKONBERGA VIND	1	SKONBERGA VIND (0,998), BONDORLUNDA VIND (0,002)
TUNGELUNDA VIND	1	TUNGELUNDA VIND (0,994), BENGTSSONS VIND & KRAFT (0,006)
KROKA VIND	1	BENGTSSONS (0,577), MAMMARPS WIND (0,295), BACKGÅRDEN VIND (0,128)
RYDA VIND	1	VÄSTERVIND I SKALLMEJA (0,559), BLÅSUT VIND(0,439), SIRAL ENERGI (0,002)
VÄSTERVIND I SKALLMEJA	1	VÄSTERVIND I SKALLMEJA (0,996), BENGTSSONS (0,003), BLÅSUT VIND (0,001)
HÄRJEVAD VIND	1	BENGTSSONS VIND & KRAFT (0,856), BACKGÅRDEN VIND (0,09), VINDKRAFT I VARNÄS (0,042), HÅBO VINDKRAFT (0,012)
TÖS VIND	1	BENGTSSONS VIND & KRAFT (0,453), VINDKRAFT I VARNÄS (0,441), BACKGÅRDEN VIND (0,069), BLÅSUT VIND (0,037)
SIRAL ENERGI	1	SIRAL ENERGI (0,66), BENGTSSONS VIND & KRAFT (0,212), KRÅGE VIND (0,053), SÖRGÅRDSVIND (0,05), MAMMARPS WIND (0,025)
KLEVBERGET VIND	1	VINDKRAFT I VARNÄS (0,52), KRÅGE VIND (0,224), BENGTSSONS VIND & KRAFT (0,115), SIRAL ENERGI (0,06), MAMMARPS WIND (0,043), EBBORP VIND (0,038)
KNABS RIDGE WIND FARM	0,9937	BENGTSSONS (0,505), LONGANO EOLICA (0,173), PAR. EOL. ESCEPAR (0,095), SCE WIND PUSCHWITZ (0,078), DRAGALIDEN VIND (0,072), LITTLE CHEYNE COURT (0,07), VETROKOM (0,007)
PARQUE EOLICO TESOSANTO	0,9908	UNIWINDET PARQUE EOLICO TRES VILLAS (0,896), KRÅGE VIND (0,056), VOLTWERK WINDPARK WÖRBZIG (0,036), ELCOMEX EOL (0,012)
RÖBERGSFJÄLLET VIND	0,9892	EBBORP (0,614), LONGANO EOL (0,125), PAR. EOLICO ESCEPAR (0,109), LITTLE CHEYNE COURT (0,066), VETROKOM (0,066), PAR. EOLICO VILLAMAYOR (0,012), BLÅSUT (0,008)
KYRKBERGET VINDKRAFT	0,9848	EBBORP VIND (0,608), UNIWINDET PARQUE EOLICO TRES VILLAS (0,261), VETROKOM (0,051), RHYL FLATS WIND FARM (0,045), PARQUE EOLICO DE ABARA (0,035)
PARQUE EOLICO PERALEJO	0,9693	PAR EOLICO ESCEPAR (0,558), BENGTSSONS (0,275), DRAGALIDEN VIND (0,064), LONGANO (0,051), PAR EOLICO VILLAMAYOR (0,051), LITTLE CHEYNE COURT (0,001)
BRAHEHUS VIND	0,9404	EBBORP VIND (0,761), VETROKOM (0,127), ELCOMEX EOL (0,05), LITTLE CHEYNE COURT WIND F. (0,044), DRAGALIDEN VIND (0,011), RHYL FLATS WIND FARM (0,007)
EXPL. EOLICAS SASO PLANO	0,9344	EXPL. EOLICAS DE ALDEHUELAS (0,628), KRÅGE VIND (0,203), ELCOMEX EOL (0,078), EXPL. EOLICAS SIERRA LA VIRGEN (0,047), EXPL. EOLICAS EL PUERTO (0,044)
HEDBODBERGET VIND	0,9197	SCE WIND PUSCHWITZ (0,659), KRÅGE VIND (0,122), ELCOMEX EOL (0,095), SILKOMHÖJDEN ENTERPRISE (0,048), LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM (0,045), DRAGALIDEN VIND (0,015), VETROKOM (0,013), KNÄPPLAN VIND (0,003)
BRATTÖN VIND	0,913	EBBORP VIND (0,797), VETROKOM (0,125), DRAGALIDEN VIND (0,069), RHYL FLATS WIND FARM (0,009)
WINDKRAFT DIETLAS	0,8843	EBBORP VIND (0,768), BENGTSSONS (0,179), VETROKOM (0,022), ELCOMEX EOL (0,014), LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM (0,011), DRAGALIDEN VIND (0,006)
ANEMOΣ ALKYONIS ENERGY	0,8595	BENGTSSONS(0,753), LONGANO EOLICA (0,096), EXPLOTACIONES EOLICAS SIERRA LA VIRGEN (0,069), LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM (0,03), SCE WIND PUSCHWITZ (0,022), PAR. EOLICO ESCEPAR (0,02), VETROKOM (0,009), DRAGALIDEN VIND (0,001)
BLIEKEVARE VIND	0,8361	PARQUE EOLICO ESCEPAR (0,272), BENGTSSONS VIND & KRAFT (0,226), VETROKOM (0,152), LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM (0,147), DRAGALIDEN VIND (0,089), KRÅGE VIND (0,073), LONGANO EOLICA (0,026), PARQUE EOLICO VILLAMAYOR (0,015)
GRANBERGET VIND	0,8026	EBBORP VIND (0,607), KRÅGE VIND (0,263), VETROKOM (0,038), ELCOMEX EOL (0,027), DRAGALIDEN VIND (0,021), LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM (0,017), RHYL FLATS WIND FARM (0,015), PESTERA WIND FARM (0,012)

EUROWIND ORDONA	0,7971	BENGTSSONS VIND & KRAFT (0,525), VETROKOM (0,394), DRAGALIDEN VIND (0,065), ELCOMEX EOL (0,016)
PARQUE EÓLICO DE MARVILA	0,7924	SÖRGÅRDSVIND (0,781), DRAGALIDEN VIND (0,106), FRI-EL GROTTOLE (0,084), LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM (0,016), BLÅSUT VIND (0,013)
KIL VIND	0,7896	BLÅSUT VIND (0,5), EBBORP VIND (0,371), DRAGALIDEN VIND (0,066), VETROKOM (0,036), ELEK WIATROWA KAMIEŃSK (0,022), LITTLE CHEYNE COURT WIND F. (0,005)
VINDKRAFT I YTTERBERG	0,7891	VETROKOM (0,503), KRÅGE VIND (0,389), DRAGALIDEN VIND (0,076), ELCOMEX EOL (0,025), RHYL FLATS WIND FARM (0,007)
VJETROEL. CRNO BRDO	0,7692	BENGTSSONS VIND & KRAFT (0,834), VETROKOM (0,115), VOLTWERK WINDPARK WÖRBZIG (0,032), VJETROELEKTRANA TRTAR KRTOLIN (0,019)
PAR. EOLICO SANTA CATALINA	0,761	KRÅGE VIND (0,484), UNIWINDET PARQUE EOLICO TRES VILLAS (0,326), VETROKOM (0,11), TOPLEŢ ENERGY (0,08)
GREIFENSTEIN WIND	0,5702	KRÅGE VIND (0,967), EBBORP VIND (0,022), DRAGALIDEN VIND (0,009), RHYL FLATS WIND FARM (0,002)

Izvor: Obrada autora

Kako bi se analizirali članovi referentnog skupa, za primjer se analizira relativno neefikasno vjetroenergetsko poduzeće Crno Brdo koje je smješteno u Republici Hrvatskoj i koje je treće najlošije ocijenjeno vjetroenergetsko poduzeće u uzorku. U cilju povećanja relativne efikasnosti, poduzeće Crno Brdo bi se trebalo ugledati na potpuno efikasno poduzeće Bengtssons Vind & Kraft kao svojeg „lidera“, jer istaknuto poduzeće ima izrazito visoku vrijednost λ koja iznosi 0,834. Teoretski, kada bi se poduzeće Crno Brdo ugledalo na sva poduzeća svog referentnog skupa, tada bi ostvarilo potpunu relativnu efikasnost označenu vrijednošću 1 (0,834 + 0,115 + 0,032 + 0,019). No, kako u stvarnosti nije moguće istovremeno „kopirati“ modele poslovanja svih poduzeća u referentnom skupu, primjenjuje se model poslovanja „lidera“.

Uz ocjenjivanje relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, metodom analize omeđivanja podataka moguće je ocijeniti i njihovu super-efikasnost. Najbolje ocijenjena poduzeća, odnosno ona potpuno efikasna imaju rezultat relativne efikasnosti jedan ($\theta^* = 1$). Model super-efikasnosti rangira potpuno efikasne subjekte dodjeljujući im rezultat efikasnosti veći od 1. Pri tome, što je viši rezultat efikasnosti, to je subjekt procijenjen efikasnijim. U istraživanju se ocjenjivanje relativne efikasnosti provodi BCC modelom usmjerenja prema inputima pa se stoga i super-efikasnost provodi istim modelom. Rezultati efikasnosti za 33 potpuno efikasna vjetroenergetska poduzeća ocijenjena modelom super-efikasnosti navode se u sljedećoj tablici 15.

Tablica 15. Super-efikasnost 34 potpuno efikasna vjetroenergetska poduzeća (DMU) u 2011. godini

Rang	DMU	Rezultat
1	ELCOMEX EOL	13,1909
2	SILKOMHÖJDEN ENTERPRISE	5,9666
3	EVIVA AGIGHIOL	5,7121
4	UNIWINDET PARQUE EOLICO TRES VILLAS	5,4959
5	EXPLOTACIONES EOLICAS DE ALDEHUELAS	4,6852
6	LONGANO EOLICA	4,4578
7	VETROKOM	3,2890
8	KRÅGE VIND	3,0036
9	BENGTSSONS VIND & KRAFT	2,6595
10	VINDKRAFT I VARNÄS	2,4291
11	MAMMARPS WIND	2,4163
12	EXPLOTACIONES EOLICAS SIERRA LA VIRGEN	2,1531
13	BLÅSUT VIND	1,9368
14	KNÄPPLAN VIND	1,7455
15	DRAGALIDEN VIND	1,7249
16	EBBORP VIND	1,5467
17	TOPLET ENERGY	1,4889
18	VOLTWERK WINDPARK WÖRBZIG	1,4792
19	RYDSGÅRD VIND	1,4344
20	HÅBO VINDKRAFT	1,3880
21	VJETROELEKTRANA TRTAR KRTOLIN	1,3448
22	EXPLOTACIONES EOLICAS EL PUERTO	1,3312
23	SCE WIND PUSCHWITZ	1,3232
24	SÖRGÅRDSVIND	1,2182
25	PESTERA WIND FARM	1,1896
26	FLOSAL VIND	1,1878
27	GISSE VIND	1,1285
28	SALEBY VIND	1,1274
29	PARQUE EOLICO CORRAL NUEVO	1,0973
30	KILABACKEN VIND	1,0240
31	BACKGÅRDEN VIND	1,0181
32	BONDORLUNDA VIND	1
32	CERNAVODA POWER	1
32	RHYL FLATS WIND FARM	1

Izvor: Obrada autora

Najbolje ocijenjeno vjetroenergetsko poduzeće je Elcomex EOL s rezultatom efikasnosti $\theta^* = 13,1909$. Poduzeće u vlasništvu korporacije Enel Green Power nalazi se u Rumunjskoj; naziva se još i Zephir I. Jedno je od najvećih poduzeća u uzorku istraživanja sa 52 vjetroagregata ukupne

instalirane snage od približno 120 MW. Iako vjetroelektrana ima izrazito veliku snagu i broj vjetroagregata, u 2011. godini nije imala niti jednog zaposlenog radnika.

5.4. IZVORI I OPSEG NEEFIKASNOSTI VJETROENERGETSKIH PODUZEĆA

Ocjenjivanje relativne efikasnosti, koje se provodi metodom analize omeđivanja podataka, ne omogućava samo procjenjivanje trenutne razine relativne efikasnosti, odnosno usporedbu relativno neefikasnih subjekata s onim najboljima, tj. onim koji imaju najvišu razinu efikasnosti, već također, a što je od posebnog značaja u području upravljanja efikasnošću vjetroelektrana, osigurava informacije kako otkloniti neefikasnost, odnosno utvrđuje izvore i iznose neefikasnosti. U tom smislu, potrebno je utvrditi projekcije, odnosno poboljšanja te „pomicanje“ pojedinih čimbenika na granicu efikasnosti za svako slabo efikasno i relativno neefikasno vjetroenergetsko poduzeće kako bi ono moglo postati efikasno. Obzirom na postojanje 34 potpuno efikasnih vjetroenergetskih poduzeća u 2011. godini, u nastavku slijedi prikaz projekcije preostalih 44 slabo efikasnih i relativno neefikasnih vjetroenergetskih poduzeća. Navedenim projekcijama, koje se prikazuju u sljedećoj tablici 16, ostvaruje se temeljni cilj istraživanja doktorske disertacije.

