

Razvoj modela umjetnih neuronskih mreža za predviđanje emisija stakleničkih plinova s obzirom na sektorsku potrošnju energije u Republici Hrvatskoj

Strahovnik, Tomislav

Doctoral thesis / Disertacija

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:895680>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-19**



FKITMCMXIX

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I
TEHNOLOGIJE

TOMISLAV STRAHOVNIK

**RAZVOJ MODELA UMJETNIH NEURONSKIH
MREŽA ZA PREDVIĐANJE EMISIJA
STAKLENIČKIH PLINOVA S OBZIROM NA
SEKTORSKU POTROŠNJU ENERGIJE U
REPUBLICI HRVATSKOJ**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

Kandidat Tomislav Strahovnik
predao je dana: 17. srpnja 2017. -doktorski rad izrađen pod
mentorstvom prof. dr. sc. Tomislava Bolanče, Fakultet kemijskog
inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu i prof. dr. sc. Marka
Rogošića, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u
Zagrebu

Povjerenstvo za ocjenu doktorata u sastavu:

Prof. dr. sc. Vesna Tomašić, Fakultet kemijskog inženjerstva
i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Doc. dr. sc. Šime Ukić, Fakultet kemijskog inženjerstva i
tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Doc. dr. sc. Mario Šiljeg, Geotehnički fakultet u Varaždinu
Sveučilišta u Zagrebu

pozitivno je ocijenilo doktorski rad doktoranda Tomislava
Strahovnika, a Fakultetsko vijeće Fakulteta kemijskog inženjerstva i
tehnologije Sveučilišta u Zagrebu na sjednici održanoj dana

30. listopada 2017. prihvatilo je ocjenu i odobrilo
obranu doktorskog rada pred povjerenstvom u istom sastavu.

Obrana doktorskog rada održana je dana 17. studenoga 2017.

D e k a n

Prof. dr. sc. Tomislav Bolanča



Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I
TEHNOLOGIJE

TOMISLAV STRAHOVNIK

**RAZVOJ MODELA UMJETNIH NEURONSKIH
MREŽA ZA PREDVIĐANJE EMISIJA
STAKLENIČKIH PLINOVA S OBZIROM NA
SEKTORSKU POTROŠNJU ENERGIJE U
REPUBLICI HRVATSKOJ**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. TOMISLAV BOLANČA

Prof. dr. sc. MARKO ROGOŠIĆ

Zagreb, 2017.



University of Zagreb

FACULTY OF CHEMICAL ENGINEERING AND
TECHNOLOGY

TOMISLAV STRAHOVNIK

**DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK PREDICTION MODEL OF
GREENHOUSE GAS EMISSIONS BASED ON
SECTORAL ENERGY CONSUMPTION IN
CROATIA**

DOCTORAL THESIS

Supervisors:

Prof. dr. sc. TOMISLAV BOLANČA

Prof. dr. sc. MARKO ROGOŠIĆ

Zagreb, 2017.

UDK:	504.7:004.032.26(043.3)
Znanstveno područje:	Tehničke znanosti
Znanstveno polje:	Interdisciplinarne tehničke znanosti
Grana:	Inženjerstvo okoliša
Voditelj rada 1:	Prof. dr. sc. Tomislav Bolanča
Voditelj rada 2:	Prof. dr. sc. Marko Rogošić
Broj stranica:	131
Broj slika:	66
Broj tablica:	9
Broj literaturnih referenci:	164
Datum obrane:	17. studeni 2017.

Sastav povjerenstva za obranu:

Prof. dr. sc. Vesna Tomašić
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilišta u Zagrebu

Doc. dr. sc. Šime Ukić
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilišta u Zagrebu

Doc. dr. sc. Mario Šiljeg
Geotehnički fakultet
Sveučilišta u Zagrebu

Rad je pohranjen u:

Knjižnici Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 20

Nacionalnoj i sveučilišnoj biblioteci u Zagrebu
Hrvatske bratske zajednice bb

Knjižnici Sveučilišta u Rijeci, Dolac 1

Knjižnici Sveučilišta u Splitu, Livanjska 5

Knjižnici Sveučilišta u Osijeku, Europska avenija 24

Tema disertacije

RAZVOJ MODELA UMJETNIH NEURONSKIH MREŽA ZA PREDVIĐANJE EMISIJA
STAKLENIČKIH PLINOVA S OBZIROM NA SEKTORSKU POTROŠNJU ENERGIJE U
REPUBLICI HRVATSKOJ

prihvaćena je na sjednici Fakultetskog vijeća Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana 27. travnja i 4. svibnja 2015., a odobrena na sjednici
Senata Sveučilišta u Zagrebu, 9. lipnja 2015.

PREDGOVOR

ZAHVALA

Zahvaljujem svima koji su vjerovali u mene jer mi je njihova vjera pružala dodatnu snagu da prebrodim najteže periode. Zahvaljujem i onima koji su sumnjali u mene jer mi je njihova sumnja pružila dodatni motiv da ustrajem do kraja.

SAŽETAK

Predmet istraživanja u ovoj disertaciji je pronalaženje i razvoj optimalnog modela predviđanja emisija stakleničkih plinova s obzirom na realne projekcije sektorske potrošnje energije u Republici Hrvatskoj do 2030. U radu je u obzir uzeta samo potrošnja energije u energetsom sektoru, koji se sastoji od podsektora: industrija, promet, kućanstva, usluge, poljoprivreda i graditeljstvo, a predstavlja emisije stakleničkih plinova koje nastaju isključivo izgaranjem fosilnih goriva.

Prvi korak bio je korigiranje dvaju postojećih scenarija neposredne potrošnje energije iz Strategije energetske razvoja Republike Hrvatske iz 2009. godine. To su dva scenarija, tzv. BAU-scenarij (engl. *Business-As-Usual*) i održivi scenarij. Korekciju je bilo potrebno provesti s obzirom na realne i ostvarene iznose neposredne potrošnje energije u razdoblju nakon izbijanja gospodarske krize. Kriza se naime između ostalog očitovala i u smanjenju gospodarskih aktivnosti što je utjecalo i na pad neposredne potrošnje energije.

Projekcije sektorske potrošnje energije za ciljanu godinu određene su ekstrapolacijom procijenjenih realnih godišnjih stopa rasta preuzetih za održivi scenarij iz Strategije energetske razvoja Republike Hrvatske te je predložen novi scenarij potrošnje, tzv. korigirani BAU-scenarij koji uzima u obzir recentne gospodarske pokazatelje te prema kojem bi u 2020. neposredna potrošnja energije iznosila 293,33 PJ, a u 2030. 382,60 PJ. Na osnovi procijenjenih realnih godišnjih stopa rasta potrošnje energije koje su za 20 % umanjene u odnosu na stope iz korigiranog BAU-scenarija u razdoblju do 2020., a u razdoblju od 2021. do 2030. za 30 % umanjene u odnosu na stope iz korigiranog BAU-scenarija, predložen je i novi korigirani održivi scenarij prema kojem bi u 2020. neposredna potrošnja energije iznosila 283,11 PJ, a u 2030. 340,78 PJ. Pored dva korigirana scenarija neposredne potrošnje energije, a s ciljem utvrđivanja učinaka mogućih varijacija u projekcijama neposredne potrošnje energije na kretanje emisije stakleničkih plinova, u ovom su radu dodatno kreirane i četiri podvarijante korigiranog održivog scenarija s pretpostavljenim odstupanjima u neposrednoj potrošnji energije u rasponu od $\pm 20\%$, odnosno 10% .

Za razvoj modela umjetnih neuronskih mreža za predviđanje emisija stakleničkih plinova testirane su dvije najčešće korištene arhitekture umjetnih neuronskih mreža, višeslojne perceptronske mreže i mreže s funkcijama s kružnom osnovicom. Prilikom traženja optimalne arhitekture neuronske mreže mijenjano je više različitih izvedbenih karakteristika,

koji se očituju u različitim algoritmima za treniranje te u broju neurona u skrivenom sloju koji je varirao od 2 do 30.

Kao ulazni podaci u modele umjetnih neuronskih mreža korištene su projekcije sektorske potrošnje energije, a izlazne vrijednosti bile su emisije stakleničkih plinova.

Kao optimalne pokazale su se troslojne umjetne neuronske mreže s unaprednim vezama, sa šest neurona u skrivenom sloju. Kao optimalna za treniranje mreže pokazala se Levenberg-Marquardtova metodologija s Bayesovom regularizacijom.

Rezultati pokazuju da se troslojne umjetne neuronske mreže mogu uspješno primijeniti za koreliranje postojećih podataka. Što se tiče predviđanja, korigirani BAU-scenarij pokazao je kontinuirano povećanje svih emisija stakleničkih plinova. Korigirani održivi scenarij pokazao je smanjenje razina emisija svih stakleničkih plinova u odnosu na korigirani BAU-scenarij. Promatrano smanjenje može se pripisati skupini mjera energetske učinkovitosti kojima se utječe na smanjenje neposredne potrošnje energije.

Na osnovi usporedbe relativnog smanjenja emisija za svaki pojedini staklenički plin i za svaki pojedini scenarij i podvarijantu može se zaključiti kako se iznos maksimalnog relativnog smanjenja emisija kao i vrijeme kada se taj maksimum očekuje razlikuju.

Model je pokazao da će se najveće smanjenje emisija u odnosu na korigirani BAU-scenarij ostvariti kod podvarijante 4 korigiranog održivog scenarija, a da će mjere za smanjenje emisija najprije početi djelovati kod podvarijante-1 korigiranog održivog scenarija.

Glavno pitanje raspravljeno u disertaciji odnosi se na primjenjivost razvijenog modela za predviđanje emisija stakleničkih plinova s obzirom na projekcije potrošnje energije. Drugo važno pitanje jest kakav će biti utjecaj predloženih novih scenarija potrošnje energije na emisije stakleničkih plinova. Iako je Hrvatska već ispunila svoje ciljeve prema odredbama Sporazuma iz Kyota kao i ciljeve EU do 2030., upitna je cijena toliko željenog gospodarskog razvoja. Pred Hrvatskom je donošenje odluke u kojem od dva pravca želi ostvariti svoj dugoročni gospodarski, a time i energetske razvoj. Prvi pravac predstavlja ulaganje u daljnji razvoj obnovljivih izvora energije i primjenu čistih tehnologija u cilju ostvarivanja niskougličnog i održivog razvoja, koje predlaže Strategija niskougličnog razvoja RH, što u principu znači uvoz novih, ali i znatno skupljih tehnologija. Drugi pravac predstavlja poticanje jeftinijih fosilnih goriva i pripadajućih tehnologija koje su naravno štetnije po okoliš, ali čija je cijena znatno niža. Ukoliko Hrvatska izabere drugu mogućnost i na taj način postigne određeni industrijski rast te veću potrošnju fosilnih goriva, pitanje je hoće li i tada

ispunjavati preuzete obveze i ciljeve prema važećim zakonima u EU. S ciljem stvaranja efektivne ravnoteže između gospodarskog oporavka i zaštite okoliša smatram da bi Hrvatska trebala u prvoj fazi nastaviti koristiti "prljavije" izvore energije kako bi ostvarila cjenovno konkurentnije gospodarstvo, a u drugoj fazi postupno prelaziti na skuplje, ali i po okoliš čišće obnovljive izvore energije i tehnologije koje će omogućiti prelazak s gospodarstva temeljenog na fosilnim gorivima na niskougljično gospodarstvo i održivi razvoj.

Primjena ispitanog modela umjetnih neuronskih mreža za predviđanje emisija stakleničkih plinova pokazala se prikladnom s obzirom na utrošeno vrijeme kao i na preciznost primijenjenih ulaznih podataka, te bi zasigurno uvelike skratila vrijeme potrebno za donošenje smjernica potrebnih za novu strategiju energetskega razvoja.

KLJUČNE RIJEČI: staklenički plinovi, neposredna potrošnja energije, umjetne neuronske mreže, Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske, Levenberg-Marquardtova metodologija s Bayesovom regularizacijom

SUMMARY

Development of artificial neural network prediction model of greenhouse gas emissions based on sectoral energy consumption in Croatia

The subject of research in this dissertation is to find and develop the optimal model for predicting greenhouse gas emissions with regard to realistic projections of sectoral energy consumption in the Republic of Croatia by 2030. The research took into account only the energy consumption in the energy sector, which consists of sub-sectors: industry, transport, households, services, agriculture and construction, and represents the greenhouse gas emissions that arise solely from burning fossil fuels.

The first step was correction of the two existing scenarios of final energy consumption from the 2009 Energy Development Strategy of the Republic of Croatia. These two scenarios are the so-called BAU (Business-As-Usual) scenario and sustainable scenario. The correction was necessary with regard to real and realized amounts of final energy consumption in the period after the outbreak of an economic crisis. The crisis was, among other things, manifested in the reduction of economic activities, which also affected the decline of final energy consumption.

Projections of the sectoral energy consumption for the target year were determined by extrapolation of the estimated real annual growth rates assumed for a sustainable scenario from the Energy Development Strategy of the Republic of Croatia and a new consumption scenario was proposed, the so-called corrected BAU scenario that takes into account recent economic indicators, according to which the final energy consumption in 2020 and 2030 would be 293.33 PJ and 382.60 PJ, respectively. Based on the estimated real annual energy consumption growth rates that are reduced by 20% in relation to the rates from the corrected BAU scenario in the period up to 2020, and in the period 2021-2030 reduced by 30% compared to the rates from the corrected BAU scenario, a new corrected sustainable scenario was proposed, according to which in 2020 and 2030 the final energy consumption would be 283.11 PJ and 340.78 PJ, respectively. In addition to the two corrected scenarios of final energy consumption, in order to determine the effects of possible variations in projections of final energy consumption on the variation of greenhouse gas emissions, four additional subvariants of corrected sustainable scenarios were created with deviations of final energy consumption ranging from $\pm 20\%$.

To develop a model of artificial neural networks (ANN) for predicting greenhouse gas emissions, the two most commonly used architectures of artificial neural networks, multilayer perceptron networks and radial basis function networks were tested. When looking for the optimal architecture of neural network, several different performance characteristics were altered, i.e. training algorithms were varied and the number of neurons in the hidden layer was scanned in the range from 2 to 30.

Sectoral energy consumption projections were used as inputs in artificial neural network models; the output values were greenhouse gas emissions.

The optimal architecture was found to be the three-layer feed-forward neural network with six neurons in the hidden layer. The Levenberg-Marquardt methodology with Bayesian regularisation was proved to be the optimal for ANN training.

The results showed that those three-layer artificial neural networks could be successfully applied to correlate existing data. As for the prediction, the corrected BAU scenario was shown to produce a continuous increase of all greenhouse gas emissions. The corrected sustainable scenario was shown to produce a reduction of all greenhouse gases emissions with respect to the corrected BAU scenario. The observed decrease could be attributed to a group of energy efficiency measures which could affect the reduction of final energy consumption.

Based on the comparison of relative emission reduction for each individual greenhouse gas and for each scenario and sub-variant, the variation of the maximum relative emission reduction was observed as well as the variation of time of the occurrence of the maximum.

The model showed that the largest emission reduction with respect to the corrected BAU scenario would be achieved with subvariant 4 of the corrected sustainable scenario. In addition, it was shown that that emission reduction measures will first begin to act with subvariant-1 of the corrected sustainable scenario.

The main issue discussed in the dissertation is linked to the applicability of the developed model for predicting greenhouse gas emissions with regard to energy consumption projections. Another important issue is the probable impact of the proposed new energy consumption scenarios on greenhouse gas emissions. Although Croatia has already fulfilled its goals under the provisions of the Kyoto Protocol as well as the EU goals by 2030, the price of so much desired economic development is questionable. Croatia has to make a decision

about the future direction of its long-term economic and energetic development, and it has to be done very soon. The first path is to invest in the further development of renewable energy sources and the application of clean technologies in order to achieve low-carbon and sustainable development, as proposed by the Low-carbon Development Strategy of the Republic of Croatia. This in principle means the import of novel but expensive technologies. The second is the promotion of cheaper fossil fuels and associated technologies that are of course more harmful to the environment, but whose prices are considerably lower. In case of Croatia choosing the second option and thus achieving substantial industrial growth and greater consumption of fossil fuels, the question arises whether it will meet the assigned commitments and targets under applicable EU legislation. In order to create an effective balance between economic recovery and environmental protection, it might be concluded that Croatia has to continue to use "dirtier" energy sources in the first period to achieve a more competitive economy. In the second period the steps towards the transition to more expensive and cleaner renewable energy sources technologies are to be gradually applied that would enable the smooth transition from the fossil fuel economy to the low-carbon economy and sustainable development.

The application of the tested model of artificial neural networks for predicting greenhouse gas emissions was shown to be appropriate with regard to the time spent as well as the accuracy of the input data used and it would certainly greatly shorten the time needed to make the guidelines for creating new energy development strategy.

