



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Дамир Ј. Ђозић

**Употреба вештачких неуронских
мрежа за предвиђање понашања и
управљање сложеним енергетским
системима**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2020.

Damir J. Dozić: *Upotreba veštačkih neuronskih mreža za predviđanje ponašanja i upravljanje složenim energetske sistemima*

MENTOR:
dr Branka Gvozdenc Urošević, vanredni profesor

MESTO:
Novi Sad

GODINA:
2020.



KEY WORDS DOCUMENTATION

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска публикација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	Дамир Ј. Ђозић
Ментор, МН:	Др Бранка Гвозденац Урошевић
Наслов рада, НР:	Употреба вештачких неуронских мрежа за предвиђање понашања и управљање сложеним енергетским системима
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски
Земља публикавања, ЗП:	Србија
Уже географско подручје, УГП:	Војводина
Година, ГО:	2020
Издавач, ИЗ:	Факултет техничких наука
Место и адреса, МА:	Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	6/141/123/8/83/0/0
Научна област, НО:	Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент
Научна дисциплина, НД:	Менаџмент у енергетици
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Енергетска политика, вештачке неуронске мреже, Европска унија, CO ₂
УДК	
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	Проблем велике количине емисије CO ₂ у атмосфери је међународно препознат а Европска унија је документом „Енергетска мапа пута 2050 Европске уније“ највише допринела у препознавању и реализацији мера за његово спровођење. Један од кључних сегмената документа представља енергетска политика. У овој тези су препознати кључни индикатори везани за енергетску политику, а затим је формиран модел вештачких неуронских мрежа који је у стању да предвиди емисију CO ₂ до 2050. године. Модел је у могућности да научи функционисање целог система и омогућава симулацију разних сценарија енергетске политике како би се испунио циљ да се што ефикасније и брже дође до жељеног смањења емисија CO ₂ .
Датум прихватања теме, ДП:	11.07.2019
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: Др Радо Максимовић
	Члан: Др Милош Бањац
	Члан: Др Стеван Станковски
	Члан: Др Срђан Вукмировић
	Члан, ментор: Др Бранка Гвозденац Урошевић
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monograph publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Ph. D. Thesis
Author, AU :	Damir J. Đozić
Mentor, MN :	Dr Branka Gvozdenac Urošević
Title, TI :	The use of artificial neural networks for complex energy systems' prediction and control
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2020
Publisher, PB :	Faculty of Technical Sciences
Publication place, PP :	Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	6/141/123/8/83/0/0
Scientific field, SF :	Industrial engineering/Engineering management
Scientific discipline, SD :	Management in energetics
Subject/Key words, S/KW :	Energy policy, artificial neural networks, European Union, CO ₂
UC	
Holding data, HD :	Library of Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	<p>The problem of high CO₂ emission has been recognised internationally. European Union has contributed the most to recognition and realization of measures and actions, needed to solve this problem, by developing document Energy Roadmap 2050. One of key segments of this document is energy policy. In this thesis, key indicators for energy policy are found, after which the artificial neural network model which is capable of CO₂ emission prediction by the year 2050 is formed. Model is capable of learning the whole complex energy system and enables simulation of different energy policy scenarios in order to reach the EU goal and decrease CO₂ emission by the year 2050 in most efficient and easiest way.</p>
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	11.07.2019
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	
President:	Rado Maksimović, PhD
Member:	Miloš Banjac, PhD
Member:	Stevan Stankovski, PhD
Member:	Srdan Vukmirović, PhD
Member, Mentor:	Branka Gvozdenac Urošević, PhD
	Mentor's sign

ZAHVALNICA

Želeo bih da se zahvalim, pre svega, profesoru Dušanu Gvozdencu, koji me je upoznao sa veoma aktuelnom temom, uputio u njen značaj u svakodnevnoj praksi i pružio veliku podršku u realizaciji celog doktorata. Veliku zahvalnost dugujem mojoj mentorki, dr Branki Gvozdenac Urošević koja me je svojim smernicama, savetima, kritikama i podršci iskusno vodila do konačnih zaključaka. Hvala mojoj porodici i prijateljima na velikom razumevanju, strpljenju, ljubavi i verovanju u mene za sve vreme rada na ovoj disertaciji.

Početak prve industrijske revolucije označio je početak eksponencijalnog tehnološkog napretka čovečanstva ali i masovne eksploatacije prirodnih resursa. Planeta je, tokom svoje evolucije, prolazila više puta kroz cikluse smenjivanja toplih i ledenih doba, koji su, uglavnom, trajali stotinama hiljada godina. Međutim, porastom čovekove moći i početkom njegovog uticaja na okolinu, pre svega kroz emisiju gasova sa efektom staklene bašte, klimatske promene su ubrzane za čak dva do tri reda veličine. Taj problem je prepoznat u javnosti i značajnim svetskim (i lokalnim) institucijama, sitne promene se dešavaju, a privreda još uvek traži svoj interes i isplativost u rešavanju ovog problema.

Evropska unija je zajednica koja je najozbiljnije shvatila ovaj problem i odredila jasan cilj u borbi protiv klimatskih promena koji, pre svega, podrazumeva dekarbonizaciju Evropske unije do 2050. godine. Celokupno praktično i teorijsko iskustvo objedinjeno je u formiranju dokumenta „Energetska mapa puta Evropske unije 2050“ 2009. godine. Definisane su smernice, ciljevi po periodima, mehanizmi, sugestije i potencijalni problemi da bi se što lakše, brže i ekonomičnije došlo do cilja.

Ova doktorska disertacija se usko oslanja na pomenuti dokument i ima za cilj da predstavi novi način upravljanja energetsom politikom na primeru, upravo, Evropske unije, kako bi se na što brži i efikasniji način došlo do cilja. Koristi se veštačka inteligencija (konkretno veštačke neuronske mreže) za predikciju emisije CO₂ do 2050. godine, pomoću pažljivo definisane grupe energetske indikatora. Predstavljen je specifičan model veštačke neuronske mreže, kaskadna nerekurzivna veštačka neuronska mreža, koji odgovara konkretnom problemu, kao i dva metoda pripreme podataka i obavljanja predikcije kako bi se što preciznije pronašao uticaj određenih indikatora, i njihove kombinacije (a samim tim određene energetske politike), na emisiju CO₂ u budućnosti. Model je testiran na nekoliko scenarija definisanih dokumentom „Energetska mapa puta evropske unije 2050“ da bi se ispitala njegova validnost i preciznost. Na osnovu adekvatne predikcije, kao i prepoznavanja uticaja određene energetske politike na emisiju CO₂, moguće je uvideti efekte te energetske politike, korigovati je i izbeći neželjene i nepovratne posledice na vreme. Drugim rečima, moguće je obezbediti bolje upravljanje energetsom politikom.

Rezultati su pokazali da, pre svega, pažljivo odabrani skup energetske indikatora daje dovoljno informacija za predikciju emisija CO₂, kao i da specifičan model veštačke neuronske mreže, koji koristi energetske indikatore kao ulazni skup podataka, zajedno sa dva predstavljena metoda pripreme podataka i predikcije, u velikoj meri razume složeni energetske sistem Evropske unije. Takođe, simulirani scenariji, definisani u dokumentu „Energetska mapa puta evropske unije 2050“, dali su očekivane rezultate, koji su u saglasnosti sa pomenutim dokumentom.

ABSTRACT

The beginning of the first industrial revolution was the start of men's exponential technological prosperity but also the start of a massive exploitation of natural resources. The Planet has, during its evolution, gone many times through cycles of glacial and interglacial periods which lasted usually few hundred thousand years. However, with the rise of human power and its global interaction with nature, mainly through green house gas emissions, climate change has been significantly increased, by two to three orders of magnitude. This problem has finally been recognized by public and important world (and local) institutions, changes *are* happening right now, and economies are still looking to find their interest in solving this problem.

European Union (EU) has recognised this problem as very serious and defined a very clear goal in order to fight climate change. It includes decarbonisation of EU economy by the year 2050. EU formed the document „EU Energy Roadmap 2050“ (ERM2050) which included all the practical and theoretical knowledge and experience for solving this problem. It defines and argues about directives, goals, mechanisms, suggestions, potential problems and more, which EU could face during this process, in order to reach its goal in most easy, quicker and economical way.

This thesis is closely related to above mentioned document, and has the goal to present new way (new model) of energy policy control on the example of EU, in order to reach the goal as quickly and as economically as possible. This new model uses artificial intelligence (specifically artificial neural networks) for CO₂ prediction by the year 2050 using ten carefully selected energy indicators. The specific artificial neural network model which fits the problem is presented along with two methods for data preparation and CO₂ prediction, in order to find the influence of ten indicators (individual and their combination) on CO₂ emission in future in most precise way. The model is tested on several scenarios defined in the document ERM2050 in order to evaluate and examine its validity and precision. With adequate prediction as well as recognition of influence of specific energy policy on CO₂ emission, the effects of that specific energy policy can be recognised, corrected, and avoid unintended and irreversible consequences on time. In other words, it is possible to provide better energy policy control.

Results have shown that carefully selected energy indicators give enough information for CO₂ prediction, as well as that specific artificial neural network model, which uses these indicators as input data, along with two presented methods for data preparation and prediction, understands the complex EU energy system. Also, simulated scenarios gave expected results which are in agreement with EU document ERM2050.

Keywords: energy policy, artificial neural networks, European union, GHG emissions

SADRŽAJ

SPISAK SLIKA	xv
SPISAK TABELA	xix
SPISAK KORIŠĆENIH SKRAĆENICA	xxi
1 Uvod	1
1.1 Značaj energije	1
1.2 Klimatske promene	2
1.3 Energetska politika	6
1.4 Veštačka inteligencija	7
1.5 Motivacija za istraživanje	8
1.5.1 Predmet istraživanja	8
1.5.2 Ciljevi istraživanja	8
1.6 Struktura disertacije	9
1.7 Naučna i društvena opravdanost	10
2 Stanje u oblasti	11
2.1 Energetska politika	11
2.1.1 Prepoznavanje problema	11
2.1.2 Ciljevi i mere energetske mape puta Evropske unije	15
2.2 Energetska efikasnost	25
2.3 Veštačke neuronske mreže	26
2.3.1 Obnovljivi izvori energije	28
2.3.2 Solarna energija	28
2.3.3 Energija vetra	29
2.3.4 Emisija CO ₂ i energetske indikatori	30
3 Teorijske osnove	33
3.1 Energija i energenti	33
3.1.1 Nafta	36
3.1.2 Prirodni gas	38
3.1.3 Ugalj	39
3.1.4 Obnovljivi izvori energije	40
3.1.5 Ukupna potrošnja primarne energije	44
3.1.6 Ukupna potrošnja finalne energije	44
3.1.7 Prekogranična razmena ugljenika	44
3.1.8 Ukupna emisija CO ₂ jedne države	45
3.2 Elementi energetske politike	45
3.2.1 Energetska efikasnost	45
3.2.2 Trgovina emisijama	46
3.2.3 Emisioni intenzitet	48
3.2.4 Skladištenje ugljenika	48
3.3 Veštačka inteligencija	49
3.3.1 Linearna regresija	49
3.3.2 Veštačke neuronske mreže	50

4	Istraživanje	57
4.1	Indikatori	58
4.1.1	Bruto domaći proizvod	58
4.1.2	Broj stanovnika	59
4.1.3	Prosečna globalna temperatura.....	60
4.1.4	Potrošnja električne energije	60
4.1.5	Ukupna potrošnja primarne energije	61
4.1.6	Udeo različitih goriva u UPPE	61
4.2	Model veštačke neuronske mreže	63
4.2.1	Ulazi i izlazi	63
4.2.2	Arhitektura VNM	64
4.2.3	Proces obuke	65
4.2.4	Priprema podataka	66
4.2.5	Programski paket i parametri VNM	68
4.3	Simulacija emisije CO₂ - Metod 1	68
4.3.1	Istraživanje	68
4.3.2	Rezultati.....	74
4.3.3	Diskusija.....	75
4.4	Simulacija emisije CO₂ - Metod 2.....	78
4.4.1	Istraživanje	80
4.4.2	Rezultati.....	89
4.4.3	Diskusija.....	100
4.5	Analiza scenarija	100
4.6	Diskusija	103
5	Zaključak.....	105
6	Literatura.....	109

SPIŠAK SLIKA

SLIKA 1.1 – PRIAZ ZAVISNOSTI PROMENE KOLIČINE CO ₂ U ATMOSFERI I PROSEČNE GLOBALNE TEMPERATURE NA PLANETI.	3
SLIKA 1.2 – PROMENA KOLIČINE CO ₂ U PPM, U PROTEKLIM 800.000 GODINA.	4
SLIKA 1.3 – PROMENA TEMPERATURE U POSLEDNJIH NEŠTO VIŠE OD 100 GODINA. PROMENA TEMPERATURE U ODNOSU NA PROSEK U PERIODU OD 1951. DO 1984.	4
SLIKA 1.4 – SLIKA PRIKAZUJE PROMENU PROSEČNE GLOBALNE TEMPERATURE (NA OSNOVU IZOTOPA KISEONIKA) U POSLEDNJIH PET MILIONA GODINA.	5
SLIKA 2.1 – PROMENA UKUPNE PRIMARNE POTROŠNJE ENERGIJE. VIDI SE POČETAK OPADANJA 2006. GODINE. ..	13
SLIKA 2.2 – TOK SMANJENJA EMISIJA CO ₂ , PRIKAZ AKTUELNE POLITIKE I CILJEVA DO 2050. GODINE PO SEKTORU U EU.	14
SLIKA 2.3 PROMENA EMISIJE CO ₂ PO GLAVI STANOVNIKA U EU U PERIODU OD 1990. DO 2015.	15
SLIKA 2.4 – SMANJENJE KORIŠĆENJA UGLJA U EU28 U 2019. U ODNOSU NA 2018.	17
SLIKA 2.5 – INSTALISANI KAPACITETI ENERGIJE VETRA (PLAVO) I SUNCA (ŽUTO). VELIČINA KRUGA OZNAČAVA KOLIČINU INSTALACIONE SNAGE.	18
SLIKA 2.6 – CENA UGLJA U POSLEDNJE TRI GODINE.	19
SLIKA 2.7 – BROJ MODELA ELEKTRIČNIH VOZILA OD 2010. DO 2017.	21
SLIKA 2.8 – BROJ ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA OD 2013. DO 2017.	22
SLIKA 3.1 – ZAVISNOST EMISIJA CO ₂ PO GLAVI STANOVNIKA I PROCENTA LJUDI U DRŽAVI KOJI ŽIVI U SIROMAŠTVU ZA 2016. GODINU.	34
SLIKA 3.2 – ZAVISNOST POTROŠNJE ENERGIJE I PROCENTA STANOVNIKA KOJI ŽIVE U SIROMAŠTVU. ZA 2013. GODINU.	35
SLIKA 3.3 – KRETANJE CENE BARELA NAFTE OD 1946. DO 2018. GODINE. UZETA JE U OBZIR KOREKCIJA INFLACIJOM.	36
SLIKA 3.4 – NETO PRIHODI OD NAFTE I PRIRODNOG GASA ZA ŠEST NAJVEĆIH PROIZVOĐAČKIH PRIVREDA, 2010–2017.	36
SLIKA 3.5 – TRI PROCENE ZALIIHA NAFTE. KADA DOŽIVLJAVAJU PIK I DO KADA ĆE TRAJATI.	38
SLIKA 3.6 – GODIŠNJA PROIZVODNJA PRIRODNOG GASA OD 1980. DO 2012. PRIMEĆUJE SE ZNAČAJAN RAST U POSLEDNJOJ DEZENIJI.	39
SLIKA 3.7 – REZERVE UGLJA U SVETU, PO DRŽAVAMA.	40
SLIKA 3.8 – PROIZVONJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE, PRIKAZANO PREMA VRSTI IZVORA. U EU28.	42
SLIKA 3.9 UKUPAN INSTALISAN KAPACITET VETRA U SVETU, ZA PERIOD OD 2000. DO 2015.	42
SLIKA 3.10 – DIJAGRAM PRIKAZUJE TRANSFORMACIJU UPPE-A DO UKUPNE FINALNE POTROŠNJE. RAZNI IZVORI PRIMARNE ENERGIJE SE TRANSFORMIŠU RAZLIČITIM TEHNOOGIJAMA U ELEKTRANAMA I RAFINERIJAMA U ELEKTRIČNU ENERGIJU.	44
SLIKA 3.11 – VREDNOST R ² JE 92%, A SA GRAFIKA SE VIDI DA VREDNOSTI NA OSAMA NISU U LINEARNOJ VEZI. KRIVA JE JEDNOSTAVNO UPALA U POSMATRANI DEO I DOBIJEN JE REZULTAT OD 92%.	50
SLIKA 3.12 – MODEL VEŠTAČKOG NEURONA. X _{1..N} – ULAZNI PODACI, W _{1..N} – TEŽINSKI KOEFICIJENTI, B – BIAS.	52
SLIKA 3.13 – AKTIVACIONA „STEP” FUNKCIJA ZA PERCEPTRON.	53
SLIKA 3.14 – IZGLED (ARHITEKTURA) TIPIČNE VNM – VIŠESLOJNI PERCEPTRON.	53
SLIKA 3.15 – SLOJEVITA VNM.	54
SLIKA 3.16- POTPUNO POVEZANA VNM.	54
SLIKA 3.17- ĆELIJSKA VNM.	54
SLIKA 3.18 – ARHITEKTURA KASKADNE NEREKURZIVNE VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE SA PROPAGACIJOM GREŠKE UNAZAD (CFBP).	56
SLIKA 4.1 – EMISIONI INTENZITET PRIVREDE DRŽAVA.	59
SLIKA 4.2 – PRIKAZ CIKLUSA EMISIJE CO ₂ I POVEĆANJA TEMPERATURE NA PLANETI I ULAZAK U POZITIVNU POVRATNU SPREGU.	60

SLIKA 4.3 – UKUPNA PRIMARNA POTROŠNJA ENERGIJE PREDSTAVLJENA PO GORIVIMA U EU28.....	61
SLIKA 4.4 – KOLIČINA EMISIJA CO ₂ KOJA SE OSLOBODI SAGOREVANJEM FOSILNIH GORIVA.....	62
SLIKA 4.5 – LOGSIG. SIGMOIDALNA AKTIVACIONA FUNKCIJA.	65
SLIKA 4.6 – TANSIG. SIGMOIDALNA AKTOVACIONA FUNKCIJA.	65
SLIKA 4.7 – PURELIN. LINEARNA AKTIVACIONA FUNKCIJA.	65
SLIKA 4.8 – TREND BDP INDIKATORA IZRAČUNAT NA OSNOVU STVARNIH PODATAKA OD 1990. DO 2015. GODINE.	70
SLIKA 4.9 – BDP.	71
SLIKA 4.10 – UPPE.	71
SLIKA 4.11 – PROSEČNA GLOBALNA TEMPERATURA.	71
SLIKA 4.12 – BROJ STANOVNIKA.	71
SLIKA 4.13 – POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE.....	72
SLIKA 4.14 – IZRAČUNATE ULAZNE VREDNOSTI ZA DRUGU GRUPU INDIKATORA. DO 2015. GODINE KORIŠĆENI SU STVARNI PODACI KOJI SU, NAKON TOGA (OD 2016-TE), NASTAVLJENI IZRAČUNATIM TRENDOM DO 2050. GODINE.	72
SLIKA 4.15 – IZMERENI PODACI (1990-2015) ZAJEDNO SA REZULTATIMA VNM – PROCENJENA EMISIJA CO ₂ DO 2050.....	74
SLIKA 4.16 – STVARNE VREDNOSTI CO ₂ , ESTIMIRANE VREDNOSTI CO ₂ STVARNIM ULAZIMA, I ESTIMIRANE VREDNOSTI EMISIJE CO ₂ MODIFIKOVANIM ULAZIMA.....	75
SLIKA 4.17 – PROCEDURA DEFINISANJA ULAZNIH PODATAKA I OBUČAVAJUĆEG SKUPA, KAO I SIMULACIJA VNM PO PERIODIMA ZA DRUGI DEO ISTRAŽIVANJA, METOD 2.....	79
SLIKA 4.18 – PRIKAZ SCENARIJA. NASTAVAK AKTUELNE ENERGETSKE POLITIKE EU28 SA STANOVIŠTA ENERGETSKOG MIKSA.....	82
SLIKA 4.19 – PRIKAZANA JE STVARNA VREDNOST EMISIJE CO ₂ U PERIODU OD 1990. DO 2015. GODINE, I INTERVAL U KOJEM SE OČEKUJE DA EMISIJA CO ₂ BUDE U 2030. GODINI ZA DEFINISANI SCENARIO.....	83
SLIKA 4.20 – PRIKAZ SCENARIJA. NASTAVAK AKTUELNE ENERGETSKE POLITIKE EU28 SA STANOVIŠTA ENERGETSKOG MIKSA UZ PROMENU DVA ENERGENTA – OIE I ČVRSTIH GORIVA.....	84
SLIKA 4.21 – PRIKAZANA JE STVARNA VREDNOST EMISIJE CO ₂ OD 1990. DO 2015. GODINE, I INTERVAL U KOJEM SE OČEKUJE DA EMISIJA CO ₂ BUDE U 2030. GODINI ZA DEFINISANI SCENARIO.....	85
SLIKA 4.22 – PRIKAZ SCENARIJA. NASTAVAK AKTUELNE ENERGETSKE POLITIKE EU28 SA STANOVIŠTA ENERGETSKOG MIKSA, UZ PROMENU ČETIRI ENERGENTA – OIE I ČVRSTA GORIVA (PRIKAZANI U TREĆEM KRITERIJUMU NA SLIKA 4.20) I NAFTNI DERIVATI I NUKLEARNA ENERGIJA.	85
SLIKA 4.23 – PRIKAZANE SU STVARNA VREDNOST EMISIJE CO ₂ U PERIODU OD 1990. DO 2015. GODINE, I INTERVAL U KOJEM SE OČEKUJE DA EMISIJA CO ₂ BUDE U 2030. GODINI ZA DEFINISANI SCENARIO.....	86
SLIKA 4.24 – PRIKAZ SCENARIJA. NASTAVAK AKTUELNE ENERGETSKE POLITIKE EU28 SA STANOVIŠTA ENERGETSKOG MIKSA UZ PROMENU DVA ENERGENTA – PRIRODNI GAS I NAFTNI DERIVATI.	87
SLIKA 4.25 – ENERGETSKI MIKS ZA PRVI PERIOD, SCENARIO M2_BAU_P1.....	90
SLIKA 4.26 – REZULTAT SIMULACIJE ZA PRVI PERIOD, SCENARIO M2_BAU_P1.....	90
SLIKA 4.27 – ENERGETSKI MIKS ZA PRVI PERIOD, SCENARIO M2_MOD1_P1.....	91
SLIKA 4.28 – REZULTAT SIMULACIJE ZA PRVI PERIOD, SCENARIO M2_MOD1_P1.....	91
SLIKA 4.29 – ENERGETSKI MIKS ZA PRVI PERIOD, SCENARIO M2_MOD2_P1.....	92
SLIKA 4.30 – REZULTAT SIMULACIJE ZA PRVI PERIOD, SCENARIO M2_MOD2_P1.....	92
SLIKA 4.31 – ENERGETSKI MIKS ZA PRVI PERIOD, SCENARIO M2_MOD3_P1.....	92
SLIKA 4.32 – REZULTAT SIMULACIJE ZA PRVI PERIOD, SCENARIO M2_MOD3_P1.....	92
SLIKA 4.33 – ENERGETSKI MIKS ZA DRUGI PERIOD, SCENARIO M2_BAU_P2.....	93
SLIKA 4.34 – REZULTAT SIMULACIJE ZA DRUGI PERIOD, SCENARIO M2_BAU_P2.....	93
SLIKA 4.35 – ENERGETSKI MIKS ZA DRUGI PERIOD, SCENARIO M2_MOD1_P2.....	94
SLIKA 4.36 – REZULTAT SIMULACIJE ZA DRUGI PERIOD, SCENARIO M2_MOD1_P2.....	94
SLIKA 4.37 – ENERGETSKI MIKS ZA DRUGI PERIOD, SCENARIO M2_MOD2_P2.....	95
SLIKA 4.38 – REZULTAT SIMULACIJE ZA DRUGI PERIOD, SCENARIO M2_MOD2_P2.....	95
SLIKA 4.39 – ENERGETSKI MIKS ZA DRUGI PERIOD, SCENARIO M2_MOD3_P2.....	95
SLIKA 4.40 – REZULTAT SIMULACIJE ZA DRUGI PERIOD, SCENARIO M2_MOD3_P2.....	95

SLIKA 4.41 - ENERGETSKI MIKS ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO M2_BAU_P3.....	97
SLIKA 4.42 - REZULTAT SIMULACIJE ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO M2_BAU_P3.....	97
SLIKA 4.43 - ENERGETSKI MIKS ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO M2_MOD1_P3.....	98
SLIKA 4.44 - REZULTAT SIMULACIJE ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO M2_MOD1_P3.....	98
SLIKA 4.45 - ENERGETSKI MIKS ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO M2_MOD2_P3.....	99
SLIKA 4.46 - REZULTAT SIMULACIJE ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO M2_MOD2_P3.....	99
SLIKA 4.47 - ENERGETSKI MIKS ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO M2_MOD3_P3.....	100
SLIKA 4.48 - REZULTAT SIMULACIJE ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO M2_MOD3_P3.....	100
SLIKA 4.49 - PLAN EVROPSKE KOMISIJE EU28 ZA PROMENU ENERGETSKOG MIKSA DO 2050.....	101
SLIKA 4.50 - ENERGETSKI MIKS ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO 1.....	102
SLIKA 4.51 - ENERGETSKI MIKS ZA TREĆI PERIOD, SCENARIO 2.....	102
SLIKA 4.52 - REZULTAT PROCENE CO ₂ POMOĆU VNM ZA SCENARIO 1.....	103
SLIKA 4.53 - REZULTAT PROCENE CO ₂ POMOĆU VNM ZA SCENARIO 2.....	103

SPISAK TABELA

TABELA 3.1 – EFIKASNOST RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA TRANSFORMACIJE ENERGIJE.	46
TABELA 4.1 – MINIMALNE I MAKSIMALNE VREDNOSTI INDIKATORA ZA NORMALIZACIJU.	68
TABELA 4.2 – KORIŠĆENI PARAMETRI VNM.	68
TABELA 4.3 – OČEKIVANA VREDNOST CO ₂ PO SCENARIJIMA ZA PRVI PERIOD.	90
TABELA 4.4 – OČEKIVANA VREDNOST CO ₂ PO SCENARIJIMA ZA DRUGI PERIOD.	93
TABELA 4.5 – OČEKIVANA VREDNOST CO ₂ PO SCENARIJIMA ZA TREĆI PERIOD.	97
TABELA 4.6 – SCENARIO 1 – VREDNOSTI UDELA GORIVA (CILJEVI PO PERIODIMA), PREMA PROCENTIMA.	102
TABELA 4.7 – SCENARIO 2 – VREDNOSTI UDELA GORIVA (CILJEVI PO PERIODIMA), PREMA PROCENTIMA.	102

SPISAK KORIŠĆENIH SKRAĆENICA

CO ₂	Ugljen-dioksid
GHG	Gasovi sa efektom staklene baste (eng. <i>green house gasses</i>)
ppm	Delovi na million (eng. <i>parts per million</i>)
IPCC	Međunarodni panel o klimatskim promenama (eng. <i>International Panel on Climate Change</i>)
EU	Evropska unija
EU28	Evropska unija koja se sastoji od 28 članica
ERM2050	Dokument Energetska mapa puta Evropske unije 2050 (eng. <i>EU Energy Roadmap 2050</i>)
WCED	Svetksa komisija za okolinu i razvoj (eng. <i>World Commission on Environment and Development</i>)
VNM	Veštačke neuronske mreže
UN	Ujedinjene Nacije
ETS	Sistem za trgovanje emisijama (eng. <i>Emission Trading Scheme</i>)
UPPE	Ukupna potrošnja primarne energije
SAD	Sjedinjene Američke Države
CCS	Skladištenje ugljenika (eng. <i>Carbon Capture and Storage</i>)
RES	Obnovljivi izvori energije (eng. <i>Renewable Energy Sources</i>)
FP7	Program Evropske unije za razvitak nauke (eng. <i>7th Framework Program</i>)
BDP	Bruto Domaći Proizvod
FFBP	Nerekurzivna neuronska mreža sa propagacijom signala unazad (eng. <i>Feed-forward Backpropagation Neural Network</i>)
CFBP	Kaskadna nerekurzivna neuronska mreža (eng. <i>Cascade Forward Neural Network</i>)
GRNN	Neuronska mreža generalizovane regresije (eng. <i>Generalized Regression Neural Network</i>)
EBP	Emlanova neuronska mreža sa propagacijom signala unazad (eng. <i>Elman Backpropagation Neural Network</i>)
MLP	Višeslojni perceptron (eng. <i>Multilayer Perceptron</i>)
BDP _{ppp}	Bruto Domaći Proizvod izražen kroz paritet kupovne moći
FN	Foto naposke ćelije (eng. <i>Photo Voltaic cells</i>)
MPV	Metoda potpornih vektora (eng. <i>Support Vector Machines</i>)
OPEC	Organizacija žemalja izvoznica nafte (eng. <i>Organization of Petroleum Exporting Countries</i>)
IEA	Internacionalna agencija za energiju (eng. <i>International Energy Agency</i>)
UPFE	Ukupna potrošnja finalne energije
VI	Veštačka inteligencija
LR	Linearna regresija (eng. <i>Linear Regression</i>)
GA	Genetski algoritmi
CNS	Centralni Nervni Sistem
EKG	Elektrokardiogram
EEG	Elektroencefalogram
PG	Prirodni gas

LMA	Algoritam Levenberg-Marquardt
AOG	Algoritam opadajućeg gradijenta
RMSE	Koren srednje kvadratne greške (eng. Root Mean Square Error)
ČG	Čvrsta goriva
BAU	Aktuelna politika (eng. Business as Usual)
NUK	Nuklearna energija
NAF	Nafta

1

UVOD

Klima se na Zemlji oduvek menjala, od najtoplijeg perioda do ledenih doba, konstantno ponavljajući ovaj ciklus. Promene su se dešavale na nivou desetina i stotina hiljada godina, sve dok tehnološki razvoj čovečanstva nije dostigao određeni nivo i čovek u velikoj meri počeo da utiče na prirodu i menja je. Energija ima ključnu ulogu u standardu stanovništva, pa je energetska politika jedna od ključnih oblasti politike svake države. Eksploatacijom fosilnih goriva, kao osnovnih energenata, ali i iz drugih razloga, koncentracija štetnih gasova u atmosferi je značajno porasla od početka prve industrijske revolucije, čime je pomenuti ciklus smenjivanja toplog i ledenog perioda planete drastično ubrzan. Iz tog razloga, jedan od ključnih izazova XXI veka jeste smanjenje količine gasova s efektom staklene bašte¹ u atmosferi. Razvoj nauke zajedno sa postojećim raspoloživim podacima omogućio je ljudima da već uveliko razmišljaju o ovom problemu, a veštačka inteligencija, koja dobija sve veću potvrdu u naučnim krugovima, čini se da može da odigra vrlo značajnu ulogu u njegovom rešavanju.

1.1 Značaj energije

Krajem XVIII veka u Velikoj Britaniji počela je prva industrijska revolucija² koja je podrazumevala prelazak sa manufakturne privrede na privredu kojom dominiraju mašine [1]. Pokrenuta je hemijska proizvodnja, unapređen je proces prerade gvožđa i čelika, pa je samim tim povećana upotreba tih sirovina, a uglj postaje novi dominantan energetski resurs. Značajan napredak u oblasti energije (početak korišćenja uglja), ubrzanju transporta (pronalazak parne mašine) i komunikacije (pronalazak telegrafa) omogućili su širu raspodelu dobara što je dovelo do velikih društvenih, političkih i ekonomskih promena.

¹ Efekat staklene bašte jeste zagrevanje površine planete, zbog atmosfere koja sadrži gasove koji apsorbuju i emituju infracrveno zračenje. Gasovi staklene bašte zaustavljaju toplotu u okviru površinskog sistema troposfere. Značajan poremećaj prirodne ravnoteže gasova uzrokovan je nekontrolisanom emisijom gasova, koju je prouzrokovao čovek.

² Prva industrijska revolucija trajala je od početka 18-tog do kraja 19-tog veka. Tada su nastale velike promene u poljoprivredi, industrijskoj proizvodnji, rudarstvu i transportu, koje su imale dubok uticaj na društveno-ekonomske i kulturne uslove. Ove promene su počele u Velikoj Britaniji, a zatim su se postepeno proširile po celoj Evropi, Severnoj Americi i konačno u celom svetu. Početak prve industrijske revolucije označio je glavnu prekretnicu u ljudskoj istoriji. Druga industrijska ili tehnološka revolucija nastaje u periodu od kasnih godina 19. veka i u 20. veku kada dolazi do snažnog razvoja industrije u Zapadnoj Evropi i Americi (automobilska i avio-industrija, hemijska i petrohemijska industrija, nuklearne tehnologije, itd.). Karakteriše je ogromna potrošnja fosilnih goriva. Treća industrijska revolucija ili informatička revolucija sigurnim i brzim prenosom informacija na globalnom nivou pomena mnoge usluge u zemlji u razvoju, uzrokujući velike ekonomske i socijalne promene na globalnom nivou.

Industrijska revolucija je tako uticala i na promenu društvene svesti koja je, od tada, prvenstveno usmerena na profit.

Nafta je resurs poznat čovečanstvu koji se javlja u zapisima još od vremena stare Grčke, međutim u drugoj polovini XIX veka desila se prekretnica. Postoje razna mišljenja o tome da li je povećanje eksploatacije nafte uticalo na početak proizvodnje automobilske industrije ili je bilo obrnuto, ali je svakako u tom periodu započeta i druga industrijska revolucija, koja je još jednom promenila dotadašnji izgled sveta. Ovaj period obeležili su najviše izumi u vezi sa električnom energijom i transportom. Od tada, napredak u svim sferama života postaje eksponencijalan. Prehrambena industrija, petrohemijska industrija, transport, mašinska industrija, kasnije i računarska industrija samo su neke od sfera koje su počele ubrzano da se razvijaju. Gradovi se šire i u širinu i u visinu, broj ljudi na planeti raste, a samim tim i otpad (razgrađivi, ali i nerazgrađivi), potreba za hranom je sve veća, a svi neophodni resursi (od prostora, preko gradivnih elemenata do hrane) se crpe iz prirode. Priroda je konstantno u procesu promene, brže ili sporije, a čovek sve više pokušava da je prilagodi sebi i svojim potrebama. Problem nastaje kada se od prirode uzima, a u veoma maloj meri joj se vraća. Posledice ovakog nekontrolisanog ponašanja nisu odmah vidljive, potrebno je vreme, ali akumulacijom se vremenom dolazi do veoma malicioznog stanja. Izaći iz njega nije nemoguće, ali je potreban veliki napor, ulaganje, posvećenost i zajedništvo (globalno delovanje) kako bi se povratila ravnoteža.

Korišćenje nafte i uglja, kao osnovnih energetskih resursa, dovodi do povećanja ugljen-dioksida (CO₂) i ostalih štetnih gasova u atmosferi čime se, zbog efekta staklene bašte, toplota zadržava na Zemlji. Takođe, korišćenje plastike i drugih hemijskih supstanci u razne svrhe drastično su smanjile mogućnost Zemlje da se nosi sa zagađenjem do kojeg dovodi, što se odrazilo (i još uvek odražava) na celokupnu floru i faunu planete. Prvi put u istoriji Zemlje je jedna jedinka (čovek) počela direktno i veoma intenzivno da utiče na celokupan živi svet na planeti.

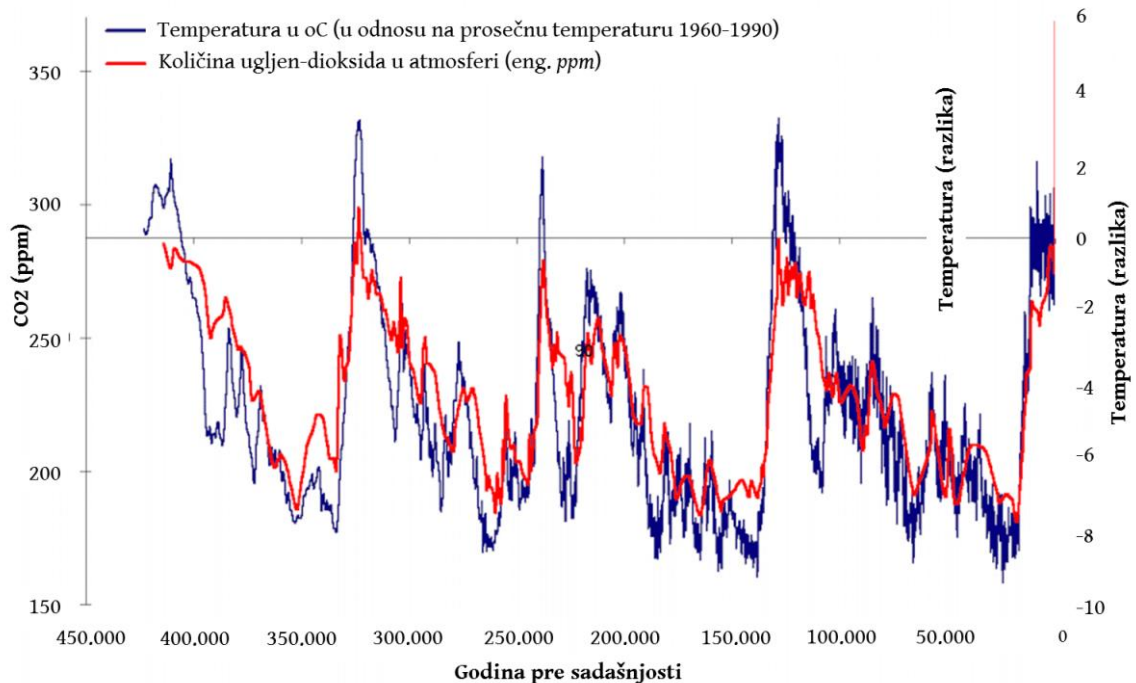
Razvojem nauke međutim, osim svih „štetnih“ stvari (sa stanovišta prirode i životne sredine) koje čovek nosi sa sobom, razvija se i svest o Planeti, zajedništvu, jedinstvenosti čoveka kao vrste što na planeti što u univerzumu, javlja se svesnost o značaju koju Zemlja ima za čoveka, javlja se saosećajnost i moralna obaveza ljudi da zaštite to, za sada jedino poznato, naseljivo mesto u svemiru. Ideja ovog istraživanja jeste da iskoristi naučno dokazanu i prihvaćenu veštačku inteligenciju kao alat za pomoć identifikaciji uticaja čoveka (i ljudskih faktora) na jedan parametar, emisiju CO₂, koji je naučno dokazan da ima veliku ulogu u promeni klime na Zemlji.

1.2 Klimatske promene

Zemlja je, od svog nastanka pre oko 4,5 milijardi godina, prolazila kroz razne faze od kojih se može izdvojiti pet velikih klimatskih katastrofa. Ledeni i topli periodi su se konstantno smenjivali, uslovljeni različitim pojavama, kako vanzemaljskim (zračenja, udari meteora, itd.), tako i zemaljskim (sastav atmosfere i tla, geohemijski procesi, pomeranje tektonskih ploča i promene reljefa, vulkanska aktivnost, itd.). Jedan od značajnijih faktora zemaljskih procesa jeste povećanje koncentracije gasova s efektom staklene bašte (GHG³), i ugljen-

³ Gasovi staklene bašte (GHG - Green House Gasses) su gasovi u atmosferi koji apsorbuju i emituju zračenje u okviru termičkog infracrvenog domena. Ovaj proces je fundamentalni uzrok efekta staklene bašte. Glavni gasovi staklene bašte u zemljinoj atmosferi su vodena para, ugljen-dioksid, metan, azotni oksidi, ozon i drugi. Gasovi staklene bašte utiču na temperaturu Zemlje. Bez njih površina Zemlje bila bi u proseku oko 33°C

dioksidom, kao najmasovnijim predstavnikom [2]. Tumačenjem istorijskih meteoroloških podataka Planete ustanovljena je direktna (obrnuto proporcionalna) veza između koncentracije CO₂ i količine leda – kada se povećava količina leda koncentracija CO₂ opada i obrnuto. Promena koncentracije gasova s efektom staklene bašte se, takođe, odlično podudara sa promenom prosečne globalne temperature kroz sve epohe ledenih doba (Slika 1.1).



Slika 1.1 – Prikaz zavisnosti promene količine CO₂ u atmosferi i prosečne globalne temperature na planeti.⁴

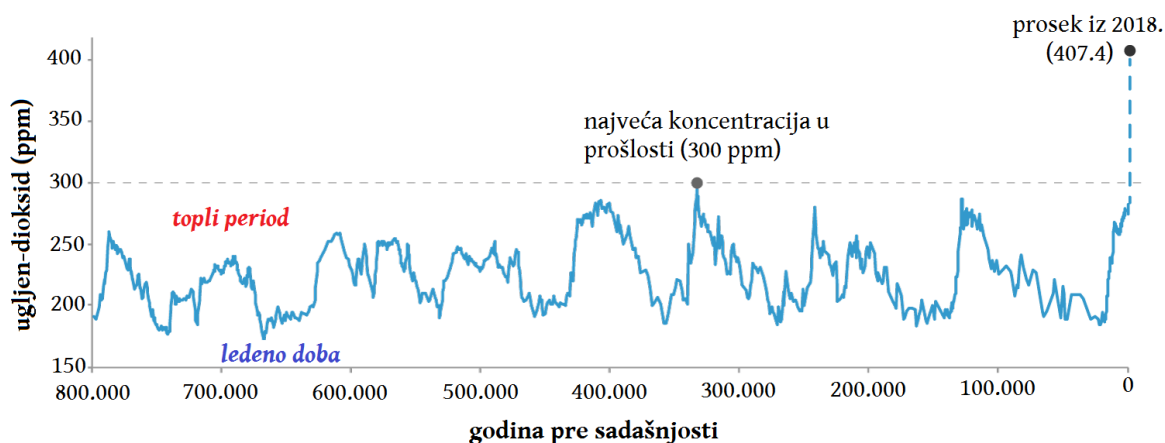
Velika koncentracija GHG onemogućava sunčevim zracima određenih talasnih dužina da se vrate u kosmos, pa se zadržavaju u atmosferi. Na taj način počinje da se povećava temperatura, a samim tim i da se topi led sa polova. Belina leda i snega koja se nalazi na polovima ima značajnu ulogu u regulaciji temperature jer odbija većinu sunčevih zraka nazad u svemir. Sa druge strane okeani mnogo bolje i više apsorbuju toplotu od leda. Topljenjem leda povećava se nivo i površina okeana, što, samim tim, znači da je prisutno manje odbijanje sunčevih zraka i veća apsorpcija toplote. Na taj način se klima uvodi u pozitivnu povratnu spregu, a nedostatak leda kao jednog od vrlo bitnih faktora u regulaciji temperature otežava povratak ravnoteže. Kada se klima na planeti toliko promeni da uvede planetu u pozitivnu povratnu spregu, čitav proces se u većini slučajeva završava novim ledenim dobom.

Količina CO₂ u proteklih 500.000 godina nije prelazila 300 ppm⁵ [3][4]. Međutim, posmatrajući podatke o količini CO₂ u bliskoj prošlosti, jasno se vidi da je od početka industrijske revolucije količina CO₂ porasla sa 280 na 400 ppm. Trenutna merenja, samo u poslednjih oko 10 godina, pokazuju ne samo da je količina CO₂ premašila vrednost od 300 ppm nego i da postoji linearan, i zabrinjavajući rast (slika 1.2). Trenutna količina CO₂ [5], u trenutku pisanja iznosi 413 ppm [6].

hladnija, nego što je sada. Ljudske aktivnosti od početka druge industrijske revolucije povećale su dramatično nivoje gasova staklene bašte u atmosferi.

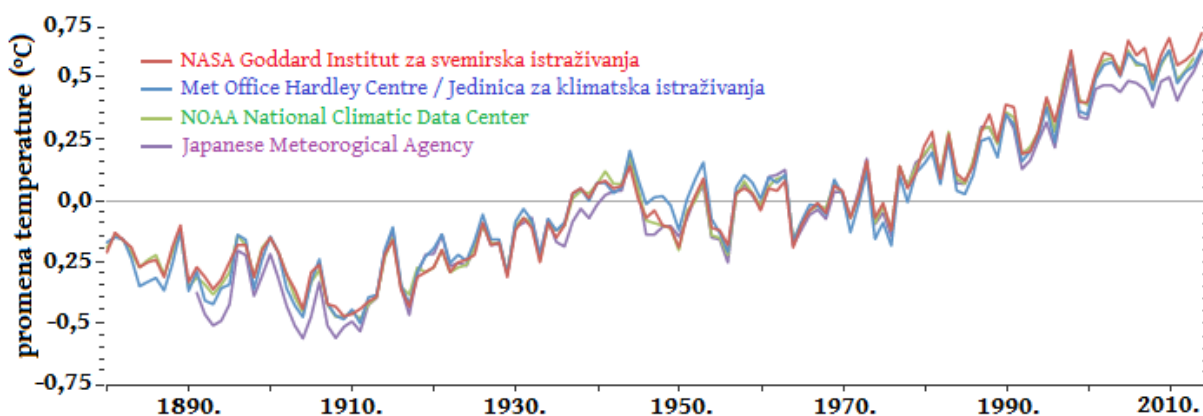
⁴ Izvor: <https://wattsupwiththat.com/2012/04/11/does-co2-correlate-with-temperature-history-a-look-at-multiple-timescales-in-the-context-of-the-shakun-et-al-paper/>.

⁵ delova na milion (eng. *parts per million* – ppm) znači da na svakih milion litara vazduha ima toliko litara ugljen-dioksida.



Slika 1.2 - Promena količine CO₂ u ppm, u proteklih 800.000 godina.⁶

Slika 1.3 prikazuje temperaturnu anomaliju, tj. promenu globalne temperature u poslednjih oko 140 godina, gde je kao referentna vrednost uzeta srednja vrednost temperature od 1951. do 1980. godine.

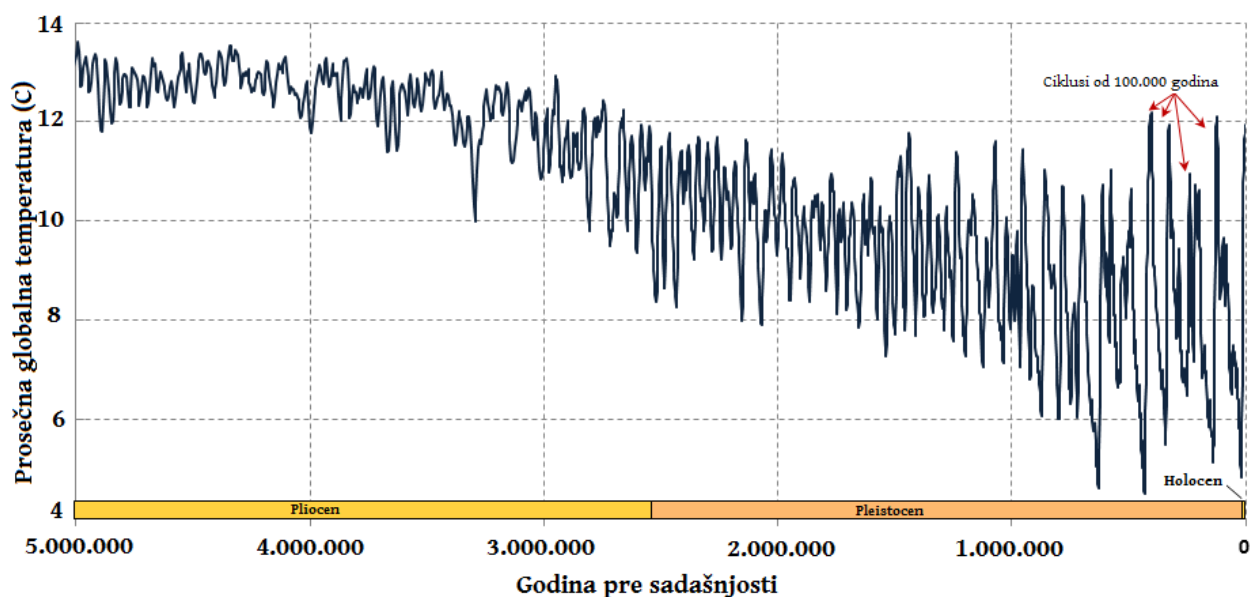


Slika 1.3 - Promena temperature u poslednjih nešto više od 100 godina. Promena temperature u odnosu na prosek u periodu od 1951. do 1984.⁷

Uočava se i konstantan **nagli rast** temperature posle 1900-te godine, što odgovara reakciji druge industrijske revolucije. Ukoliko se pogleda temperatura planete u prošlosti (slika 1.4) može se uočiti da se temperatura između ciklusa menjala u periodu od oko 100.000 godina – od najviše temperature u ciklusu do najviše temperature u narednom ciklusu. To znači da je prosečno bilo potrebno oko 50.000 godina da se temperatura promeni od minimuma do maksimuma, što u najgorem slučaju u poslednjih 5 miliona godina iznosi oko 8 stepeni (od 4 stepena do 12 stepeni). To znači da je u najgorem slučaju porast temperature za 100 godina iznosio 0,016 stepeni Celzijusovih.

⁶ Izvor: NOAA Climate.gov, National Centers for Environment Information (NCEI).

⁷ Izvor: NASA Earth Observatory, <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/DecadalTemp>.



Slika 1.4 - Slika prikazuje promenu prosečne globalne temperature (na osnovu izotopa kiseonika) u poslednjih pet miliona godina.⁸

Na osnovu ovih podataka može se zaključiti da promena prosečne temperature za oko 1 stepen Celzijusa (slika 1.3) u poslednjih **samo** 100 godina predstavlja ozbiljnu anomaliju čiji uzrok nisu prirodne pojave i prirodni ciklusi, nego nešto drugo. Kako bi se što bolje stekla predstava o promeni prosečne temperature na planeti, neophodno je imati u vidu veličinu planete, količinu vode koja se nalazi na planeti kao i da je proces akumulacije (ali i odavanja) toplote vode veoma spor zbog toplotne inercije. Na osnovu toga može se steći uvid u to koliko mnogo je zapravo potrebno uložiti energije kako bi se prosečna temperatura na Zemlji povećala i za najmanji deo stepena. Imajući u vidu temperaturnu anomaliju u poslednjih 100 godina jasno je koliko je emisija GHG gasova uticala na klimu, i koliko je samo potrebno uložiti energije (napora) da se stabilizuju klimatske promene.

Površina naše planete je pretežno prekrivena vodom (72%) i povećanje temperature podrazumeva povećanje vlažnosti. To dovodi do preraspodele vode na planeti, a samim tim, tokom vremena, i promene čitave klime. Svakim porastom za 1°C vlažnost planete se poveća za oko 7%. Povećava se količina padavina, i to tako da se učestalost smanjuje, ali intenzitet povećava. Kao posledice ovoga javljaju se duži sušni periodi, česte nagle promene temperature, veći broj oluja i uragana (kategorije 3, 4 i 5), topljenje leda na polovima, itd. [7]. Iako je ovo „samo“ teorija, živi smo svedoci učestalih poplava i suša, kao i činjenice da je sve teže pronaći jasnu granicu između godišnjih doba, i da su sve češći vremenski ekstremi.

Kako bi se uticalo na klimu neophodno je da promene budu globalne, a to znači da velike sile moraju da prepoznaju problem, pronađu interes i počnu preduzimanje mera i akcija koje će postati norma svim ljudima. Najveću organizacionu i zapovednu moć u modernom svetu imaju države, te je politika države, regije ili bilo kojeg drugog entiteta najbolji način da se deluje na globalnom nivou.

Problem klimatskih promena je zvanično prepoznat 1971. kada je u Stokholmu održana prva konferencija o toj temi. Potom je 1988. godine oformljen Međunarodni panel o klimatskim promenama (IPCC)⁹, nakon čega su usledile veoma značajne konferencije. Prekretnicu je označila konferencija Ujedinjenih nacija o životnoj sredini i razvoju u Rio de

⁸ Izvor: BC Opentextbooks, <https://opentextbc.ca/geology/chapter/16-1-glacial-periods-in-earths-history/>.

⁹ Eng. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC.

Žaneiru 1992¹⁰. godine na kojoj je potpisana Agenda 21, tj. dokument koji predstavlja dugoročni skup akcija koje će dovesti do održivog razvoja¹¹ u svetu. Evropska unija (EU) je 2009. postavila sebi cilj poznat pod nazivom "20-20-20", koji podrazumeva smanjenje emisija gasova s efektom staklene bašte, povećanje energetske efikasnosti i povećanje korišćenja energije iz obnovljivih izvora. Sva iskustava, istraživanja, mere i preduzete akcije objedinjene su 2011. godine u, do sad najznačajniji, dokument o planu razvoja energetskog sistema Evropske unije pod imenom „Energetska mapa puta Evropske unije 2050” (EPM2050, eng. *EU Energy Road Map 2050*)[8]. Ovaj dokument nudi različite scenarije razvoja privreda zemalja EU, uz smanjenje energetske potrošnje i radikalno smanjenje emisija štetnih gasova. Prema nekim od pomenutih scenarija predviđa se smanjenje emisija gasova s efektom staklene bašte za čak 80-90% u odnosu na referentnu 1990. godinu, što i jeste osnovni cilj ovog dokumenta, jer se na taj način sprovodi stabilizacija ubrzanih klimatskih promena. Ambiciozni planovi zahtevali su i razvoj novih tehnologija i primenu novih metoda planiranja i predviđanja sistema koji čine nacionalne ili regionalne privrede.

1.3 Energetska politika

Energetika i njen negativan uticaj na životnu sredinu osnovna je tema istraživanja ove disertacije. Upotreba energetske resursa je u velikoj meri poremetila prirodnu i poželjnu ravnotežu klime, što, da bi se ravnoteža vratila, zahteva značajne strukturne promene svetskih privreda. To se može postići traganjem za novim scenarijima društvenog i privrednog razvoja, novim energentima i tehnologijama za njihovu upotrebu, uvažavajući znatno strože klimatske kriterijume.

Energetska politika je način da entitet u okviru određene političke celine ili njenog dela (često je to vlada) iskaže plan i nameru o razvoju energetike uzimajući u obzir njenu proizvodnju, prenos, distribuciju i potrošnju. Često energetska politika podrazumeva i zakonodavstvo, međunarodne ugovore, fiskalnu politiku i druge mehanizme kojima se obezbeđuje sprovođenje energetske politike. Nacionalna energetska politika treba da ustanovi okvir unutar kojeg entiteti (opštine i industrija) mogu da uspostave i sprovede sopstvenu energetska politiku. Ove pojedinačne energetske politike mogu biti nižeg ranga suvereniteta, ali jednako važne, kao i nacionalne. Energetska politika mora da obezbedi uslove ekonomične proizvodnje energije i smanjenje gubitaka energije, efikasan razmeštaj proizvođača i izbor optimalnog načina transporta, ali i uslove za smanjenje negativnih uticaja energetske transformacije na životnu sredinu. Ovde se prvenstveno misli na smanjivanje emisije gasova (ugljen-dioksida i drugih gasova), koji su uzrok efekta staklene bašte, ali i ostalih štetnih proizvoda koji nastaju tokom procesa energetske transformacije (sumporni i azotni oksidi, pepeo, čađ, itd).

Strateški energetske ciljevi EU¹² dati su u dokumentu EMP2050 [8]. Ovaj dokument je osnova za izradu svih nacionalnih energetske politike članica EU, ali su i mnoge druge zemlje koje nisu članice EU, prihvatile taj koncept u izradi sopstvenih energetske politike. Najvažniji cilj dokumenta jeste dekarbonizacija privrede kroz strukturne ekonomske promene.

¹⁰ „Konferencija Ujedinjenih Nacija za okolinu i razvoj“ (eng. *United Nations Conference on Environment and Development*, poznatije kao *Earth Summit*). održana 1992. godine u Rio de Žaneiru.

¹¹ Održiv razvoj potiče iz „Brundtland izveštaja“ (WCED 1987 godine) i oslanja se na dva ključna koncepta: prvi je ideja o „potrebama“, a drugi ideja o „ograničenjima“ sposobnosti životne sredine da zadovolji sadašnje i buduće (generacijske) potrebe.

¹² Evropska unija sa 28 članova.

Da bi se što lakše, kvalitetnije i ekonomičnije došlo do cilja neophodno je uraditi analize i procene raznih indikatora, podataka da bi se što bolje shvatio uticaj politike na prirodu i posledice koje one nose. Potrebni su alati koji će omogućiti analizu podataka i na osnovu kojih će moći da se donesu određeni zaključci.

1.4 Veštačka inteligencija

Razvojem tehnologije umnogome je smanjena cena elektronskih i mehaničkih komponenti. Uređaji postaju pametni ugradnjom senzora i upravljačke jedinice, što potvrđuje i razvoj industrije 4.0¹³. Velika količina podataka se prikuplja više nego ikada, u svim sferama života: školstvu, zdravstvu, meteorologiji, transportu, telekomunikacijama, marketingu, itd, što dovodi do novog načina razmišljanja u vidu njihovog što boljeg iskorišćenja.

Izdvajanje vrednih informacija iz velikih skupova podataka i njihova analiza postala je deo inženjerske discipline koja se zove Veštačka inteligencija, i koja se bavi, između ostalog, proučavanjem i optimizacijom algoritama za učenje mašina, za izdvajanje podataka, klasifikaciju i predikciju. Postoje različiti modeli mašinskog učenja kao što su linearna regresija, metoda potpornih vektora (MPV, eng. *support vector machines*), veštačke neuronske mreže (VNM, eng. *artificial neural networks*) i genetski algoritmi. Osim linearne regresije (koja je poznata po svojoj jednostavnosti ali i neophodnosti preciznog poznavanja sistema), metode potpornih vektora (koja se bazira na statističkim teorijama učenja) i genetskih algoritama (koji su inspirisani algoritmom prirodne selekcije, pa se do najboljeg rešenja dolazi kroz veliki broj iteracija ukrštanja i mutiranja inicijalnih podataka), sve više se koriste veštačke neuronske mreže. Svaki algoritam ima svoju primenu, te je u skladu sa problemom potrebno odabrati metodu koja će se koristiti.

VNM su namenjene da rešavaju kompleksne probleme kod kojih se ne vidi jasna veza između ulaza i izlaza, odnosno, postoje nelinearne veze između njih. Takvi problemi su prepoznavanje šablona (eng. *patern recognition*), predikcija (npr. cena na tržištu), klasifikacija, upravljanje sistemima itd [9]. Baziraju se na učenju iz primera umesto na jasnom definisanju pravila kao kod drugih metoda (fazi logika¹⁴, linearna regresija, itd.). Koristeći stvarne podatke iz prošlosti, one modifikuju i adaptiraju „sebe“ (tokom perioda obuke) tako da daju baš onaj izlaz koji odgovara podacima. Znanje nije „centralizovano“ u konkretne formule, nego je rasoređeno u čitavoj VNM, što omogućava da i kada ne postoje sve informacije o sistemu koji se proučava, i kada se ne zna u potpunosti kako on funkcioniše, ipak se može o njemu dosta zaključiti, analizirati i obaviti predikcija njegovog ponašanja [10][11]. Ovakve visoko paralelne strukture, koje imaju sposobnost učenja imaju veliku moć generalizacije problema, a samim tim su i robusnije i manje osetljive na promene u ulazima, što im daje veliku prednost u rešavanju problema u poređenju sa visoko kompleksnim matematičkim funkcijama i sistemima.