Tablica 16. Projekcije 44 slabo efikasnih i relativno neefikasnih vjetroenergetskih poduzeća (DMU) u 2011. godini (%)

DMU	Score	Snaga agregata (kW)	Broj agregata	Gorivo (kW)	Dugotr. mat. imovina (u 1000 €)	Potraž. i kratkotr. imovina (u 1000 €)	Novac (u 1000 €)
BURGSTEIN WIND	1	0,001	0,001	0,059	0,001	0,133	0,001
CORKERMORE WINDFARM	1	0,006	0,006	0,015	0,018	0,006	0,007
ELEKTR. WIATROWA KAMIEŃSK	1	0,002	0,002	0,006	0,002	0,002	0,002
FRI-EL GROTTOLE	1	0	0	0	0	0,001	0,002
HÄRJEVAD VIND	1	8,048	0,001	0,001	29,734	0,001	60,625
HUNTER'S HILL WIND FARM	1	0,002	0,002	0,002	0,004	0,005	0,004
KALIAKRA WIND POWER	1	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002
KLEVBERGET VIND	1	12,729	0,001	53,542	0,001	0,001	0,001
KÖVLINGE VIND	1	0,001	0,001	61,923	67,405	67,039	0,001
KROKA VIND	1	8,329	0,001	46,107	0,001	14,48	0,001
LARGAN HILL WINDFARM	1	0,012	0,055	0,056	0,015	0,012	0,012
LITTLE CHEYNE COURT WIND FARM	1	0	0	0,001	0	0,001	0
PARQUE EOLICO DE ABARA	1	0,002	0,002	0,002	0,006	0,006	0,002

PARQUE EOLICO ESCEPAR	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	0,001
PARQUE EOLICO VILLAMAYOR	1	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002
RYDA VIND	1	3,36	0,001	41,123	0,001	18,709	23,285
SCE WIND BEPPENER BRUCH	1	0,003	0,003	0,007	0,003	0,006	0,011
SCOUT MOOR WIND FARM	1	0	0	0	0,001	0	0,001
SIRAL ENERGI	1	0,001	0,001	27,693	0,001	27,538	0,001
SKONBERGA VIND	1	0,03	0,063	0,03	0,03	0,03	0,03
THE HOLLIES WIND FARM	1	0,019	0,019	0,019	0,033	0,06	0,019
TÖS VIND	1	3,934	0,001	0,001	2,393	0,001	42,576
TUNGELUNDA VIND	1	0,144	0,207	0,043	0,043	0,254	0,043
VÄSTERVIND I SKALLMEJA	1	0,073	0,001	0,001	0,001	0,091	0,151
KNABS RIDGE WIND FARM	0,9937	43,387	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628
PARQUE EOLICO TESOSANTO	0,9908	0,916	3,312	33,775	29,062	0,916	0,916
RÖBERGSFJÄLLET VIND	0,9892	4,309	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
KYRKBERGET VINDKRAFT	0,9848	7,681	1,52	1,52	22,066	86,054	1,52
PARQUE EOLICO PERALEJO	0,9693	22,119	3,071	3,071	3,071	32,151	3,071
BRAHEHUS VIND	0,9404	8,223	5,957	45,65	5,957	5,957	5,957
EXPL. EOLICAS SASO PLANO	0,9344	6,561	8,814	6,561	30,418	37,582	6,561
HEDBODBERGET VIND	0,9197	8,028	8,028	8,028	8,028	8,028	8,028
BRATTÖN VIND	0,913	16,9	8,697	67,516	20,632	8,697	8,697
WINDKRAFT DIETLAS	0,8843	11,567	11,567	11,567	11,567	39,273	11,567
ANEMOΣ ALKYONIS ENERGY	0,8595	14,054	14,054	14,054	14,054	14,054	14,054
BLIEKEVARE VIND	0,8361	16,392	16,392	16,392	16,392	16,392	16,392
GRANBERGET VIND	0,8026	19,743	19,743	19,743	19,743	19,743	19,743
EUROWIND ORDONA	0,7971	26,688	20,288	20,288	20,288	83,843	89,496
PARQUE EÓLICO DE MARVILA	0,7924	39,388	20,757	36,4	20,757	20,757	31,511
KIL VIND	0,7896	27,715	21,038	23,227	21,038	21,038	21,038
VINDKRAFT I YTTERBERG	0,7891	21,087	21,087	68,683	38,094	21,087	21,087
VJETROELEKTRANA CRNO BRDO	0,7692	42,943	23,077	23,077	23,077	72,416	65,988
PARQUE EOLICO SANTA CATALINA	0,761	23,904	29,452	23,904	83,627	90,725	23,904
GREIFENSTEIN WIND	0,5702	42,978	42,978	54,938	66,681	88,018	42,978

Izvor: Obrada autora

U tablici 16 prikazuju se sva slabo efikasna i neefikasna vjetroenergetska poduzeća u promatranoj 2011. godini s pripadajućim rezultatom relativne efikasnosti te potrebnim promjenama, odnosno projekcijama (u postocima) pojedinih varijabli kako bi se ostvarila relativna potpuna efikasnost ($\theta^* = 1$; $s^{-*} = s^{+*} = 0$). S obzirom da se primjenjuje DEA model usmjeren prema inputima, u cilju postizanja relativne efikasnosti potrebno je djelovati na smanjivanje inputa uz zadržavanje postojećih outputa.

Slijedi prikaz upravljanja efikasnošću na primjeru dvaju slabo efikasnih i relativno neefikasnih vjetroenergetskih poduzeća, odnosno utvrđivanje izvora njihove neefikasnosti i davanje preporuka za njihovo otklanjanje.

Da bi vjetroenergetsko poduzeće Scout Moor Wind Farm, iz skupine slabo efikasnih vjetroenergetskih poduzeća, ostvarilo potpunu relativnu efikasnost, trebalo bi teoretski smanjiti dugotrajnu materijalnu imovinu te novac i novčane ekvivalente za 0,001% svaki, iako se takva infinitezimalna veličina može i zanemariti, a klasifikaciju poduzeća Scout Moor Wind Farm kao slabo efikasnog uzeti s rezervom. Ostale inpute poduzeća nije potrebno mijenjati u cilju poboljšanja relativne efikasnosti. Vjetroenergetsko poduzeće Scout Moor Wind Farm je jedno od najvećih kopnenih (onshore) vjetroelektrana u Engleskoj. Nakon 7 godina potrebnih za identificiranje lokacije vjetroagregata i dobivanja potrebnih dozvola, poduzeće je s radom počelo u 2008. godini. Sastoji se od 26 vjetroagregata ukupne instalirane snage 65 MW koje je dovoljno za opskrbu električnom energijom približno 40.000 kućanstava (http://www.peelenergy.co.uk/low-carbon-energy/wind-power).

S druge strane, kao treće najlošije ocijenjeno vjetroenergetsko poduzeće, iz skupine relativno neefikasnih vjetroenergetskih poduzeća, s rezultatom efikasnosti $\theta^* = 0{,}7692$, u cilju unapređenja relativne efikasnosti, Crno Brdo bi trebalo prilagoditi i smanjiti vrijednosti svih analiziranih inputa. Najviše, čak 72,42%, je potrebno smanjiti potraživanja i ostalu kratkotrajnu imovinu, novac i novčane ekvivalente za 65,99% te instaliranu snagu vjetroagregata za 42,94%. Ostale inpute promatrane u modelu je potrebno smanjiti za približno 23%. Navedeno označava da vjetroenergetsko poduzeće Crno Brdo ima višak neiskorištenih kapaciteta u svome poslovanju u odnosu na ostala relativno efikasna vjetroenergetska poduzeća. Naime, spomenuto vjetroenergetsko poduzeće bi moglo i uz smanjenje kapaciteta, odnosno promatranih inputa ostvariti jednaku razinu outputa. Takva prekapacitiranost predstavlja određeni oportunitetni trošak za vjetroenergetsko poduzeće, odnosno implicira neracionalno upravljanje resursima poduzeća. U mikroekonomskoj teoriji, opisano stanje ne osigurava postizanje ravnoteže poduzeća (točke u kojoj izotroškovni pravac tangira izokvantu u njezinom minimumu), već implicira proizvodnju izvan ravnotežnog stanja. Vjetroenergetsko poduzeće Crno Brdo, odnosno njegovi vjetroagregati nalaze se u blizini grada Šibenika u Republici Hrvatskoj. Instalirano je 7 agregata ukupne snage 10,5 MW, a vrijednost investicije je oko 16 milijuna eura (http://www.vjetroelektrane.com/hrvatska-i-regija/360-zavrsila-gradnja-vjetroelektrane-crno-brdo). Zbog velikog broja relativno neefikasnih vjetroenergetskih poduzeća kojima su potrebne prilagodbe i poboljšanja pojedinih obilježja u cilju ostvarenja potpune relativne efikasnosti, u

tablici 16 se navode i utvrđuju ostali izvori i iznosi relativne neefikasnosti za svako pojedino vjetroenergetsko poduzeće.

Takve informacije koje iskazuju relativnu neefikasnost vjetroenergetskih poduzeća osobito su značajne za sve aktere koji su izravno uključeni u elektroenergetski sektor, a posebice u segmentu energije vjetra obnovljivih izvora energije. Provodeći poboljšanja navedenih obilježja - precizno definiranih izvora (nositelja) i iznosa neefikasnosti, unaprijedilo bi se funkcioniranje poduzeća, odnosno povećala bi se njegova efikasnost te ostvarilo poslovanje poduzeća „na najbolji mogući način". Efikasnost poduzeća bi, posljedično, mogla utjecali na konkurentsku sposobnost poduzeća u industriji. Također, povećanjem efikasnosti osiguralo bi se više sredstava koje bi poduzeće moglo iskoristiti za daljnje unapređenje svoje djelatnosti. Pretpostavlja se da bi navedeno djelovalo na rast i razvoj vjetroenergetske industrije, što bi, u konačnici, osiguralo višu razinu zadovoljenja potreba za električnom energijom te, u tom smislu, daljnje nadopunjavanje usluga tržišta tradicionalnih i obnovljivih izvora električne energije, daljnji poticaj poboljšanju gospodarske aktivnosti nacionalne ekonomije i drugo.
S druge strane, a u svrhu utvrđivanja iznosa relativne neefikasnosti vjetroenergetskih poduzeća u cjelini, posebni značaj se pridaje identifikaciji prosječnih iznosa, odnosno prosječnih poboljšanja za svaki promatrani input u modelu. Takvim prosječnim prilagodbama, tj. smanjenjem pojedinih čimbenika, sugerira se moguće postizanje relativne efikasnosti na razini agregatnih veličina. Prosječna poboljšanja izražena u postocima za slabo efikasna i relativno neefikasna vjetroenergetska poduzeća navode se u sljedećoj tablici 17.

Tablica 17. Prosječna poboljšanja za relativno neefikasna vjetroenergetska poduzeća u 2011. godini (%)

Snaga vjetroagregata (kW)	Broj vjetroagregata	Gorivo (kW)	Dugotrajna materijalna imovina (u 1000 €)	Potraživanja i ostala kratkotrajna imovina (u 1000 €)	Novac & novčani ekvivalenti (u 1000 €)
5,6582	3,6149	9,1127	7,1284	10,2164	6,6801

Izvor: Obrada autora

U tablici 17 uočavaju se različiti iznosi projekcija, odnosno prosječnih poboljšanja koja djeluju na povećanje relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, s naglaskom na krajnje vrijednosti, varijable broj vjetroagregata (3,6%) i gotovo trostruko veće vrijednosti varijable

potraživanja i ostala kratkotrajna imovina (10,2%). Kao što je prethodno istaknuto, najveću vrijednost prosječnih poboljšanja te odstupanja predstavlja varijabla potraživanja i ostala kratkotrajna imovina (10,2%), što je moguće obrazložiti činjenicom da vjetroenergetsko poduzeće kao takvo, ima najmanji utjecaj na formiranje vrijednosti upravo navedene varijable, zbog toga što potraživanja za isporučenu električnu energiju u elektroenergetsku mrežu ovise, prije svega, o odlukama, propisima i pravnim aktima tijela državnih institucija koja otkupljuju električnu energiju, temeljem ugovora o otkupu električne energije. Štoviše, između svih ostalih varijabli modela, varijabla potraživanja i ostala kratkotrajna imovina ukazuje na karakteristike najmanje kontrolabilne varijable modela s motrišta poduzeća. Budući nije izravno kontrolirana od strane poduzeća, tj. njezinog menadžmenta, ista se ne može lako mijenjati i prilagođavati ciljevima poslovanja poduzeća. Stoga će poboljšanja varijable potraživanja i ostala kratkotrajna imovina, sa ciljem postizanja relativne efikasnosti, ovisiti bitno manje o „naporima“ poduzetim od strane menadžmenta vjetroenergetskog poduzeća, odnosno bitno više o institucionalnom, ekonomskom, političkom i kulturološkom okruženju u kojem poduzeće djeluje. U tom smislu, problem i njegovo rješavanje valja adresirati „dalje“, na instance, organe, tijela državnih institucija meritorne za njegovo rješavanje. S druge strane, pretpostavlja se da je mala vrijednost (3,6%) prosječnih poboljšanja te odstupanja u varijabli broja vjetroagregata posljedica kvalitetne procjene strukture vjetroparka u vidu broja vjetroagregata, njihovog razmještaja na raspoloživom (ograničenom) zemljištu, i drugo, koja varijabla je, suprotno prethodnoj, svakako kontrolabilne prirode.

Između ostalih čimbenika odstupanja u vrijednostima su manja. Zaključno, kako bi ostvarila relativnu efikasnost, vjetroenergetska poduzeća u prosjeku trebaju utjecati na smanjivanje potraživanja i ostale kratkotrajne imovine za 10,2% te inputa goriva, odnosno lopatice rotora zbog ostvarivanja najvećeg udjela u varijabli goriva, za 9,1%. Udio dugotrajne materijalne imovine treba se smanjiti za 7,1%, novac i novčani ekvivalenti za 6,7% te snaga vjetroagregata za 5,7% da bi se postigla relativnu efikasnost vjetroenergetskog poduzeća. Broj vjetroagregata najmanje utječe na ostvarivanje relativne efikasnosti, odnosno broj vjetroagregata u prosjeku je potrebno smanjiti za 3,6%. Kao što je već opisano na primjeru poduzeća Crno Brdo, ekonomske implikacije predloženih smanjenja inputa osigurale bi „povratak“ u točku ravnoteže poduzeća.

U doktorskom istraživanju, čimbenici (inputi modela) kojima se ocjenjuje efikasnost vjetroenergetskih poduzeća klasificirani su na varijable tehničke i ekonomske prirode. Prosječna

poboljšanja tehničkih obilježja ukazuju na relativno neravnomjerne projekcije promatranih varijabli u povećanju relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, dok ekonomska obilježja prikazuju ravnomjernije projekcije uz iznimku, već spomenute, više vrijednosti varijable potraživanja i ostale kratkotrajne imovine. Ipak, promatrajući prosječna poboljšanja tehničkih i ekonomskih obilježja u cjelini, odnosno prosječna poboljšanja svih varijabli inputa u modelu, moguće je uočiti relativno podjednake iznose projekcija s blagim odstupanjima vrijednosti. Spomenuto je u skladu s očekivanjima, s obzirom da je nužno kvalitetno upravljati svim segmentima i aspektima poslovanja poduzeća u svrhu postizanja ravnoteže angažiranih čimbenika proizvodnje (optimalna razina proizvodnje u tehničkom i ekonomskom smislu), polazeći od temeljne pretpostavke proizvodne funkcije koja zahtijeva da svi elementi funkcije budu pozitivne veličine, kako bi i sama funkcija generirala, kao output, pozitivnu veličinu. Time se dokazuje da je potrebno podjednako upravljati ukupnim resursima vjetroenergetskog poduzeća, odnosno ekonomskim i tehničkim obilježjima vjetroelektrana. Navedenim se potvrđuje pretpostavka istraživanja, odnosno temeljna hipoteza doktorske disertacije.