KEY WORDS: greenhouse gases, final energy consumption, artificial neural networks, Energy Development Strategy of the Republic of Croatia, Levenberg-Marquardt methodology with Bayesian regularisation

Sadržaj

1. UVOD	1
2. OPĆI DIO.....	5
2.1. KLIMATSKE PROMJENE I EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA.....	5
2.2. ZAKONODAVNI OKVIR BORBE PROTIV KLIMATSKIH PROMJENA	7
2.2.1. Energetska i klimatska politika Europske unije do 2050.....	9
2.2.2. Strategija energetskeg razvoja RH.....	17
2.2.3. Strategija razvoja niskougliječnog gospodarstva RH	21
2.2.4. Strategija održivog razvoja Hrvatske	24
2.3. ENERGIJA I ODRŽIVI RAZVOJ.....	25
2.3.1. Povezanost gospodarskog razvoja, potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova	26
2.4. PREGLED ENERGETSKIH MODELA I METODA	30
2.4.1. Veza BDP-a i potrošnje energije	34
2.4.2. Predviđanje potrošnje energije	35
2.4.3. Primjeri energetske-ekonomsko-klimatskih modela	40
2.4.4. Metoda ekstrapolacije trenda.....	43
2.4.5. Primjena umjetnih neuronskih mreža kod predviđanja potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova.....	44
2.5. RAŠČLAMBA ENERGETSKOG SEKTORA	47
2.5.1. Neposredna potrošnja energije iz energetskeg sektora.....	49
2.5.1.1. Neposredna potrošnja energije iz sektora industrije	53
2.5.1.2. Neposredna potrošnja energije iz sektora prometa.....	54
2.5.1.3. Neposredna potrošnja energije iz sektora opće potrošnje	54
2.5.1.4. Neposredna potrošnja energije iz podsektora kućanstva	55
2.5.1.5. Neposredna potrošnja energije iz podsektora uslužnih djelatnosti	56
2.5.1.6. Neposredna potrošnja energije iz podsektora poljoprivreda	57
2.5.1.7. Neposredna potrošnja energije iz podsektora graditeljstvo	57
2.5.2. Emisije stakleničkih plinova iz energetskeg sektora	58
2.5.2.1. Emisije CO ₂ iz energetskeg sektora	59
2.5.2.2. Emisije NO _x iz energetskeg sektora	59
2.5.2.3. Emisije CO iz energetskeg sektora	60
2.5.2.4. Emisije NMHOS iz energetskeg sektora	61
2.5.2.5. Emisije SO ₂ iz energetskeg sektora	61
2.6. UMJETNE NEURONSKE MREŽE.....	62
2.6.1. Algoritmi za treniranje umjetnih neuronskih mreža.....	64

3. METODOLOGIJA RADA	68
3.1. IZVORI PODATAKA O POTROŠNJI ENERGIJE I EMISIJAMA STAKLENIČKIH PLINOVA.....	68
3.1.1. Godišnje izvješće Energija u Hrvatskoj	68
3.1.2. Izvješće o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske.....	68
3.2. RAZVOJ MODELA PREDVIĐANJA EMISIJA STAKLENIČKIH PLINOVA	69
3.2.1. Projekcije neposredne potrošnje energije u RH do 2030.	73
3.2.2. Temeljna projekcija neposredne potrošnje energije (BAU scenarij iz Strategije energetskog razvoja RH).....	75
3.2.3. Održivi scenarij neposredne potrošnje energije iz Strategije energetskog razvoja RH	76
3.2.4. Korigirani BAU-scenarij.....	77
3.2.5. Korigirani održivi scenarij	80
3.2.6. Podvarijante korigiranog održivog scenarija	84
3.3. PRIMJENA MODELA UMJETNIH NEURONSKIH MREŽA.....	89
4. REZULTATI	91
5. RASPRAVA	101
5.1. Modeliranje parametara emisija stakleničkih plinova	101
5.1.1. Emisije stakleničkih plinova za korigirani BAU-scenarij (održivi scenarij iz strategije 2009.)	101
5.1.2. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij.....	102
5.1.3. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 1	103
5.1.4. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 2	103
5.1.5. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 3	104
5.1.6. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 4	104
5.2. Relativno smanjenje emisija.....	105
5.3. Maksimumi smanjenja emisija stakleničkih plinova	109
5.4. Vrijeme postizanja maksimuma smanjenja emisija stakleničkih plinova	110
5.5. Usporedba predviđenih emisija stakleničkih plinova s objavljenim službenim podacima.....	111
5.5.1. Emisije u 2014., 2015. i 2016.	111
5.5.2. Procjene emisija u 2015., 2020., 2025. i 2030.	112
6. ZAKLJUČAK	115
7. LITERATURA	117
8. PRILOG	131
9. ŽIVOTOPIS	136

1. UVOD

Pred Hrvatskom kao najnovijom članicom EU stoje brojni izazovi, a jedan od njih je svakako i pronalazak nove energetske i gospodarske strategije razvoja s kojima bi ostvarila zadane ciljeve glede razina emisija stakleničkih plinova u skladu s energetske-klimatskim paketom zakona EU. Ti su izazovi ujedno i razvojne prilike koje Hrvatska treba i može iskoristiti. Stoga Hrvatska treba razvijati energetske-klimatske politike i strategije koje će joj omogućiti postupni prijelaz u cirkularnu ekonomiju i niskougljično gospodarstvo, temeljene na principima održivog razvoja. Kako bi se ostvarili takvi ciljevi potreban je novi pristup u planiranju potreba za energijom, zajedno s jasnom i realnom strategijom energetskog razvoja koja će osigurati potrebne količine energije (sigurnost opskrbe), energetske neovisnost, cjenovnu dostupnost energije, ali i dostizanje ciljeva smanjenja emisija stakleničkih plinova u zadanom vremenu.

Opskrba energijom jedan je od osnovnih preduvjeta za gospodarski i društveni razvoj svake zemlje. Energija omogućava pružanje najosnovnijih usluga koje održavaju gospodarske aktivnosti kao i podizanje kvalitete života ljudi. Energija može postojati u različitim oblicima i može se pretvarati iz jednog oblika u drugi pomoću različitih tehnologija za pretvorbu energije. U svim aspektima života koriste se različiti nositelji energije proizvedeni iz različitih izvora energije. Izvori energije nalaze svoju primjenu u raznim gospodarskim sektorima poput industrije, prometa, kućanstava i usluga.¹ Energija je glavni čimbenik proizvodnje u svim aspektima svakog gospodarstva.²

Gospodarski razvoj neke države ovisan je o raspoloživim izvorima energije kao i o povećanju potrošnje energije. Korištenjem energije, a posebno energije iz fosilnih goriva, uvelike se utječe i na okoliš kroz povećanje emisija štetnih tvari, a time i stakleničkih plinova. Iz toga proizlazi kako postoji međusobna ovisnost energije, gospodarstva i okoliša, odnosno potrošnje energije, cijene energije i emisija stakleničkih plinova.

Predviđanje emisija stakleničkih plinova (engl. *GreenHouse Gases*, GHG) vrlo je važno zbog negativnog utjecaja na okoliš koji se očituju u klimatskim promjenama. Emisije stakleničkih plinova, posebice emisije ugljičnog dioksida (CO₂) smatraju se glavnim uzrocima globalnog zagrijavanja.³ Izgaranje fosilnih goriva najveći je pojedinačni ljudski utjecaj na klimu, odgovoran za 80 % svih antropogenih emisija stakleničkih plinova.⁴

Klimatske promjene, a s tim u vezi i smanjenja emisija stakleničkih plinova postala su primarni globalni problem i predstavljaju glavni dugoročni izazov za ostvarenje održivog gospodarskog razvoja.

Uz Pariški sporazum o klimatskim promjenama, Konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime (engl. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC) i Protokol iz Kyota⁵ smatraju se prvim i najvažnijim globalnim naporima za ublažavanje globalnog zatopljenja, a time i smanjenje emisija stakleničkih plinova.⁶

Aktualna europska klimatska politika⁷, poznata i pod nazivom "20-20-20", koja obuhvaća klimatski i energetska zakonski paket, temelji se na tri glavna stupa kojima se predviđa smanjenje emisija stakleničkih plinova za 20 %, povećanje udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji energije od 20 % i smanjenje potrošnje energije za 20 %. Za drugi obvezujući period Protokola iz Kyota, cilj Republike Hrvatske je smanjenje emisija za 20 % u odnosu na razine iz 1990. U težnji za ubrzanim gospodarskim razvojem vrlo je važno pravovremeno odrediti ciljeve u pogledu energetike i zaštite okoliša koje će Republika Hrvatska moći ispuniti i koji će biti u skladu i s važećim direktivama EU.

Stoga je ispravno i racionalno predviđanje buduće potrošnje energije osnovna pretpostavka za naprednu analizu i modeliranje razvojnih smjerova kako energetike tako i zaštite okoliša. Jedna od posljedica gospodarske krize u Republici Hrvatskoj u razdoblju 2008. – 2013. bio je zamjetan pad potrošnje energije, čiji je oporavak započeo tek u 2014. Usto se u posljednje vrijeme opažaju rekordno niske cijene nafte koje utječu i na investicije u daljnja istraživanja i eksploataciju naftnih ležišta te ih čine neisplativima. Tako niska cijena nafte ujedno negativno utječe i na investicije u obnovljive izvore energije. Republika Hrvatska koristi različite izvore energije, a neki od njih su ograničenih kapaciteta poput prirodnog plina i nafte, dok s druge strane obiluje velikim kapacitetima u obnovljivim izvorima energije poput vodnog potencijala, energije vjetra, sunčeve energije i biomase.

Najvažniji sektor Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC)⁸ u Republici Hrvatskoj je energetska sektor. Energetska sektor čini: industrija, promet, kućanstva, usluge, poljoprivreda i graditeljstvo i pokriva sve aktivnosti koje uključuju sve oblike izgaranja goriva iz stacionarnih i mobilnih izvora te fugalne emisije iz goriva.⁹

Za energetske sektor najvažniji staklenički plin je CO₂, pored kojega posebnu važnost imaju i indirektni staklenički plinovi poput: CO, SO₂, NO_x i tzv. nemetanski hlapljivi organski spojevi (engl. *Non-Methane Volatile Organic Compounds*, NMVOC).

Uzimajući u obzir značenje potrošnje energije i njezinog utjecaja na okoliš te s ciljem planiranja potrošnje energije u skladu s principima održivog razvoja, važno je razviti pouzdani model predviđanja emisija stakleničkih plinova s obzirom na projekcije sektorske potrošnje energije, u čemu važnu primjenu nalaze i umjetne neuronske mreže.

Tehnike poput umjetnih neuronskih mreža kroz svoje skrivene slojeve i sposobnosti učenja vrlo su pogodne za primjenu u rješavanju problema predviđanja.¹⁰

CILJ I HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog rada je razvoj pouzdanog modela predviđanja razina stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj kako bi se unaprijedio način planiranja potrošnje energije po sektorima s obzirom na predviđene razine stakleničkih plinova.

U ovom radu postavljene su dvije hipoteze. Prva je da se buduće razine stakleničkih plinova mogu uspješno predvidjeti na osnovi povijesnih podataka o sektorskoj potrošnji energije i izmjerenih razina stakleničkih plinova. Druga je da umjetne neuronske mreže mogu poslužiti kao osnova za izradu predmetnog modela, uz uvjet pravilnog izbora mrežne arhitekture i optimiranja njenih parametara.

Tek se malen broj studija bavi primjenom umjetnih neuronskih mreža kao alata za planiranje i razvoj energetske politike na razini države, pa je stvarna korist implementacije takve vrste umjetne inteligencije u društvu poprilično neistražena. U fokusu ovog rada je razvoj pouzdanog alata koji bi se mogao uspješno koristiti za testiranje različitih politika za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Kreirani model, testiran na primjeru Hrvatske, korišten je za definiranje budućih smjerova politika energetskog razvoja Hrvatske sagledanih kroz ciljeve smanjenja energetske intenzivnosti gospodarstva i njegova utjecaja na okoliš, preuzete putem klimatskih i energetske direktiva EU i propisa UNFCCC.

OČEKIVANI ZNANSTVENI DOPRINOS

Osnovna zamisao je pronalazak optimalnog modela predviđanja emisija stakleničkih plinova korištenjem umjetnih neuronskih mreža, s obzirom na projekcije neposredne

potrošnje energije. Kreirani model bi putem korigiranih scenarija neposredne potrošnje energije uzimao u obzir mjere za ublažavanje emisija stakleničkih plinova, kojima se utječe na smanjenje neposredne potrošnje energije i na smanjenje emisija stakleničkih plinova. Rezultati istraživanja u ovom radu trebali bi donosiocima odluka u Republici Hrvatskoj pomoći da objektivno sagledaju trenutno stanje i definiraju efikasnije politike i alate za razvoj energetskeg sektora. Na taj način bio bi stvoren vlastiti model, testiran i provjeren na primjeru Republike Hrvatske, a koji bi mogao biti primjenjiv i na druge države.

2. OPĆI DIO

2.1. KLIMATSKE PROMJENE I EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA

Brza industrijalizacija i tehnološki razvoj u zadnjih su 150 godina suočili globalnu zajednicu s ozbiljnim izazovima vezanim za ograničene izvore fosilnih goriva i globalno zagrijavanje izazvano prekomjernim emisijama CO₂. U drugoj polovici 20. stoljeća postaje jasno da ljudske aktivnosti znatno utječu na promjene u okolišu s potencijalno negativnim posljedicama na ekološki sustav, klimu, ali i zdravlje ljudi te kvalitetu života. Stoga su klimatske promjene nedvojbeno jedna od najvećih globalnih prijetnji s kojima se čovječanstvo suočava te privlače pozornost znanstvenika i političara širom svijeta.

Osim što utječu na okoliš i čovjeka, klimatske promjene utječu i na brojna nacionalna gospodarstva te predstavljaju sve veći izazov za mnoge zemlje. Prevladavajući je stav svjetskih znanstvenika da su klimatske promjene koje se zbivaju u velikoj mjeri rezultat antropogenih emisija stakleničkih plinova. Porast koncentracija stakleničkih plinova izravna je posljedica ljudskih aktivnosti koje vode prema globalnom zagrijavanju jačanjem prirodnog učinka staklenika.

Skupina plinova koji zadržavaju određenu količinu sunčeve energije u atmosferi i uzrokuju njezino zagrijavanje naziva se stakleničkim plinovima.¹¹ Karakteristika stakleničkih plinova poput CO₂ je da apsorbiraju i emitiraju valove u infracrvenom području, uslijed kojih dolazi do zagrijavanja zemljine površine i nastanka učinka staklenika. Kako sunce zagrijava zemlju, staklenički plinovi u troposferi apsorbiraju sunčevo zračenje reflektirano od zemljine površine i emitiraju ga nazad na zemlju. Količina apsorbiranog sunčevog zračenja izravno je proporcionalna količini stakleničkih plinova u troposferi. Kako se razina CO₂ u atmosferi povećava, sve više sunčevog zračenja biva "zarobljeno" što povisuje temperaturu planeta i vodi ka globalnom zagrijavanju.¹²

Emisije ugljikova dioksida mogu se pratiti na temelju izračuna ili na temelju mjerenja. Za mjerenje emisija primjenjuju se standardizirane ili prihvaćene metode, a nadopunjava ih dodatni proračun emisija.¹³ Emisije stakleničkih plinova mogu se odrediti na dva glavna načina. Prvi način je određivanje putem kontinuiranih mjerenja koncentracije odgovarajućeg stakleničkog plina u dimnom plinu i iz toka dimnog plina. Drugi način je izračun iz podataka o djelatnosti dobivenih putem mjernih sustava i dodatnih parametara laboratorijskih analiza ili standardnih faktora. Razlikuju se formule za proračun emisije zbog izgaranja (emisije

stakleničkih plinova nastale tijekom egzotermne reakcije goriva s kisikom) i emisije iz proizvodnih procesa (emisije stakleničkih plinova nastale kao rezultat namjernih ili nenamjernih reakcija između tvari ili njihovih pretvorbi, uključujući kemijsku ili elektrolitičku redukciju metalnih ruda, toplinsku razgradnju tvari i oblikovanje tvari za upotrebu kao proizvoda ili sirovina).