Imajući u vidu da je energetska politika i uticaj na emisiju CO₂ veoma kompleksan i nelinearan problem, VNM imaju potencijal da pruže rešenje.

Cilj ovog istraživanja jeste da predstavi model VNM koji će moći da opiše energetski sistem i predvidi ponašanje emisije CO₂ do 2050. godine [8], i što je još važnije – model sistema koji će biti upravljiv. Na taj način, ne samo da će moći da se predvidi emisija CO₂ trenutnog stanja energetskog sistema, nego će moći da se simulira (analizira) ponašanje

¹³ Eng. internet of things .

¹⁴ Fazi logika, eng. *fuzzy logic*, predstavlja inteligentni način odlučivanja u kojem se, prilikom klasifikacije podataka, dozvoljava delimična pripadnost nekom skupu umesto jasne pripadnosti ili nepripadnosti.

emisije CO₂ u slučaju promene relevantnih parametara, što daje mogućnost planiranja smanjenja emisije CO₂ na najefikasniji način. Na taj način će se omogućiti i procena efekata delovanja energetske politike na emisiju CO₂, kao i mogućnost njene blagovremene korekcije. Istraživanje će pomoći i u rešavanju aktuelnog, globalnog problema klimatskih promena, objedinjavanjem više disciplina kao što su energetika, politika, zaštita životne sredine i inženjerstvo.

1.5 Motivacija za istraživanje

Došli smo u vremenski trenutak kada je naš opstanak na planeti (na duže staze) postao neizvestan. Ubrzan je proces klimatskih promena, svojim tehnološkim napretkom umnogome utičemo na planetu, menjamo je i narušavamo ravnotežu. Svetske sile su prepoznale ovaj problem i započet je proces delovanja radi postizanja održivog razvoja. Problem se javlja, između ostalog, zbog toga što nijedna mera koja se donese (u političkom smislu) ne može trenutno da proizvede promenu, nego je potrebno vreme kako bi se uticaj na planetu osetio. To znači da je neophodno i vreme kako bi se shvatilo da li postoji pozitivan uticaj preduzetih mera, a zatim i da li je dovoljan i na koji način ga korigovati kako bi rezultat bio bolji. Potrebna je mnogo bolja analiza i bolje razumevanje čitavog sistema, kako bi mogao da se predvidi najbolji način dolaska do rešenja jer mesta za grešku ima sve manje, a svaka buduća greška imaće veću cenu. Veštačka inteligencija, koja je sve prisutnija u naučnim krugovima se nameće kao jedna od logičnih metoda za analizu, razumevanje i predikciju potrebnih indikatora kako bi se došlo do održivog razvoja.

Takođe, svaki pokušaj pojedinca (ili pojedinačnog entiteta) da utiče samostalno na promenu klime je, praktično, besmislen. Pojedinici mogu i treba da posluže kao primer drugima, ali je neophodno da se što pre počne delovati na globalnom nivou, a to podrazumeva prisutnost svesti o jedinstvu, o zajedništvu, jer samo tako efekat poboljšanja može da bude globalan.

1.5.1 Predmet istraživanja

Predmet istraživanja ove disertacije jeste analiza smanjenja emisije CO₂. Pre svega, analiziran je kompleksni energetska sistem EU i njegov uticaj na okolinu, a zatim je ponuđen metod veštačke inteligencije kao alat za analizu energetska sistema i predikciju emisije CO₂ u budućnosti. Stoga, kao specifičniji predmeti istraživanja mogu da se definišu:

1. Analiza kompleksnih energetska sistema i
2. Primena veštačkih neuronskih mreža za predikciju emisija CO₂ do 2050. godine

Istraživanje obuhvata pronalazak indikatora energetske politike (kako bi se aktuelna i buduća politika opisale i kvantifikovale), koji su u vezi s emisijom CO₂ (i drugim gasovima s efektom staklene bašte), modelovanje i simulaciju energetska sistema pomoću VNM, i analizu energetska sistema korišćenjem prepoznatih indikatora. Korišćenjem ovako definisanog modela, obaviće se procena uticaja različitih scenarija ekonomskog razvoja na emisiju CO₂.

1.5.2 Ciljevi istraživanja

Osnovni princip dobrog upravljanja predstavlja upravljanje u zatvorenoj povratnoj sprezi. Za upravljanje energetska sistemom kroz energetska politiku, neophodno je imati jasne uporedive rezultate delovanja politike na sistem. Pošto je formiranje, usvajanje i naročito primena zakona veoma spor proces, kasna povratna informacija ima mali značaj u upravljanju i nemoguće je izbeći posledice takvog upravljanja. Cilj ovog istraživanja jeste analiza kompleksnog energetska sistema i njegov uticaj na životnu sredinu do 2050. godine

preko energetske politike korišćenjem modela veštačkih neuronskih mreža. U cilju ostvarenja ove ideje, definisani su manji ciljevi:

1. Prvi cilj predstavlja određivanje značajnih indikatora koji će predstavljati (opisivati) energetske sistem u dovoljnoj meri, i na koje može da se deluje (tj. koji mogu biti upravljani) energetske politikom. Stoga, definisana je prva hipoteza:

Identifikovanih deset indikatora predstavlja dovoljan skup podataka za opis energetske politike i predikciju emisija CO₂.

Hipoteza 1.

2. Drugi cilj predstavlja pronalazak i formiranje modela kompleksnog energetske sistema korišćenjem VNM, simuliranje i predviđanje uticaja trenutne politike na životnu sredinu (emisija CO₂). Formirana je druga hipoteza:

Kaskadna VNM sa propagacijom greške u nazad, sa dva skrivena sloja i hiperboličnom tangensnom aktivacionom funkcijom predstavlja model (i arhitekturu) VNM koja je u stanju da sa prihvatljivom tačnošću nauči kompleksni energetske sistem i predvidi emisiju CO₂ u budućnosti.

Hipoteza 2.

Na osnovu rezultata dobijenog u ovom delu istraživanja, definisana je i treća hipoteza:

Korišćenjem unapređene metode za obučavanje i testiranje, VNM može preciznije da prepozna uticaj svih indikatora koji se odnose na udeo potrošnje energije u ukupnoj potrošnji primarne energije a samim tim i da bolje proceni emisiju CO₂ u 2050. Takva mreža može da se iskoristi za upravljanje celokupnim sistemom i da se isti precizno analizira za razne scenarije energetske politike.

Hipoteza 3.

3. Treći cilj predstavlja analizu trenutne i potencijalne buduće energetske politike uz pomoć VNM i procenu njihovog uticaja na emisiju CO₂. Neki politički scenariji, koji su analizirani u ovoj doktorskoj tezi, predstavljeni su u dokumentu Energetska mapa puta 2050.

1.6 Struktura disertacije

Plan ove doktorske disertacije jeste da se, konsultujući literaturu o velikim energetske sistemima poput energetske sistema EU i o energetske politici, pre svega istraže i definišu indikatora energetske politike. Na taj način će se kvantifikovati rezultati energetske politike što je osnova za njenu analizu. Nakon toga, na osnovu pilot testova, literature i dosadašnjeg iskustva rada sa VNM, pronaći će se model VNM, koji će modelovati i razumeti složeni energetske sistem. Objediniće se stečeno znanje i iskustvo iz oblasti energetike i veštačke inteligencije i upravljanja i, koristeći definisani model VNM, analiziraće se dosadašnja i buduća energetske politika EU, koja je u skladu sa glavnim dokumentom Evropske komisije EMP2050. Proceniće se delovanje aktuelne EU politike i budućih scenarija na emisiju CO₂.

Korišćenjem podataka od 1990. godine i korišćenjem određenih indikatora, pokazano je da je ovo moguće i otvorena je mogućnost za dalje usavršavanje i istraživanje koje će biti sprovedeno u ovoj doktorske disertaciji.

1.7 Naučna i društvena opravdanost

Teorijski doprinos teze je u dokazivanju da se VNM mogu koristiti i za najsloženije, tehničke sisteme, kakav je energetska sistem EU. Osim toga, primenjeni kaskadni postupak daje veliku dinamičku snagu modelu. Na taj način se mogu kontrolisati i modelovati promene koje nastaju u budućnosti.

Sjedinjavanjem trenutnog načina vođenja politike i veštačke inteligencije stvara se preduslov za mnogo sofisticiranije i savremenije vođenje energetske politike i drugih oblasti. Svedoci smo eksponencijalnog trenda napretka svih oblasti u kojima je počela da se koristi veštačka inteligencija, najviše zbog brzine i količine podataka koje je u mogućnosti da obradi. Imajući to u vidu, ovo istraživanje doprinosi budućem izučavanju veštačkih neuronskih mreža i usavršavanju korišćenja veštačke inteligencije u oblasti energetike. Osim toga, analizira se konkretan problem emisija CO₂ koji je od suštinskog značaja za društvo u celini, dugoročno zbog opstanka vrste, a kratkoročno zbog zdravlja i poboljšanja kvaliteta života.

2

STANJE U OBLASTI

Strateški energetska ciljevi EU28¹⁵ dati su u dokumentu Energetska mapa puta Evropske unije 2050. Taj dokument predstavlja skup svojevrsnih planskih politika koje treba da omoguće održivo korišćenje resursa na nivou Evropske unije. Osnova je za izradu svih nacionalnih energetska politika članica Evropske unije, ali su i mnoge druge zemlje koje nisu članice EU, prihvatile taj koncept u izradi sopstvenih energetska politika. Energetska mapa puta promovise ekonomski isplative scenarije koji bi privredu Evropske unije prilagodili potrebama smanjenja energetska potrošnje i zaštite životne sredine. Donošenju ovog sveobuhvatnog strateškog dokumenta prethodilo je donošenje drugih dokumenata i sistematska analiza uslova potrebnih i dovoljnih za efektivno i efikasno sprovođenje strategija. Tu se, pre svega, misli na institucionalno organizovanje, izgradnju kadrova i stvaranje ekonomskih preduslova.

2.1 Energetska politika

2.1.1 Prepoznavanje problema

Još je 1971. godine održana Stokholmska konferencija o temi životne sredine na kojoj su izloženi prvi problemi uticaja čoveka na klimu i okolinu. Prvi međunarodni sporazum o prekomernom zagađenju vazduha desio se 1979. godine, a stupio je na snagu malo kasnije, 1983. Četiri godine kasnije, 1987, donet je Montrealski protokol o zaštiti ozonskog omotača. Osnovni rezultat Montrealskog sporazuma bilo je obavezivanje svih članica da se smanji upotreba freona za 50%. Skupovima u Londonu i Kopenhagenu 1990. i 1992. respektivno uvedeni su još rigorozniji zahtevi, a to je da se do 2000. godine u potpunosti iz upotrebe izbace freoni koji oštećuju ozon [12]. Za zvanični početak borbe protiv klimatskih promena može da se smatra 1988. godina kada je oformljen IPCC između Svetske meteorološke organizacije (eng. *world meteorological organization*) i Programa za životnu sredinu Ujedinjenih nacija (eng. *UN environment programme*). IPCC ima za cilj da svetu predstavi trenutno stanje i znanja iz naučne perspektive o klimatskim promenama, kao i socio-ekonomski uticaj klimatskih promena na svet. Prvi izveštaj IPCC-a stigao je 1990-te i prikazao da je čovek direktno uticao i utiče i dalje na povećanje koncentracije gasova s efektom staklene bašte u atmosferi, što je bio povod za održavanje i druge konferencije o svetskoj klimi (eng. *second World Climate Conference*). Cilj je bio da se revidira klimatski program i da se preporuče buduće akcije. Oformljena je Generalna skupština Ujedinjenih nacija za pregovore (eng. *UN General assembly negotiations*) na kojima je učestvovalo preko 150 država i gde se raspravljalo o obavezama, ciljevima, vremenskim rokovima i planovima, finansijskim mehanizmima,

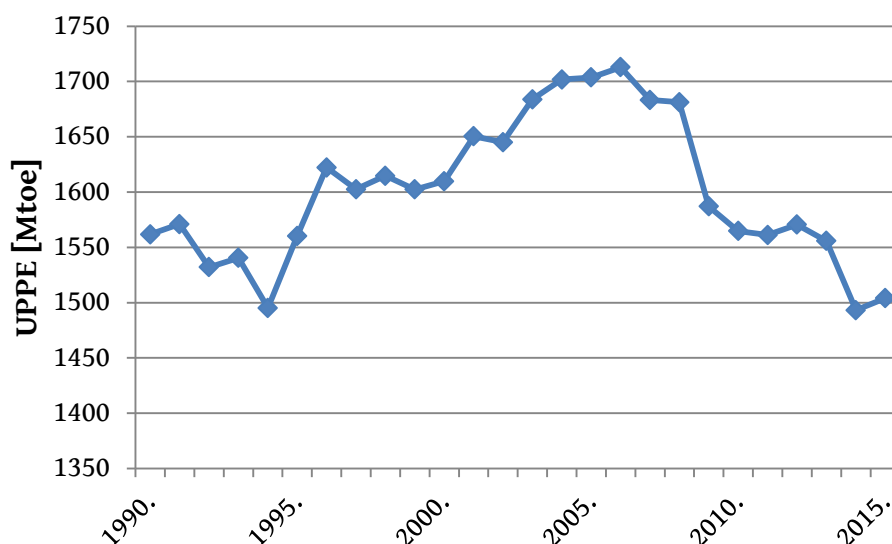
¹⁵ Evropska unija sa 28 članica.

zajedničkim odgovornostima i prenosu znanja u vezi sa klimatskim promenama [13]. Jedna od najvećih i najbitnijih konferencija o temi klimatskih promena održana je u Rio de Žaneiru 1992. godine pod nazivom „Konferencija Ujedinjenih Nacija za okolinu i razvoj“. Ova konferencija predstavljala je vrhunac jednog procesa koji je pokrenut u decembru 1989. godine koji je obuhvatao planiranje, edukaciju i pregovore između svih država Ujedinjenih nacija, i na kojoj je zaključeno, zasnovano na naučnim istraživanjima i činjenicama, da se globalno zagrevanje stvarno dešava i da je vrlo verovatno čovek tome doprineo dodatnom emisijom CO₂. Konferencija je zaključena Agendom 21¹⁶, koju je potpisalo više od 150 država i koja je predstavljala dugoročni plan akcija koji bi doveo do održivog razvoja na svetskom nivou. Konferenciju je zatvorio *Maurice Strong*, generalni sekretar konferencije, rečima da je ovo „istorijski trenutak za čovečanstvo“. Iako je Agenda 21 s vremenom oslabila zbog raznih kompromisa i pregovora, ipak i dalje predstavlja sveobuhvatni i najznačajniji plan za dostizanje samoodrživosti životne sredine.

Nakon tri godine, na prvoj konferenciji članica potpisnica Agende 21, u Berlinu 1995, raspravljalo se o konkretnim ciljevima i akcijama i došlo do zaključka da trenutni angažman i ciljevi nisu dovoljni da dostignu globalne ciljeve konvencije. Stoga, započeti su novi pregovori i pokušaji da se pronađu novi mehanizmi kako bi se ciljevi dostigli. Treća istorijska konferencija dostigla je novu prekretnicu potpisivanjem Kjoto protokola 11. decembra 1997. godine, koji dopunjuje Agendu 21 iz 1992. godine. Kjoto protokol je stupio na snagu 16. februara 2005. godine i podrazumeva smanjenje emisija šest gasova s efektom staklene bašte, ali uzima u obzir razlike između zemalja i mogućnosti koju svaka država ima u odnosu na sopstveni trenutni ekonomski razvoj. Prvi obavezujući period primene sporazuma je počeo 2008. i završio se 2012. godine. Drugi obavezujući period primene dogovoren je u Dohi 2012. godine i trajeće do 2020. EU je shvatila ovaj problem najozbiljnije, te se već 2001. i 2003. godine vide prve mere kada se donosi Direktiva o obnovljivim izvorima energije, a 2005. godine se uvodi sistem za trgovanje emisijama CO₂ (eng. *Emissions Trading Scheme - ETS*) [12].

Vrlo je bitno istaći činjenicu da su se prvi rezultati svih dotadašnjih pregovora i sprovođenja politike očuvanja klime osetili tek 2006. godine kada je ukupna potrošnja primarne energije (UPPE, eng. *total primary energy supply*) u EU konačno zaustavila svoj rast i krenula značajno da opada (slika 2.1). To se povezuje sa delovanjem mera i akcija koje su pokrenute tokom prethodnog perioda, a koje su u vezi s energetsom efikasnošću (pre svega, poboljšanje u tehnološkom smislu, ali i podizanje svesti stanovništvu o neophodnosti racionalnijeg korišćenja energije). Takođe, govori o tome koliko je zapravo ovaj čitav proces inertan i spor. Očigledno je da je neophodno dosta vremena da se usvoje mere, a zatim i da usvojene mere (u državi/zajednici) deluju i daju efekat.

¹⁶ Broj 21 u nazivu predstavlja 21 vek.

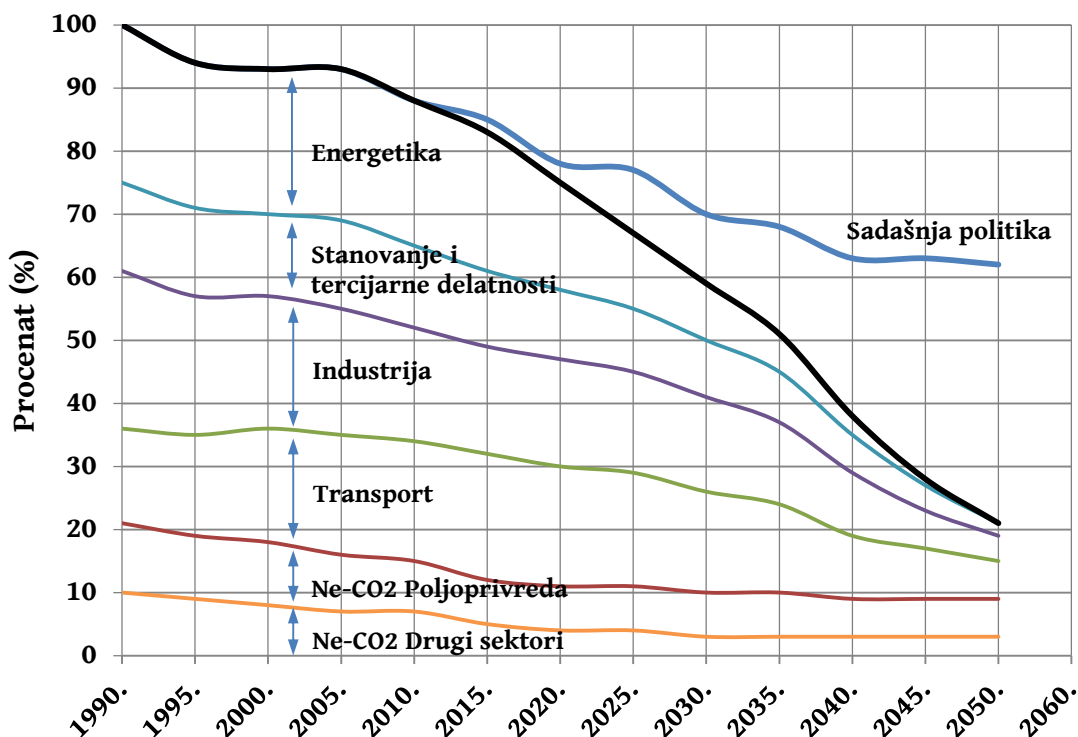


Slika 2.1 - Promena ukupne primarne potrošnje energije. Vidi se početak opadanja 2006. godine.

Kada je reč o Evropskoj uniji, u decembru 2008. Evropsko veće usvaja predlog Evropske komisije, takozvani „20-20-20 plan“, koji podrazumeva smanjenje emisija CO₂ za 20%, povećanje energetske efikasnosti za 20% i povećanje udela obnovljivih izvora energije u UPPE-u do 2020. godine. Na samitu u Kopenhagenu u decembru 2009. godine prepoznat je još jednom problem prevelikog rasta CO₂ u atmosferi i predloženo da se nivo CO₂ u atmosferi zaustavi na 450 ppm do 2050. godine kako bi se ograničio i rast prosečne temperature na Zemlji na 2 °C. Međutim, konkretnije mere nisu preduzete. Trenutna vrednost (jun 2019) iznosi 413 ppm, dok je u junu prethodne godine iznosila 409 ppm. Po trenutnom trendu emisije CO₂ i porasta temperature, temperatura će dostići promenu od čak 4,5 °C do 2100. godine, što nije zabeleženo na Zemlji milionima godina unazad. *James Hansen*, glavni klimatolog u parlamentu SAD-a je još pesimističniji i predviđa da će temperatura porasti za čak 6°C od sada do kraja ovog veka, što bi dovelo do gašenja života na Zemlji.

Evropska fondacija za klimu (eng. *European Climate Foundation*) je inicirala studije u oblasti ekonomije, politike i tehnike u saradnji sa mnogim organizacijama, preduzećima i centrima za razvoj kako bi se svi aspekti što bolje uzeli u obzir. Konačno, ovaj proces rezultirao je 2011. godine formiranjem dokumenta Energetska mapa puta 2050 EU, koji je izneo činjenice, prikazao stanje u ovoj oblasti, potencijalne izazove kao i predloge, ideje i nacрте akcija, koje će EU dovesti do niskog nivoa GHG u 2050. godini. Dokument je uzeo u obzir stvarnu mogućnost primene i implementacije prikazanih ideja s ekonomskog i tehničkog stanovišta, uključujući i poboljšanje (ili u najgorem slučaju održavanje) vrlo bitnih faktora za energetske sistem EU, kao što su pouzdanost snabdevanja električnom energijom, sigurnost energije i ekonomski prosperitet. U osnovi dokumenta jeste, pre svega, unapređenje energetske efikasnosti i povećanje korišćenja obnovljivih izvora energije. Najvažniji cilj dokumenta jeste dekarbonizacija privreda kroz strukturne ekonomske promene, što pre svega podrazumeva prestanak proizvodnje energije dobijene iz čvrstih goriva, maskimalnog smanjenja korišćenja nafte, i drastičnog povećanja korišćenja energije iz obnovljivih izvora. Čiste tehnologije predstavljaju ključni element buduće evropske privrede. Očekuje se da primenom tih politika u EU bude smanjena emisija CO₂ za 80, pa čak i do 95%, u odnosu na nivo iz 1990. godine i da će se to ostvariti na ekonomski isplativ način. Prolazni ciljevi su 40% smanjenja do 2030. i 60% smanjenja do 2040. godine.

Treba napomenuti da je ovo prvi put da su prikazani konkretni ciljevi i jasna vremenska ograničenja za njihovo postizanje. Procena uticaja određenih sektora na emisiju CO₂ od 1990. do 2050. godine prikazan je na slici 2.2.

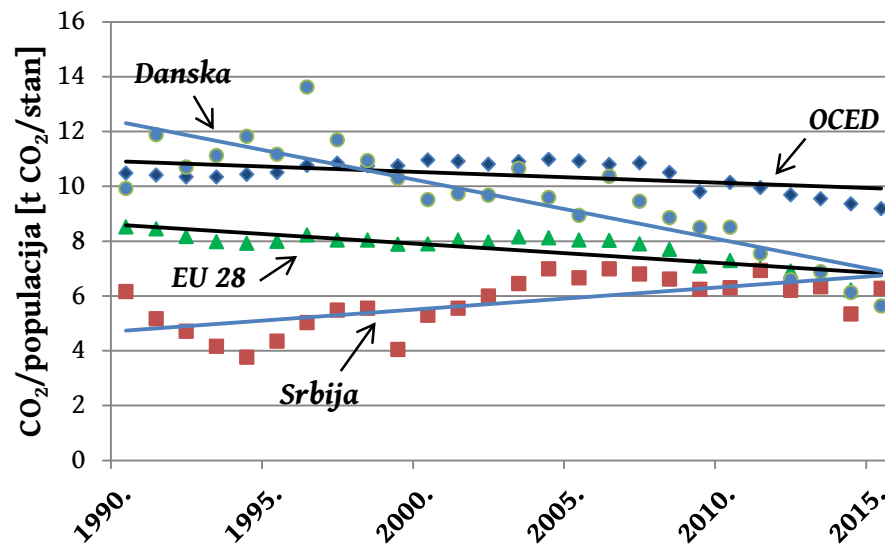


Slika 2.2 - Tok smanjenja emisija CO₂. Prikaz aktualne politike i ciljeva do 2050. godine po sektoru u EU.

Nakon neuspelih samita u Kopenhagenu (2009) i Kankunu (2010), 2015. godine je održan samit u Parizu na kojem je i potpisan Pariski sporazum kojim se po prvi put sve države¹⁷ okupljaju oko zajedničkog problema i obavezuju da će zajedno primeniti mere i akcije radi zaustavljanja klimatskih promena. Cilj Pariskog sporazuma jeste da se povećanje prosečne temperature na globalnom nivou održi značajno ispod 2 °C u odnosu na prosečnu temperaturu perioda pre industrijske revolucije, kao i da će se uložiti napor da se povećanje zaustavi na 1,5 °C, jer bi to umnogome smanjilo rizik od klimatske katastrofe. Ovaj protokol ne određuje tačne ciljeve koje svaka država treba da ispuni, nego ostavlja mogućnost svakoj državi da u skladu sa svojim mogućnostima definiše sopstvene ciljeve koji moraju biti stroži od prethodnih. Takođe, treba naglasiti da su se vlade najvećih zagađivača (Kina sa 20,09%, SAD sa 17,89% i EU sa 12,08% udela u ukupnom zagađenju) složile da svake godine podnose izveštaj o rezultatima i primenama mera i akcija u skladu sa ciljevima. Vlade su se složile i o neophodnosti povećanja podsticaja razvoja niskougljeničnih (eng. *low carbon*) tehnologija, ali tako da ne ugrožavaju proizvodnju hrane.

Ozbiljnost u borbi protiv klimatskih promena se vidi u konkretnim ciljevima i akcijama pojedinih država, pa je tako u julu 2017. godine francuski ministar za životnu sredinu *Nicolas Hulot* predstavio plan da se u Francuskoj do 2040. godine izbace (zabrane) sva vozila koja koriste dizel i benzin. Francuska će totalno prestati da koristi ugalj za proizvodnju električne energije do kraja 2022. godine i uložiće do četiri milijarde evra u energetska efikasnost. Francuska nije jedina, nego je prati Norveška koja se obavezala još strožim ciljem da izbaci sva benzinska i dizel vozila do 2025. godine, kao i Holandija koja će da uradi isto do 2030. godine. Holandska pruga se kompletno napaja električnom energijom dobijenom iz obnovljivih izvora energije - vetra. Holandija je takođe podnela izveštaj u junu 2018. godine da će do 2050. godine smanjiti emisije GHG za neverovatnih 95% u odnosu na 1990. godinu.

¹⁷ 195 država potpisalo je ovaj sporazum.



Slika 2.3 Promena emisije CO₂ po glavi stanovnika u EU28, Danskoj, zemljama OCED¹⁸ i Srbiji u periodu od 1990. do 2015.

Jedan od načina za prikazivanje i analizu emisija CO₂ u državi/regiji jeste prikaz prema broju stanovnika. Na slici 2.3 prikazana je promena emisije CO₂ po glavi stanovnika u EU28 (i drugim entitetima radi poređenja) u periodu od 1990. do 2015. godine, gde se vidi značajan pad, za oko 24%, koji i ne čudi imajući u vidu angažovanje i ozbiljnost njenih članica.

2.1.2 Ciljevi i mere energetske mape puta Evropske unije

2.1.2.1 Priroda i životna sredina

Odredbe o prirodi i zaštiti životne sredine moraju biti neizostavni deo svake buduće politike. Odredbe EU se prevashodno odnose na održavanje, zaštitu i unapređivanje okoline i zaštitu ljudskog zdravlja. Kako bi se te mere što bolje implementirale u društvu, neophodan je i uticaj medija i podizanje svesti društva o racionalnom korišćenju prirodnih resursa, značaju prirode za čoveka, kao i o uticaju i posledicama klimatskih promena na čitav život na planeti. Jedan od prioriteta jeste da se gradovi okrenu niskougljeničnom razvoju izgradnjom pametnih zgrada uklanjanjem transporta velikog emisionog intenziteta, i drugih mera.

2.1.2.2 Energija

Evropa ima ograničene količine fosilnih goriva, te umnogome zavisi od uvoza energije. Prema izveštaju Eurostat-a, u 2017. godini zavisnost EU od uvoza energije iznosila je oko 55%, što znači da više od polovine neophodne energije EU uvozi. Najviše se uvozi sirova nafta (skoro 2/3 čitavog uvoza), zatim prirodni gas (oko 26%), a onda i čvrsta fosilna goriva (oko 8%). Stoga, EU je sebi za cilj postavila dostizanje energetske sigurnosti i u što većoj meri nezavisnosti od drugih zemalja. Dugoročna strategija EU je, samim tim, orjentisana ka niskougljeničnim tehnologijama.

Cilj EU jeste da se iz upotrebe izbaci ugalj kao energetska resurs, kao i da se u velikoj količini smanji korišćenje nafte. Obnovljivi izvori energije će uzeti primat, pre svega, energija vetra, a zatim i sunčeva energija, ali će takođe i prirodni gas da ima veliku ulogu u tranziciji, kao fosilno gorivo sa najmanjim emisionim intenzitetom. Trenutni udeo fosilnih goriva u EU i dalje dominira nad ostalim izvorima energije, ali je u tendenciji opadanja.

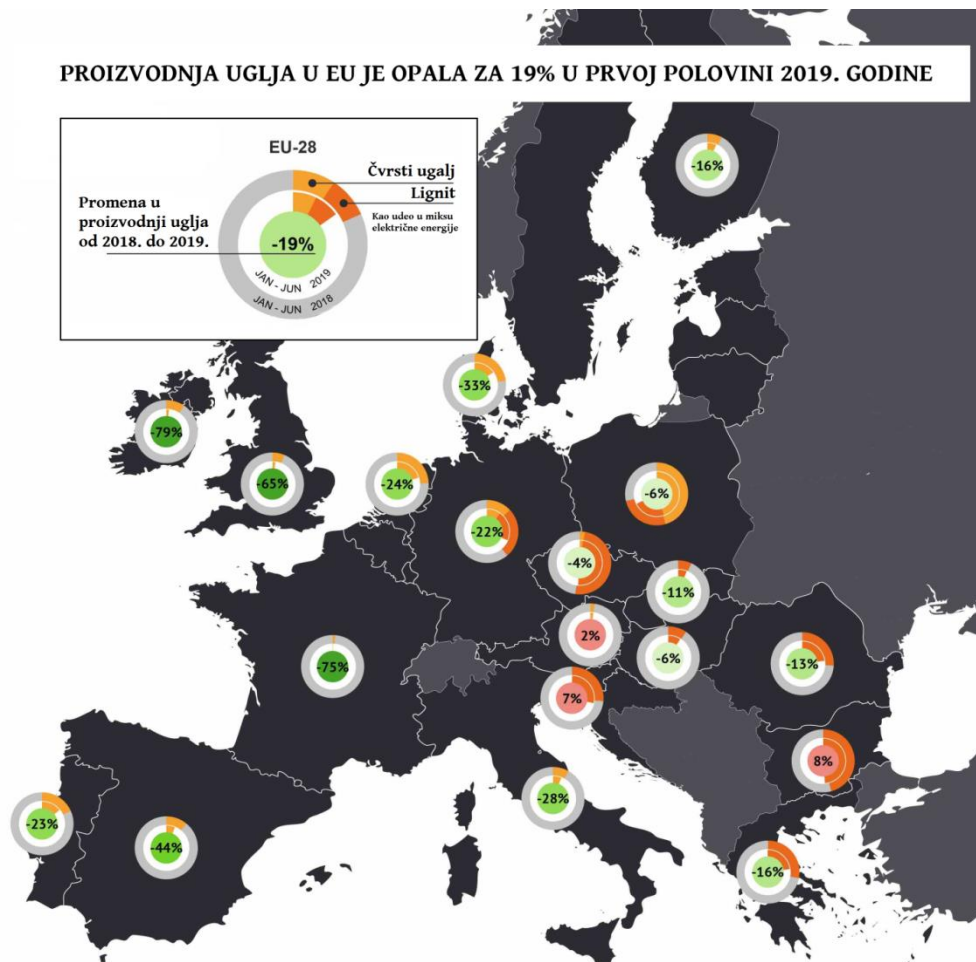
¹⁸ OCED – eng. *Organisation for Economic Cooperation and Development*.

Prema izveštaju Evropske komisije o svetskoj energiji (eng. *World Energy Outlook*) iz 2017. godine predviđa se da će globalna potražnja za energijom da opadne za 30% do 2040 godine. Čiste tehnologije će do iste godine doživeti značajan uspon od kojih solarna energija postaje najjeftinija. Iako će se značajno povećati broj električnih vozila, potražnja za naftom će u bliskoj budućnosti i dalje da raste zbog petrohemijske industrije, kao i vodenog i vazdušnog saobraćaja. Istu stvar govori i izveštaj Evropske komisije iz 2018, gde se navodi da će petrohemijska industrija biti najveća vodilja potražnje nafte u narednim godinama (ili decenijama). Trećina potražnje nafte će dolaziti od ove industrije do 2030, a čak polovina do 2050.

Isti izveštaj iz sledeće 2018. godine osvrće se više na vrstu energije koja će se koristiti, i predviđa da će se ugalj maksimalno izbaciti iz upotrebe, sa manje od 5% udela u UPPE-u. Nuklearna energija će opasti za oko 30%, dok će prirodni gas biti jedan od glavnih tranzicionih goriva ka održivom razvoju. Od obnovljivih izvora energije energija vetra će imati primat, dok će solarna energija da raste, ali sa mnogo manjim trendom.

Najnoviji podaci govore o značajnom smanjenju korišćenja uglja u Evropi u prvoj polovini 2019. godine, za čak 19%. Smanjenje se desilo u gotovo svakoj državi EU28, izuzimajući Hrvatsku, Sloveniju i Bugarsku gde je zabeležen blagi rast. Prema izveštaju *Sandbag-a*¹⁹ [14], otprilike polovina energije dobijene iz uglja zamenjena je energijom sunca i vetra, a polovina energijom iz prirodnog gasa. Od početka 2018. godine proizvodnja energije iz uglja opala je za čak 30%. Slika 2.4 prikazuje smanjenje po državama. Prednjači Irska sa 79% smanjenjem, a prate je i Francuska sa 75% i Velika Britanija sa 65%. Zanimljiv je podatak da je Velika Britanija u maju 2019. godine imala period od dve nedelje kada je u potpunosti isključila termoelektrane na ugalj što pokazuje da postoji potencijal u obnovljivim izvorima energije i da prestanak eksploatacije uglja nije neizvodljiv. Nemačka je zabeležila najveći pad po apsolutnim vrednostima, jer se ona najviše oslanja na energiju iz uglja (čak 35% od ukupne energije iz uglja u EU pripada Nemačkoj).

¹⁹ Početkom svake godine, od 2015. *Sandbag* prikazuje izveštaj o Evropskoj energetskej tranziciji. Povodom prevelikog smanjenja korišćenja uglja u 2019. *Sandbag* je odlučio da napravi poseban mini izveštaj.



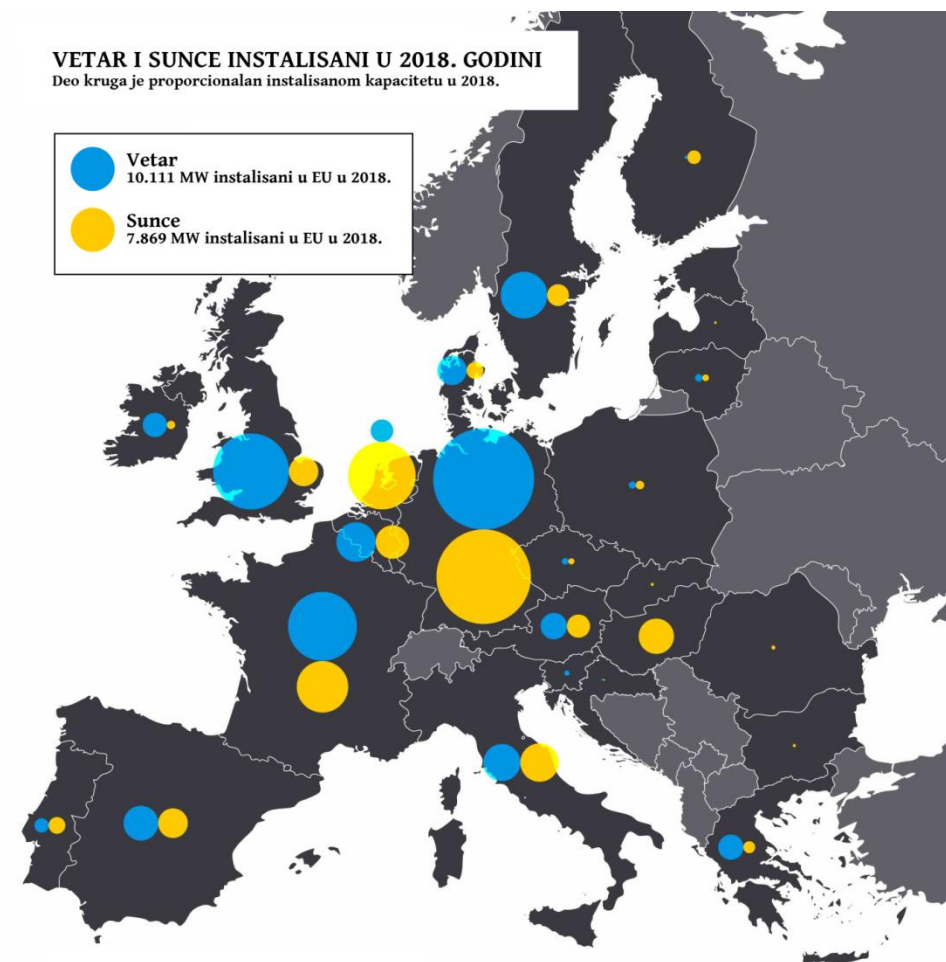
Slika 2.4 – Smanjenje korišćenja uglja u EU28 u 2019. u odnosu na 2018.²⁰

Na pad potrošnje uglja utiču tri stvari:

1. Snaga vetra i sunce dobijaju sve veću prednost
2. Prirodni gas počinje više da se koristi pošto cene ugljenika počinju da deluju
3. Zatvaraju se termoelektrane koje rade na ugljalj

Proizvodnja energije iz uglja u prvoj polovini 2019. godine opala je za oko 50TWh, od čega je 32TWh zamenjeno snagom vetra i sunčevom energijom, dok je još oko 30TWh sa prirodnim gasom. Razlika od oko 10TWh odnosi se na povećanje proizvodnje električne energije. Najveću ulogu u ovom povećanju ima energija vetra koja daje četiri petine ukupnog povećanja, dok je potencijal solarne energije još uvek minimalno iskorišćen i povećanje u solarnim instalacijama iznosi samo jednu četvrtinu ukupnog povećanja. Slika 2.5 prikazuje povećanje instalisane snage obnovljivih izvora energije iz 2018. godine.

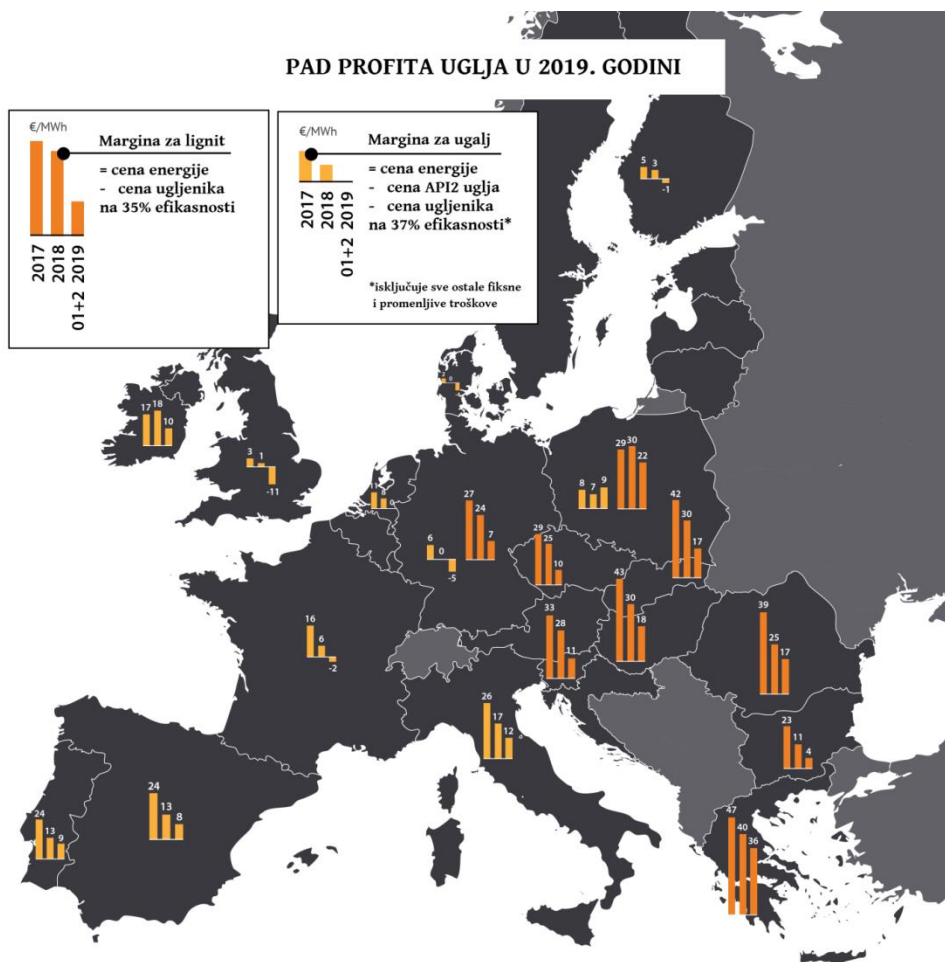
²⁰ Izvor: Sandberg. "The Great Coal Collapse," <https://sandbag.org.uk/project/coal-collapse/>. [Pristupljeno: 01.10.2019].



Slika 2.5 – Instalisani kapaciteti energije vetra (plavo) i sunca (žuto). Veličina kruga označava količinu instalacione snage.²¹

Tokom prethodnih godina cena prirodnog gasa je bila visoka, a cena ugljenika još uvek niska. To je omogućilo veću isplativost korišćenja uglja kao resursa za proizvodnju električne energije. Međutim, krajem 2018. godine, cena prirodnog gasa je značajno opala, dok je cena ugljenika porasla, te su se privrede okrenule ka energiji prirodnog gasa. Slika 2.6 prikazuje promenu razlike između cene uglja i cene ugljenika (razlika praktično predstavlja prihod). Od 2017. vidi se značajan pad prihoda, te je promena privrede koja je sada usmerena na druge izvore energije (u ovom slučaju prirodni gas) prilično razumljiva i očekivana.

²¹ Izvor: Sandberg. "The Great Coal Collapse," <https://sandbag.org.uk/project/coal-collapse/>. [Pristupljeno: 01.10.2019].



Slika 2.6 – Cena uglja u poslednje tri godine.

Sa druge strane, postoji tehnologija skladištenja ugljenika (CCS²²) (o kojoj će biti reči u daljem tekstu), koja bi omogućila da se trenutno zaustavi emisija GHG proizvedena u fabrikama i termoelektranama koja rade na naftu ili uglj. Skladištenje ugljenika predstavlja tehnologiju kojom se do čak 90% ugljenika iz fabrika za proizvodnju električne energije i industrije hvata i vraća u zemlju, što ima vrlo važnu ulogu u dostizanju ciljeva smanjenja CO₂ [15]. Prema [8] CCS će morati da bude primenjen na sva fosilna goriva do 2030. godine, kao i u velikim industrijama. Trenutno je budućnost CCS-a neizvesna, nije investicija u koju preduzrća žele da ulažu, te država mora da reaguje na adekvatan način, delimično finansijski i investicijama, delimično putem marketinga. Potrebno je da države ulože u ovu tehnologiju kako bi ona do 2020. godine mogla da krene široko da se koristi i da bi dala željene rezultate u predviđenom periodu. Međutim, takođe postoji i veliki lobi koji je protiv ove tehnologije i smatra bi ova tehnologija čak proizvela više štete nego koristi.

Proteklih godina uložena su ogromna sredstva u istraživanja, ali praktična primena nije zaživela. Tehnologija je reklamirana kao jedna sa najviše potencijala za ogromno smanjenje emisija, međutim, obnovljivi izvori energije su postali jeftiniji te su ovi projekti doživeli neuspeh. Prema rečima *Artur-a Runge-Metzger-a*, direktora Direkcije za klimatske akcije Evropske komisije, prilikom događaja EURACTIV [16] (jul 2019.), EU je znala da će biti potrebni podsticaji u vidu subvencija da bi ova tehnologija zaživela, a trenutno se pravi teren za to [17]. Najnoviji dugoročni plan, koji je predstavljen neposredno uoči godišnjeg skupa UN-a o klimi u novembru 2018. godine, podrazumeva CCS kao jednu od sedam fundamentalnih tehnologija koje će dovesti EU do nulte emisije CO₂. Iako obnovljivi izvori

²² Eng. *Carbon Capture and Storage*.

energije (OIE) postaju sve jeftiniji, CCS će imati veliku ulogu u skladištenju energije dobijene iz fosilnih goriva koja će biti potrebna u slučajevima kada OIE nema dovoljan kapacitet kako bi se odžala sigurnost u snabdevanju energije [18]. Ovo najviše važi za industrije cementa, čelika i petrohemijsku industriju [17].

2.1.2.3 Transport

Jedan od načina smanjenja CO₂ u atmosferi jeste prelazak na potrošnju električne energije, pre svega, u transportu i u domaćinstvima. Prelazak na električnu energiju smanjiće umnogome količinu emitovanog CO₂ u atmosferi, jer će se značajno smanjiti broj potrošača fosilnih goriva, što će za posledicu dati čistije gradove i uslove za zdraviji život. Ipak, oblast transporta je jedna od najtežih kada je reč o smanjenju emisija CO₂ imajući u vidu da velika preduzeća još uvek ne vide ekonomsku isplativost izbacivanja motora s unutrašnjim sagorevanjem. Ono što je neminovno jeste da će se pre ili kasnije preći na električni transport, pre svega laki transport (težina manja od 3.500 kg), dok će za teški transport (težina veća od 3.500 kg) tek morati da se pronađu rešenja. Trenutno, EU nema rešenje na koji način da dođe do ovih ciljeva. Ipak, postavljeni su određeni ciljevi koji će usmeriti razvoj transporta u željenom smeru:

- prepoloviti broj automobila koja koriste standardna goriva u gradskom transportu do 2030, a u potpunosti da se izbace iz gradova do 2050. Potrebno je postići praktično 0% emisija CO₂ za gradski prevoz u velikim centrima do 2030.
- da se do 2050. godine koristi 40% niskougljeničnih goriva u avijaciji i pomorskom transportu
- 30% drumskog saobraćaja koji prelazi razdaljine od 300 km i više treba da pređe na železnicu ili vodeni saobraćaj do 2030. godine, a 50% do 2050. Da bi se to ostvarilo neophodno je razviti i novu infrastrukturu
- potrebno je da se završi EU železnička mreža visoke brzine (eng. *high-speed railway network*) do 2050. Da se utrostruči dužina trenutne železnice velike brzine (eng. *high-speed railway*) do 2030. godine. Da sve države i gradovi budu veoma dobro i gusto povezani.
- do 2030. godine razviti transportnu mrežu Evrope (eng. *Trans European Transport Network - TEN-T*)
- povezati sve ključne aerodrome i luke sa mrežom železnice (po mogućstvu *high-speed* železnice), kao i sa vodenim saobraćajem unutar kontinenta do 2050.
- razviti modernizovane infrastrukture za upravljanje vazdušnim, kopnenim i vodenim saobraćajem do 2020. godine, kao i razvoj evropskog sistema za navigaciju „Galileo“.
- do 2020. godine uspostaviti jedinstveni sistem za naplatu, upravljanje i prenos informacija u EU.
- do 2050. godine dostići cilj od skoro nijedne žrtve u saobraćajnim nesrećama

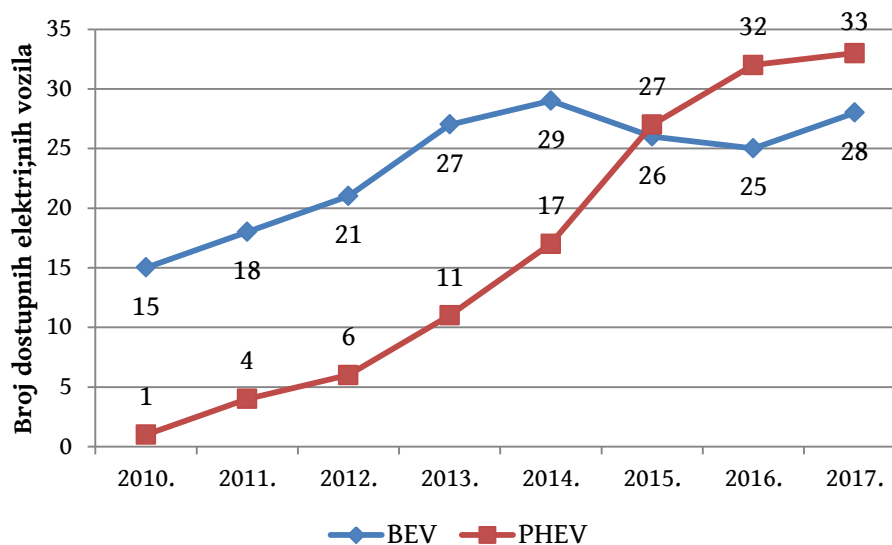
EU predviđa pooštavanje zakona za nova sopstvena vozila koji podrazumeva da se prosečan nivo emisija ograniči na 120gCO₂/km do 2020. godine. Težim automobilima je dopušteno da imaju veću količinu emisija, dok lakši manju, tako da prosek ostane u propisanim granicama (eng. *limit value curve*) što znači da granična vrednost neće biti ista u svim slučajevima, nego postoji kriva koja je opisuje. Za prekoračenje zadate granice emisija predviđene su visoke novčane kazne i penali. Cilj je da do 2020. godine granica bude 95gCO₂/km. Prvi korak ka tome jeste uvođenje standarda u kvalitetu goriva, pa je 2009. godine doneta direktiva kojom su promenjene specifikacije goriva i smanjena granica količine GHG, koja je dozvoljena da se emituje prilikom njihovog sagorevanja. Osim benzina i dizela, uspostavljen je i kriterijum održivosti biogoriva.

Kao što je kooperacija država bitna za dostizanje ciljeva, tako se i u auto industriji

proizvođači ohrabruju da se udruže kako bi zajedno radili na novim tehnologijama i što pre došli do zajedničkih ciljeva. Osim zakona koji predviđaju dozvoljene granice emisije CO₂ i nove performanse automobila, EU je uvela i zakon o kontroli emisija, što je neizostavna stavka u procesu smanjenja emisija GHG i smanjenja tehnologije, kao i svesti ljudi.

Osim ograničavajućih zakona, u Evropi se sve više donose mere kojima se ohrabruje električna mobilnost. Ohrabruje se korišćenje obnovljivih izvora energije kao i pametnog punjenja²³, razvoj i standardizacija infrastrukture punjenja vozila, kao i veliko ulaganje u istraživanja usmerena ka tehnologijama baterija (akumulatora). One trenutno predstavljaju najveće ograničenje električnih vozila, što sa stanovišta kapaciteta, što sa stanovišta uticaja njihovog razvoja na životnu sredinu ali i iskorišćenja nakon isteka roka upotrebe. Takođe, besplatno parkiranje za električna vozila i smanjenje taksi su samo još neke od mera koje pojedine države uvode kako bi promovisali njihovo korišćenje.

Velika preduzeća se sve više usmeravaju na proizvodnju električnih vozila. Električni automobili, skuteri, trotineti i bicikli su sve zastupljeniji na sajmovima što se može videti na slici 2.7 koja prikazuje broj dostupnih modela električnih vozila na evropskom tržištu u poslednjih nekoliko godina [19]. Slika 2.8 prikazuje broj električnih automobila u opticaju po godinama, od 2013. do 2017. gde se vidi značajan rast. U 2017. godini je prodato više od milion električnih vozila, dok je ukupno te godine bilo oko 3,1 miliona automobila u celom svetu, što je za oko 50% više nego u prethodnoj godini. Norveška je lider u broju prodatih električnih automobila, a 2017. godine je imala čak 39% od ukupnih novih prodatih [20].

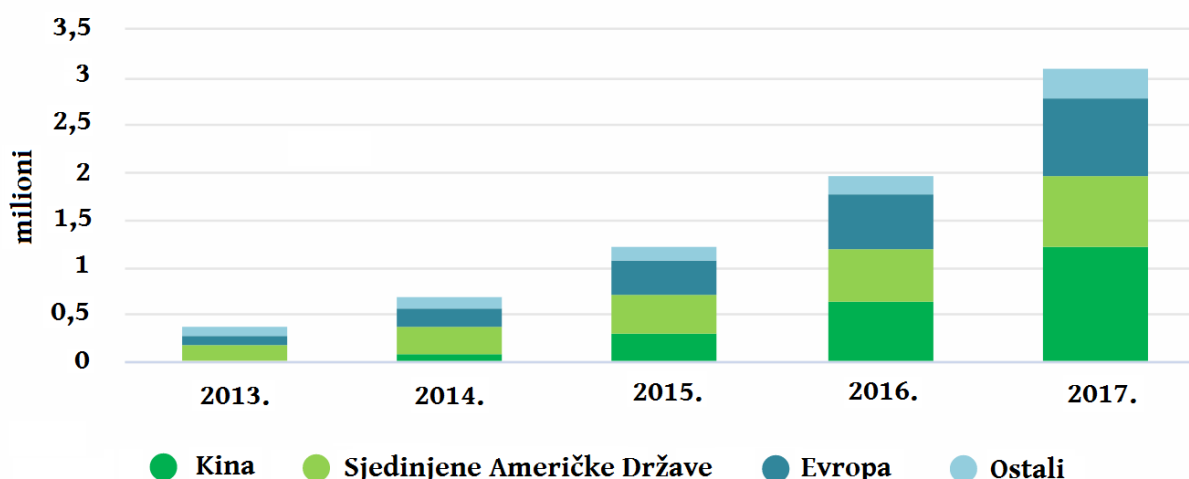


Slika 2.7 – Broj modela električnih vozila, električnih (eng. *battery electric vehicle* – BEV) i hibridnih (plug-in hybrid electric vehicles – PHEV), od 2010. do 2017.²⁴

²³ Pametno punjenje, eng. *smart charging*, odnosi se na način punjenja baterija električnih vozila tako da se na inteligentniji način upravlja vremenom i brzinom punjenja.

²⁴ Izvor: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/637895/EPRS_BRI\(2019\)637895_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/637895/EPRS_BRI(2019)637895_EN.pdf), EPRS | European Parliamentary, Research Service, Author: Maria Niestadt with Amalie Bjørnåvold, Members' Research, Service, PE 637.895 – April 2019, Electric road vehicles in the European Union Trends, impacts and policies.

Broj električnih automobila u opticaju



© OECD/IEA

Slika 2.8 – Broj električnih automobila od 2013. do 2017.²⁵

Sa druge strane, postoje kritike na račun električnih automobila i tehnologije baterija koje govore da je njihova proizvodnja štetnija po okolinu od standardnih (dizel) vozila. Primer je istraživanje nemačkog *München IFO* instituta [21] koje je obišlo svet, u kojem je rečeno da imajući u vidu Nemačku i njen trenutni energetska miksa, kao i potrebnu energiju da se naprave baterije za električna vozila, emisija CO₂ električnih automobila je u najboljem slučaju malo iznad emisije CO₂ koju prave standardna vozila, dok je uglavnom mnogo veća. Nakon objave istraživanja reagovala su preduzeća i drugi istraživački centri koji su izneli činjenice da je istraživanje sprovedeno površno, da postoji mnogo nedostataka, kao i da nije sagledana čitava slika. Treba imati u vidu da Nemačka trenutno koristi najviše uglja za proizvodnju električne energije od svih država članica EU, ali takođe pokazuje i najveći napredak u smanjenju upotrebe fosilnih goriva. To znači da, iako u trenutku obavljanja istraživanja električna vozila koja se proizvode u Nemačkoj možda i imaju veći emisioni intenzitet od standardnih (dizel) automobila (iako, postoje studije koje pokazuju da čak i ako se koristi 100% energije od uglja, električna vozila su i dalje čistija od dizel motora), neosnovano je i površno izvoditi ovakav zaključak za čitavu tehnologiju. Razvojem tehnologije kao i velikom posvećenošću Nemačke da promeni svoj energetska miksa u korist čistih energenata ovo će ubrzo (do 2030. Nemačka planira da dve trećine proizvodnje električne energije dolazi iz obnovljivih izvora energije) da postane istorija [22]. Ista ova tehnologija proizvodnje baterija bi u, na primer, Norveškoj (kod koje nafta i uglj u imaju minimalan udeo u energetska miksu) pokazala sasvim drugačije rezultate (u korist električnih vozila). Ogromnim ulaganjem u istraživanja o obnovljivim izvorima energije, kao i proizvodnji električnih automobila očekuje se da tehnologija napreduje i da se sve više smanji negativan uticaj na životnu sredinu. Takođe, čak i da zagađenje ostane isto kod standardnih i kod električnih automobila, treba uzeti u obzir da će električnim automobilima gradovi biti čistiji (a zagađenje tj. industrija i proces proizvodnje će biti izmešten izvan teritorije gde ljudi žive), da njihovo korišćenje znači i manje buke, što sa stanovišta kvaliteta života daje veliku prednost električnim automobilima.

2.1.2.4 Porez

Prema najnovijem izveštaju iz 2019. godine, [23], politika EU prema taksama se nije promenila još od 2003. Njome se ključni ciljevi kao što su diversifikacija energetska izvora i preduzeća koje snabdevaju električnom energijom, poboljšanje energetska efikasnostii

²⁵ Izvor: Global EV Outlook 2018, <https://www.iea.org/gevo2018/>.

potrošnje električne energije, teško mogu ostvariti. To je posledica zastarelog poreskog sistema koji se zasniva na oporezivanju *količine* potrošene energije, umesto *kvaliteta* energije, tj. sadržaja.

Evropska komisija je 2011. godine predložila dodatak direktivi iz 2003. da se restruktuiraju poreski sistem za energiju i da se uvede komponenta ugljen-dioksida. Ona bi se primenila na sektore koji nisu uključeni u trgovanje emisijama (ETS), čime bi se izjednačile mere u vezi sa porezom u čitavoj ekonomiji. Prema predlogu, minimalne stope poreza su podeljene u dve komponente, koje zajedno čine stopu kojom će proizvod biti oporezovan:

1. prva komponenta je bazirana na emisiji CO₂ energetskog proizvoda i biće fiksna, 20€ po toni CO₂
2. druga komponenta je bazirana na energetsom sadržaju, tj. količini stvarne energije koju proizvod generiše, mereno u gigadžulima (GJ). Minimalna stopa je fiksirana na 9,6€/GJ za motorna goriva i 0,15€/GJ za goriva za grejanje. To važi za sva goriva koja se koriste u transportu i za grejanje.

EU je uzela u obzir i socijalni aspekt, pa u zavisnosti od razvijenosti države i socijalnog statusa građana postoji mogućnost da država ukine porez za grejanje domaćinstava, nezavisno od energetskog proizvoda koji se koristi.