U narednoj cjelini doktorske disertacije, s obzirom na rezultate provedene analize ocjene relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije te definirane izvore i opsege neefikasnosti analiziranih vjetroenergetskih poduzeća, odnosno „otkrivenog prostora“ za moguća poboljšanja čimbenika proizvodnje relativno neefikasnih vjetroenergetsih poduzeća, analizira se trenutno stanje te razvoj hrvatskog elektroenergetskog sektora u okviru obnovljivih izvora energije s naglaskom na energiju vjetra, te se predlažu mjere promicanja efikasnosti u djelatnosti proizvodnje električne energije iz energije vjetra u cilju unapređenja efikasnosti hrvatskog elektroenergetskog sustava u dijelu obnovljivih izvora energije.

6. PRIJEDLOG MJERA PROMICANJA EFIKASNOSTI U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ ENERGIJE VJETRA U CILJU UNAPREĐENJA EFIKASNOSTI HRVATSKOG ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA U DIJELU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Utvrđivanjem relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, te mogućim poboljšanjima pojedinih obilježja u cilju ostvarenja potpune efikasnosti, kao što je to prikazano u prethodnom dijelu doktorske disertacije, moguće je predložiti mjere za unapređenje efikasnosti hrvatskog elektroenergetskog sektora, odnosno pojedinih poduzeća u promatranoj djelatnosti proizvodnje električne energije iz energije vjetra. Uz navedeno, u ovoj cjelini doktorske disertacije prikazuje se trenutno stanje te mogući daljnji razvoj hrvatskog elektroenergetskog sektora u okviru obnovljivih izvora energije s naglaskom na energiju vjetra.

6.1. RAZVOJ HRVATSKOG ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA U OKVIRU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE S NAGLASKOM NA ENERGIJU VJETRA

U Republici Hrvatskoj postoji izrazito velik potencijal iskorištavanja obnovljivih izvora energije u svrhu proizvodnje električne energije. Navedeno je posljedica povoljnog prirodnog okruženja Republike Hrvatske, koje okruženje pruža mogućnost korištenja gotovo svih segmenata „održivih“ obnovljivih izvora energije, tj. energije vjetra, Sunčeve energije, hidroenergije, te energije iz biomase.

Trenutno je u Republici Hrvatskoj aktivno (u punom pogonu) 16 vjetroelektrana koje isporučuju električnu energiju u elektroenergetski sustav. Njihov ukupni instalirani kapacitet je 339,45 MW[27], dok je godišnja proizvodnja električne energije oko 730 GWh, što iznosi čak 79% proizvedene električne energije od ukupnih obnovljivih izvora energije i kogeneracije (Hrote, 2014). Prema pregledu projekata upisanih u Registar obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača (Registar OIEKPP) (http://oie-aplikacije.mingo.hr/pregledi), gotovo sve

[27] Uz instaliranu snagu vjetroelektrana u pogonu (339,45 MW), u kvotu ulazi i odobrena snaga vjetroelektrana za priključenje na elektroenergetsku mrežu (81,5 MW), stoga je ukupna iskorištena snaga 420,95 MW.

vjetroelektrane su smještene na otocima i priobalnim područjima Republike Hrvatske, i to uglavnom u tzv. južnoj regiji Republike Hrvatske, jer je tamo prisutan relativno dobar vjetropotencijal. Uz iznimku pojedinih vjetroelektrana, većina ih ostvaruje pozitivnu dobit prije kamata, poreza, deprecijacije i amortizacije (EBITDA) do čak nekoliko milijuna eura, velikim dijelom zbog činjenice da je zajamčena otkupna cijena električne energije (https://amadeus.bvdinfo.com). S obzirom na dostupnost podataka svih varijabli modela, smanjen je uzorak „dostupnih" vjetroelektrana, te se u doktorskoj disertaciji metodom analize omeđivanja podataka ocjenjuje relativna efikasnost dvaju vjetroenergetskih poduzeća u Republici Hrvatskoj, Vjetroelektrane Trtar Krtolin i Vjetroelektrane Crno Brdo. Pri tome je Vjetroelektrana Trtar Krtolin u promatranoj 2011. godini ostvarila relativno visok profit u usporedbi s ostalim ocijenjenim vjetroenergetskim poduzećima, dok je Vjetroelektrana Crno Brdo u istoj godini imala nešto niži profit u usporedbi s prethodnom vjetroelektranom, iako je zapravo (sa 513.000 eura profita) reprezentant prosječne vrijednosti skupine. U Republici Hrvatskoj provedeno je više istraživanja koja su procjenjivala proizvodnju električne energije iz vjetroelektrana ili analizirala vjetropotencijal na određenom području. Tako je utvrđeno, primjerice, da na području zaleđa grada Novi Vinodolski postoji dostatan vjetropotencijal za proizvodnju električne energije iz energije vjetra. Podaci su dobiveni tijekom godine i pol dana mjerenja te daju srednju brzinu vjetra od 6,92 m/s (Klarić, Bartak, Guberina, 2008). Isto tako, na područjima sadašnjih vjetroelektrana postoje daljnje mogućnosti izgradnje vjetroenergetskih postrojenja kojima bi se osigurala dodatna, ekološki prihvatljiva proizvedena električna energija. Također, velik broj lokacija vjetroelektrana se nalazi u dalmatinskom zaleđu, na demografski opustošenim i gospodarski nerazvijenim prostorima. Time bi vjetroelektrane, kao profitabilna i brzorastuća tehnologija obnovljivih izvora energije, svakako potaknule lokalno gospodarstvo, ali i nacionalnu ekonomiju, što tijekom izgradnje objekata, što kasnijim održavanjem, razvojem elektroenergetske infrastrukture te čitavim nizom povezanih proizvodnih i uslužnih djelatnosti (Međimorec, 2010).

Energija Sunca, kao primarni izvor cjelokupne energije na Zemlji, u Republici Hrvatskoj ima znatan potencijal s obzirom na visok broj Sunčanih sati godišnje koji može iznositi i do 2700 sati godišnje, i to, također, najviše na otocima i u južnoj Hrvatskoj (http://crometeo.hr/klima).

Povezujući energiju vodenih tokova s proizvodnom strukturom hrvatskog elektroenergetskog sustava, potrebno je istaknuti da više od polovice izvora, odnosno energetskih postrojenja čine (velike i male) hidroelektrane. Hrvatska stoga pripada, u uvjetima povoljnih hidroloških prilika, među vodeće države u proizvodnji električne energije iz (tradicionalnih i „održivih“) obnovljivih izvora energije (http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/default.aspx). Ističe se da se od ukupnog tehničkog iskoristivog vodnog potencijala u Republici Hrvatskoj u hidroelektranama koristi gotovo 50%. Male hidroelektrane, kao „novi“ obnovljivi izvor energije, predstavljaju ogroman potencijal koji bi mogao imati značajnu ulogu u zadovoljenju potreba za električnom energijom. Oko 10% ukupnog hidropotencijala u Republici Hrvatskoj otpada na potencijal malih vodenih tokova (oko 1 TWh (teravat-sat) godišnje). Spomenuto još uvijek implicira mogućnost dodatne izgradnje i optimizacije tog energetskog resursa. Štoviše, istraživanja su utvrdila 67 potencijalnih lokacija za male hidroelektrane, no zbog raznih ograničenja taj broj je smanjen na 18 zahvata na 6 vodotoka (Narodne novine, 2009). Male hidroelektrane mogu biti smještene i u sklopu velikih hidroelektrana, odnosno većih hidroenergetskih sustava. One iskorištavaju preostale male protoke vode koje velika hidroelektrana ne može iskoristiti u proizvodnji električne energije. Razvoj hidroenergetike mora se prilagođavati zahtjevima očuvanja okoliša, zaštite od poplava, javne vodoopskrbe, navodnjavanja, unutarnje plovidbe i ostalih oblika korištenja voda i zemljišta u okvirima višenamjenskih rješenja (Hrvatske vode, 2009). Time male hidroelektrane, kao jedan od važnijih obnovljivih i ekološki prihvatljivih izvora energije, predstavljaju pogodno rješenje za proizvodnju električne energije.

Republika Hrvatska posjeduje velik šumski potencijal za proizvodnju električne energije iz biomase s gotovo 45% šumskog teritorija. Međutim, za očekivati je da se električna energija dobiva iz isključivo „održive“ biomase, odnosno drvnih ostataka i/ili drvnog otpada raspoloživog za energetsku primjenu. Može se konstatirati da su za povećanu proizvodnju električne energije iz biomase uvjeti vrlo povoljni i obećavajući, a načini iskorištavanja i potrebna tehnologija poznati. U posljednje vrijeme poraslo je zanimanje za ovaj energetski resurs, pokreću se novi projekti i obnavljaju se već postojeća postrojenja, no ipak može se zaključiti da biomasa značajnije ne utječe na sveukupnu proizvodnju električne energije iz „održivih“ obnovljivih

izvora energije, te da još uvijek nije zauzela važno mjesto u energetskoj politici Republike Hrvatske (Maradin, Ponikvar, Cerović, 2014).

Korištenjem obnovljivih izvora energije ostvaruju se interesi Republike Hrvatske u području energetike, utvrđeni Strategijom energetskog razvoja Republike Hrvatske, zakonima i drugim propisima kojima se uređuje obavljanje energetskih djelatnosti, osobito u pogledu (http://oie.mingo.hr/default.aspx?id=8):

1. dugoročnog smanjenja ovisnosti o uvozu energenata;
2. efikasnog korištenja energije i smanjenja utjecaja uporabe fosilnih goriva;
3. otvaranja novih radnih mjesta i razvoja poduzetništva u energetici;
4. poticanja razvoja novih tehnologija i domaćeg gospodarstva u cjelini;
5. diverzifikacije proizvodnje energije i sigurnosti opskrbe energije.

Razvoj hrvatskog elektroenergetskog sektora može se promatrati u okviru određenih zakona i dokumenata, no ponajprije Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske. Prijašnjih godina objavljeno je nekoliko energetskih programa i strategija, pri čemu se već 1998. godine u Strategiji energetskog razvitka Republike Hrvatske razmatraju ciljevi i politike korištenja obnovljivih izvora energije, te ostali aspekti energetskog i gospodarskog razvitka. Godine 2002. uspostavljena je nova Strategija energetskog razvitka Republike Hrvatske kojom se strateški podržava korištenje i razvoj novih, čistih i efikasnih tehnologija obnovljivih izvora energije. Time se posljedično nastoji ostvariti diverzifikacija energetskih oblika i resursa, odnosno tehnologija proizvodnje električne energije, ali i sagledati pozitivan utjecaj obnovljivih izvora na okoliš. Približavanje Hrvatske punopravnom članstvu u Europskoj uniji, te istovremeno ratificiranje i prihvaćanje sporazuma o Energetskoj zajednici u lipnju 2006. godine i Kyotskog protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime u travnju 2007. godine, rezultiralo je usvajanjem nove Strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske 2009. godine. Navedena Strategija predviđena je za razdoblje do 2020. godine kako bi se uskladila sa ciljevima i vremenskim okvirom strateških dokumenata Europske unije. Budući je cilj Strategije izgradnja održivog energetskog sustava, neposredno se ističe povećanje ulaganja i poticanje obnovljivih izvora energije, ali uz prihvatljive društvene troškove njihove uporabe. U skladu s metodologijom propisanom Direktivom 2009/28/EZ o poticanju korištenja energije iz obnovljivih izvora,

Hrvatska je usvojila cilj da će do 2020. godine udio obnovljivih izvora energije, uključujući i velike hidroelektrane, u bruto neposrednoj potrošnji energije iznositi 20%. Nadovezujući se na taj cilj određeno je da se udio proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije, uključujući velike hidroelektrane, u ukupnoj potrošnji električne energije u razdoblju do 2020. godine održava na razini 35%. Temeljem revidiranog programa Nacionalnog akcijskog plana za obnovljive izvore energije do 2020. godine, utvrđeno je da udio obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji električne energije iznosi 39%. U elektroenergetskom sektoru, povećanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije temelji se na novim kapacitetima u elektranama na biomasu i bioplin, vjetroelektranama, sunčanim elektranama, geotermalnim elektranama, te na malim i velikim hidroelektranama. Razvoj i primjena obnovljivih izvora energije mjera je koja doprinosi smanjivanju emisije stakleničkih plinova, odnosno ostvarenju ciljeva zaštite okoliša, ali je i sredstvo koje osigurava veću sigurnost opskrbe korištenjem različitih oblika i izvora energije te, posljedično, predstavlja poticaj razvoju domaće proizvodnje energetske opreme i usluga, te u konačnici, ukupnog gospodarstva (Narodne novine, 2009). Time se Hrvatska opredjeljuje za iskorištavanje obnovljivih izvora energije u skladu s načelima održivog razvoja.

U svrhu razvoja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora obuhvaćena je sustavom poticanja putem povlaštenih otkupnih cijena, odnosno zajamčenih tarifa (engl. *feed-in tariffs*) proizvedene električne energije. Sustavi poticanja pružaju proizvođačima električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije fiksnu zajamčenu tarifu za „obnovljivu“ električnu energiju tijekom određenog vremenskog perioda. Takvi sustavi poticanja, jednostavni za primjenu i administriranje, doveli su do osjetnog rasta korištenja obnovljivih izvora energije u pojedinim državama članicama Europske unije. Određivanjem tarifnog sustava i procedura stjecanja statusa povlaštenog proizvođača električne energije, odnosno donošenjem paketa podzakonskih akata za obnovljive izvore energije definirani su osnovni preduvjeti za realan razvoj projekata obnovljivih izvora energije (http://oie.mingo.hr/ default.aspx?id=8).

Razmatrajući razvoj projekata vjetroenergetskog sektora, postoje različiti regulatorni instrumenti koji se koriste u državama članicama Europske unije za poticanje razvoja vjetroenergetskih poduzeća. Najvažniji instrumenti su sljedeći (Walz, Schleich, 2009):

1. podrška za istraživanje i razvoj (R&D);
2. izravno subvencioniranje instalacije vjetroelektrana, npr. poreznim olakšicama i mjerama;
3. zajamčene otkupne cijene („feed in“ tarifni sustav); te
4. sustav kvota.

Navedeni instrumenti, odnosno poticaji mogu uključivati različite oblike regulatornih mjera u promicanju industrije vjetra. Programi istraživanja i razvoja imaju za cilj poticati inovacije vjetroagregata. Porezne olakšice i ostale mjere usmjerene su na poboljšanje djelovanja industrije vjetra, odnosno ekonomskog funkcioniranja vjetroenergetskih poduzeća. Uglavnom se primjenjuju u ekološkom reguliranju, odnosno poticanju čistih obnovljivih energetskih resursa. „Feed in“ tarifni sustav kao i sustav kvota imaju dvije značajke. Prvo, otkupna cijena koja se daje proizvođačima električne energije iz energije vjetra je iznad cijene za električnu energiju iz konvencionalnih izvora. Drugo, osigurava se integriranje „zelene“ električne energije iz energije vjetra u elektroenergetsku mrežu te se time vjetroenergetskim poduzećima olakšava pristup mrežnim djelatnostima. Stoga, navedeni sustavi predstavljaju ključni instrument koji se odnosi na obje kategorije, ekonomsko i ekološko reguliranje.