U svojem Petom izvješću o procjeni, Međuvladin panel o klimatskim promjenama (IPCC) zaključio je da je od sredine 20. stoljeća globalni porast temperature uglavnom posljedica ljudskih aktivnosti.¹⁴ Koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi rastu od prošlog stoljeća u usporedbi sa stabilnim razinama koncentracija koje su bile prisutne u preindustrijskom razdoblju. Najvažniji staklenički plinovi su ugljikov dioksid (CO₂), metan (CH₄), didušikov oksid (N₂O), fluorirani (engl. *HydroFluoroCarbons*, HFC) i perfluorirani (engl. *PerFluoroCarbons*, PFC) ugljikovodici, sumporov heksafluorid (SF₆) i dušikov fluorid (NF₃). Uz to, u atmosferi su prisutni i tzv. indirektni staklenički plinovi: ugljikov monoksid (CO), dušikov oksid (NO_x), ne-metanski hlapivi organski spojevi (NMHOS) i sumporov dioksid (SO₂).

Budući da pojedini staklenički plinovi imaju različita svojstva zračenja te sukladno tome različito doprinose efektu staklenika, potrebno je emisiju svakog plina pomnožiti s njegovim stakleničkim potencijalom (engl. *Global Warming Potential*, GWP). Staklenički se potencijal izračunava za svaki pojedini staklenički plin kao mjera koliko dugo se pojedini staklenički plin u prosjeku zadržava u atmosferi i koliko snažno apsorbira energiju i doprinosi zagrijavanju Zemlje.

U svojem Četvrtom Izvješću, Međuvladin panel o klimatskim promjenama objavio je da je u promatranom razdoblju 1970. – 2004. u svijetu zabilježeno povećanje emisija stakleničkih plinova za 70 %.¹⁴ Također, u Posebnom Izvješću o emisijskim scenarijima (engl. *Special Report on Emissions Scenarios*, SRES) predviđeno je u razdoblju 2000. – 2030. povećanje emisija u rasponu od 25 – 90 %.¹⁵ U navedenom Izvješću predviđeni su sljedeći emisijski scenariji: A1T, A1B, A1F1, A2, B2 i B1. Svaki pojedini scenarij pripada određenoj scenarijskoj "obitelji" i "priči" te svaki opisuje budući svjetski gospodarski razvoj.¹⁵

Priča A1 i scenarijska obitelj (A1T, A1F1 i A1B) opisuju svijet ubrzanog gospodarskog razvoja, ubrzanog uvođenja novih i učinkovitijih tehnologija, kao i broj stanovnika koji će doseći svoj vrhunac sredinom ovog stoljeća nakon čega slijedi opadanje. Scenarijska skupina A1 posebna je po svojem težištu na tehnologiji: scenarij A1F1 predviđa

intenzivno korištenje fosilnih goriva, A1T korištenje čistih energetske izvora (bez fosilnih), a scenarij A1B uravnoteženo korištenje svih raspoloživih izvora. Priča A2 opisuje izrazito heterogeni svijet, s konstantnim povećanjem broja stanovnika te s malim tehnološkim promjenama. Priča B1 opisuje konvergentni svijet s istom dinamikom porasta stanovništva kao i u priči A1, ali s izraženim rasponima u gospodarskim strukturama. Priča B2 opisuje svijet u kojem je težište na lokalnim rješenjima za gospodarsku, društvenu i okolišnu održivost. To je svijet s kontinuiranim porastom globalne populacije sa stopom nižom od one u priči A2.

2.2. ZAKONODAVNI OKVIR BORBE PROTIV KLIMATSKIH PROMJENA

Tijekom prvog obvezujućeg razdoblja Kyotskog protokola Konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC)¹⁶ koji je započeo 2008. i završio u 2012., 37 industrijaliziranih zemalja, uključujući Kinu, Japan i zemlje Europske unije (EU) obvezalo se da će smanjiti svoje emisije stakleničkih plinova u prosjeku za 5 % u odnosu na razine emisija iz bazne 1990.

Republika Hrvatska potpisala je 11. ožujka 1999. Kyotski protokol kao 78. zemlja članica i obvezala se da će u prvom obvezujućem razdoblju smanjiti svoje emisije za 5 % u odnosu na razine emisija iz bazne 1990., ali ga nije ratificirala do 2007. zbog pregovora oko izbora bazne godine. Hrvatski sabor je 27. travnja 2007. donio Odluku o proglašenju Zakona o potvrđivanju Kyotskog protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime.¹⁷ Devedesetog dana od dana polaganja isprave o ratifikaciji kod depozitara, Glavnog tajnika UN-a, Republika Hrvatska postala je punopravna članica Kyotskog protokola, 28. kolovoza 2007.

Drugo obvezujuće razdoblje Kyotskog protokola započelo je 1. siječnja 2013. i završit će 2020. U njemu sudjeluje 38 razvijenih zemalja, uključujući 28 država članica EU-a. To drugo razdoblje obuhvaćeno je Izmjenom iz Dohe u okviru koje su se zemlje sudionice obvezale na smanjenje emisija za najmanje 18 % ispod razina iz 1990. EU se u tom razdoblju obvezao do 2020. smanjiti emisije za 20 % ispod razina iz 1990.¹⁶

Ulaskom u EU, Republika Hrvatska preuzela je zajednički europski cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova za 20 % do 2020. u odnosu na 1990. Ovaj zajednički cilj podijeljen je u dvije cjeline, od kojih prva obuhvaća velike izvore emisija stakleničkih plinova koje su obveznice europskog sustava trgovanja emisijskim jedinicama (engl. *Emission*

Trading Scheme, ETS), a druga tzv. ne-ETS-sektor, koji obuhvaća ostale, relativno manje izvore emisija, kao što su: cestovni i vancestovni promet (osim zračnog prometa koji je uključen u ETS-sektor), mala energetska i industrijska postrojenja koja nisu uključena u ETS-sektor, kućanstva, usluge, poljoprivreda i gospodarenje otpadom. Cilj postavljen za ETS-sektor je smanjenje emisija za 21 % u odnosu na 2005., dok za ne-ETS-sektor ukupno smanjenje iznosi 10 % u odnosu na 2005., ali različito raspodijeljeno po državama EU-a. Obveze smanjenja ili ograničenja porasta emisija za ne-ETS-sektor temelje se na načelu solidarnosti, pri čemu su ekonomski razvijenije države, čiji je bruto društveni proizvod po stanovniku veći od prosjeka Europske unije, preuzele obveze smanjenja emisije do najviše 20 %, dok su manje razvijene države, uključujući i Republiku Hrvatsku, preuzele obveze da ograniče očekivani porast emisija do najviše 20 % u odnosu na verificirane emisije iz 2005. Za Republiku Hrvatsku porast emisije do 2020. ograničava se na maksimalno 11 % iz sektora koji nisu obuhvaćeni sustavom trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova, u odnosu na verificirane emisije iz 2005.

Konferencijom o klimatskim promjenama u Parizu koja se održavala od 30. studenoga do 11. prosinca 2015. napokon je ostvaren cilj, a to je potpisivanje globalnog sporazuma o klimatskim promjenama sa sljedećim elementima:

- **dugoročni cilj:** vlade su postigle dogovor da će porast prosječne svjetske temperature zadržati na razini znatno manjoj od 2 °C u usporedbi s predindustrijskim razinama te da će ulagati napore da se taj porast ograniči na 1,5 °C;
- **doprinosi:** prije pariške konferencije i za vrijeme njezina trajanja zemlje su podnijele sveobuhvatne nacionalne planove klimatskog djelovanja za smanjivanje emisija;
- **ambicija:** vlade su se složile da će svakih pet godina obavješćivati o svojim doprinosima za postavljanje ambicioznijih ciljeva;
- **transparentnost:** također su prihvatile da će se izvještavati međusobno, kao i javnost, o tome kako napreduju u provedbi svojih ciljeva kako bi se osigurala transparentnost i nadzor;
- **solidarnost:** EU i ostale razvijene zemlje i dalje će financirati borbu protiv klimatskih promjena kako bi zemljama u razvoju pomogle da smanje emisije i izgrade otpornost na učinke klimatskih promjena.¹⁸

2.2.1. Energetska i klimatska politika Europske unije do 2050.

Energetska politika Europske unije ima presudan utjecaj na smjer i intenzitet provođenja reformi u razvoju energetske tržišta kao i u borbi protiv klimatskih promjena u svim državama članicama Europske unije, pa tako i na Republiku Hrvatsku kao njenu najmlađu članicu. Izazovi na području energetike s kojima se Europska unija suočava uključuju brojna pitanja kao što su:

- sve veća ovisnost o uvozu energije,
- ograničena diversifikacija opskrbenih pravaca,
- visoke i nestabilne cijene energije,
- rastuća globalna potražnja za energijom,
- geopolitički i sigurnosni rizici u zemljama proizvođačima energije i tranzitnim zemljama,
- perspektiva i izazovi daljnjeg korištenja obnovljivih izvora energije,
- usporen napredak glede energetske učinkovitosti,
- rastuća prijetnja klimatskih promjena,
- potreba za većom transparentnošću,
- daljnja integracija i međusobno povezivanje tržišta energije.

Srž energetske politike EU čine raznovrsne mjere kojima se nastoji uspostaviti integrirano energetske tržište, sigurnost opskrbe energijom i održivost energetske sektora. Energetske tržište je područje gdje će se u budućnosti razvijati sve više zajedničkih aktivnosti zemalja članica EU s ciljem njegove potpune liberalizacije, odnosno tržišnog formiranja cijena energije, kao i povećanja energetske učinkovitosti.

U Europskoj uniji energija je kao zasebna politika opisana u glavi XXI. Ugovora o Europskoj uniji te Ugovorom o funkcioniranju Europske unije.¹⁹ Elementi Ugovora koji se odnose na pitanja energije prisutni su od samih početaka djelovanja preteče EU, isprva u vidu Europske zajednice za ugljen i čelik (engl. *European Coal and Steel Community*, ECSC) od 1951., a onda i u vidu Europske ekonomske zajednice (engl. *European Economic Community*, EEC) od 1957.²⁰

Jasno je da je od svojih početaka Europska energetska politika kreirana sukladno interesima gospodarski najjačih europskih zemalja. Takva praksa je i danas pri čemu je razvidno da se proces daljnjeg uređenja i razvoja energetske sektora odvija i provodi na način koji je u interesu vodećih zemalja članica EU čije se nacionalne energetske tvrtke lako

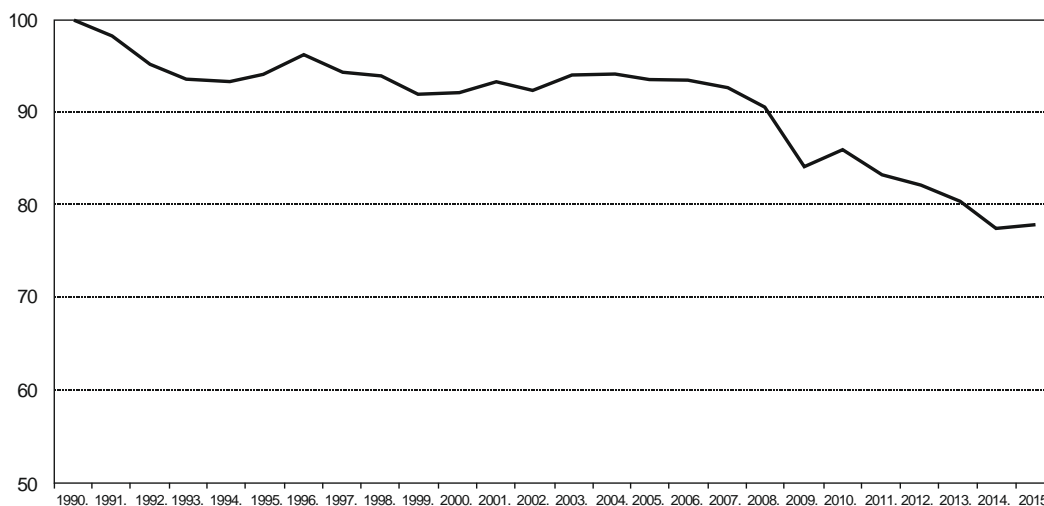
proširuju na zajedničko integrirano tržište energije EU kako bi postali regionalni energetske lideri.²¹

S povijesnog stanovišta, energetska politika EU prolazila je kroz nekoliko faza u kojima je poticaj prema većem povezivanju i usklađivanju nacionalnih politika država članica često dolazio uslijed aktualnih geopolitičkih okolnosti (npr. rusko-ukrajinski plinski spor iz 2009.). Pod takvim vanjskim okolnostima EU je sve više morala istraživati međusobni odnos proizvodnje i potrošnje energije na životni standard i okoliš. S tim u vezi razvijena je ideja o stvaranju zajedničkih unutarnjih tržišta električne energije i plina. Usto je pokrenut i niz programa razvoja tehnologije u energetici, posebno u vezi povećanja energetske učinkovitosti kao i povećanja udjela obnovljivih izvora energije.

S ciljem pretvaranja u svjetskog lidera u borbi protiv klimatskih promjena, EU je 2011. donijela jedinstvenu strategiju energetske razvoja i ublažavanja klimatskih promjena kojom će postati "niskougljično" gospodarstvo s niskim emisijama stakleničkih plinova.²²

U strategiji su navedene smjernice za razvoj energetske politike EU do 2050. Smjericama su prikazani različiti scenariji prema kojima bi se ostvarili ciljevi konkurentnog i održivog energetske sustava kao i dekarbonizacija gospodarstva EU. U smjericama se posebno ističu pitanja energetske učinkovitosti, veće upotrebe obnovljivih izvora energije, nuklearne energije, veće upotrebe plina kao i novih tehnologija te korištenje alternativnih goriva poput biogoriva, metana, sintetičkih goriva i ukapljenog naftnog plina (UNP-a).

Od 2008. kada je EU donijela svoj prvi paket klimatskih i energetske mjera mnogo je toga postignuto. EU je na dobrom putu ostvarenja ciljeva povezanih s energijom iz obnovljivih izvora i smanjenjem emisije stakleničkih plinova do 2020., a znatni naponi uloženi su i u povećanje energetske učinkovitosti zahvaljujući učinkovitijim zgradama, proizvodima, industrijskim procesima i vozilima.

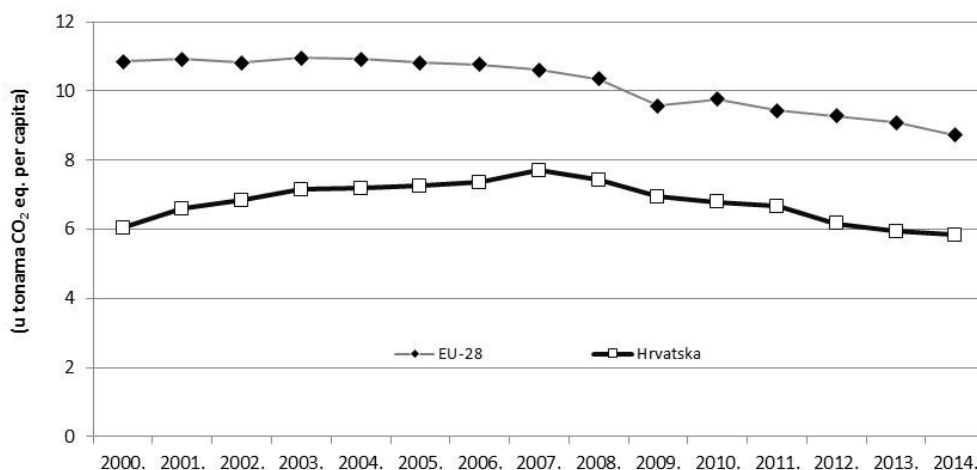


Slika 1. Trend emisija stakleničkih plinova (uključujući međunarodni zračni promet i neizravne emisije CO₂, isključujući sektor korištenja zemljišta, promjena u korištenju zemljišta i šumarstva) u EU-28 u razdoblju 1990. – 2014. (indeks 1990. = 100).²³

Kao ključna postignuća trenutnog okvira za klimatsku i energetska politiku treba posebno izdvojiti sljedeće rezultate. U 2014., prosječne emisije stakleničkih plinova u 28 zemalja članica EU (EU-28) bile su manje za 22,9 % u odnosu na razine iz 1990., bez emisija iz sektora korištenja zemljišta, promjena u korištenju zemljišta i šumarstva (engl. *Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF*)²⁴, kako je prikazano na slici 1. Ukupne emisije stakleničkih plinova u (EU-28) u 2014. u odnosu na 2013. bile su manje za 4 %. Takvo smanjenje emisija stakleničkih plinova vratilo je EU na zacrtani cilj smanjenja emisija u planovima za 2030., dok je cilj za 2020. već ostvaren i premašen.