Nažalost, ova mera nije imala podršku svih država članica, te je Evropska komisija odlučila da 2015. povuče ovaj predlog. Kao posledica, poreski sistem iz 2003 je ostao nepromenjen. Takse imaju veoma bitnu ulogu u energetske tranziciji ka smanjenju emisija CO₂, pa je ova oblast jedna od bitnijih koje treba rešiti u najskorijoj budućnosti.

2.1.2.5 Energetska infrastruktura

Preduslov za ovakav veliki cilj predstavlja postojanje moderne i dobro povezane infrastrukture. *Jeremy Rifkin* je u svom izlaganju [3] u kojem govori o načinu na koji svi ljudi mogu da utiču na klimu, veliki akcenat stavio na sistem za energiju (koji naziva eng. *energy internet*) i energetske infrastrukture koja mora da obezbedi povezanost svih potrošača, uređaja, automobila, itd. Po njemu svi izvori energije, kao i svi potrošači, moraju da budu povezani u jedinstvenu mrežu preko koje će međusobno da se „pomažu” i u čijem održavanju će da učestvuju. Drugim rečima svi će biti i izvor energije i potrošač. Razvojem nove energetske infrastrukture u Evropi obezbediće se podsticaj za razvoj obnovljivih izvora energije, jer će svaki novi sistem moći vrlo lako da se priključi na mrežu i da joj doprinese.

Iako je veoma rano za ovakvu vrstu reforme i promene infrastrukture, definisani prioriteta kao što su povećanje učešća OIE kroz male izvore, tj. polako formiranje distribuirane proizvodnje energije, usaglašavanje regulativa distributivne mreže, usaglašavanje mehanizma sigurnosti snabdevanja električnom energijom, prvi su koraci ka ostvarenju krajnje ideje.

Prema izveštaju Evropske komisije, procenjeno je da će u ovoj deceniji biti potrebno 30% više ulaganja u električne mreže i gasovode u odnosu na prošlu deceniju da bi se dostigli ciljevi do 2020. Jedno od pitanja koje se postavlja jeste da li se uopšte isplati mnogo ulagati u prirodni gas, tj. da li je to ulaganje usaglašeno sa ciljevima EU do 2050. godine? Evropska komisija je prepoznala prirodni gas kao ključni energent za tranzicioni period (takođe se često naziva i energent 21. veka), nakon čega je njegova uloga nejasna [24]. Kao što se navodi u ERM2050, zamena uglja i nafte prirodnim gasom za kratki i srednji rok pomoglo bi smanjenju emisija CO₂ sa trenutnim tehnologijama do najranije 2030. ili 2035. godine [8]. *Simon Blakey*, viši stručni saradnik u globalnom analitičkom preduzeću *HIS Markit* i bivši

savetnik Eurogas-a, kaže da zamena uglja za prirodni gas daje trenutna smanjenja CO₂ u većoj meri, kao i da kapacitet za prirodni gas već postoji u gasnim turbinama zasnovanim na kombinovanom ciklusu koje su napravljene pre nekoliko godina, ali nisu nikad korišćene. Takođe, on navodi da najveći udeo u dosadašnjem smanjenju emisija GHG u energetskom sektoru ima upravo zamena uglja za prirodni gas.

U oktobru 2011. godine Evropska komisija je predložila da od 2014. godine EU počne da kofinansira izgradnju velike energetske infrastrukture iz regularnog budžeta, dok je do tada finansirala samo studije izvodljivosti energetske projekata. Velika investiranja su predviđena za konstrukciju gasovoda i elektroenergetske mreže u ovoj deceniji (Južni tok, Severni tok). Ulaže se u sisteme za prenos električne energije, skladištenje, uređaje koji koriste pametnu mrežu, kao i u infrastrukturu sa mogućnošću toka prirodnog gasa u oba smera. U poređenju sa periodom 2000-2010. to znači 100% više ulaganja u električnu energiju i 30% više ulaganja u prirodni gas. Finansiranje se ne obavlja samo putem stipendija, nego postoje dodatni instrumenti za finansiranje kao što su podela rizika²⁶, pozajmice (garancije) i investicioni fondovi, a sve radi lakšeg dolaženja do finansija kako bi velika, ali i mala preduzeća mogla da razviju svoje ideje. Osim ulaganja u samu infrastrukturu, EU takođe kofinansira istraživanja, projekte i studije u ovoj oblasti pod nazivom „*Connecting Europe Facility*“. Trenutna praksa u mnogim državama EU jeste da se uključe i građani u proces prikupljanja dozvola, kako bi se brige ljudi uzele u obzir prilikom planiranja projekta. Najveći problem koji se javlja jeste administrativne prirode, tj. dozvole koje treba dobiti, a za koje se čeka čak i do 10 godina.

2.1.2.6 Istraživanje i razvoj

Istraživanja su od ključnog značaja u Evropskoj uniji što se može videti iz budžeta koji se odvaja u tu svrhu. Program *Horizon 2020* (koji traje od 2014 do 2020. godine), kao i program koji mu je prethodio, *7th Framework Program* (poznatiji kao FP7), obezbeđujući potrebna sredstva i resurse, podstiču razvoj tehnologija koji će omogućiti da EU postane niskougljenična privreda do 2050. godine. Da bi se došlo do željenih ciljeva, neophodno je proveriti da li su ovi napori i sredstva koje EU ulaže dovoljni, da li su prioriteti dobro definisani i da li projekti finansirani na taj način mogu teorijski (ali još bitnije i praktično) da daju rezultate u očekivanom roku.

FP7 je imao četiri grupe projekata koje finansira: 1) saradnje, 2) ideja, 3) ljudi i 4) kapaciteta. Ove oblasti su podsticale saradnju između institucija u smislu upoznavanja ljudi, zajedničkog rešavanja problema, postavljanja zajedničkih ideja za realizaciju trenutnih i dolazećih problema, razvoj novih tehnologija i kapaciteta. EU trenutno finansira istraživanja preko programa *Horizon 2020* kojem je mnogo veći prioritet dat razvoju i demonstraciji energetske tehnologije.

Evropski strateški tehnološki plan (eng. *European Strategic Technology Plan*) je osnova energetske i klimatske politike EU. Usvojen je još 2008. godine i ima za cilj da ubrza razvoj znanja, održi EU kao glavnog lidera za *niskougljenične* tehnologije, podstiče nauku za razvoj tehnologije pretvaranja energije iz drugih izvora, i globalno doprinosi tranziciji ka *niskougljeničnoj* privredi do 2050. godine. To je obezbeđeno povezivanjem svih trenutnih resursa na pametniji način, kroz zajedničko planiranje.

²⁶ Podrazumeva da više investitora uloži novac u projekat, pa se rizik za gubitak (a i profit) deli među njima.

2.2 Energetska efikasnost

Direktiva EU o energetskej efikasnosti iz 2012. godine propisuje mere kojima će se obezbediti smanjenje potrošnje energije za 20% do 2020. godine. Ona podrazumeva da svi proizvođači energije smanje prodaju (uštete) za 1,5% svake godine. To se postiže ili povećanjem energetske efikasnosti zgrada i uređaja na strani potrošača ili nekim drugim mehanizmima. Jedan od preduslova za postizanje ove efikasnosti kod potrošača jeste da svaki potrošač (domaćinstvo) ima uvid u svoju potrošnju električne energije, prirodnog gasa, grejanja, hlađenja i tople vode, što su se države članice i obavezale da će ispuniti. Time bi stanovništvo postalo svesno svoje potrošnje, pa bi i više razmišljalo o smanjenju troškova, pogotovo ako se uvede i dimenzija poređenja sa drugim domaćinstvima (postiže se psihološki efekat). Takođe, počevši od januara 2014. godine, 3% zgrada svake godine mora biti renovirano u nameri da se smanji potrošnja energije, a javni sektor ima zakonsku obavezu da pri kupovini i izgradnji zgrada, svih proizvoda i usluga uvek bira one koji su energetske efikasni.

Do januara 2014. godine svaka država trebala je da uspostavi plan za državno grejanje i hlađenje, čime se stvara podloga za potencijalno uvođenje korišćenja visokoefikasnog sistema za upravljanje električnom energijom, grejanjem i hlađenjem. Međutim, problem koji se javlja kod korišćenja energetske efikasne proizvoda i tehnologija u privatnom sektoru jeste što ulaganje u energetske efikasne još uvek nije dovoljno isplativo. Često je potrebno mnogo više vremena da se investicija vrati, nego što investitori mogu sebi da priušte. Rešenje se trebalo postići sistemom za trgovinu emisijama. Iako je cena po toni energije bila veoma niska sve do 2017. godine (između 5 i 10 evro/tona CO₂e²⁷), u poslednjih dve godine je doživela nagli rast i trenutno iznosi oko 26 evro/tona [25], pa samim tim nagoveštava da bi ETS mogao da bude jedan od glavnih stimulansa za postizanje energetske uštede.

Obnovljivi izvori energije su vrlo važan deo dokumenta Paket energije i klime (eng. *Energy and Climate Package*), a direktive koje podstiču razvoj OIE su usvojene 2009. godine. Svaka država članica treba da doprinese razvoju OIE koliko god može, a EU daje osnovne smernice kako bi odredila put kojim države članice treba da idu. Nije realno da svaka država ima isti cilj jer je udeo OIE u nekim državama već i preko 20%, a u nekim manji od 10%, pa se zato svakoj državi članici ostavlja da definiše svoje ciljeve u zavisnosti od trenutnog udela OIE u finalnoj potrošnji. Ukoliko bi se postavio isti cilj, na primer, 20% to bi značilo da neke države uopšte ne moraju da poboljšavaju svoju politiku (što nije dobro, svaka država treba da dâ svoj maksimum kako bi EU funkcionisala kao celina), dok bi druge države morale da ulože mnogo finansija u taj sektor, a možda nisu u mogućnosti. Na kraju, globalni cilj EU jeste da kao celina ima min 20% OIE u finalnoj potrošnji energije. Osim samog udela OIE u finalnoj potrošnji EU je kao cilj postavila i minimum 10% udela OIE u transportu.

Godine 2004. ukupan udeo energije iz obnovljivih izvora u finalnoj potrošnji energije za čitavu EU bio je 8,5%, dok je u 2015. godini povećan gotovo za 100% i iznosio 16,7% [26], što nagoveštava da će ciljevi biti ispunjeni. U oktobru 2014. godine Evropski savet je dogovorio ciljeve za period između 2020-2030. godine dokumentom „2030 framework for climate and

²⁷ CO₂ ekvivalent (CO₂e) predstavlja količinu emisija određenog gasa s efektom staklene bašte predstavljenu preko količine emisija CO₂. Drugim rečima, poznat je potencijal globalnog zagrevanja svakog gasa (eng. *global warming potential* - faktor koji predstavlja delovanje jedne masene jedinice datog gasa u odnosu na ekvivalentnu jedinicu ugljen-dioksida u određenom vremenskom intervalu) posebno, pa samim tim može jednostavnom formulom biti pretvoren i izražen kroz CO₂. CO₂, kao gas sa najvećim udelom u gasovima s efektom staklene bašte, može se koristiti kao predstavnik pa se samim tim uticaj drugih gasova najčešće izražava urpavo preko njega.

energy“ [27], kojim se EU obavezuje da do 2030. godine poveća udeo obnovljivih izvora energije u finalnoj potrošnji energije na minimum 27% u odnosu na 1990. godinu.

Međutim, još uvek ne postoje konkretni dugoročni planovi za period posle 2020. godine, što onemogućava investitore da ulažu novac, jer je rizik ulaganja veliki (ne postoji nikakva garancija da će EU koristiti konkretnu tehnologiju u budućnosti). Iako se u dokumentu Energetska mapa puta spominje da je neophodno uključiti dugoročne ulagače, ne spominju se detalji planova za privlačenje takvih investitora, pa je stoga, potreban novi model koji će privući iste. Očigledno je da ni EU još uvek nije složna po tom pitanju, pa se postavlja i pitanje efikasnosti trenutne politike. Jedno od mogućih rešenja bilo bi podsticanje i ulaganje u fid-in²⁸ tarife. Takođe, svaka država mora da napravi dobru energetska infrastrukturu, da garantuje poreklo električne energije, grejanja i hlađenja koje se dobilo iz obnovljivih izvora energije, a onda obezbedi i garancije za prenos i distribuciju ove vrste energije. OIE treba da postanu prioritetna energija u svakoj državi.

Iako su ciljevi neophodni, oni sami po sebi nisu dovoljni. Potreban je plan akcija koje će dovesti do tih ciljeva. Jedan od načina jeste da se više članica udruži u zajedničke projekte, da se uključe i države koje nisu članice EU, kao i da se obavlja razmena OIE između država kako bi se što brže i lakše došlo do realizovanja postavljenih ciljeva.

Kao što se može primetiti, EU promovise jedinstvo i zajedništvo, jer se to pokazalo kao najekonomičnije i najefikasnije, izuzimajući činjenicu da je svaka država nezavisna sama po sebi. Na kraju je bitan rezultat EU kao zajednice, pa je u interesu svih da se radi zajedno i obezbedi dobra infrastruktura koju će svi koristiti. *Jeremy Rifkin*, jedan od najvećih imena u oblasti energetske efikasnosti kaže da je deljenje energije budućnost i da sve države i energetske sistemi moraju da budu usaglašeni i da se ujedine u jednu celinu kako bi se energija mogla iskoristiti na najefikasniji način [3].

2.3 Veštačke neuronske mreže

Vestačka inteligencija, sa naglaskom na VNM, zbog svoje strukture i univerzalnosti su postale veoma popularne u stvarnim problemima. Mnoga istraživanja su pokazala dobre rezultate, pa je postala često korišćena metoda za predikciju. Od ključne je važnosti imati informacije i evaluirati trenutnu politiku kako bi se ona mogla poboljšati. Veliki broj istraživanja prikazuje indikatore koji direktno ili indirektno pokazuju značajan uticaj na energetske sektor (kao što su broj stanovnika, bruto domaći proizvod (BDP), struktura privrede, globalna prosečna temperatura vazduha, itd.)

U istraživanju [28] koriste se VNM za energetske-ekološko planiranje transportnog sektora. Na osnovu dva indikatora, broja stanovnika i BDP-a, predviđa se potrošnja goriva u budućnosti, a samim tim i određuje u kojem smeru je potrebno korigovati energetske politiku i strategiju radi smanjenja potrošnje goriva. U istraživanju [29] obavlja se predviđanje potražnje energije, energije generisane vetrom i emisija CO₂, koji su značajni za energetske sektor sa stanovišta planiranja. U radu [30] analiziraju se razni scenariji u sektoru transporta kako bi se smanjila emisija CO₂ i potrošnja primarne energije. U radu [31] predstavljen je algoritam koji koristi VNM za predviđanje potrošnje električne energije u Iranu. Rad [32] prikazuje korišćenje VNM za predviđanje energetske zavisnosti Turske. Ovo je bitno jer se dobija informacija o tome koliko privreda zavisi od uvoza energije kako bi obezbedila svoje energetske potrebe. Rad [33] koristi VNM za modeliranje i optimizaciju energetske efikasnosti destilacionih kolona. U radu [34] koriste se VNM za predviđanje

²⁸ Predviđene podsticajne otkupne cene energije.

potrošnje energije u stambenim zgradama. U Japanu, [35] obavljena je predikcija pikova opterećenja električne energije korišćenjem VNM. U radu [36] predviđa se tarifa električne energije koja se koristi za unapređenje upravljanja energijom. U zavisnosti od tarife i potreba predstojećeg tročasovnog perioda analizirano je upravljanje sistemom grejanja. Rad [37] razmatra evaluaciju finansijske sigurnosti industrije za proizvodnju električne energije u Kini, korišćenjem unapređene VNM, i poređenjem sa modelom MPV i klasičnim sivim modelom za predikciju. Ovaj unapređeni model VNM dao je preciznije rezultate, bržu konvergenciju, i smanjena je verovatnoća ulaženja u lokalni optimum.

Većina radova koristi nerekurzivne neuronske mreže sa propagacijom signala unazad (eng. *Feedforward Back Propagation* – FFBP), jer ima široku primenu i može da reši većinu problema. U radu [38], u kojem je urađena predikcija solarnog zračenja za svaki sat, upoređene su četiri najčešće korišćene mreže, FFBP, kaskadna nerekurzivna neuronska mreža (eng. *Cascade Forward Backpropagation*, CFBP), neuronska mreža generalizovane regresije (eng. *Generalized Regression Neural Network* - GRNN) i Elmanova mreža sa propagacijom greške unazad (eng. *Elman Back Propagation* - EBP). Korišćena su tri parametra greške za evaluaciju. Zaključeno je da GRNN daje najbolje rezultate, ali takođe i da za konkretan problem, isti parametri i isti model mreže mogu da daju različita rešenja u različitim regionima. Stoga, veoma je bitno prilagoditi VNM specifičnom problemu.

U radu [39] korišćena je CFBP neuronska mreža za procenu koncentracije štetnih gasova u urbanim sredinama korišćenjem podataka oko meteoroloških stanica. CFBP mreža se pokazala veoma moćnim alatom za rešavanje ovog problema. U [40] VNM su korišćene za predikciju potrošnje energije u zgradama od drveta pomoću jedanaest karakterističnih parametara. Autori su koristili FFBP VNM koja je dala veoma dobre rezultate. Majeed Safa et. al. [41] su pokušali da predvide emisiju CO₂ tokom proizvodnje pšenice koristeći dva modela: 1) višeslojni perceptron²⁹ (eng. *multilayer perceptron*) i model višestruke linearne regresije (eng. *multiple linear regression*). Odlučili su se za višeslojni perceptron jer je najčešće korišćen i pokazano je da može da rešava veliki broj problema u vezi sa predikcijom. Rezultati su pokazali da je model VNM dao mnogo bolje rezultate nego model višestruke linearne regresije, što potvrđuje da VNM u ovom slučaju daju veliki doprinos. Rad [42] poredi CFBP i FFBP modele VNM u cilju predikcije ponašanja betona u prvih 28 dana nakon izlivanja. Rezultati pokazuju da je CFBP mreža imala bolje performanse, pogotovo sa stanovišta manje disipacije simuliranih vrednosti. Iako oblast istraživanja ovog rada nije slična ovom istraživanju, to predstavlja još jedan u nizu pokazatelja da VNM, a posebno CFBP, mogu da se primene u oblasti predikcije i da je smisleno istražiti korišćenje VNM i u drugim oblastima.

Iako je i model linearne regresije često korišćen za predikciju, a imajući u vidu da on ne daje zadovoljavajuće rezultate u rešavanju nelinearnih problema i da je kompletan energetski sistem Evropske unije po svojoj prirodi nelinearan, taj model nije analiziran u ovom radu. Na osnovu prikazane literature pretpostavljeno je da CFBP model može da da smislene i dobre rezultate (mala greška i dobra predikcija) u ovom istraživanju.

Iz prikazane literature se vidi da postoji mnogo primena VNM za predviđanje parametara u sektoru energetike, međutim nijedno istraživanje ne analizira kompletan energetski sistem, kao što je sistem Evropske unije. Neophodno je objediniti strategije za postizanje energetske efikasnosti, smanjenja korišćenja fosilnih goriva, kao i povećanja korišćenja obnovljivih izvora energije u jednu celinu i predvideti njihov uticaj na emisiju CO₂.

²⁹ Perceptron predstavlja najjednostavniju veštačku neuronsku mrežu. Biće objašnjeno u daljem tekstu.

2.3.1 Obnovljivi izvori energije

Ermis et. al. [28] analiziraju korišćenje zelene energije u svetu korišćenjem VNM. Takođe, naglašava značajnu ulogu obnovljivih izvora energije u budućoj politici država, radi stabilizacije klime. Sa druge strane, informacije o sunčevom zračenju i snazi vetra takođe imaju veliku ulogu u ekonomskoj i energetske strategiji država, jer pokazuju isplativost korišćenja solarnih panela i vetrogeneratora na određenim lokacijama.

2.3.2 Solarna energija

Prilikom planiranja postavljanja sistema za iskorišćenje solarne energije, kao što su solarni kolektori i fotonaponski moduli (FN) neophodno je uzeti u obzir količinu sunčevog zračenja na željenom području. Ukoliko postoji mogućnost postavljanja mernih instrumenata prilično je jednostavno izračunati ekonomsku isplativost i količinu energije koja će se potencijalno proizvesti. Da bi merenje zračenja imalo smisla neophodno je da budu ispunjeni sledeći uslovi:

- koristiti samo senzore visokog kvaliteta
- merenja treba da se obavljaju najmanje jednom svakih sat vremena
- senzori treba da se kalibrišu povremeno
- senzori treba da se čiste povremeno
- podaci treba da budu dostupni duži vremenski period, poželjno je bar 10 godina

Međutim, vrlo je mali broj stanica za merenje koje ispunjavaju sve ove uslove. Iz tog razloga sve više se koriste snimci sa geostacionarnih meteoroloških satelita u cilju estimacije sunčevog zračenja. Prednost ove metode jeste ta što zračenje može da se estimira za praktično bilo koji deo Zemlje (osim regija blizu polova i sami polovi, pošto to sateliti ne pokrivaju), međutim postoje i nedostaci. Pre svega, neophodno je procesuirati dobijene snimke vrlo zahtevnim matematičkim algoritmima koji uključuju još dodatnih parametara osim samih snimaka, kao što su vodena isparenja, aerosoli i ozon. Takođe, na snimcima slabo može da se razlikuje sneg od oblaka, kao i da se detektuju oluje prašine, što može drastično da smanji kvalitet i preciznost estimacije [43].

Kao alternativa, u regijama gde nije moguće postaviti/održavati opremu, ili postoji nedostatak informacija, dolaze do izražaja inteligentni sistemi. Jedna od primena sistema veštačke inteligencije jeste rešavanje ovakvog problema, tj. procene sunčevog zračenja u ovakvim područjima [44]

U radu [45] je korišćen model VNM za predviđanje sunčevog zračenja u zavisnosti od astronomskih i meteoklimatskih uslova. U redu [46] VNM se takođe koriste za estimaciju sunčevog zračenja. Rad [47] prikazuje procenu sunčevog zračenja na osnovu temperature, koristeći model linearne regresije. Rezultati pokazuju da postoji jasna linearna veza između temperature i sunčevog zračenja, i da čak 56% varijacije temperature može da se poveže direktno sa varijacijom sunčevog zračenja. Ovi rezultati potvrđuju, sa jedne strane, da zbog velike linearne zavisnosti linearni inteligentni sistemi mogu da daju relativno dobre rezultate prilikom predviđanja sunčevog zračenja, međutim postoji još dosta nepoznatih parametara (ostalih 44%) koji takođe imaju značajan udeo, pa je stoga opravdano pretpostaviti i testirati primenu modela VNM za ovu primenu. Literatura pokazuje da postoji mnogo istraživanja koja se bave VNM u oblasti sunčeve energije [44][48][49][50][51][52][53][54][55] i koja daju dobre rezultate.

Osim globalnog solarnog zračenja, koje je najbitnija stavka prilikom projektovanja solarnih elektrana, drugi najbitniji parametar za maksimalno iskorišćenje sunčeve energije jeste nagib solarnih ploča. Radovi [56][57][58][59][60] pokazuju da postoji nelinearnost

između nagiba panela i solarnog zračenja što podstiče primenu VNM za rešavanje i ovog problema. *Yadav* i *Chandel* su predstavili razne tehnike za pronalaženje optimalnog ugla u [61].

Osim procene zračenja, postoji još primena inteligentnih sistema u ovoj oblasti. VNM se koriste za sisteme za grejanje vode solarnim kolektorima kako bi procenili povećanje temperature vode kao i energije sistema koja se može ekstrahovati iz takvog sistema [62]. VNM kao i ostali inteligentni sistemi koriste se i za određivanje veličine FN sistema. Prema radu [63] prednost VNM u određivanju veličine FN je ta što daju dobru optimizaciju sistema u oblastima u kojima vremenski podaci nisu uvek dostupni. Rad [64] se bavi određivanjem optičke efikasnosti kolektora, iz kojeg se dobija ukupna efikasnost solarnih kolektora.

Efikasnost FN generatora zavisi od određenih uslova pod kojim rade kao što su sunčevo zračenje, spoljašnja temperatura i opterećenje. Da bi FN proizveo maksimalnu moguću energiju neophodno je da radi u određenoj radnoj tački, tj. tački u kojoj sistem ima maksimalnu snagu. VNM se može iskoristiti za predikciju ovih parametara u budućnosti, kako bi se sistem pripremio i prešao u određenu radnu tačku što pre i dao najbolje rezultate. Takođe, osim predviđanja, VNM se može iskoristiti (a često se i koristi) i za upravljanje ovakvog sistema [65].

2.3.3 Energija vetra

Implementacija sistema za korišćenje energije vetra, pre svega, zahteva analizu potencijala vetra na željenoj lokaciji kako bi se izračunala ekonomska isplativost. Za razliku od drugih izvora energije, potencijal vetra je prilično jednostavno izračunati. Bitni parametri za vetar su njegova brzina, pravac i broj dana u godini u kojima se on javlja.

Kako bi procena isplativosti bila potpuna neophodni su meteorološki podaci sa željene lokacije koji u mnogo slučajeva ne postoje, jer nije isplativo imati preveliki broj meteoroloških stanica. Tehnička dokumentacija za procenu zahteva podatke o brzini i pravcu vetra snimljenih u što kraćim intervalima (obično je dovoljan interval od 10 minuta), i što duži period (najkraći period je jedna godina, jer su tada obuhvaćena sva godišnja doba). Jasno je da što je duži vremenski period za koji postoje podaci to je i procena kvalitetnija, merodavnija, bolja. Problem koji se nameće u ovom slučaju jeste taj što ne postoje meteorološke stanice na mnogo lokacija, kao ni duži vremenski period prikupljanja podataka, i nije moguće napraviti dobru procenu brzine i pravca vetra na svim željenim lokacijama već samo u blizini lokacija gde postoje stanice. Kao rešenje moguća je procena neophodnih parametara različitim metodama za željene lokacije na osnovu obližnjih meteoroloških stanica. Osim procene parametara gde ih nije lako (ili nije moguće) prikupiti, vrlo bitna stvar postaje i predikcija istih radi što boljeg upravljanja vetrogeneratorima. Danas postoje matematički modeli koji se koriste u proceni i predviđanju, međutim pošto vetar ima veliku dozu nepredvidivosti u svom kretanju i amplitudi, prirodno je predložiti korišćenje inteligentnih sistema, pre svega, za predikciju.

Predikcija brzine vetra se koristi za tri vremenske skale: kratkoročnu, srednjeročnu i dugoročnu. Kratkoročna se odnosi na predikciju u narednih 10 sekundi do 10 minuta [66][67][68], srednjeročna na period od jednog do nekoliko sati, dok se dugoročna predikcija odnosi na jedan ili više dana. Svaka ima svoju primenu, pa se tako kratkoročna uglavnom koristi za upravljanje vetrogeneratorima, srednjeročna za planiranje doprinosa svake jedinice, dok se dugoročna primenjuje za planiranje održavanja sistema. Postoje različiti algoritmi koji se koriste u predikciji brzine vetra, a najčešći i najviše korišćeni su MPV i VNM. VNM se uglavnom koriste za kratkoročne ili dugoročne predikcije. [66], [69],[70].

Precizna i verodostojna predikcija brzine vetra pomaže optimizaciji troškova i poboljšava radne karakteristike mrežnih sistema. Za energetska mreža, na koju su priključeni vetrogeneratori, izlazna snaga vetrogeneratora predstavlja značajnu informaciju jer svaka devijacija snage koja izlazi iz dozvoljenih granica može umnogome da napravi prilične probleme. Poznavanje brzine vetra nalazi primenu u oblasti lansiranja raketa i satelita, energije za poljoprivredu, upravljanje raznim sistemima u vojnoj industriji, itd. [71].

Primena VNM za predikciju brzine vetra nije nova ideja, što potvrđuje literatura. U radu [65] se koristi VNM da bi se što bolje odredio zakon raspodele brzine vetra u određenoj regiji. To omogućava da se bolje odredi potencijal vetra i performanse vetrogeneratora. Takođe, rad prikazuje primenu VNM u sistemima za proizvodnju energije vetrom, tj. predviđa karakteristike vetra u određenoj lokaciji kao što su učestalost brzine vetra, krive koje prikazuju dužinu trajanja brzine vetra, i raspoloživa energija za generator. Jayaraj et al. [72] su koristili višeslojni perceptron i Elmanove VNM za predikciju brzine vetra do 48 h. Barbounis et al. [73] su koristili rekurentne neuronske mreže (eng. *recurrent neural network*) za dugoročnu predikciju brzine vetra (do 72h). U radu [74] urađena je predikcija brzine vetra za različite lokacije u Južnoj Koreji korišćenjem VNM. U radu [75] predstavljena je metoda za predikciju brzine vetra koja koristi unapređenu VNM tako što koristi i pravac vetra, jer i promena pravca utiče na brzinu. Soman et al. [76] su koristili tri različita modela za predikciju kao što su Adaptivna linearna mreža (eng. *adaptive linear network*), Mreža sa propagacijom greške unazad i hibridna VNM. Bhaskar et al. [77] su sumirali stanje u oblasti predikcije brzine vetra, uključujući modele VNM, MPV i algoritam zasnovan na roju čestica (eng. *particle swarm optimization*). U radu [71] predstavljen je model koji koristi kombinaciju različitih VNM koji zajedno zatim obavljaju predikciju brzine vetra.

Sunce i vetar, kao najveći predstavnici izvora čiste energije, a pri tom i praktično neiscrpnih izvori, dobijaju sve više na značaju i, pošto je svet trenutno okrenut samo ekonomskoj koristi, neophodno je dovesti ova dva izvora energije do nivoa što veće isplativosti. Prikazan je veliki broj radova koji potvrđuju raznovrsnost primene inteligentnih sistema u oblasti obnovljivih izvora energije. Potencijal veštačkih neuronskih mreža je ogroman, i neophodno ga je na pravi način iskoristiti kako bi se maksimizovala ekonomičnost i isplativost obnovljivih izvora energije i kako bi se, kao krajnji cilj, iz upotrebe smanjila fosilna goriva.

2.3.4 Emisija CO₂ i energetska indikatori

Informacije o sistemu, do sada, kao i u bliskoj budućnosti, omogućavaju bolje upravljanje sistemom, lakše i brže dolaženje do cilja, kao i smanjenje mogućnosti pojave neželjenih i nepovratnih posledica. Stoga, analiza energetska parametara predstavlja vrlo bitnu informaciju vladama država za analizu svoje aktuelne politike, i otvara mogućnost korekcije energetske politike i strategije kako bi se postigli željeni ciljevi.

U radu [78] izdvojeni su broj stanovnika i BDP kao bitni parametri za procenu potrošnje goriva. Rad [79] analizira uticaj broja stanovnika na emisiju CO₂ u Evropskoj uniji. U radu [80] korišćena je temperatura vazduha, instalisani kapacitet, potrošnja električne energije, i BDP kao parametri za dugoročnu procenu krajnje potrošnje energije u Grčkoj. U [32] analizira se energetska zavisnost Turske pomoću parametara kao što su ukupna proizvodnja primarne energije po glavi stanovnika, neto količina uvoza prirodnog gasa i primarne energije, ukupna proizvodnja električne energije i krajnja potrošnja energije po glavi stanovnika. Rad [31] govori o izvorima primarne energije i njihovog udela u proizvodnji i potrošnji ukupne primarne energije. U radu [81] se predviđa mesečna potrošnja električne

energije na osnovu potrošnje električne energije u prethodna dva meseca kao i istog meseca prethodne godine. U radu se estimira potrošnja energije u Turskoj korišćenjem VNM na osnovu podataka o broju stanovnika, BDP, uvozu i izvozu. U radu [82] estimira se potrošnja električne energije na Novom Zelandu na osnovu BDP-a, broja stanovnika i cene električne energije. U radu [83] predviđa se emisija CO₂, potrošnja energije i ekonomski rast u Kini radi postizanja privrede sa čistom energijom i zaustavljanja klimatskih promena.

Uticaj klimatskih promena je sve veći i ukoliko se odmah ne preduzmu adekvatne mere doći će do katastrofalnih posledica u veoma bliskoj budućnosti. Emisije CO₂ mnogo utiču na promenu klime na planeti pa ih je stoga potrebno pre svega ograničiti, a onda i smanjiti. Energetski sektor je najveći proizvođač emisija pa ga je neophodno reformisati. Dosadašnja istraživanja bavila su se predikcijom delova energetskih sistema i određenih parametara, međutim ne postoji nijedno istraživanje, koje je nama poznato, koje se bavi kompletnim, kompleksnim energetskim sistemom kao što je energetski sistem Evropske unije. Takođe, u literaturi su korišćene mnoge metode za predviđanje izolovanih delova određenih sistema, od kojih su neki bili linearni, a neki nelinearni. Pošto je energetski sistem EU vrlo kompleksan i po prirodi nelinearan, u ovom istraživanju korišćen je model VNM. Iako se u literaturi najčešće pronalazi korišćenje FFBP kao osnovnog modela VNM, takođe se može videti da i CFBP model daje vrlo dobre rezultate. Imajući u vidu specifičnu strukturu CFBP modela, kompleksnost trenutnog problema, kao i činjenicu da postoji relativno mali skup podataka za obuku, CFBP model se nameće kao model koji odgovara problemu i kao model koji potencijalno može da da smisljeno rešenje, što su rezultati pilot testova i potvrdili. Dosadašnja istraživanja su se bavila predikcijom gore navedenih parametara na osnovu određenih relevantnih energetskih indikatora.

Ovo istraživanje predstavlja grupu od deset indikatora koji su prepoznati kao značajni i relevantni za konkretan problem: BDP³⁰, prosečna temperatura vazduha, UPPE, potrošnja električne energije, broj stanovnika, kao i udeli OIE, nuklearne energije, prirodnog gasa, ukupnih derivata nafte i čvrstih goriva u UPPE-u. Jedna od hipoteza ovog istraživanja, kao što već je navedeno, jeste da su ovi parametri u mogućnosti da oslikaju aktuelnu energetsku politiku EU, tj. da kvantifikuju energetsku politiku EU. To će, dalje, omogućiti predikciju emisija CO₂ u budućnosti, analizu trenutnog energetskog sistema EU, kao i analizu različitih scenarija energetske politike EU radi smanjenja emisija CO₂. Istraživanje je publikovano u časopisu *Energy* čime su i rezultati priznati na svetskom nivou [84].

³⁰ Eng. *purchasing power parity* – predstavlja BDP (prikazan u vrednosti USD iz 2010.) prikazan kroz paritet kupovne moći.

3

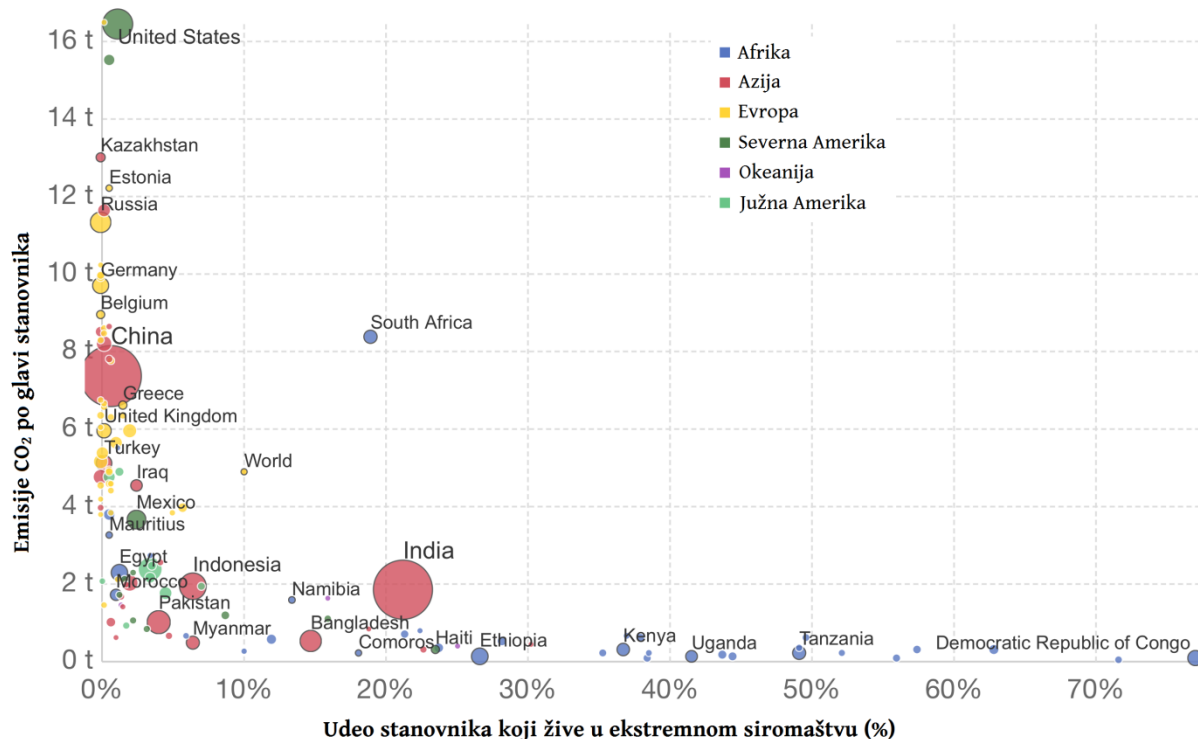
TEORIJSKE OSNOVE

3.1 Energija i energenti

Energija je vrlo važna, glavni je uzrok socijalnog i ekonomskog blagostanja u društvu i nezamenljiv je resurs za povećanje bogatstva [85]. Ona je i ključ za prevazilaženje siromaštva, povećanja standarda i zdravlja stanovništva, što direktno utiče na indeks ljudskog razvoja (HDI³¹).

Na slikama 3.1 i 3.2 predstavljena je zavisnost emisija CO₂ po glavi stanovnika i korišćenje energije (respektivno) u odnosu na broj stanovnika (procentualno) koji živi u teškom siromaštvu. Veličina kruga prikazuje broj stanovnika države. Oba grafika pokazuju da što je veća emisija i pristup energiji to je manji nivo siromaštva. Drugim rečima, pristup energiji je jedan od najznačajnijih i esencijalnih komponenti za poboljšanje životnog standarda i smanjenja siromaštva.

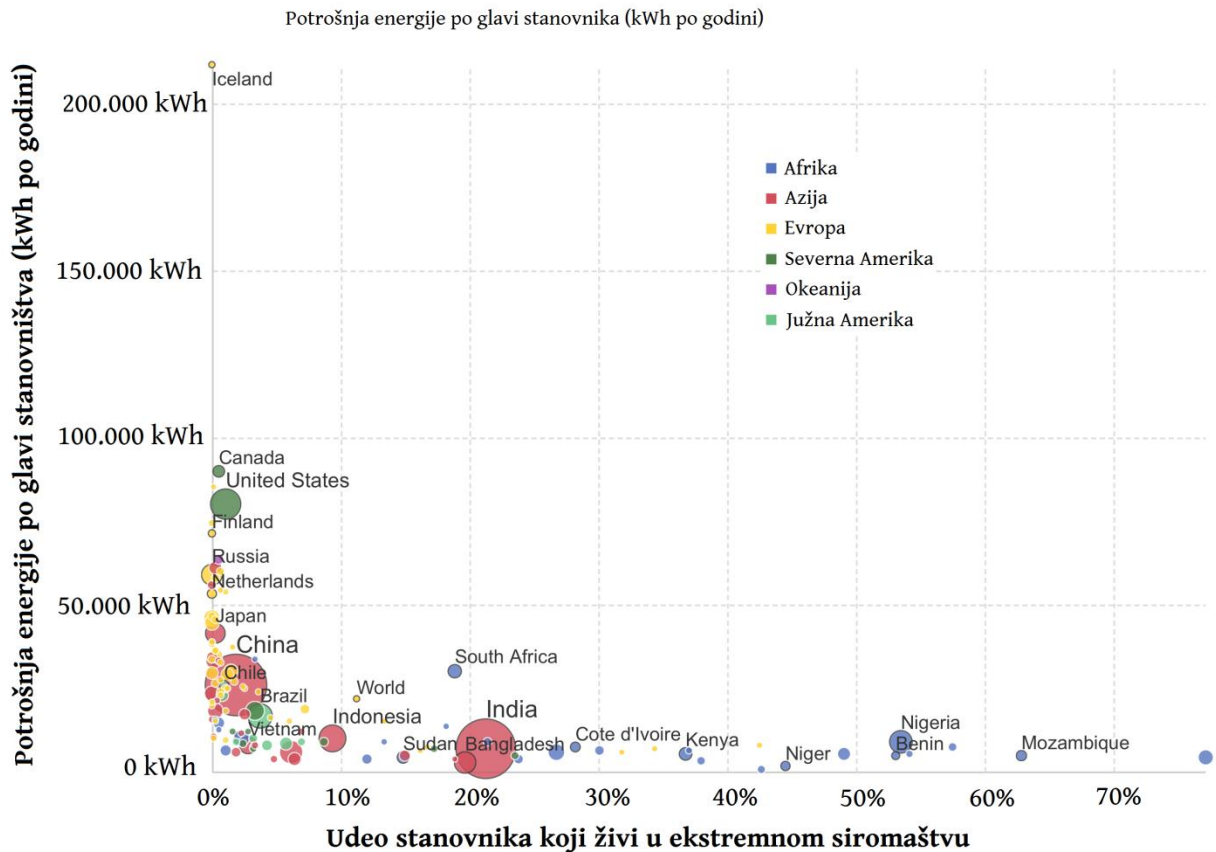
³¹ Eng. *Human Development Index* - predstavlja formulu kojom se mere siromaštvo, obrazovanje, životni vek i drugi životni faktori, i na osnovu čijeg rezultata se države dele na manje ili više razvijene.



Slika 3.1 – Zavisnost emisija CO₂ po glavi stanovnika i procenta ljudi u državi koji živi u siromaštvu za 2016. godinu.³²

Primećuje se da postoje države (USA i Nemačka) koje imaju istu malu stopu siromaštva, ali različitu emisiju CO₂. Može se zaključiti, iako nije direktno povezano, da postoji određena (minimalna) granica za emisiju CO₂ koja je dovoljna da smanji stopu siromaštva. Drugim rečima, sa slike se može videti da ne postoji država koja ima udeo siromaštva veći od 10% (s izuzetkom Južne Afrike), a koja ima emisiju CO₂ po stanovniku veću od 2t. Na slici 3.2 je ova pojava još više izražena, pa bi se mogao izvesti zaključak da ukoliko je potrošnja električne energije po stanovniku veća od 25.000 kWh stopa siromaštva će biti manja od 3%. Ove veze su očigledno indirektno i uključuju nivo razvoja industrije i privrede svake države, ali svakako pripadaju statistici koja ne bi trebalo da se zanemari. Takođe, i broj stanovnika ima veliku ulogu, što se vidi na slici 3.2, gde Island ima drastično veću potrošnju energije po stanovniku od bilo koje države. Ta pojava je prisutna zbog postojanja industrije koja je veoma energetski zahtevna, dok je broj stanovnika Islanda veoma mali.

³² Prosečna emisija po glavi stanovnika se računa u tonama po godini. Ekstremnim siromaštvom se smatra prihod manji od 1,90 internacionalnog američkog dolara. Internacionalni američki dolar uzima u obzir inflaciju. Izvor: Our World in Data, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.



Slika 3.2 – Zavisnost potrošnje energije i procenta stanovnika koji žive u siromaštvu. za 2013. godinu.³³

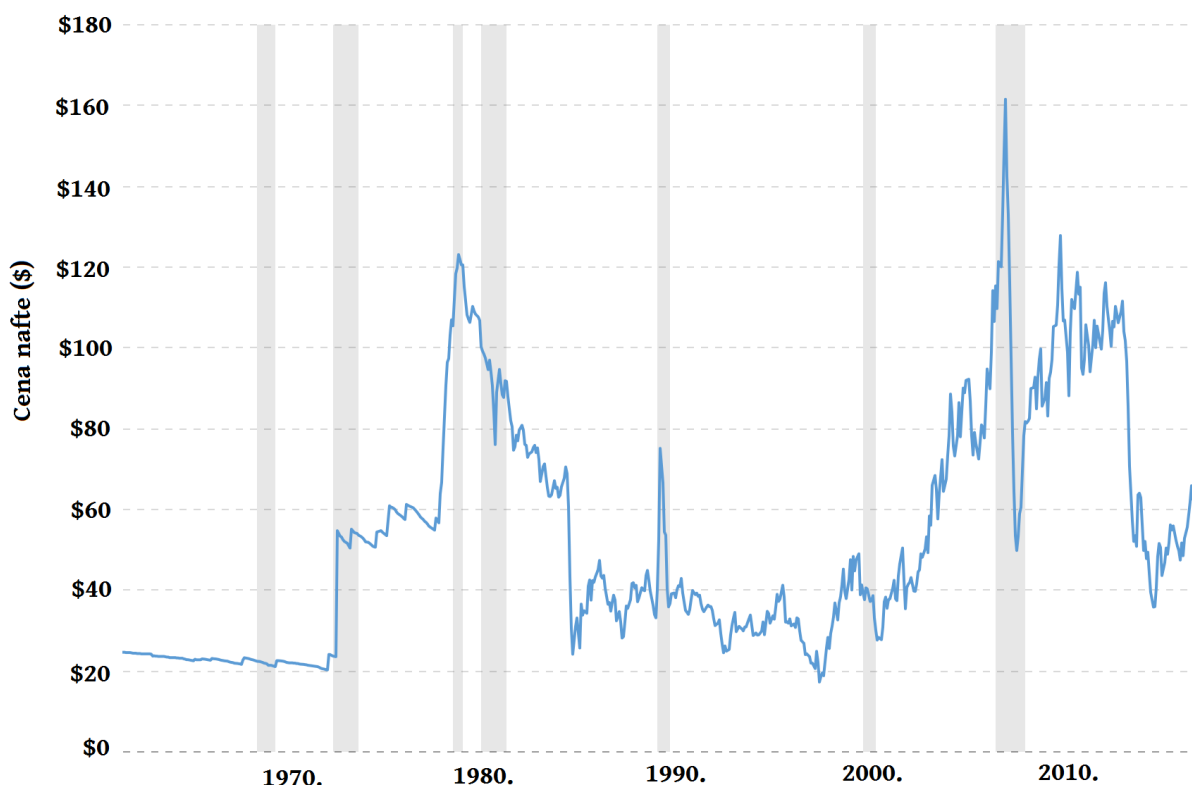
Prva industrijska revolucija označila je početak masovnog eksploatacija prirodnih resursa i korišćenja različitih oblika energije kako bi se povećala produktivnost, uslovi za rad i za život. Međutim, povećanjem svih navedenih pojmova povećava se i zavisnost ljudi od energije, što može da predstavlja problem [1]. Velika zavisnost od nafte u ekonomskom smislu je još početkom 1970-tih³⁴ godina dovela do problema, kada je cena jednog barela nafte dostigla do tada minimalnih³⁵ 20,23 USD. Mnoge svetske privrede su već tada počele sa planovima za povećanje raznovrsnosti energetske izvora, kako bi što manje zavisili od fluktuacije cene nafte. Nakon toga, cena barela nafte je značajno porasla, na čak 123,12 USD u aprilu 1980. godine, da bi u novembru 1998. dostigla rekordni minimum od 17,27 USD. Konstantne fluktuacije (slika 3.3), kulminirane ostrim padom cene nafte krajem 2014. godine još jednom su podstakle vodeće izvoznike nafte na razmišljanje o negativnim efektima (smanjenje dobiti, slika 3.4), ukoliko se i dalje nastavi oslanjanje na naftu u velikoj meri, kao i hitnosti rešavanja ovog problema. Takođe, razvojem i usavršavanjem novih tehnologija otvorena su pitanja za uključivanje obnovljivih izvora energije, kao i tehnologiju uljnih škriljaca³⁶ za ekstrakciju prirodnog gasa u proizvodnju. Kao jedan od najvažnijih zadataka u ovom veku jeste pronalazak alternativa za naftu i prirodni gas.

³³ Potrošnja energije po glavi stanovnika se meri u kilovat časovima po godini. Ekstremnim siromaštvom se smatra prihod manji od 1,90 internacionalnog američkog dolara. Internacionalni američki dolar uzima u obzir inflaciju. Izvor: Our World in Data, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.

³⁴ Naftna kriza počela je u oktobru 1973. godine kada su članice Organizacije država arapskih izvoznika nafte (eng. *Organization of Arab Petroleum Exporting Countries*) ili OAPEK (koja se sastoji od arapskih članica OPEC-a (eng. *Organization of Petroleum Exporting Countries*), uključujući Egipat i Siriju) proglasile naftni embargo „kao odgovor na odluku SAD-a da ponovo snabdeva Izrael oružjem“ tokom Yom Kippur rata; trajala je do marta 1974. godine [1].

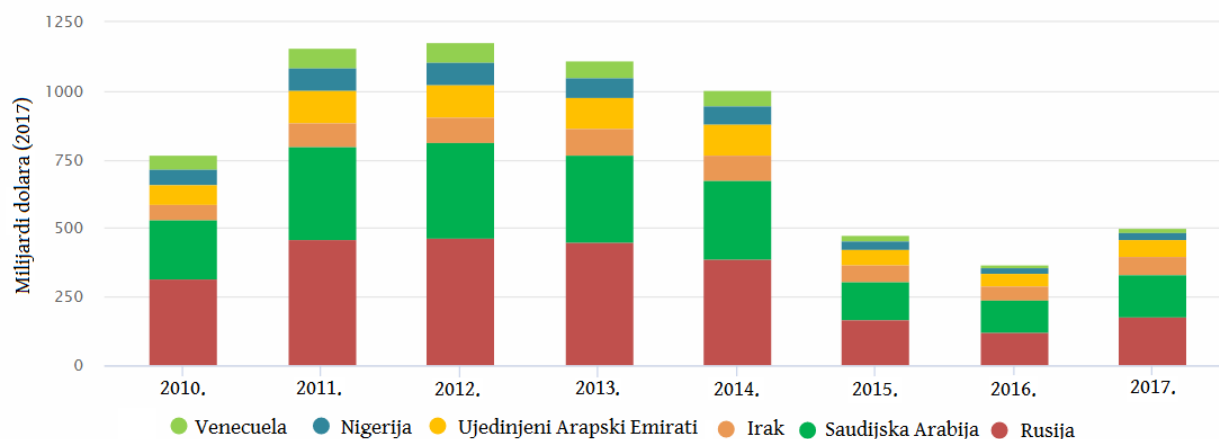
³⁵ Cena nafte koja je ovde prikazana uzima u obzir inflaciju i korigovana je u skladu s tim.

³⁶ Eng. *shale gas, shale oil* - predstavlja naftu i gas zarobljen u sedimentnom kamenju, tzv. Uljnim škriljcima.



Slika 3.3 - Kretanje cene barela nafte od 1946. do 2018. godine. Uzeta je u obzir korekcija inflacijom.³⁷

Prema izveštaju dokumenta „Pregled privreda proizvođača“, [86], pokazano je da ekonomski sektor koji uzima u obzir više energetske izvora i koji dobro funkcioniše može dugoročno da bude vrlo stabilan, isplativ, da ima veliku prednost u odnosu na trenutne proizvođače energije, i da bude osnova stabilne i održive privrede. Pošto solarna energija i energija vetra nije još dostigla tačku ekonomske isplativosti, prirodni gas je prepoznat kao „energent 21. veka“.



Slika 3.4 – Neto prihodi od nafte i prirodnog gasa za šest najvećih proizvođačkih privreda, 2010-2017.³⁸

3.1.1 Nafta

Zemlje koji su najveći izvoznici grupisane su u organizaciju OPEC (eng. *Organization of the Petroleum Exporting Countries*), radi stabilizacije tržišta nafte kao i obezbeđivanja efikasnog snabdevanja naftom, ali i kako bi još više povećali svoju moć.

³⁷ Izvor: <https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>.

³⁸ Izvor: IEA, <https://www.iea.org/weo/producereconomies/>.

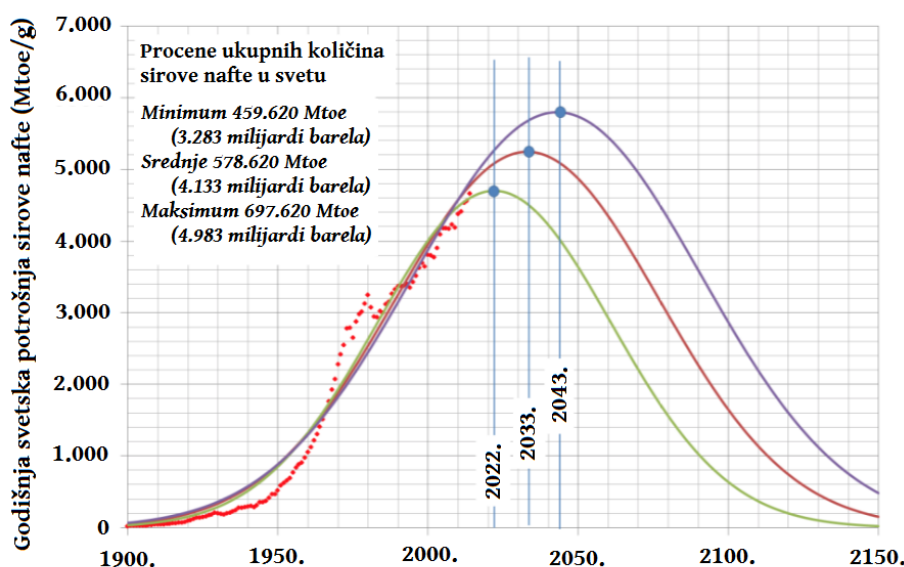
Danas u svetu i dalje dominiraju vozila koja koriste neku vrstu derivata nafte, iako električna vozila postaju sve prihaceniya u društvu. Prema podacima administracije energetske informacije Sjedinjenih Američkih Država iz 2017, udeo nafte u ukupnoj potrošnji energije je 40%, dok se samo 1% koristi za proizvodnju električne energije [87].

Razne su procene količine sirove nafte koja postoji u poznatim rezervama na Zemlji i zavisi od izvora. *British Petroleum* saopštio je da su ukupne rezerve na kraju 2005. godine iznosile 1.200,70 milijardi barela (160.098 Mtoe³⁹), Međunarodna agencija za energiju (IEA, eng. *International Energy Agency*) iznela je podatak da rezerve iznose 1.266 milijardi barela (177.098 Mtoe), dok neki noviji podaci iz 2017. godine [88] prikazuju da su rezerve u 2016. godini iznosile 1.492,16 milijardi barela (208.902 Mtoe). Iako postoji odstupanje, kako zbog načina prikupljanja podataka, tako i različitih metoda računanja, podaci se generalno podudaraju, i u saglasnosti su da će ove rezerve potrajati još oko 40-50 godina prema proceni po kojoj se dnevno proizvodi oko 80 miliona barela na dan (prosečna aktuelna proizvodnja) [12].

Nafta se najviše koristi u transportu (preradom, u vidu benzina i dizela) ali i u termoelektranama za dobijanje električne energije i petrohemijskoj industriji. Imajući u vidu trenutnu zavisnost od nafte, proces tranzicije na druge izvore energije nije kratak, te je neophodno da preduzeća na vreme započnu proces tranzicije na druge izvore energije kako bi se očuvala i energetska, ali i ekonomska stabilnost. Ulaganja u istraživanje nafte poslednjih godina opada što zbog troškova bušenja, što zbog povećanja svesti o klimatskim promenama i neophodnosti da se pređe na obnovljive izvore energije i poveća energetska efikasnost [12]. Razvoj vozila na električni pogon predstavlja prioritet u borbi protiv klimatskih promena što umnogome utiče na tradicionalnu automobilsku industriju i naftna preduzeća, te je i cena nafte počela da opada. Održivost nafte zavisi od potražnje vozila koja nju koriste kao gorivo, kao i od efikasnosti, tj. količine efektivne energije koju ovakav sistem može da dâ. Onog trenutka kada druge tehnologije (npr. električni automobili) budu dostigle nivo da iskorišćenje energije postane veće od tradicionalnih motora i bude ekonomski isplativije, potražnja za naftom će drastično da opadne.

Iako potrošnja nafte u Kini i Indiji i dalje raste, na globalnom nivou udeo naftnih derivata u energetske miks polako dostiže svoj maksimum. Slika 3.5 prikazuje procenu proizvodnje sirove nafte, za različite procene rezervi nafte u svetu.

³⁹ Eng. *tonns of oil equivalent* – tona ekvivalentne nafte (TEN). Engleska skraćenica je veoma ustaljena u ovoj oblasti te će se ona koristiti u daljem tekstu.



Slika 3.5 – Tri procene zaliha nafte. Kada doživljavaju pik i do kada će trajati.⁴⁰

3.1.2 Prirodni gas

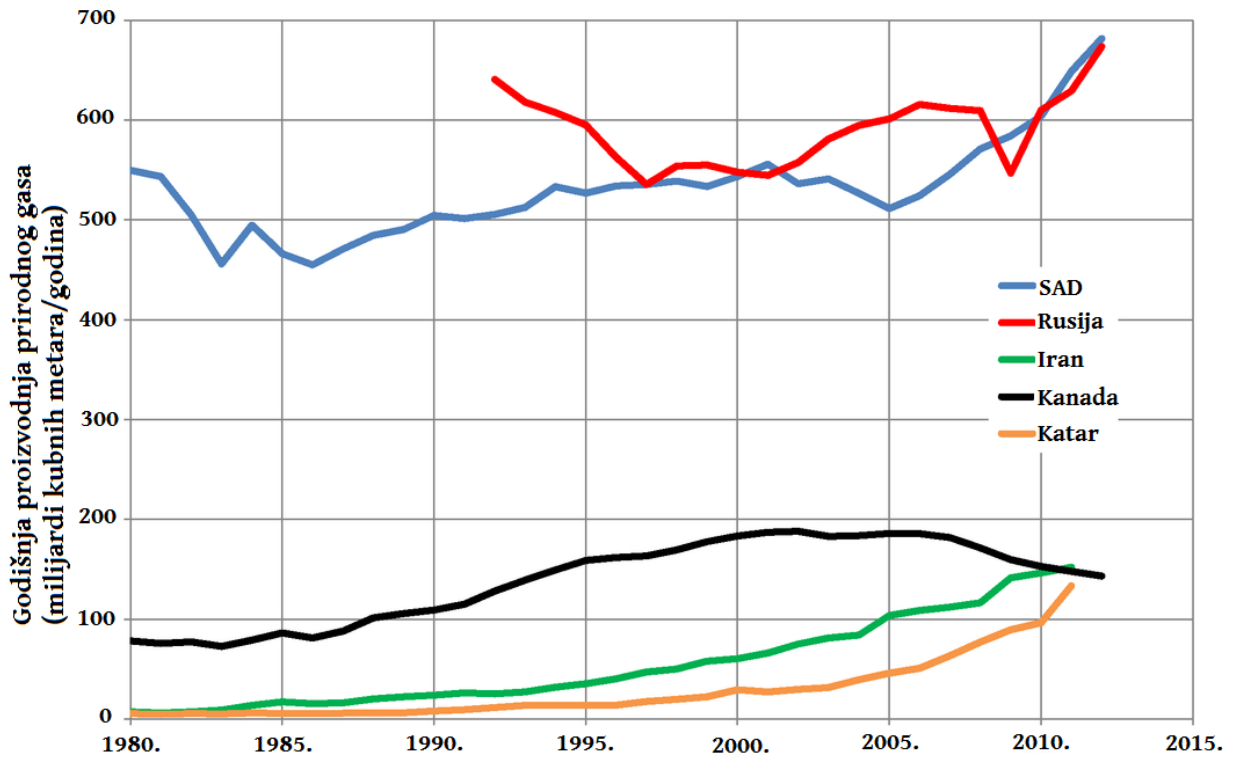
Svetske rezerve prirodnog gasa, na kraju 2004. iznosile su 179,5 hilajda milijardi m³. Iako je moguće da će se pronaći nove rezerve prirodnog gasa, ipak je razumno očekivati da će, aktuelnom potrošnjom, rezerve trajati još 50-80 godina [12]. Prema podacima IEA sa početka 2018. najveće rezerve ima Rusija sa 47.805 milijardi m³, zatim Iran sa 33.721 milijardi m³, Katar sa 24.072 milijardi m³, a zatim i SAD i Saudijska Arabija.