Razvoj elektroenergetskog sektora u dijelu obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj je ponajviše određen poticajima u vidu zajamčenih tarifa. Da bi se proizvođač električne energije iz obnovljivih izvora energije kvalificirao za otkup po poticajnoj tarifi, nužno je dobiti status povlaštenog proizvođača (http://www.hep.hr/oie/trziste/default.aspx). S druge strane, u Republici Hrvatskoj ne postoje druge poticajne mjere koje bi dodatno unaprijedile tržište obnovljivih izvora energije. Ističe se da priprema izgradnje i realizacije novih energetskih postrojenja funkcionira na tržišnim osnovama (http://oie.mingo.hr/default.aspx?id=119), te je „lišena“ bilo kakvih poticaja, čime se nastoje osigurati uvjeti za slobodno djelovanje tržišta u razdoblju do početka rada elektroenergetskog poduzeća, odnosno procesa proizvodnje električne energije. Ovisno o proizvedenoj te isporučenoj količini električne energije iz obnovljivih izvora u elektroenergetsku mrežu, izravno se potiču, tarifnim sustavom, elektroenergetska poduzeća iz obnovljivih izvora energije. U Republici Hrvatskoj je sustav poticanja proizvodnje električne

energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracija u primjeni od 1. srpnja 2007. godine. S obzirom na segment obnovljivog izvora, te odgovarajućim podzakonskim aktima i Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije[28], utvrđene su različite poticajne cijene (fiksne tarifne stavke). Sagledavajući, primjerice, energiju vjetra, visina tarifne stavke za 2015. godinu (korigirana prema prosječnom godišnjem indeksu potrošačkih cijena) prema Tarifnom sustavu iz 2007. godine (NN 33/07) za vjetroelektrane instalirane snage veće od 1 MW iznosi 0,8003 kn/kWh (http://files.hrote.hr/files/PDF/HR_OIE_2_2014_ts_33_07_v2.pdf). Uključujući ukupne obnovljive izvore energije u promatranom Tarifnom sustavu, navedena visina tarifne stavke ima gotovo srednju vrijednost, iz čega proizlazi da, uz dane uvjete, energija vjetra ostvaruje zadovoljavajuću razinu poticaja. S druge strane, Tarifnim sustavom iz 2012. i 2013. godine poticajna cijena za vjetroelektrane snage veće od 1 MW se smanjila na 0,71 kn/kWh (http://files.hrote.hr/files/PDF/HR_OIE_2_Novi_TS.pdf). Posljednjim Tarifnim sustavom (NN 133/2013, 151/2013) poticajna cijena za vjetroelektrane zapravo predstavlja referentnu cijenu električne energije[29] (http://files.hrote.hr/files/PDF/HR_OIE_2_2014.pdf) koja iznosi 0,53 kn/kWh (Narodne novine, 2013). Može se uočiti da se poticajna cijena za vjetroelektrane postepeno smanjuje, što zasigurno dovodi u pitanje daljnja ulaganja u sektor energije vjetra. Nadalje, iako se referentna cijena (koja se prije nazivala prosječna proizvodna cijena) navodi i kao poticajna cijena, ona po svojoj definiciji nije niti može biti poticajna cijena. Time, de facto, u okviru posljednjeg Tarifnog sustava, ne postoje poticaji za isporučenu električnu energiju vjetroenergetskih poduzeća u Republici Hrvatskoj. Štoviše, iznenađujuća je odluka da se u 2015. godini obustavlja sklapanje ugovora o otkupu električne energije iz vjetroelektrana u sustavu poticanja. Razlog takvoj odluci je u ispunjenim kvotama otkupa električne energije iz vjetroelektrana, budući da važeći Tarifni sustav ne predviđa povećanje prethodno utvrđenih instaliranih snaga, tj. kvota koje iznose 400 MW (http://www.hrote.hr/default.aspx?id =281). Zapravo, ukupna iskorištena snaga je 420,95 MW čime je kvota premašena zbog uključivanja u sustav vjetroelektrane Rudine snage 35 MW. Određeni broj vjetroelektrana (instalirane snage 109

[28] U nastavku doktorske disertacije: Tarifni sustav.

[29] Referentna cijena električne energije je cijena jednaka iznosu važeće tarifne stavke za radnu energiju po jedinstvenoj dnevnoj tarifi za opskrbu električnom energijom u okviru univerzalne usluge, tarifni model Plavi čiji je iznos određen člankom 39. stavkom 2. točkom 1. Metodologijom za određivanje iznosa tarifnih stavki za opskrbu električnom energijom u okviru univerzalne usluge (»Narodne novine«, broj 116/2013), sukladno kojoj su opskrbljivači dužni otkupiti električnu energiju iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije od operatora tržišta.

MW) je sklopio ugovor o priključenju na elektroenergetsku mrežu, ali zbog navedenih ograničenja nisu uključene u kvotu (http://www.hops.hr/wps/wcm/connect/81bdec0e-aa91-41c5-8ec6-36c681944052/VE+u+pogonu+i+sa+sklopljenim+UOP-om+14052013.pdf?MOD=AJPERES). Iako potencijal za energijom vjetra postoji, potrebno je pronaći odgovarajuća rješenja u vidu tehničkih ili administrativnih aspekata kako bi se tržište energije vjetra nastavilo širiti i razvijati.

Da bi se utjecalo na daljnji razvoj energije vjetra u okviru obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj, potrebno je u većoj mjeri promicati i unapređivati navedeni specifični segment obnovljivih izvora energije. Iako u radu vjetroenergetskih poduzeća ne djeluje veći broj stalno zaposlenih radnika, vjetroelektrane osiguravaju proizvodnju velikih količina „čiste“ električne energije čime pozitivno djeluju na okoliš, te doprinose održivom razvoju. Dodatno, energija vjetra pruža velike mogućnosti za razvoj gospodarstva s obzirom na proizvodnju energetske opreme i dijelova. U tom vidu, Republika Hrvatska se mora aktivnije uključiti u ovu značajnu gospodarsku „utakmicu“, kako bi bila konkurentni igrač na dinamičnom elektroenergetskom tržištu.

6.2. UNAPREĐENJE EFIKASNOSTI HRVATSKOG ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA U DJELATNOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ ENERGIJE VJETRA

U cilju unapređenja efikasnosti hrvatskog elektroenergetskog sektora, potrebno je poticati efikasnost svih djelatnosti električne energije te njezinih sastavnih dijelova, odnosno segmenata, pa tako i u djelatnosti proizvodnje električne energije u dijelu obnovljivih izvora energije. Promatrajući vjetroenergetski segment obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj, nužno je, i nadalje, osiguravati adekvatne (zadovoljavajuće) financijske poticaje i potpore, barem u zajamčenoj otkupnoj cijeni električne energije. Time bi se utjecalo na „normalno“ funkcioniranje sustava, bez gubitaka za vjetroenergetska poduzeća, a isto se može shvatiti i kao preporuka sve dok se, barem približno, ne izjednače troškovi proizvodnje električne energije iz energije vjetra u odnosu na fosilne energetske resurse, odnosno dok tehnologija obnovljivog izvora ne postane konkurentna. Potrebno je istaknuti da je uočeno smanjenje troškova proizvodnje električne

energije iz priobalnih vjetroelektrana, uz očekivani daljnji trend smanjivanja istih (http://www.vjetroelektrane.com/svijet/2234-padaju-troskovi-priobalnih-vjetroelektrana). U tom smislu, može se očekivati da će u budućnosti doći i do postupnog ukidanja određenih oblika potpora i poticaja za obnovljive izvore, što se dijelom trenutno i provodi u pojedinim državama Europske unije (npr. u Španjolskoj ili Češkoj Republici). U takvim okolnostima na tržištu, vjetroenergetska poduzeća u Republici Hrvatskoj će morati provesti odgovarajuće prilagodbe, kako bi se mogla „nositi" s konkurencijom te utjecati na povećanje efikasnosti poslovanja svojih vjetroelektrana.

U skladu s rezultatima doktorske disertacije, efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u Republici Hrvatskoj je moguće unaprijediti korištenjem optimalnih (minimalnih) količina inputa uz odgovarajuću razinu outputa, odnosno, u proizvodnji električne energije iz energije vjetra nužno je optimizirati čimbenike ekonomskih i tehničkih obilježja od utjecaja na efikasnost poduzeća. Pri tome, čimbenike ekonomskih obilježja predstavljaju dugotrajna materijalna imovina, potraživanja i ostala kratkotrajna imovina, te novac i novčani ekvivalenti poduzeća, koje varijable se odnose na inpute u modelu, dok dobit prije kamata, poreza, deprecijacije i amortizacije (EBITDA) predstavlja output u modelu ocjenjivanja relativne efikasnosti. Tako iskazana ekonomska obilježja vjetroenergetskih poduzeća (izražena u monetarnim jedinicama) osiguravaju ocjenu cjenovne (alokativne) efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća. S druge strane, čimbenici tehničkih obilježja odnose se na tehničke vrijednosti vjetroenergetskog poduzeća koje se iskazuju kroz snagu vjetroagregata, broj vjetroagregata te gorivo. Potrebno je istaknuti da je varijabla goriva, kao kinetička energija vjetra, iskazan gustoćom zraka, površinom rotora vjetroagregata, brzinom vjetra, koeficijentom snage i brojem vjetroagregata. Uključivanjem navedenih tehničkih obilježja u model, postiže se tehnička (proizvodna) efikasnost vjetroenergetskih poduzeća. Analiziranjem ekonomskih i tehničkih obilježja u modelu ocjenjivanja relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća osigurava se ocjena ukupne (ekonomske) efikasnosti.

U cilju mogućeg unapređenja ukupne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća u proizvodnji električne energije hrvatskog elektroenergetskog sektora, nužno je smanjiti, u skladu s projekcijama modela, inpute ekonomskih i tehničkih obilježja, uz zadržavanje postojećih razina outputa. Mjere, odnosno iznosi projekcije pojedinih čimbenika utvrđeni na razini prosjeka

(uzorka od 78 vjetroenergetskih poduzeća iz 12 država članica Europske unije) uključuju smanjenje sljedećih vrijednosti: potraživanja i ostale kratkotrajne imovine za 10,2%; goriva (odnosno lopatice rotora vjetroagregata zbog ostvarivanja najvećeg udjela u varijabli goriva) za 9,1%; dugotrajne materijalne imovine za 7,1%; novca i novčanih ekvivalenata za 6,7%; snage vjetroagregata za 5,7%; te broja vjetroagregata za 3,6%.

Unapređenje efikasnosti hrvatskog elektroenergetskog sektora u djelatnosti proizvodnje električne energije iz energije vjetra moguće je promatrati u kontekstu analiziranih vjetroenergetskih poduzeća, tj. Vjetroelektrane Trtar Krtolin i Vjetroelektrane Crno Brdo. Empirijskim istraživanjem utvrđena je potpuna efikasnost vjetroenergetskog poduzeća Trtar Krtolin ($\theta^* = 1$) (za koje, u skladu s pretpostavkama modela, nisu potrebne korekcije promatranih inputa), te relativna neefikasnost Vjetroelektrane Crno Brdo ($\theta^* = 0{,}7692$), kao trećeg najlošije ocijenjenog vjetroenergetskog poduzeća u uzorku, koje poduzeće bi trebalo značajno smanjiti angažiranost ekonomskih i tehničkih obilježja inputa kako bi unaprijedilo efikasnost, te postalo relativno efikasno poduzeće u referentnom skupu. Navedeno podrazumijeva smanjivanje potraživanja i ostale kratkotrajne imovine za čak 72,42%, novca i novčanih ekvivalenata za 65,99% te instalirane snage vjetroagregata za 42,94%. Ostale inpute modela, odnosno dugotrajnu materijalnu imovinu, broj vjetroagregata te gorivo, je potrebno smanjiti za približno 23%. Uz značajan višak neiskorištenih kapaciteta, odnosno preveliku angažiranost faktora ekonomske i tehničke prirode u proizvodnji električne energije u odnosu na ostala relativno efikasna vjetroenergetska poduzeća, Vjetroelektrana Crno Brdo u većoj mjeri i opsegu mora provesti smanjenja svih analiziranih inputa.

Iz navedenog se može uočiti da su, bez obzira na trenutno stanje hrvatskog elektroenergetskog sektora u dijelu obnovljivih izvora energije te tarifni sustav zajamčenih cijena, (uzorkom obuhvaćena dva) vjetroenergetska poduzeća u Republici Hrvatskoj ocijenjena, jedno, potpuno efikasnim te, drugo, relativno neefikasnim, uz relativno nizak rezultat efikasnosti ($\theta^* = 0{,}7692$). Takva „dijametralno suprotna“ efikasnost vjetroenergetskih poduzeća otvara brojna pitanja, polemike, rasprave i dvojbe glede opravdanosti i doprinosa vjetroelektrana u proizvodnji električne energije iz energije vjetra, efikasnosti njihova djelovanja, mogućnostima za poboljšanje i drugo. No, upravo modelom doktorske disertacije ponuđen je vrijedan alat u

procjeni efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća i mogućnostima za njihovo poboljšanje. Zaključno, da bi se sagledala cjelokupna efikasnost hrvatskog elektroenergetskog sektora, odnosno poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije iz energije vjetra, potrebno je u analizu uključiti i ostale vjetroenergetske poslovne subjekte koji djeluju na prostoru Republike Hrvatske.

Posljednji dio doktorske disertacije predstavlja zaključak u kojem je prikazana sinteza svih relevantnih spoznaja, te najvažniji rezultati provedenog empirijskog istraživanja.

7. ZAKLJUČAK

U fokusu istraživačkog interesa ove doktorske disertacije je ocjenjivanje efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, kao značajnog i perspektivnog segmenta obnovljivih izvora energije u djelatnosti proizvodnje električne energije. Kao početni stadij u procesu transfera električne energije u odnosu na četiri temeljne elektroenergetske djelatnosti, proizvodnja električne energije predstavlja osnovu u funkcioniranju elektroenergetskog sektora. Zapravo, energija se ne može proizvesti, već se samo pretvara iz jednog oblika u drugi, primjerice iz kinetičke energije vjetra u električnu energiju. Navodi se da djelatnost proizvodnje električne energije sudjeluje s najvećim udjelom od 65% u ukupnim troškovima svih elektroenergetskih djelatnosti. Mrežne djelatnosti, odnosno djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije sudjeluju s 30%, dok se samo 5% ukupnih troškova odnosi na djelatnost opskrbe električne energije, odnosno pružanja električne energije krajnjim potrošačima.