Sustav EU-a za trgovanje emisijskim jedinicama (ETS) pokriva otprilike 43 % svih emisija u EU. U 2014., ETS je bio 24 % ispod razina iz 2005. U sektorima koji nisu uključeni u ETS, emisije stakleničkih plinova smanjile su se za 12,9 % u usporedbi sa 2005.²⁴

Analizom na kojoj se temelji procjena učinka Europske komisije predviđena je ekonomična raspodjela napora među državama članicama. Njome se potvrđuje relativno povećanje troškova i ulaganja u državama članicama s nižim prihodima, dok bi se troškovi na razini Unije u cjelini smanjili. To je odraz njihove veće emisije ugljika, niže energetske učinkovitosti i slabije investicijske sposobnosti.²⁵

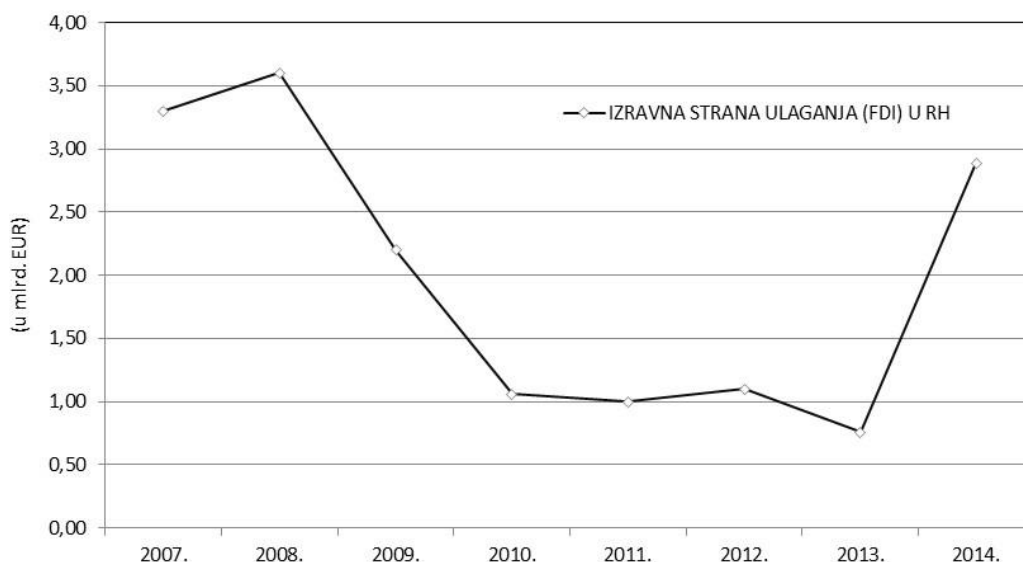


Slika 2. Emisije stakleničkih plinova po stanovniku²⁶

Na slici 2. prikazana je usporedba emisija stakleničkih plinova po stanovniku u razdoblju od 2000. do 2014. u Hrvatskoj i EU-28. Iz slike je razvidno da su emisije stakleničkih plinova po stanovniku u Hrvatskoj ispod EU-28 te se Hrvatska ubraja u zemlje sa nižom emisijom. Također se može zaključiti kako je Hrvatska u dosta dobroj poziciji jer ima prostora za gospodarski razvoj koji će zasigurno povećati emisije stakleničkih plinova po stanovniku, a da i dalje bude ispod EU-28.

U području energetske učinkovitosti Hrvatska je za razdoblje od 2012. do 2016. postavila ciljeve smanjenja neposredne potrošnje energije. Cilj koji si je Hrvatska postavila je smanjenje neposredne potrošnje energije u 2016. za 19,77 PJ u odnosu na 2007. u skladu sa zahtjevima Direktive 2006/32/EC o energetske učinkovitosti u krajnjoj potrošnji i energetske uslugama²⁷. Sektorskom raspodjelom ciljeva planirana su sljedeća smanjenja neposredne potrošnje energije: kućanstva – 6,7 PJ (34 %), usluge – 3,64 PJ (18 %), industrija – 3,4 PJ (17 %), promet – 6,03 PJ (31 %).²⁸ Primjenom metode odozgo prema dolje (eng. *top-down*, TD) u 2015. su ostvarene uštede na razini od 170 % cilja za 2016., što znači da su ostvarene uštede veće od cilja za 2016. To je u skladu s procjenama iz prethodnih Nacionalnih akcijskih planova, koje su ukazivale na to da će cilj za 2016. biti značajno premašen.²⁹ Međutim, treba istaknuti kako navedene uštede nisu isključivo posljedica provođenja politike energetske učinkovitosti već je rezultat djelomično posljedica načina izračuna ušteda na temelju propisane metodologije, a djelomično je posljedica i smanjene gospodarske aktivnosti.

U Strategiji energetskega razvoja određen je indikativni cilj smanjenja potrošnje energije kao ušteda od preko 10 % u neposrednoj potrošnji energije u odnosu na njenu prosječnu vrijednost u razdoblju od 2001. do 2005. Ovako zadani cilj ušteda u 2020. iznosi 22,76 PJ.²⁸



Slika 3. Izravna strana ulaganja u Hrvatsku³⁰

Na slici 3. prikazano je kretanje godišnjih izravnih stranih ulaganja u Hrvatsku izraženo u milijardama eura u razdoblju od 2007. do 2014. Uočljiv je pad navedenih ulaganja u razdoblju od 2010. do 2013. koji je izravna posljedica svjetske financijske krize koja je u Hrvatskoj kulminirala 2013., kada su zabilježene i najniže izravne strane investicije u iznosu od samo 760 milijuna eura, dok je oporavak uslijedio već u 2014. kada su strana ulaganja iznosila blizu 3 milijarde eura.

Iz svega navedenog može se zaključiti kako se Hrvatska ubraja u zemlje s niskim emisijama stakleničkih plinova po stanovniku koje su ispod EU-28, da će najvjerojatnije ispuniti postavljene ciljeve energetske učinkovitosti i da će smanjiti neposrednu potrošnju energije te da ima nisku stopu izravnih stranih ulaganja. Stoga se prema procjeni učinka za ostvarenje ciljeva smanjenja emisija iz analize Europske komisije može utvrditi kako je Hrvatska zemlja kojoj će troškovi za ostvarenje ciljeva smanjenja emisija stakleničkih plinova u budućnosti biti relativno viši od prosjeka EU. U analizi se primjerice navodi kako bi zemlje čiji je BDP niži od 90 % prosječnog BDP-a EU trebale svake godine u razdoblju 2021. –

2030. uložiti oko tri milijarde eura više u odnosu na prosječno povećanje u EU-u u istom razdoblju.²⁵

Odluka o podjeli napora (ESD, engl. *Effort Sharing Decision*) utvrđuje obvezujuće godišnje ciljeve smanjenja emisije stakleničkih plinova za Europsku uniju (EU) za razdoblje 2013. – 2020. Ovi ciljevi odnose se na emisiju iz većine sektora koji nisu uključeni u sustav trgovanja emisijskim jedinicama u EU (ETS), kao što su promet (osim zrakoplovstva i međunarodnog pomorskog prometa), zgrade, poljoprivreda i otpad.³¹

Prema raspoloživim podacima za 2013., u sektorima koji nisu uključeni u sustav ETS u razdoblju 2005. do 2013. emisije stakleničkih plinova smanjene su za 9,6 %. Očekuje se da će se emisije i dalje smanjivati u razdoblju od 2013. do 2020. i da će ostati niže od ciljeva koji su utvrđeni ESD-om. Preliminarni podaci za 2014. upućuju na 12,7 % smanjenja u odnosu na 2005.³² Iz navedenog se može zaključiti kako će EU do 2020. ostvariti zadani cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova za 20 % u odnosu na razine iz 1990.²⁴

Bitno je istaknuti kako se mnogo toga promijenilo od 2008., a posebno treba izdvojiti učinke financijske i gospodarske krize koja je utjecala na investicijsku sposobnost država članica. U posljednje vrijeme zamjetan je i znatan pad cijena nafte te porast cijena plina, što trenutno pozitivno utječe na trgovinsku bilancu i energetske troškove EU-28.

Unutarnje energetske tržište EU-28 se razvija, ali su se pojavili novi rizici od rascjepkanosti te treba poraditi na daljnjoj integraciji i povezanosti te stvaranju zajedničkog energetskeg tržišta, odnosno energetske unije. Isto tako, sustav EU-a za trgovanje emisijskim jedinicama (ETS) ne pridonosi dovoljno ulaganjima u niskouglične tehnologije, povećavajući vjerojatnost pojave novih nacionalnih politika kojima se narušuje ravnopravnost koja se tim sustavom trebala osigurati. Iako su tehnologije obnovljivih izvora energije sazrele, što je dovelo do znatnog smanjenja troškova, brz je razvoj obnovljivih izvora energije doveo do novih izazova u energetske sustavu. Mnogi su energetske zahtjevni proizvodi postali učinkovitiji, što potrošačima omogućuje štednju energije i financijsku uštedu.

Istodobno je dodatno potvrđena vjerojatnost ljudskog utjecaja na klimatske promjene te potreba za znatnim i održivim smanjenjem emisije stakleničkih plinova s ciljem ograničenja daljnjih klimatskih promjena. Stoga je vrijeme da se razmisli o tim trendovima i političkom okviru koji je potreban za ostvarenje ciljeva do 2030., a u kontekstu gospodarskeg razvoja Hrvatske. Iako je Hrvatska već ispunila svoje ciljeve prema odredbama Sporazuma iz Kyota kao i ciljeve EU-a do 2030., upitna je cijena toliko željenog gospodarskeg razvoja

ukoliko Hrvatska odluči krenuti u smjeru daljnjeg razvoja obnovljivih izvora i primjene čišćih tehnologija (Strategija niskougljičnog razvoja RH)³³ što u principu znači uvoz novih tehnologija. Alternativa je da težište Hrvatske bude u poticanju jeftinijih fosilnih tehnologija koje su naravno štetnije po okoliš, ali je tada pitanje hoće li Hrvatska ispunjavati preuzete obveze i ciljeve prema važećim zakonima u EU.

U razdoblju do 2030., cilj Europske unije je daljnje smanjenje emisija stakleničkih plinova za 40 % u odnosu na razine iz 1990., da potrošnja energije iz obnovljivih izvora čini udio od barem 27 % te da povećanje u energetskej učinkovitosti iznosi barem 27 %.³⁴ Ovaj klimatsko energetskej okvir čine brojne EU-direktive i uredbe te nacionalni zakonske i podzakonske propise.

Klimatskej politike EU-a temelje se na zajedničkome europskome tržištu ugljika (ETS), na ambicioznim, ali pravednim nacionalnim ciljevima za smanjenje stakleničkih plinova u sektorima izvan sustava trgovanja emisijama te na energetskej politici čija je svrha Europsku uniju učiniti vodećome u svijetu u korištenju energije iz obnovljivih izvora.³⁵

EU i nakon 2020. očekuje daljnja smanjenja emisija, ali se očekuje da će ta smanjenja biti puno sporija te se stoga može zaključiti kako takvo smanjenje neće biti dostatno za ostvarenje cilja od 40 % smanjenja do 2030. u odnosu na 1990. Na razini EU-28, udio emisija stakleničkih plinova koje nastaju izgaranjem goriva i fugeivnih emisija iz goriva u 2014. iznosio je 55,15 % dok je u 1990. taj udio bio nešto veći i iznosio je 62,33 %.²³

Europske komisije donijela je Okvir za klimatske i energetske politike u razdoblju 2020. do 2030. u kojem je naveden glavni cilj nastavljanja napredovanja u smjeru niskougljičnog gospodarstva. U niskougljičnome gospodarstvu svim je potrošačima osigurana konkurentna i povoljna cijena energije, potiče se rast i otvaranje novih radnih mjesta, osigurana je opskrba energijom te je smanjena ovisnost cjelokupne Unije o uvozu energije.²⁵ Kao ključni elementi Okvira za klimatske i energetske politike u razdoblju od 2020. do 2030. izdvojeni su sljedeći ciljevi:

- smanjenje emisija stakleničkih plinova,
- udio energije iz obnovljivih izvora na razini EU,
- energetske učinkovitost,
- reforma sustava za trgovanje emisijskim jedinicama,
- osiguranje tržišnog natjecanja na integriranim tržištima,
- konkurentna i povoljna energija za sve potrošače i

- promicanje sigurnosti u opskrbi energijom.

Kao članica EU, Republika Hrvatska obavezna je uskladiti nacionalni energetska i klimatski paket zakona s energetska-klimatskim paketom propisa EU. S ciljem ispunjenja svojih obaveza kao članice EU i usklađenja s energetska-klimatskim paketom propisa EU, Hrvatska je donijela brojne zakone: Zakon o regulaciji energetska djelatnosti (Narodne novine 120/12, 14/14), Zakon o energiji (Narodne novine 120/12, 14/14 i 102/15), Zakon o tržištu plina (Narodne novine 28/13, 14/14), Zakon o tržištu električne energije (Narodne novine 22/13, 102/15), Zakon o tržištu toplinska energije (Narodne novine 80/13, 14/14 i 95/15), Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata (Narodne novine 19/14), Zakon o biogorivima za prijevoz (Narodne novine 65/09, 145/10, 26/11, 144/12, 14/14), Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (Narodne novine 100/15), Zakon o energetska učinkovitosti (Narodne novine 127/14), kojima se u nacionalno zakonodavstvo prenijela pravna stečevina Europska unije iz područja energetike, Zakon o gradnji (Narodne novine 153/13), Zakon o zaštiti okoliša (Narodne novine 80/13, 153/13, 78/15), Zakon o zaštiti zraka (Narodne novine 130/11, 47/14) kao i brojne podzakonska propise.

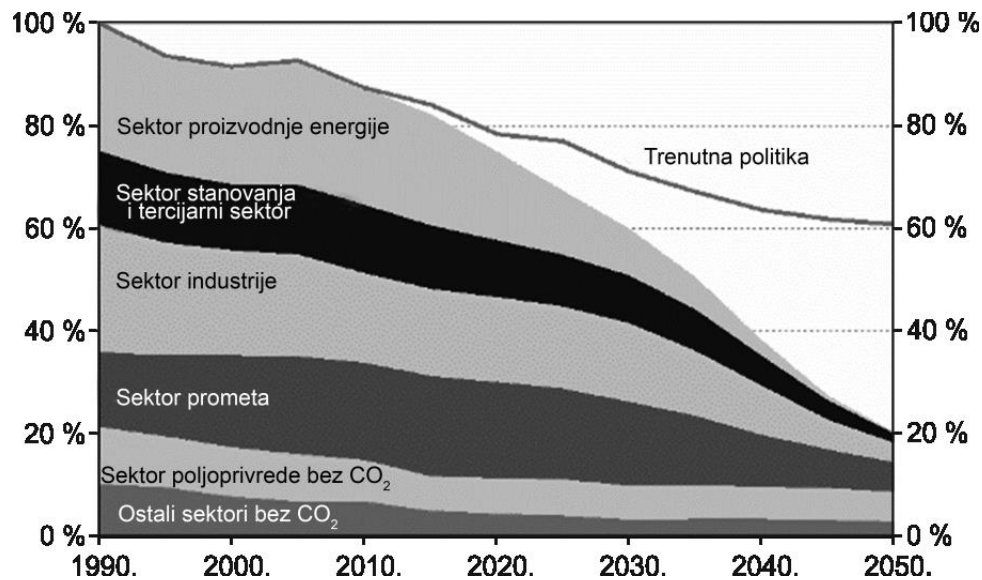
Glavni problem Hrvatska i dalje predstavlja sama implementacija, verifikacija i praćenje ostvarenih rezultata koji proizlaze iz primjene navedenih propisa koji imaju za cilj smanjenje potrošnja energije i emisija stakleničkih plinova.

Iako će Hrvatska najvjerojatnije ostvariti preuzeta ciljeve potrošnja energije i smanjenja emisija do 2020., to neće biti isključivo posljedica provođenja opsežnih politika i nacionalnih napora već rezultat duboka gospodarska krize koja se očitovala i u ukupnom smanjenju potrošnja energije, posebno u industrijskom sektoru. Kao nacionalni cilj smanjenja potrošnja energije u Hrvatskoj u razdoblju od 2014. do 2020. određen je 1,5 % smanjenja godišnja, odnosno 1,938 PJ.³⁶

Najveći izazov koji stoji pred Hrvatskom je kako ostvariti oporavak gospodarstva uz ispunjavanje obveza preuzetih pristupanjem članstvu EU glede daljnje smanjenja potrošnja energije i emisija stakleničkih plinova do 2030. i do 2050. Kako je to prikazano na slici 4., EU planira u razdoblju do 2050. drastično smanjiti emisije za čak 80 % u odnosu na razine iz 1990.³⁷

U svrhu poboljšavanja sigurnosti opskrbe energijom, smanjenja utjecaja na okoliš kao i poticanja održivog razvoja, Europska komisija zadala je obvezujuće dugoročne energetska ciljeve za sve zemlje članice. Hrvatska kao najnovija članica EU mora preispitati postojeću i

razviti novu strategiju energetskog razvoja koja će poticati otvaranje novih radnih mjesta, ali i racionalizaciju potrošnje energije, pristupačnost cijene energije kao i smanjenje emisija stakleničkih plinova. U tom kontekstu vrlo je bitno što bolje razumjeti mehanizme koji utječu na potrošnju energije, gospodarski razvoj i emisije stakleničkih plinova te koji je njihov dugoročni učinak.