Osim prirodnog gasa koji se dobija na standardan način, postoji i gas iz uljnih škriljaca, tj. gas koji je zarobljen u sedimentnom kamenju i koji se može izvaditi razbijanjem sedimentata. Ova tehnologija je posle 2000. godine postala dominantna na severno-američkom tlu.

Iako prirodni gas spada u neobnovljivu kategoriju energenata, on ima najmanji emisioni intenzitet⁴¹ od svih fosilnih goriva, te je veoma pogodan za tranzicioni period ka korišćenju obnovljivih izvora energije. Studije sa MIT, Black&Veatch i DOE takođe predviđaju da će se prirodni gas sve više koristiti za proizvodnju električne energije i grejanje u budućnosti [89]. Na slici 3.6 prikazan je trend proizvodnje prirodnog gasa za pet najvećih proizvođača prirodnog gasa u svetu u poslednjih 40-tak godina. U poslednjoj deceniji se može primetiti visok rast (pre svega, Rusija i SAD), što takođe ide u korist potvrdi da će prirodni gas imati značajnu ulogu u budućnosti.

⁴⁰ Izvor: [12].

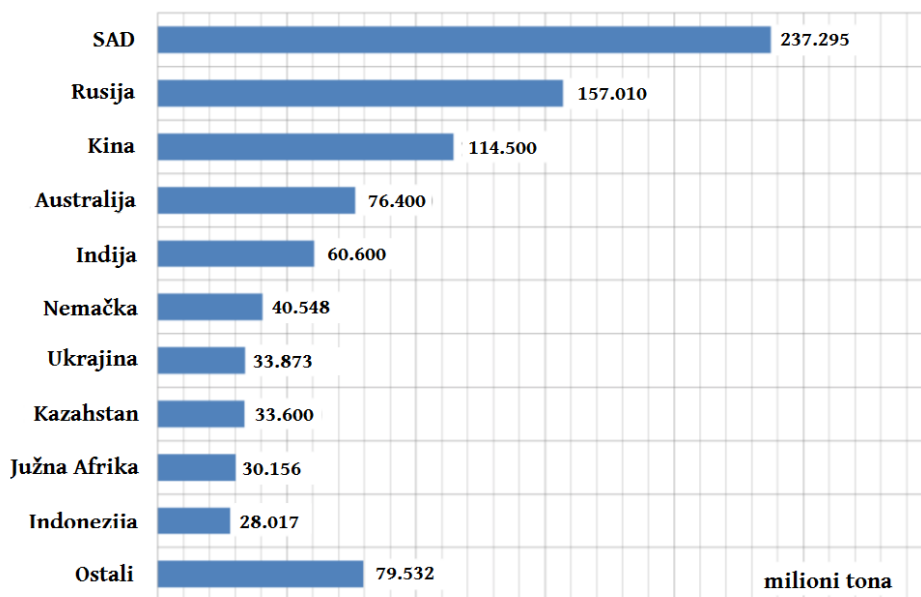
⁴¹ Emisioni intenzitet predstavlja uticaj koji energent ima na atmosferu sa stanovišta emisije GHG, a najviše CO₂.



Slika 3.6 – Godišnja proizvodnja prirodnog gasa od 1980. do 2012. Primećuje se značajan rast u poslednjoj deceniji.

3.1.3 Ugalj

Ugalj je resurs koji je najrasprostranjeniji, za koji postoji najviše rezervi i najviše se koristi od svih energenata, zbog njegove niske cene i dostupnosti. Sa druge strane, prilikom njegove proizvodnje i njegovim sagorevanjem oslobađa se velika količina štetnih gasova te ima veoma loš uticaj na životnu sredinu. Dokazane rezerve uglja u svetu prikazane su na slici 3.7. Može se primetiti da SAD ima ubedljivo najveće rezerve, slede Rusija i Kina. Problem korišćenja uglja sa stanovišta životne sredine je prepoznat od strane velikih sila, a Evropska komisija postavila je plan u kojem se u Evropskoj uniji drastično smanjuje korišćenje uglja i prelazi na druge izvore energije.



Slika 3.7 – Rezerve uglja u svetu (milioni tona), po državama.

Ne treba zanemariti mogućnost pronalaska i unapređivanja novih tehnologija koji će smanjiti emisije CO₂, prilikom sagorevanja uglja. Jedna od takvih tehnologija je tehnologija čistog uglja (eng. *clean coal technology*), koja se zasniva na kombinovanom ciklusu integrirane gasifikacije (eng. *integrated gasification combined-cycle*) i pretvaranju uglja u prirodni gas. Takođe, postoji i tehnologija skladištenja ugljenika. Ukoliko ove tehnologije postanu savremenije, ili se pronađu neke nove, ekstrakcija i korišćenje uglja mogla bi da ima perspektivu i u budućnosti.

Iako se zna kako ugalj utiče na životnu sredinu i postoje planovi da se proizvodnja energije iz uglja drastično smanji, on i dalje ostaje kao veoma isplativ resurs za proizvodnju električne energije, te će se verovatno njegovo korišćenje i nastaviti. Ovoj pretpostavci ide u korist i činjenica da Kina i Indija prave nove termoelektrane na ugalj, što govori da te zemlje još uvek ne nameravaju da napuste ovaj energent.

3.1.4 Obnovljivi izvori energije

Pošto se sve više brine o prirodi i uticaju koje fosilna goriva imaju na okolinu, sve više se ulaže u istraživanje i razvoj vezan za obnovljive izvore energije, koji su zapravo besplatni i praktično neiscrpnii ukoliko se pametno koriste. To su, pre svega, sunčeva energija i snaga vetra, a zatim i biomasa, biogoriva, itd. Prema [8] efikasnost i korišćenje obnovljivih izvora energije su ključni elementi obuzdavanja rasta emisija svih GHG.

Rezerve fosilnih goriva su ograničene pa se stoga počelo sve više razmišljati o energetskejoj efikasnosti, ulagati u obnovljive izvore energije, itd. [47][90][91].

Sunčevo zračenje i snaga vetra, kao primarni obnovljivi izvori energije su dostupni svuda. Određene regije imaju veći, dok druge manji potencijal za prikupljanje ove vrste energije, a u zavisnosti od potencijala zavisi da li i koliko će se ulagati u njih.

Već posle prve naftne krize (1970 tih) tadašnja vlada Danske je shvatila koliki problem može da napravi zavisnost samo od jedne energetske sirovine (tada je potrošnja bila preko 350 barela po danu [92]), pa je i zbog toga počela sa sistematičnom promenom energetske politike. Danas je potrošnja nafte oko 160 barela po danu, udeo nafte u UPPE-u je oko 35%, uglja oko 10%, dok je udeo obnovljivih izvora energije povećan za čak 35% [93].

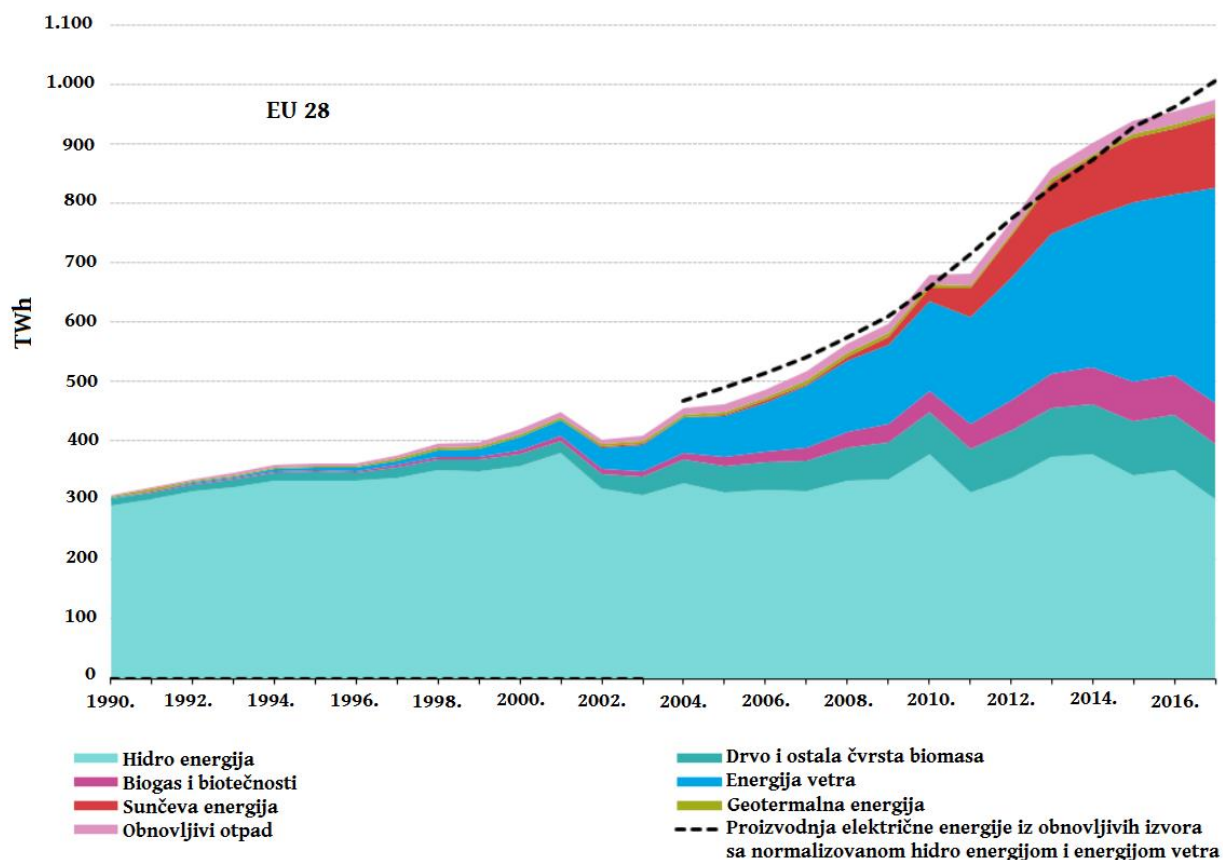
3.1.4.1 Sunčevo zračenje i snaga vetra

Sunčevo zračenje predstavlja praktično neiscrpan izvor energije, i ima potencijal da zameni ostale izvore energije, međutim tehnologija prikupljanja i konverzije ove energije u korisnu još uvek nije na dovoljnom nivou.

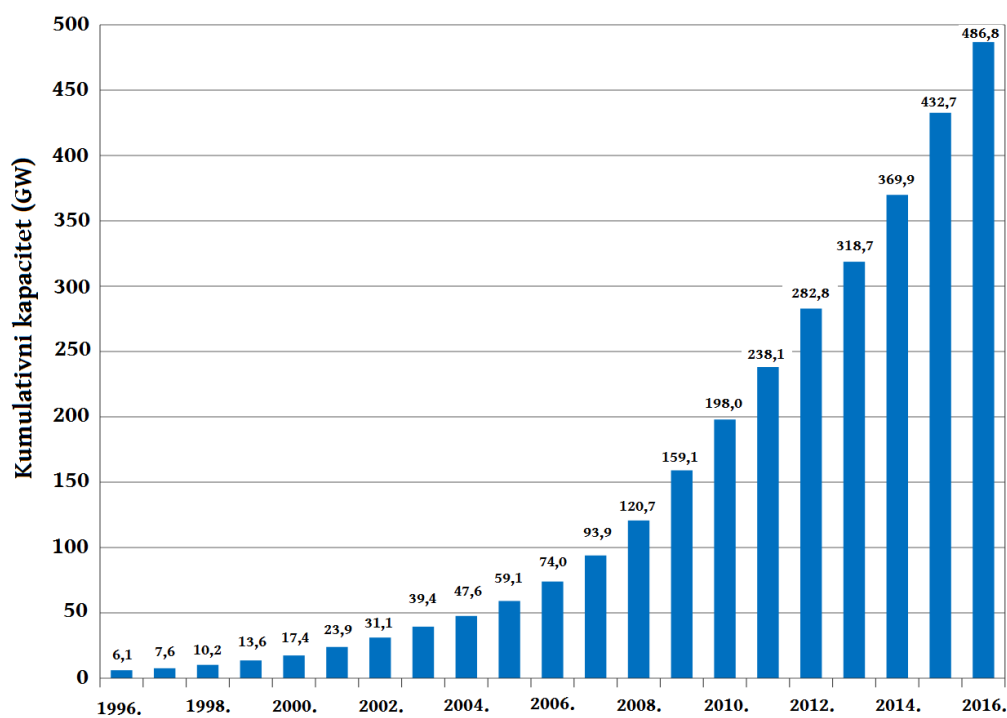
Zračenje koje direktno pogodi površinu Zemlje naziva se *direktno zračenje* (eng. *beam radiation*) i ono se smatra zračenjem koje direktno dolazi od Sunca. Ono postoji samo u slučaju da nema nikakvih prepreka između sunca i zemlje, tj. ne postoje oblaci (i ostale prepreke). Zračenje koje se odbije/prelomi od atmosfere i pogodi tlo se naziva *difuzno zračenje* (eng. *diffuse radiation*) i takvo se smatra da dolazi sa čitavog neba. Treća vrsta zračenja, koja se ne uzima uvek u obzir, jeste zračenje koje se odbije od elemenata na površini Zemlje (stene, planine, reke, itd) i naziva se *albedo* [43].

Sunce je najveći izvor energije, i praktično da njega nema ne bi bilo ni vetrova. Raspodela temperature na Zemlji je dosta različita (na ekvatorskom području temperatura je prilično visoka, dok se ka polovima polako smanjuje), a pošto u prirodi sve teži ka ravnoteži javljaju se kretanja u atmosferi od područja sa većom energijom ka područjima sa manjom energijom, tj. javljaju se vetrovi. Podizanjem svesti ljudi o značaju prirode za čovečanstvo i čitav život na Zemlji stvorili su se konačno i tehnološki uslovi za iskorišćenje ove vrste energije.

Najveće svetske sile su prepoznale potencijal vetra i sve više ulažu u razvoj i konstrukciju sistema za prikupljanje energije vetra. Značajnost vetra može da se vidi na slici 3.8, koja prikazuje udeo različitih obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije u EU28. Osim energije vode, koja je poznata od davnina i konstantno se koristi, sve veću ulogu ima i ova vrsta energije, mnogo više od sunčeve energije. Potencijal vetra je vrlo visok u Evropi (vetrogeneratori se postavljaju i na kopnu i na vodi – mora i okeani), tehnologija je mnogo jednostavnija od fotonaponskih panela, a i stepen iskorišćenosti je vrlo visok, pa je samim tim i logičan podatak prikazan na slici 3.8.



Slika 3.8 – Proizvonja električne energije iz obnovljivih izvora energije, prikazano prema vrsti izvora, u EU28.⁴²



Slika 3.9 Ukupan instalisan kapacitet vetra u svetu, za period od 2000. do 2015.

Slika 3.9 prikazuje porast ukupnog instalisanog kapaciteta vetrogeneratora u svetu u periodu od 2000. do 2016. godine. Lideri u instalisanjoj snazi za energiju vetra su, pre svega,

⁴² Izvor: [94]

Kina (koja je u 2015-oj godini instalirala dodatnih 30.753 MW kapaciteta što čini 48,5% od ukupne instalirane snage u svetu za tu godinu), a zatim slede Sjedinjene Američke Države, Nemačka, Indija, i druge.

3.1.4.2 Hidroenergija

Hidroenergija predstavlja energiju dobijenu korišćenjem sile vode. Hidroelektrane koriste tok vode za pokretanje mehaničkih turbina koje dalje generišu električnu energiju. Prva savremena hidrocentrala napravljena je 1882. godine u SAD-u na reci Fox, posle čega je počela sve veća upotreba. Tehnologija, ali i instalacija ovakvih sistema prilično je jednostavna, veoma su fleksibilne (formiranjem veštačkog jezera moguće je akumulirati vodenu energiju i koristiti je kada je ona neophodna), pa su hidrocentrale postale veoma rasprostranjene. Kao posledica, najveći udeo u obnovljivim izvorima energije za generisanje električne energije imaju i dan danas (čak 71% u 2016. godini u celom svetu [95]).

Postoji tri načina iskorišćenja vodene energije:

1. Korišćenje toka reke za generisanje električne energije
2. Korišćenje rezervoara kod kojih se električna energija generiše puštanjem vode iz rezervoara i
3. Reverzibilne hidroelektrane (eng. *pumped storage*) kod kojih se pomoću pumpi voda šalje u rezervoar na višoj nadmorskoj visini iz kojeg može puštanjem opet da generiše energiju

3.1.4.3 Bioenergija

Bioenergija je energija koja se dobija iz organskih jedinjenja, ali koja još uvek nisu prošla proces fosilizacije. Takva jedinjenja se nazivaju biomasom. Ona može da služi kao gorivo u takvom obliku, ali se može i dodatno obraditi nakon čega se dobijaju razna čvrsta, tečna ili gasovita biogoriva. Biomasa se dobija iz poljoprivrede, šumarstva, komunalnog otpada, ostataka useva, itd. Iako se sagorevanjem biomase oslobađa CO₂ oni su svrstani u obnovljive izvore energije, jer biomasa može vrlo lako da se proizvede. Takođe, usevi koji se koriste za proizvodnju biogoriva mogu da se uzgajaju i na lošijoj, zagađenoj zemlji, iskorišćavajući na taj način što više zemljišta.

Biogorivo se danas najviše koristi u svom sirovom obliku za grejanje (najviše drvo). Iako je stepen iskorišćenosti vrlo mali, sagorevanje biogoriva i dalje preovladava, najviše u manje razvijenim privredama (preko 90% čitave potrošnje biogoriva se zasniva na korišćenju drva za grejanje).

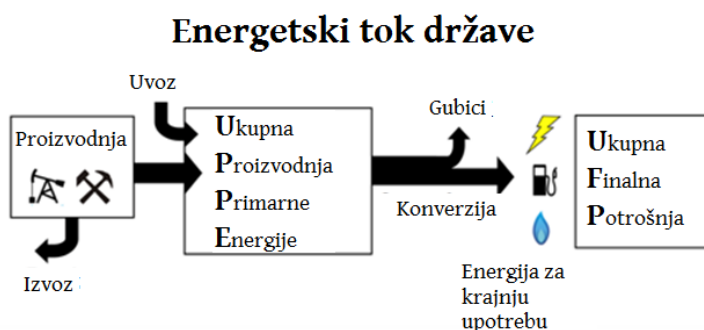
3.1.4.4 Nuklearna energija

Nuklearna energija predstavlja čistu energiju gledano sa stanovišta emisija CO₂, i obezbeđuje vrlo visoke kapacitete energije. Međutim, nakon dve nuklearne katastrofe, u Černobilju 1986. godine i Fukušimi 2011. godine, mnoge države su uvidele rizik koji nuklearna energija nosi sa sobom te su počele da se distanciraju od nje. Države EU28 nisu jednoglasne po ovom pitanju ali većina polako odustaje ove vrste energije. Prema podacima iz baze EUROSTAT, od 2010. do 2017. godine EU28 je zabeležila negativan rast nuklearnih instalacija (-10%) dok Nemačka ima najveći udeo u tome sa čak -46% rasta. U 2017. godini udeo nuklearne energije u UPPE-u u EU iznosio je 27,8%, što govori koliko je, i osim smanjenja, i dalje značajna ova energija. Smanjenje korišćenja nuklearne energije uzrokovano je, pre svega, činjenicom da javnost ne podržava ovu vrstu proizvodnje energije imajući u vidu radioaktivnost koja se proizvodi i skeptičnost kada je reč o tehnologiji odlaganja nuklearnog otpada.

U EU je 2009. usvojena Direktiva o nuklearnoj sigurnosti, koja obezbeđuje sigurnosna pravila za eksploataciju nuklearne energije, a 2010. godine predložena je i direktiva o standardima za odlaganje radioaktivnog otpada, što govori da će nuklearna energija, iako rizična po zdravlje stanovništva u slučaju katastrofe, nastaviti da ima određenu ulogu u ukupnoj potrošnji primarne energije, jer ne emituje gasove s efektom staklene bašte, a obezbeđuje veoma visoke kapacitete snage.

3.1.5 Ukupna potrošnja primarne energije

Ukupna potrošnja primarne energije predstavlja ukupnu količinu primarne energije kojom država raspolaže. Podrazumeva svu uvezenu i izvezenu energiju, kao i svu energiju dobijenu iz prirodnih izvora. Iako se pod primarnom energijom navikše misli na energiju iz sirovina, postoje određeni oblici energije koji se, takođe, moraju uzeti u obzir. Električna energija i sekundarna goriva (benzin) dobijena iz trgovine, takođe ulaze u UPPE. Slika 3.10 predstavlja šematski prikaz UPPE, kao i energije koja stiže do korisnika, tj. ukupne potrošnje finalne energije.



Slika 3.10 – Dijagram prikazuje transformaciju UPPE-a do ukupne finalne potrošnje. Razni izvori primarne energije se transformišu različitim tehnološkim postupcima u elektranama i rafinerijama u električnu energiju.

3.1.6 Ukupna potrošnja finalne energije

Osim UPPE koja se bavi primarnom (sirovom) energijom, definiše se energija koju krajnji korisnici koriste i naziva se Ukupna potrošnja finalne energije (UPFE, eng. *total final energy consumption*). Ona podrazumeva ukupnu energiju koja dođe do potrošača u privatnom (domaćinstvima) i javnom sektoru, industriji i poljoprivredi. U UPFE ne ulazi energija koja se izgubi prilikom transformacije, prenosa i distribucije energije, kao ni energija koja se izgubi prilikom transformacije primarne energije u neki drugi oblik, koji potrošači mogu da koriste (benzin, električna energija, itd.). Energija iz privatnog i javnog sektora podrazumeva količinu potrošenu od domaćinstava, preduzeća, javnih usluga i administracije, transporta, itd.

3.1.7 Prekogranična razmena ugljenika

Evropska unija, kao vodeći entitet u sferi borbe protiv klimatskih promena, sve više pooštrava zakone i uvodi dodatne mere kako bi se emisija CO₂ svela na minimum. To u velikoj meri utiče na industrijski sektor što za posledicu može dovesti do gašenja određenih postrojenja, kao i izmeštanja u druge države. Pojam prekogranične razmene ugljenika vezuje se za situaciju u kojoj države (entiteti) sa strožim zakonima izmeštaju svoja postrojenja u druge države koje imaju fleksibilnije zakone i u kojima je dozvoljeno (i ekonomski isplativije) emitovati CO₂ u njima-potrebnoj količini. Ovakva situacija dovodi do povećanja ukupnih emisija u tim državama, ali, što je još bitnije, količina emisija na globalnom nivou ne opada, nego se samo njihov izvor premešta na drugo mesto.

3.1.8 Ukupna emisija CO₂ jedne države

Ukupna količina emisija GHG jedne države (entiteta) vrlo je bitan pokazatelj njenog uticaja na životnu sredinu. Potreban uslov za korigovanje energetske politike i poboljšanje životne sredine predstavlja upravo praćenje ovog parametra, koji može da se izračuna na sledeći način:

1. Prikupiti podatke o količini eksploatisanih sirovina kao što su uglj, nafta, prirodni gas
2. Dodati količinu sirovina koje država uveze i oduzeti količinu sirovina koje izveze
3. Poznati su emisioni koeficijenti za svaki energent, tj. količina GHG, koji se oslobodi njihovim sagorevanjem (najčešće izražena kroz CO₂e), pa se oni množe sa količinom sagorelih resursa
4. Sabiranjem svih dobijenih rezultata dobija se ukupna količina emisija CO₂ (ili CO₂ ekvivalenta)

3.2 Elementi energetske politike

Energetski sistem jeste sistem projektovan da snabdeva krajnje korisnike energetske uslugama [96]. Sa strukturalnog stanovišta, on predstavlja sve komponente koje se odnose na proizvodnju, transformaciju, isporuku i korišćenje energije [97]. Osim navedenog, energetski sistem obuhvata i mere za poboljšanje i unapređenje korišćenja energije kao što su osvetljavanje (eng. *daylighting*), postavljanje bolje izolacije na zgradama, projektovanje pasivnih zgrada⁴³, upravljanje potrošnjom energije, itd. Energija je, u modernom društvu, strogo vezana za dobit, pa se energetski sistemi pored inženjerstva čvrsto oslanjaju i na ekonomiju. Energetika je, takođe, i jedan od najbitnijih faktora političke moći, te je ona i sastavni deo politike svake države (entiteta). Energetski sistemi i energetska politika se konstantno razvijaju i unapređuju. Radi povećanja energetske efikasnosti, smanjenja emisija CO₂ i povećanja korišćenja obnovljivih izvora energije sve su češće korišćeni pojmovi kao što su trgovina emisijama (eng. *emissions trading*), pametne mreže (eng. *smart grids*), upravljanje potrošnjom energije (eng. *energy demand management*), emisioni intenzitet, obnovljivi izvori energije (eng. *renewable energy sources*), hvatanje i skladištenje ugljenika, i drugi. U dajem tekstu, suština ovih pojmova biće objašnjena.

3.2.1 Energetska efikasnost

Donedavno ekonomisti su merili produktivnost pomoću dva faktora: vrednost mašina i radni učinak. Kada je *Robert Solow*, u svom istraživanju ekonomskog rasta, pronašao da su ova dva faktora imala samo oko 12,5% udela u ukupnom ekonomskom rastu, postavilo se pitanje šta je uticalo na onih 87,5%. Tek nedavno se tim naučnika, uključujući *Reiner Kummel-a* sa univerziteta u *Würzburg-u*, Nemačka, i *Robert-a Ayres-a* sa INSEAD biznis škole u Fontainebleau, Francuska, vratio na ekonomski rast industrijskog perioda, ali analizirajući ga sa tri faktora: vrednost mašina, radni učinak i termodinamička efikasnost korišćenja energije. Pokazali su da je većina ostatka ekonomskog razvoja dolazila od povećanja efikasnosti prilikom konvertovanja osnovne energije u koristan rad.

Energetska efikasnost se vezuje za sisteme koji se bave transformacijom energije [12]. U svakoj transformaciji postoje gubici, a u zavisnosti od tehnologije ti gubici mogu biti veći ili

⁴³ Ovaj pojam predstavlja standard za energetske efikasnost zgrada. Podrazumeva veoma nisku ukupnu potrošnju energije koja, pre svega, obuhvata energiju potrebnu za hlađenje i grejanje, i ima veoma mali ekološki otisak (tj. uticaj čoveka na prirodu).

manji. Drugim rečima, energetska efikasnost u tehničkom smislu predstavlja stepen iskorišćenja sistema.

U tabeli 3.1 prikazane su neke energetske transformacije iz svakodnevnog života. Vidi se da većina transformacija nije efikasna, tj. da postoje veliki gubici (npr. u vidu toplote), pa stoga i postoji prostor za usavršavanje.

Energetski transformator	Vrsta ulazne energije	Vrsta izlazne energije	Efikasnost (%)
Benzinski motori	Hemijska	Mehanička	20 - 25
Dizel-motori	Hemijska	Mehanička	30 - 45
Elektromotori	Električna	Mehanička	80 - 95
Kotlovi	Hemijska	Toplotna	80 - 95
Parne turbine	Toplotna	Mehanička	7 - 40
Hidrauličke pumpe	Mehanička	Potencijalna	40 - 80
Hidroturbine	Potencijalna	Mehanička	70 - 99
Hidroturbine	Kinetička	Mehanička	30 - 70
Elektrogenerator	Mehanička	Elektro	80 - 95
Baterije	Hemijska	Elektro	80 - 90
Solarne ćelije	Radijacija	Elektro	8-15
Solarni kolektori	Radijacija	Toplotna	25 - 65
Osvetljenje	Električna	Svetlost	oko 5
Pumpe za vodu	Mehanička	Potencijalna	oko 60
Grejači vode	Električna	Toplotna	90 - 92
Peći ložene prirodnim gasom	Hemijska	Toplotna	24 - 30

Tabela 3.1 - Efikasnost različitih tehnologija transformacije energije.

Energetska efikasnost se, međutim, u današnjoj (globalnoj) terminologiji, ne odnosi samo na stepen iskorišćenja, ili stepen korisnosti koji je u osnovi energetske efikasnosti, nego postoje i drugi netehnički faktori (kao što je ekonomska isplativost) od kojih ona zavisi. U tehničkom smislu stepen korisnosti predstavlja energetska efikasnost dok u praksi energetska efikasnost predstavlja širok pojam koji uključuje sve tehničke i netehničke faktore koji mogu biti od uticaja na donošenje odluke o sprovođenju neke od brojnih raspoloživih mera kojima bi se smanjila potrošnja energije, a samim tim, u ovom kontekstu, smanjila i emisija CO₂.

Energetska efikasnost se pominje i u sklopu energetske intenziteta privreda⁴⁴ pojedinih država, a tu se odnosi na potrebnu količinu energije za jednu jedinicu BDP-a. Na taj način dobija se informacija o energetske efikasnosti celokupnih nacionalnih privreda, koje je onda moguće porediti.

3.2.2 Trgovina emisijama

Trgovina emisijama je sredstvo za smanjenje emisija GHG gasova iz industrijskog sektora na ekonomski efikasan način. Pokrenuto je 2005. u Evropskoj uniji i funkcioniše po principu ograničenja i trgovine (eng. *cap and trade*). Podrazumeva postojanje granice za maksimalnu dozvoljenu količinu emisije određenih GHG gasova ekvivalentnih potencijalu globalnog

⁴⁴ Energetski intenzitet je mera količine energije koja je potrebna da se proizvede za vrednost jednog američkog dolara. Samim tim je u čvrstoj vezi sa BDP-om (odnos potrošnje energije i BDP-a), pa se povezuje i s privredom države. Što je manja cena konverzije BDP-a u energiju i obrnuto, to je energetski intenzitet privrede manji.

zagrevanja (GWP⁴⁵) od jedne tone CO₂ ekvivalenta (tCO₂e) koja može da bude emitovana iz fabrika, elektrana, i ostalih postrojenja. U dozvoljenoj granici, svako preduzeće kupuje (ili dobija besplatno) određene dozvole, tj. količinu GHG gasova koju može da emituje za godinu dana, i sa kojom dalje raspolaže. Činjenica da postoji gornja granica za količinu dozvoljenih emisija, tj. količinu dozvola, daje ovim dozvolama vrednost, a samim tim omogućava i njihovu trgovinu. Cilj je da na kraju godine svu količinu emisija koje su postrojenja proizvela preduzeća pokriju sa dozvolama. Ukoliko im preostane dozvola mogu da ih prodaju drugim preduzećima koja su prešla granicu, i obrnuto. Za količinu emisija za koje preduzeće nema pokrivaća plaćaju se penali. Trgovina emisijama daje fleksibilnost preduzećima da biraju da li će plaćati kazne za dodatnu emisiju GHG ili će uložiti u energetske efikasnosti (ili koristiti neki drugi izvor energije), u zavisnosti od ekonomske isplativosti [98].

ETS je strategija koja je isprobana u Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) sa gasom SO₂, i pokazala se kao vrlo uspešna. ETS trenutno postoji u 31. državi, pokriva preko 11.000 instalacija, što predstavlja oko 45% emisija GHG gasova. Fokus EU je, pre svega, na velikim preduzećima (rafinerija, čeličana i proizvodnje gvožđa, aluminijuma, metala, cementa, kreča, stakla, keramike, pulpe, papira, kartona, kiselina i organskih materija), ali je krajnji cilj uključivanje i ostalih, manjih preduzeća. Trenutno su granice definisane za svaku državu posebno, ali se teži ka granici koja će biti zajednička za sve, tj. za celu EU. Prema planu koji je EU propisala, svake godine granica treba da bude za 1,74% manja. Potrebno je poboljšati i sistem za merenje, praćenje, izveštavanje i verifikaciju emisija kako bi se dobili što bolji rezultati i pratio napredak [99].

Vlade mogu da donesu odluku o isključenju određenih preduzeća, ukoliko već postoje mere za smanjenje emisija u tom sektoru. Fokus EU je na onim emisijama nad kojima se mogu obavljati merenja, praćenja, izveštavanja i verifikacija. Gasovi koji su uključeni u ETS su:

1. Ugljen-dioksid (CO₂) poreklom iz
 - a. proizvodnje električne i toplotne energije,
 - b. industrijskog sektora koji u većem obimu koristi energiju, poput rafinerija, čeličana i proizvodnje gvožđa, aluminijuma, metala, cementa, kreča, stakla, keramike, pulpe, papira, kartona, kiselina i organskih materija,
 - c. sektora vazdušnog saobraćaja
2. Azot-suboksid (N₂O) iz proizvodnje azotne, adipinske, gliokolne i glioksilne kiseline
3. Perfluorokarbonati (PFCs) iz proizvodnje aluminijuma

Postoji nekoliko faza u razvoju ETS-a. Početak se smatra 2003. godina kada je usvojena EU ETS direktiva. Prvi period je trajao dve godine, od 2005. do 2007. i bio je probni period. Drugi (Kjoto) period trajao je od 2008. do 2012. godine, a obeležile su ga:

- Plan nacionalne alokacije⁴⁶ i
- Uvođenje besplatnih alokacija

⁴⁵ Eng. *Global Warming Potential* – factor koji predstavlja delovanje jedne masene jedinice datog gasa u odnosu na ekvivalentnu jedinicu ugljen-dioksida u određenom vremenskom intervalu.

⁴⁶ Eng. *National Allocation Plan* (NAP). Svaka država mora da odredi maksimalnu dozvoljenu količinu emisija koju će da proizvede, i da tu količinu rasporedi u raznim sektorima i instalacijama. Drugim rečima, ovo predstavlja plan kojim se definiše broj dozvola za svaku državu, i kojim se dozvole raspoređuju preduzećima koji učestvuju u ovom sistemu. Evropska komisija zatim procenjuje da li je plan u skladu sa direktivama ETS-a.

Trenutno je aktuelan treći period koji je počeo 2013. i trajeće do 2020. godine, a značajan pomak će biti u uvođenju aukcija. Unapređenja koja su se desila u aktuelnom periodu mogu da se svedu na nekoliko tačaka:

- Nacionalne granične vrednosti za emisiju GHG zamenjuje jedinstvena granica za celu EU,
- Uključeni su dodatni GHG gasovi u ETS,
- Preko 40% emisionih jedinica razmenjeno je na aukcijama u 2013. godini, što znači da su aukcije postale osnovni metod za trgovinu,
- Značajan broj (oko 300 miliona) emisionih jedinica sačuvan je u rezervi za buduće članice EU i za finansiranje novih inovativnih tehnologija kroz razne programe.

Četvrta faza ETS-a počinje 2021, a završava se 2027. godine.

Jedna od briga, koja se najviše čuje od zagovornika poreskog sistema, jeste da će se preduzeća više baviti trgovinom i shvatati to kao novi način zarade, umesto da se posvete razvoju tehnologije i smanjivanju emisija GHG. Ovakav scenario bi smanjio potrebu za unapređivanjem tehnologija i smanjivanju emisija, i doveo do toga da politička motivacija i moć bude glavna vodilja ovakve strategije, umesto želja za poboljšanjem i očuvanjem životne sredine, što je osnovni cilj ovakve strategije.

3.2.3 Emisioni intenzitet

Emisioni intenzitet predstavlja količinu emisija određenog zagađivača u odnosu na neku aktivnost ili proces. Može da se definiše na više načina ali dva su najčešća, u zavisnosti od ugla posmatranja. S ekonomskog stanovišta, posmatra se količina emisije GHG (ili CO₂, ili nekog drugog gasa) u odnosu na BDP [100], pa se on može predstaviti jednačinom 3.1.

$$\text{Emisioni intenzitet} = \frac{\text{GHG}}{\text{BDP}} \quad 3.1$$

Sa druge strane, sa stanovišta energije, emisioni intenzitet predstavlja količinu emisija GHG po jedinici energije (MJ ili kWh) [101], pa jednačina dobija oblik 3.2

$$\text{Emisioni intenzitet} = \frac{\text{GHG}}{\text{Energija}} \quad 3.2$$

Analogno tome, na isti način se može definisati intenzitet ugljenika (CO₂), imajući u vidu da CO₂ ima najveći udeo u emitovanim GHG gasovima. Emisioni intenzitet je čvrsto povezan s energetske miksom države. Privreda u kojoj preovladava ugljen, kao osnovni izvor energije, proizvodi mnogo više emisije CO₂ po jedinici energije od privrede koja je bazirana na obnovljivim izvorima energije, te se može reći da takva privreda ima veći emisioni intenzitet. Povećanjem udela obnovljivih izvora energije (kao i nuklearne energije) smanjuje se emisija CO₂, pa se samim tim smanjuje i emisioni intenzitet [102].

3.2.4 Skladištenje ugljenika

Skladištenje ugljenika predstavlja tehnologiju kojom se ugljen-dioksid, koji se emituje u životnu sredinu, kao rezultat sagorevanja određenih fosilnih goriva, hvata iz velikih izvora zagađivanja⁴⁷, transportuje do određenog mesta za skladištenje i skladišti negde gde neće moći da dospe u atmosferu. Najčešće se CO₂ vraća u zemlju na mesta geoloških formacija, ili u vidu mineralnih karbonata. Skladištenje duboko u moru trenutno nije moguće zbog povećanja zagađenja okeana i povećanja kiselosti, ali je i to jedna od mogućnosti.

⁴⁷ Veliki izvori zagađenja vazduha, vode, zemlje, vazduha (buka) ili svetla (eng. *large point source of pollution*), kao što su elektrane, razne fabrike (npr. fabrika cementa), deponije, itd.

Cilj ove tehnologije jeste što brže smanjenje emisije CO₂ u atmosferu, kao i eliminisanje postojećeg. Iako se svest društva o očuvanju životne sredine drastično povećala u poslednjih nekoliko decenija, profit i dalje diktira celokupni razvoj, a samim tim i eksploataciju fosilnih goriva. To čini prelazak na alternativne izvore energije sporim procesom, i čini ovu tehnologiju potencijalno veoma neophodnom u budućim strategijama za očuvanje životne sredine. Sa druge strane, postoji mišljenje određenog broja eksperata da bi ova tehnologija izazvala mnogo više štete vraćanjem CO₂ u zemlju, te je o ovoj temi neophodno još diskutovati.

Primenjivanjem CCS tehnologije na trenutne fabrike i elektrane mogla bi da smanji njihovu emisiju CO₂ za čak 80-90% [103]. Takođe, procenjuje se da će korišćenje CCS tehnologije drastično povećati cenu proizvedene energije (do čak 91%) [103], pogotovo ako su fabrike daleko od mesta skladištenja. Međutim, sigurnost dugoročnog skladištenja CO₂ u zemlju je nepredvidiva i moguće je da se ponekad javi curenja CO₂ u atmosferu [104].

U ovom poglavlju predstavljeni su neki od osnovnih mehanizama koji se mogu primeniti na energetska politiku radi smanjenja emisija CO₂. Osim mehanizama, neophodno je pronaći najbolji način za njihovo sprovođenje kako bi se najbrže i najekonomičnije došlo do cilja. Neophodno je pronaći uticaj mehanizama na emisiju CO₂, prioritetizovati primenu mehanizama i zaključiti u kojem periodu, koliko dugo, i koliko investirati u određene mehanizme. Postoje različiti načini za to, a jedan od njih je korišćenje veštačke inteligencije.

3.3 Veštačka inteligencija

Izdvajanjem vrednih informacija iz velikih skupova podataka, njihovom analizom, proučavanjem i optimizacijom algoritama, klasifikaciju i predikciju bavi se inženjerska disciplina pod nazivom veštačka inteligencija (VI). Tu spadaju mašinsko učenje (eng. *machine learning*) i rudarenje podataka (eng. *data mining*). Postoje različiti modeli mašinskog učenja kao što su linearna regresija (LR, eng. *linear regression*), MPV, fazi logika, veštačke neuronske mreže, genetski algoritmi (GA).

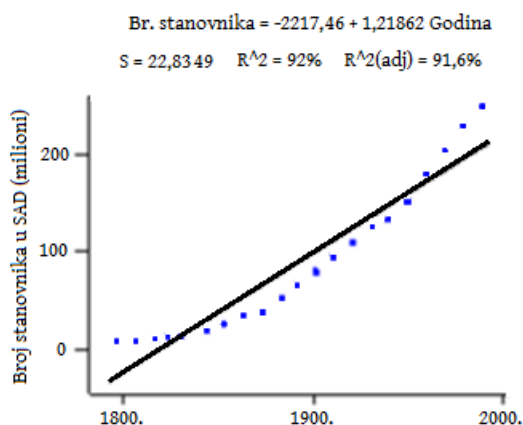
Linearna regresija je veoma korišćena zbog svoje jednostavnosti. Model potpunih vektora se bazira na statističkim teorijama učenja čija je ideja da se pronađe razdvajajuća funkcija (hiperravan), koja će razdvojiti dva skupa uzoraka, da se obavi obuka, a nakon toga da se ta hiperravan upotrebi kako bi se razdvojio novi skup uzoraka, te se ona najviše koristi za klasifikaciju podataka. Veštačke neuronske mreže su inspirisane biološkim neuronskim mrežama, uče iz iskustva i veoma dobro rešavaju nelinearne funkcije, sortiranje podataka, prepoznavanje šablona, optimizaciju, predikciju, itd. Genetski algoritmi su inspirisani algoritmom prirodne selekcije, pa do najboljeg rešenja dolaze velikim brojem iteracija ukrštajući i mutirajući inicijalne podatke.

Za predikciju podataka koriste se dva modela VI: 1) linearna regresija i 2) veštačke neuronske mreže, a pošto je u ovoj tezi naglasak upravo na tome, oni će biti detaljnije predstavljeni.

3.3.1 Linearna regresija

Linearna regresija je statistička metoda koja omogućava da se sumiraju i tumače veze između dve kontinualne veličine: nezavisne promenljive x i zavisne promenljive y . Najčešće korišćena je „Jednostavna linearna regresija“ koja predstavlja pronalazak prave koja

najbolje odgovara uzorcima (eng. *best fitting line*), tj. linije koja najmanje odstupa od svih izmerenih vrednosti, odnosno čija je suma kvadrata grešaka najmanja (slika 3.11).



Slika 3.11 - Vrednost R^2 je 92%, a sa grafika se vidi da vrednosti na osama nisu u linearnoj vezi. Kriva je jednostavno upala u posmatrani deo i dobijen je rezultat od 92%.⁴⁸

Prilikom pronalaska ove prave, treba uzeti u obzir što više podataka, kao i da budu što reprezentativniji. Uklanjanjem samo jednog podatka može se dobiti potpuno drugačiji rezultat. Iz tog razloga neophodno je odbaciti sve podatke koji su izvan granica prosečnih vrednosti (izlaze izvan okvira standardnih devijacija, eng. *outlier*), ako se zna da postoje. U LR postoje parametri kao što su R i R^2 koje daju neke opšte informacije o sistemu, ali nisu uvek sigurne. R predstavlja veličinu opsega od -1 do 1 , i označava nagib krive. Vrednost pokazuje koliko je jaka veza između x i y . Što je bliže 1 i -1 to je veza jača. R^2 govori koliko procenata y vrednosti se nalazi u opsegu, koji se smatra linearnom vezom sa x vrednostima. Na slici 3.11 je prikazan broj stanovnika u SAD od 1790 do 1990. godine i iako R^2 pokazuje 92%, sa slike je očigledno da funkcija nije linearna, ali su se podaci slučajno našli u posmatranom opsegu. Ovaj primer pokazuje da se osnovnoj statistici ne može uvek verovati.

Postoji razlika između eksperimenta sa jedne strane i studije na bazi opservacije sa druge strane. Eksperiment je studija u kojoj se kontrolisano menja jedna (ili više) promenljivih, dok je studija na bazi opservacije zapravo proces nasumičnog prikupljanja što većeg broja podataka, njihovog posmatranja i analiziranja. Tokom opservacije mogu da se jave razne relacije među podacima pa, ukoliko se analiziraju podaci metodom LR, nije moguće izvući bilo kakav zaključak samo iz R i R^2 vrednosti. Eksperiment, sa druge strane, omogućava realnije tumačenje podataka putem LR, jer se samo jedna promenljiva menja u procesu, dok se sve ostale drže konstantnim, pa je samim tim svaka promena u rezultatu (najverovatnije) direktna posledica promene nezavisne promenljive. Imajući to u vidu, metodu LR i vrednosti R i R^2 najviše ima smisla koristiti u slučaju eksperimenta.

3.3.2 Veštačke neuronske mreže

Veštačke neuronske mreže predstavljaju sistem za klasifikaciju i predikciju podataka koji ima mogućnost učenja, adaptacije, memorisanja, prepoznavanja šablona i generalizacije.

Proučavanjem ljudskog mozga uvidelo se da on funkcioniše u potpunosti drugačije od konvencionalnih računara i algoritama koji se koriste. Ljudski mozak je mnogo kompleksniji, nelinearan i ima sposobnost obavljanja operacija u paraleli. Sposoban je da organizuje svoje komponente, poznate kao neuroni, u strukturu kakva najviše odgovara rešavanju određenih problema [105].

⁴⁸ Izvor: PennState, Eberly College of Science, kurs „STAT501“, <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat501/lesson/1/1.8/1.8.2>.

Članak [106] imao je veliki uticaj i inspirisao naučnike da krenu u ovom pravcu. Autori su predstavili neuron koji je bio model biološkog neurona. Početkom pedesetih godina prošlog veka *Marvin Minsky* je konstruisao neuroračunar pod imenom *Snark* (1951). *Frank Rosenblatt* je, nakon toga, konstruisao jednoslojnu neuronsku mrežu – Perceptron. Ova mreža je mogla da podešava težinske koeficijente (koji predstavljaju suštinu VNM), ali se nije najbolje pokazala u praksi. Krajem pedesetih su *Frank Rosenblatt* i *Charles Wightman* uspjeli da razviju prvi neuroračunar nazvan *Mark*. Nakon toga *Bernard Widrow* u saradnji sa svojim studentima definisao je novi tip neurona nazvan ADALINE, adaptivni linearni element (eng. *ADaptive LINear Element*). Posle dokazivanja da VNM ne može da reši problem XOR [107] dolazi do zastoja napretka ove oblasti sve dok razvoj procesne moći računara nije došao do potrebnog nivoa, kao i dok nije došlo do pronalaska metode propagacije greške unazad (osamdesete godine prošlog veka).

VNM su po svojoj strukturi, funkciji i obradi podataka slične biološkim neuronskim mrežama. Prednost u odnosu na druge, klasične metode je ta što one mogu da rešavaju nelinearne probleme tipa prepoznavanja govora i oblika. Takođe, jedna od bitnih osobina jeste njihova sposobnost učenja na neograničenom skupu primera. VNM mogu da se opišu kao modeli računara koji mogu da:

- uče i da se adaptiraju,
- generalizuju,
- klasifikuju i organizuju podatke i
- obavljaju operacije paralelno

One simuliraju rad nekih funkcija Centralnog nervnog sistema (CNS). Sastoje se od vrlo jednostavnih procesnih jedinica – **neurona** (čvorova), koji međusobno komuniciraju i na taj način „imitiraju“ mrežu neurona biološkog CNS. Veze između neurona se nazivaju **težine** (po uzoru na sinapse u biološkim neuronskim mrežama) i imaju veliku ulogu u memorisanju i učenju VNM. Učenje kod bioloških sistema obavlja se regulisanjem sinaptičkih veza između aksona i dendrita, dok se kod VNM reguliše podešavanjem težinskih vrednosti između neurona. Jedna od opšteprihvaćenih definicija neuronske mreže [105] glasi:

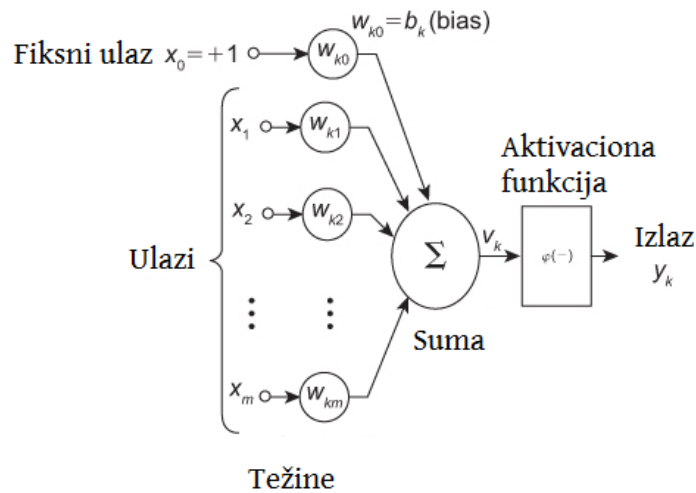
Neuronska mreža je masovno paralelizovan, distribuirani procesor sačinjen od jednostavnih procesnih jedinica koje imaju prirodnu sklonost za skladištenje znanja stečenih iskustvom i omogućavanje njegovog korišćenja u budućnosti. Podseća na mozak sa dva aspekta:

- Mreža stiče znanje iz okoline putem algoritma za učenje
- Težine veza između neurona, poznate kao sinaptičke veze, se koriste za skladištenje stečenog znanja

3.3.2.1 Model veštačkog neurona

Veštački neuroni imaju jednostavnu strukturu i slične funkcije kao i biološki neuroni. Sastoje se od tela neurona koje se naziva **čvor** ili **jedinica** i mnoštva težinskih koeficijenata koji ulaze u telo – težine. Težine su veze sa drugim neuronima iz prethodnog sloja koje se onda sabiraju, a na kraju se dodaje i još jedna vrednost – *bias*⁴⁹, koja je nezavisna od drugih i služi da koriguje sumu (slika 3.12).

⁴⁹ Dodatni parametar u računanju vrednosti neurona, koji služi za ponderisanje i korekciju ulaza u neuron. Ovaj engleski naziv je ustaljen i u srpskom jeziku i nema adekvatan prevod te će biti korišćen kao takav u daljem tekstu.



Slika 3.12 – Model veštačkog neurona. $x_{1..n}$ – ulazni podaci, $w_{1..n}$ – težinski koeficijenti, b – bias.

U jednačini, x_i predstavlja ulaz u neuron, w_i težine koje odgovaraju ulazu, a b je bias. Ovako definisana aktivaciona funkcija znači da je izlaz iz neurona čisto suma ulaza pomnoženih sa svojim težinama i biasa. Pozitivne težinske vrednosti w_i se smatraju ekscitacijom, dok se negativne w_i smatraju inhibicijom neurona. Svaki neuron ima dva jednostavna zadatka:

1. da primi signale od drugih izvora i iskoristi ih za računanje svog izlaza koji se dalje propagira kroz sistem, i
2. da podešava težine.

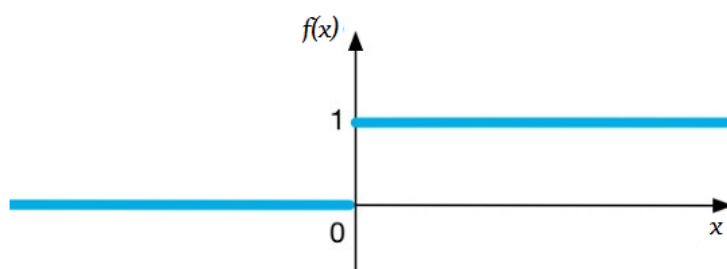
Mreža je tako organizovana da svaki neuron može da obavlja svoj zadatak u paraleli s ostalima iz istog sloja.

Za svaki sloj mreže definisana je **aktivaciona funkcija** koja predstavlja „mozak“ neurona i određuje da li će se neuron aktivirati (i u kojoj meri) ili ne. Ona može biti linearna i nelinearna i direktno utiče na ponašanje čitavog sistema. Osnovna vrsta aktivacione funkcije jeste step funkcija kod koje postoji jasan prag koji suma treba da dostigne kako bi se neuron aktivirao. Druge funkcije su složenije i nemaju jasnu granicu, nego u zavisnosti od vrednosti sume neuron se aktivira u određenoj meri. Najčešće korišćene aktivacione funkcije, koje mogu da rešavaju kompleksne probleme su upravo te, složenije, te će one biti dalje razmatrane.

3.3.2.2 Perceptron

Perceptron je najjednostavnija VNM koju je predložio *Frank Rosenblatt* 1957. godine, i sačinjena je samo od ulaza i izlaza, tj. nema dodatnih skrivenih slojeva. Ona sadrži aktivacionu *step* funkciju, a izlaz se dobija tako što se ona primeni na sumu svih ponderisanih ulaza.

Aktivaciona funkcija je prikazana na slici 3.13 i definiše se prema 3.3.



Slika 3.13 - Aktivaciona „step” funkcija za perceptron.

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad 3.3$$

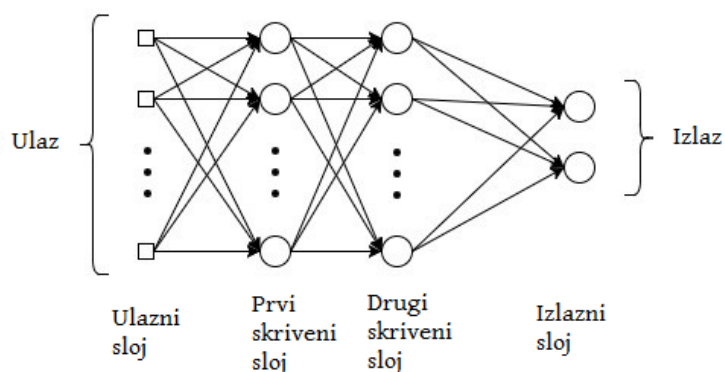
3.3.2.3 Aktivaciona funkcija

Aktivacione funkcije su vrlo bitne jer se mreža u zavisnosti od njih može ponašati na različite načine. Ako je aktivaciona funkcija linearna onda se mreža ne razlikuje puno od drugih, konvencionalnih metoda i ne može da rešava kompleksnije probleme (što joj je u većini slučajeva namena).

Nelinearne funkcije koje se najčešće koriste su sigmoidalna, arkustangens i gausova. U zavisnosti od ciljne vrednosti (izlaza koji je želi dobiti), u izlaznom sloju treba birati odgovarajuće aktivacione funkcije koje odgovaraju raspodeli ciljnih vrednosti. U slučaju da su one pozitivni brojevi koji sa gornje strane nisu ograničeni, najbolje je koristiti eksponencijalnu funkciju.

3.3.2.4 Topologija VNM

Prve VNM su se sastojale samo od ulaza i izlaza – perceptron. Danas se uglavnom sastoje od ulaznog, jednog ili više skrivenih, i izlaznog sloja (eng. *Multilayer Perceptron* – MLP). Izlazi iz neurona prethodnog sloja se šalju na ulaze u neurone u naredni sloj tako da je svaki izlaz povezan na svaki ulaz. Tipičan model VNM predstavljen je na slici 3.14.



Slika 3.14 – Izgled (arhitektura) tipične VNM – višeslojni perceptron.

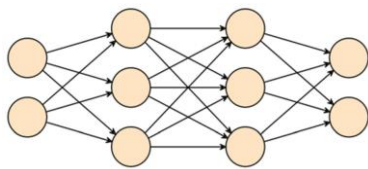
Veštačke neuronske mreže mogu da se podele na više načina, a najznačajnije podele su prema:

1. Broju slojeva,
2. Vrsti veza između neurona i
3. Vrsti obučavanja.

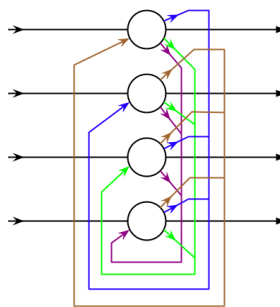
Prema broju slojeva, VNM mogu biti jednoslojne i višeslojne. Danas se uglavnom izučavaju i primenjuju višeslojne VNM koje pored ulaznih i izlaznih slojeva sadrže skrivene slojeve.

Prema vrsti veza, tj. arhitekturi, VNM se dele na:

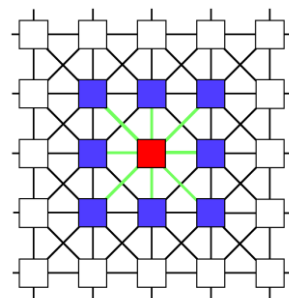
1. Slojevite – neuroni su raspoređeni tako da formiraju slojeve. Na ulaz jednog neurona se dovode izlazi svih neurona iz prethodnog sloja, a njegov izlaz se vodi na ulaze svih neurona u narednom sloju. Neuroni iz prvog (ulaznog) sloja imaju samo po jedan ulaz. Izlazi neurona sa poslednjeg (izlaznog) sloja predstavljaju izlaze mreže (slika 3.15),
2. Rekurentne povezane – izlaz jednog neurona se vodi ka ulazu svih neurona u mreži. Tipičan predstavnik je Hopfildova NM (slika 3.16),
3. Čelijske – međusobno su povezani samo susedni neuroni. Bez obzira na lokalnu povezanost, signali se prostiru i na neurone izvan susedstva zbog indirektnog prostiranja informacija. Predstavnik je Čelijska neuronska mreža (eng. *cellular neural network*) (slika 3.17).



Slika 3.15 - Slojevita VNM.



Slika 3.16- Potpuno povezana VNM.



Slika 3.17- Čelijska VNM.

Kako bi VNM dala željene rezultate potrebno ju je na adekvatan način obući. To može da se uradi ili eksplicitnim podešavanjem težina ili kroz automatski proces obuke. Obuka podrazumeva predstavljanje primera (parovi ulaz-izlaz) mreži na osnovu kojih ona samostalno podešava težine. Postoji više vrsta obuke:

1. Nadgledano učenje
2. Polunadgledano i
3. Nenadgledano učenje

Nadgledano učenje podrazumeva da obučavajući skup primera sadrži „označene“ podatke (eng. *labeled data*), tj. podatke čiji je izlaz (rezultat) poznat. Drugim rečima, prilikom obuke, mreži se prikazuju ulazne vrednosti, kao i očekivane vrednosti koje odgovaraju tim ulazima. Na osnovu toga, algoritam koji nadzire obuku (eng. *supervisor*) upoređuje podatke dobijene na izlazu mreže s očekivanim (stvarnim) podacima. Razlika između dobijenih i očekivanih podataka predstavlja grešku koja se prosleđuje algoritmu za korekciju koji, dalje, koriguje težinske vrednosti mreže. Korekcija težina može da se obavlja raznim algoritmima, a najpoznatiji i najčešće korišćen je algoritam za propagaciju greške unazad⁵⁰ (eng. *back-propagation algorithm*). Ovaj proces sličan je procesu učenja studenta koga mentor „vodi“ tokom studija, ukazuje na greške i propuste i usmerava ka željenom cilju.

⁵⁰ Eng. *Back propagation* - predstavlja algoritam u kojem se greška izlaza propagira unazad kako bi se korigovale težine svih neurona u cilju minimizacije greške.

Nenadgledano učenje predstavlja potpuno samostalno učenje VNM, traženje zavisnosti među podacima, i samostalno grupisanje (klasterovanje). Obučavajući skup se sastoji samo od podataka ulaza, bez očekivanih vrednosti na izlazu. VNM pokušava samostalno da generalizuje i „uoči“ zajedničke osobine podataka. Osnovni predstavnici su Kohoneove samoorganizujuće mape (eng. *Kohonen self-organising maps*).