Posebnost elektroenergetskog sektora ogleda se u postojanju različitih tržišnih struktura koje „prate“ proces transfera električne energije. Dok se djelatnosti proizvodnje i opskrbe uglavnom smatraju tržišno orijentiranim, konkurentnim djelatnostima, mrežne djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije su u većini slučajeva regulirane, s obzirom na karakter prirodnog monopola, te, stoga, unutar istih nije moguće ostvariti konkurentne odnose.

Početkom 1980-tih godina u elektroenergetskom sektoru počinju se provoditi strukturne reforme i procesi restrukturiranja, tj. liberalizacija sektora, odnosno uvođenje konkurencije, deregulacije, privatizacije, vertikalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti, te ostali procesi, a koji imaju za cilj unaprijediti efikasnost elektroenergetskog sektora. Restrukturiranje je dovelo do transformacije vertikalno integriranog monopolskog poduzeća prema liberaliziranom tržištu kojeg čine elektroenergetska poduzeća koja danas međusobno konkuriraju proizvodnjom i prodajom električne energije. Glavni cilj vertikalnog razdvajanja elektroenergetskih djelatnosti je sprječavanje diskriminacije u tržišno konkurentnim djelatnostima elektroenergetskog sektora, no također osiguravanje prava pristupa ostalim poslovnim subjektima u reguliranim djelatnostima prijenosa i distribucije električne energije, ukoliko je navedeno provedivo s obzirom na tehnička i/ili ekonomska ograničenja. Uvođenje konkurencije, odnosno otvaranje tržišta električne energije

ireverzibilan je proces koji nema alternativu. Konkurentni odnosi u elektroenergetskom sektoru smatraju se poticajnim faktorom u postizanju veće efikasnosti tržišta te održivosti elektroenergetskog sektora.

U liberaliziranom elektroenergetskom sektoru nužno je osigurati stabilno funkcioniranje svih djelatnosti električne energije kako bi cjelokupni elektroenergetski sustav mogao djelovati na zadovoljavajući način, pružajući u svakom trenutku i potrebnoj količini pristup i korištenje električne energije krajnjim potrošačima. U takvim tržišnim uvjetima, optimizacija poslovanja elektroenergetskih poduzeća postaje ključna, uzimajući u obzir kako tehnički, tako i ekonomski aspekt proizvodnje električne energije. Stoga je, u empirijskom dijelu ove doktorske disertacije, u fokusu istraživanja upravo značaj upravljanja ukupnim resursima elektroenergetskih poduzeća, odnosno njihovim tehničkim i ekonomskim obilježjima.

Veliki izazov koji se postavlja ispred elektroenergetskog sektora, s posebnim naglaskom na djelatnost proizvodnje, odnosi se na sigurnost opskrbe električne energije i postizanje održivosti, kao i u pristupačnom i efikasnom korištenju električne energije. Sigurnost opskrbe električne energije pojavljuje se kao jedno od ključnih pitanja u liberaliziranom elektroenergetskom sektoru, a podrazumijeva osiguravanje dovoljnih količina električne energije krajnjim potrošačima u potrebnom vremenu s određenom (specifičnom) razinom kontinuiteta i kvalitete na održiv način. Navedeno je nužno zadovoljiti, prije svega jer je električna energija specifičan proizvod na tržištu koji se ne može jednostavno prenositi te se proizvedena električna energija gotovo trenutno mora isporučiti i iskoristi. To podrazumijeva ravnotežu ponude i potražnje za električnom energijom, te stoga predstavlja otežavajuću okolnost u proizvodnom procesu i opskrbi elektroenergetskog sektora, neovisno o energetskom resursu koji se upotrebljava u proizvodnji električne energije. Da bi se ostvarila odgovarajuća razina sigurnosti opskrbe energije, potrebno je, između ostaloga, zadovoljiti aspekt dostupnosti (elementi povezani s geološkim postojanjem), pristupačnosti (geopolitički elementi), raspoloživosti (ekonomski elementi), te prihvatljivosti (ekološki i društveni elementi) izvora energije. U cilju postizanja dodatne sigurnosti opskrbe električne energije, sugerira se veća fleksibilnost i raznolikost, odnosno diverzifikacija u proizvodnji električne energije. Diverzifikacija energetskih resursa, koja predstavlja samo jedan od elemenata

sigurnosti opskrbe energije, pored ostalih mjera, pretpostavlja veću iskorištenost alternativnih (obnovljivih) oblika energije u proizvodnji električne energije.

Uz primjenu konvencionalnih (fosilnih) energetskih resursa, alternativni oblici energije postaju značajan dodatni izvor energije u zadovoljenju potreba, prije svega, za električnom energijom. Uz osiguravanje dodatnih količina električne energije, obnovljivi izvori energije omogućuju i dodatne doprinose gospodarskom razvoju te ostvarivanju opće konkurentnosti u gospodarenju energijom. Jedan od temeljnih razloga sve većeg korištenja obnovljivih izvora energije je postizanje ekološkog aspekta održivosti, jer obnovljivi izvori u proizvodnji električne energije ne onečišćuju okoliš emisijom stakleničkih plinova te djeluju na smanjeno iscrpljivanje ograničenih fosilnih energetskih resursa, odnosno otvaraju mogućnost za njihovu daljnju upotrebu i u budućnosti. Obnovljivi izvori energije, iako se pojavljuju kao prikladan energetski resurs u proizvodnji električne energije, samostalno, odnosno bez konvencionalnih oblika energije, ne mogu postići „održivost“, zbog ograničenja koja se pojavljuju u području dostupnosti i kontinuiranosti primjene obnovljivog izvora. Kako bi se navedena ograničenja umanjila/eliminirala, potrebno je osigurati diverzifikaciju u korištenju obnovljivih izvora energije i/ili riješiti pitanje skladištenja određene količine energije. S obzirom na rješavanje istaknutih problema, ovisit će daljnje korištenje i razvoj obnovljivih izvora energije.

Obnovljivi izvori energije sadrže brojne prednosti, ali i neke nedostatke u pružanju dodatnih količina električne energije, te je njihovo iskorištavanje, prije svega, potrebno promatrati u kontekstu unapređenja elektroenergetskog sektora te razvoja nacionalnog gospodarstva. Prednosti korištenja obnovljivih izvora energije očituju se u očuvanju okoliša, odnosno smanjenoj emisiji stakleničkih plinova, smanjenju potrošnje fosilnih goriva, smanjenoj ovisnosti o uvozu energije, poticanju razvoja inovacija i gospodarstva, povećanju zaposlenosti, razvoju ruralnih područja, smanjenju energetske oskudice, odnosno širenju ruralnih kapaciteta elektrifikacije, te ostalom. S druge strane, nedostaci primjene obnovljivih izvora energije uključuju ovisnost o vremenskim uvjetima, odnosno nekontinuiranost i nepredvidljivost obnovljivog energetskog resursa, poteškoće oko prihvata obnovljive električne energije u elektroenergetski sustav, nisku sposobnost proizvodnje električne energije, nisku energetsku efikasnost, nisku maksimalnu iskorištenost kapaciteta, odnosno niski faktor kapaciteta, relativno visoku cijenu proizvodnje

električne energije, te ostalo. Ipak, očekuje se da će se u narednom razdoblju proizvodnja i potrošnja energije iz obnovljivih izvora u značajnoj mjeri povećati, prije svega zbog razvoja i unapređenja novih tehnologija obnovljivih izvora energije te postupnom smanjivanju cijena istih, što će rezultirati dodatnom ekspanzijom obnovljivih izvora energije na nova tržišta.

Obnovljivi izvori energije u širem smislu riječi, među kojima se pojavljuju tradicionalni i „novi“ obnovljivi izvori, iako nastaju te se obnavljaju u prirodi, ne djeluju na načelima održivog razvoja na razini svih izvora. Primjerice, s obzirom da značajno utječu na promjene u okolišu/ekosustavu zbog potapanja velikih površina, velike hidroelektrane (iznad 10 MW instaliranih kapaciteta), kao tradicionalni obnovljivi izvori, ne osiguravaju održivost. S obzirom na usmjerenost doktorske disertacije, u fokusu istraživanja jesu upravo „novi“ ili „održivi“ obnovljivi izvori energije koji doprinose održivom razvoju. U „održive“ obnovljive izvore energije spadaju Sunčeva energija, energija vjetra, energija vodenih tokova iz malih hidroelektrana, energija iz „održive“ biomase, geotermalna energija, te energija mora. Potrebno je istaknuti da je Sunčeva energija osnovni izvor cjelokupne energije svijeta iz koje proizlazi gotovo sva ostala energija, pa tako i energija vjetra.

U današnje (suvremeno) vrijeme energija vjetra, kao nadopuna i potpora ostalim energetskim resursima, osigurava dodatnu proizvodnju električne energije. Time se energija vjetra pojavljuje kao jedan od značajnijih, dodatnih (čistih) izvora energije. Razlog znatnog povećanja udjela energije vjetra u segmentu obnovljivih izvora energije može se obrazložiti brojnim prednostima, od kojih se ističe ekološka prednost korištenja energije vjetra u proizvodnji električne energije zbog odsustva emitiranja stakleničkih plinova u atmosferu, razvoj sofisticirane tehnologije koja ima za cilj unapređenje proizvodnje električne energije iz „novih“ obnovljivih izvora energije, te pružanje potpora i poticaja kojima se unapređuje industrija energije vjetra. Kao „novi“ obnovljivi izvor, energija vjetra pospješuje održivost proizvodnje električne energije, uvažavajući gospodarski, društveni, te osobito ekološki aspekt održivosti.

U gospodarskim djelatnostima, efikasnost predstavlja jedan od temeljnih pokazatelja poslovanja suvremenog poslovnog subjekta. Ukupna ostvarena (ekonomska) efikasnost postiže se zadovoljenjem tehničke i alokativne efikasnosti. Tehnička ili proizvodna efikasnost označava da se uloženom kombinacijom inputa ostvaruje maksimalni output, dok alokativna ili cjenovna

efikasnost označava optimalnu kombinaciju inputa s obzirom na njihove cijene (u proizvodnji odgovarajuće količine outputa). Također, efikasnost se može dvojako mjeriti, i to maksimalnom količinom outputa uz danu razinu inputa, te minimalnom količinom inputa uz postojeću razinu outputa.

Ocjenjivanje relativne efikasnosti poduzeća može se provoditi različitim metodama, među kojima se posebno ističe analiza omjera (engl. *Ratio Analysis* – RA), regresija metodom najmanjih kvadrata (engl. *Least-Squares Regression* – LSR), ukupna faktorska produktivnost (engl. *Total Factor Productivity* – TFP), analiza stohastičke granice (engl. *Stochastic Frontier Analysis* – SFA), te analiza omeđivanja podataka (engl. *Data Envelopment Analysis* – DEA), koja je ujedno i temeljna istraživačka metoda ove doktorske disertacije. Mjerenje efikasnosti u elektroenergetskom sektoru, pored različitih koncepata efikasnosti koji se odnose na energetsku efikasnost, ekološku efikasnost ili efikasnost elektrana, odnosno elektroenergetskih poduzeća, provodi se prvenstveno graničnim metodama, kao što su DEA metoda, SFA metoda, te TFP metoda. Rezultati prethodnih istraživanja pokazuju da se DEA metodom u djelatnosti proizvodnje električne energije ocjenjuje relativna efikasnost uglavnom termoenergetskih postrojenja, dok se u posljednje vrijeme istraživanja provode i u okviru obnovljivih izvora energije, pa tako i energije vjetra.

U empirijskom dijelu doktorske disertacije utvrđuju se ekonomski i tehnički čimbenici, promatrani kao inputi i outputi modela, koji utječu na efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u proizvodnji električne energije iz energije vjetra, te se DEA metodom ocjenjuje njihova relativna efikasnost, kao i izvori te opseg (eventualne) neefikasnosti vjetroenergetskih poduzeća. Varijable modela su, u dijelu tehničkih inputa, „opisane“ snagom vjetroagregata, brojem vjetroagregata, gorivom, a u dijelu ekonomskih inputa, dugotrajnom materijalnom imovinom, potraživanjem i ostalom kratkotrajnom imovinom, te novcem i novčanim ekvivalentima. S druge strane, proizvedena električna energija i dobit prije kamata, poreza, deprecijacije i amortizacije (EBITDA) predstavljaju se kao outputi modela, prvi tehničke, a drugi ekonomske prirode.

Ocjenjivanje relativne efikasnosti 78 vjetroenergetskih poduzeća iz Republike Hrvatske i ostalih 11 država članica Europske unije, promatranih u 2011. godini, provodi se BCC inputu-

usmjerenim DEA modelom. Ocjenjivanjem je utvrđeno da su 34 vjetroenergetska poduzeća potpuno efikasna ($\theta^* = 1$; $s^{-}* = 0$, $s^{+}* = 0$), 24 slabo efikasna ($\theta^* = 1$; $s^{-}* \neq 0$, $s^{+}* \neq 0$), dok je 20 vjetroenergetskih poduzeća ocijenjeno relativno neefikasnima ($\theta^* \neq 1$). Osim navedenih rezultata relativne efikasnosti, u doktorskoj disertaciji utvrđeni su izvori i iznosi neefikasnosti za slabo efikasna i relativno neefikasna vjetroenergetska poduzeća. U tom vidu, sugerirane su projekcije/poboljšanja pojedinih čimbenika, odnosno smanjenja određenih inputa uz zadržavanje postojeće razine outputa, a kako bi se ostvarila potpuna efikasnost vjetroenergetskih poduzeća. Sagledavajući relativnu neefikasnost vjetroenergetskih poduzeća na razini cijelog uzorka, moguće je predložiti prosječna poboljšanja za svaki promatrani input u modelu. Iznosi projekcija (u smislu smanjenja angažiranosti inputa) jesu kao što slijedi: potraživanja i ostale kratkotrajne imovine za 10,2%; goriva (odnosno lopatice rotora zbog ostvarivanja najvećeg udjela u inputu goriva) za 9,1%; dugotrajne materijalne imovine za 7,1%; novca i novčanih ekvivalenata za 6,7%; snage vjetroagregata za 5,7%; te broja vjetroagregata za 3,6%.