Slika 4. Plan EU za smanjenje emisija stakleničkih plinova do 2050.³⁷

Stoga je hrvatski energetski sektor potrebno uskladiti s najnovijim trendovima koji se odnose na održivi razvoj i ostvarivanje ciljeva prelaska na niskougljično gospodarstvo, što će zahtijevati donošenje dalekosežnih odluka o vlastitom energetskom razvoju. Te će odluke imati dugoročni utjecaj kako na gospodarstvo, prirodu i okoliš tako i na društvo i zemlju u cjelini. U nastavku ovog rada bit će navedene i ukratko opisane strategije koje je donijela Republika Hrvatska, a koje svojim planovima i ciljevima utječu na razvoj hrvatskog energetskog sektora.

2.2.2. Strategija energetskog razvoja RH

Jedna od važnijih komponenti cjelokupne strategije gospodarskog i društvenog razvoja neke zemlje svakako je i strategija energetskog razvoja. U procesu strateškog promišljanja i izrade neke razvojne strategije ključni preduvjet je postavljanje realnih i ostvarivih ciljeva koji će biti utemeljeni na vjerodostojnim podlogama, odnosno provedenim stručnim analizama.

Strategija energetskeg razvoja je, prema definiciji iz Zakona o energiji (Narodne novine 120/12, 14/14, 102/15), osnovni akt kojim se utvrđuje energetska politika i planira energetske razvitak na razdoblje od deset godina. Sabor je do sada usvojio dvije Strategije energetskeg razvoja, prvu 2002. godine³⁸, a drugu 2009. godine³⁹.

Prvom energetskeg strategijom iz 2002. utvrđeni su ciljevi i aktivnosti za razdoblje do 2010., a za razdoblje nakon 2010. opisani su mogući problemi i rješenja. Ta je strategija revidirana 2009., prije isteka razdoblja na koje je donesena.

Od listopada 2009. kada je Sabor izglasao Strategiju energetskeg razvoja Republike Hrvatske, Hrvatska ima strateški dokument koji se tiče energetskeg razvoja. U tom smislu Strategija je ne samo energetske, već i političke te socijalno važan dokument, jer se energetske situacija u nekoj zemlji "prelijeva" i na druga važna područja poput gospodarstva i zaštite okoliša. Razvoj energetske politike u Hrvatskoj obilježen je procesom pristupanja u EU, pa su i ciljevi energetske strategije usklađeni s ciljevima definiranim na razini EU.

Glavni ciljevi energetske politike su:

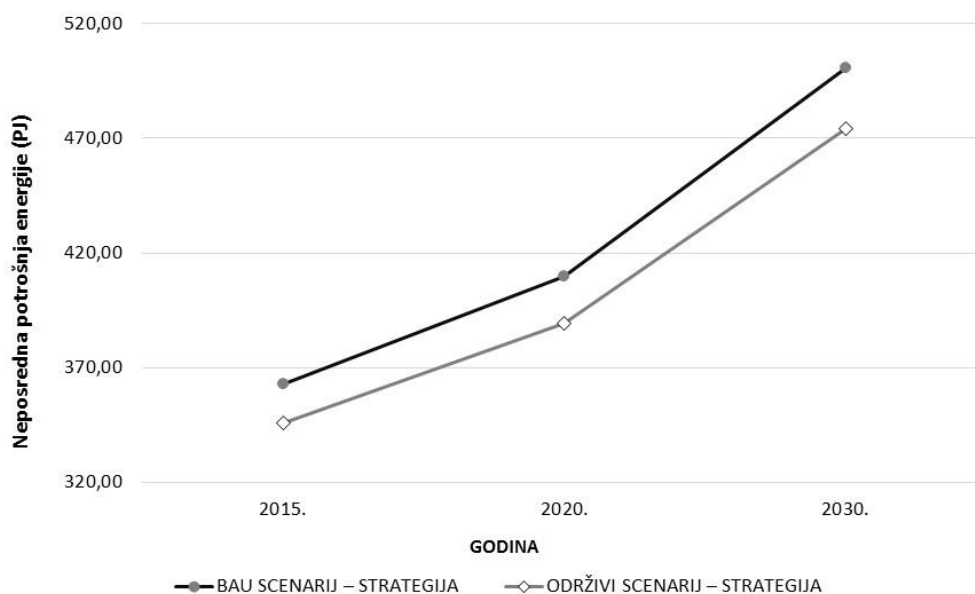
- sigurnost i pouzdanost opskrbe energijom,
- povećanje energetske učinkovitosti,
- poticanje korištenja obnovljivih izvora energije,
- osiguranje zaštite okoliša u svim područjima energetskeg djelatnosti,
- poticanje konkurentnosti na tržištu energije,
- povezivanje hrvatskeg energetskeg sustava ili njegovih dijelova s europskim energetskeg sustavom.

Strategijom energetskeg razvoja utvrđuju se nacionalni energetskeg programi, potrebna ulaganja u energetiku, poticaji za ulaganja u obnovljive izvore i kogeneraciju i za povećanje energetske učinkovitosti te unapređenje mjera zaštite okoliša.

Strategijom energetskeg razvoja date su između ostalog projekcije neposredne potrošnje energije od 2006. do 2020., s pogledom na 2030., za dva scenarija: temeljna projekcija koja služi kao referentni scenarij (engl. *Business-As-Usual*, BAU) i scenarij dodatne energetske učinkovitosti (Održivi scenarij), koji su prikazani na slici 5. Prema referentnom scenariju (BAU) neposredna potrošnja energije u 2015. bila bi 362,75 PJ, u 2020. godini 409,60 PJ, a za 2030. neposredna potrošnja energije trebala bi iznositi 500,84 PJ.

Za održivi scenarij neposredna potrošnja energije u 2015. iznosila bi 346,01 PJ, za 2020. godinu 389,18 PJ, a za 2030. godinu 474,08 PJ.

Predmetna Strategija polazila je od pretpostavke stabilnog gospodarskog rasta bruto domaćeg proizvoda (BDP) od 5 % godišnje, kao logičan slijed trenda iz tog vremena (2006., 2007. i 2008.).



Slika 5. Neposredna potrošnja energije prema temeljnoj projekciji (BAU) i održivom scenariju neposredne potrošnje energije u razdoblju 2015. – 2030³⁹

Nadalje, Strategija energetske razvoja predviđa aktivnosti države radi ostvarivanja strateških projekata koji bi trebali doprinijeti ostvarivanju ciljeva energetske politike u međunarodnom kontekstu. Regulatorne mjere trebale bi smanjiti rizike za investitore, omogućiti investicije na tržišnim načelima te potaknuti ostvarivanje specifičnih ciljeva.

Specifični ciljevi Strategije za razdoblje do 2020. su:

- 20 % smanjenja emisija stakleničkih plinova u 2020. u odnosu na 1990.;
- 20 % udjela obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji 2020., uključujući i velike hidroelektrane;
- 35 % udjela proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, uključujući velike HE;
- 10 % udjela energije u prijevozu iz obnovljivih izvora;
- 9 % smanjenja neposredne potrošnje do 2016. primjenom mjera energetske učinkovitosti u odnosu na prosjek 2001. – 2005., te još dodatnih 10 % do 2020.
- 20 % smanjenja ukupne potrošnje energije u 2020. u odnosu na temeljnu projekciju.

1. cilj je smanjivanje emisije stakleničkih plinova za 20 % u 2020. u odnosu na razine emisija stakleničkih plinova iz bazne 1990. godine (34.620 Gg CO₂-eq). Unatoč relativno maloj potrošnji energije po stanovniku (u 2014. potrošnja energije po stanovniku u Hrvatskoj iznosila je 2.268 kg ekvivalenta nafte te je u odnosu na EU-28 bila manja za 28,3 %) ⁴⁰, Hrvatska ima relativno veliku energetska intenzivnost. U odnosu na EU-28, energetska intenzivnost u Hrvatskoj u 2014. bila je veća za 30,5 % ⁴⁰.

2. cilj je već dosegnut – u 2014. udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije iznosio je 24,8 % (prema metodologiji Statističkog ureda Europske unije, Eurostat) ⁴⁰. Imajući u vidu strukturu proizvodnje energije u RH, postizanje ovog cilja ne čini se problematičnim. Međutim, cilj je postavljen manje ambiciozno od ciljeva Strategije održivog razvitka ⁴¹ – ona predviđa povećanje udjela obnovljive energije (ne računajući hidroelektrane veće od 10 MW) u ukupnoj potrošnji na 20 % i to 9,2 % u električnoj energiji, 2,2 % u transportu, a 8,6 % u toplinskoj i rashladnoj energiji.

3. cilj podrazumijeva zadržavanje postojećeg udjela proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Energetskom strategijom predviđa se izgradnja novih hidroelektrana, ukupno instalirane snage 300 MW, 85 MW u elektranama na biomasu te korištenje drugih obnovljivih izvora energije. Cilj je proizvodnja oko 84 PJ iz obnovljivih izvora energije do 2020., što podrazumijeva zadržavanje na razini iz 2009. kad je 17,97 PJ primarne energije proizvedeno iz ogrjevnog drveta, 65,77 PJ iz vodne snage i 1,34 PJ iz drugih obnovljivih izvora.

4. cilj definira udjel energije iz obnovljivih izvora u prijevozu. Promet sudjeluje u ukupnoj neposrednoj potrošnji s oko 30 %, a najveći udio u potrošnji ima cestovni promet s gotovo 90 %. Temeljna projekcija Strategije energetskog razvoja predviđa stopu rasta potrošnje od 3,3 % do 2020. U skladu s tom pretpostavkom, projicirana je potrošnja energije u prometu 2020. od 135,22 PJ od čega bi 10 %, tj. 13,52 PJ trebalo biti iz obnovljivih izvora. Strategija postavlja za cilj oko 9 (8,91) PJ iz biogoriva proizvedenih iz domaćih poljoprivrednih i drugih sirovina.

5. cilj odnosi se na smanjenje neposredne potrošnje energije. Napredak prema ovom cilju trebao se ostvariti provedbom programa energetske učinkovitosti. Trećim nacionalnim akcijskim planom energetske učinkovitosti određena je ušteda energije za razdoblje od 2014. – 2016. Provedba plana trebala bi rezultirati uštedom u neposrednoj potrošnji energije od 19,77 PJ u 2016. Isto smanjenje navedeno je i u Strategiji energetskog razvoja (Poglavlje

5.2.1.) prema kojemu bi provedba energetske učinkovitosti morala osigurati uštede energije od oko 20 PJ (ušteda 19,77 PJ u razdoblju 2009. – 2016. i 22,76 PJ do 2020.). Ti su ciljevi, međutim, postavljeni u odnosu na temeljnu projekciju, prema kojoj su predviđene stope rasta potrošnje energije u industriji od 2,6 %, u prometu 3,3 % i u općoj potrošnji od 3,1 %, a ne u odnosu na prosjek 2001. – 2005., a posebno ne u odnosu na prosječne stope rasta od 2008. U skladu s takvim pristupom, za 2015. projicirana je potrošnja od 345,18 PJ (17,57 PJ manja od one prema temeljnoj projekciji od 362,75 PJ), a u 2020. godini 386,84 PJ. (22,76 PJ manja od temeljne projekcije koja je 409,6 PJ).

6. cilj odnosi se na smanjenje ukupne potrošnje energije. Uz ostvarivanje cilja smanjivanja neposredne potrošnje za 20 % u odnosu na prosjek 2001. – 2005., smanjivanje ukupne potrošnje zahtijeva zadržavanje gubitaka na sadašnjoj razini.

Strategija energetskog razvoja predviđela je više aktivnosti države radi ostvarivanja strateških investicijskih projekata poput Paneuropskog naftovoda, terminala za ukapljeni prirodni plin na otoku Krku te međudržavnog plinovoda (interkonekcija) i 400 kV voda Hrvatska – Mađarska.

2.2.3. Strategija razvoja niskougljičnog gospodarstva RH

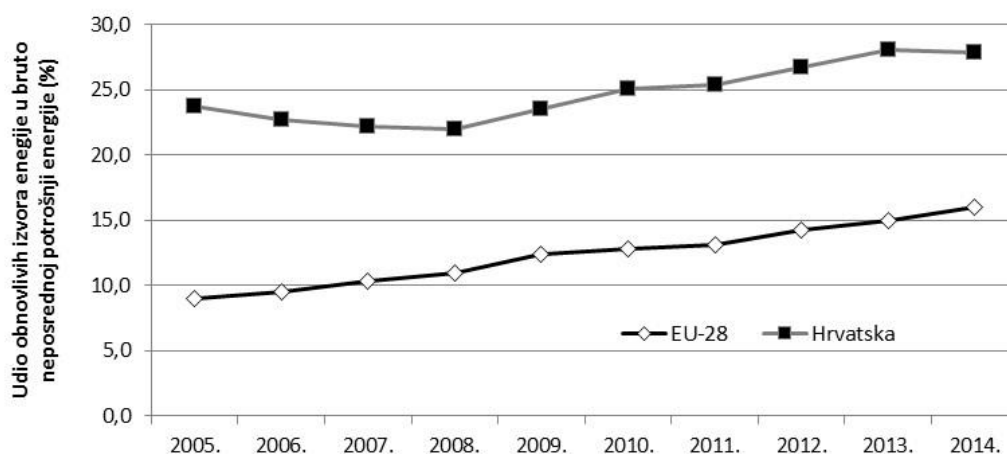
U današnje vrijeme energetika ima bitno drugačije karakteristike nego što ih je imala prije samo desetak godina. Ključni međunarodni izazov današnjice jest kako održati sigurnu i ekonomski povoljnu opskrbu energijom uz istovremeno smanjenje negativnih efekata klimatskih promjena i utjecaja na okoliš. Stoga je imperativ koji se nameće kako na razini Europske unije, tako i u pojedinačnim nacionalnim strategijama, iznaći adekvatne tehnologije i modele financiranja gradnje energetskih objekata koji će zadovoljiti stroge okolišne kriterije, prihvatljivu cijenu energije te istovremeno osigurati sigurnost opskrbe.

Koncepti zelene ekonomije, odnosno kreiranja zelenih poslova i niskougljičnog razvoja, s dostizanjem gotovo 100-postotne proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, postali su izuzetno važni posljednjih godina nakon što je globalna financijska i ekonomska kriza pokazala neodrživost postojećeg modela neprekidnog ekonomskog rasta i prekomjerne potrošnje prirodnih resursa koja sve više gubi svoju racionalnost i smisao.

Tome treba pridodati i već opažene štetne promjene globalnoga klimatskog sustava za koje je utvrđena povezanost s porastom koncentracija stakleničkih plinova uzrokovanih ljudskim djelovanjem. Ovaj novi koncept razvoja postao je predmetom brojnih znanstvenih i

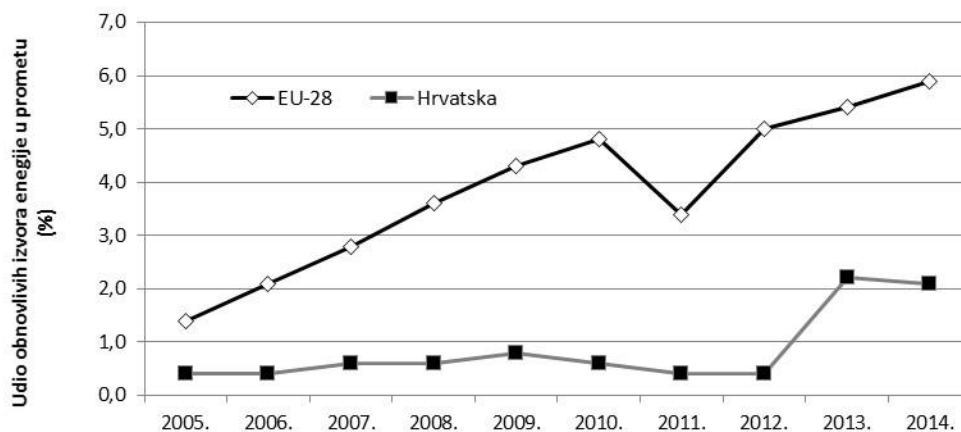
stručnih radova diljem svijeta kojima se pokazuje raznovrsnost i široka primjena novih znanstvenih pristupa i metoda kojima se smanjuje potrošnja energije i emisije stakleničkih plinova u svakodnevnom životu.⁴²⁻⁴⁶

Ministarstvo zaštite okoliša i prirode pokrenulo je postupak izrade Strategije niskougličnog razvoja Hrvatske. Strategija je temeljni dokument koji će se obvezujuće prenijeti u sektorske politike. Cilj Strategije je postizanje konkurentnog niskougličnog gospodarstva do 2030., u skladu s Europskim strateškim smjernicama i sukladno sporazumu Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) iz 2010.