Polunadgledano učenje predstavlja kombinaciju nadgledanog i nenadgledanog učenja. Obučavajući skup se sastoji od većine podataka za koje se ne zna izlaz simulacije (podaci nisu „označeni“), ali i manjeg skupa podataka koji su označeni, tj. za koje je očekivani izlaz poznat. Drugim rečima, mreže uče samostalno, a povremeno dobijaju ocenu prethodnog rada.

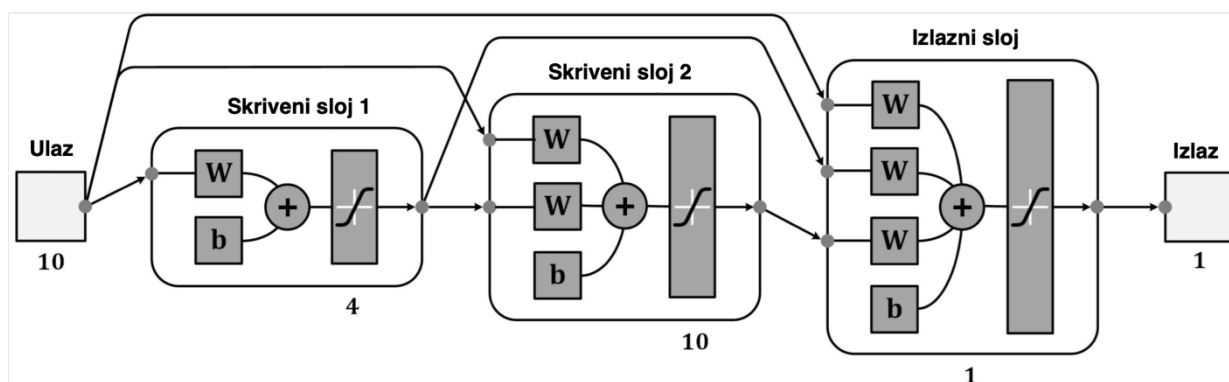
Moć VNM se ispoljava kroz dve stvari:

1. Njihovu paralelnu strukturu (brzina) i
2. Mogućnost učenja, a samim tim generalizacije.

Pod generalizacijom se podrazumeva da VNM mogu da daju smislene izlaze za ulaze koje do tog trenutka „nisu videle“, tj. nisu predstavljeni tokom obuke. Ove dve stvari omogućavaju VNM da rešavaju visoko nelinearne probleme koji su trenutno nerešivi konvencionalnim metodama.

Baziraju se na učenju iz iskustva, tj. koristeći stvarne (snimljene) podatke i na osnovu toga obavlja se korekcija međuneuronskih težina kako bi se dobio tačno onaj izlaz koji je dobijen u stvarnim uslovima (nadgledano učenje). Ovakva struktura i proces učenja omogućuju VNM da modeluju i razumeju sistem iako prilikom definicije sistema nisu bile u potpunosti poznate zavisnosti ulaza i izlaza, kao ni detalji funkcionisanja sistema. Na taj način povećava se robusnost i smanjuje osetljivost na promene unutar ulaznih podataka [108][109]. To omogućuje VNM generalizaciju i analizu sistema i predstavlja njihovu osnovnu prednost u odnosu na matematičke modele. U matematičkim modelima, svaka promena u ulazu se direktno oslikava na izlaz (kao što je definisano formulom), dok je kod VNM veza između određene promenljive i izlaza veza distribuirana kroz celu VNM, tj. zavisnosti između ulaza i izlaza su inkorporirane u celu mrežu. Drugim rečima, promene u ulazima nisu proporcionalne promeni izlaza, nego se ulazi uzimaju s određenom rezervom, posmatraju se kroz prizmu iskustva VNM koje je stečeno u procesu obuke, i na osnovu toga se koriguje izlaz.

Najčešće korišćen model VNM jeste višeslojni perceptron, jer ima široku primenu i može da da veoma dobre rezultate u mnogim oblastima. Postoje parametri koji mogu da se podešavaju kako bi se arhitektura prilagodila određenom problemu, kao što su broj skrivenih slojeva, broj neurona u skrivenim slojevima, kao i aktivacione funkcije. U ovom istraživanju korišćen je modifikovani oblik MLP-a kako bi se arhitektura još više prilagodila problemu. Kaskadna nerekurzivna neuronska mreža sa propagacijom greške unazad slična je MLP-u, s tim da se ulazi u VNM propagiraju na sve slojeve mreže (a ne samo na prvi skriveni sloj). Njena struktura je prikazana na slici 3.18. Na osnovu prikazane povezanosti, dat je veći značaj ulazu i svaki sloj mreže postaje svestan svakog ulaza. Na taj način CFBP ima mogućnost da brže nauči određeni sistem, što ima veliku ulogu u slučajevima kada obučavajući skup podataka nije veliki. Takođe, mreža lakše može da nauči kompleksne probleme i zavisnosti između ulaza i izlaza, a samim tim i da da bolji rezultat predikcije (literatura koja koristi ovu vrstu mreže prikazana u poglavlju 2.3).



Slika 3.18 – Arhitektura kaskadne nerekurzivne veštačke neuronske mreže sa propagacijom greške unazad (CFBP).

3.3.2.5 Domeni primene

U početku su VNM koristili samo naučnici računarskih i kognitivnih nauka koji su pokušavali da modeliraju čulni sistem živih organizama. Danas VNM predstavljaju veoma atraktivnu oblast istraživanja i koriste se praktično svuda.

Njihova primena je sve više zastupljena, pre svega, zbog svog „čistog“ modela i jednostavne implementacije kao i dobrih performansi. U problemima u kojima ne postoji tačno definisana zavisnost između ulaza i izlaza i postoji visok stepen nepredvidivosti, VNM daju veoma dobre rezultate [110]. U praksi VNM pokazuju najbolje rezultate ukoliko se koriste u kombinaciji sa drugim metodama, pa se često integrišu u veći sistem. Kombinovanjem više VNM koje obavljaju manje poslove mogu se postići bolji rezultati, a svaka VNM se posebno struktira prema problemu koji rešava. Neke od primena predstavljaju:

- Prepoznavanje oblika, rukopisa, govora
- predviđanje kretanja cena na tržištu,
- upravljanje sistemima,
- analizu električnih kola,
- psihijatrijske procene,
- naftna istraživanja,
- kriminološka istraživanja,
- vremensku prognozu,
- u bioračunarskim sistemima,
- ispitivanje EEG⁵¹ i EKG⁵² signala,
- pronalaženje optimalnog rešenja,
- upravljanje robotima,
- analizu medicinskih testova.

⁵¹ Elektroencefalogram.

⁵² Elektrokardiogram.

4

ISTRAŽIVANJE

Cilj ovog istraživanja jeste da se korišćenjem veštačkih neuronskih mreža obavi analiza velikih energetske sistema. U prvom delu urađena je analiza dosadašnje energetske politike i energetske sistema na primeru Evropske unije i identifikovani su indikatori koji će obezbediti najbolji način da se dosadašnje znanje predstavi neuronskim mrežama. Drugi deo istraživanja obuhvata konstruisanje specifičnog modela VNM (odabir adekvatne arhitekture, i podešavanje parametara mreže), obučavanje i simulaciju sistema, a nakon toga i analizu dobijenih rezultata. Predstavljena su dva metoda za predikciju emisija CO₂, a zatim je drugi metod iskorišćen za analizu dva scenarija definisana dokumentom ERM2050.

Metod 1. Pronalazak odgovarajućeg modela VNM, obuka i simulacija, radi predikcije emisije CO₂ do 2050. godine.

Metod 2. Unapređenje metodologije metoda 1, radi bolje predikcije emisija CO₂ do 2050. godine.

Osnovni princip dobrog upravljanja sistemima predstavlja upravljanje u zatvorenoj povratnoj sprezi, što znači da je neophodno da postoji povratna informacija o funkcionisanju sistema. Za upravljanje energetskim sistemom kroz energetske i ekonomske politike neophodno je imati relevantne i merljive rezultate delovanja tih politika. Pošto je formiranje, usvajanje, a naročito primena zakona, veoma spor proces, *kasna* povratna informacija ima veoma mali značaj, te je nemoguće izbeći posledice dotadašnje politike. Ideja ovog istraživanja jeste da se opiše delovanje energetske (i ekonomske) politike pomoću deset indikatora (tj. da se kvantifikuje politika) koji utiču na emisiju CO₂ (direktno ili indirektno) i na osnovu kojih može da se donese zaključak o emisiji CO₂. Stoga, prva hipoteza glasi:

Identifikovanih deset indikatora predstavlja dovoljan skup podataka za opis i predikciju emisija CO₂.

Hipoteza 1.

Pretpostavka je da ovi indikatori opisuju kompleksni energetski sistem u dovoljnoj meri da jednoznačno (tj. sa prihvatljivom preciznošću) određuju emisiju CO₂. Takođe, indikatori su identifikovani tako da se (gotovo) svaka promena u energetskoj politici odražava i na promenu vrednosti indikatora. Indikatori predstavljaju kvantifikovano stanje celokupnog sistema, sa stanovišta procene emisija CO₂, u određenom trenutku. Na osnovu ovih pretpostavki, dalje, promenom politike direktno se menjaju vrednosti indikatora (brže ili sporije), što, kao posledicu, podrazumeva i promenu emisija CO₂. Bitno je naglasiti da sâm model sistema opisan VNM *nije* svestan vremenske dimenzije direktno, ali se ona promenom indikatora (koji predstavljaju ulazne podatke) indirektno unosi u sistem.

4.1 Indikatori

Prilikom donošenja odluka o korišćenju određene vrste energije, ulaganju u tehnologije za proizvodnju, kao i načina distribucije, veoma je bitno imati informacije i sagledati situaciju sa ekonomskog, energetskeg, socijalnog, ali i sa stanovišta životne sredine. Potrebno je pronaći način merenja trenutnih i predviđanja budućih efekata delovanja mera i akcija kako bi se život i zdravlje ljudi i životne sredine (vazduh, zemlju, vodu) unapredilo. Iz tog razloga definišu se energetske indikatori kojima se kvantifikuju određene pojave u energetskeg sistemu i na osnovu kojih se mogu izvesti određeni zaključci. Na konferenciji Ujedinjenih nacija za okolinu i održivi razvoj 1992. u Rio de Žaneiru, prepoznata je važnost indikatora za donošenje informativnih odluka. U poglavlju 40 Agende 21 (1992) pozivaju se sve države, vladine i nevladine organizacije i institucije da pomognu u definisanju indikatora koji će pomoći održivom razvoju.

Energetske indikatori nisu samo podaci, brojke, nego predstavljaju informacije koje daju dublje razumevanje glavnih problema u određenim oblastima, kao i razumevanje o međuzavisnostima koje se na prvi pogled ne vide iz osnovne statistike. Osim informacija i značenja koje samostalno daju, indikatori mogu da daju još bolju sliku čitavog sistema ukoliko se sagledaju zajedno, kao grupa. Takođe mogu se lakše uočiti potrebni kompromisi između više različitih indikatora kako bi se dostigao željeni cilj. Od velikog značaja su za povezivanje industrije, politike i ekonomije i ostvarivanje njihovog međusobnog dijaloga jer daju jasne informacije o napredovanju (ili nazadovanju) energetskeg sistema koja je posledica delovanja politika, primene tehnologija i drugih preduzetih mera i akcija. Kreatori politika moraju da znaju u kakvom je trenutno stanju država (entitet), šta treba da se popravi i na koji način, kao i da razumeju implikacije za određene programe i planove u vezi sa energijom, životnom sredinom i ekonomijom, i način na koji će oni da deluju. Korišćenjem energetskeg indikatora kreatori politika imaju jasan skup podataka koji će voditi njihove odluke ka cilju, kao i na osnovu kojih će pratiti delotvornost prošlih politika. Samo iz potpunog razumevanja čitavog kompleksnog socio-ekonomsko-političko-energetskeg sistema može da se dođe do održivog razvoja, a za to su potrebni određeni indikatori [85][12][111].

4.1.1 Bruto domaći proizvod

BDP predstavlja kvantifikaciju životnog standarda, a što je veći standard to je i zahtev za energijom veći. Povećanjem zahteva za energijom, povećava se i proizvodnja energije, a samim tim i emisija CO₂, pošto su (još uvek) nafta i ugljen dominantni resursi za proizvodnju energije. Samim tim, BDP predstavlja važan indikator o uticaju energetske politike na emisiju CO₂. Sa stanovišta korisnika, grejanje, hlađenje, korišćenje automobila, rasveta i ostale pogodnosti čine život lakšim, a sve to zahteva energiju. Dostupnost energije utiče na sve oblasti života, materijalnu, socijalnu, ali i psihološku. Ukoliko je dostupnost energije veća i život je lakši i postaje komforniji. Međutim, povećanjem BDP-a zadovoljene su elementarne potrebe ljudi i obezbeđena je sigurnost, pa svest o opštem društvenom interesu raste. Pošto je energetska efikasnost jedan od ključnih alata svake energetske politike, a tesno je povezana sa povećanjem životnog standarda, povećanje BDP-a bi, zapravo, nakon određene granice mogao da doprinese smanjenju potrošnje energije.

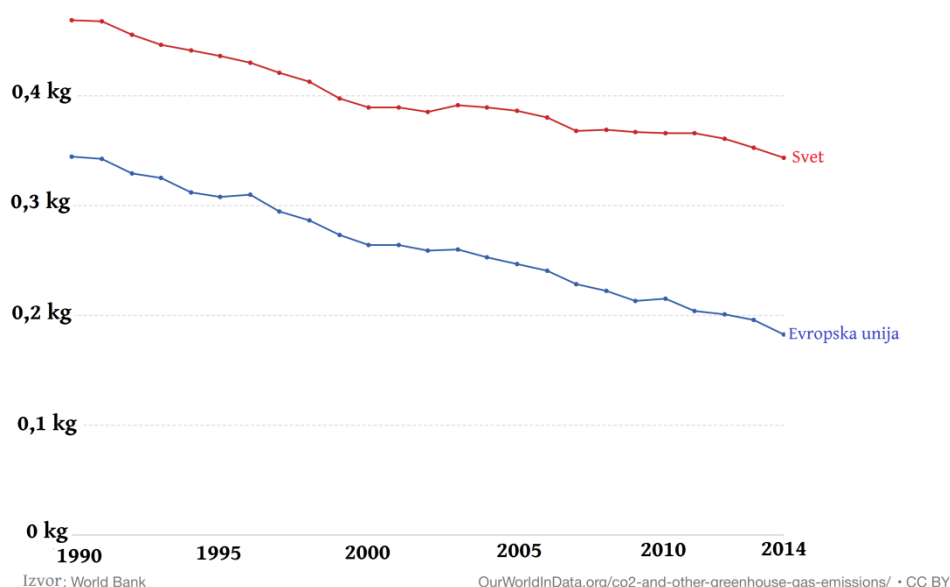
Gledano kroz istoriju, emisije su se povećavale porastom potrošnje goriva, a energija i dalje nastavlja da bude najbitniji faktor ekonomskog prosperiteta.

BDP svakako nije jedini faktor koji utiče na emisiju CO₂ u državi, što se vidi iz činjenice da postoje države koje imaju sličan BDP, ali različitu emisiju CO₂. Ova razlika potiče iz intenziteta ugljen-dioksida samih privreda (eng. CO₂ *intensity of economies*, češće samo CO₂

intenziteta), koji predstavlja zavisnost CO₂ i BDP-a po jedinici mere (tj. (kg CO₂)/(USD internacionalni)), a zavisi najviše od dva faktora :

1. Energetske efikasnosti (eng. *energy efficiency*) i
2. Intenziteta ugljenika (eng. *carbon intensity*)

Energetska efikasnost podrazumeva smanjenje potrošnje energije unapređenjem tehnologije i povećanjem stepena korisnosti uređaja, dok intenzitet ugljenika podrazumeva korišćenje energenata koji oslobađaju GHG (energenti koji oslobađaju manje ugljenika prilikom sagorevanja imaju manji intenzitet ugljenika). Od 1990. intenzitet ugljenika opada (slika 4.1), čemu doprinosi poboljšanje u energetske i tehnološke efikasnosti, ali i povećanju korišćenja obnovljivih izvora energije [112]. Najveći intenzitet privrede se trenutno vidi u zemljama istočne Evrope, Aziji i južnoj Africi što se može povezati sa velikom količinom uglja koja se koristi za proizvodnju energije. Pored intenziteta ugljen-dioksida često se spominje i energetske intenzitet (eng. *energy intensity*) koji predstavlja meru jedinice energije po jedinici BDP-a. Drugim rečima, što je veći energetske intenzitet to je veća cena konverzije energije u BDP i obrnuto.



Slika 4.1 – Emisioni intenzitet privrede država.

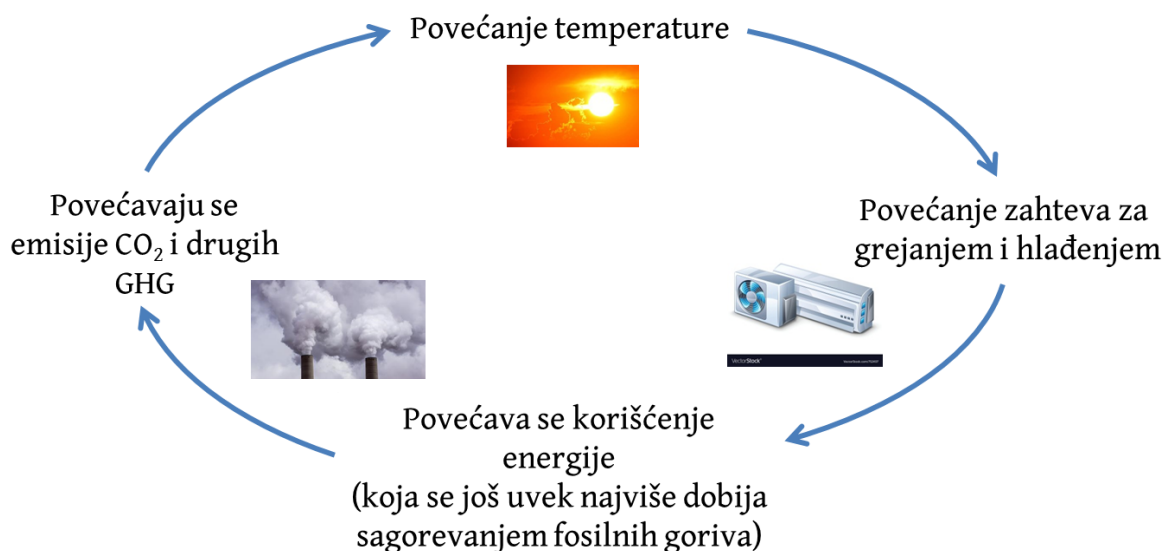
Takođe, osim CO₂, i azot-oksidi i metan utiču na klimatske promene, a oni se veoma intenzivno oslobađaju u prehrambenoj industriji i poljoprivredi pre svega. Pošto je i količina unosa hrane (pre svega, mesa) strogo povezana sa standardom ljudi (BDP), tako su i emisije ovih gasova znatno veće u razvijenim državama što problem emisija ukupnih GHG čini još većim.

4.1.2 Broj stanovnika

Prethodno poglavlje pokazalo je uticaj BDP-a na emisiju CO₂ po glavi stanovnika, tj. linearnu zavisnost. Iz ovoga nije teško zaključiti da ako postoji zavisnost BDP-a po glavi stanovnika sa emisijom CO₂, tada i broj stanovnika (populacija) ima veoma veliki uticaj na količinu CO₂ koja se emituje u atmosferu. Porastom populacije, pre svega u razvijenim zemljama, povećava se potražnja energije, pa je i trend populacije bitan indikator za uticaj emisija CO₂. Izveštaj [100] navodi broj stanovnika i BDP kao osnovne uzročnike za emisiju CO₂ neke države.

4.1.3 Prosečna globalna temperatura

Jedan od takođe važnih energetske indikatore jeste prosečna globalna temperatura. Sa jedne strane, zbog efekta staklene bašte temperatura vazduha je u direktnoj vezi sa količinom CO₂ u atmosferi, dok sa druge strane samom promenom temperature menjaju se i navike ljudi kako bi sebi obezbedili što lagodniji život. Povećanje emisija GHG i ubrzavanje klimatskih promena manifestuje se, pre svega, sve učestalijom i naglom promenom vremena, kao i snažnijim vremenskim nepogodama. Svedoci smo sve češćih hladnih dana leti, toplijih dana zimi, kao i drastičnih razlika temperatura u kratkom vremenskom periodu (u roku od jednog dana temperatura može da se promeni sa 5 na čak 35 stepeni Celzijusovih, tj. promena od 30 stepeni). Ovakve pojave imaju veoma loš uticaj na zdravlje ljudi pa je, zarad zdravlja, ali i komfora, neophodno kompenzovati te promene. Porastom temperature povećava se i potrošnja električne energije zbog upotrebe rashladnih (klima) uređaja, dok sa opadanjem temperature povećava potražnja za toplotnom energijom odnosno grejanjem. Drugim rečima, povećanje emisija CO₂ utiče na povećanje globalne temperature, koja svojim efektima menja klimu planete, čije se posledice kompenzuju povećanjem energetske intenziteta, koji, sa druge strane, ukoliko dolazi iz goriva većeg intenziteta ugljenika, stvara sve veći efekat staklene bašte i uzrokuje povećanje prosečne globalne temperature (slika 4.2).



Slika 4.2 – Prikaz ciklusa emisije CO₂ i povećanja temperature na planeti i ulazak u pozitivnu povratnu spregu.

4.1.4 Potrošnja električne energije

Električna energija ima veoma veliki udeo u finalnoj potrošnji energije. Ona je „univerzalni“ oblik energije koji je široko primenljiv. Električna energija se sve više koristi (za grejanje, hlađenje, transport, itd.), a onda, korigovanjem načina njenog dobijanja (promenom tehnologije ili promenom vrste goriva koji se koristi) postiže se globalni efekat smanjenja emisija. Naravno, postoje sektori kod kojih nije isplativo ili je nemoguće da budu elektrifikovani, pa će ostali izvori energije svakako ostati prisutni. Takođe, većim korišćenjem električne energije očekivano je unapređenje tehnologije i povećanje efikasnosti i isplativosti.

Promenom klime, kao što je navedeno u poglavlju 4.1.3, javlja se potreba za hlađenjem i grejanjem, što podiže potrošnju električne energije. Ako se na to doda i činjenica da su najveći svetski lideri iz Evropske unije prepoznali elektrifikaciju i sve veće korišćenje obnovljivih izvora energije kao neophodno rešenje na duže staze za smanjenje emisija CO₂,

jasno se vidi značaj ovog indikatora. Količina električne energije, kao i način (izvor) na koji je ona dobijena, direktno utiče na proizvodnju emisija kako CO₂, tako i ostalih GHG gasova.

4.1.5 Ukupna potrošnja primarne energije

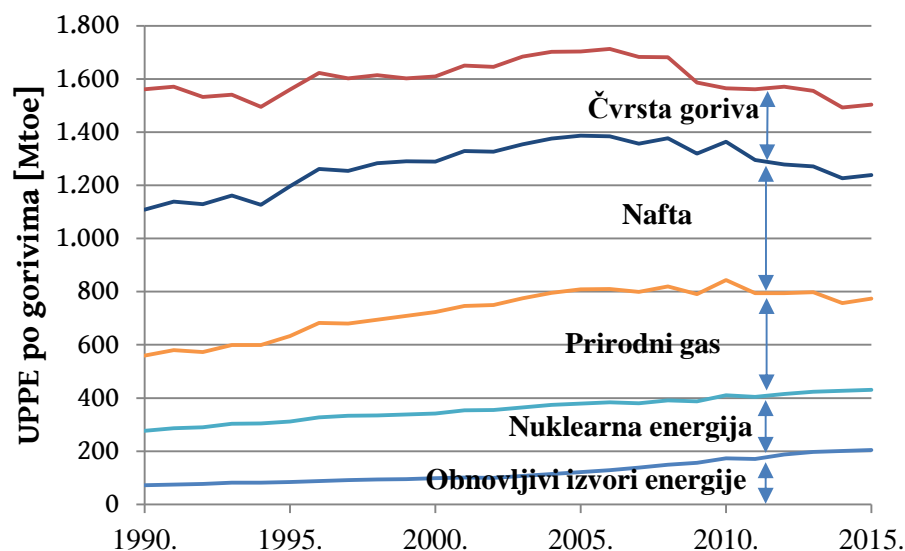
Primarna energija predstavlja formu energije koja se može pronaći u prirodi, bez čovekove obrade. Ona obuhvata najpre fosilna goriva (ugalj, nafta, prirodni gas), kao i nuklearno gorivo kao neobnovljive izvore energije, ali i obnovljive izvore energije kao što su sunčevo zračenje, snaga vetra, voda, plima i oseka, talasi, geotermalna toplota, biogoriva, itd.

Snaga vetra i sunčevo zračenje predstavlja praktično neiscrpni izvor energije i teško ih je kvantifikovati, pa je stoga prihvaćena konvencija Ujedinjenih nacija da se zapravo primarnom energijom smatra električna energija dobijena iz ova dva resursa. Prilikom konverzije sunčevog zračenja i snage vetra u električnu energiju postoje veliki gubici koji se kreću od 60-80%, pa je stoga ova energija u izveštajima inferiornija u odnosu na fosilna goriva. Kao posledica, otvorena je debata na internacionalnom nivou o tome kako treba računati ovu vrstu energije. Takođe, to otvara mogućnost za velikim napretkom i povećanjem udela električne energije ukoliko se „samo“ gubici prilikom konverzije energije smanje.

UPPE predstavlja ukupnu primarnu energiju koja se potroši u određenom entitetu, uzimajući u obzir i uvezenu i izvezenu, kao i uskladištenu energiju. Podatak o količini proizvedene energije predstavlja veoma značajan energetski indikator jer je, kao što je ranije navedeno, u direktnoj vezi s emisijom CO₂.

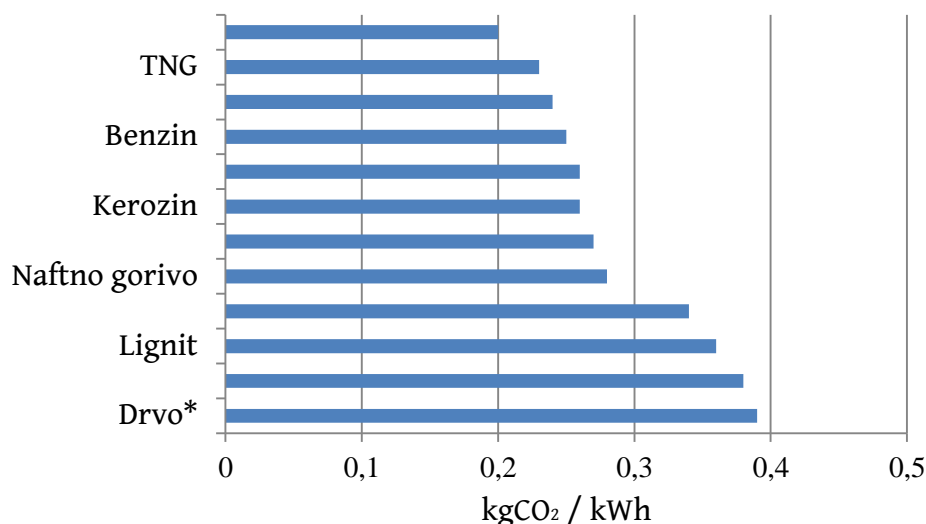
4.1.6 Udeo različitih goriva u UPPE

Iako povećanje potrošnje primarne energije može da, na prvi pogled, dovede do zaključka da se koncentracija CO₂ u atmosferi povećava, promena udela određenih izvora energije (promena energetskog miksa, eng. *energy mix*) u celokupnoj proizvodnji energije može da dovede do drastičnog smanjenja emisije CO₂. Promenom strukture goriva koja se koriste prilikom proizvodnje energije, zavisnost između emisija CO₂ i proizvodnje primarne energije postaje mnogo kompleksnija. Povećanjem korišćenja obnovljivih izvora energije znatno se mogu smanjiti emisije CO₂, bez obzira na porast UPPE. Na slici 4.3 je prikazana promena udela pojedinih goriva u UPPE za EU28 od 1990. do 2015. godine [12].



Slika 4.3 – Ukupna primarna potrošnja energije predstavljena po gorivima u EU28.

Može se primetiti da najveći udeo u energetsom miksima imaju fosilna goriva (tečna goriva, čvrsta goriva i prirodni gas) koji imaju veoma jak uticaj na emisiju CO₂, sa čvrstim gorivima (drvo i ugalj), kao najvećim emiterima CO₂. Slika 4.4 prikazuje uticaje pojedinačnih goriva na emisiju CO₂ kako bi se uvidela ozbiljnost uticaja fosilnih goriva na planetu. Prikazana je emisija CO₂ (kg) po kWh različitih goriva.



Slika 4.4 – Količina emisija CO₂ koja se oslobodi sagorevanjem fosilnih goriva.⁵³

Kako bi se dostigao održivi razvoj, od ključnog je značaja obratiti pažnju na energetske mikse i smanjiti udeo goriva sa najvećim uticajem na životnu sredinu.

Prilikom definisanja indikatora koji će se koristiti za predstavu energetske politike i u budućnosti, potrebno je imati u vidu da je vrlo moguće da će se pronaći neke nove tehnologije, koje će drastično uticati na neki segment energetske politike. Prikazani odabrani set indikatora omogućuje da se opišu gotovo sve promene, kao i potencijalne nove tehnologije, koje će umnogome uticati na dalji razvoj sistema. Na primer, ukoliko bi se pronašla nova tehnologija kojom bi energija sunca mogla efikasnije da se iskoristi, to bi se odrazilo na set indikatora tako što bi udeo obnovljivih izvora energije u UPPE-u drastično porastao, dok bi se udeli drugih goriva smanjili. VNM će tokom obuke naučiti uticaj obnovljivih izvora energije, pa se bilo koja nova tehnologija tog tipa (koja koristi neki od obnovljivih izvora energije) može prikazati kroz povećan udeo OIE u UPPE-u. Pošto je tema korišćenja vodonika kao goriva konstantno prisutna, može se i ova vrsta goriva uzeti kao primer. Iako energija dobijena iz vodonika nije direktno korišćena u analizi, pronalaskom njegovog ekonomičnijeg i efikasnijeg korišćenja u energetske svrhe izrazio bi se, opet, kroz povećan udeo OIE u UPPE-u jer je vodonik takođe (sa stanovišta emisija GHG) čisto gorivo. Ukoliko se desi da se neka postojeća tehnologija unapredi tako da drastično smanji emisije CO₂ određenom gorivu, na primer skladištenje ugljenika, takav scenario bi se mogao predstaviti povećanjem udela OIE i smanjenjem udela uglja u određenoj meri. Primenom CCS-a hvata se ugljen-dioksid i skladišti, što znači da ugalj postaje izvor energije sa približno nulom emisijom CO₂. Pošto CCS nije idealan i postoji emisija CO₂ koja se ipak oslobađa, mora postojati način da se i to prikaže. To znači da je neophodno uvrstiti novi emisioni koeficijent u VNM. Pošto je VNM već obučena i nemoguće je menjati njenu strukturu i ubacivati dodatne indikatore ovaj problem se može rešiti promenom udela goriva u UPPE-u, tj. izračunavanjem novog emisionog koeficijenta linearnom kombinacijom postojećih

⁵³ *Iako se drvo smatra obnovljivim izvorom energije, u ovom slučaju se posmatra kao neobnovljivo, tj. ono koje se koristi bez pošumljavanja.

indikatora. Na primer, ukoliko bi se pojavilo novo gorivo s emisionim koeficijentom 0,1 kgCO₂/kWh, dok je emisioni koeficijent OIE 0 kgCO₂/kWh i emisioni koeficijent prirodnog gasa 0,2 kgCO₂/kWh, onda, udeo novog goriva u UPPE-u od, na primer, 10%, predstavio bi se linearnom kombinacijom OIE i prirodnog gasa (PG) kroz povećanje emisionog koeficijenta OIE za 5% i povećanje emisionog koeficijenta PG za 5%.

Nakon identifikacije indikatora neophodno je odrediti VNM, uraditi inicijalnu obradu podataka i pripremiti ulazne podatke za obuku i simulaciju, a zatim obaviti samu simulaciju, testirati model i izdvojiti konačni rezultat.

Bitno je naglasiti da odabrani ulazi u VNM prikazuju *stanje energetskeg sistema* u datom trenutku (godini), a na osnovu tog stanja procenjuje se emisija CO₂. To znači da emisiju nije moguće proceniti samu, nego je neophodno pretpostaviti u kom stanju će sistem biti, a na osnovu njega pustiti model VNM da zaključi uticaj na CO₂.

4.2 Model veštačke neuronske mreže

4.2.1 Ulazi i izlazi

Na osnovu prethodne analize definisano je deset indikatora značajnih za konkretan problem predikcije emisije CO₂ koji predstavljaju ulazne veličine i jedna izlazna veličina – emisija CO₂. Tih deset indikatora se mogu podeliti u dve grupe, i definisani su na sledeći način:

- | | | |
|---|---|----------|
| 1. Bruto domaći proizvod (ppp) | } | I grupa |
| 2. Prosečna globalna temperatura vazduha | | |
| 3. Ukupna primarna potrošnja energije | | |
| 4. Potrošnja električne energije | | |
| 5. Broj stanovnika | | |
| 6. Udeo obnovljivih izvora energije u UPPE-u | } | II grupa |
| 7. Udeo nuklearne energije u UPPE-u | | |
| 8. Udeo energije prirodnog gasa u UPPE-u | | |
| 9. Udeo energije iz proizvoda dobijenih iz nafte u UPPE-u | | |
| 10. Udeo energije iz čvrstih goriva u UPPE-u | | |

Svaki od ovih deset indikatora direktno ili indirektno utiče na emisiju CO₂. Podaci su uzeti iz IEA baze podataka za period 1990-2015.

Zašto je uzet period 1990. do 2015? Poslednji podaci koje je IEA publikovala i koji su dostupni bez nadoknade su u trenutku obavljanja ovog istraživanja (u časopisu *Energy* [84]) iz 2015. godine. Godina 1990 je odabrana jer se u većini analiza uzimaju podaci iz te godine, radi poređenja efekata preduzetih akcija ili programa radi povećanja energetske efikasnosti i smanjenje emisije CO₂. Na primer, jedan od glavnih ciljeva strategije Evropa 2020 jeste ostvariti „20-20-20“ klimatsko-energetski cilj: 20% smanjenja emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte u odnosu na 1990. godinu, 20% smanjenje potrošnje UPPE-a i povećanje korišćenja OIE za 20%. Devedesetih godina je u EU već bila potpuno oformljena politička platforma za delovanje u cilju smanjenja emisija CO₂ i povećanja energetske efikasnosti. Na svetskom nivou to je obeleženo Agendom 21 (21 označava 21. vek), odnosno planom akcija u

vezi s održivim razvojem koji je donet na konferenciji u Rio de Žaneiru 1992. godine i smatra se najvećim dometom ove konferencije. Tema ove agende je i zaštita atmosfere u celini.

Može se reći da je devedesetih godina počela organizovana akcija za stvaranje ambijenta koji bi omogućio konačno smanjenje emisija CO₂, ali i kontrolisanu i optimalnu potrošnju primarne energije. Ipak, treba primetiti da je tek oko 2005. godine uočljiv pad UPPE-a i drugih indikatora, odnosno njihova promena u željenom pravcu. To samo pokazuje sporost promena velikih sistema kakav je i energetski sistem, kao najveći zagađivač atmosfere. Takođe, ovaj podatak govori koliko su ljudi uticali na planetu i atmosferu i narušili ekvilibrijum u proteklom periodu, da je potrebno 15 godina napornog rada kako bi samo počela da se oseća delotvornost mera i akcija.

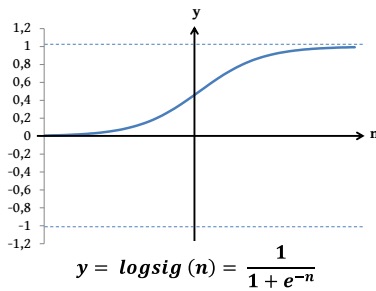
4.2.2 Arhitektura VNM

Na osnovu pilot testova i literature, izabrana je CFBP (prikazana u poglavlju 3.3.2.4). Ovaj model mreže je prepoznatljiv po tome što je njen ulaz povezan na svaki skriveni sloj mreže, čime se naglašava značaj ulaza, što ima veliki uticaj na brzinu učenja kao i kompleksnost podataka koju VNM može da savlada.

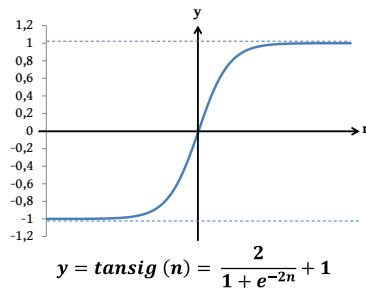
Postoji nekoliko parametara koji mogu da se menjaju kako bi se arhitektura mreže prilagodila problemu. Najznačajniji parametri su broj skrivenih slojeva, broj neurona u svakom skrivenom sloju, aktivaciona funkcija i funkcija za obuku.

Skriveni slojevi mreže omogućavaju redimenzionisanje ulaza i omogućavaju mreži da pronade i izračuna nove koeficijente koji mogu da opišu stanje sistema, a onda iskoristi njihovu kombinaciju za računanje izlaza. Pošto je energetski sistem vrlo kompleksan, a postoji relativno mali skup podataka (podaci za samo 26 godina) uzeto je da broj skrivenih slojeva ne prelazi dva. Takođe, da bi mreža iskoristila potencijal neuronskih mreža sa više slojeva da nauči kompleksne probleme neophodno je uzeti više od jednog skrivenog sloja. Kao kompromis, formirana su dva skrivena sloja.

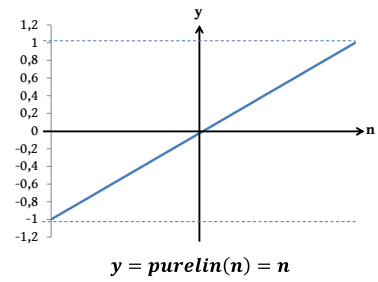
Aktivaciona funkcija ima značajnu ulogu u VNM. Na osnovu nje se definiše način na koji se neuroni aktiviraju što direktno utiče na nivo kompleksnosti koju mreža može da nauči. Osim najjednostavnije step aktivacione funkcije, postoje linearna i sigmoidalna aktivaciona funkcija. Linearna aktivaciona funkcija (slika 4.7) na linearan način transformiše ulaz neurona kako bi se dobila sama vrednost neurona. Ukoliko su aktivacione funkcije svih neurona u mreži linearne, onda će i krajnji izlaz iz mreže biti linearno zavisn od početnih ulaza. Pošto je problem ovog istraživanja nelinearan, linearna aktivaciona funkcija neće biti dalje analizirana. Sa druge strane, sigmoidalna funkcija (slika 4.5 i slika 4.6) omogućava pravljenje nelinearnih zavisnosti između neurona i slojeva tako da se na kraju dobija izlaz iz mreže koji na nelinearan način zavisi od ulaza. Postoje dve vrste sigmoidalnih funkcija: logaritamska (slika 4.5) i tangens hiperbolični (slika 4.6). Iako je priroda funkcije ista, izabrana je funkcija hiperbolični tangens, jer ima veći izlazni opseg što znači da je izlaz iz neurona precizniji, ali i jer je izlaz manje osetljiv na promene u ulazu (postoji više vrednosti izlaza, pa se promenom ulaza, izlaz ne menja toliko koliko se menja kada je opseg manji).



Slika 4.5 – Logsig. Sigmoidalna aktivaciona funkcija.



Slika 4.6 – Tansig. Sigmoidalna aktivaciona funkcija.



Slika 4.7 – Purelin. Linearna aktivaciona funkcija.

Na osnovu navedenog definiše se druga hipoteza, koja se odnosi na model VNM:

Kaskadna VNM sa propagacijom greške unazad, sa dva skrivena sloja i hiperboličnom tangensnom aktivacionom funkcijom predstavlja model (i arhitekturu) VNM koja je u stanju da sa prihvatljivom tačnošću nauči kompleksni energetski sistem i predvidi emisiju CO₂ u budućnosti.

Hipoteza 2.

4.2.3 Proces obuke

VNM su inspirisane radom ljudskog mozga, i uče na osnovu iskustva kao i ljudi, pa se može povući paralela sa ljudskim načinom učenja i problemima sa kojima se susrećemo. Ukoliko postoji adekvatna knjiga, dobro koncipirana, koja na vrlo jasan i zanimljiv način predstavlja informacije (gradivo) učeniku, i ako postoji dobar predavač koji će znati da koncipira pitanja (test) na način da proveri da li je učenik stvarno razumeo i naučio gradivo, učenik će mnogo lakše, i temeljnije savladati gradivo. Analogno tome, pošto mnogo parametara utiče na obuku VNM neophodno je, pre svega, pronaći adekvatan obučavajući skup podataka koji će se predstaviti mreži.

Tokom obuke VNM uči da poveže ulaze s odgovarajućim izlazima tako što koriguje težinske faktore neurona na osnovu greške koja je dobijena na izlazu. Inicijalno, težinski faktori i bias svakog neurona dobijaju nasumičnu vrednost, a zatim se ulazni podaci „propuste“ kroz mrežu propagacijom unapred da bi se dobio inicijalni izlaz (rezultat). Na osnovu dobijenog izlaza i stvarnog izlaza dobija se odstupanje, tj. greška koju model generiše. Na osnovu nje, koriguju se težinski faktori svakog neurona i proces se ponavlja opet, dok greška nije zadovoljavajuće mala ili se ne dostigne maksimalan broj iteracija (definisano preko parametara obuke). Najpopularniji algoritam za korekciju greške, koji je korišćen i u ovom istraživanju, jeste algoritam propagacije greške unazad (eng. *back propagation*) kojim se greška od izlaza vraća ka ulaznom sloju preko skrivenih slojeva, korigujući usput težine neurona [113][114]. Težine neurona se prema algoritmu koriguju, iteraciju po iteraciju, tako da se minimizuje greška na izlazu.

Osim toga, značajna je i funkcija za obučavanje koja predstavlja način na koji se menjaju težine i bias neurona. Najčešće korišćena funkcija (algoritam) je Levenberg-Marquardt algoritam (LMA) (eng. *Levenberg-Marquardt algorithm*), koja je iskorišćena i u ovom istraživanju [114][115].

LMA se koristi za rešavanje nelinearnih problema najmanjih kvadrata [116]. To podrazumeva fitovanje parametrizovane funkcije (krive) skupu tačaka tako da zbir kvadrata grešaka bude minimalan. Postoje dva principa optimizacije za ovu namenu, Gaus-Njutnov algoritam (GNA) (eng. *Gauss-Newton algorithm*) i algoritam Opadajućeg gradijenta (AOG) (eng.

gradient descent). Kod GNA-a se suma kvadrata greške smanjuje tako što se pretpostavi da je funkcija najmanjih kvadrata lokalno kvadratna, pa se traži minimum kvadrata, dok se kod AOG-a suma kvadrata greške smanjuje ažuriranjem parametara u smeru strmog opadanja. LMA predstavlja kombinaciju AOG-a i GNA i koristi pozitivne strane oba algoritma. Kada su parametri daleko od svojih optimalnih vrednosti LMA se ponaša kao AOG, dok kada su blizu optimalne vrednosti LMA se ponaša kao GNA.

Kao i svaki algoritam, i LMA ima svojih nedostataka. Problem LMA jeste taj što može da „upadne“ u lokalni minimum⁵⁴ kada su inicijalni parametri postavljeni daleko od optimuma, pa je zato vrlo bitno pokrenuti algoritam više puta, sa različitim inicijalnim parametrima. Pošto se inicijalni parametri u VNM (težinski faktori neurona) proizvoljno biraju, to praktično znači da je neophodno više puta uraditi obuku.

Za obučavanje mreže korišćeni su stvarni podaci. Najbolja praksa pokazuje da je, u zavisnosti od količine i kvaliteta podataka, za obuku i testiranje VNM najbolje podeliti podatke u odnosu 70:30 ili 80:20 u korist obuke, te su u ovom istraživanju podaci u skladu sa tim i podeljeni:

1. 80% podataka za obuku i
2. 20% podataka za testiranje

Takođe, na osnovu prethodno opisanog načina funkcionisanja obuke, kao i najbolje prakse, može se zaključiti da obuka VNM zavisi od nekoliko faktora koji direktno utiču na rezultat predikcije:

1. Odabir dobrog skupa podataka za obučavanje
2. Redosled prikazivanja podataka za obučavanje veštačkoj neuronskoj mreži
3. Inicijalne težine za svaki neuron

Ukoliko su podaci nereprezentativni, VNM neće prepoznati važne karakteristike ulaza. Zbog toga, vrlo je bitno, pre svega, definisati reprezentativan skup parova ulazi-izlaz, tj. koji sadrži glavne karakteristike sistema, kako bi VNM uspela da prepozna suštinu sistema. Međutim, zbog procesa obuke koji se dešava u iteracijama, može se zaključiti da je reprezentativan skup podataka potreban, ali ne i dovoljan uslov za dobru obuku VNM. Veoma je bitan i redosled kojim se prikazuju parovi ulazi-izlaz VNM jer se korekcija parametara obavlja upravo na osnovu redosleda prikazivanja. Iako se postizanjem ova dva uslova značajno podiže verovatnoća za dobru obuku mreže, inicijalne vrednosti težina takođe imaju bitnu ulogu. Sam LMA algoritam za obučavanje, koji radi na principu minimizacije greške, može da upadne u lokalni minimum, ukoliko se njegove inicijalne vrednosti nalaze daleko od optimalnih. To znači da bi se završetak obuke desio zbog dostizanja maksimalnog broja iteracija, ali rezultati, suštinski, ne bi bili dobri, tj. VNM ne bi imala očekivanu moć generalizacije. Da bi se prevazišao ovaj problem neophodno je formirati i obučiti što više VNM s istim ali i novim nasumično izabranim vrednostima težina. Sprovođenjem obuke mreže sa proizvoljno izabranim podacima i proizvoljnim redosledom prikazivanja, kao i velikim brojem takvih obuka smanjuje se mogućnost ulaska mreže u lokalni minimum, i povećava verovatnoća dobijanja dobrih i očekivanih rezultata.

4.2.4 Priprema podataka

Još jedna od dobrih praksi, koje su opšte poznate prilikom rada sa VNM, je da se ulazni podaci posebno pripreme kako bi ona učila brže, kako bi vrednosti ulaza bile međusobno

⁵⁴ Proces u kojem se prilikom minimizacije greške pronade minimum i zaustavi algoritam iako to nije finalno rešenje, tj. nije globalni minimum.

uporedive, a samim tim i VNM lakše pronašla njihove međuzavisnosti. Time VNM postaje efikasnija sa stanovišta korišćenja memorije ali i, konačno, daje bolje rezultate simulacije. Osim toga, i sama logika unutar neuronske mreže radi sa podacima koji su ili u opsegu od -1 do 1 ili 0 do 1 u zavisnosti od aktivacione funkcije koja se koristi u skrivenim slojevima [105], te je svođenje svakog indikatora na neki od ovih opsega logičan i intuitivan korak u cilju optimizacije rada VNM. Priroda parametara koji se u ovom radu koriste navode na korišćenje intervala normalizacije [0,1], pa su podaci i normalizovani u tom opsegu. Nije realno, na primer, da UPPE ili broj stanovnika budu negativni.

Normalizacija predstavlja proces transliranja skupa vrednosti u novi skup, tj. preslikavanje jednog opsega na drugi. Može da bude čisto skaliranje opsega, a može da bude i računanje razlike između (prethodne i naredne) vrednosti posmatranog parametra. U ovom konkretnom slučaju sve vrednosti indikatora (različitih dimenzija i jedinica) se preslikavaju na opseg od 0 do 1. U svakom slučaju cilj je isti koji god metod da se primeni. Dovođenjem parametara u opseg vrednosti od 0 do 1, omogućava VNM da lakše prepozna zavisnost i međusobni uticaj parametara, i samim tim napravi bolju procenu izlaza, koji je takođe u istom opsegu. Nakon simulacije, moguće je uraditi naknadno procesiranje (eng. *post-processing*) u kojem se dobijeni podaci skaliraju nazad u stvarni opseg vrednosti, što, dalje, omogućava lakšu čitljivost i tumačenje podataka.

Prateći pomenuti trend i najbolju praksu, u ovom istraživanju urađena je normalizacija svih indikatora na opseg 0 do 1. Veliki izazov je bio pronaći i definisati minimalne i maksimalne vrednosti svakog indikatora kako bi se u odnosu na njih uradila normalizacija. Ako se posmatra VNM kao objekat kojem treba da se prenese znanje, njegov rezultat učenja i daljeg reprodukovanja znanja direktno zavisi on načina na koji mu se znanje prenelo, kao i od gradiva koje mu je dostupno. Imajući u vidu ovu logiku, proces normalizacije je shvaćen kao vrlo ozbiljan izazov kojem se treba posvetiti i rešiti ga sa maksimalnom pažnjom.

Minimalna i maksimalna vrednost pažljivo su odabrane za svaki parametar pojedinačno, tako da uticaj parametara bude logičan. Na primer, temperatura se vrlo sporo menja, i ne bi bilo dobro uraditi normalizaciju za željeni period tako da se ona menja u potpunosti od 0 do 1 jer bi se time dao preveliki značaj temperaturi i rezultati bi bili manje verodostojni. Stoga, temperatura je normalizovana na način da je uzeta minimalna i maksimalna zabeležena temperatura u EU28 u periodu od 1990. do 2015. godine. Za ostale parametre minimalna vrednost je bila nula, a maksimalna je uzeta tako da oslikava mogući i realan maksimum unutar intervala od 1990. do 2050. godine. Sve vrednosti (minimalne i maksimalne) formiraju takav opseg vrednosti koji se vrlo dobro podudara i sa rezultatima dobijenim u dokumentu EMP2050 (tj. rezultati dokumenta svrstavaju se u ovaj definisani opseg), što predstavlja još jednu potvrdu da su minimalne i maksimalne vrednosti smisleno definisane.

Tabela 4.1 prikazuje minimalne i maksimalne vrednosti koje su korišćene pri normalizaciji svakog parametra. Jednačina 4.1 predstavlja formulu po kojoj je obavljena normalizacija. Nakon obavljene normalizacije, svi podaci su u istom opsegu i uporedivi su, te su spremni za obuku i simulaciju VNM.

$$\text{indikator normalizacije} = \frac{x - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad 4.1$$

	Minimalna vrednost	Maksimalna vrednost	Jedinica mere
BDP	0	30.000	Milijardi USD (2010)
Prosečna godišnja temperatura vazduha	-16,41	29,98	°C
Broj stanovnika	0	600	Milion
UPPE	0	2000	Mtoe
Potrošnja el. energije	0	10000	TWh

Tabela 4.1 – Minimalne i maksimalne vrednosti indikatora za normalizaciju.

4.2.5 Programski paket i parametri VNM

U ovom istraživanju korišćen je programski paket MATLAB 2014a sa dodatkom funkcija za veštačke neuronske mreže (eng. *neural network toolbox*), dodatkom funkcija za modelovanje i simulaciju sistema (eng. *control system toolbox*), kao i funkcije za obradu podataka. Sistem je modelovan kaskadnom neuronskom mrežom sa propagacijom greške unazad, kao algoritmom za korekciju težina i smanjenje greške. Mreža se sastoji od dva skrivena sloja i jednim izlaznim slojem. U prvom skrivenom sloju nalaze se četiri neurona dok se u drugom nalazi deset. Korišćena je Levenberg-Markart funkcija za obučavanje. Aktivaciona funkcija u skrivenim slojevima je tangens hiperbolična sigmoidalna funkcija, *tansig*, dok je u izlaznom sloju linearna, *purelin* što predstavlja najbolju praksu.

Prilikom obuke definisani su neophodni parametri kao što su kriterijum zaustavljanja, brzina učenja, definisanje ciljne greške, itd. U ovom istraživanju korišćene su uobičajene vrednosti parametara, koji su predstavljeni su u tabeli 4.2.

Parametar	Vrednost
Maksimalan broj iteracija za računanje težina	1.000
Minimalni gradijent performansi	10^{-7}
Maksimalan broj grešaka	50
Inicijalni gradijent performansi	0,001
Gradijent performansi smanjenja	0,1
Gradijent performansi povećanja	10
Maksimalni gradijent performansi	10.000.000.000

Tabela 4.2 – Korišćeni parametri VNM.

4.3 Simulacija emisije CO₂ - Metod 1

4.3.1 Istraživanje

Cilj ovog dela istraživanja jeste da se pronađe model VNM i proceni emisija CO₂ do 2050. godine, ukoliko se aktuelna politika kao takva nastavi. Da bi se to postiglo neophodno je, pre svega, znati stanje sistema u *željenom periodu* (u periodu za koji ne postoje stvarni podaci). Drugim rečima, potrebno je definisati *vrednosti indikatora* na osnovu kojih će se, dalje,

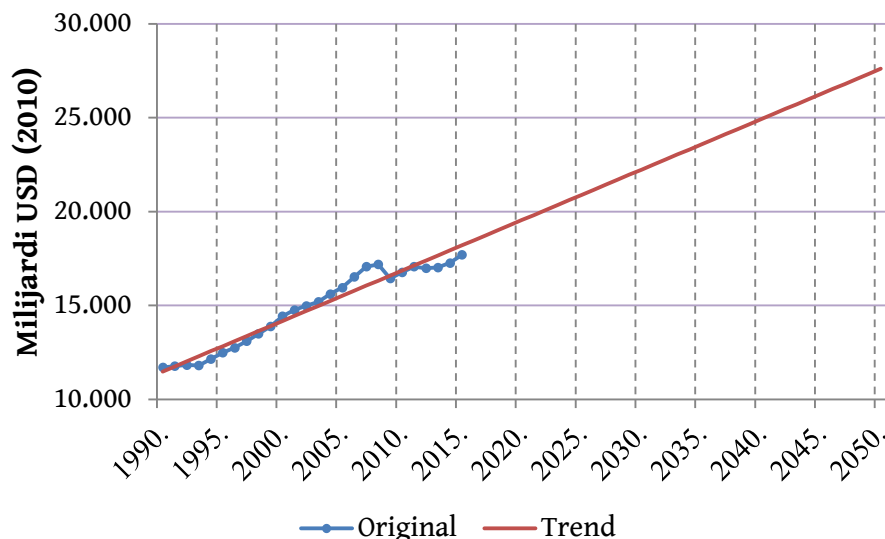
pomoću VNM proceniti emisija CO₂. Indikatori zapravo oslikavaju energetske politiku, pa se njihove vrednosti u budućnosti formiraju upravo na osnovu željene buduće politike. Tu se otvara prostor za definisanje raznih (novih) scenarija energetske politike (koristeći indikatore) i analizu njihovog uticaja na emisiju CO₂. U dokumentu ERM2050 diskutvani su problemi, ideje i mogući scenariji energetske politike (uzimajući u obzir socijalni, ekonomski i politički aspekt društva) kako bi se što brže i ekonomičnije došlo do željenog smanjenja emisije CO₂ do 2050. godine.

Na primer, ukoliko se želi videti kakav bi efekat (uticaj na emisiju CO₂) imala politika koja bi u narednih deset godina mnogo uložila u obnovljive izvore energije, a smanjila energiju koja se dobija iz nafte, na način da privreda ostane stabilna, desilo bi se sledeće: došlo bi do zatvaranja naftnih postrojenja, kao i do instalacije velikog broja (na primer) solarnih FN panela. Gašenje naftnih postrojenja ne bi moglo, međutim, da se desi preko noći, kao ni instalacija solarnih elektrana, nego je neophodno vreme kako bi ukupna količina proizvedene energije ostala ista (jer privreda i dalje zahteva istu količinu energije da bi bila stabilna). Postoji, naravno, i problem skladištenja energije jer sunčeva energija nije dostupna tokom celog dana, ali radi jednostavnosti i suštine ovog primera nije uzeta u obzir. Kroz indikatore se ova situacija predstavlja tako što udeo nafte u UPPE-u opada tokom narednih deset godina, proporcionalno tome se udeo OIE povećava, dok BDP (kao ekonomski pokazatelj) ostaje isti. Kao rezultat dobija se stanje sistema u svakoj godini u narednih deset godina (definisane su vrednosti indikatora) na osnovu kojeg će VNM da ocenjuje emisiju CO₂, znajući način na koji svaki indikator i njihova međusobna kombinacija utiču na emisiju. Definisanjem različitih scenarija, usvajanjem mera i akcija EU energetske i ekonomske politike, definišu se promene indikatora na osnovu čega se, zatim, koristi model VNM da bi se video uticaj takvih scenarija na emisiju CO₂.

Metod 1 se bavi procenom emisija CO₂ ukoliko se dejstvo aktuelnih političkih mera i akcija, tj. isti stepen promene koji se dešavao u periodu od 1990. do 2015. nastavi sve do 2050. godine. Radi lakšeg objašnjenja ovaj scenario je obeležen oznakom M1_BAU (eng. *Business As Usual*). Matematički oblik ovakvog scenarija, koji je pogodan za implementaciju u VNM, predstavlja pronalazak trenda podataka svakog indikatora i njegov nastavak do 2050. Drugim rečima, definisana je funkcija (prava) koja pronalazi „prosečnu promenu“ stvarnih vrednosti indikatora od 1990. do 2015. fitovanjem stvarnih podataka polinomom prvog stepena [117][118] na osnovu čega se dobila linearna zavisnost indikatora i vremena u obliku 4.2. Nakon toga se na dobijenu funkciju primenila ekstrapolirana vremenska osa (1990-2050), čime su se dobile nove vrednosti indikatora u celom periodu do 2050. (tj. formiran je trend). Ovaj scenario predstavlja osnov istraživanja. Primer računanja trenda predstavljen je na slici 4.8 za bruto domaći proizvod EU28.

$$y = ax + b$$

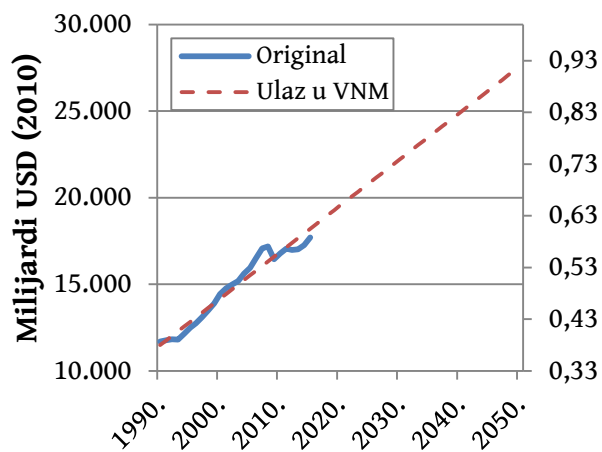
4.2



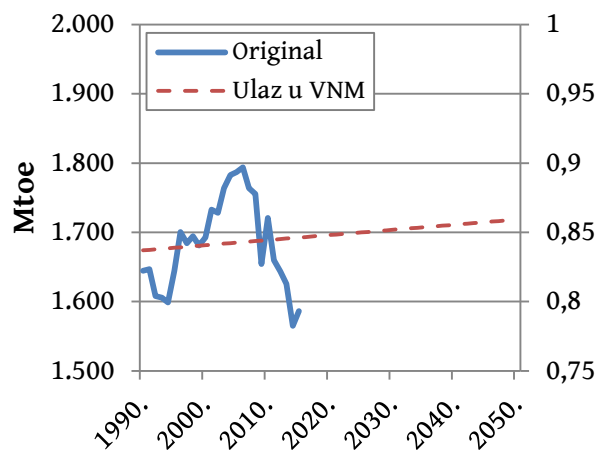
Slika 4.8 – Trend BDP indikatora izračunat na osnovu stvarnih podataka od 1990. do 2015. godine.