Iz navedenoga se mogu uočiti relativno podjednaki iznosi projekcija s blagim odstupanjima vrijednosti. Zanimljivo je, u ovom opadajućem slijedu projekcija, uočiti podjednaki značaj (ulogu u postizanju potpune efikasnosti) ekonomskih i tehničkih obilježja vjetroenergetskog poduzeća. Spomenuto je u skladu s očekivanjima, s obzirom da je nužno kvalitetno upravljati ukupnim resursima vjetroenergetskog poduzeća (ekonomskim i tehničkim obilježjima vjetroelektrana) u svrhu postizanja optimalne razine proizvodnje u tehničkom i ekonomskom smislu. Navedenim se potvrđuje temeljna hipoteza doktorske disertacije prema kojoj je moguće ekstrahirati čimbenike koji utječu na efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u djelatnosti proizvodnje električne energije, potvrditi važnost upravljanja sveukupnim resursima poduzeća, odnosno ekonomskim i tehničkim obilježjima vjetroelektrana, te spoznajama o istima izravno utjecati na efikasnost vjetroenergetskih poduzeća. U skladu s rezultatima istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji, efikasnost vjetroenergetskih poduzeća u Republici Hrvatskoj, posljedično i elektroenergetskog sektora u području obnovljivih izvora energije, je moguće unaprijediti korištenjem optimalnih, odnosno minimalnih količina inputa uz zadržavanje postojećih outputa, sukladno projekcijama modela.

Zaključno, u ocjenjivanju relativne efikasnosti vjetroenergetskih poduzeća, kao i u utvrđivanju izvora neefikasnosti promatranih vjetroenergetskih poduzeća, te u definiranju opsega njihova mogućeg otklanjanja obuhvaćeno je 12 država članica Europske unije, više nego u ijednom dosadašnjem prethodnom istraživanju. Relativna efikasnost vjetroenergetskih poduzeća ispitana je (također) kompleksnijim modelom nego u dosadašnjim prethodnim istraživanjima, koristeći veći broj varijabli koje su predstavljene različitim obilježjima tehničke i ekonomske prirode. Dok su u dosadašnjim prethodnim istraživanjima korištene varijable bile isključivo neekonomske prirode (tehničkih, fizikalnih i drugih obilježja), ovim istraživanjem definirane su varijable ekonomske prirode čiji sadržaj se generira informacijama temeljnih financijskih izvještaja. Također je uvažena ravnoteža između varijabli ekonomske i tehničke prirode, kako na stani inputa (3:3), tako i na strani outputa (1:1). Spomenuto izlazi iz okvira zahtjeva metode analize omeđivanja podataka te predstavlja iskorak u testiranju odnosa tehničkih i ekonomskih značajki vjetroenergetskih poduzeća u funkciji ocjene njihovog utjecaja na efikasnost poslovanja. Tijekom analize je utvrđena irelevantnost varijable rada, dok je varijabla gorivo prikazana u svom kompleksnijem izrazu. Konačno, doktorskom disertacijom je ponuđena značajna modifikacija modela u kvalitativnom i kvantitativnom smislu u odnosu na doprinose dosadašnjih autora koji su se bavili ovom problematikom. Posljedično, teorijski doprinos znanosti očituje se u formiranju kvalitetnijeg modela za ocjenu efikasnosti analiziranih vjetroenergetskih poduzeća. Postavljena projekcija relativno neefikasnih vjetroenergetskih poduzeća te „set preporuka“ u funkciji smanjenja izvora/iznosa neefikasnosti trebale bi imati pozitivan utjecaj na razvoj ovog segmenta obnovljivih izvora energije, na daljnje povećanje proizvodnje električne energije iz energije vjetra, te podizanje razine efikasnosti vjetroelektrana sa ciljem upotpunjavanja sveukupne ponude električne energije. Spomenuto se smatra vlastitim aplikativnim doprinosom znanosti.

Rezultati znanstvenog istraživanja mogu pružiti kvalitetne informacije o poslovanju vjetroenergetskih poduzeća svim dionicima koji su uključeni u razvoj vjetroenergetskog sektora, odnosno tijelima javne vlasti koji na ekonomskoj i/ili energetskoj osnovi donose odluke, znanstvenim institucijama i istraživačkim centrima koji analiziraju efikasnost elektroenergetskog sektora, potencijalnim investitorima i drugim poslovnim subjektima prisutnim na elektroenergetskom tržištu, kao i ostalim stručnjacima iz prakse koji rezultate istraživanja prezentirane ovim radom mogu aplicirati u poduzetničkoj stvarnosti.

Očekuje se da bi uz odgovarajuću modifikaciju određenih atributa, postavljeni model mogao naići na široku primjenu, te biti u funkciji ocjenjivanja efikasnosti proizvodnje električne energije i iz ostalih „novih“ obnovljivih izvora energije, poput Sunčeve energije, energije vodenih tokova iz malih hidroelektrana, geotermalne energije i drugih, te tako dodatno utjecati na ulogu i položaj obnovljivih izvora energije u strukturi raspoloživih energetskih resursa.

POPIS LITERATURE

1. Acres, D., 2007, Defining sustainable energy, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Energy, Volume 160, Issue 3, Pages 99–104.
2. Agboola, A., 2014. Public Sensitisation on the Adoption of Renewable Energy in Nigeria: Communicating the Way Forward. IOSR Journal Of Humanities And Social Science, Vol. 19, No. 5, pp. 74-81.
3. Agrell, P.J., Bogetoft, P., Tind, J., 2005. DEA and Dynamic Yardstick Competition in Scandinavian Electricity Distribution. Journal of Productivity Analysis, Vol. 23, No. 2, pp. 173-201.
4. Alanne, K., Saari, A., 2006, Distributed energy generation and sustainable development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 10, Issue 6, Pages 539–558.
5. Ali, A.I., Seiford, L.M., 1990. Translation invariance in data envelopment analysis. Operations research letters, Vol. 9, No. 6, pp. 403-405.
6. APERC, 2007, A Quest for Energy Security in the 21st Century: Resources and Constraints, Asia Pacific Energy Research Centre, Institute of Energy Economics, Tokyo, Japan.
7. Armstrong A.J., Hamrin, J., 2000, The Renewable Energy Policy Manual, United States Export Council for Renewable Energy, Washington, USA.
8. Atelj, D., 2014. Utjecaj malih hidroelektrana u proizvodnji električne energije Republike Hrvatske. Ekonomski fakultet, Rijeka (Završni rad - diplomski/integralni studij).
9. Athanassopoulos, A.D., Lambroukos, N., Seiford, L., 1999, Data envelopment scenario analysis for setting targets to electricity generating plants, European Journal of Operational Research, Vol. 115, Issue 3, p. 413-428
10. Banks, F.E., 1996, Economics of Electricity Deregulation and Privatization: An Introductory Survey, Energy, Vol. 21, No. 4, p. 249-261
11. Banovac, E., Zmijarević, Z., 2007. Razdvajanje djelatnosti – preduvjet razvoja učinkovitog tržišta električne energije. Hrvatski ogranak Međunarodnog vijeća za velike elektroenergetske sustave, pp. 1-10.
12. Barbier, E., 1997. Nature and technology of geothermal energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 1, No. 1–2, pp. 1-69.
13. Bašić, H., 2010., Male hidroelektrane, Energetski institut Hrvoje Požar, South East Europe Program, Projekt Ener-Supply.
14. Blesl, M., Wissel, S., Mayer-Spohn, O., 2008. Private Costs of Electricity and Heat Generation. Cost Assessment of Sustainable Energy Systems, pp. 1-47.
15. Borchers, A.M., Duke, J.M., Parsons, G.R., 2007. Does willingness to pay for green energy differ by source?. Energy Policy, Vol. 35, No. 6, pp. 3327-3334.

16. Borhanazad, H., Mekhilef, S., Saidur, R., Boroumandjazi, G., 2013. Potential application of renewable energy for rural electrification in Malaysia. Renewable Energy, Vol. 59, pp. 210-219.
17. Bruketa, N., et al., 2010., Studija usklađivanja hrvatskog energetskog sektora i energetskog zakonodavstva s trećim paketom energetskih propisa Europske unije, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb.
18. Carley, S. et al., 2011. Energy-based economic development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, No. 1, pp. 282–295.
19. Cerović, Lj., Maradin, D., Čegar, S., 2014. From the Restructuring of the Power Sector to Diversification of Renewable Energy Sources: Preconditions for Efficient and Sustainable Electricity Market. International Journal of Energy Economics and Policy, Vol. 4, No. 4, pp. 599-609.
20. Cerović, Lj., Stašić, S., Galović, T., 2009. Contemporary Demand Theory and Ethical Consumer. Journal of International Scientific Publications: Economy & Business, Vol. 3, No. 1, pp. 723-733.
21. Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E., 1978, Measuring the efficiency of decision making units, European Journal of Operational Research, Vol. 2, p. 429-444.
22. Chevalier, J., 2006, Security of energy supply for the European Union, European Review of Energy Markets, Vol. 1, Issue 3, European Energy Institute.
23. Coelli, T., 1997, Total factor productivity growth in Australian coalfired electricity generation: A Malmquist index approach, Paper presented at the international conference on public sector efficiency, The University of New South Wales, Sydney, Australia.
24. Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., 2002. Data Envelopment Analysis - A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. Kluwer Academic Publishers.
25. Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J., 2004. Data Envelopment Analysis: History, Models and Interpretations. In: Handbook on Data Envelopment Analysis. International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 71, pp. 1-39. Kluwer Academic Publishers, Boston.
26. Copenhagen Economics, 2005, Market Opening and Performance in Electricity, in: Market Opening in Network Industries: Part II Sectoral Analyses, Copenhagen Economics for DG Internal Market, European Commission.
27. Corporate responsibility report, 2002, Electricity and sustainable development,
28. Cropper, M.L., Limonov, A., Malik, K., Singh, A., 2011, Estimating the Impact of Restructuring on Electricity Generation Efficiency: The Case of the Indian Thermal Power Sector, National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper No. 17383, Cambridge, Massachusetts, USA
29. Denona Bogović, N., Cerović, Lj., Maradin, D., 2012, The security of electricity supply as the determinant of sustainable development, Marketing and Management of Innovations, Vol. 3, No. 2, p. 254-265.

30. Dones, R., Heck, T., Hirschberg, S., 2004. Greenhouse Gas Emissions from Energy Systems, Comparison and Overview. In: Encyclopaedia of Energy, Vol. 3, pp. 77-95, Academic Press/Elsevier, San Diego, USA.

31. Dresselhaus, M.S., Thomas, I.L., 2001. overview Alternative energy technologies. Nature, Vol. 414., p. 332-337.

32. Dyner, I., Larsen E.R., 2001. From planning to strategy in the electricity industry. Energy Policy, Vol. 29, pp. 1145-1154.

33. El-Fadel, R.H., et al., 2010, The Lebanese electricity system in the context of sustainable development, Energy Policy, Volume 38, Issue 2, Pages 751–761.

34. Gelo, T., Štritof, I., 2005, Metode ekonomske regulacije u elektroenergetskom sektoru, Energija, Vol. 54, No. 3, p. 181–189.

35. Ertek, G., Tunç, M.M., Kurtaraner, E., Kebude, D., 2012, Insights into the Efficiencies of On-Shore Wind Turbines: A Data-Centric Analysis, Innovations in Intelligent Systems and Applications - INISTA 2012 Conference, Trabzon, Turkey.

36. Fankhauser, S., Sehlleier, F., Stern, N., 2008. Climate change, innovation and jobs. Climate Policy. Vol. 8, No. 4, pp. 421-429.

37. Färe, R., et al., 1990, Productivity growth in Illinois electric utilities, Resources and Energy, Vol. 12, Issue 4, p. 383-398

38. Färe, R., et al., 1994, Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries, The American Economic Review, Vol. 84, No. 1, p. 66-83

39. Färe, R., Grosskopf, S., Logan, J., 1983, The relative efficiency of Illinois electric utilities, Resources and Energy, Vol. 5, Issue 4, p. 349–367

40. Färe, R., Grosskopf, S., Logan, J., 1985, The relative performance of publicly-owned and privately-owned electric utilities, Journal of Public Economics, Vol. 26, No. 1, p. 89–106

41. Farrell, D. et al., 2004. Report on regulatory models in a liberalised European electricity market. Eurelectric – Union of the Electricity Industry, Brussels, Belgium.

42. Farrell, M. J., 1957, The Measurement of Productive Efficiency, Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), Vol. 120, No. 3, p. 253-290

43. Feretić, D., 2006. Neki temeljni problemi proizvodnje električne energije u Hrvatskoj u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju. Energija, Vol. 55, No.1, pp. 36-71.

44. Ferrari, A., Giulietti, M., 2005. Competition in electricity markets: international experience and the case of Italy. Utilities Policy, Vol. 13, No. 3, pp. 247-255.

45. Filippini, M., Wetze, H., 2013, The Impact of Ownership Unbundling on Cost Efficiency: Empirical Evidence from the New Zealand Electricity Distribution Sector, EWI Working Paper, No 13/06, Institute of Energy Economics at the University of Cologne (EWI)

46. Fouquet, R., 1998. The United Kingdom demand for renewable electricity in a liberalised market. Energy Policy, Vol. 26, No. 4, pp. 281-293.