Slika 6. Udio obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije⁴⁷

Europska unija postavila je klimatske i energetske ciljeve za 2030. u pogledu konkurentnog, sigurnog i niskougličnog gospodarstva. Obvezujući ciljevi uključuju smanjenje emisija stakleničkih plinova za 40 % u odnosu na 1990. i udio obnovljivih izvora energije od najmanje 27 % u ukupnoj potrošnji energije. Na slici 6. prikazan je udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj neposrednoj potrošnji. Iz slike 6. razvidno je kako Hrvatska ima iznadprosječni udio obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije, a koji je u 2014. iznosio oko 27 %. Međutim, treba istaknuti kako je u taj postotak uključena i energija dobivena iz hidroelektrana. Što se tiče obveza Hrvatske glede uporabe obnovljivih izvora energije u prometu, dan je prikaz na slici 7. prema kojem je vidljivo da je taj udio u 2014. tek nešto iznad 2 % u Hrvatskoj, a prosjek EU-28 iznosi skoro 6 %. Prema navedenim obvezama u Strategiji, Hrvatska se obvezala da će do 2020. udio obnovljivih izvora energije u prometu iznositi 10 %.



Slika 7. Udio obnovljivih izvora energije u prometu⁴⁷

Kao poželjan, premda ne i obvezujući cilj ističe se povećanje energetske učinkovitosti za 27 %. Gledajući iz tog konteksta izrada Strategije niskougljičnog razvoja RH predstavlja ključni dokument društveno-gospodarskog razvoja Hrvatske koji može pomoći da se zadani ciljevi ostvare.

Provedba te Strategije proteže se kroz mnogobrojne sektore gospodarstva i djelatnosti – prvenstveno energetiku, industriju, promet, poljoprivredu, šumarstvo i gospodarenje otpadom – te je u njenu izradu potrebno uključiti brojne dionike.

Niskougljična strategija daje osnovu za političke odluke i smjernice koje će morati provoditi svi sektori kako bi se znatno smanjile emisije stakleničkih plinova. Ova Strategija trebala bi omogućiti tranziciju prema niskougljičnom i konkurentnijem gospodarstvu čiji se rast temelji na održivom razvoju.

Hrvatska je uslijed recesije i deindustrijalizacije praktički ostvarila ciljeve iz Kyotskog protokola. Međutim, realno je očekivati da će u nadolazećem razdoblju doći do reindustrijalizacije, odnosno povećanja industrijske proizvodnje kao i otvaranja novih radnih mjesta. S obzirom na navedeno, potrebno je stvoriti takve projekcije gospodarskog razvitka koje će biti u skladu s energetske-klimatskim paketom zakona EU. To se posebno odnosi na razvoj niskougljičnog gospodarstva što predstavlja niz mjera kojima se iz opće upotrebe postupno, ali i u potpunosti izbacuje korištenje fosilnih goriva.

Tablica 1. Okvirni ciljevi smanjenja emisija stakleničkih plinova na putu prema niskougljičnom gospodarstvu, u odnosu na 1990.³³

Sektor	RH		EU	
	2030	2050	2030	2050
	%	%	%	%
Energetska postrojenja	-58	-92	od -54 do -68	od -93 do -99
Industrija	-43	-83	od -34 do -40	od -83 do -87
Promet	20	-54	od +20 do -9	od -54 do -67
Kućanstva i usluge	-37	-88	od -37 do -53	od -88 do -91
Poljoprivreda	-36	-42	od -36 do -37	od -42 do -49
Ostalo	-72	-70	od -72 do -73	od -70 do -78
Ukupno	-38	-76	od -40 do -44	od -79 do -82
Ukupno, sa sektorom korištenja zemljišta, promjena u korištenju zemljišta i šumarstva	-41	-80		

Tranzicija prema niskougljičnom gospodarstvu Republike Hrvatske obuhvaća povećanje energetske učinkovitosti, povećanje udjela obnovljivih izvora energije, primjenu fosilnih goriva uz odvajanje i skladištenje CO₂, izgradnju sustava za pohranu energije, razvoj mreža za decentralizirane sustave, upotrebu biogoriva i električnih vozila u prometu, pošumljavanje i održivo gospodarenje šumama te znatne promjene u poljoprivredi.

Prvi korak u izradi Strategije je izrada njenog Okvira. Okvirom za izradu Strategije niskougljičnog razvoja u Republici Hrvatskoj propisani su okvirni ciljevi za smanjenje emisija stakleničkih plinova po sektorima do 2030. i do 2050. u odnosu na baznu 1990. U tablici 1. dani su okvirni ciljevi smanjenja emisija po sektorima. Nadalje, Hrvatska se obvezala da će u razdoblju do 2030. smanjiti emisije stakleničkih plinova u svim sektorima u odnosu na 1990. za ukupno 38 %, kako bi bila na putu prema niskougljičnom gospodarstvu.

2.2.4. Strategija održivog razvoja Hrvatske

Strategija održivog razvoja Republike Hrvatske usvojena je u Hrvatskom saboru 20. veljače 2009. (Narodne novine 30/2009) za desetogodišnje razdoblje. Strategija sadrži analizu postojećeg gospodarskog, socijalnog i okolišnog stanja te utvrđuje smjernice dugoročnog djelovanja. Strategija sadrži temeljna načela i mjerila za određivanje ciljeva i prioriteta u promišljanju dugoročne preobrazbe prema održivom razvitku Republike Hrvatske. U Strategiji je identificirano osam ključnih izazova na kojima Hrvatska mora raditi radi postizanja održivog razvitka:

- poticaj rasta broja stanovnika RH;
- okoliš i prirodna dobra;
- usmjeravanje na održivu proizvodnju i potrošnju;
- ostvarivanje socijalne kohezije i pravde;
- postizanje energetske neovisnosti i rasta učinkovitosti korištenja energije;
- jačanje javnog zdravstva;
- povezivanje RH;
- zaštita Jadranskog mora, priobalja i otoka.

Ističe se da je pretpostavka za održivi razvoj uspostava učinkovite uprave, ulaganje u znanje i istraživanje te da je ulaganje u obrazovanje za održivi razvitak preduvjet za nužne promjene i postizanje ciljeva održivog razvoja.

Termin održivi razvoj ušao je u opću uporabu 80-ih godina 20. st. i ukazuje na povezanost razvoja i zaštite okoliša, a definitivno je prihvaćen na konferenciji u Rio de Janeiru 1992. Uspjeh koncepta održivog razvoja na svjetskoj razini moguć je ostvarivanjem glavnih političkih ciljeva i provođenjem društvenih promjena. Održivi razvoj može se definirati kao odnos između dinamičnih gospodarskih sustava koje osmišljava čovjek i većih dinamičnih ekoloških sustava koji se sporo mijenjaju i koji moraju biti u ekološkoj ravnoteži.⁴⁸

Održivi razvoj predstavlja postupni proces društvenih i gospodarskih promjena koje vode ka održavanju ravnoteže između uporabe, štednje i obnavljanja svih naših resursa te razumijevanje da će i generacije koje dolaze uvelike ovisiti o našem današnjem djelovanju. Održivi razvoj podrazumijeva usuglašenu uporabu resursa, usuglašeno investiranje, usuglašen tehnički razvoj i usuglašene institucionalne promjene.

2.3. ENERGIJA I ODRŽIVI RAZVOJ

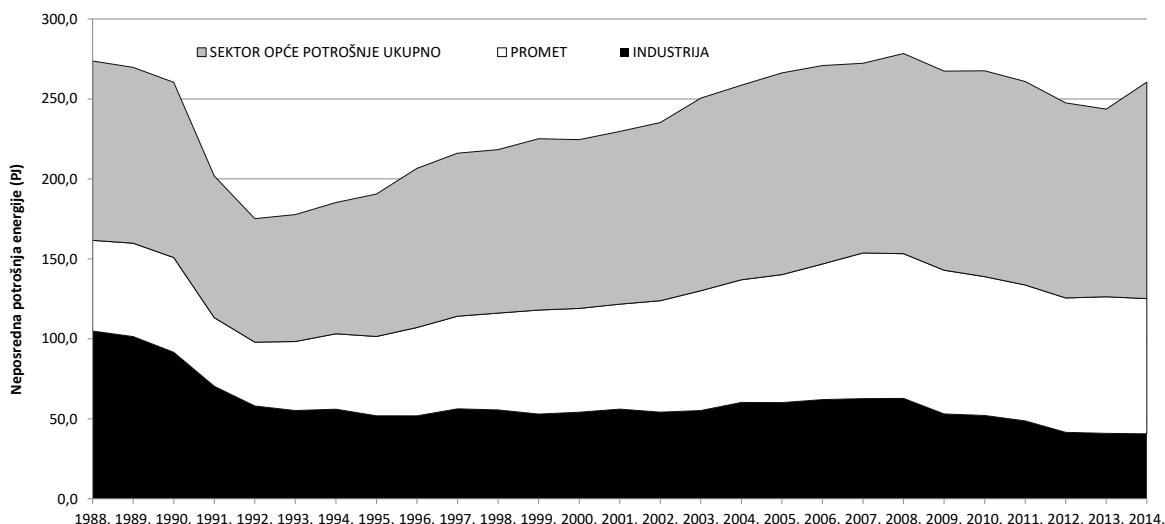
Energija je jedan od vitalnih čimbenika za opstanak i razvoj čovječanstva. Isto tako, energija je od velike važnosti za gospodarski i društveni razvoj svake države, a ostvarenje održivog razvoja gospodarstva zajedno s održivim energetske razvojem dugoročan je i vrlo zahtjevan zadatak koji stoji pred svakom zemljom. Principi održivog razvoja postali su smjernice prema kojima mnoge države u svijetu planiraju svoju budućnost i razvoj. Održivi razvoj je najčešće definiran kao razvoj koji zadovoljava potrebe današnjice bez ugrožavanja

sposobnosti budućih generacija da zadovolje svoje vlastite potrebe.⁴⁹ Održivi razvoj jedini je način kako uskladiti gospodarski razvoj, društveni napredak i očuvanje okoliša.⁵⁰

2.3.1. Povezanost gospodarskog razvoja, potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova

Kontinuirani rast neposredne potrošnje energije zajedno s gospodarskim rastom Hrvatska je bilježila do 1990. pri čemu je udio industrije u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije iznosio 38 %, prometa 21 %, a opće potrošnje 41 %. S početkom domovinskog rata i uništavanja industrijskih kapaciteta kroz ratna djelovanja, ali i kroz pretvorbu i privatizaciju, dolazi do oštrog pada u neposrednoj potrošnji energije u sektoru industrije, pa je tako nakon završetka rata 1995. udio industrije iznosio 27 %, prometa 26 %, a opće potrošnje 47 %.

U razdoblju nakon Domovinskog rata u Hrvatskoj se pokreće obnova i dolazi, izuzev u sektoru industrije, do ponovnog porasta neposredne potrošnje energije, te su predratne razine u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije u sektorima prometa i opće potrošnje dostignute i prestignute početkom 2000-ih. Sektor industrije nikada se nije oporavio na razine prije rata, a sljedeći udarac uslijedio je tijekom 2009. kada Hrvatsku zahvaća svjetska gospodarska kriza i recesija te su udjeli u neposrednoj potrošnji energije u sektoru industrije pali na svega 17 %, dok je promet imao udio od 35 %, a opća potrošnja 48 %. Uspoređujući udjele u razdoblju od 1995. do 2014. može se konstatirati kako je udio u neposrednoj potrošnji energije u sektoru industrije pao deset postotnih bodova, dok je udio prometa porastao devet postotnih bodova, a udio opće potrošnje porastao za jedan postotni bod. Nakon izbijanja krize, Hrvatska je dno dotaknula u 2014., a od druge polovice iste godine počinje lagani oporavak gospodarstva, a s time i porast potrošnje energije u sektoru industrije (40,63 PJ) te prometa (84,63 PJ) i u sektoru opće potrošnje (135,38 PJ).⁴⁰



Slika 8. Neposredna potrošnja energije u Hrvatskoj^{40, 51-60}

Neposredna potrošnja energije u sektorima industrije, prometa i u sektoru opće potrošnje u razdoblju od 1988. do 2014. prikazana je na slici 8. Sektor opće potrošnje uključuje podsektore kućanstva, poljoprivredu, usluge i graditeljstvo.

Omogućiti gospodarski razvoj, a ne narušiti kvalitetu i stanje okoliša povećanim emisijama stakleničkih plinova dobiva sve više na značenju. Principi održivog razvoja, niskougličnog gospodarstva i cirkularne ekonomije dobivaju sve više prostora u razvojnim nacionalnim politikama zemalja širom svijeta. Stoga predviđanje emisija stakleničkih plinova igra vrlo važnu ulogu u donošenju i planiranju udjela sektorske potrošnje energije kao jedan od najvažnijih oslonaca gospodarskog razvoja u skladu s navedenim principima.⁶¹

Korištenje zelene energije i njeni izvori temeljni su čimbenici pri ostvarenju ciljeva održivog razvoja i kretanju prema niskougličnom gospodarstvu i cirkularnoj ekonomiji te u konačnici potpunoj energetske defossilizaciji. Pozitivan učinak takvih promjena je prvenstveno u tome što će prije svega imati velik utjecaj na smanjivanje emisija stakleničkih plinova i obuzdavanje klimatskih promjena, ali vodit će i otvaranju novih radnih mjesta u tzv. zelenim poslovima.

Već duži niz godina poznat je kauzalitet, odnosno uzročna povezanost između potrošnje energije, gospodarskog rasta i emisija štetnih čestica i plinova. O povezanosti između gospodarskog rasta, potrošnje energije i emisija štetnih čestica i plinova u literaturi postoje tri osnovna istraživačka ogranka.⁶²

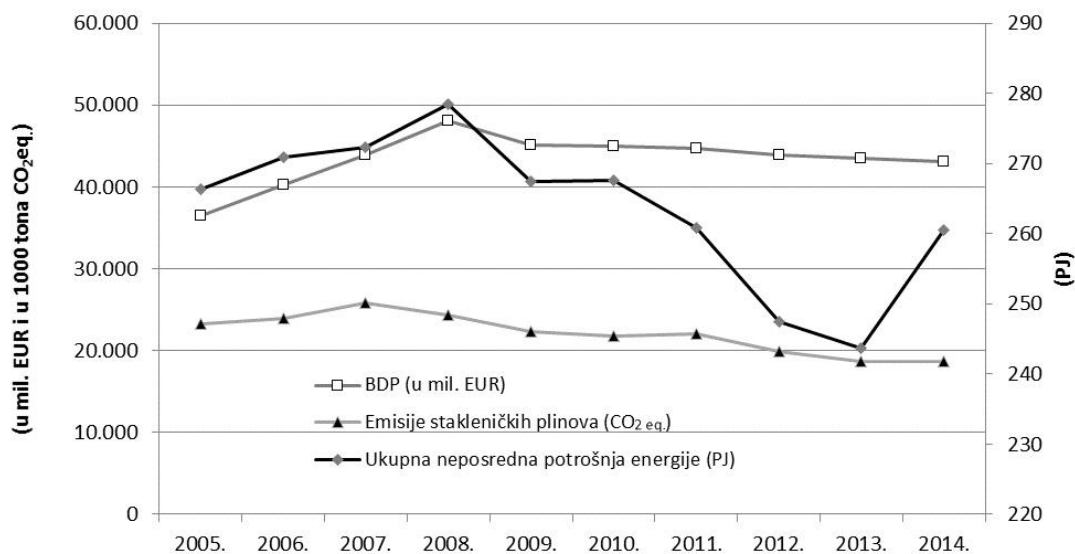
Prvi ogranak odnosi se na veze između onečišćenja i gospodarskog rasta. To je usko povezano s testiranjem ispravnosti hipoteze Kuznetsove krivulje za okoliš. Kuznetsova krivulja za okoliš kazuje kako se degradacija okoliša povećava s ekonomskim rastom, ali kada gospodarstvo dosegne određenu razinu dohotka po stanovniku, onečišćenje počinje opadati.⁶³ Grossman i Krueger prvi su koristili i testirali hipotezu Kuznetsove krivulje.⁶⁴ Tijekom godina veći broj znanstvenih studija pružio je vrlo obuhvatni pregled istraživanja u kojima je ispitana povezanost gospodarskog rasta i onečišćenja okoliša.⁶⁵⁻⁶⁷

Drugi ogranak istražuje povezanost između potrošnje energije i proizvodnje. Gospodarski razvoj usko je povezan s potrošnjom energije, budući da veća gospodarska aktivnost zahtijeva veću potrošnju energije.