Prilikom obuke VNM korišćeni su normalizovani *stvarni* podaci svih indikatora (1990-2015), kao i normalizovana stvarna vrednost emisija CO₂ iz perioda 1990. do 2015. Sa druge strane, prilikom simulacije (koja je obavljena u celom periodu 1990. do 2050.) ulazni skup podataka u VNM predstavljao je *modifikovane vrednosti* indikatora koje se formiraju na sledeći način.

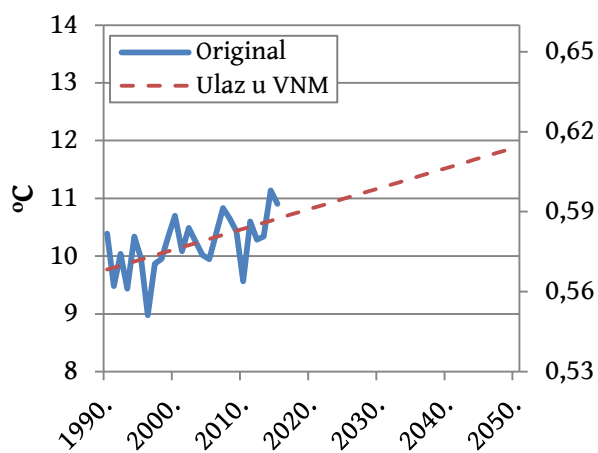
1. Vrednosti prve grupe indikatora čine *njihovi (normalizovani) trendovi* u čitavom periodu 1990 do 2050. Slike 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 i 4.13 prikazuju stvarne vrednosti prve grupe indikatora, izračunati trend, kao i podatke koji su činili ulazni skup podataka u VNM za simulaciju. Takođe, prikazana je i normalizovana skala podataka sa desne strane, jer su svi ulazi u VNM morali biti u opsegu od 0 do 1.
2. Vrednosti druge grupe indikatora, za razliku od prve grupe, objedinile su (normalizovane) stvarne vrednosti iz perioda 1990. do 2015. i njihov (normalizovani) trend 2015. do 2050. Na slici 4.14 prikazane su vrednosti druge grupe inikatora koji su činili modifikovani ulazni skup za simulaciju VNM. Podaci označavaju udele goriva u UPPE-u te su stoga prikazani samo na skali 0-1, označavajući procenat (0 = 0%, 1 = 100%).



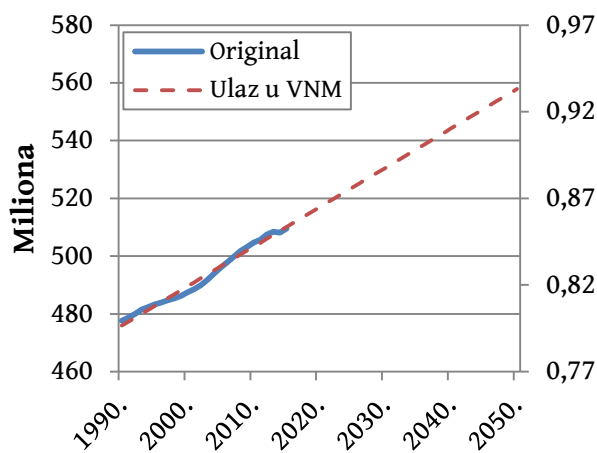
Slika 4.9 - BDP.



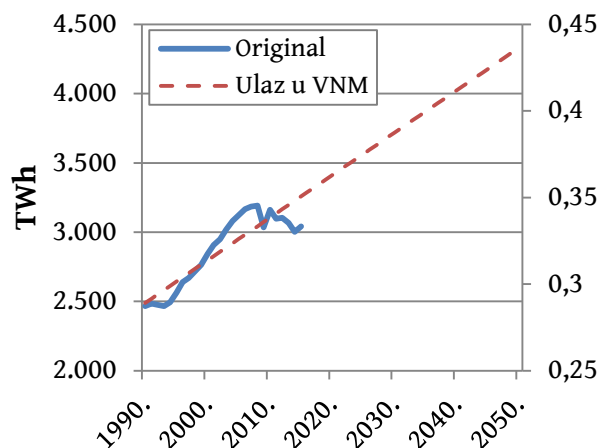
Slika 4.10 - UPPE.



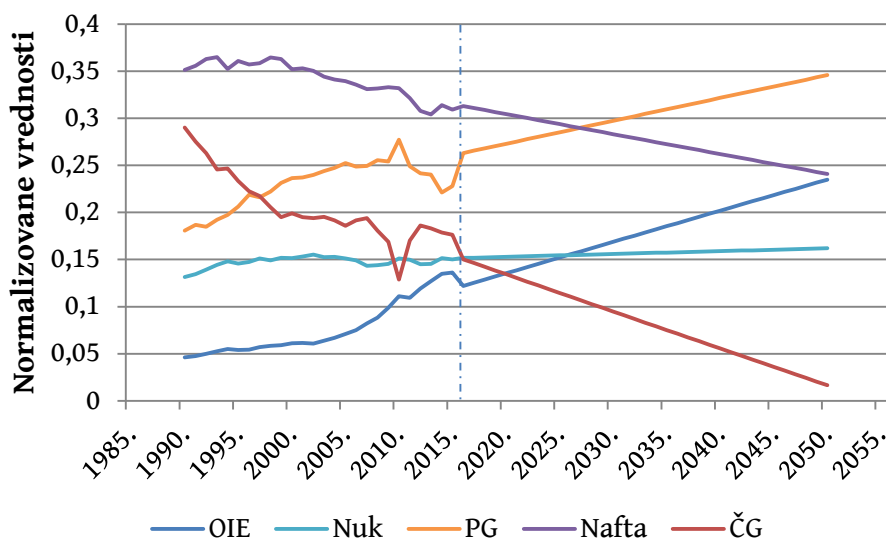
Slika 4.11 - Prosečna globalna temperatura.



Slika 4.12 - Broj stanovnika.



Slika 4.13 – Potrošnja električne energije.



Slika 4.14 – Izračunate ulazne vrednosti za drugu grupu indikatora. Do 2015. godine korišćeni su stvarni podaci koji su, nakon toga (od 2016-te), nastavljeni izračunatim trendom do 2050. godine.

Na osnovu prikazanih ulaza, VNM će proceniti emisiju CO₂ u 2050. godini.

4.3.1.1 Simulacija

Sprovedeno je modeliranje sistema, obuka stvarnim podacima u periodu od 1990. do 2015, a zatim i simulacija 100 VNM na prethodno navedeni način. Korišćenjem modifikovanih vrednosti prvih pet indikatora prilikom simulacije dobijena je greška, tj. odstupanje simuliranih vrednosti CO₂ od stvarnih u periodu od 1990. do 2015. Odsupanje se javlja kako zbog nesavršenosti modela tako i zbog toga što nisu uzete stvarne vrednosti indikatora, nego trendovi. Iako se očekuje greška, ona ne bi smela da bude ni prevelika, jer su vrednosti druge grupe indikatora zapravo stvarne vrednosti tog perioda. Očekuje se da simulirana kriva uspe da isprati stvarne podatke (da prati njihov trend i promenu vrednosti), ali sa greškom većom nego prilikom simulacije stvarnim podacima. U zavisnosti od visine greške steći će se slika o količini uticaja prve grupe indikatora na emisiju CO₂. Očekivano je da druga grupa indikatora ima veći uticaj, jer ima direktniji uticaj na emisiju CO₂ u odnosu na prvu grupu, tj. da greška koja se dobije simulacijom VNM u periodu od 1990. do 2015. bude relativno mala.

Definisana su dva kriterijuma za testiranje i izdvajanje mreža nakon obuke simulacije, kojim se obezbeđuje da je VNM razumela energetski sistem i da je u stanju da ga oponaša sa prihvatljivom greškom radi procene emisije CO₂ u budućnosti. Kriterijumi koje je neophodno da VNM zadovolji su:

1. Koren srednje kvadratne greške (eng. *Root Mean Square Error* – *RMSE*) u periodu od 1990. do 2015. godine između *stvarnih* podataka i rezultata simulacije VNM simulirane *stvarnim* podacima, mora da bude manji od 0,02 (< 2%) i
2. Prilikom simulacije M1_BAU scenarija, procenjena emisija CO₂ u 2050. godini mora da bude između 50 i 70%

Prvim kriterijumom se proverava tačnost obuke matematičkim putem korišćenjem formule 4.3. Iako je izdvojeno 20% podataka za testiranje nad kojim bi trebalo da se izračuna greška, u ovom slučaju RMSE je izračunata za svih 100% podataka. Na taj način se uzima u obzir celokupna greška koju model pravi u čitavnom poznatom periodu. To je veoma bitno jer, kao što je već navedeno u poglavlju 4.2.3, obuka VNM se završava ili ukoliko greška (simulacije i ciljanih vrednosti) padne ispod definisane vrednosti ili ukoliko se dostigne maksimalan broj iteracija, što implicira da u oba slučaja greška zapravo postoji, samo je pitanje da li je njena vrednost u opsegu tolerancije ili ne. Uzimanjem u obzir svih 100% stvarnih podataka dobija se kumulativna greška koja potencijalno može da predstavlja značajnu razliku. Takođe, rezultati VNM postaju uporedivi, nezavisno od načina na koji su podaci podeljeni.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (\hat{y}_t - y_t)^2}{T}} \quad 4.3$$

U 4.3 \hat{y}_t predstavlja vrednosti dobijene simulacijom VNM stvarnim podacima, a y_t stvarne vrednosti.

Prvi kriterijum je značajan jer dozvoljava odstupanje (koje je neophodno da postoji kako bismo bili sigurni da mreža nije prenaučena (eng. *overfitted*), tj. naučena da prepozna isključivo podatke iz obučavajućeg skupa. Sa druge strane, greška ne treba da bude ni prevelika da se ne bi desilo da mreža ne bude dovoljno naučena (eng. *underfitted*), tj. da ne može da generalizuje uopšte, odnosno da ne može da pronađe bitne zavisnosti između novih ulaza i izlaza. U ovom delu istraživanja pretpostavljeno je da je mreža dovoljno sposobna da modeluje sistem ukoliko je greška RMSE manja od 2%.

Drugi kriterijum se odnosi na proveru smislenosti rezultata simulacije za ceo period od 1990. do 2050. To je veoma bitno jer, na primer, prilikom rešavanja problema matematičkim putem može se desiti da, u matematičkom smislu, postoje dva ili više rešenja datog problema, međutim, u praksi (uzimanjem u obzir fizičkih zakona) samo jedno rešenje ima fizički i logičan smisao. Vrlo jednostavan primer je pronalazak dužine i širine nekog zemljišta ako se zna da je zemljište kvadratnog oblika i da je površina 25m². Ukoliko se sa P označi površina, a sa a označi stranica, jednostavnim matematičkim računom dobija se sledeće:

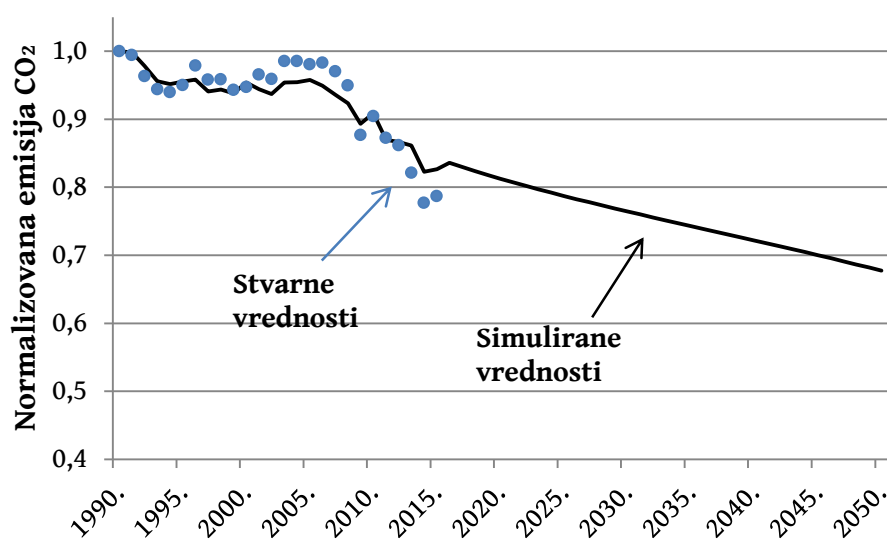
$$P = a \cdot a, \text{ tj.} \\ a = \sqrt{P}$$

Matematički gledano, parametar a ima dva rešenja, (recimo $25 = 5*5 = (-5)*(-5)$), međutim, razumno je i očigledno da širina i dužina ne mogu imati negativne vrednosti, te se kao jedino rešenje nameće ono pozitivno. Analogno tome, iako su određeni matematički kriterijumi zadovoljeni, neophodno je proveriti i smisao rezultata.

Evropska komisija je predvidela da će se u slučaju scenarija nastavka aktuelne politike emisija CO₂ smanjiti sa 100% (referentna 1990. godina) na oko 62% (2050. godina). Ovaj podatak je dobijen na osnovu podataka o trenutnom udelu različitih sektora u ukupnoj potrošnji energije, udelu određenih energetske resursa u proizvodnji energije, kao i emisijama svih goriva (OIE = 0; Nuklearna = 0, PG = 0,1836, ukupni naftni proizvodi = 0,2517, čvrsta goriva (ČG) = 0,3325 kg/CO₂/kWh) [119]. Imajući u vidu kompleksnost ovog energetske sistema i činjenicu da nijedna metoda nije u mogućnosti da precizno predvidi budućnost, neophodno je ovaj podatak uzeti sa određenom rezervom. Na osnovu ovoga formiran je drugi kriterijum za izbor mreže, a to je da rezultat simulacije mreže za M1_BAU scenario u 2050. godini treba da bude u intervalu $\pm 10\%$ od vrednosti koju je predvidela Evropska komisija. Uzimanje manje devijacije (npr. $\pm 5\%$) povećao bi se značaj rezultata Evropske komisije, tj. to bi značilo da se više veruje tim rezultatima i metodi koja je tamo korišćena. Sa druge strane, ukoliko bi se povećao opseg (na npr. $\pm 20\%$) povećao bi se značaj ovog modela i njegovih rezultata, ali bi se povećala i mogućnost greške (zbog nepreciznosti i raznovrsnosti rezultata koje VNM može da dâ). Stoga, opseg od $\pm 10\%$ od predviđene vrednosti Evropske komisije u kojem se očekuje da će emisija CO₂ doći u 2050. godini ukoliko se aktuelna politika nastavi, postaje logičan i razumljiv kompromis.

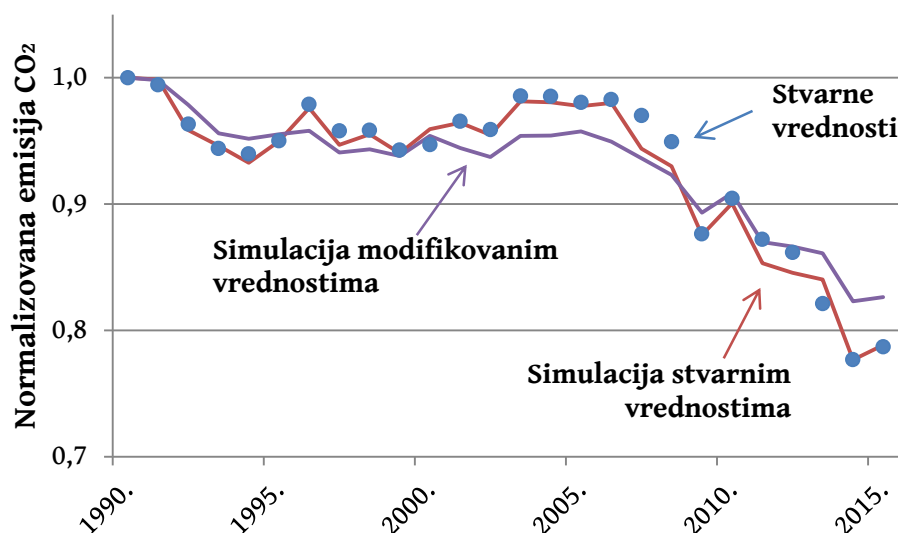
4.3.2 Rezultati

Od 100 mreža koje su modelirane i simulirane izdvojeno je 78 mreža koje su zadovoljile prvi kriterijum (RMSE greška manja od 2%), a ukupno 30 koje su zadovoljile oba gore pomenuta kriterijuma. Na slici 4.15 su prikazani stvarni podaci kao i rezultat simulacije jedne od 30 izdvojenih mreža sa najmanjom greškom, na kojoj se jasno vidi da je mreža uspela da potpuno nauči ponašanje sistema (promena stvarnih podataka je ispraćena). Ta mreža je, samim tim, uzeta kao konačno rešenje. Pošto ova kriva najbolje opisuje poznati period, odnosno VNM koja je dala ovaj rezultat je najbolje obučena, pretpostavlja se da će i izvan tog perioda najbolje predvideti emisiju CO₂. Prema predikciji, ako se aktuelna energetska politika nastavi i u periodu nakon obuke, VNM procenjuje da će u 2050. godini emisija CO₂ pasti na 67,72% izmerene (referentne) vrednosti iz 1990. godine.



Slika 4.15 – Izmereni podaci (1990-2015) zajedno sa rezultatima VNM – procenjena emisija CO₂ do 2050.

Bitno je još jednom napomenuti da se pomenuta najmanja greška odnosi na razliku između stvarnih podataka CO₂ i rezultata modela VNM simuliranog *stvarnim podacima*. Na taj način testiranje modela ima smisla i predstavlja realno odstupanje modela od stvarnog sistema. Sa druge strane, prilikom simulacije za čitav period od 1990. do 2050, korišćeni su modifikovani ulazni podaci predstavljeni u poglavlju 4.2.4. Na slici 4.16 su prikazani: 1) stvarni podaci o emisiji CO₂, 2) simulirana emisija CO₂ na osnovu stvarnih ulaza i 3) simulirana emisija CO₂ na osnovu modifikovanih ulaza u zajedničkom periodu. Može se primetiti da greška simulacije sa stvarnim ulazima, što drugim rečima predstavlja grešku koju model pravi, iznosi 0,98%, a da je greška simulacije sa modifikovanim ulazima, tj. greška koja obuhvata i grešku modela, ali i grešku zbog modifikacije ulaza, veća i iznosi 2,28%. Drugim rečima, modifikacijom ulaznih podataka prve grupe indikatora promenio se i rezultat (emisija CO₂), a to znači da je VNM uspeła da prepozna uticaj prve grupe indikatora na emisiju CO₂. Razlika greške modela i greške nastale simuliranjem modifikovanih ulaza nije velika i iznosi 1,3%, što odgovara pretpostavci da mala modifikacija prve grupe indikatora neće značajno uticati na rezultat. Takođe, primećuje se da rezultat simulacije sa modifikovanim ulazima vrlo dobro prati stvarne podatke, što potvrđuje pretpostavku da druga grupa indikatora ima intenzivniji uticaj na emisiju CO₂. Iako postoji odstupanje, trend (tj. priroda problema) je prepoznata.



Slika 4.16 – Stvarne vrednosti CO₂, estimirane vrednosti CO₂ stvarnim ulazima, i estimirane vrednosti emisije CO₂ modifikovanim ulazima.

4.3.3 Diskusija

Istraživanje je potvrdilo pretpostavke i rezultate dobijene pilot testovima da se CFNN može koristiti za efikasno modelovanje kompleksnih energetske sistema. Imajući u vidu da je čak 78 od 100 mreža dalo rezultate čija je greška bila manja od 2% može se zaključiti da je CFNN model dobro odabran i da je u mogućnosti da dobro nauči ovakav sistem. Rezultati su predstavljeni na trećoj konferenciji o održivom razvoju energije, vode i životne sredine za jugoistočnu Evropu u Novom Sadu, Srbija [120]. Takođe, rezultati su objavljeni u jednom od najprestižnijih časopisa iz ove oblasti, *Energy*, 2019. godine [84].

4.3.3.1 Ulazi u veštačku neuronsku mrežu

U literaturi [79][81][82][83] koristili su se različiti indikatori (prosečna globalna temperatura vazduha, vlažnost vazduha, potrošnja i proizvodnja primarne energije, energetska kapacitet, potrošnja električne energije, broj stanovnika, itd.), za estimaciju energetske parametara (npr. potrošnja goriva, potrošnja električne energije, potrošnja ukupne primarne energije, sunčevog zračenja, emisije CO₂ i ostalih GHG, itd.) u cilju

promene i poboljšanja politike i dolaženja do povećanja energetske efikasnosti i smanjenja uticaja čoveka na životnu sredinu. Međutim, nijedna literatura nije oformila ovakvu kombinaciju parametara za procenu emisija CO₂ na ovako velikom i kompleksnom energetskom sistemu. Stoga, osim samog modela, bitno je naglasiti da prikazanih deset indikatora reprezentuju aktuelnu politiku veoma dobro i da je pomoću njih, kao što rezultati i pokazuju, moguće uspostaviti zavisnost efekata politike na emisije CO₂, a samim tim i uspostaviti efikasno upravljanje sprovođenjem te politike.

4.3.3.2 Izlaz

Izdvojiti trideset mreža od ukupno sto predstavlja veoma dobar rezultat. Neophodno je imati u vidu činjenicu da postoji nekoliko načina da se mreža dovede u lokalni optimum tokom obuke, stoga je bitno modelovati što više mreža kako bi se povećala verovatnoća za pronalazak modela koji će verodostojno rešavati problem. Činjenica da je izdvojeno čak trideset mreža govori o sposobnosti ove vrste VNM da reši specifični problem, kao i da su indikatori dobro odabrani i pripremljeni.

Računanjem i korišćenjem trendova indikatora za M1_BAU scenario u ovako modelovanom sistemu dobijena je prognoza emisije CO₂ u odnosu na 1990. godinu (slika 4.15). Zašto je u budućnosti emisija CO₂ predstavljena pravom linijom? Treba imati u vidu da je za računanje indikatora do 2050. godine korišćena linearna regresija, i da su vrednosti indikatora od 2016. do 2050. god predstavljene *pravom linijom*, pa je stoga dobijeni rezultat po kojem je u tom periodu emisija CO₂ takođe prava linija logičan.

Prilikom analize finalnog rezultata dobijenog pomoću VNM treba biti svestan nekoliko činjenica. Energetska mapa puta EU 2050 predviđa da će se u 2050. godini, nivo emisija smanjiti na 62% u odnosu na referentnu 1990. godinu, ukoliko se aktuelna politika nastavi. Međutim, nijedna predikcija, pa ni ova Evropske komisije, ne može se smatrati u potpunosti sigurnom i pouzdanom, iako je tokom ove procene sagledana situacija iz više uglova. Problem predikcije, u generalnom smislu, je taj što je greška predikcije direktno proporcionalna dužini perioda predikcije budućnosti. Drugim rečima, što je budućnost bliža predikcija će biti realnija i preciznija. Period predikcije od 2015. do 2050. godine predstavlja relativno dug period te se svi rezultati moraju uzeti s određenom dozom rezerve. Uzimajući u obzir i kompleksnost problema, kao i činjenicu da ni rezultat Evropske komisije od 62% nije tačan, nego je procena, dobijeni rezultat simulacije od 67,72% je apsolutno prihvatljiv.

Iako se slična procena mogla dobiti linearnom regresijom, pronalaženjem trenda same emisije CO₂ od 1990. do 2015. godine i njegovom ekstrapolacijom do 2050. godine, takav model ne bi mogao da prepozna nelinearne promene u sistemu, pa bi procena u startu već imala grešku. Osim toga, suštinski značaj VNM modela je u tome što je uspeo da prepozna i nauči značaj indikatora u sistemu, njihovu međusobnu zavisnost kao i zavisnost od izlaza, čime se omogućava *upravljivost čitavog sistema*. Praktično, to znači da se promenom vrednosti indikatora može predvideti promena emisije CO₂, tj. da se mogu simulirati drugačiji, različiti scenariji energetske politike. Takođe, iz toga sledi zaključak da je simulacijama moguće odrediti scenario energetske politike koji bi potencijalno doveo do željene vrednosti emisija CO₂, što otvara potpuno novu dimenziju u upravljanju ovim kompleksnim energetskim sistemom, ali i u rešavanju problema globalnog zagrevanja.

4.3.3.3 Problemi i ograničenja prezentovanog istraživanja

Kao i sve metode za predikciju, i VNM imaju svoje probleme i ograničenja. Za razliku od aksiomatskih metoda kao što je linearna regresija, način na koji se obavlja zaključivanje o zavisnosti ulaza i izlaza kod veštačkih neuronskih mreža nije egzaktan i precizno definisan. VNM se baziraju na podešavanju težina (prioriteta) za svaki neuron (čvor), što predstavlja

verovatnoću da se on aktivira [121]. Na ovaj način VNM zapravo radi sa približnim vrednostima unutar sistema što joj sa jedne strane daje moć generalizacije, ali sa druge smanjuje tačnost rezultata.

Kako bi VNM model bio što bolji neophodno je da postoji dovoljan broj reprezentativnih podataka na osnovu kojeg će biti formiran (obučavan), što predstavlja ograničenje korišćenja VNM u slučajevima kada ne postoji dovoljno informacija. Mali obučavajući skup podataka onemogućuje mrežu da nauči sve zavisnosti ulaza i izlaza, a samim tim ni da ima moć generalizacije. Međutim, iako se povećanjem broja podataka povećava verovatnoća da se sistem što bolje obuči, takođe se povećava i verovatnoća za nastanak problema koji se javljaju u sistemima sa puno podataka (eng. *big data systems*) [122]. Takođe, loše izabrana struktura mreže može da dovede do preobučavanja i podobučavanja VNM. Preobučavanje (eng. *overtraining*) se javlja kada mreža veoma dobro nauči obučavajući skup, ali na taj način izgubi moć generalizacije i predviđanja (greška prilikom prezentovanja novih podataka bude izuzetno velika). To se može desiti ukoliko je struktura mreže previše kompleksna za dati problem. Drugim rečima, model toliko dobro opisuje trenutne podatke (daje veoma malu grešku) da ne može da predvidi ništa novo. Pronaći dobru strukturu mreže predstavlja veliki izazov i uvek se svodi na pronalaženje kompromisa između povećavanja kompleksnosti modela i preobučavanja mreže. Sa druge strane, podobučavanje (eng. *undertraining*) se javlja kada postoji nedovoljan broj podataka ili struktura mreže ne odgovara problemu.

Kao što je ljudima bitan način i redosled prezentovanja informacija kako bi što lakše usvojili znanje, tako je i veštačkim neuronskim mrežama bitan redosled prikazivanja parova ulaz-izlaz tokom perioda obuke kako bi se težine što bolje korigovale. Algoritam za korekciju težina se direktno oslanja na ulaze koji se prikazuju mreži, kao i početne vrednosti težina koji se proizvoljno biraju na početku procesa obuke. Stoga je neophodno modelovati što više mreža sa različitim početnim vrednostima težina kako bi se smanjila verovatnoća ulaska mreže u lokalni optimum i formirala mreža koja daje najbolje rezultate.

Veoma je bitno biti svestan da VNM uče iz postojećih podataka, a samim tim koriste stečeno znanje za donošenje odluka i predikciju, tako da se ne može očekivati od njih da predvide scenarije koje do tada nisu videli. Još uvek nisu pronađeni modeli koji su u mogućnosti da obavljaju logičko povezivanje stečenih znanja (eng. *association and symbol grounding*) [123] za razvijanje novih (što je svojevrsno ljudskom mozgu).

Imajući u vidu postojanje svih navedenih problema i ograničenja, jedino što je moguće uraditi jeste svesti njihovu verovatnoću pojavljivanja na minimum, a rešenja uzeti s određenom dozom rezerve. U ovom delu istraživanja korišćen je dovoljno veliki skup podataka kako bi mreža mogla da nauči bitne karakteristike sistema, ali ne i prevelik da bi se pojavili novi problemi. Pažljivo je izabran skup od deset reprezentativnih indikatora za ulaze u VNM kao i urađena njihova priprema (normalizacija), pa su stoga logični i veoma obećavajući rezultati i dobijeni.

Značaj ovog modela ogleda se u tome što je uspeo da nauči funkcionisanje energetskog sistema na osnovu ovih deset indikatora, uspeo je da prepozna uticaj svakog indikatora na izlaz (emisiju CO₂) i da na osnovu kombinacije ovih indikatora predvidi emisiju CO₂ u budućnosti. Takođe, značajno je, još jednom, naglasiti potencijal ovog modela, koji se ogleda u tome da je moguće menjati vrednosti indikatora na osnovu kojih će VNM predvideti novu vrednost CO₂. Omogućeno je predviđanje uticaja novih političkih scenarija i strategija EU, a onda u skladu sa rezultatima korigovanje politike u realnom sistemu kako bi se što brže, ekonomičnije i sa manje posledica došlo do željenog smanjenja emisija CO₂ do 2050. godine.

Naposletku, na osnovu svega diskutovanog, može se zaključiti da su izdvojenih deset indikatora odabrani na dobar način te da je hipoteza 1 potvrđena. Takođe, pošto je dobijen zadovoljavajući rezultat i ovaj model uspeo da isprati ponašanje čitavog sistema, potvrđena je i hipoteza 2. Ovi rezultati predstavljeni su svetskoj javnosti objavljivanjem u časopisu *Energy* 2019. godine [84].

4.4 Simulacija emisije CO₂ - Metod 2

Metod 1 je pokazao da je arhitektura mreže adekvatno odabrana, tj. da je model u stanju da sa dovoljnom tačnošću isprati jedan složen energetska sistem. Takođe, odabrani indikatori su se pokazali kao pogodni za opisivanje željene politike, kao i za procenu emisija CO₂ u budućnosti. Metod 1 u kojem je analiziran M1_BAU scenario, odnosio se na procenu emisije CO₂ u bliskoj, ali i relativno dalekoj budućnosti (sve do 2050.). Iako se čini da 2050. godina nije daleko iz perspektive ljudskog života, za predikciju (bilo kojom metodom) 30 godina predstavlja veoma dug period. Imajući u vidu trend razvoja nauke i tehnologije u poslednjih samo 30 godina, količinu inovacija i unapređenja svih vrsta sistema, veoma je teško predvideti budućnost, stoga, procena je ipak realnija i verodostojnija ukoliko se posmatra samo bliža budućnost.

Imajući u vidu da su promene u energetskom sistemu relativno spore, razlika između današnjeg stanja sistema i bliske budućnosti neće biti velika, što znači da će dosadašnje zavisnosti između indikatora i emisije CO₂ (ali i njihova međuzavisnost) nastaviti da važe još neko vreme. Imajući to u vidu, kao i da VNM uči iz iskustva (stvarnih podataka iz prošlosti), logično je očekivati da će VNM *preciznije* proceniti emisiju CO₂ ukoliko se gleda kraći vremenski interval u budućnosti (na primer, od deset godina), nego period do 2050. godine u celosti.

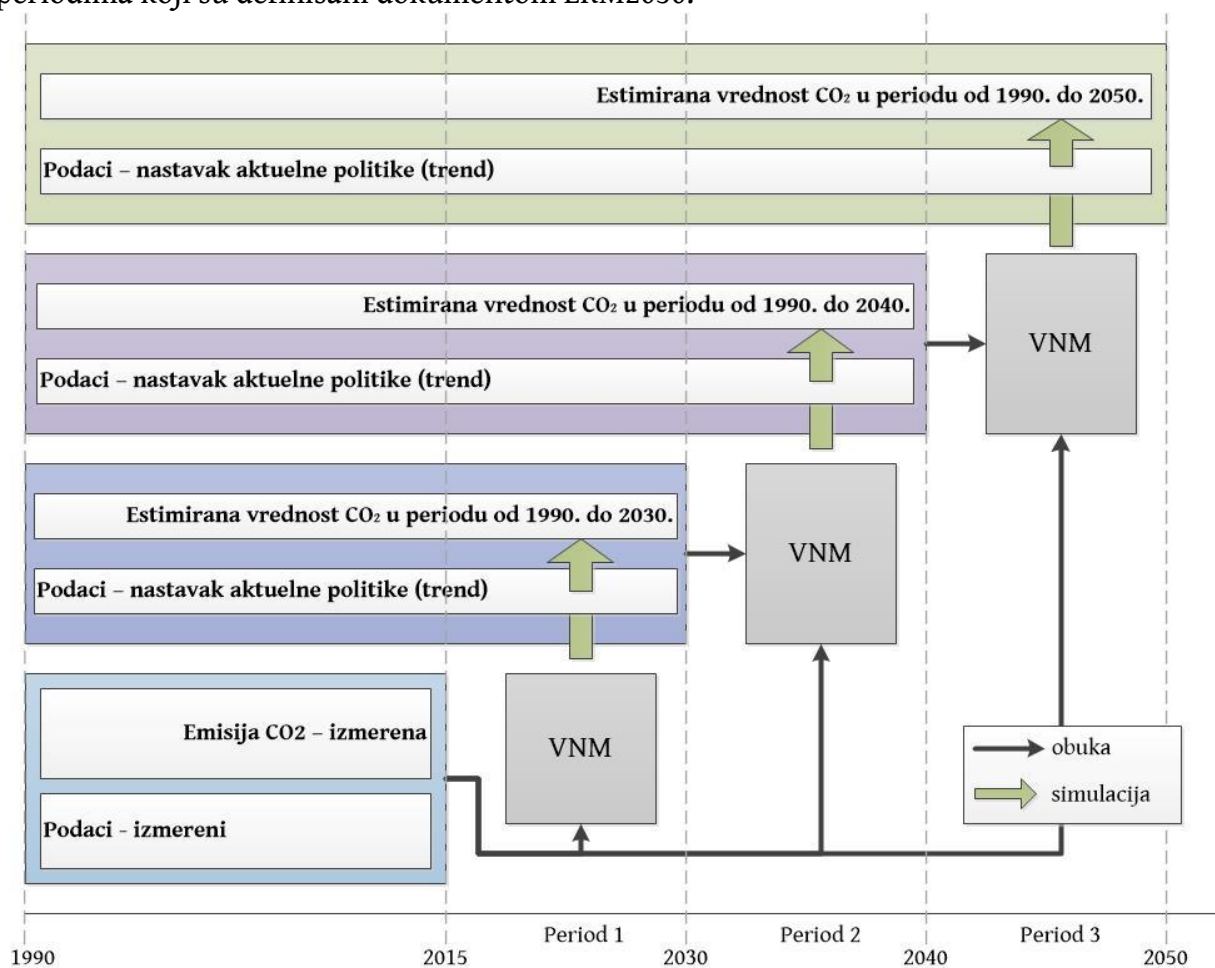
Planiranje na duži vremenski period nosi sa sobom izazove i zahteva dobru organizaciju i strukturiranje sistema. Jedan od metoda organizacije predstavlja definisanje ciljeva po periodima (eng. *milestones*) za kraće vremenske intervale, kako bi se do glavnog cilja došlo lakše i na vreme. Delotvornost manjih ciljeva je višestruka. Ostvarivanje svakog od njih predstavlja, pre svega, psihološku satisfakciju, koja je veoma bitna zbog motivacije i daljeg napredovanja. Takođe, ispunjenje (ili nemogućnost ispunjenja) ciljeva daje povratnu informaciju o napretku, koja može da se iskoristi radi boljeg razumevanja problema i metoda dolaženja do rešenja. Dolazak do cilja (najverovatnije) potvrđuje hipoteze i odabrane metode, međutim, neuspeh omogućuje da se trenutne metode dovedu u pitanje, a onda možda i promeni pravac istraživanja ka nekim drugim tehnologijama. Drugim rečima, definisanjem ciljeva po periodima omogućuje se evaluacija aktuelnih metoda što predstavlja osnovni element dobrog upravljanja (u povratnoj sprezi), i omogućuje se korekcija kako bi se što lakše došlo do željenog cilja.

Smanjenje emisije CO₂, kao i održavanje porasta temperature značajno ispod 2°C u odnosu na preindustrijsko doba predstavlja cilj koji nema alternativu, i ne postoji prostor za grešku i pomeranje rokova. Evropska komisija je dokumentom ERM2050 definisala ciljeve po periodima koje EU kao celina treba da dostigne, kako bi se ispunili željeni planovi. Glavna ideja Metoda 2 jeste da se unapredi Metod 1 tako da se period do 2050. godine podeli na manje intervale kako bi se interval predikcije smanjio, a samim tim i rezultati bili verodostojniji. Testiranje VNM će se unaprediti u odnosu na Metod 1 i detaljnije proveriti koliko duboko može da nauči kompleksan energetska sistem. Procena emisije CO₂ je podeljena u tri intervala:

1. Od 1990. do 2030.

2. Od 1990. do 2040.
3. Od 1990. do 2050.

Iako je period do 2050. podeljen na ovaj način, postavlja se pitanje kako obezbediti da VNM obavlja simulaciju samo u *bliskoj budućnosti* (narednih 10-15 godina) za svaki period kada stvarni podaci postoje samo od 1990. do 2015? Ovaj uslov je postignut korišćenjem podataka iz prethodno simuliranog perioda. Naime, u prvom periodu obučavanje se obavlja stvarnim podacima (1990-2015) i procenjuje se emisija CO₂ do 2030. godine. Zbog pretpostavke da je VNM dobro procenila emisiju CO₂ (pretpostavka je da je algoritam za obuku i odabir mreža dobar, jer se posmatra samo bliska budućnost), ti podaci se mogu smatrati „novim stvarnim podacima“ i iskoristiti za obučavanje nove VNM za naredni period. Takođe, osim ovih procenjenih, neophodno je uzeti u obzir i stvarne podatke kako bi nova predikcija bila još preciznija, tako da novi obučavajući skup (za naredni period) sadrži i stvarne podatke, ali i „nove stvarne podatke“. Tada se, na osnovu novoformirane mreže obučene navedenim podacima, obavlja nova simulacija za novu blisku budućnost, što u tom slučaju znači naredni period. Isti princip se koristi za definisanje obučavajućeg skupa za treći period, kada se, konačno, dobija VNM čija simulacija obuhvata celokupan period od 1990. do 2050. (čitav proces prikazan je na slici 4.17). Za različite potrebe, ovi intervali se mogu menjati. Što su intervali manji predikcija će biti bolja, jer je budućnost za koju se obavlja predikcija bliža. Intervali u ovom istraživanju definisani su na osnovu ciljeva po periodima koji su definisani dokumentom ERM2050.



Slika 4.17 – Procedura definisanja ulaznih podataka i obučavajućeg skupa, kao i simulacija VNM po periodima za drugi deo istraživanja, metod 2.

Takođe, Metod 2 je usmeren ka detaljnijoj analizi uticaja druge grupe indikatora koji predstavljaju udeo količine energije u UPPE-u jer oni imaju direktan uticaj na emisiju CO₂. Sada se može definisati hipoteza 3 koja glasi:

Korišćenjem unapređene metode za obučavanje i testiranje, VNM može preciznije da prepozna uticaj svih indikatora koji se odnose na udeo potrošenje energije u ukupnoj potrošnji primarne energije a samim tim i da bolje proceni emisiju CO₂ u 2050. Takva mreža može da se iskoristi za upravljanje celokupnim sistemom i da se isti precizno analizira za razne scenarije energetske politike.

Hipoteza 3.

4.4.1 Istraživanje

Kao i u Metodu 1, pretprocesiranje i modeliranje VNM je obavljeno na način definisan u poglavlju 4.3. U zavisnosti od perioda simulacije definisani su ulazni i izlazni skup podataka za obuku VNM (koji će biti objašnjeni u daljem tekstu). Treba imati u vidu da je cilj Metoda 2 isti kao i cilj Metoda 1, a to je procena emisija CO₂ do željenoj godine ukoliko se aktuelna politika nastavi, s tim što je proces dolaženja do ovog cilja malo drugačiji. S toga, nakon obuke, izračunati su trendovi svih indikatora i formirani su novi BAU scenariji za svaki posmatrani period. Obavljena je simulacija, a zatim i izdvajanje mreža na osnovu vrlo jasno definisanih kriterijuma kojim će se proveriti stečeno znanje VNM. Zatim, u tekstu su detaljno objašnjeni kriterijumi za izdvajanje mreže, nakon čega je opisan i metod istraživanja za svaki period posebno.

4.4.1.1 Kriterijumi za odabir mreže

Kao što je već napomenuto, zbog problema koji se mogu javiti prilikom korišćenja modela VNM [poglavljje 4.3.3.3] neophodno je simulirati veliki broj mreža kako bi se izbeglo upadanje mreže u lokalni optimum, a pomoću definisanih kriterijuma izabrati samo one VNM koje su uspele da dobro nauče dati sistem.

Kriterijumi, kao i u Metodu 1, predstavljaju matematičku ali i logičku validaciju mreže, tj. proveru smislenosti dobijenog rešenja. Definisano je pet kriterijuma za izdvajanje VNM, koji se primenjuju nakon obuke.

Prvi kriterijum predstavlja matematičku validaciju VNM na osnovu greške RMSE, dok se ostali kriterijumi odnose na proveru smislenosti rezultata obučene mreže za budući period. Ideja ovih kriterijuma je da se izdvoje one VNM, čija je vrednost procenjene emisije CO₂ u realnim granicama. Šta se podrazumeva pod realnom granicom? Ukoliko, na primer, u nekom budućem periodu, udeo uglja u UPPE-u opadne na 0, a proporcionalno tome udeo obnovljivih izvora energije u UPPE-u se poveća, logično je očekivati da se emisija CO₂ smanji za (otprilike) onoliko koliko sagorevanje uglja utiče na emisiju CO₂. Iz tog razloga na osnovu dobro poznatih emisionih koeficijenata svakog goriva, kao i na osnovu izračunate očekivane količine energije koja će se proizvesti u narednom periodu na osnovu trendova druge grupe indikatora, izračunata je očekivana vrednost emisija CO₂ u budućnosti.

Za svaki period posebno, definisani su politički scenariji promenom energetske miksa. Treba naglasiti da se prva grupa indikatora ne menja kroz sve scenarije, nego da je promena vezana samo za drugu grupu indikatora, tj. energetske miksa.

Uticaj ljudskih i prirodnih procesa na emisiju CO₂ nije direktan da se može izračunati samo na osnovu količine potrošnje određene vrste goriva. Iz tog razloga je i izdvojeno 10 različitih indikatora, i koristi se model VNM kako bi pronašla zavisnosti koje se direktno ne

vide. Procenu emisija CO₂ koja se dobila na osnovu energetske miksa je, iz tog razloga, neophodno shvatiti s određenom rezervom, a to znači dozvoliti joj da varira u određenim granicama. Na osnovu izračunate očekivane vrednosti emisije CO₂, dodavanjem i oduzimanjem tolerancije od 5% formira se interval koji služi kao kriterijum za odabir mreže. Vrednost od 5% je uzeta iz razloga što to predstavlja dovoljno mali dijapazon kako bi se rezultati smatrali tačnim, ali i dovoljno veliki kako bi se ostavio prostor za uticaj i drugih parametara na emisiju.

Formula za računanje količine emitovanog CO₂ za određeni energent u određenoj godini data je izrazom 4.4.

$$\text{energent}_{\text{kgCO}_2\text{e}} = (\text{energent}_{\text{Mtoe}} * 10^6 * c_{\text{toe-kWh}}) * ec_{\text{energent}} \quad 4.4$$

gde $\text{energent}_{\text{kgCO}_2\text{e}}$ predstavlja količinu energenta izraženu u kgCO₂e⁵⁵, $\text{energent}_{\text{Mtoe}}$ količinu energenta u Mtoe (izračunatu na osnovu trenda), $c_{\text{toe-kWh}}$ predstavlja konstantu za konverziju toe u kWh, i ec_{energent} predstavlja emisijski koeficijent posmatranog energenta. Izračunavanjem količine emitovanog CO₂e za svako gorivo posebno, i njihovim sabiranjem dobija se ukupna količina emitovanog CO₂e u 2050. godini. Nakon toga urađena je normalizacija podataka. Kao minimalna i maksimalna vrednost, za potrebe normalizacije, uzete su 0 i ukupna količina emitovanog CO₂ iz datog scenarija, respektivno. Na dobijenu ukupnu normalizovanu vrednost emisije CO₂ dodaje se i oduzima tolerancija od ±5% što, konačno, daje očekivani opseg emisije CO₂ u datoj godini.

Na ovaj način definisani su ostali kriterijumi za izdvajanje VNM, a to je da emisija CO₂ (rezultat simulacije) u krajnjoj godini željenog perioda bude u opsegu:

$$\text{Simulirana vrednost} \in \{\text{očekivana_vrednost CO}_2 \pm 5\%\},$$

gde je $\text{očekivana_vrednost}$ izračunata na osnovu udela goriva u UPPE-u pomnoženih sa koeficijentima njihovog uticaja na emisiju CO₂.

4.4.1.1.1 Prvi kriterijum

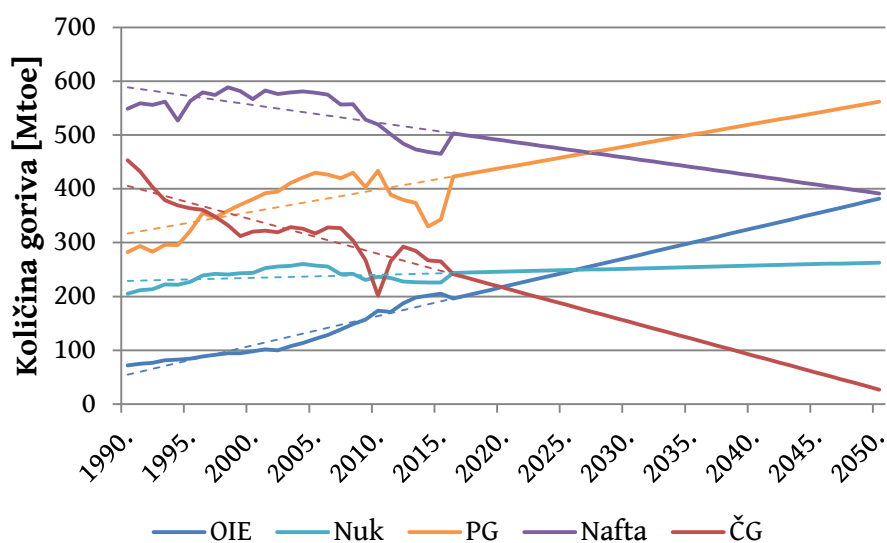
Prvi kriterijum važi za računanje greške RMSE za ceo period obuke i definisan je po uzoru na prvi kriterijum Metoda 1. Ovaj kriterijum zahteva da greška simulacije bude manja od 10%, za razliku od kriterijuma iz Metoda 1 gde je granica bila 2%. Pod greškom simulacije podrazumeva se RMSE između stvarnih (snimljenih) podataka emisije CO₂ (npr. u prvom periodu to je 1990. do 2015.) i izlaza iz mreže (simuliranih podataka u istom periodu) izračunate jednačinom 4.3. Vrlo je značajno da postoji kompromis između generalizacije i tačnosti mreže. Jedan od načina da se izuzmu mreže koje imaju problem preobučavanja i podobučavanja jeste da se izaberu one mreže koje nemaju ni preveliku, ali ni premalu grešku simulacije. Ukoliko je greška vrlo mala postoji verovatnoća da je mreža smanjila sposobnost generalizacije. Takođe, ukoliko je greška prevelika, VNM ne oslikava sistem sa dovoljnom tačnošću. Stoga, u zavisnosti od konkretnog problema i sistema koji se posmatra, neophodno je proceniti i definisati odgovarajuću granicu. Praksa je pokazala da čak i VNM sa većom greškom mogu da daju veoma smislene rezultate, a da one sa greškom do 10% najbolje odgovaraju sistemu. Na osnovu prethodnog dela istraživanja, pilot testova, kao i praćenja najbolje prakse, u Metodu 2 se došlo do zaključka da je granica od 10% dovoljno dobra. Kao

⁵⁵ Količina CO₂ ekvivalenta u kg predstavlja količinu emisija GHG koja se oslobodi iz određenog goriva, izražena kroz ekvivalentnu količinu zagađenja koju ugljen-dioksid napravi.

što će se videti i u rezultatima, najpogodnije i najbolje mreže koje su dobijene imale su grešku simulacije oko 7%.

4.4.1.1.2 Drugi kriterijum

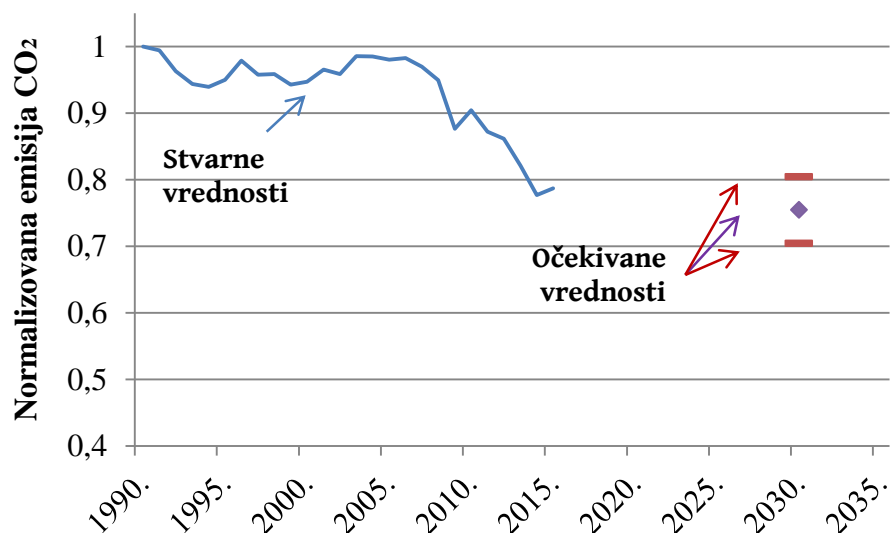
Drugi kriterijum formiran je po uzoru na drugi kriterijum iz Metoda 1. Za svaki period definisan je novi scenario u kojem se aktuelna politika nastavlja do krajnje godine perioda. Slika 4.18 prikazuje primer ovog scenarija do 2050. godine (kroz drugu grupu indikatora, tj. energetski miks), koji je korišćen i u Metodu 1. Nakon pronalaska vrednosti u budućnosti, kao i očekivane vrednosti emisije CO₂ na osnovu udela goriva u UPPE-u, urađena je normalizacija svih podataka. Ovako formirane, normalizovane vrednosti indikatora vezanih za energetski miks predstavljaju glavni scenario i referentnu tačku u odnosu na dalje istraživanje (druge kriterijume).



Slika 4.18 – Prikaz scenarija. Nastavak aktuelne energetske politike EU28 sa stanovišta energetskog miksa.

Primer

Izračunata (očekivana) emisija CO₂ u 2030. godini za M2_BAU scenario u procentima, prema jednačini 4.4 iznosi 75,45% u odnosu na referentnu vrednost iz 1990. Na osnovu pomenutog kriterijuma formira se dozvoljeno odstupanje od $\pm 5\%$ za simuliranu vrednost CO₂, što dovodi do intervala od 70,45 do 80,45% u kojem simulirana CO₂ mora da se nađe. Na slici 4.19 su prikazane stvarne vrednosti emisije CO₂ od 1990. do 2015. godine, kao i definisan interval u kojem se očekuje da emisija CO₂ bude u 2030. godini za M2_BAU scenario.

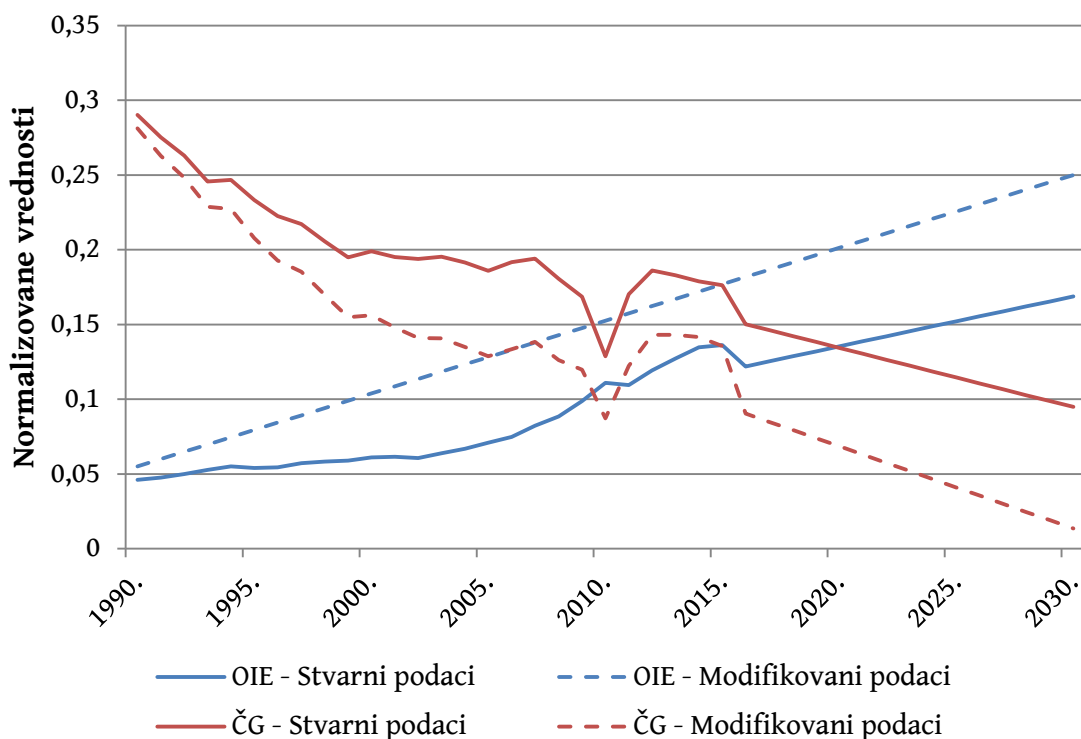


Slika 4.19 – Prikazana je stvarna vrednost emisije CO₂ u periodu od 1990. do 2015. godine, i interval u kojem se očekuje da emisija CO₂ bude u 2030. godini za definisani scenario.

4.4.1.1.3 Treći kriterijum

Kao i prethodni kriterijum, i ovaj posmatra simulirane vrednosti emisije CO₂ u krajnjoj godini posmatranog perioda. Ono što ga razlikuje od prethodnog jeste to što se simulira drugačiji scenario energetske politike, promenom energetskog miksa. Vrednosti prve grupe indikatora ostaju iste kao i u M2_BAU scenariju, dok su vrednosti druge grupe indikatora promenjene. Cilj trećeg kriterijuma jeste da proveri znanje VNM o uticaju obnovljivih izvora energije i čvrstih goriva na emisiju CO₂. Udeo OIE je povećan, a proporcionalno tome udeo čvrstih goriva u UPPE-u smanjen. Vrednost UPPE-a ostaje ista kao i u M2_BAU scenariju. Očekivano je, pošto se svi ostali indikatori drže konstantnim u odnosu na M2_BAU, da će se emisija CO₂ smanjiti tokom vremena, jer je emisioni koeficijent OIE mnogo manji od emisionog koeficijenta čvrstih goriva (za OIE on je 0). Način na koji se promena energetske politike u tehničkom smislu prikazuje VNM jeste promena krive koja predstavlja udeo određenog goriva u UPPE-u. U ovom konkretnom slučaju umesto *trenda* udela čvrstih goriva i OIE (korišćenih u scenariju BAU), formirana je nova funkcija po kojoj se udeo OIE povećava linearno sa 6% (koliko je otprilike iznosio 1990. godine) na 25% u krajnjoj godini. Proporcionalno ovoj promeni formirana je i nova funkcija promene udela čvrstih goriva u UPPE-u. Na slici 4.20 predstavljeni su trendovi za OIE i ČG iz M2_BAU, kao i nove vrednosti. Sa stanovišta analize energetskog sistema, na ovaj način je, *de facto*, definisan novi scenario energetske politike u kojem se (teorijski) dostigao isplativ stepen korišćenja OIE, a tehnologija je u tolikoj meri poboljšana da su OIE zamenili većinu tradicionalnih termoelektrana u EU. Rezultat je redukcija korišćenja čvrstih goriva i proporcionalno povećanje OIE.

Ovo istraživanje i model VNM ne razlikuju mere i akcije koje prethode definisanom scenariju, tj. način na koji se došlo do ovakvog scenarija, te takva analiza nije predstavljena u ovom istraživanju. Polazi se od pretpostavke da su se ekonomske/političke/tehnološke, pa i psihološke pripreme i promene u društvu *desile*, da su one dovele do smanjenja sagorevanja čvrstih goriva i povećanja korišćenja OIE, i analizira se njihov uticaj na emisiju CO₂. Primer promena prikazan je na slici za period od 1990. do 2030.

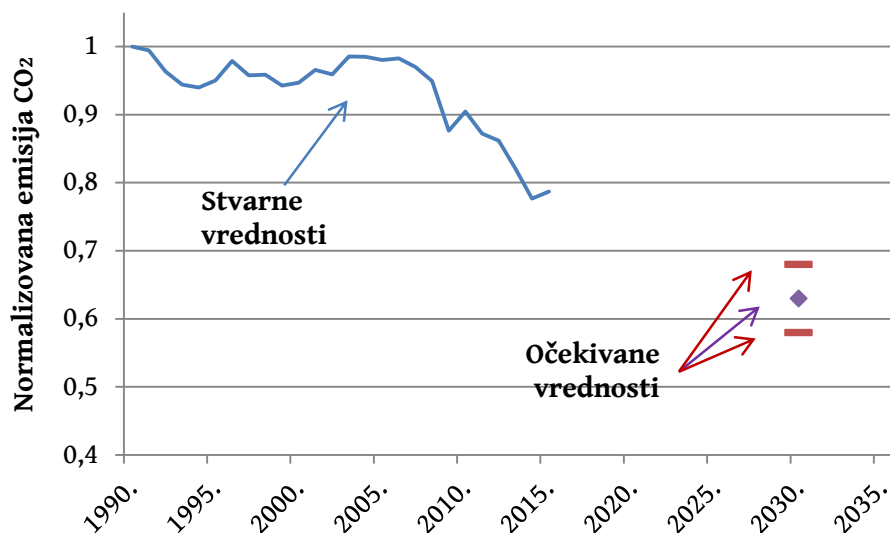


Slika 4.20 - Prikaz scenarija. Nastavak aktuelne energetske politike EU28 sa stanovišta energetskog miksa uz promenu dva energenta – OIE i čvrstih goriva.

Očekivana vrednost emisije CO₂ izračunata je na malo drugačiji način nego u prethodnom kriterijumu, jer je priroda problema promenjena. Pošto je novi scenario definisan nad normalizovanim podacima (udeli goriva u UPPE-u su promenjeni), da bi se izračunala stvarna vrednost potrošnje svih goriva (u Mtoe jedinicama) neophodno je uraditi obrnuti proces od normalizacije, tj. vratiti se na realne jedinice. Nakon promene udela goriva, vrednosti svakog goriva su vraćene u stvarne jedinice tako što je maksimalni UPPE (u odnosu na kojeg je normalizacija i obavljena) imao vrednost onog iz M2_BAU scenarija. Ovo praktično znači da je ukupna količina iskorišćene energije ostala ista kao i u M2_BAU, a da se samo raspodela udela određenih vrsta energije promenila, što je i bio cilj. Na osnovu izračunatih stvarnih vrednosti svakog goriva za ovaj scenario u krajnjoj godini izračunata je očekivana vrednost emisije CO₂, koja je zatim normalizovana. Kao i u prethodnom scenariju dodata je tolerancija na izračunatu očekivanu vrednost od $\pm 5\%$ pa je na taj način formiran i treći kriterijum koji mora da bude ispunjen kako bi mreža mogla da se smatra dobro obučenom.