47. Fridleifsson, I.B., 2003. Status of geothermal energy amongst the world's energy sources. Geothermics, Vol. 32, No. 4-6, pp. 379–388.
48. Goldemberg, J., Coelho, S.T., 2004, Renewable energy—traditional biomass vs. modern biomass, Energy Policy, 32, p. 711–714
49. Goodstein, E.S., 2003, Ekonomika i okoliš, drugo izdanje, Mate, Zagreb, Croatia
50. Štritof, I., Krajcar, S., 2008., Regulacija kvalitete opskrbe električnom energijom kao nužna funkcija regulacije monopolnih djelatnosti, Energija, Vol. 57, No. 6, p. 624-657
51. Granić, G., 2010. Kako promišljati energetsku budućnost?. Poslovna biblioteka, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb
52. Granić, G., Majstrović, G., Pešut, D., 2012, Razvoj energetskog sektora do 2050. godine, Kolegij: Planiranje razvoja energetskog sektora, Poslijediplomski specijalistički studij Ekonomija energetskog sektora, Rijeka, Croatia
53. Grubb, M., Butler, L., Twomey, P., 2006, Diversity and security in UK electricity generation: The influence of low-carbon objectives, Energy Policy, 34, p. 4050–4062
54. Hadjsaid, N., Sabonnadiere, J., Henry, S., 2014. European Power Grid: Many Changes Ahead [In My View]. IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 12, No. 2, pp. 104.
55. Honorio, L. et al., 2003. Efficiency in electricity generation. Eurelectric – Union of the Electricity Industry, Brussels, Belgium.
56. Horrigan, J.O., 1968. A Short History of Financial Ratio Analysis. The Accounting Review, Vol. 43, No. 2, pp. 284-294.
57. HROTE, 2015. Godišnji izvještaj o sustavu poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije u Republici Hrvatskoj za 2014. godinu.
58. Hrvatske vode, 2009. Strategija upravljanja vodama. Zagreb
59. http://crometeo.hr/klima
60. http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/interpretative_notes/doc/implementation_notes/2004_01_16_public_service_ obligations_en.pdf
61. http://files.hrote.hr/files/PDF/HR_OIE_2_2014.pdf
62. http://files.hrote.hr/files/PDF/HR_OIE_2_2014_ts_33_07_v2.pdf
63. http://files.hrote.hr/files/PDF/HR_OIE_2_Novi_TS.pdf
64. http://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/26307/3/gupea_2077_26307_3.pdf
65. http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_02_22_358.html
66. http://oie.mingo.hr/default.aspx?id=119
67. http://oie.mingo.hr/default.aspx?id=8
68. http://oie-aplikacije.mingo.hr/pregledi
69. http://www.acer.europa.eu/The_agency/Pages/default.aspx
70. http://www.alpiq.com/news-stories/media-releases/media_releases.jsp?news=tcm:95-80190

71. http://www.bto.org/news-events/press-releases/seabirds-steer-avoid-collision-course-offshore-wind-farms
72. http://www.econ.cam.ac.uk/dae/repec/cam/pdf/tooraj.pdf
73. http://www.enercon.de/en-en/589.htm; http://www.svevind.se/Projects/Project.aspx?projectID= 2&lang=en-US
74. http://www.eon-uk.com/about/crarchive/1473.aspx
75. http://www.hep.hr/oie/oie/nestalnostIzvora.aspx
76. http://www.hep.hr/oie/oie/visokaCijena.aspx
77. http://www.hep.hr/oie/trziste/default.aspx
78. http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/default.aspx
79. http://www.hops.hr/wps/wcm/connect/81bdec0e-aa91-41c5-8ec6-36c681944052/VE+u+pogonu+i+sa+sklopljenim+UOP-om+14052013.pdf?MOD=AJPERES
80. http://www.hrote.hr/default.aspx?id =281
81. http://www.hrote.hr/default.aspx?id=38
82. http://www.ieej.or.jp/aperc/, ISBN 978-4-931482-35-7
83. http://www.mhivestasoffshore.com/v164-8-0-mw-breaks-world-record-for-wind-energy-production
84. http://www.mhivestasoffshore.com/v164-8-0-mw-breaks-world-record-for-wind-energy-production
85. http://www.our-energy.com/geothermal_energy.html
86. http://www.our-energy.com/geothermal_energy.html
87. http://www.peelenergy.co.uk/low-carbon-energy/wind-power
88. http://www.sustainablemeasures.com/node/42
89. http://www.thewindpower.net
90. http://www.vjetroelektrane.com/hrvatska-i-regija/360-zavrsila-gradnja-vjetroelektrane-crno-brdo
91. http://www.vjetroelektrane.com/mitovi-faq
92. http://www.vjetroelektrane.com/moderni-vjetroagregati-i-pretvorba-energije?showall=1
93. http://www.vjetroelektrane.com/svijet/2234-padaju-troskovi-priobalnih-vjetroelektrana
94. https://amadeus.bvdinfo.com
95. https://www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/auction-market/european-emission-allowances-auction#!
96. https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/_library/publications/ce/otherreports/Final-Report-20070130.pdf

97. Hughes, L., Shupe, D., 2010, Creating energy security indexes with decision matrices and quantitative criteria, World Energy Council's 2010 Montreal Conference, Energy Research Group, Halifax, Canada

98. Hunt, S., Shuttleworth, G., 1996. Competition and choice in electricity. John Wiley & Sons, London.

99. Iglesias, G., Castellanos, P., Seijas, A., 2010, Measurement of productive efficiency with frontier methods: A case study for wind farms, Energy Economics, 32, p. 1199–1208

100. Ilkılıc, C., Aydın, H., Behcet, R., 2011, The current status of wind energy in Turkey and in the world, Energy Policy, 39, p. 961–967

101. Jamasb, T., Marantes, C., 2011. Electricity Distribution Networks: Investment and Regulation, and Uncertain Demand. Electricity Policy Research Group, Working Paper 1104.

102. Jamasb, T., Pollit, M., 2000, Benchmarking and Regulation of Electricity Transmission and Distribution Utilities: Lessons from International Experience, University of Cambridge,

103. Jamasb, T., Pollitt, M., 2005. Electricity Market Reform in the European Union: Review of Progress toward Liberalization & Integration. MIT Center For Energy and Environmental Policy Research, No. 201 (Reprinted from The Energy Journal, Vol. 26, Special Edition, pp. 11-41.)

104. Jenny, F., 2007, Energy Security: A Market Oriented Approach. Presentation at the OECD Forum on Innovation, Growth and Equity, Paris, France, May 14 – 15th 2007.

105. Jerkić, E., 2010, Povijest vjetroelektrana, http://www.vjetroelektrane.com/povijest

106. Kabalci, E., 2013, Design and analysis of a hybrid renewable energy plant with solar and wind power, Energy Conversion and Management, 72, p. 51–59

107. Kagiannas, A.G., Askounis, D.T., Psarras, J., 2004, Power generation planning: a survey from monopoly to competition, Electrical Power and Energy Systems, 26, p. 413–421

108. Kalea, M., 2007. Električna energija. Kigen d.o.o., Zagreb

109. Kandžija, V., Bezić, H., Galović, T., 2010. Pozicija hrvatske elektroprivrede u procesu liberalizacije hrvatskog energetskog sektora. Poslovna izvrsnost, Vol. 4, No. 2, pp. 39-53.

110. Kapetanović, I., Sarajlić, N., Džananović, I., 1999. Prilog poticaju izgradnje malih hidroelektrana. 8. Forum: Dan energije u Hrvatskoj - Energetska tržišta i energetska efikasnost u zemljama tranzicije, Zagreb, pp. 247-255.

111. Klarić M., Bartak, V., Guberina, M., 2008. Mjerenja i proračun vjetropotencijala. Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, pp. 1-6.

112. Kopsakangas-Savolainen, M., 2002. A Study on the Deregulation of the Finnish Electricity Markets. University of Oulu, Faculty of Economics and Industrial Management (Academic Dissertation).

113. Kos Kavran, A., Cerović, Lj., Jelušić, A., 2015. Socially Responsible Consumer Behaviour. 4th International Scientific Symposium "Economy of Eastern Croatia –

Vision and Growth", Proceedings, University Josip Juraj Strossmayer, Faculty of Economics in Osijek, Osijek, 703-712.

114. Kowalski, K.M., 2011. Alternative Energy Sources. Marshall Cavendish Corporation, p. 159.
115. Kruyt, B., van Vuuren, D.P., de Vries, H.J.M., Groenenberg, H., 2009, Indicators for energy security, Energy Policy, Volume 37, Issue 6, Pages 2166–2181.
116. Kwoka, J., 2008, Barriers to New Competition in Electricity Generation, American Public Power Association.
117. Labudović, B. et al., 2002. Obnovljivi izvori energije. Energetika marketing, Zagreb.
118. Lam, P.-L., Shiu, A., 2001, A data envelopment analysis of the efficiency of China's thermal power generation, Utilities Policy, Vol. 10, Issue 2, p. 75-83
119. Larsen, E.R., Bunn, D.W., 1999. Deregulation in electricity: Understanding strategic and regulatory risk. The Journal of the Operational Research Society, Vol. 50, No. 4, pp. 337–344.
120. Lesourd, J.-B., 2001, Solar photovoltaic systems: the economics of a renewable energy resource, Environmental Modelling & Software, 16, p. 147–156
121. Leung, D.Y.C., Yang, Y., 2012, Wind energy development and its environmental impact: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, p. 1031– 1039
122. Li, X., 2005, Diversification and localization of energy systems for sustainable development and energy security, Energy Policy, 33, p. 2237–2243
123. Liu, S.-Y., Perng, Y.-H., Ho, Y.-F., 2013, The effect of renewable energy application on Taiwan buildings: What are the challenges and strategies for solar energy exploitation?, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28, p. 92–106
124. Llera, S.E. et al., 2010. Local impact of renewables on employment: Assessment methodology and case study, Vol. 14, pp. 679-690.
125. Lynn, P.A., 2012, Onshore and Offshore Wind Energy, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, United Kingdom.
126. Machek, O., Hnilica, J., 2012. Total Factor Productivity Approach in Competitive and Regulated World. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 57, pp. 223-230.
127. Majlathova, L., et al., 2003., Electricity sector reform: the pan-European, CIS and Mediterranean dimension, Eurelectric – Union of the Electricity Industry, Brussels, Belgium.
128. Majstrović, G., 2008, Ostvarenja i perspektive tržišta električne energije, NAFTA, Volume 59, Issue 11, Pages 549-556
129. Mance, D., Škalamera-Alilović, D., 2013. Certifikati emisija u okoliš – priznavanje u financijskim izvještajima. TIM4PIN MAGAZIN Specijalizirani časopis centra za razvoj javnog i neprofitnog sektora, 11, pp. 27-35.
130. Mantri, J.K., 2008, Research Methodology on Data Envelopment Analysis (DEA), Universal Publishers, USA.

131. Maradin, D., Cerović, Lj., 2014. Possibilities of Applying the DEA Method in the Assessment of Efficiency of Companies in the Electric Power Industry: Review of Wind Energy Companies. International Journal of Energy Economics and Policy, Vol. 4, No. 3, pp. 320-326.

132. Maradin, D., Ponikvar, N., Cerović, Lj., 2014. Renewable Electricity in Croatia and Slovenia from the Aspect of the EU Energy and Climate Targets for 2020. Economic Integrations, Competition and Cooperation: Accession of the Western Balkan Countries to the European Union: research monograph, University of Rijeka, Faculty of Economics, Rijeka, pp. 554-566.

133. Međimorec, D., 2010, Zašto graditi vjetroelektrane u Hrvatskoj, HRO CIGRE

134. Mesarić, M., 2014. Ratio analysis and Piotroski scoring system in the automobile industry in Croatia. Ekonomski vjesnik, Vol. 27, No.1, pp. 128-129.

135. Meyar-Naimi, H., Vaez-Zadeh, S., 2012, Sustainable development based energy policy making frameworks, a critical review, Energy Policy, doi:10.1016/j.enpol.2012.01.012 (article in press)

136. Michaelides, E.E.(Stathis), 2012. Alternative Energy Sources, Green Energy and Technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, XVIII, p. 462.

137. Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, 2011, Energija u Hrvatskoj 2011, Godišnji energetski pregled, Zagreb

138. Mitchell, C., 2008. The Political Economy of Sustainable Energy. Palgrave Macmillan, Basingstoke

139. Narodne novine, 2008. Odluka o objavljivanju hrvatskih standarda financijskog izvještavanja. No. 30, Zagreb

140. Narodne novine, 2009. Odluka o objavljivanju Međunarodnih standarda financijskog izvještavanja. No. 136, Zagreb

141. Narodne novine, 2009. Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske. No. 130, Zagreb.

142. Narodne novine, 2013. Metodologija za određivanje iznosa tarifnih stavki za opskrbu električnom energijom u okviru univerzalne usluge. No. 116, Zagreb

143. Narodne novine, 2013. Zakon o tržištu električne energije. Zagreb

144. Nillesen, P., Pollitt, M., 2008. Ownership unbundling in electricity distribution: empircal evidence from New Zealand. EPRG Working Paper 0820; Cambridge Working Paper in Economics 0836

145. O'Mahony, M., Vecchi, M., 2001, The Electricity Supply Industry: A Study of an Industry in Transition, National Institute Economic Review, No. 177: 85

146. Ozcan, Y.A., 2008. Health Care Benchmarking and Performance Evaluation: An Assessment using Data Envelopment Analysis (DEA). Springer US, Series Title: International Series in Operations Research & Management Science, Series Vol. 120, Edition No. 1.

147. Paish, O., 2002, Small hydro power: technology and current status, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 6, Issue 6, p. 537–556

148. Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S., 2011, Role of renewable energy sources in environmental protection: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, p. 1513–1524

149. Parliamentary Office of Science and Technology, 2003, Security of Electricity Supplies, Number 203, London, UK.

150. Pavić, I., Benić, Đ., Hashi, I., 2007. Mikroekonomija. Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split.

151. Pelc, R., Fujita, R.M., 2002, Renewable energy from the ocean, Marine Policy, 26, p. 471–479

152. Pérez-Plaza, M., Linares, P., 2009. Strategic Decisions For Green Electricity Marketing: Learning From Past Experiences. pp. 250-266. In: Wang, H., 2009. Web-Based Green Products Life Cycle Management Systems: Reverse Supply Chain Utilization. IGI Global, pp. 1-488.

153. Pielow, J.-C., Brunekreeft, G., Ehlers, E., 2009, Legal and economic aspects of ownership unbundling in the EU, Journal of World Energy Law & Business, Vol. 2, Issue 2, p. 96–116

154. Pierre, I., et al., 2006, Security of Electricity Supply - Roles, responsibilities and experiences within the EU, Eurelectric – Union of the Electricity Industry, Brussels, Belgium.

155. Pollitt, M., 1997. The Impact of Liberalisation on the Performance of the Electricity Supply Industry: An International Survey. The Journal of Energy Literature. Vol. 3, No 2, pp. 3-31.

156. Pollitt, M., 2008, The arguments for and against ownership unbundling of energy transmission networks, Energy Policy, Vol. 36, Issue 2, p. 704-713

157. Pollitt, M.G., 1995, Ownership and Performance in Electric Utilities: The International Evidence on Privatization and Efficiency, Oxford University Press/Oxford Institute for Energy Studies, Oxford.

158. Public service obligations, 2004.

159. Qureshi, B., Sonnsjö, H., 2011, Securitizing Energy: An integrated approach towards a secure energy system. Master of Science in Environmental Management and Economics, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden.

160. REN21, 2013, Renewables 2013 Global Status Report, Renewable energy policy network for the 21st century, Paris: REN21 Secretariat

161. Roe, B., Teisl, M.F., Levy, A., Russell, M., 2001. US consumers' willingness to pay for green electricity. Energy Policy, Vol. 29, No. 11, pp. 917-925.

162. Rowlands, I.H., Scott, D., Parker, P., 2003. Consumers and green electricity: profiling potential purchasers. Business Strategy and the Environment, Vol. 12, No. 1, pp. 36–48.

163. Rybach, L., 2003. Geothermal energy: sustainability and the environment. Geothermics, Vol. 32, No. 4–6, pp. 463-470.

164. Sandøy, P., et al., 2004, Report on Public Service Obligations, Eurelectric – Union of the Electricity Industry, Brussels, Belgium.