Treći ogranak kombinira pristup prethodnih dviju metoda. Objedinjeno se istražuju dinamičke veze gospodarskog rasta, onečišćenja okoliša i potrošnje energije.^{61,62,68,69}

Uzročnu povezanost potrošnje energije i gospodarskog rasta prvi su istraživali Engle i Granger 1987., analizirajući smjer povezanosti te dvije varijable.⁷⁰ Mnoge kasnije studije dokazale su da je kauzalna povezanost u stvari dvosmjerna, odnosno da gospodarski rast vodi prema povećanju potrošnje energije, ali i da povećanje potrošnje energije može voditi prema gospodarskom rastu.

U svome radu Gelo⁷¹ je utvrdio da u Hrvatskoj porast bruto domaćeg proizvoda utječe na porast potrošnje primarne energije, a porast potrošnje primarne energije ne utječe na porast bruto domaćeg proizvoda. Vlahinić i Jakovac⁷² utvrdili su da dugoročno jednosmjerna kauzalnost polazi od ukupne neposredne potrošnje energije prema BDP-u, dok se dvosmjerna kauzalnost ponaša na isti način, ali kratkoročno. To znači da je energija nužan uvjet za gospodarski rast. Također je utvrđeno da smanjenje u potrošnji energije može kratkoročno negativno utjecati na BDP. Stoga smatraju da bi Hrvatska trebala usvojiti snažniju gospodarsku politiku usmjerenu ka povećanju ulaganja u instalirane energetske kapacitete i reformiranju gospodarske strukture prema ponovnoj industrijalizaciji i energetske učinkovitijim industrijama.



Slika 9. Bruto društveni proizvod u Hrvatskoj⁷³, ukupna neposredna potrošnja energije u Hrvatskoj^{40, 51-55} i ukupne emisije stakleničkih plinova²³

Na slici 9. je dijagram koji prikazuje kretanje BDP-a, emisija stakleničkih plinova i ukupne neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2005. do 2014. Budući da je u Hrvatskoj od 2008. do 2016. trajala gospodarska kriza, zamjetan je pad u sva tri prikazana parametra. Bruto društveni proizvod u Hrvatskoj je dostigao svoj vrhunac u 2008. nakon čega je uslijedio postupan pad, uz istodoban drastičan pad potrošnje energije. U istom je razdoblju došlo i do smanjenja ukupnih emisija stakleničkih plinova.

Pad stope rasta bruto društvenog proizvoda označava ulazak društva u gospodarsku krizu – aktivnost u gospodarskim sektorima, mjerena između ostalog i potrošnjom energije, ubrzano opada, dok je pad emisija nešto sporiji. Utjecaj gospodarske krize na emisije stakleničkih plinova odražava se kroz dugoročno razdoblje; tako će primjerice smanjeni gospodarski potencijal dugoročno rezultirati slabijim tehnološkim napretkom što se u proračunu iskazuje kroz emisije stakleničkih plinova. Hrvatska ima relativno male emisije, pa pojedinačni poremećaji mogu snažno utjecati na ukupne emisije. Razdoblje rata, tranzicija prema tržišnom gospodarstvu, gospodarska kriza, sve su to snažni faktori koji otežavaju utvrđivanje pouzdanih korelacijskih odnosa iz povijesnog niza podataka. U projekcijama emisija pretpostavlja se da će energetska potrošnja rasti s BDP-om, ali će korelacijska veza BDP-a i energetske potrošnje biti sve slabija.

Dokazano je da je provođenje politika smanjenja potrošnje energije s ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova znatno djelotvornije kod razvijenih zemalja Organizacije za ekonomsku suradnju i razvoj (engl. *Organisation for Economic Co-operation and Development*, OECD) nego kod zemalja u razvoju koje nisu članice OECD-a.⁷⁴ Hrvatska se ubraja u zemlje u razvoju odnosno zemlje čija su gospodarstva u tranziciji te nastoji ostvariti znatniji gospodarski razvoj. Stoga je za Hrvatsku i dalje primjerenija primjena klasičnog pristupa planiranju potrošnje energije odozgo prema dolje (engl. *top-down*) kako bi se napravila korektna procjena potrošnje energije i s tim povezanih emisija.

Kako bi se utvrdila povezanost između emisija CO₂ i BDP, provedena je analiza utjecaja te je izrađena Kuznetsova krivulja okoliša (engl. *Environmental Kuznets Curve*, EKC) za Hrvatsku. Na osnovi provedene analize zaključeno je kako Kuznetsova krivulja okoliša za Hrvatsku nema normalni oblik (inverzni oblik slova U) zbog slomova BDP-a u 1992. (Domovinski rat) i 2009. (svjetska gospodarska kriza). Kako bi se dobila kompletna slika degradacije okoliša, uspoređene su relativne vrijednosti emisija CO₂ u Hrvatskoj s relativnim vrijednostima emisija u drugim zemljama. Hrvatska se prema tome nalazi ispod prosjeka Europske unije koji iznosi 7,5 metričkih tona po glavi stanovnika u 2011. Isto tako, izmjerena ugljična intenzivnost gospodarstva (BDP-a) upućuje na to da Hrvatska svoje antropogene resurse koristi na relativno učinkovit način.⁷⁵ Ugljična intenzivnost gospodarstva (BDP-a) definirana je kao omjer emisija stakleničkih plinova po jedinici gospodarske proizvodnje. Emisije stakleničkih plinova iskazuju se masom CO₂, dok se gospodarska proizvodnja izražava kao bruto društveni proizvod (BDP).⁷⁶

2.4. PREGLED ENERGETSKIH MODELA I METODA

Potrošnja energije vrlo je važan ekonomski pokazatelj koji odražava kako industrijski tako i gospodarski razvoj pojedine države. Svaka suvisla ekonomska politika stoga nužno mora uključivati i energetske politiku. Brze promjene u industriji kao i u gospodarstvu snažno utječu na potrošnju energije.⁷⁷ Stoga se za projiciranje budućih potreba i potrošnje energije pojedine države⁷⁷ uvelike koriste različiti energetske modeli. Postupci kojima se prosuđuje o događajima u budućnosti u literaturi se opisuju izrazima: "prognoziranje" (engl. *forecasting*) i "predviđanje" (engl. *prediction*), ovisno o osnovnom pozivu odnosno profesiji pojedinog autora. Odabir odgovarajućeg energetskog modela kojim će se neki problem u bližoj ili daljnjoj budućnosti predvidjeti ili riješiti vrlo je bitan, jer odabir pogrešnog energetskog

modela može rezultirati lošim i netočnim politikama i odlukama koje će se odraziti kroz negativne posljedice.

Postoje opće karakteristike zajedničke svim modelima. Primjerice, svaki će model uvijek biti pojednostavljena verzija stvarnosti koja će uključivati samo one aspekte koje onaj tko razvija model smatra važnim u određenom trenutku.⁷⁸ Također, svaki model koji se bavi predviđanjem budućih događaja ili situacija neizbježno koristi procjene i pretpostavke koje se pod određenim okolnostima mogu, ali i ne moraju pokazati točnima. U trenutku primjene razvijenog modela te procjene i pretpostavke bit će neizvjesne.⁷⁹

Osim za simuliranje određenih politika i primijenjenih tehnologija koje mogu utjecati na buduću potrošnju energije, a time i na investicije u energetske sustave uključujući i primjenu politika energetske učinkovitosti, energetske se modeli još češće koriste u istraživačke svrhe, pretpostavljajući određeni gospodarski i demografski razvoj kao i kretanje cijena energije na svjetskim tržištima.

Energetski modeli mogu se kategorizirati prema njihovoj namjeni na:

- modele za energetske planiranje;
- modele za potrošnju energije;
- modele za prognoziranje;
- optimizacijske modele;
- modele za smanjenje emisija⁸⁰;

Najjednostavnija klasifikacija energetske modele je ona prema tri glavne metode koje se koriste za modeliranje⁸¹:

- Inženjerske metode su detaljne sveobuhvatne metode koje koriste strukturalna svojstva promatranog sustava u obliku fizičkih zakonitosti i termodinamičkih jednačini kao i okolišnih podataka, poput klime i drugih karakterističnih parametara. Ovakve metode trebaju vrlo detaljne podatke o strukturalnim i toplinskim parametrima sustava koji nisu uvijek raspoloživi, a s druge strane, budući da inženjerske metode ovise o složenim fizikalnim principima, potrebna im je visoka razina stručnosti kako bi se odgovarajući modeli mogli pomno razvijati.
- Statističke metode koriste povijesne podatke kako bi korelirale potrošnju energije kao cilj s najutjecajnijim varijablama kao ulaznim podacima. Kvaliteta i količina povijesnih podataka imaju ključnu ulogu u razvoju statističkih modela. Za razliku od inženjerskih metoda, statističke metode daju modele s manjim brojem varijabli i s

puno manje fizikalnog razumijevanja. Neki od primjera statističkih modela su: analiza uvjetne potražnje – (engl. *Conditional Demand Analysis*, CDA), auto regresijski pomični prosjek – (engl. *Auto Regressive Moving Average*, ARMA), auto regresijski integrirani pomični prosjek – (engl. *Auto Regressive Integrated Moving Average*, ARIMA) i Gaussovi mješoviti modeli – (engl. *Gaussian Mixture Models*, GMM).

- Metode umjetne inteligencije se u posljednje vrijeme sve više primjenjuju: Ovdje se ubrajaju metoda neuronskih mreža, metoda vektora potpore (engl. *Support Vector Machines*, SVM) koja se zasniva se na kreiranju hiperravnina u višedimenzijском prostoru koje se koriste za razdvajanje klasa i metoda neizrazite logike (engl. *fuzzy logic*). Poput statističkih metoda, i metode umjetne inteligencije koriste povijesne podatke koji se odražavaju na ponašanje procesa za modeliranje. Neuronske su mreže pokazale visoku sposobnost hvatanja složenih nelinearnih međuodnosa između ulaznih i izlaznih podataka, kao što su oni o potrošnji energije. Neuronske mreže su brže i lakše ih je razviti od inženjerskih i statističkih metoda te daju točnije procjene. Metodu SVM opisuju kao brzu metodu koja se koristi za izradu modela predviđanja potrošnje energije te može osigurati modele s visokim stupnjem generalizacije na temelju niza podataka. Metoda neizrazite logike bavi se nepreciznom stvarnošću i obrađuje pojam istinitosti pojedinih tvrdnji u rasponu vrijednosti između potpuno istinite i potpuno netočne (1 – 0).

Referenca⁸² donosi znatno razrađeniju klasifikaciju energetske modela i detaljno tumači postupak odabira modela na osnovi problema kojeg donositelji odluka žele riješiti. Prema autorima, prvi korak u razvoju odgovarajućeg energetskog modela je donošenje odluke o njegovim karakteristikama. Stoga se daljnja kategorizacija energetskih modela u literaturi provodi s obzirom na:

- tip energetskog modela (deskriptivni ili prognostički i normativni modeli); svrhu energetskog modela (predviđanje, istraživanje i planiranje);
- paradigmu modeliranja (modeli odozgo prema dolje, odozdo prema gore i hibridni modeli);
- osnovnu metodologiju razvoja modela (ekonometrija, makroekonomija, ekonomska ravnoteža, optimizacija, simulacija, planiranje željene budućnosti, multikriterijska hibridna metodologija);
- rezolucijsku tehniku (linearno programiranje, mješovito cjelobrojno linearno programiranje, nelinearno programiranje, dinamičko programiranje, neizrazito

programiranje, umjetne neuronske mreže, autoregresijski i adaptivni neuronski neizraziti izvedbeni sustavi, tehnike Markovljeva lanca...);

- zemljopisnu pokrivenost (globalni, nacionalni, regionalni ili lokalni modeli);
- sektorsku pokrivenost;
- vremenski horizont (kratkoročni modeli do pet godina, srednjoročni od 5 do 15 godina i dugoročni preko 15 godina);
- tip podataka (agregirani i raščlanjeni podaci)
- stupanj endogenizacije (niski i visoki stupanj);
- namjenu energetskog modela (problemi potrošnje energije ili problemi opskrbe energijom).

S obzirom na metodologiju, modeli za planiranje mogu se podijeliti na ekonometrijske, makroekonomske, modele ekonomske ravnoteže, optimizacijske i simulacijske modele. Ekonometrijski modeli koriste statističke metode za ekstrapolaciju tržišnih zbivanja i njihovu primjenu u budućnosti i uglavnom se koriste u okviru makroekonomskih analiza. Nedostatak ekonometrijske metode je što ne prikazuje neku određenu tehnologiju, a zahtjevna je i u pogledu potrebnih podataka. Glavno obilježje makroekonomskih modela je mogućnost analize gospodarstva i međusobne interakcije među sektorima (poput energetskog sustava kao jednog od sektora) pomoću ulazno-izlaznih tablica. Kao i u slučaju ekonometrijskih modela, primjena makroekonomskih modela zahtijeva relativno visoku razinu iskustva. Dok se ekonometrijski i makroekonomski modeli uglavnom koriste za analizu kratkoročnih ili srednjoročnih efekata potrošnje energije, modeli ekonomske ravnoteže koriste se za dugoročne analize energetskog sektora i njegove povezanosti s gospodarstvom. Modeli ekonomske ravnoteže dijele se na modele djelomične i potpune ravnoteže ili modele optimalnog porasta. Modeli djelomične ravnoteže usmjereni su na prikazivanje ravnoteže u pojedinim dijelovima gospodarstva, kao što je ravnoteža između potrošnje i proizvodnje energije. Modeli potpune ravnoteže promatraju ravnoteže na svim tržištima promatranog gospodarstva, s naglaskom na prikazivanje povratnih veza među pojedinim tržištima. Optimizacijski modeli koriste metodologiju optimizacije za postizanje optimalnih investicijskih strategija. Osnovni uvjet postizanja optimalnog rješenja problema jest zadovoljenje zadanih ograničenja u energetskom sustavu (poput ograničenja raspoloživosti primarne energije i emisije stakleničkih plinova). Simulacijski modeli su opisni modeli temeljeni na logičkom prikazu sustava i dijele se na statičke (promatraju samo jedno

razdoblje) i dinamičke (na rezultat jednog razdoblja utječu rezultati iz prijašnjih razdoblja) i koriste se za analize scenarija potrošnje energije.

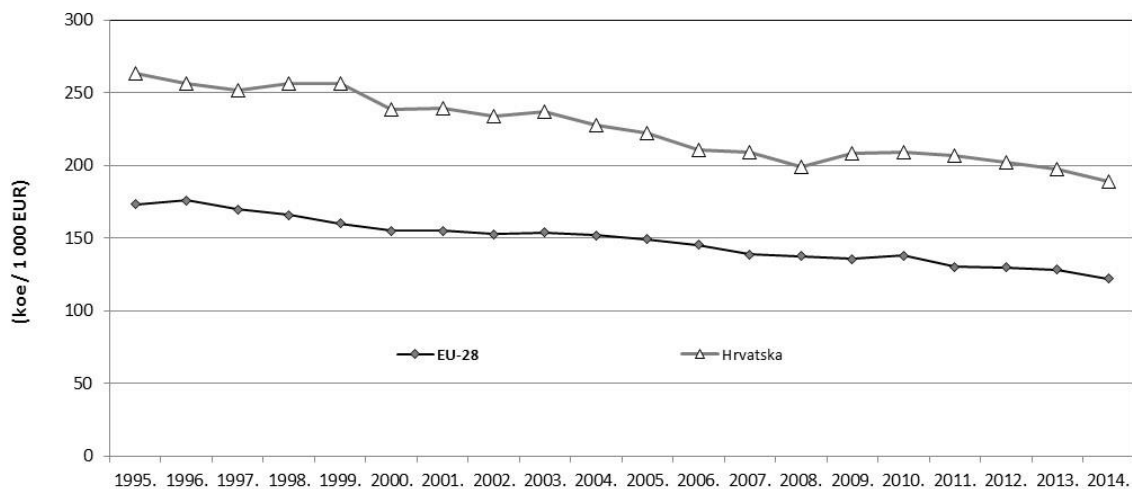
U posljednjih trideset godina, energetske planiranje i upravljanje odigralo je važnu ulogu u dugoročnim društvenim, okolišnim i gospodarskim državnim politikama. Energetski sustavi kao integralni dijelovi društveno-gospodarskih sustava imaju nekoliko međusektorskih interakcija s gospodarstvom, društvom i okolišem. Neke od tih interakcija koje se koriste za izradu energetskih modela su:

- Interakcija energija – ekonomija koja se sastoji od promjena tijekom vremena u cjenovnoj elastičnosti potražnje kao i utjecaja makroekonomskih aktivnosti na potražnju energije;
- Interakcija energija – društvo koja predstavlja utjecaje troškova energije na produktivnost rada, stvaranje kapitala, potrošnju energije te uslijed toga i na gospodarski rast i povećanje blagostanja te dugoročno na društvenu jednakost; i
- Interakcija energija – okoliš koja uključuje utjecaje energetske politike na okolišne pojavnosti poput klimatskih promjena ili zaliha prirodnih resursa, ekosustav i ljudsko zdravlje.⁸²

2.4.1. Veza BDP-a i potrošnje energije

Jedan od ključnih čimbenika koji utječe na emisije stakleničkih plinova u energetskom sektoru svakako je i neposredna potrošnja energije. Procjena neposredne potrošnje energije ima vrlo važan utjecaj na konačni iznos i rezultat predviđanja emisija stakleničkih plinova. Postoje različiti načini i metode predviđanja potrošnje energije, te postoji više podjela modela za predviđanje potrošnje energije. Klasični pristup planiranju potrošnje energije fokusira se na iznalaženje međuovisnosti makroekonomskih varijabli poput bruto domaćeg proizvoda i potrošnje energije.^{68, 83} Takav se pristup obično sastoji od analize različitih nizova povijesnih podataka koji mogu biti jednostavni poput vremenskih nizova ili složeniji poput genetskih algoritama i neuronskih mreža.^{84, 85} U slučaju država članica EU, ovakav se pristup smatra neučinkovitim jer se teži načelnom razdvajanju gospodarskog rasta i potrošnje energije. Naime, nastoji se održati (održivi) gospodarski rast uz istodobno smanjenje potrošnje energije u EU primjenom različitih direktiva, financijskih planova i mehanizama poticaja koji bi trebali rezultirati smanjenjem potreba za energijom u budućnosti.⁸⁶ Ukoliko se za Hrvatsku uspoređi rast potrošnje energije i bruto domaćeg proizvoda, vidljivo je da su ta dva faktora još uvijek izravno povezana. Porast BDP-a praćen je porastom potrošnje energije sve do pred kraj

prve dekade 21. stoljeća kada uslijed gospodarske krize i recesije dolazi do pada BDP-a, a s time i do pada potrošnje energije.