Primer

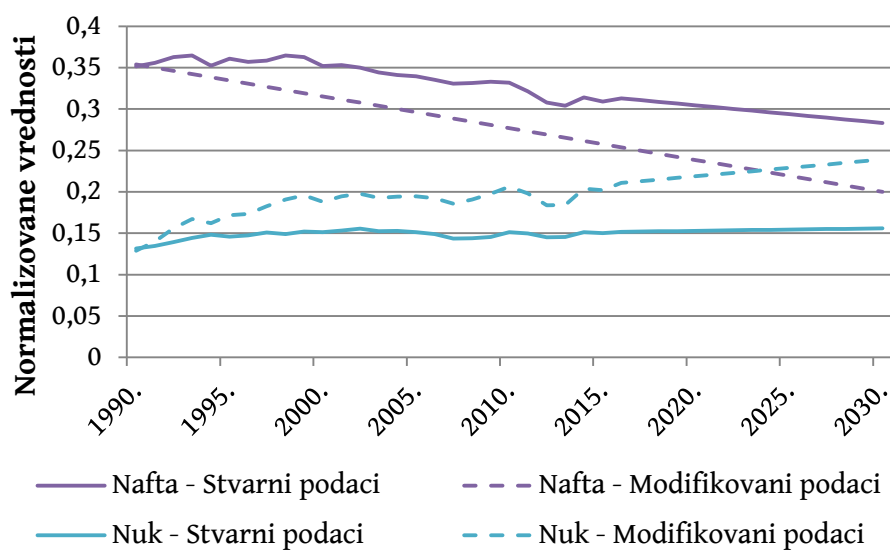
Za period od 1990. do 2030. izračunata (očekivana) vrednost emisije CO₂ na osnovu udela svih goriva, uzimajući u obzir promenjene vrednosti obnovljivih izvora i čvrstih goriva u 2030. godini u procentima iznosi 62,98% u odnosu na referentnu 1990. Formirano je dozvoljeno odstupanje od $\pm 5\%$ za izračunatu vrednost emisije CO₂, što dovodi do intervala od 57,98 do 67,98% u kojem simulirana vrednost emisija CO₂ mora da se nađe. Na slici 4.21 su prikazane stvarne vrednosti emisije CO₂ od 1990. do 2015. godine, zajedno sa definisanim intervalom u kojem se očekuje da emisija CO₂ dođe u 2030. godini.



Slika 4.21 - Prikazana je stvarna vrednost emisije CO₂ od 1990. do 2015. godine, i interval u kojem se očekuje da emisija CO₂ bude u 2030. godini za definisani scenario.

4.4.1.1.4 Četvrti kriterijum

Četvrtim kriterijumom želi se proveriti da li je mreža uspeła da stekne pravu sliku o uticaju tečnih goriva i nuklearne energije na emisiju CO₂. Mreži se predstavlja modifikovani scenario iz trećeg kriterijuma, u kojem su osim OIE i čvrstih goriva sada promenjeni i udeli nuklearne energije i tečnih goriva u UPPE-u. Simulira se scenario u kojem su države članice EU28 počele primenu mera i akcija kojima se izbacuju tečna goriva iz upotrebe, dok se neophodna količina energije potrebna za stabilnu privredu kompenzuje povećanjem nuklearnih kapaciteta. Definisana je nova linearna funkcija po kojoj se udeo tečnih goriva smanjuje sa 35 na 20% od 1990. do krajnje godine posmatranog perioda, a udeo nuklearne energije se proporcionalno tome povećava tako da zbir svih udela goriva u UPPE-u ostane 100%. Promenjeno ponašanje sve četiri vrste goriva prikazano je na primeru prvog perioda, od 1990. do 2030, na slici 4.22.

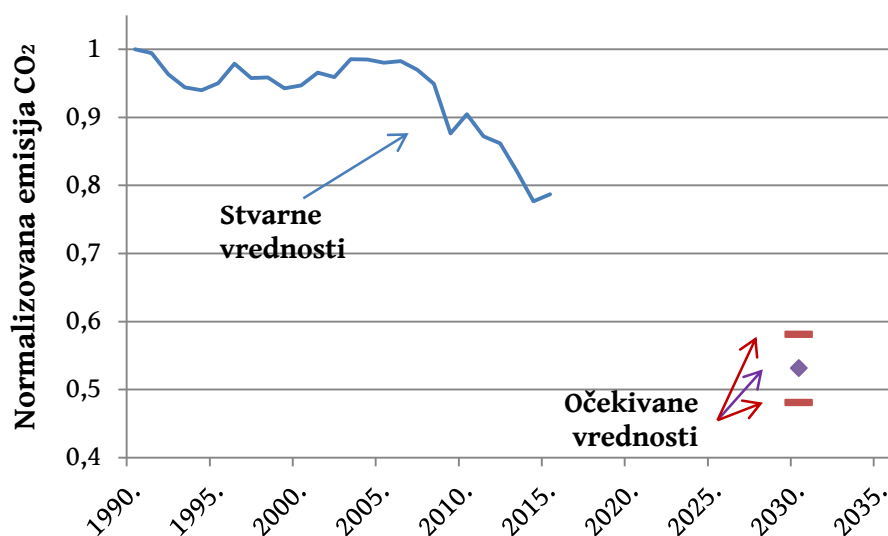


Slika 4.22 - Prikaz scenarija. Nastavak aktuelne energetske politike EU28 sa stanovišta energetskog miksa, uz promenu četiri energenta – OIE i čvrsta goriva (prikazani u trećem kriterijumu na slici 4.20) i naftni derivati i nuklearna energija.

Neophodno je i u ovom slučaju izračunati procenjenju vrednost emisija CO₂ u krajnjoj godini, što je urađeno kao i u prethodnom kriterijumu. UPPE je preuzeta iz M2_BAU scenarija, a na osnovu novodefinisanih udela goriva u UPPE-u izračunata je konkretna količina svakog potrošenog goriva. Dalje, na osnovu emisionih koeficijenata i izračunate količine goriva izračunata je ukupna količina emisije CO₂, koja se očekuje u krajnjoj godini posmatranog perioda. Konačno, definisan je interval u kojem simulirana emisija CO₂ treba da se nađe da bi se kriterijum smatrao zadovoljenim dodavanjem tolerancije od ±5%.

Primer

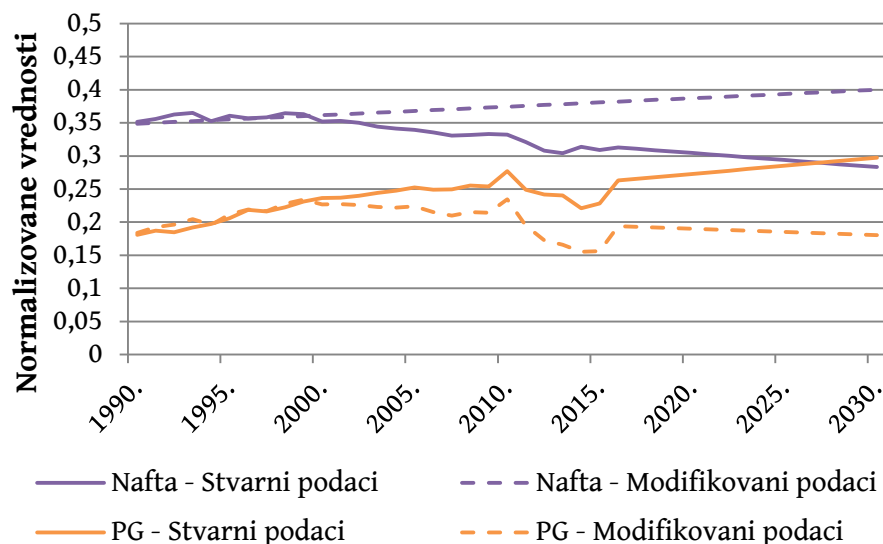
Ukoliko bi se ovaj kriterijum primenio na prvom periodu, ukupna normalizovana vrednost emisija CO₂ u krajnjoj 2030. godini u odnosu na referentnu 1990. iznosila bi 53,12%, a interval u kojem simulacija treba da da rezultat od 48,12 do 58,12%. Slika 4.23 prikazuje stvarne podatke, očekivanu vrednost emisija CO₂, kao i interval tolerancije.



Slika 4.23 - Prikazane su stvarna vrednost emisije CO₂ u periodu od 1990. do 2015. godine, i interval u kojem se očekuje da emisija CO₂ bude u 2030. godini za definisani scenario.

4.4.1.1.5 Peti kriterijum

Poslednjim kriterijumom želi se još proveriti kakvo znanje VNM ima o uticaju prirodnog gasa na emisiju CO₂, te je stoga, definisan novi scenario u kojem se udeo prirodnog gasa u UPPE-u menja u odnosu na M2_BAU. Kako bi se podaci održali u konzistentnom stanju neophodno je, proporcionalno promeniti prirodnog gasa, promeniti još jedan parametar. Imajući u vidu da je nafta (zajedno sa drugim tečnim gorivima) jedna od ključnih energenata današnjice ona je uzeta u obzir za testiranje. Definisana je nova funkcija promene tečnih goriva, koja predstavlja njihov porast sa 35 na 40%, dok se proporcionalno tome udeo prirodnog gasa smanjuje tako da u zbiru udeli svih goriva budu 100%. Promenjeni udeli na primeru perioda od 1990. do 2030. prikazani su na slici 4.24.



Slika 4.24 - Prikaz scenarija. Nastavak aktuelne energetske politike EU28 sa stanovišta energetskeg miksa uz promenu dva energenta – Prirodni gas i naftni derivati.

Primer

Još jednom, prema jednačini 4.4 izračunata je očekivana vrednost emisija CO₂ u procentima u krajnjoj godini (u ovom slučaju 2030.) u odnosu na referentnu godinu i iznosi 78,57%. Zatim je izračunat i interval dozvoljene varijacije simulirane emisije CO₂ od $\pm 5\%$, koji iznosi 73,57- 83,57%, što predstavlja peti kriterijum koji VNM mora da zadovolji.

4.4.1.1.6 Definisane scenarija

Definisano je pet kriterijuma za izdvajanje VNM. Prvi kriterijum stavlja akcenat na grešku modela, dok se ostala četiri odnose na razumevanje zavisnosti ulaza i izlaza. Definisani su različiti scenariji u kojima je modifikovan energetskeg miksa:

1. M2_BAU - Nastavak trenutne politike do krajnje godine perioda, koji je i referentni. Definisano je trend svakog udela goriva u energetskeg miksu od 1990. do 2015. i nastavljen je do krajnje godine posmatranog perioda.
2. M2_MOD1 - Povećanje udela obnovljivih izvora energije i proporcionalno tome smanjenje čvrstih goriva do poslednje godine posmatranog perioda. Trendovi iz M2_BAU scenarija su preuzeti za udeo tečnih goriva, prirodnog gasa i nuklearne energije u UPPE-u, dok je za OIE definisana nova funkcija ponašanja, a za čvrsta goriva vrednost promenjena na način da ukupan zbir svih goriva bude 100%.
3. M2_MOD2 - Povećanje udela obnovljivih izvora energije i proporcionalno smanjenje čvrstih goriva, kao i smanjenje udela tečnog goriva i proporcionalno povećanje nuklearne energije do poslednje godine posmatranog perioda. Trend za udeo prirodnog gasa preuzet je iz M2_BAU scenarija, ponašanje OIE i čvrstih goriva preuzeto je iz scenarija M2_MOD1, definisana je nova funkcija promene udela tečnih goriva, dok je promena nuklearne energije promenjena tako da ukupan zbir udela svih energija u UPPE-u bude 100%.
4. M2_MOD3 – Povećan je udeo tečnih goriva i proporcionalno smanjen udeo energije dobijene iz prirodnog gasa u UPPE-u do poslednje godine posmatranog perioda. Trendovi iz M2_BAU scenarija su preuzeti za udeo čvrstih goriva, OIE i nuklearne energije u UPPE-u, za udeo tečnih goriva definisana je nova funkcija ponašanja, dok je udeo prirodnog gasa promenjen na način da ukupan zbir svih goriva bude 100%.

Za svaki scenario izračunata je očekivana vrednost emisije CO₂ na osnovu emisionih koeficijenata svake vrste goriva i njihovog udela u poslednjoj godini posmatranog perioda. Na osnovu toga, formiran je interval u kojem rezultat VNM mora da se nađe. Da bi se moglo smatrati da je VNM adekvatno obučena neophodno je da zadovolji sledeće kriterijume:

1. VNM ima RMSE manju od 10% za period od 1990. do 2015.
2. Za svaki scenario (M2_BAU, M2_MOD1, M2_MOD2 i M2_MOD3) rezultat VNM treba da bude u intervalu: očekivana_vrednost \pm 5%.

Definisanjem svih ovih kriterijuma želi se analizirati svaka mreža, i izdvojiti ona koja je najbolje obučena. Zašto su se menjala po dva indikatora? Da bi se na pravi način primetio uticaj određenih parametara na krajnji rezultat neophodno je što više veličina „držati konstantnim“ (tj. ne menjati ih u odnosu na referentnu vrednost). Imajući to u vidu, idealno bi bilo menjati samo jedan indikator, međutim, pošto udeo goriva u UPPE-u, u zbiru, uvek mora da iznosi 100% neophodno je bilo promeniti bar još jedan parametar, na isti način, kako bi stanje sistema bilo konzistentno. Kriterijumi su definisani tako da se obuhvati što više scenarija, ispita promena svih energenata, proveriti mogućnost modela da isprati sve promene na smislen način, ali i da broj provera ne bude prevelik.

Svaka simulirana VNM testirana je na predstavljen način, a samo one koje su zadovoljile sve kriterijume korišćene su u nastavku istraživanju. Istraživanje je podeljeno u tri perioda od kojih će svaki biti objašnjen u daljem tekstu.

4.4.1.2 Periodi simulacije

Za svaki period simulacije formirane su nove VNM. Obučavajući skup čine podaci iz perioda od 1990. do 2015, kao i podaci (rezultat) iz prethodno simuliranog perioda (samo u drugom i trećem periodu). Na isti način kao i u Metodu 1 definisani su trendovi svih indikatora fitovanjem podataka polinomom prvog stepena (4.3.1), koji su se iskoristili prilikom formiranja ulaznih podataka za simulaciju VNM. Nakon formiranog ulaznog skupa obavljena je simulacija mreža u željenom periodu, a zatim simulacija i testiranje na definisane kriterijume.

U svakom periodu formirano je 1.000 mreža od kojih je na osnovu pet kriterijuma izdvojeno četiri, dvanaest i četiri mreže za prvi, drugi i treći period respektivno. Naknadnom obradom podataka (eng. *postprocessing*) dobio se konačni rezultat procene emisija CO₂ za svaki period posebno. Naknadna obrada podataka podrazumeva pronalaženje medijane rezultata svih izdvojenih mreža. Zašto je izračunata medijana, a ne srednja vrednost? Kako je više mreža zadovoljilo definisane kriterijume, da bi rezultat bio realniji uzeto je u obzir više VNM. Iako su kriterijumi zadovoljeni, oni samo uzimaju u obzir poslednju godinu, dok se put promene toleriše. Logično je očekivati da će se izračunavanjem srednje vrednosti svih dobijenih rezultata VNM dobiti rešenje predikcije koje je robusnije i realnije. Međutim, treba imati u vidu da je moguće da neka mreža, u određenoj godini može da da nerealne podatke (eng. *outliers*). Takav scenario bi u velikoj meri pomerio srednju vrednost ka toj nerealnoj, te bi i rezultat bio lošiji. Problem srednje vrednosti jeste što svaki uzorak na isti način utiče na rezultat. Iz tog razloga umesto srednje vrednosti izračunata je medijana koja uzima u obzir i broj uzoraka koji se nalaze oko jedne tačke, tj. daje veću važnost onim vrednostima koje su bliske i kojih ima više u odnosu na one koje su izdvojeni izvan svih uzoraka. Medijana uzima onu vrednost iz skupa vrednosti od koje se s obe strane (i veće i manje vrednosti od nje same) nalazi isti broj podataka. Samim tim, ukoliko postoji jedan podatak koji je, po vrednosti, mnogo udaljeniji od svih ostalih, to će minimalno uticati na rezultat.

Takav rezultat, dobijen u prvom i drugom periodu, zajedno s ulaznim skupom podataka na osnovu kojeg je rezultat i dobijen, činio je obučavajući skup VNM u drugom i trećem periodu respektivno, kako bi se mreža obučila i sa „novim stvarnim“ podacima (slika 4.17).

Obukom VNM sa stvarnim i „novim stvarnim“ podacima (u drugom i trećem periodu) obezbeđeno je da svaki period u kojem se sistem simulira bude **bliska budućnost** (narednih 10-15 godina), umesto perioda koji se može nazvati *daleka budućnost* (2015-2050) iz Metoda 1, što povećava verodostojnost i preciznost rezultata.

4.4.1.3 Simulacija, testiranje i analiza greške

U zavisnosti od perioda, za obučavanje mreže su se koristili originalni podaci, ali i dodatni „novi stvarni“ podaci koji predstavljaju estimaciju emisija CO₂ iz prethodnog perioda. Ovo je ispravno, jer su VNM zadovoljile sve definisane kriterijume i podaci se mogu smatrati verodostojnim.

U prvom periodu, obučavajući skup se sastojao od 26 uzoraka, za svaku godinu iz perioda od 1990. do 2015. postoji po jedan par ulaz-izlaz. U drugom periodu simulacije obučavajući skup je proširen i uključivao je, osim stvarnih podataka od 1990. do 2015. i podatke iz prethodno simuliranog perioda od 1990. do 2030, te je ukupan broj uzoraka iznosio 67. Podaci iz prethodnog perioda čine parove ulaz-izlaz gde ulaz čine ulazi u VNM za simulaciju, a izlazni podaci predstavljaju rezultat simulacije. Treći, krajnji period simulacije, koji predstavlja i glavni cilj Metoda 2, obuhvata procenu CO₂ u celom periodu od 1990. do 2050, te je obučavajući skup činio podatke iz perioda pre 2040. godine. Oni obuhvataju stvarne vrednosti indikatora (iz 1990-2015), kao i simulirane vrednosti iz prethodnog perioda, što ukupno daje 77 uzoraka za obuku.

Svaki period predstavlja poseban ciklus, u kojem se pripremljeni podaci koriste za obuku VNM, nakon čega se odmah radi simulacija iste VNM za budući period, a zatim testiranje i izdvajanje mreže pomoću definisanih pet kriterijuma. Oznake svakog scenarija proširene su oznakom perioda (tj. P1, P2 i P3).

Kao što praksa sugeriše, pre svake simulacije podaci su na proizvoljan način podeljeni u dva skupa, za obuku (80%) i testiranje (20%). Imajući u vidu da je za što bolju obuku neophodan reprezentativan skup podataka, postupak proizvoljne podele podataka je u Metodu 2 obavljen je pet puta. Verovatnoća da mreža uđe u lokalni minimum, zbog loše izabranih početnih vrednosti težina neurona, smanjena je formiranjem čak dve stotine VNM za svaku proizvoljno izabranu podelu. Stoga, ukupan broj formiranih, obučanih i simuliranih mreža za svaki period iznosi $5 \cdot 200 = 1000$.

Nakon obuke, svaka definisana mreža je simulirana na četiri scenarija kako bi se proverila njena sposobnost generalizacije i celokupno njeno znanje o sistemu. Svaki scenario definisan na način da se proveri određeni segment znanja mreže [poglavlje 4.4.1.1] da bi, konačno, za mreže koje prođu sve kriterijume uspešno, moglo da se smatra da su razumele energetske sistem, kao i zavisnosti između indikatora i emisije CO₂.

4.4.2 Rezultati

4.4.2.1 Prvi period

Nakon simulacije i testiranja, izdvojene su četiri mreže koje zadovoljavaju svih pet kriterijuma. Kao finalni rezultat (finalna estimacija emisije CO₂, od 1990. do 2030.) uzeta je medijana izračunata na osnovu rezultata sve četiri mreže zajedno.

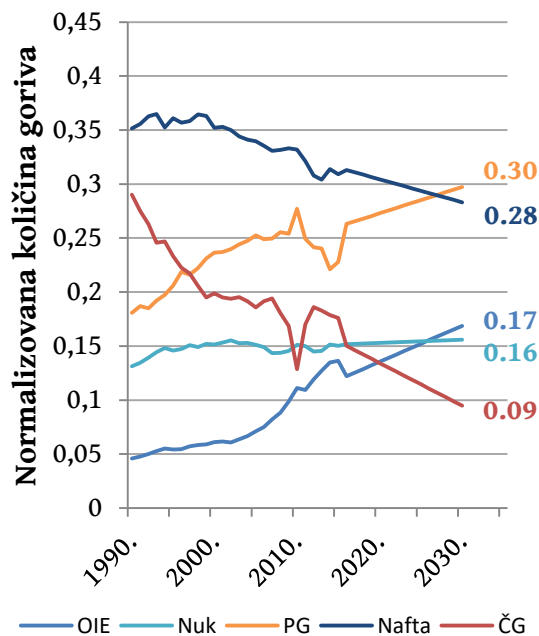
Na osnovu količine goriva i njihovog udela u UPPE-u izračunata je očekivana emisija CO₂ u 2030. godini za svaki scenario, kao i interval ($\pm 5\%$) u kojem se rezultat simulacije mora naći. Vrednosti su prikazane u tabeli 4.3.

	Očekivana vrednost CO ₂	Interval za kriterijum ($\pm 5\%$)
M2_BAU_P1	0,75449	0,70449 – 0,80449
M2_MOD1_P1	0,62986	0,57986 – 0,67986
M2_MOD2_P1	0,53124	0,48124 – 0,58124
M2_MOD3_P1	0,78571	0,73571 – 0,83571

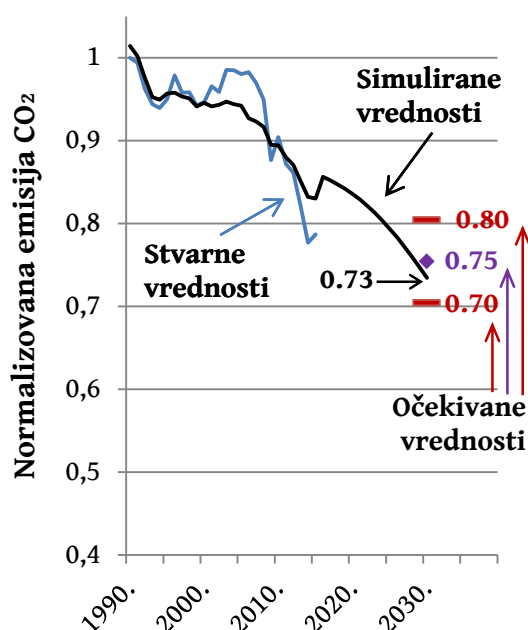
Tabela 4.3 – Očekivana vrednost CO₂ po scenarijima za prvi period.

4.4.2.1.1 Scenario M2_BAU_P1

Energetski miks prema M2_BAU_P1 scenariju predstavljen je na slici 4.25. Konačni rezultat simulacije (medijana rezultata četiri mreže) za scenario M2_BAU_P1 prikazana je na slici 4.26. Prikazani su stvarni podaci, očekivana vrednost emisija CO₂, kao i granice tolerancije. Može se primetiti da je simulacija dala rezultat približno očekivanoj vrednosti, koji svakako upada u definisani interval tolerancije. Rezultati pokazuju da simulirana kriva prati stvarne podatke od 1990. do 2015. s određenom greškom koja je uzrokovana što greškom simulacije, što činjenicom da su prilikom simulacije korišćeni *trendovi* prve grupe indikatora umesto *stvarnih vrednosti*. Skok koji se vidi u 2016-toj godini uzrokovan je skokom u ulaznim podacima, jer su do 2015. korišćene stvarne vrednosti druge grupe indikatora, nakon čega (2016-te) je nastavljen njihov trend. Trend nije moduliran (pomeren) da se nastavlja od vrednosti iz 2015. nego je uzeta njegova osnovna vrednost. Nakon 2015. vidi se postepeni pad emisije CO₂, ukoliko indikatori nastave trend koji su imali u proteklih 26 godina, a krajnja procena u 2030. godini iznosi 0,7347, tj. 73,47%.



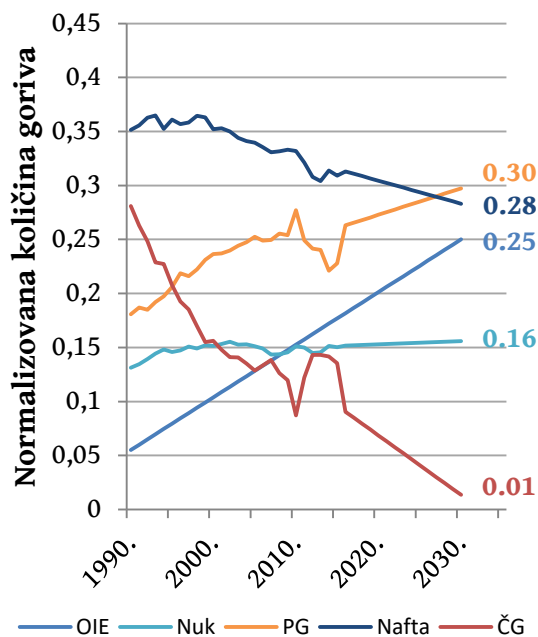
Slika 4.25 - Energetski miks za prvi period, scenario M2_BAU_P1.



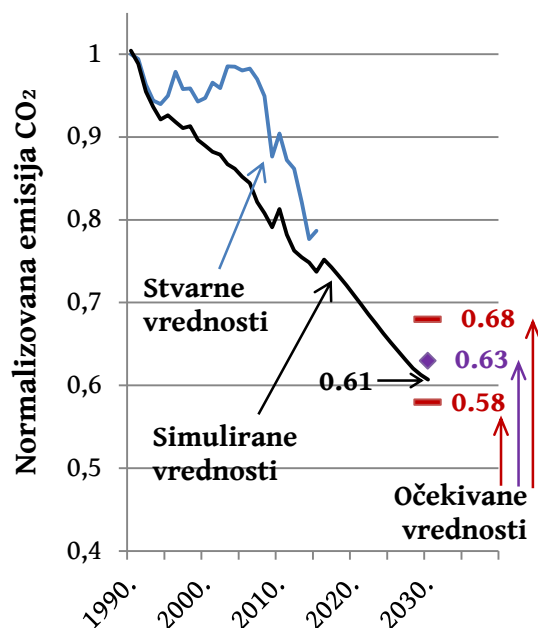
Slika 4.26 - Rezultat simulacije za prvi period, scenario M2_BAU_P1.

4.4.2.1.2 Scenario M2_MOD1_P1

U ovom scenariju udeo OIE u UPPE-u je povećan sa 6 na 25% tako da se promena postepeno dešava od 1990. do 2030. godine. Takođe, proporcionalno tome, udeo čvrstih goriva je smanjen. Raspodela goriva u UPPE-u prikazana je na slici 4.27.



Slika 4.27 - Energetski miks za prvi period, scenario M2_MOD1_P1.

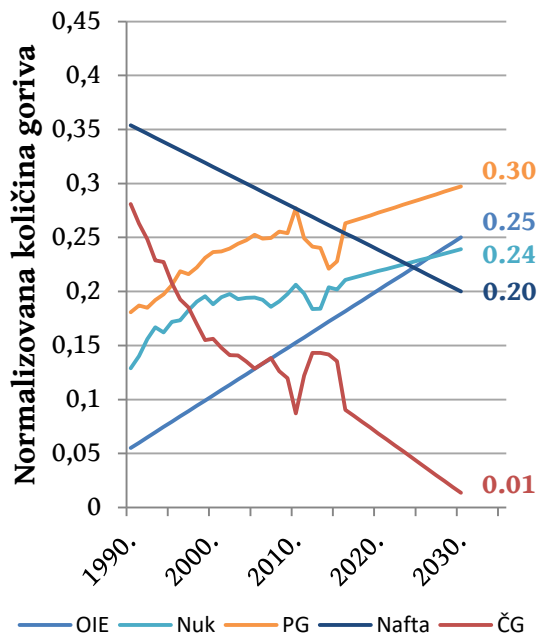


Slika 4.28 - Rezultat simulacije za prvi period, scenario M2_MOD1_P1.

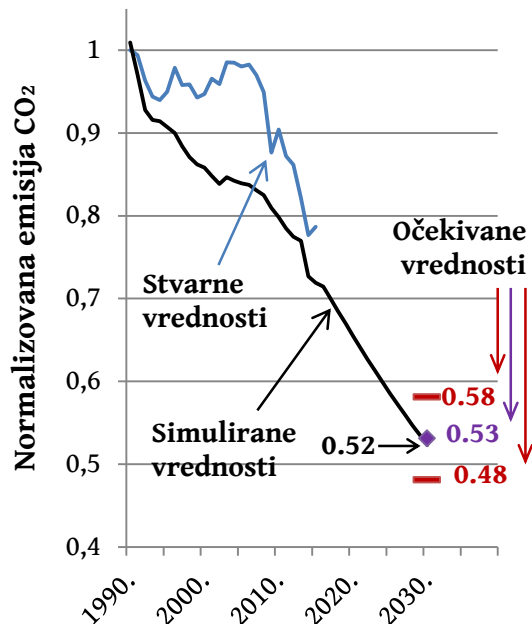
Simulacijom ovog scenarija dobijeni su očekivani rezultati koji su prikazani na slici 4.28. Rezultati pokazuju da postoji veliko odstupanje stvarnih podataka i simulirane vrednosti u periodu od 1990. do 2015, što je i očekivan rezultat, pošto su i udeli OIE i ČG promenjeni u istom periodu. Takođe, postoji i greška simulacije ali i činjenica da su tokom simulacije korišćeni *trendovi* prve grupe indikatora, umesto *stvarnih podataka*, te je odstupanje od stvarnih podataka opravdano. Ono što se može zapaziti kod simulirane krive jeste da postoji konstantan pad emisija CO₂ što je, takođe, očekivano ponašanje s obzirom na to da se zna da udeo, kako OIE, tako i ČG, u UPPE-u direktno utiču na emisije. U krajnjoj godini emisije CO₂ imaju vrednost 0,6072.

4.4.2.1.3 Scenario M2_MOD2_P1

U ovom scenariju udeo OIE i udeo čvrstih goriva ostao isti kao u M2_MOD1_P1, dok je definisana nova postepena promena udela tečnih goriva i udela nuklearne energije u UPPE-u. Pošto je nuklearna energija čista sa stanovišta emisija CO₂, tečna goriva imaju značajan uticaj, očekivana je još manja vrednost emisija CO₂ u 2030. godini nego u scenariju M2_MOD1_P1, što je i izračunato na osnovu emisionih koeficijenata. Udeo goriva u UPPE-u predstavljen je na slici 4.29.



Slika 4.29 - Energetski miks za prvi period, scenario M2_MOD2_P1.

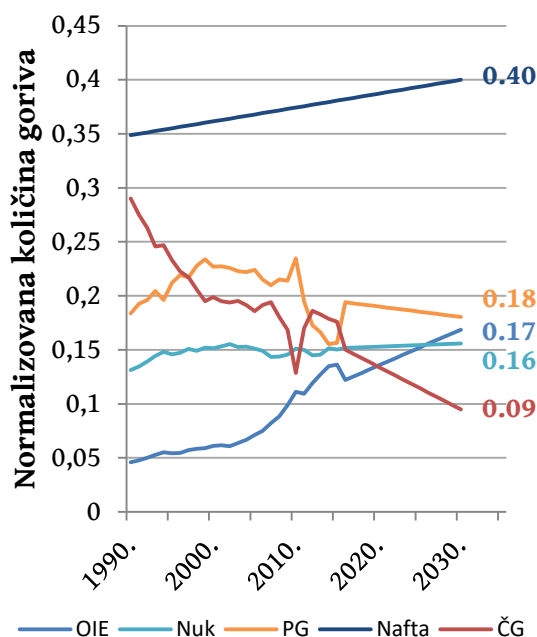


Slika 4.30 - Rezultat simulacije za prvi period, scenario M2_MOD2_P1.

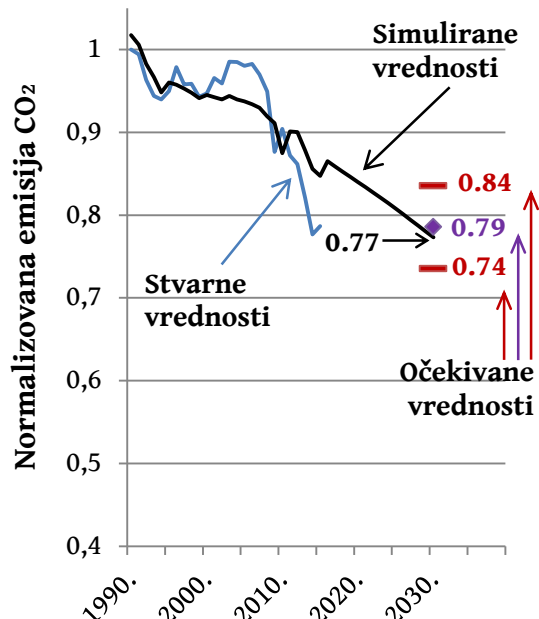
Simulacijom ovog scenarija dobijene su VNM koje su zadovoljile definisane uslove i daju očekivane rezultate. Rezultat je prikazan na slici 4.30 na kojoj se vidi još strmija promena emisije CO₂, a u 2030. godini i ona iznosi 0,5232.

4.4.2.1.4 Scenario M2_MOD3_P1

Scenario M2_MOD3_P1 predstavlja poslednji scenario za obuku kojim se proverava znanje mreže o tačnom naftnom gorivu i prirodnom gasu. Udeli goriva u UPPE-u predstavljeni su na slici 4.31. Izračunata očekivana vrednost emisija CO₂ je 0,78571, a interval u kojem simulirana vrednost treba da se nađe je 0,73571 – 0,83571. Rezultat simulacije prikazan je na slici 4.32. Simulacija pokazuje da izdvojene mreže zadovoljavaju i ovaj scenario. Estimirana vrednost emisija CO₂ u 2030. godini je 0,7732, što odgovara definisanom intervalu.



Slika 4.31 - Energetski miks za prvi period,



Slika 4.32 - Rezultat simulacije za prvi period,

scenario M2_MOD3_P1.

scenario M2_MOD3_P1.

Na ovaj način provereno je znanje svih mreža i izdvojene su samo one koje su uspele da zadovolje sve neophodne uslove.

4.4.2.2 Drugi period

Izdvojeno je dvanaest mreža koje zadovoljavaju svih pet kriterijuma. Kao finalni rezultat (finalna estimacija emisije CO₂, od 1900. do 2040.) uzeta je medijana rezultata svih dvanaest mreža zajedno.

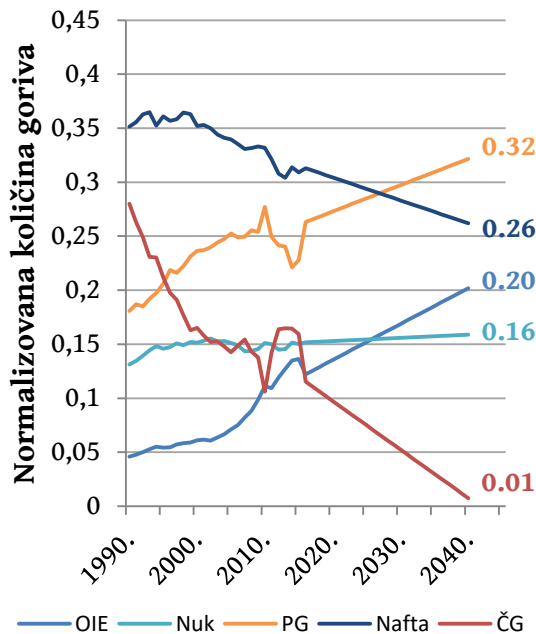
Na osnovu količine goriva i njihovog udela u UPPE-u izračunata je očekivana emisija CO₂ u 2040. godini za svaki scenario, kao i interval ($\pm 5\%$) u kojem se rezultat simulacije mora naći. Vrednosti su prikazane u tabeli 4.4.

	Očekivana vrednost CO ₂	Interval za kriterijum ($\pm 5\%$)
M2_BAU_P2	0,69363	0,64363 – 0,74363
M2_MOD1_P2	0,61963	0,56963 – 0,66963
M2_MOD2_P2	0,54588	0,49588 – 0,59588
M2_MOD3_P2	0,73062	0,68062 – 0,78062

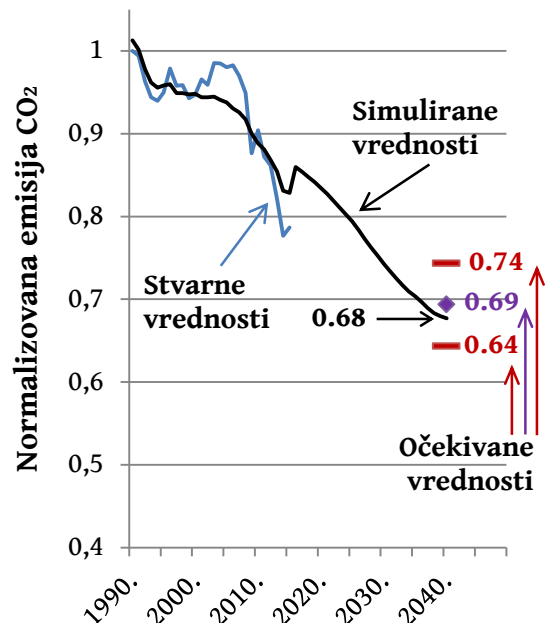
Tabela 4.4 – Očekivana vrednost CO₂ po scenarijima za drugi period.

4.4.2.2.1 Scenario M2_BAU_P2

Udeli goriva u UPPE-u prema M2_BAU_P2 scenariju predstavljeni su na slici 4.33. Konačni rezultat simulacije (medijana rezultata dvanaest mreža) za scenario M2_BAU_P2 prikazana je na slici 4.34. Prikazani su stvarni podaci, kao i očekivana vrednost emisija CO₂ i granice tolerancije. Može se primetiti da je simulacija dala rezultat približno očekivanoj vrednosti, koji svakako upada u definisani interval tolerancije.



Slika 4.33 - Energetski miks za drugi period, scenario M2_BAU_P2.



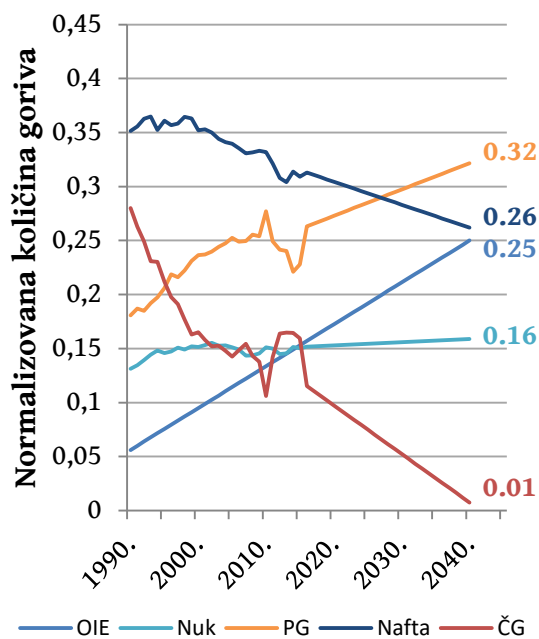
Slika 4.34 - Rezultat simulacije za drugi period, scenario M2_BAU_P2.

Rezultati pokazuju da simulirana kriva prati stvarne podatke od 1990. do 2015. s određenom greškom koja je uzrokovana kako greškom simulacije tako i činjenicom da su

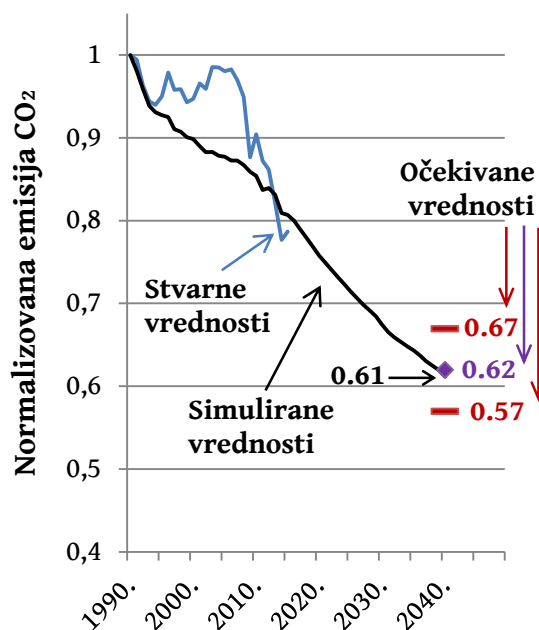
prilikom simulacije korišćeni *trendovi* prve grupe indikatora, umesto *stvarnih podataka*. Skok koji se vidi u 2016-toj godini uzrokovan je skokom u ulaznim podacima, jer su do 2015. korišćene *stvarne vrednosti* druge grupe indikatora, nakon čega (2016-te) je nastavljen *trend* koji nije moduliran (pomeren), tako da se nastavlja od vrednosti iz 2015. pa je uzeta njegova osnovna vrednost. Nakon 2030. vidi se postepeni pad emisije CO₂, ukoliko indikatori nastave trendom koji su imali u proteklih 40 godina, a krajnja procena u 2040. godini iznosi 0,6771.

4.4.2.2.2 Scenario M2_MOD1_P2

U ovom scenariju udeo OIE u UPPE-u je povećan, a udeo čvrstih goriva je proporcionalno smanjen. Raspodela goriva u UPPE-u prikazana je na slici 4.35. Simulacijom ovog scenarija dobijeni su rezultati prikazani na slici 4.36. Rezultati pokazuju postojanje velikog odstupanja stvarnih podataka i simulirane vrednosti od 1990. do 2015, što je i očekivano ponašanje s obzirom na to da su i udeli OIE i ČG promenjeni. Takođe, postoji i greška simulacije ali i činjenica da su tokom simulacije korišćeni *trendovi* prve grupe indikatora umesto, *stvarnih podataka*, te je odsupanje od stvarnih podataka opravdano. Ono što se može zapaziti kod simulirane krive jeste da postoji konstantan pad emisija CO₂ što je, takođe, očekivano ponašanje jer se zna da udeo kako OIE tako i ČG u UPPE-u direktno utiču na emisije. U krajnjoj godini simulirana emisija CO₂ ima vrednost 0,6116.



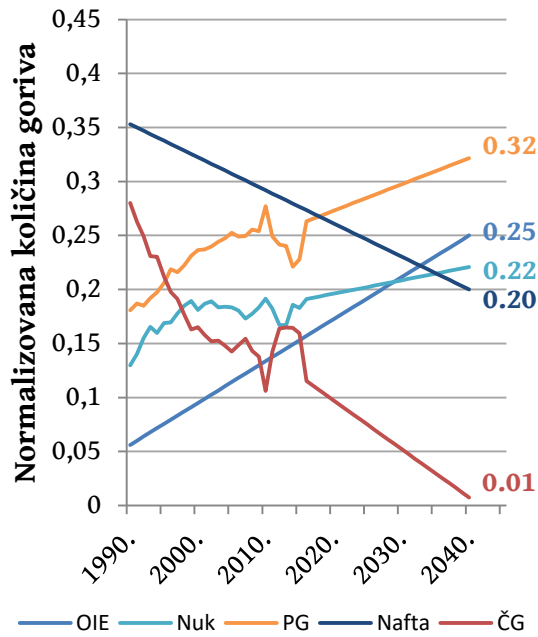
Slika 4.35 - Energetski miks za drugi period, scenario M2_MOD1_P2.



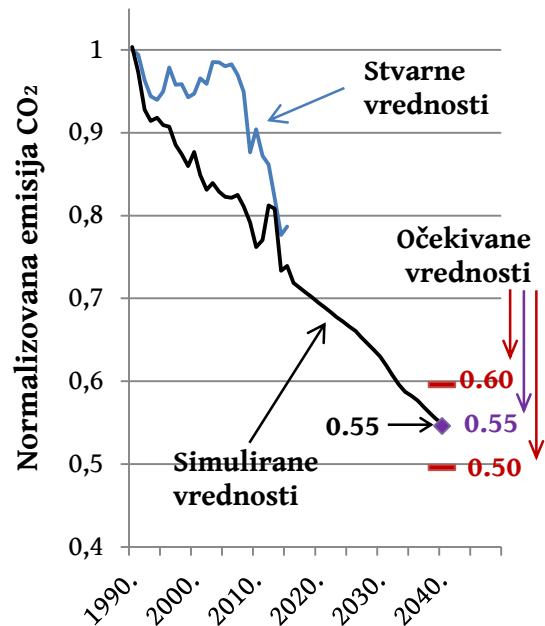
Slika 4.36 - Rezultat simulacije za drugi period, scenario M2_MOD1_P2.

4.4.2.2.3 Scenario M2_MOD2_P2

U ovom scenariju udeo OIE i ČG u UPPE-u je ostao isti, kao u M2_MOD1_P2. Kako bi se proverilo znanje o nuklearnoj energiji i energiji dobijenoj iz tečnih goriva definisane su nove funkcije promene u udelu ovih goriva u UPPE-u. Nuklearna energija je čista sa stanovišta emisija CO₂, te ova promena ima značajan uticaj na emisiju CO₂, pa se očekuje da njena vrednost bude još manja u 2040. godini u odnosu na prethodni scenario. Udeo goriva u UPPE-u predstavljen je na slici 4.37.



Slika 4.37 - Energetski miks za drugi period, scenario M2_MOD2_P2.

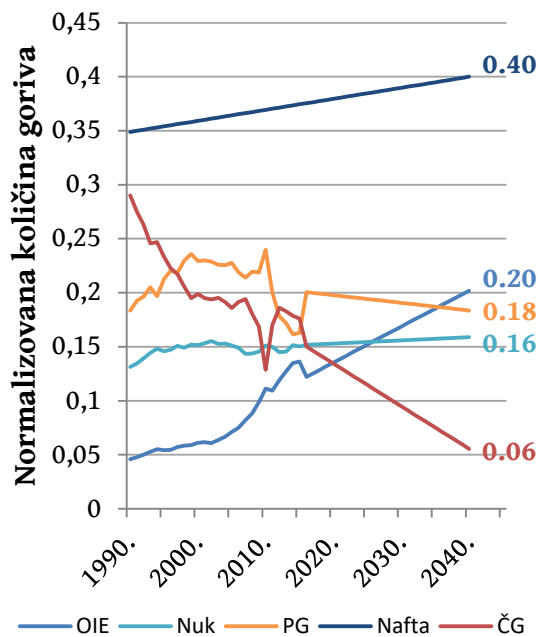


Slika 4.38 - Rezultat simulacije za drugi period, scenario M2_MOD2_P2.

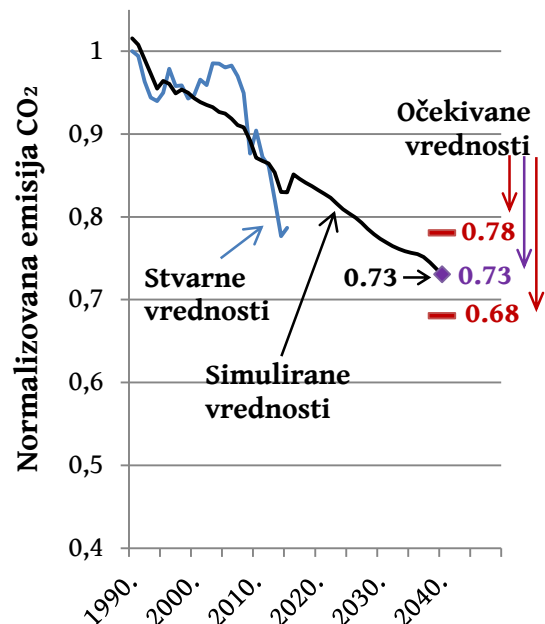
Simulacijom ovog scenarija dobijene su VNM koje su zadovoljile definisane uslove, a finalni rezultat je prikazan na slici 4.38, na kojoj se vidi još strmija promena emisije CO₂ duž celog perioda, a u 2040. godini ona iznosi 0,5490.

4.4.2.2.4 Scenario M2_MOD3_P2

Scenario M2_MOD3_P2 predstavlja poslednji scenario na koji se testira VNM. Njime se proverava znanje mreže o tečnom naftnom gorivu i prirodnom gasu tako što su definisane nove funkcije promene udela u UPPE-u. Udeli svih goriva u UPPE-u za ovaj scenario predstavljeni su na slici 4.39.



Slika 4.39 - Energetski miks za drugi period,



Slika 4.40 - Rezultat simulacije za drugi period,

Izračunata očekivana vrednost emisija CO₂ je 0,73062, a interval u kojem simulirana vrednost treba da se nađe je 0,68062 – 0,78062. Rezultat simulacije prikazan je na slici 4.40. Simulacija pokazuje da izdvojene mreže zadovoljavaju i ovaj scenario. Estimirana vrednost emisija CO₂ u 2040. godini je 0,7304, što odgovara definisanom intervalu.

Na ovaj način provereno je znanje svih mreža, a izdvojeno je dvanaest mreža koje su uspele da zadovolje sve neophodne uslove. Na isti način sa velikom verovatnoćom se može pretpostaviti da su mreže uspele da nauče sistem za obučavajući period i da je predikcija za blisku budućnost (2030-2040) verodostojna i prihvatljiva.

4.4.2.3 Treći period

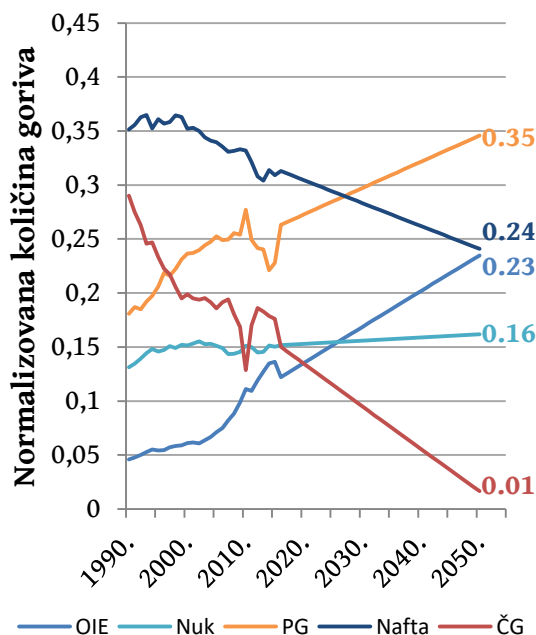
Izdvojene su četiri mreže koje zadovoljavaju svih pet kriterijuma. Kao finalni rezultat uzeta je medijana rezultata sve četiri mreže zajedno. Na osnovu količine goriva i njihovog udela u UPPE-u izračunata je očekivana emisija CO₂ u 2040. godini, a vrednosti za svaki scenario su prikazane u tabeli 4.5.

	Očekivana vrednost CO ₂	Interval za kriterijum (±5%)
M2_BAU_P3	0,63277	0,58277 – 0,68277
M2_MOD1_P3	0,60941	0,55941 – 0,65941
M2_MOD2_P3	0,56052	0,51052 – 0,61052
M2_MOD3_P3	0,67553	0,62553 – 0,72553

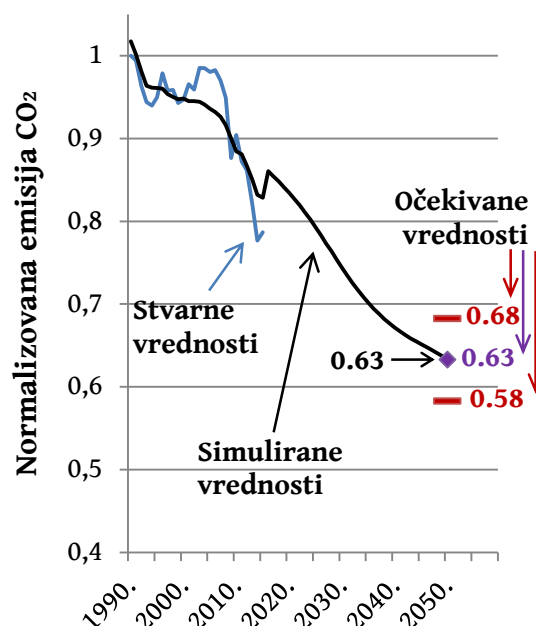
Tabela 4.5 – Očekivana vrednost CO₂ po scenarijima za treći period.

4.4.2.3.1 Scenarij M2_BAU_P3

Udeli goriva u UPPE-u prema M2_BAU_P3 scenariju predstavljeni su na slici 4.41.



Slika 4.41 - Energetski miks za treći period, scenario M2_BAU_P3.

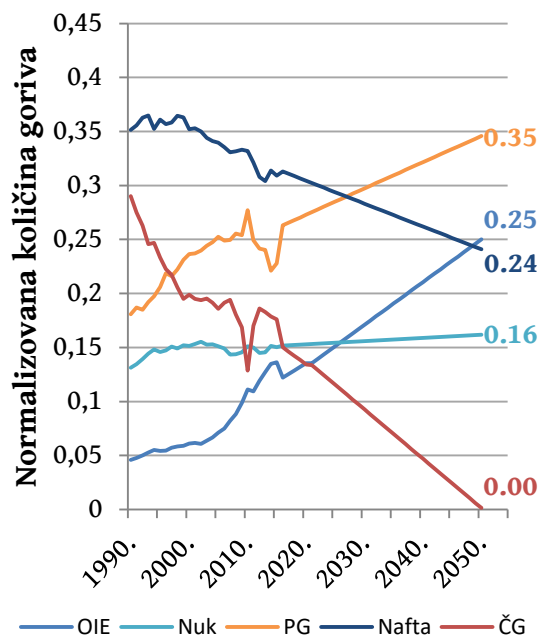


Slika 4.42 - Rezultat simulacije za treći period, scenario M2_BAU_P3.

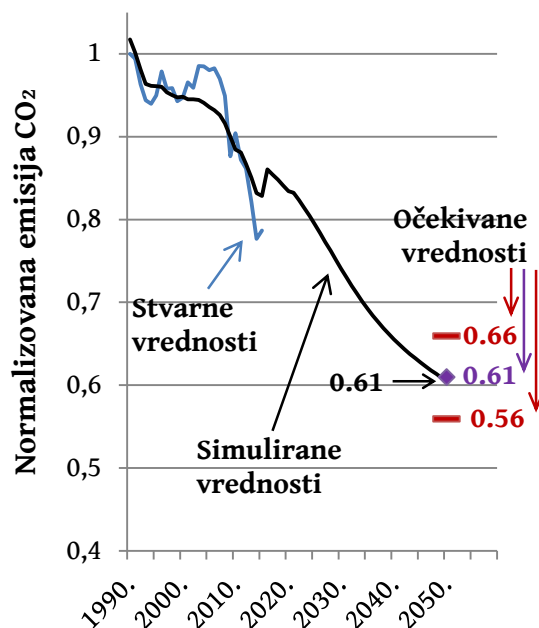
Konačni rezultat simulacije za scenario M2_BAU_P3 dat je na slici 4.42. Prikazani su stvarni podaci, kao i očekivana vrednost emisija CO₂ i granice tolerancije. Može se primetiti da je simulacija dala rezultat približno izračunatoj očekivanoj vrednosti. Rezultati pokazuju da simulirana kriva prati stvarne podatke od 1990. do 2015. s određenom greškom koja je uzrokovana što greškom simulacije što činjenicom da su prilikom simulacije korišćeni *trendovi* prve grupe indikatora, umesto *stvarnih podataka*. Nakon 2040. vidi se pad emisije CO₂ za indikatore koji nastavljaju trend koji su imali u proteklih 50 godina, a krajnja procena u 2050. godini iznosi 0,6332.

4.4.2.3.2 Scenarij M2_MOD1_P3

U ovom scenariju udeo OIE u UPPE-u je povećan, a proporcionalno tome, udeo ČG u UPPE-u je smanjen. Raspodela goriva u UPPE-u prikazana je na slici 4.43. Simulacijom VNM za ovaj scenario dobijen je rezultat prikazan na slici 4.44.



Slika 4.43 - Energetski miks za treći period, scenario M2_MOD1_P3.

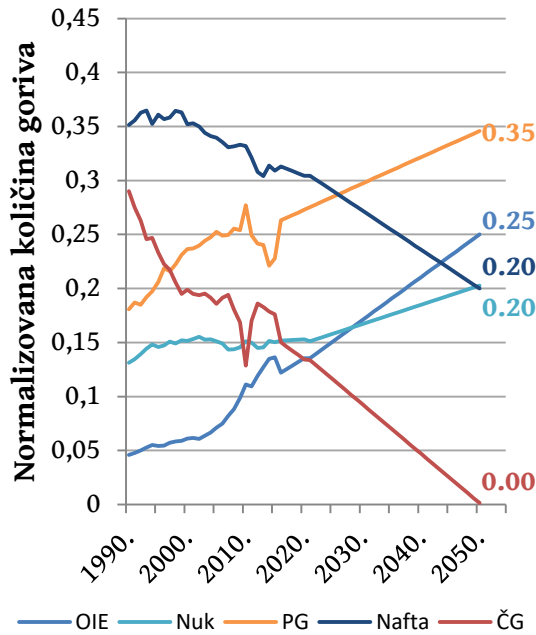


Slika 4.44 - Rezultat simulacije za treći period, scenario M2_MOD1_P3.

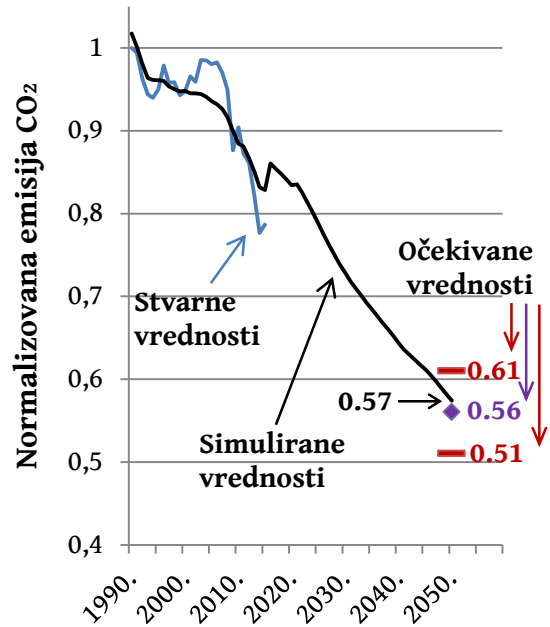
Rezultati pokazuju postojanje odstupanja stvarnih podataka i simulirane vrednosti od 1990. do 2015, kao i u prethodnim periodima. Takođe, postoji konstantan pad emisija CO₂ što je i očekivano, pošto udeo OIE i ČG u UPPE-u direktno utiču na emisije. U krajnjoj godini emisija CO₂ ima vrednost 0,6047.

4.4.2.3.3 Scenarij P3_MOD2_P3

Udeo OIE i ČG je ostao isti kao u M2_MOD1_P3, dok je za udele tečnih goriva i nuklearne energije definisana nova funkcija promene. Novi udeli goriva u UPPE-u predstavljeni su na slici 4.45. Krajnji rezultat simulacije (izračunata medijana sve četiri VNM) je prikazan na slici 4.46.