165. Sarıca, K., Or I., 2007, Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis, Energy, 32, pp. 1484–1499.

166. Shen, D., Yang, Q., 2012, Electricity Market Regulatory Reform and Competition – Case Study of the New Zealand Electricity Market in: Wu, Y., Shi, X., Kimura, F. (eds.), Energy Market Integration in East Asia: Theories, Electricity Sector and Subsidies, ERIA Research Project Report 2011-17, Jakarta: ERIA, pp.103-139.

167. Simas, M., Pacca, S., 2013. Socio-economic Benefits of Wind Power in Brazil. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Vol. 1, pp. 27-40.

168. Söderholm, P., 2000, Fuel flexibility in the West European power sector, Resources Policy, Volume 26, Issue 3, Pages 157–170.

169. Sreeraj, E.S., Chatterjee, K., Bandyopadhyay, S., 2010. Design of isolated renewable hybrid power systems. Solar Energy, Vol. 84, No. 7, pp. 1124-1136.

170. Steiner, F., 2001, Regulation, Industry Structure and Performance in the Electricity Supply Industry, OECD Economic Studies No. 32/I

171. Sustainable measures, West Hartford, Connecticut, SAD.

172. Šagovac, G., 2008. Kvaliteta električne energije kao karakteristika distribucijske mreže. Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, pp. 1-12.

173. Šegota, A., 2003, Usporedna analiza efikasnosti prodajnih objekata u maloprodaji, Ekonomski fakultet, Zagreb (Doktorska disertacija).

174. Šilić, Đ., et al., 2004, Mogućnost domaće industrije u proizvodnji uređaja i korištenju obnovljivih izvora energije, Brodarski institut

175. Tavares, G., 2002, A Bibliography of Data Envelopment Analysis (1978-2001), Rutcor Research Report

176. Tešnjak, S., Banovac, E., Kuzle, I., 2010. Tržište električne energije. Graphis, Zagreb.

177. Thanassoulis, E., Boussofiane, A., Dyson, R., 1996. A Comparison of Data Envelopment Analysis and Ratio Analysis as Tools for Performance Assessment. Omega International, Journal of Management Science, Vol. 24, No. 3, pp. 229–244.

178. UCTE, 2007. Final Report System Disturbance on 4 November 2006

179. United Nations Development Programme, 2000, World energy assessment: Energy and the challenge of sustainability.

180. van der Linden, J., 2005, Network industries: main issues, definitions and economic significance, in: Reforming Network Industries: Experiences in Europe and Belgium ; Highlights of Conference "The Lisbon Strategy: a Motor for Market Reforms of the

Network Industries", Belgian Federal Planning Bureau, European Economic and Social Committee, Belgian Central Economic Council.

181. van Vliet, B., 2012, Renewable Resources, in D. Southerton, Encyclopedia of Consumer Culture, SAGE Publications, Inc., Thousand Oaks, California, USA, p. 1212-1214
182. Viljainen, S. et al., 2004. Regulation of electricity distribution business. Nordic Distribution and Asset Management Conference 2004, Espoo, Finland.
183. Vlahinić-Dizdarević, N., Šegota, A., 2012. Total-factor energy efficiency in the EU countries. Zbornik Radova Ekonomskog Fakulteta u Rijeci-Proceedings of Rijeka Faculty of Economics, Vol. 30, No. 2, pp. 247-265.
184. Vlahinić-Dizdarević, N., Žiković, S., 2011. Ekonomija energetskog sektora: izabrane teme. Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka.
185. Vogelsang, I., 2002. Incentive Regulation and Competition in Public Utility Markets: A 20-Year Perspective. Journal of Regulatory Economics, Vol. 22, No. 1, pp. 5-27.
186. Walz, R., Schleich, R., 2008. Innovation Effects of Regulation – Case Study for Wind Energy. The Economics of Climate Change Policies: Macroeconomic Effects, Structural Adjustment and Technological Change. pp. 119-141.
187. Ward, K., Knight, Z., Robins, N., Spedding, P., Singh, C., 2011, Energy in 2050 – Will fuel constraints thwart our growth projections?, Global Economics & Climate Change, HSBC GlobalResearch
188. Wolfram, C., 2003. The Efficiency of Electricity Generation in the U.S. After Restructuring. Center for the Study of Energy Markets. pp. 1-31.
189. Wüstenhagen, R., Markard, J., Truffer, B., 2003. Diffusion of green power products in Switzerland. Energy Policy, Vol. 31, No. 7, pp. 621-632.
190. www.SANDER-PARTNER.com
191. Yunos, J.M., Hawdon, D., 1997, The efficiency of the National Electricity Board in Malaysia: An intercountry comparison using DEA, Energy Economics, 19, p. 255-269
192. Zabihian, F., Fung, A.S., 2011, Review of marine renewable energies: Case study of Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, p. 2461–2474
193. Zarnikau, J., 2003. Consumer demand for 'green power' and energy efficiency. Energy Policy, Vol. 31, No. 15, pp. 1661-1672.
194. Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., 2008, A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies, European Journal of Operational Research, Vol. 189, Issue 1, p. 1–18
195. Žiković, S., Gržeta, I., Tomas Žiković, I., 2015. Empirical analysis of wind power generation profitability in Croatia. 4th International Scientific Symposium "Economy of Eastern Croatia – Vision and Growth", Proceedings, University Josip Juraj Strossmayer, Faculty of Economics in Osijek, Osijek, pp. 537-546.

POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovni koraci reforme elektroenergetskog sektora…… 13
Tablica 2. Promjene na razini industrije kada se industrija restrukturira…….. 14
Tablica 3. Promjene na razini poduzeća kada se industrija restrukturira…….. 26
Tablica 4. Faze životnog ciklusa energetskog postrojenja i utjecaj na zaposlenost…….. 54
Tablica 5. Prednosti i nedostaci korištenja obnovljivih izvora energije…… 62
Tablica 6. Društveno-gospodarski učinci primjene energije iz biomase……... 72
Tablica 7. Podudarnost primarnog (LP_o) i dualnog (DLP_o) problema…….. 95
Tablica 8. Statistika inputa i outputa u DEA modelu u 2011. godini…… 119
Tablica 9. Koeficijenti korelacije inputa i outputa u 2011. godini…… 120
Tablica 10. Relativna efikasnost uz primjenu konstantnih i varijabilnih prinosa na opseg u 2011. godini……..121
Tablica 11. Relativna efikasnost 78 vjetroenergetskih poduzeća (DMU) u 2011. godini…….....123
Tablica 12. Dopunske varijable slabo efikasnih i neefikasnih vjetroenergetskih poduzeća (DMU) u 2011. godini……...125
Tablica 13. Učestalost pojavljivanja potpuno i slabo efikasnih vjetroenergetskih poduzeća prema drugim DMU u referentnom skupu u 2011. godini……..127
Tablica 14. Članovi referentnog skupa za vjetroenergetska poduzeća (DMU) u 2011. godini.....128
Tablica 15. Super-efikasnost 34 potpuno efikasna vjetroenergetska poduzeća (DMU) u 2011. godini……132
Tablica 16. Projekcije 44 slabo efikasnih i relativno neefikasnih vjetroenergetskih poduzeća (DMU) u 2011. godini (%)……...133
Tablica 17. Prosječna poboljšanja za relativno neefikasna vjetroenergetska poduzeća u 2011. godini (%)…….....136

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Emisija stakleničkih plinova tijekom ukupnog životnog ciklusa elektrane……..... 51
Grafikon 2. Efikasnost različitih tehnologija u proizvodnji električne energije (%)…….57
Grafikon 3. Struktura troškova proizvodnje električne energije različitih elektroenergetskih postrojenja (€/MWh)…… 60
Grafikon 4. Struktura troškova proizvodnje električne energije različitih elektroenergetskih postrojenja s troškovima trgovanja emisija ugljikova dioksida (€/MWh)……... 61

ŽIVOTOPIS

Dario Maradin rođen je 18. svibnja 1984. godine u Karlovcu. Državljanin je Republike Hrvatske. Nakon srednjoškolskog obrazovanja u Gimnaziji Karlovac, 2003. godine upisuje Ekonomski fakultet u Rijeci, smjer Međunarodna razmjena. Tijekom studiranja bio je uspješan student te demonstrator na kolegijima Osnove ekonomije i Mikroekonomija. Diplomirao je 19. siječnja 2009. godine obranom diplomskog rada pod naslovom „Ekonomija znanja kao čimbenik razvoja“ (mentor: prof. dr. sc. Dragomir Sundać) i stekao zvanje *diplomirani ekonomist*.

Po završetku studija, 3. veljače 2009. godine zapošljava se na Ekonomskom fakultetu u Rijeci kao znanstveni novak na znanstveno-istraživačkom projektu *Ekonomski učinci regulatornih reformi elektroenergetskog sektora* u potpori MZOS-a (šifra: 081-0361557-1455, voditelj: prof. dr. sc. Nela Vlahinić Lenz). Od 2014. godine sudjeluje na projektu *Razvoj gospodarske konkurentnosti Hrvatske kao članice EU* u potpori Sveučilišta u Rijeci (broj: 13.02.1.2.03, voditelj: prof. emer. dr. sc. Vinko Kandžija).

Godine 2010. upisao je poslijediplomski doktorski studij Ekonomije i Poslovne ekonomije, smjer Poslovna ekonomija na Ekonomskom fakultetu u Rijeci.

Na Ekonomskom fakultetu u Rijeci, u okviru Katedre za teorijsku ekonomiju, izvodi seminarsku nastavu i vježbe na kolegijima preddiplomskog i diplomskog studija na hrvatskom i engleskom jeziku: Mikroekonomija 1, Mikroekonomija 2, Napredna mikroekonomija, Microeconomics 1 i Microeconomics 2. U radu sa studentima sudjeluje i prilikom izrade završnih i diplomskih radova na preddiplomskom i diplomskom studiju, razlikovnom studiju i ostalim oblicima cjeloživotnog učenja.

Pored nastavnog rada, aktivan je i u znanstveno - istraživačkom i stručnom radu. Objavio je 10 znanstvenih radova u različitim publikacijama u zemlji i inozemstvu, sudjelovao je na više međunarodno priznatih znanstvenih konferencija, te je član raznih tijela strukovnih udruga.

Aktivno se služi engleskim i pasivno njemačkim jezikom. Oženjen je i živi u Rijeci.

POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

1. Znanstveni radovi objavljeni u časopisima

1. Cerović, Lj., Maradin, D., Čegar, S., 2014. From the Restructuring of the Power Sector to Diversification of Renewable Energy Sources: Preconditions for Efficient and Sustainable Electricity Market. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 4, No. 4, pp. 599-609, ISSN: 2146-4553 (rad na engleskom jeziku). Indeksacija u bazama: EconLit, SCOPUS

2. Maradin, D., Cerović, Lj., 2014. Possibilities of Applying the DEA Method in the Assessment of Efficiency of Companies in the Electric Power Industry: Review of Wind Energy Companies. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 4, No. 3, pp. 320-326, ISSN: 2146-4553 (rad na engleskom jeziku). Indeksacija u bazama: EconLit, SCOPUS

3. Cerović, Lj., Maradin, D., Ilijašić Veršić, I., 2013. Croatia and the SET-Plan: Intents and Results. *China-USA Business Review*, Vol. 12, No. 9, pp. 833-844, ISSN: 1537-1514 (rad na engleskom jeziku). Indeksacija u bazama: Open Academic Journals Index (OAJI)

4. Cerović, Lj., Maradin, D., Marković, I., 2012. Historical review and influential factors of the electricity price movement for selected countries of the European Union and the Republic of Croatia. *Journal of International Scientific Publication: Economy & Business*, Vol. 6, No. 4, pp: 71-80, ISSN 1313-2555 (rad na engleskom jeziku). Indeksacija u bazama: EBSCO

5. Denona Bogović, N., Cerović, Lj., Maradin, D., 2012. The security of electricity supply as the determinant of sustainable development. *Marketing and Management of Innovations*, Vol. 3, No. 2, pp. 254-265, ISSN: 2218-4511 (rad na engleskom jeziku). Indeksacija u bazama: Directory of Open Access Journals, IndexCopernicus Journals Master List

6. Cerović, Lj., Lekavski, M., Maradin, D., 2011. Liberalization of the electricity sector of the Republic of Croatia: Could mistakes in the reform of electricity sector of Germany be avoided in Croatia?. *Journal of International Scientific Publication: Economy & Business*, Vol. 5, No. 3, pp: 4-20, ISSN 1313-2555 (rad na engleskom jeziku). Indeksacija u bazama: EBSCO

2. Znanstveni radovi objavljeni u publikaciji s međunarodnog znanstvenog skupa

1. Cerović, Lj., Maradin, D., 2011. Knowledge-based economy: a requirement of modern society. 3rd International Scientific Conference "Knowledge and Business Challenges of Globalisation in 2011", *Knowledge and Business Challenges of Globalisation in 2011*, Merkač Skok, M., Cingula, M. (ur.), Faculty of Commercial and Business Sciences, Celje, Slovenia, 17.-18.11.2011., ISBN: 978-961-6825-41-2, pp. 587-591 (rad na engleskom jeziku). Publikacija ima međunarodno uredništvo i inozemne recenzente.

3. Poglavlja u knjizi

1. Prohaska, Z., Maradin, D., Miljenović, D., 2015. Efficiency Evaluation of Wind-power Companies with Emphasis on Financial Result. *Economic Policy Today: Political Rhetoric or a True Reform*, Krtalić, S., Drejerska, N. (ur.), Juraj Dobrila University of Pula, Faculty of Economics and Tourism, Pula, Croatia, ISBN: 978-953-7498-98-6, pp. 301-319 (rad na engleskom jeziku)

2. Miljenović, D., Maradin, D., Prohaska, Z., 2015. Corporate Social Responsibility and Financial Sustainability. *Economic Policy Today: Political Rhetoric or a True Reform*, Krtalić, S., Drejerska, N. (ur.), Juraj Dobrila University of Pula, Faculty of Economics and Tourism, Pula, Croatia, ISBN: 978-953-7498-98-6, pp. 321-354 (rad na engleskom jeziku)

3. Maradin, D., Ponikvar, N., Cerović, Lj., 2014. Renewable Electricity in Croatia and Slovenia from the Aspect of the EU Energy and Climate Targets for 2020. *Economic Integrations, Competition and Cooperation: Accession of the Western Balkan Countries to the European Union*: research monograph, Kandžija, V., Kumar, A. (ur.), University of Rijeka, Faculty of Economics, Rijeka, Croatia, ISBN: 978-953-7813-19-2, pp. 554-566. (rad na engleskom jeziku)