Slika 4.45 - Energetski miks za treći period, scenario M2_MOD2_P3.

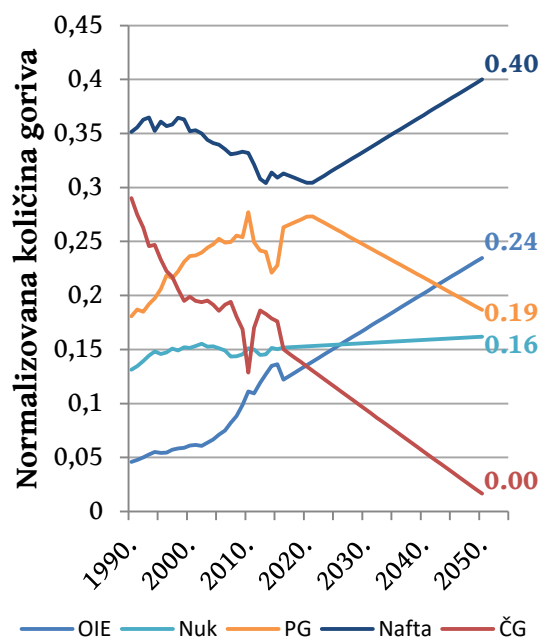


Slika 4.46 - Rezultat simulacije za treći period, scenario M2_MOD2_P3.

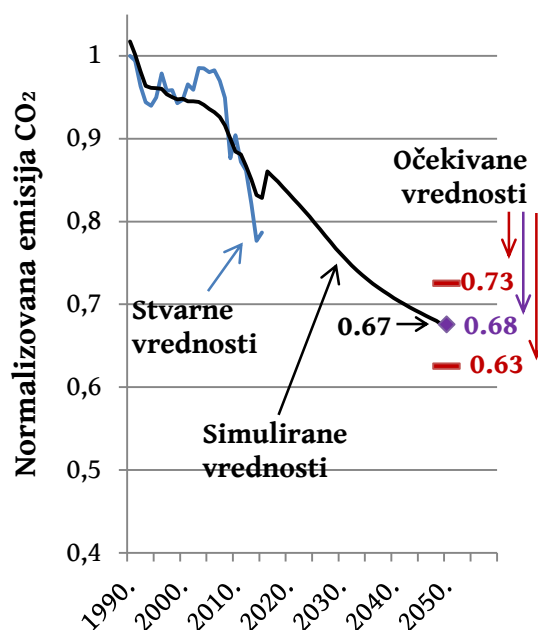
Na slici se vidi još strmija promena emisije CO₂ duž celog perioda, a u 2050. godini ona iznosi 0,5744.

4.4.2.3.4 Scenario M2_MOD3_P3

Scenario M2_MOD3_P3 predstavlja poslednji scenario na koji se testiraju VNM. Njime se proverava znanje mreže o tečnom naftnom gorivu i prirodnom gasu tako što su definisane nove funkcije udela tečnog goriva i prirodnog gasa u UPPE-u. Na slici 4.47 vidljiv je porast tečnih goriva i proporcionalno smanjenje prirodnog gasa, kao i udeli ostalih goriva koji nisu promenjeni u odnosu na M2_MOD3_P3.



Slika 4.47 - Energetski miks za treći period, scenario M2_MOD3_P3.



Slika 4.48 - Rezultat simulacije za treći period, scenario M2_MOD3_P3.

Izračunata očekivana vrednost emisija CO₂ iznosi 0,67553, a interval u kojem simulirana vrednost treba da se nađe je 0,62553 – 0,72553. Krajnji rezultat simulacije prikazan je na slici 4.48, a estimirana vrednost emisija CO₂ u 2050. godini iznosi 0,6732.

Provereno je znanje svih mreža i izdvojeno je četiri koje zadovoljavaju sve definisane uslove. Na taj način sa velikom verovatnoćom se može pretpostaviti da je mreža uspeła da nauči sistem za obučavajući period i da je njena predikcija za blisku budućnost (2040-2050) verodostojna i prihvatljiva.

4.4.3 Diskusija

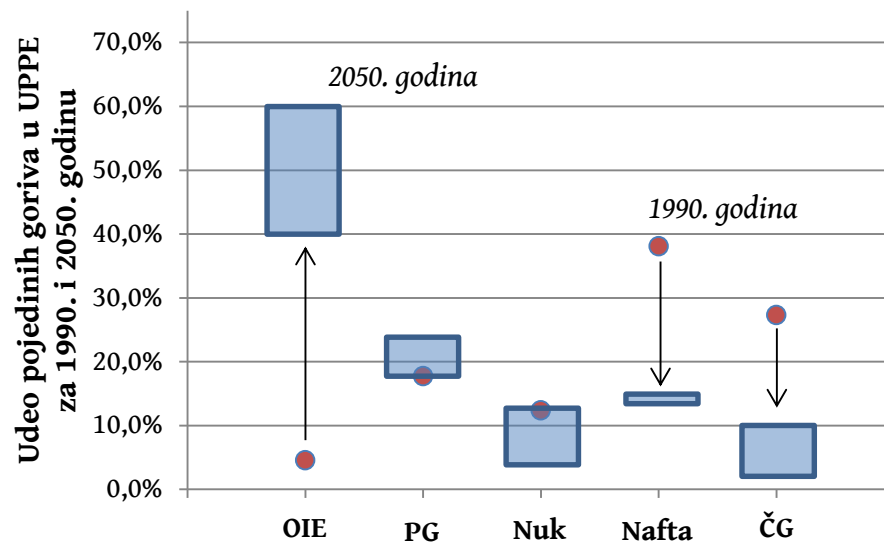
Treba napomenuti da je korišćeni trend izračunat za ceo period od 1990. do 2015, ali da su promene koje se dešavaju sve veće, te je u budućim istraživanjima za BAU scenario smisleno uzeti i drugačiji trend, tj. posmatrati kraći period u prošlosti. U ovom istraživanju, radi jednostavnosti i konzistentnosti podataka uvek se uzimao ceo period stvarnih podataka.

Dobijena vrednost očekivane emisije CO₂, izračunate na osnovu emisionih koeficijenata i količine potrošenog goriva je u skladu sa predviđanjima Evropske komisije prikazanih u dokumentu EMP2050, što daje još jednu potvrdu da je ovakva računica prihvatljiva.

4.5 Analiza scenarija

Nakon pronalaska arhitekture i modela VNM koji na adekvatan način i sa dovoljno dobrom preciznošću može da predstavi energetski sistem EU, moguće je iskoristiti ga za analizu različitih scenarija energetske politike. Energetski miks ima najveći uticaj na količinu CO₂ koji se emituje, te će stoga, scenariji biti predstavljeni kroz njega. Glavni ciljevi EU sa tog stanovišta, sumirani su na slici 4.49, gde su prikazani udeli goriva u UPPE-u u 1990. godini, kao i željeni intervali u kojima udeli treba da se nađu u 2050. godini kako bi se dostigao pad emisije CO₂ na 5-20% u odnosu na 1990. godinu. Može se primetiti da se najveća promena očekuje kod OIE (najmanje 35%), a zatim kod uglja i nafte (smanjenje za oko 20%). Goriva kao što su prirodni gas i nuklearno gorivo se skoro već nalaze u željenom intervalu, mada je i definisani interval dosta širok. Iz ovih podataka se može zaključiti koji su prioriteti

(na osnovu količine željene promene), ali i da, još uvek, postoji nesigurnost u to kolika je količina određenih goriva neophodna (širok interval) za dolaženje do cilja na najisplativiji način.



Slika 4.49 – Plan Evropske komisije EU28 za promenu energetskeg miksa do 2050.

Postoji mnogo načina dolaženja do ovih ciljeva, koji zavise od toga koliko se koja tehnologija bude razvijala, u koju se bude ulagalo, kao i koja je najekonomičnija u određenom trenutku. Pošto ta problematika izlazi iz opsega ove teze, kao i radi lakše analize, u ovom istraživanju pretpostavljeno je da je promena energetskeg miksa linearna po periodima tokom celog ispitivanog perioda. To znači da će udeli goriva postepeno, svake godine, biti menjani kako bi se došlo do definisanih intervala. Same vrednosti intervala, po periodima, nisu računane matematičkim formulama jer precizne vrednosti za trenutnu analizu nisu od suštinske važnosti, nego su vrednosti određene vizuelnom inspekcijom i logičnom procenom. Na osnovu ovoga, formirana su dva scenarija promene energetskeg miksa od 1990. do 2050. godine:

1. Scenario 1, dostizanje vrednosti sredine ciljanog intervala za svaki energent,
2. Scenario 2, dostizanje vrednosti udela goriva koji odgovaraju maksimalnom smanjenju emisija CO₂.

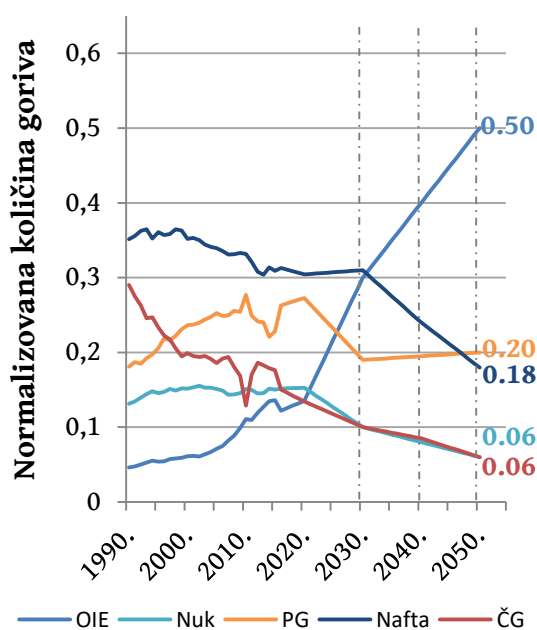
Prilikom definisanja scenarija, kao i u Metodu 2, promena prve grupe indikatora se drži konstantnim, a akcentat je stavljen na energetskeg miks. U tabelama 4.6 i 4.7 definisane su ciljne vrednosti udela goriva po periodima, na osnovu kojih je formirana promena energetskeg miksa tokom čitavog intervala, i koji je analiziran u scenariju 1 i scenariju 2 respektivno. Na slikama 4.50 i 4.51, prikazane su normalizovane vrednosti druge grupe indikatora koji predstavljaju ulaz u VNM za oba scenarija.

	OIE	PG	NUK	Naf	ČG
1990	5%	18%	13%	35%	29%
2030	30%	19%	10%	31%	10%
2040	40%	19,5%	8%	24%	8,5%
2050	50%	20%	6%	18%	6%

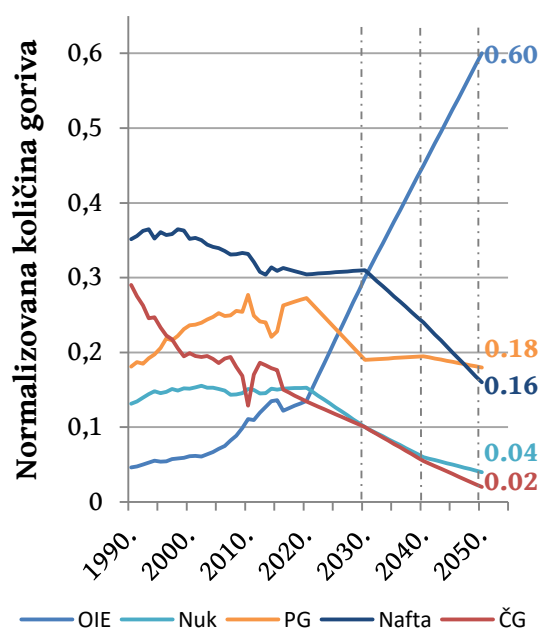
Tabela 4.6 – Scenario 1 – vrednosti udela goriva (ciljevi po periodima), prema procentima.

	OIE	PG	NUK	Naf	ČG
1990	5%	18%	13%	35%	29%
2030	30%	19%	10%	31%	10%
2040	45%	19,5%	6%	24%	5%
2050	60%	18%	4%	16%	2%

Tabela 4.7 – Scenario 2 – vrednosti udela goriva (ciljevi po periodima), prema procentima.



Slika 4.50 - Energetski miks za treći period, Scenario 1.



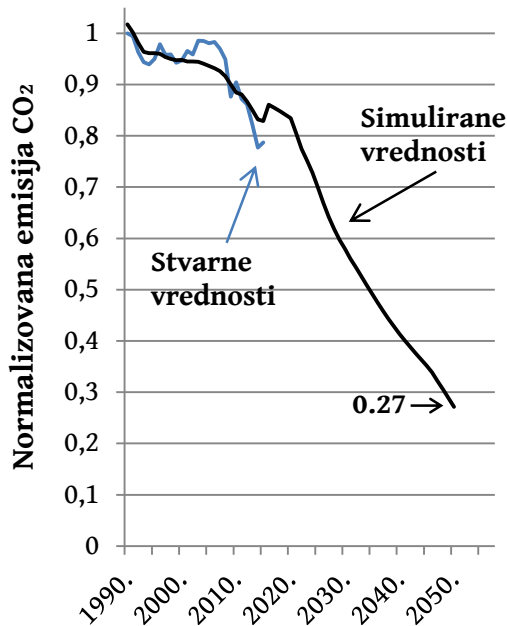
Slika 4.51 - Energetski miks za treći period, Scenario 2.

Veštačke neuronske mreže dobijene u Metodu 2 za ceo period od 1990. do 2050. (ukupno četiri), iskorišćene su za simulaciju ova dva scenarija. Ideja je, radi zaokruživanja celine ovog istraživanja, da se iskoriste VNM koje su zadovoljile sve neophodne kriterijume i pokazale da razumeju čitav ovaj sistem, kako bi se video uticaj novih scenarija energetske politike na emisiju CO₂. Gore definisani scenariji predstavljaju ulaz u VNM, a kao konačni rezultat predikcije, kao i u Metodu 2, izračunata je medijana rezultata svih mreža za svaki scenario.

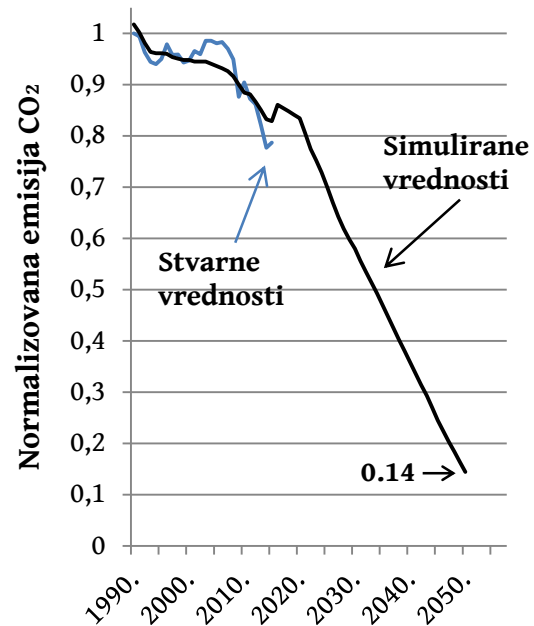
Rezultat simulacije za scenario 1 dat je na slici 4.52. Može se primetiti da VNM procenjuje da će emisija CO₂ pasti na oko 28% u 2050. što nije daleko od cilja pada na 5-20% u odnosu na emisiju iz 1990. Takođe, može se primetiti snažan i očekivan uticaj OIE na emisiju CO₂. Od 2020. do 2030. godine promena udela OIE u UPPE-u je dosta strmija od promene od 2030. do 2050. godine (slika 4.50), što se takođe može primetiti i u slučaju emisija CO₂, koja prati ovu promenu (slika 4.52). Međutim, promena emisija CO₂ je ipak malo blaža od promene OIE, što je, opet, i očekivano ponašanje i može da se objasni činjenicom da emisija ne zavisi samo od OIE, nego i od drugih indikatora i energenata.

Rezultat simulacije drugog scenarija dat je na slici 4.53, i prikazuje smanjenje emisija CO₂ do oko 15%, što u potpunosti odgovara opsegu definisanom ciljem EU. Drugim rečima,

ukoliko se preduzmu neophodne mere i energetski miks se dovede u stanje definisano scenarijom 2, model VNM predviđa da će emisije CO₂ značajno da padnu i da će cilj EU biti ispunjen.



Slika 4.52 – Rezultat procene CO₂ pomoću VNM za Scenario 1.



Slika 4.53 – Rezultat procene CO₂ pomoću VNM za Scenario 2.

Treba imati u vidu da je ova procena urađena samo na osnovu energetskog miksa, i ne uzima u obzir dodatne promene koje će se desiti u prvoj grupi indikatora, te je i ove rezultate bitno uzeti s određenom oprežnošću. Sa druge strane, prilikom obuke svih VNM definisani su strogi kriterijumi na osnovu kojih je ispitano znanje mreže o uticaju svih goriva na emisiju CO₂. Zadovoljavanjem ovih kriterijuma smatra se da sve VNM dovoljno dobro razumeju sistem, i shvataju uticaje energenata na emisiju CO₂. Na osnovu toga, a imajući u vidu da kvalitet goriva direktno utiče na emisiju CO₂, može se zaključiti da su rezultati smisljeni i verodostojni.

4.6 Diskusija

Formiran je alat korišćenjem veštačke inteligencije na osnovu kojeg je moguće predvideti dugoročni, ali i kratkoročni, uticaj određenih političkih odluka na emisiju CO₂. Predstavljenih deset indikatora pažljivo su odabrani kako bi se na osnovu njih mogli izraziti planovi energetske, ali i socijalne i ekonomske politike s jedne strane, i omogućiti veštačkim neuronskim mrežama da pronađu međusobne zavisnosti i estimiraju emisiju CO₂ na što bolji i precizniji način s druge strane. Kreatori politika imaju mogućnost da na relativno jednostavan način provere validnost i smisao potencijalnih mera i akcija, i praktično trenutno dobiju povratne informacije. Svedoci smo veoma brze promene klime, čije posledice su se pojavile već kroz samo jednu generaciju stanovništva, a sve je veći broj naučnih istraživanja koje potvrđuju uticaj čoveka na nju. Od suštinskog je značaja pravovremeno reagovati u cilju smanjenja uticaja čoveka na klimu, a vremena je sve manje, te je povratna informacija o estimaciji uticaja određenih faktora na emisiju CO₂ od ključnog značaja za budućnost pre svega Planete i životne sredine, ali i država i entiteta.

Model veštačke neuronske mreže je formiran primenom najaktuelnijih naučnih podataka i najbolje prakse, i odabran je tako da rešava konkretan domen problema. Obučen je korišćenjem stvarnih podataka, što je od suštinskog značaja za VNM i sisteme koji su nelinearni i čije ponašanje nije moguće precizno definisati (kako zbog kompleksnosti, tako i

zbog neznanja). Testiranje modela, pored definisanja indikatora, predstavljao je jedan od najvećih izazova ovog istraživanja jer postoji mnogo načina da VNM ne izvrši obuku na adekvatan način [poglavlje 4.3.3.3], te je neophodno obučiti i testirati što veći broj VNM kako bi se pronašle i izdvojile samo one koje daju smislene i realne rezultate (procene).

U prvom delu istraživanja (Metod 1), definisan je skup od deset relevantnih indikatora, formiran je model VNM i definisana su dva kriterijuma za njegovo testiranje uzimajući u obzir ciljeve i rezultate najznačajnijeg dokumenta EU o planovima, merama i akcijama u cilju smanjenja uticaja čoveka na životnu sredinu i dostizanju održivog razvoja [8]. U drugom delu istraživanja unapređen je model VNM iz prvog dela promenom metode obuke i testiranja modela. Budući period do 2050. godine podeljen je na manje, kako bi se povećala preciznost estimacije, a dodatni kriterijumi za izdvajanje VNM su definisani na način da se na smislen, logičan i sistematičan način proveriti sposobnost svake modelovane VNM i na kraju izdvoje samo one najbolje. To je veoma bitno jer statistički rezultati u određenim slučajevima ne moraju da budu i realni rezultati. Uzete su u obzir ekstremne situacije i značajne promene u energetsom miksu kako bi se što bolje proverila smislenost rezultata estimacije VNM.

Dokument [8] daje kritički osvrt na trenutno stanje pre svega energetske politike EU, predstavlja ideje, planove, mere i akcije koje bi mogle dovesti do održivog razvoja EU, ali predstavlja i nesigurnosti, potencijalne probleme i izazove sa kojima će se EU susresti. Uzimajući u obzir čitavu analizu, dokument definiše, na generalnom nivou, šest mogućih scenarija od kojih jedan predstavlja nastavak aktuelne politike dok su ostalih pet scenariji koji dovode do znatnog smanjenja emisija CO₂ od čak 80-95% u odnosu na 1990. godinu. Kako cilj ovog istraživanja nije bio korišćenje istih indikatora kao u pomenutom dokumentu već pronalazak novih, nije moguće identične scenarije simulirati predstavljenim alatom. Međutim, dokument [8] definiše smernice i, na globalnom nivou, ciljeve za smanjenje emisija CO₂ kroz, između ostalog, energetske mikse, što je dalo dovoljno informacija i mogućnosti da se predstavljeni alat iskoristi i uradi osnovna estimacija promene emisije CO₂.

5

ZAKLJUČAK

Već je poznato, što veliki broj istraživanja i statističkih podataka i potvrđuje, da prosečna temperatura na planeti direktno zavisi od koncentracije gasova s efektom staklene bašte u atmosferi, sa ugljen-dioksidom kao najvećim predstavnikom. Prve dve industrijske revolucije omogućile su brz razvoj društva i povećanje životnog standarda kroz upotrebu novih energetske resursa, ali istovremeno negativno utičući na životnu sredinu. Korišćenje nafte i uglja, kao osnovnih energetske resursa, dovelo je do značajnog povećanja koncentracije gasova s efektom staklene bašte u atmosferi, a samim tim i do povećanja prosečne temperature na Zemlji. Iracionalnom eksploatacijom prirodnih resursa čovek veštački menja prirodnu ravnotežu, dovodeći do sve većeg disbalansa, što se najviše manifestuje neželjenim klimatskim promenama čije su posledice nesagledive. U drugoj polovini dvadesetog veka ljudi sve više postaju svesni efekta nepromišljenog korišćenja određenih resursa, što je prvi put i zvanično prepoznato od svetskih državnih lidera 1992. godine na konferenciji Ujedinjenih nacija o životnoj sredini i razvoju u Rio de Žaneiru. Krajem prošlog veka (poslednja decenija) zvanično se krenulo u borbu protiv klimatskih promena, tj. smanjenja uticaja čoveka na ekosistem.

Kroz čitavu ljudsku istoriju proces razvoja nauke i tehnologije se ponavlja. Pre svega se desi pronalazak, nakon čega se rađa veliki broj ideja za njegovu primenu. Postoje različiti ljudski interesi, od kojih u skorijoj istoriji dominiraju politički, koji su, od svih, najmanje moralni i u širokom društvenom i prirodnom interesu. Tehnologije počinju da se primenjuju u razne svrhe pa s vremenom, ako ne i odmah, dođu do izražaja i negativni efekti. Zatim, konsultujući moralni kodeks, društvo reaguje definišući zakone i pravila korišćenja tehnologije kako bi život mogao da funkcioniše u najboljem redu i bez posledica. Drugim rečima, prvo se manifestuju posledice a tek onda se reaguje kako bi se one anulirale. Problem u vezi sa klimom jeste taj što priroda kompenzuje i toleriše promene do određene granice nakon čega se gubi kontrola i sistem ulazi u pozitivnu povratnu spregu, koja se, kao što je istorija pokazala, obično završava novim ledenim dobom. Imajući u vidu sporost energetske i državnog sistema, došli smo u trenutak u istoriji kada više nemamo luksuz vremena i reagovanja, nakon što se posledice pojave. Posledice mogu biti nesagledive, opasne, posle kojih ne postoji mogućnost povratka, te stoga, sve mere i akcije koje se sprovode sada i u bliskoj budućnosti moraju biti dobro proračunate kako bi se, dugoročno, dobili najbolji rezultati.

Ovo istraživanje predstavilo je model veštačke inteligencije, koji je sposoban da razume čitav kompleksni energetske sistem jednog velikog entiteta, Evropske unije, i koji je u mogućnosti da proceni emisiju CO₂ na osnovu određenih definisanih indikatora. Na osnovu toga, moguće je simulirati različite scenarije energetske politike promenom definisanih

indikatora, kako bi se video uticaj tih promena na emisiju CO₂, a zatim i kako bi se na vreme moglo reagovati i energetska politika korigovati u cilju minimizacije emisija CO₂. Istraživanje se, pre svega, bazira na ciljevima Evropske komisije definisanih u dokumentu Energetska mapa puta Evropske unije 2050, u odnosu na koje su rezultati ovog istraživanja i analizirani. Dosadašnja literatura se bavi i estimacijom emisija CO₂, ali se odnosi na manje sisteme, drugačije oblasti, kao i neke izolovane delove energetske sisteme, a ne uzima se u obzir kompletan i kompleksan energetski sistem većeg entiteta, koji zavisi od mnogo ekonomskih, socio-političkih i energetske parametara. Stoga, ovakvo sveobuhvatno istraživanje kompleksnog energetske sistema korišćenjem VNM predstavlja novu ideju koja potencijalno može da da dobre rezultate.

Prvi deo istraživanja bavi se definisanjem indikatora kojim se opisuje energetska politika EU. Izdvojeno je deset indikatora i definisana prva specifična hipoteza istraživanja [hipoteza 1 **Hipoteza 1**], koja pretpostavlja da su izdvojenih deset indikatora dobro izabrani i dovoljni za opisivanje energetske politike u cilju procene emisije CO₂. Drugi deo istraživanja podeljen je u dva dela, tj. dva metoda istraživanja radi pronalaska modela VNM, koji odgovara sistemu i proceni emisija CO₂ do 2050. godine. Prvi metod se bavi pronalaskom modela, njegovom obukom i simulacijom i, kao rezultat, predikcijom emisija CO₂ do 2050. godine na osnovu poznatih podataka iz 1990. do 2015. Definisana je i druga hipoteza [hipoteza 2] kojom se pretpostavlja da je model VNM i njena arhitektura dobro izabrana, tj. može da modelira kompleksan energetski sistem. Korišćena je Kaskadna VNM, sa dva skrivena sloja, deset ulaza i jednim izlazom. Ona je zbog svoje strukture pogodna za korišćenje u slučaju da ne postoji veliki obučavajući skup, a može prilično brzo i dobro da se obuči. Ulazi su povezani na svaki sloj mreže, te je mreža uvek svesna svih ulaza. Imajući u vidu da su ulazi u mrežu deset indikatora, koji su sa posebnom pažnjom definisani, pretpostavljeno je da u ovakvoj kombinaciji VNM može da da relativno dobar rezultat. Drugi metod predstavlja unapređenje metoda 1 i načina predikcije emisije CO₂. Pošto je veoma teško predvideti dalju budućnost, posebno u tehnološkom smislu i pogotovo u istorijskom trenutku u kojem se nalazimo kada još uvek važi Moore-ov zakon⁵⁶ napretka i konstantno se rađaju nove i usavršavaju stare tehnologije, neophodno je na neki način obezbediti da se predikcija uvek obavlja u neposrednoj budućnosti. Drugi metod predstavlja rešenje u kojem je čitav interval od 1990. do 2050. godine podeljen u četiri perioda, jedan poznati (1990-2015) i tri nepoznata u kojima će se obavljati procena. Svaki sledeći interval koristi rezultate prethodnog intervala kao poznate, i na osnovu njih se procenjuje dalja (neposredna) budućnost emisija. Definisana je i treća hipoteza [hipoteza 3] koja naglasak stavlja na energetski miks (druga grupa od pet definisanih indikatora) i prema kojoj se pretpostavlja da metod 2 može preciznije da proceni emisiju CO₂ do 2050.

Rezultati istraživanja metoda 1 pokazuju slične predikcije emisija CO₂, kao i „Energetska mapa puta 2050“ (EMP2050) (VNM predviđa da će emisija CO₂ pasti na oko 67%, dok EMP2050 predviđa 62%), i dobijen je veliki broj mreža koji je zadovoljio sve neophodne kriterijume, što dovodi do zaključka da je skup od deset indikatora dobro definisan i da je u mogućnosti da pruži dovoljan skup informacija u cilju predikcije emisije CO₂, čime je prva hipoteza potvrđena. Takođe, pošto je korišćena kaskadna mreža i dobijeni pozitivni rezultati potvrđena je i druga hipoteza, i opravdano je korišćenje ovog specifičnog modela VNM u kombinaciji sa definisanih deset indikatora. Ovi rezultati su objavljeni u radu [84], čime su stekli i svetsko priznanje. Unapređenom metodom 2, dobijene su mreže koje su zadovoljile sve definisane (stroge) kriterijume i dobijeni su rezultati koji su još bliži proceni iz

⁵⁶ Murov zakon se odnosi na Murovu predikciju da će se svake godine broj tranzistora na mikročipu duplirati, dok će se cena računara prepoloviti. Postao je sinonim je za eksponencijalni napredak tehnologije, ne zadržavajući se specifično za računare.

dokumenta EMP2050. Iz ove činjenice može se zaključiti da je i treća hipoteza potvrđena, te da je upotreba veštačkih neuronskih mreža u konkrentom problemu moguća i opravdana.

U poslednjem delu istraživanja definisana su dva scenarija promene energetske miksa radi smanjenja emisije CO₂ na 5-20% do 2050. godine, kao što je definisano u EMP2050. Scenariji su obuhvatali promenu energetske miksa po periodima tako da se dostignu, pre svega, srednje vrednosti definisanih intervala u kojima energenti moraju da se nađu u 2050. godini kako bi se postigao cilj EMP2050, a zatim i maksimalne vrednosti definisanih intervala. Za prvi scenario VNM su prikazali pad emisija CO₂ na oko 28% što je približno definisanom cilju, dok su rezultati VNM za drugi scenario pokazali još veći pad, na oko 15%, što je u potpunosti u saglasnosti sa procenama EMP2050.

Najznačajniji rezultat ovog istraživanja predstavlja činjenica da je kompleksan energetski sistem EU uspešno modelovan pomoću VNM, i da rezultati sugerišu da je predstavljena VNM u stanju da razume sistem. Na osnovu toga, čim postoji razumevanje, povećava se i verovatnoća uspešnosti predikcije i dobijanja realnih rešenja. Simulacijom poslednja dva scenarija još jednom je opravdano korišćenje ovog modela veštačke inteligencije za predikciju emisija CO₂, a prikazana je i praktična primena ovog modela. Još jedna prednost korišćenja VNM jeste ta što postoji mogućnost doobuke mreže, te kad se pojave novi podaci, za narednu godinu, nije neophodno praviti novi model i obavljati obuku u celosti opet. Na osnovu novih podataka mreža je u stanju da koriguje težine neurona, što će se zatim odraziti i na novu procenu emisije CO₂.

Osim energetske miksa, uzimanjem u obzir i promenu ostalih definisanih indikatora moguće je analizirati ovaj sistem na još višem nivou. Povećanjem obučavajućeg skupa (na primer, korišćenjem podataka za svaki mesec, umesto za svaku godinu) umnogome bi mogla da se olakša obuka VNM, a samim tim i poboljša procena. Postoji nezanemarljiv broj kombinacija podesivih parametara VNM, kao i struktura i modela, te su i njihova dalja analiza i testiranje poželjni kako bi se došlo do još bolje predikcije. Jedna od dodatnih mogućnosti za poboljšanje modela sistema jeste njegovo usložnjavanje, tj. definisanje različitih matematičkih modela i modela veštačke inteligencije za svaki deo sistema posebno (kako bi se svaki deo najbolje i preciznije modelirao), a zatim njihovo povezivanje na određeni način.

Ovim istraživanjem dokazana je valjanost i upotrebljivost modela VNM i predstavljene metodologije za predikciju emisija CO₂ u budućnosti. Osim predikcije, prikazana je i mogućnost inteligentnog upravljanja kompleksnog energetske sistema na primeru Evropske unije u cilju značajnog smanjenja emisija CO₂, što ga čini još značajnijim. Analiza i upravljanje kompleksnim energetskim sistemima ima veoma značajnu ulogu i veliku odgovornost u budućnosti, ne samo prema celokupnom čovečanstvu, nego i prema svim drugim oblicima života, kao i prema samoj Planeti.

6

LITERATURA

- [1] B. D. Gvozdenc Urošević, “Model Planiranja Razvoja Distribuirane Kogeneracije i Njene Integracije U Regionalni Energetski Sistem,” Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, 2011.
- [2] National Research Council , “Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment,” The National Academies Press, Washington DC, Jul 1979. DOI: <https://doi.org/10.17226/12181>
- [3] J. Rifkin. “Smart Regions Smart Cities: A Digitaly Interconnected and Ecologically Sustainable Third Industrial Revolution Across the European Union,” presented at the 7th European Summit of Regions and Cities, Bratislava, Slovakia, 2016.
- [4] P. Bahn and J. Vertut, *Journey Through the Ice Age*, First Edition edition. Berkeley: University of California Press, 1997.
- [5] Datopian, “CO2 PPM - Trends in Atmospheric Carbon Dioxide,” *DataHub*. [Online]. Available: <https://datahub.io/core/co2-ppm>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [6] NASA Global Climate Change, “Carbon Dioxide Concentration,” *Climate Change: Vital Signs of the Planet*. [Online]. Available: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [7] S. Earle, “Physical Geology - Open Textbook,” [Online]. Available: <https://opentextbc.ca/geology/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [8] European Commission, *EU Energy roadmap 2050*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.
- [9] Ü. Ç. Turhal and T. Demirci, “A Survey on Learning System Applications in Energy System Modeling and Prediction,” *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, pp. 175–179, Dec. 2016. DOI: <https://doi.org/10.18201/ijisae.2016Special%20Issue-146969>
- [10] U. M. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth, and R. Uthurusamy, Eds., *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. Menlo Park, CA, USA: American Association for Artificial Intelligence, 1996. ISBN:0-262-56097-6
- [11] G. Piatetsky-Shapiro and W. J. Frawley, “Knowledge Discovery in Databases,” USA: AAAI Press, 1991, p. 539. ISBN: 9780262660709
- [12] G D. Gvozdenc, B. D. Gvozdenc Urošević, and Z. Morvaj, *Energetska efikasnost 2050. Knjiga u pripremi*. 2018.
- [13] United Nations Framework Convention on Climate Change. “Timeline - UNFCCC -- 25 Years of Effort and Achievement,” [Online]. Available: <https://unfccc.int/timeline/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [14] Sandberg. “The Great Coal Collapse,” [Online]. Available: <https://sandbag.org.uk/project/coal-collapse/>. [Accessed: 01-Oct-2019].

- [15] Carbon Capture and Storage Association. “What is CCS? – The Carbon Capture & Storage Association (CCSA),” [Online]. Available: <http://www.ccsassociation.org/what-is-ccs/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [16] Euractiv. “Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS): Time to inject a new sense of urgency?,” [Online]. Available: <//events.euractiv.com/event/info/carbon-capture-utilisation-and-storage-ccus-time-to-inject-a-new-sense-of-urgency>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [17] Euractiv. “EU clarifies funding scope for CO2 capture technology,” 10-Jul-2019 [Online]. Available: <https://www.euractiv.com/section/climate-strategy-2050/news/eu-clarifies-funding-scope-for-co2-capture-technology/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [18] Euractiv. “It’s complicated’: EU offers political backing but no funding for CCS,” 06-Feb-2019. [Online]. Available: <https://www.euractiv.com/section/climate-strategy-2050/news/its-complicated-eu-offers-political-backing-but-no-funding-for-ccs/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [19] A. Tsakalidis and C. Thiel, “Electric vehicles in Europe from 2010 to 2017: is full-scale commercialisation beginning?,” Publications Office of the European Union, EUR - Scientific and Technical Research Reports, 2018. DOI:10.2760/8053
- [20] IEA. “Global EV Outlook 2018,” [Online]. Available: <https://www.iea.org/gevo2018/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [21] C. Buchal, K. Hans-Dieter, and S. Hans-Werner, “Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO2-Bilanz?,” *ifo Schnelldienst*, vol. 72, no. 8, pp. 40–54, 2019.
- [22] Charged. “Here we go again: German research institute claims diesels are cleaner than EVs,” [Online]. Available: <https://chargedevs.com/newswire/here-we-go-again-german-research-institute-claims-diesels-are-cleaner-than-evs/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [23] European Commission and Directorate-General for Energy, “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL AND THE COUNCIL. A more efficient and democratic decision making in EU energy and climate policy,” 04-Sep-2019.
- [24] Energy post. “What role for gas in Europe’s 2050 energy system?,” [Online]. Available: <https://energypost.eu/what-role-for-gas-in-europes-2050-energy-system/>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [25] Markets Insider. “CO2 European Emission Allowances Spot Price Chart,” [Online]. Available: <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances>. [Accessed: 01-Sep-2019].
- [26] Eurostat news release. “Share of renewables in energy consumption in the EU still on the rise to almost 17% in 2015,” 14-Mar-2017. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-press-releases/-/8-14032017-BP>, [Accessed: 01-Oct-2019].
- [27] European Commission, “The 2030 climate and energy framework – Consilium,” 22-Jan-2014. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/#>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [28] K. Ermis, A. Midilli, I. Dincer, and M. A. Rosen, “Artificial neural network analysis of world green energy use,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 3, pp. 1731–1743, Mar. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.015>
- [29] K. Mason, J. Duggan, and E. Howley, “Forecasting energy demand, wind generation and carbon dioxide emissions in Ireland using evolutionary neural networks,” *Energy*, vol. 155, no. C, pp. 705–720, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.192>
- [30] P. Kyle and S. H. Kim, “Long-term implications of alternative light-duty vehicle technologies for global greenhouse gas emissions and primary energy demands,” *Energy Policy*, vol. 39, no. 5, pp. 3012–3024, May 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.016>

- [31] A. Azadeh, S. F. Ghaderi, and S. Sohrabkhani, "A simulated-based neural network algorithm for forecasting electrical energy consumption in Iran," *Energy Policy*, vol. 36, no. 7, pp. 2637–2644, Jul. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.035>
- [32] A. Sözen, "Future projection of the energy dependency of Turkey using artificial neural network," *Energy Policy*, vol. 37, no. 11, pp. 4827–4833, Nov. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.040>
- [33] F. N. Osuolale and J. Zhang, "Energy efficiency optimisation for distillation column using artificial neural network models," *Energy*, vol. 106, pp. 562–578, Jul. 2016.
- [34] M. A. R. Biswas, M. D. Robinson, and N. Fumo, "Prediction of residential building energy consumption: A neural network approach," *Energy*, vol. 117, pp. 84–92, Dec. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.066>
- [35] B. Kermanshahi and H. Iwamiya, "Up to year 2020 load forecasting using neural nets," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 24, no. 9, pp. 789–797, Nov. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0142-0615\(01\)00086-2](https://doi.org/10.1016/S0142-0615(01)00086-2)
- [36] H. Wezenberg and M. B. Dewe, "Adaptive neural networks for tariff forecasting and energy management," in *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, vol. 2, 1995, pp. 877–881. DOI: [10.1109/ICNN.1995.487534](https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.487534)
- [37] W. Sun and Y. Xu, "Financial security evaluation of the electric power industry in China based on a back propagation neural network optimized by genetic algorithm," *Energy*, vol. 101, pp. 366–379, Apr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.046>
- [38] T. Khatib, A. Mohamed, K. Sopian, and M. Mahmoud, "Assessment of Artificial Neural Networks for Hourly Solar Radiation Prediction," *International Journal of Photoenergy*, 2012. [Online]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2012/946890/>. [Accessed: 01-Oct-2019]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/946890>
- [39] G. Capizzi, G. L. Sciuto, P. Monforte, and C. Napoli, "Cascade Feed Forward Neural Network-based Model for Air Pollutants Evaluation of Single Monitoring Stations in Urban Areas," *International Journal of Electronics and Telecommunications*, vol. 61, no. 4, pp. 327–332, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1515/eletel-2015-0042>
- [40] Q. Dong, K. Xing, and H. Zhang, "Artificial Neural Network for Assessment of Energy Consumption and Cost for Cross Laminated Timber Office Building in Severe Cold Regions," *Sustainability*, vol. 10, no. 1, p. 84, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10010084>
- [41] M. Safa, M. Nejat, P. Nuthall, B. Greig, "Predicting CO2 Emissions from Farm Inputs in Wheat Production using Artificial Neural Networks and Linear Regression Models," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)*, vol. 7, no. 9, 2016. DOI: [10.14569/IJACSA.2016.070938](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2016.070938)
- [42] D. S. Badde, A. k. Gupta, and V. Patki, "Cascade and Feed Forward Back propagation Artificial Neural Network Models for Prediction of Compressive Strength of Ready Mix Concrete," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, vol. 3, no. 26, pp. 01–06. 2013. Available: [http://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/sicete\(civil\)-volume3/26.pdf](http://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/sicete(civil)-volume3/26.pdf). [Accessed: 01-Oct-2019].
- [43] European Commission, "Overview of PVGIS data sources and calculation methods," [Online]. Available: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/methods.html. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [44] A. K. Yadav and S. S. Chandel, "Solar radiation prediction using Artificial Neural Network techniques: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, May 2014. pp. 772–781 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.055>
- [45] M. Negnevitsky and Tan Loc Le, "Artificial neural networks application for current rating of overhead lines," in *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, vol. 1, 1995, pp. 418–422. DOI: [10.1109/ICNN.1995.488137](https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488137)

- [46] K. Dahmani, R. Dizene, G. Notton, C. Paoli, C. Voyant, and M. L. Nivet, "Estimation of 5-min time-step data of tilted solar global irradiation using ANN (Artificial Neural Network) model," *Energy*, vol. 70, Jun 2014, pp. 374–381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.011>
- [47] S. Ibrahim, I. Daut, Y. M. Irwan, M. Irwanto, N. Gomesh, and Z. Farhana, "Linear Regression Model in Estimating Solar Radiation in Perlis," *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 1402–1412, Jan. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.156>
- [48] R. Yacef, M. Benghanem, and A. Mellit, "Prediction of daily global solar irradiation data using Bayesian neural network: A comparative study," *Renewable Energy*, vol. 48, pp. 146–154, Dec. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.036>
- [49] M. Benghanem and A. Mellit, "Radial Basis Function Network-based prediction of global solar radiation data: Application for sizing of a stand-alone photovoltaic system at Al-Madinah, Saudi Arabia," *Energy*, vol. 35, pp.3751-3762. Jul. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.024>
- [50] S. M. Al-Alawi and H. A. Al-Hinai, "An ANN-based approach for predicting global radiation in locations with no direct measurement instrumentation," *Renewable Energy*, vol. 14, no. 1, pp. 199–204, May 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00068-8)
- [51] A. Ouammi, D. Zejli, H. Dagdougui, and R. Benchrifa, "Artificial neural network analysis of Moroccan solar potential," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 7, pp. 4876–4889, Sep. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.071>
- [52] S. Rehman and M. Mohandes, "Estimation of Diffuse Fraction of Global Solar Radiation Using Artificial Neural Networks," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 31, no. 11, pp. 974–984, Jun. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/15567030801904582>
- [53] S. Rehman and M. Mohandes, "Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity," *Energy Policy*, vol. 36, no. 2, pp. 571–576, Feb. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.09.033>
- [54] A. Linares-Rodríguez, J. A. Ruiz-Arias, D. Pozo-Vázquez, and J. Tovar-Pescador, "Generation of synthetic daily global solar radiation data based on ERA-Interim reanalysis and artificial neural networks," *Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 5356–5365, Aug. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.044>
- [55] H. K. Elminir, F. F. Areed, and T. S. Elsayed, "Estimation of solar radiation components incident on Helwan site using neural networks," *Solar Energy*, vol. 79, no. 3, pp. 270–279, Sep. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.11.006>
- [56] E. D. Mehleri, P. L. Zervas, H. Sarimveis, J. A. Palyvos, and N. C. Markatos, "Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays," *Renewable Energy*, vol. 35, no. 11, pp. 2468–2475, Nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.006>
- [57] E. D. Mehleri, P. L. Zervas, H. Sarimveis, J. A. Palyvos, and N. C. Markatos, "A new neural network model for evaluating the performance of various hourly slope irradiation models: Implementation for the region of Athens," *Renewable Energy*, vol. 35, no. 7, pp. 1357–1362, Jul. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.005>
- [58] G. Notton, C. Paoli, S. Vasileva, M. L. Nivet, J.-L. Canaletti, and C. Cristofari, "Estimation of hourly global solar irradiation on tilted planes from horizontal one using artificial neural networks," *Energy*, vol. 39, no. 1, pp. 166–179, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.038>
- [59] A. N. Celik and T. Muneer, "Neural network based method for conversion of solar radiation data," *Energy Conversion and Management*, vol. 67, pp. 117–124, Mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.010>

- [60] A. Chatterjee and A. Keyhani, "Neural Network Estimation of Microgrid Maximum Solar Power," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 1860–1866, Dec. 2012. DOI: [10.1109/TSG.2012.2198674](https://doi.org/10.1109/TSG.2012.2198674)
- [61] A. K. Yadav and S. S. Chandel, "Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 23, pp. 503–513, Jul. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.027>
- [62] S. A. Kalogirou, S. Panteliou, and A. Dentsoras, "Artificial neural networks used for the performance prediction of a thermosiphon solar water heater," *Renewable Energy*, vol. 18, no. 1, pp. 87–99, Sep. 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00787-3](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00787-3)
- [63] A. Mellit, S. A. Kalogirou, L. Hontoria, and S. Shaari, "Artificial intelligence techniques for sizing photovoltaic systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 2, pp. 406–419, Feb. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.01.006>
- [64] S. A. Kalogirou, "Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 5, no. 4, pp. 373–401, Dec. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(01\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(01)00006-5)
- [65] L. Thiaw, G. Sow, and S. Fall, "Application of Neural Networks Technique in Renewable Energy Systems," in *Proceedings of the 2014 First International Conference on Systems Informatics, Modelling and Simulation*, Washington, DC, USA, 2014, pp. 8–13. DOI: [10.1109/SIMS.2014.12](https://doi.org/10.1109/SIMS.2014.12)
- [66] A. Kusiak and Z. Zhang, "Short-Horizon Prediction of Wind Power: A Data-Driven Approach," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 25, no. 4, pp. 1112–1122, Dec. 2010. DOI: [10.1109/TEC.2010.2043436](https://doi.org/10.1109/TEC.2010.2043436)
- [67] G. H. Riahy and M. Abedi, "Short term wind speed forecasting for wind turbine applications using linear prediction method," *Renewable Energy*, vol. 33, no. 1, pp. 35–41, Jan. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.01.014>
- [68] E. A. Bossanyi, "Short-Term Wind Prediction Using Kalman Filters," *Wind Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 1–8, 1985.
- [69] A. Kusiak and W. Li, "Estimation of wind speed: A data-driven approach," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 98, no. 10, pp. 559–567, Oct. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2010.04.010>
- [70] T. G. Barbounis and J. B. Theocharis, "Locally recurrent neural networks for wind speed prediction using spatial correlation," *Information Sciences*, vol. 177, no. 24, pp. 5775–5797, Dec. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2007.05.024>
- [71] V. Ranganayaki and S. N. Deepa, "An Intelligent Ensemble Neural Network Model for Wind Speed Prediction in Renewable Energy Systems," *The Scientific World Journal*, vol. 2016, article id 9293529, 2016. [Online]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2016/9293529/>. [Accessed: 01-Oct-2019]. DOI: [http://dx.doi.org/10.1155/2016/9293529](https://dx.doi.org/10.1155/2016/9293529)
- [72] S. Jayaraj, K. Padmakumari, E. Sreevalsan, P. Arun, "Wind speed and power prediction using artificial neural networks," in *Proceedings of the European wind energy conference*, London, UK, November 22–25, 2004. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/2ed1/25faf074eefd655eefab99bc218ed557a0e9.pdf> [Accessed: 01-Oct-2019]
- [73] T. G. Barbounis, J. B. Theocharis, M. C. Alexiadis, and P. S. Dokopoulos, "Long-term wind speed and power forecasting using local recurrent neural network models," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 21, no. 1, pp. 273–284, Mar. 2006. DOI: [10.1109/TEC.2005.847954](https://doi.org/10.1109/TEC.2005.847954)
- [74] J. Koo, G. D. Han, H. J. Choi, and J. H. Shim, "Wind-speed prediction and analysis based on geological and distance variables using an artificial neural network: A case study in South Korea," *Energy*, vol. 93, no. P2, pp. 1296–1302, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.026>

- [75] Han Xiaojuan, Yang Xiyun, and Liu Juncheng, "Short-time wind speed prediction for wind farm based on improved neural network," in *2010 8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 7-9 July 2010, pp. 5891-5894. DOI: [10.1109/WCICA.2010.5554531](https://doi.org/10.1109/WCICA.2010.5554531)
- [76] S. S. Soman, H. Zareipour, O. Malik, and P. Mandal, "A review of wind power and wind speed forecasting methods with different time horizons," in *North American Power Symposium 2010*, 2010, pp. 1-8. DOI: [10.1109/NAPS.2010.561958](https://doi.org/10.1109/NAPS.2010.561958)
- [77] M. Bhaskar, A. Jain, and N. V. Srinath, "Wind speed forecasting: Present status," in *2010 International Conference on Power System Technology*, 24-28 Oct 2010, pp. 1-6. DOI: [10.1109/POWERCON.2010.5666623](https://doi.org/10.1109/POWERCON.2010.5666623)
- [78] A. Sadri, M. M. Ardehali, and K. Amirnekoeei, "General procedure for long-term energy-environmental planning for transportation sector of developing countries with limited data based on LEAP (long-range energy alternative planning) and EnergyPLAN," *Energy*, vol. 77, pp. 831-843, Oct. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.067>
- [79] I. Martínez-Zarzoso, A. Bengochea-Morancho, and R. Morales-Lage, "The impact of population on CO2 emissions: evidence from European countries," *Environ Resource Econ*, vol. 38, no. 4, pp. 497-512, Dec. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10640-007-9096-5> ISSN:1573-1502
- [80] L. Ekonomou, "Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks," *Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 512-517, Feb. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.10.018>
- [81] E. Uzlu, M. Kankal, A. Akpınar, and T. Dede, "Estimates of energy consumption in Turkey using neural networks with the teaching-learning-based optimization algorithm," *Energy*, vol. 75, no. C, pp. 295-303, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.078>
- [82] Z. Mohamed and P. Bodger, "Forecasting electricity consumption in New Zealand using economic and demographic variables," *Energy*, vol. 30, no. 10, pp. 1833-1843, Jul. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.08.012>
- [83] H.-T. Pao, H.-C. Fu, and C.-L. Tseng, "Forecasting of CO2 emissions, energy consumption and economic growth in China using an improved grey model," *Energy*, vol. 40, no. 1, pp. 400-409, Apr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.037>
- [84] D. J. Đozić and B. D. Gvozdenac Urošević, "Application of artificial neural networks for testing long-term energy policy targets," *Energy*, vol. 174, pp. 488-496, May 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.191>
- [85] *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005. ISBN: 92-0-116204-9
- [86] IEA. "WEO-2018 Special Report: Outlook for Producer Economies," 2018. [Online]. Available: <https://www.iea.org/weo/producereconomies/> [Accessed: 01-/oct-2019]
- [87] EIA. "Electricity Data - Net Generation by Energy Source: Total (All Sectors), 2009-July 2019," [Online]. Available: https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_1_1. [Accessed: 01-Sep-2019].
- [88] OPEC „OPEC : World Oil Outlook,“ Vienna: OPEC, 2018. [Online]. Available: <https://www.opec.org/>, [Accessed: 01-Oct-2019].
- [89] Greentechmedia. "In Natural Gas, U.S. Will Move From Abundance to Imports," 06-Sep-2011. [Online]. Available: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/with-natural-gas-will-we-swap-oil-imports-for-gas-imports#gs.7l1dzj>. [Accessed: 02-Sep-2019].
- [90] A. Ucar and F. Balo, "Assessment of wind power potential for turbine installation in coastal areas of Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 7, pp. 1901-1912, Sep. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.021>
- [91] A. Ouammi, H. Dagdougui, R. Sacile, and A. Mimet, "Monthly and seasonal assessment of wind energy characteristics at four monitored locations in Liguria region (Italy),"

- Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 7, pp. 1959–1968, Sep. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.015>
- [92] Ceicdata. “Denmark Oil Consumption [1965 - 2018],” [Online]. Available: <https://www.ceicdata.com/en/indicator/denmark/oil-consumption>. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [93] IEA. “Statistics - Total Primary Energy Supply (TPES) by source,” [Online]. Available: <https://www.iea.org/statistics/?country=DENMARK&year=2016&category=Electricity&indicator=UPPEbySource&mode=chart&dataTable=ELECTRICITYANDHEAT>. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [94] IEA. “Statistics - Renewable electricity generation by source (non-combustible), European Union - 28 1990-2017,” [Online]. Available: <https://www.iea.org/statistics/?country=EU28&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=RenewGenBySource&mode=chart&dataTable=RENEWABLES>. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [95] World Energy Council. “World Energy Resources 2016,” 24th ed. London: World Energy Council 2016. Available: <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [96] H. M. Groscurth, Th. Bruckner, and R. Kümmel, “Modeling of energy-services supply systems,” *Energy*, vol. 20, no. 9, pp. 941–958, Sep. 1995. DOI: [10.1016/0360-5442\(95\)00067-Q](https://doi.org/10.1016/0360-5442(95)00067-Q). ISSN: 0360-5442.
- [97] J. M. Allwood, V. Bosetti, N. K. Dubash, L. Gómez-Echeverri, C. von Stechow, “Annex I: Glossary, acronyms and chemical symbols,” in *IPCC (ed.) Climate change 2014: mitigation of climate change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 1249–1279. Available: ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-i.pdf. ISBN: 978-1-107-65481-5
- [98] European Commission. “EU ETS Handbook,” 2015. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets_handbook_en.pdf. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [99] European Commission. “EU Emissions Trading System (EU ETS),” *Climate Action - European Commission*, 23-Nov-2016. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [100] K. Baumert, T. Herzoh, and J. Pershing, *Navigating the Numbers, Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*. World Resources Institute, 2005. Available: http://pdf.wri.org/navigating_numbers.pdf. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [101] H. Ritchie and M. Roser, “CO₂ and Greenhouse Gas Emissions - CO₂ intensity of economies,” *Our World in Data*, May 2017. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#note-18>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [102] H. Ritchie and M. Roser, “CO₂ and Greenhouse Gas Emissions - CO₂ emissions and prosperity,” *Our World in Data*, May 2017. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#co2-emissions-and-prosperity>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [103] B. Metz, O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos, and L. Meyer, Eds., *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2005. Available: https://www.researchgate.net/publication/239877190_IPCC_Special_Report_on_Carbon_dioxide_Capture_and_Storage. [Accessed: 01-Oct-2019].

- [104] J. J. C. Phelps, J. C. Blackford, J. T. Holt, and J. A. Polton, "Modelling large-scale CO₂ leakages in the North Sea," *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 38, pp. 210–220, Jul. 2015. DOI: [10.1016/j.ijggc.2014.10.013](https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.10.013)
- [105] S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2 edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998. ISBN: 978-0132733502
- [106] W. S. McCulloch and W. Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity," *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, no. 4, pp. 115–133, Dec. 1943. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02478259>, ISSN: 1522-9602
- [107] M. L. Minsky and S. Papert, *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. MIT Press, 1969. P258. ISBN: 9780262130431
- [108] U. M. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth, and R. Uthurusamy, Eds., *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. Menlo Park, CA, USA: American Association for Artificial Intelligence, 1996. ISBN:0-262-56097-6
- [109] G. Piatetsky-Shapiro and W. J. Frawley, "Knowledge Discovery in Databases," *MIT Press*, Dec. 1991, p. 539. ISBN: 9780262660709
- [110] Masters, *Practical Neural Network Recipes in C++*. Academic Press Inc, Apr. 1993. p. 493. ISBN: 978-0124790407
- [111] I. Vera and L. Langlois, "Energy indicators for sustainable development," *Energy*, vol. 32, no. 6, pp. 875–882, 2007. DOI:10.1016/j.energy.2006.08.006
- [112] K. Du, B. Lin, and C. Xie, "Exploring Change in China's Carbon Intensity: A Decomposition Approach," *Sustainability*, MDIP, Open Access Journal, vol. 9, no. 2, p. 296, Feb. 2017.
- [113] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, "Learning Internal Representations by Error Propagation," California Univ San Diego La Jolla Inst For Cognitive Science, ICS-8506, Sep. 1985. Available: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a164453.pdf>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [114] M. T. Hagan and M. B. Menhaj, "Training feedforward networks with the Marquardt algorithm," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 5, no. 6, pp. 989–993, Nov. 1994. DOI: 10.1109/72.329697
- [115] D. Marquardt, "An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters," *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, vol. 11, no. 2, pp. 431–441, Jun. 1963. DOI: <https://doi.org/10.1137/0111030>
- [116] H. P. Gavin, "The Levenberg-Marquardt method for nonlinear least squares curve-fitting problems," Department of Civil and Environmental Engineering, Duke University, Jan. 2016. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/1829/418bae60a0b9f6efa38005b9f527be6e9570.pdf?ga=2.194280814.233765867.1570466780-659221021.1570466780>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [117] S. Arlinghaus, *Practical Handbook of Curve Fitting*, 1 edition. CRC Press, 1994. p 272. ISBN: 9780849301438
- [118] W. M. Kolb, *Curve fitting for programmable calculators*, 3rd edition, Syntec Inc, 1984. ISBN: 9780943494029
- [119] Carbon Trust. „Conversion factors,“ 2011. [Online]. Available: https://www.carbontrust.com/media/18259/ctl153_conversion_factors.pdf. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [120] D. J. Đozic and B. D. Gvozdenac Urošević, "Assessment of the Scope of EU Energy Policy by Means of Artificial Neural Networks," presented at the 3rd South East European Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), Novi Sad, Serbia, 2018. pp. 0194-1-11
- [121] P. Wang, "Three fundamental misconceptions of Artificial Intelligence," *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, vol. 19, no. 3, pp. 249–268, Sep. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/09528130601143109>

-
- [122] S. Yin and O. Kaynak, “Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends [Point of View],” *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 2, pp. 143–146, Mar. 2015. DOI: [10.1109/JPROC.2015.2388958](https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2388958)
- [123] H. Lu, Y. Li, M. Chen, H. Kim, and S. Serikawa, “Brain Intelligence: Go beyond Artificial Intelligence,” *Mobile Netw Appl*, vol. 23, no. 2, pp. 368–375, Apr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11036-017-0932-8>

Kratka biografija kandidata



Damir J. Dozić je rođen 22.06.1988. godine u Novom Sadu, gde je završio osnovnu školu i gimnaziju. Fakultet tehničkih nauka, odsek Elektrotehnika i računarstvo, smer Računarstvo i automatika upisao je 2007. godine. Osnovne akademske studije završio je 2011. godine sa prosekom 9.47 i upisao Master akademske studije na istom smeru, usmerenje Biomedicinski inženjering. Master akademske studije završio je 2012. godine sa prosekom 10.00. Iste godine upisao doktorske studije, studijski program Računarstvo i automatika i zaposlio se na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na katedri za sisteme, signale i upravljanje kao asistent. Nakon pet godina i položenih svih ispitnih obaveza, 2017. godine preusmerio je interesovanje i nastavlja doktorske studije na drugom studijskom programu, Industrijsko inženjerstvo i inženjerski menadžment. Položio je sve ispite predviđene planom i programom doktorskih studija.