Slika 10. Energetska intenzivnost gospodarstva 28 zemalja članica EU i Hrvatske⁸⁷

Usporedba prosječne energetske intenzivnosti EU-28 i Hrvatske u razdoblju od 1995. do 2014. prikazana je na slici 10. Iz nje je razvidan ukupno opadajući trend energetske intenzivnosti gospodarstva. To znači da je Hrvatska u proteklom razdoblju popravila svoju energetska intenzivnost, ali je pred njom još uvijek veliki posao da dostigne barem prosjek EU.

Jedan od glavnih preduvjeta za gospodarski razvoj u skladu sa standardima zaštite okoliša je svakako i održivi razvoj koji se temelji na realističnom i racionalnom planiranju potrošnje energije. Kontrola i praćenje emisija stakleničkih plinova pri tome imaju sve veću važnost te su ključan element u procesu energetske planiranja. Posljednja istraživanja ukazuju na potrebu za razvojem detaljnih i suvremenih tehnika predviđanja emisija stakleničkih plinova s obzirom na projekcije potrošnje energije.

2.4.2. Predviđanje potrošnje energije

Donošenje odluka u kojem smjeru se želi ići u razvoju energetske sektora snažno je povezano s modelima izrađenim za predviđanje utjecaja takvih odluka na potrošnju energije, gospodarstvo i emisije stakleničkih plinova povezane s potrošnjom energije. To je potaknulo

stvaranje različitih energetske-gospodarskih modela u proteklih 30-ak godina.⁸⁸ Za izradu energetske-gospodarskih modela, u literaturi su prepoznata dva osnovna analitička pristupa:

- pristup odozdo prema gore (engl. *bottom-up*);
- pristup odozgo prema dolje (engl. *top-down*).^{89, 90}

Analitički pristupi odozgo prema dolje i odozdo prema gore dvije su ekstremne paradigme modeliranja.⁸² Pristup odozgo prema dolje je u osnovi ekonomske, a onaj odozdo prema gore inženjerske prirode. Važnost takve podjele modela interesantna je sa stanovišta različitih posljedica njihove primjene, koje nastaju zbog načina korištenja tehnologija, ponašanja gospodarskih subjekata i načina djelovanja tržišta energije. Razlika između pristupa odozgo prema dolje i odozdo prema gore može se definirati kao razlika između općenitog i detaljnog modelskog prikaza, odnosno kao razlika između modela s minimalnim i maksimalnim stupnjem endogenizacije.⁹¹ Endogenizacija je pokušaj sagledavanja svih parametara unutar modelskih jednadžbi da bi na taj način broj vanjskih (egzogenih) parametara bio najmanji mogući. Ovakav pristup koriste modeli za predviđanje potrošnje.

Pristup odozgo prema dolje sagledava gospodarstvo u cjelini, rezultati se temelje na analizi i kalibraciji povijesnih podataka, a glavna je zamisao uspostava odnosa između potrošnje energije i BDP-a. To je također i tipični ekonometrijski pristup koji se primarno bazira na korištenju energije u odnosu na varijable poput prihoda, cijena goriva i bruto domaćeg proizvoda kako bi se izrazila povezanost energetskeg sektora s gospodarskim rezultatima. U fokusu tog pristupa su mehanizmi i procesi koji su prisutni na tržištu, a manje vrsta tehnologije koja se koristi. Zbog toga taj pristup često ne pruža podatke o trenutnim i budućim tehnološkim mogućnostima jer naglasak stavlja na makroekonomske trendove i promatrane odnose iz prošlosti, a ne na individualne fizikalne čimbenike koji mogu utjecati na potrošnju energije.⁹²

Pristup odozgo prema dolje nije homogen, razlikuju se tako modeli opće ravnoteže i ekonometrijski modeli.⁹³ Drugi autori⁹⁴ pristup odozgo prema dolje dijele na četiri različita tipa ili podgrupe, sve uspješno primjenivane u modeliranju: ulazno-izlazne modele⁹⁵⁻⁹⁷, ekonometrijske modele⁹⁸, modele opće ravnoteže^{99, 100} i modeliranje sistemskom dinamikom.^{101, 102}

Primjena ulazno-izlaznih (engl. *input-output*) modela svodi se na stvaranje ulazno-izlaznih tablica pomoću kojih se uspoređuju cjelokupne slike sektorskih međuovisnosti kao i za istraživanje međuovisnosti između upotrebe materijala u industrijskoj proizvodnji

(učinkovitosti materijala) i potreba za energijom u gospodarstvu s obzirom na poboljšanje učinkovitosti materijala korištenjem specifičnih sektorskih energetske intenzivnosti. Učinkovitost materijala u industrijskoj proizvodnji može se definirati kao količina određenog materijala potrebnog za proizvodnju određenog proizvoda.¹⁰³

Ekonometrijski modeli zasnivaju se na ekonometrijskoj analizi koja je definirana kao kombinacija ekonomske teorije, matematičkih alata i statističkih metoda. Jedan od glavnih nedostataka ekonometrijskih modela je u njihovoj izraženoj ovisnosti o velikim količinama podataka prikupljenim kroz dugi niz godina kako bi mogli proizvesti vjerodostojne rezultate. Jedan od najpoznatijih razvijenih ekonometrijskih modela je makroekonometrijski model E3ME.

Modeli opće ravnoteže (engl. *Computable General Equilibrium*, CGE) koriste matrice nacionalnih računa kako bi predstavile referentne podatke u stanju "društvene ravnoteže". U praksi, istraživači i međunarodne institucije CGE-modele najčešće koriste za dugoročne simulacije; ovdje se ubraja npr. model GEM-E3 Europske komisije i model GTAP Svjetske banke. CGE-modeli kroz svoj pristup uravnoteženja isključuju procjepe u energetske učinkovitosti, kašnjenja u prilagodbi i posljedično zanemaruju važnost tržišnih neuspjeha i prepreka. Poput većine makroekonomskih modela, CGE-modeli ne uzimaju u obzir tehnološke detalje što može biti od velike važnosti kod procjene mjera određenih politika. Model GEM-E3 primijenjen je npr. u procjeni različitih strategija smanjenja emisija CO₂ za Švicarsku, kako bi se uskladile emisije CO₂ s planiranim razvojem gospodarstva i potrošnje energije.¹⁰⁴

Koncept modeliranja sistemskom dinamikom razvijen je kako bi se analiziralo dugoročno ponašanje društvenih sustava poput velikih industrijskih kompanija ili čitavih gradova. Primjeri primjene pristupa sistemske dinamike u analizi dugoročnog razvoja energetske sektora uključuju modele TIME, POLES i ASTRA. Ponajveći nedostatak ovog pristupa povezan je s validacijom i kalibracijom pretpostavljenih povratnih petlji s obzirom na modeliranje dugoročnog razvoja energetske sustava kao i nemogućnosti detaljne analize učinaka i projekcija primjene sektorskih tehnologija.¹⁰⁵

Za razliku od pristupa odozgo prema dolje, tipični pristup odozdo prema gore odvojeno razmatra tehnologije i energetske bilance za pojedinačnog korisnika te je usredotočen na energetske sustave, a ne na njihovu interakciju s gospodarstvom u cjelini.¹⁰⁶ Pristup odozdo prema gore gradi se iz podataka o hijerarhiji zasebnih komponenti koji se

zatim spajaju prema određenoj procjeni s obzirom na njihov pojedinačni utjecaj na potrošnju energije.⁹² Glavna karakteristika ovih modela je relativno visok stupanj ugradnje tehnoloških detalja koji se koriste za procjenu budućih potreba za energijom.⁷⁷ Zbog brojnosti tehnoloških detalja i transparentnog prikaza tehnološkog napretka te postupnoga širenja novih energetske tehnologije ovi modeli nisu primjenjivi za izradu dugoročnih projekcija budućih potreba za energijom. S obzirom na matematički oblik, modeli odozdo prema gore razvijeni su kao simulacijski modeli, odnosno modeli djelomične ravnoteže ili kao optimizacijski modeli.⁷⁷

Simulacijski modeli ili modeli djelomične ravnoteže ne razlikuju se previše od CGE-modela budući da su im okviri i mehanizmi vrlo slični. U važnije modele djelomične ravnoteže ubrajaju se: POLES (engl. *Prospective Outlook on Long-term Energy System*) Enerdate, WEM (engl. *World Energy Model*) Međunarodne energetske agencije i PRIMES Europske komisije.⁷⁷

Optimizacijski modeli nastoje definirati optimalni skup odabranih tehnologija kako bi se postigao specifični cilj uz minimalne troškove te pod određenim ograničenjima. Pritom su troškovi i fiksne potrebne količine energije cijelo vrijeme uravnoteženi.⁷⁷ Najpoznatiji predstavnik takvog tipa modela odozdo prema gore je dinamički model MARKAL koji analizira potrebe za energijom i opskrbu energijom na nacionalnoj razini. MARKAL nastoji identificirati najjeftinije energetske sustave s najisplativijim odgovorima za ograničenje emisija. Od ostalih modela toga tipa treba izdvojiti model MESSAGE I DIME. Primjena optimizacijskih modela ograničena je na odabrane tehnologije energetske pretvorbe i tipizirane primjene energije (poput npr. goriva za automobile) budući da optimizacija zahtijeva informacije o investicijskim i operativnim troškovima. Optimizacijski modeli nisu u mogućnosti simulirati potrebe za energijom npr. nekog gospodarskog sektora zbog njegove tehnološke raznovrsnosti uslijed čega nije moguće pripremiti usporedive podatke o troškovima. Uz to, optimizacijski modeli zanemaruju činjenicu da izostanak uključivanja u model znatnih nesavršenosti tržišta kao i prepreka u mnogim sektorima neposredne potrošnje te u sektorima pretvorbe energije može dovesti do nerealno niskih projekcija potreba za energijom.⁷⁷

Simulacijski modeli imaju za cilj oponašati veze i međuodnose različitih elemenata energetske sustava. Ti modeli nastoje dati kvantitativni prikaz potražnje i pretvorbe energije na temelju egzogenih (vanjskih) čimbenika i tehničkih podataka s ciljem da model prati i omogućuje donošenje odluke koja ne slijedi nužno obrazac minimiziranja troškova. U jednostavne simulacijske modele ubrajaju se i tzv. računovodstveni okviri koji služe za

proračunavanje fizičkih i ekonomskih tokova energetskeg sustava. Najpoznatiji primjeri računovodstvenih okvira su model poput LEAP (engl. *Long-range Energy Alternatives Planning*) i MAED (engl. *Model for Analysis of Energy Demand*).⁷⁷

U Četvrtom izvješću 2. radne skupine Međuvladine komisije o procjeni klimatskih promjena (IPCC AR4)¹⁰⁷ termin "odozgo prema dolje" koristi se za sve modele s integriranim pristupom, dok se termin "odozdo prema gore" koristi za modele koji se fokusiraju na pojedinačne tehnologije. Izvješće sadržava i procijenjene vrijednosti emisija iz studija koje uključuju oba navedena pristupa te ukazuje na to da se emisije stakleničkih plinova mogu smanjiti za 30 – 50 % u 2030. uz troškove ispod 100 US\$/tCO₂. Van Vuuren i suradnici¹⁰⁸ usporedili su rezultate dobivene dvama pristupima. Prema provedenoj analizi, oba pristupa daju vrlo slične procjene potencijala za smanjenje globalnih emisija te su tako potvrđeni nalazi iz Izvješća, dok su znatne razlike utvrđene među pojedinim sektorskim modelima. Razlog tomu leži u nepodudarnosti polazišta dvaju pristupa. Vrlo važan argument u korist pristupa odozgo prema dolje leži u činjenici da energetska politika ne utječe samo na energetske sustave te stoga treba biti analizirana unutar cjelovita gospodarskog okvira.¹⁰⁹

Još jedna dosta česta podjela koja je prisutna u literaturi temeljena je na različitim filozofijama u određivanju dugoročne potrošnje energije i prepoznaje tri vrste modela: ekonometrijske, modele fokusirane na krajnjeg korisnika (potrošača) i hibridne modele.^{110, 99} Ekonometrijski modeli uspostavljaju, kako je već spomenuto, vezu ovisnih i neovisnih varijabli korištenjem statističke analize povijesnih podataka i uklapaju se u pristup odozgo prema dolje. Modeli fokusirani na krajnjeg korisnika promatraju potrošnju energije na neagregiranoj razini.

Primjena pristupa odozgo prema dolje svojstvena je zemljama u razvoju, koje priželjkuju ubrzani gospodarski razvoj praćen industrijalizacijom. Međutim, u slučaju razvijenih zemalja poput onih u EU takav pristup nije prihvatljiv, osobito za dugoročno planiranje potreba za energijom.

Od hibridnih modela treba spomenuti jedinstveni hibridni model američkog električnog sektora koji uspješno spaja pristupe odozgo prema dolje odnosno odozdo prema gore.¹¹¹ Model je robustan prema varijacijama u pretpostavkama uključenima kod pripreme podataka za modeliranje. Sposoban je asimilirati i povezivati različite nizove međusobno nekonzistentnih podataka na transparentan i ponovljiv način. Još jedan dobar primjer

hibridnog modela je globalni optimizacijski model MERGE za opisivanje energetskog sektora.⁷⁷

2.4.3. Primjeri energetsko-ekonomsko-klimatskih modela

Rasprave o klimatskoj politici uključuju složene poveznice između klimatskog, energetskog i gospodarskog sustava te političkih procesa kao i temeljna pitanja poštenja i pravde i odnosa prema drugima. Za potrebe istraživanja tih poveznica primjenjuju se, između ostalog, i različiti energetsko-ekonomski modeli. Oni se s obzirom na djelokrug i teorijsku pozadinu dijele na: energetsko-ekonomske modele djelomične ravnoteže (MESSAGE, POLES, GAINS i GET), političko-simulacijske modele (MiniCAM, PRIMES i TIMER) i modele opće ravnoteže (MERGE i GEM-E3).¹¹² Većina navedenih modela koristi pristup odozdo prema gore, što znači da uključuju eksplicitan i relativno detaljan prikaz energetskog, a u nekim slučajevima i ostalih sustava.

Već spomenuti MERGE (engl. *Model for Evaluating the Regional and Global Effects of greenhouse gas reduction policies*) je integrirani energetsko-ekonomsko-klimatski model u čijem su obuhvatu sva tri aspekta.¹¹² Model se vrlo često koristio za procjenu različitih aspekata klimatske politike te je bio jedan od prvih energetsko-ekonomsko-klimatskih modela koji su uzimali u obzir prepreke klimatske politike i njen utjecaj na ekonomski rast i opskrbu različitim vrstama energije. Model geografski dijeli svjetsko gospodarstvo na devet regija. Vremenski raspon simulacije je razdoblje 2000. – 2100., a može simulirati i emisije CO₂, CH₄ i N₂O koje potječu od nekorištenog zemljišta te emisije sumporovih aerosola. MERGE uključuje:

- model energetskog sustava u obliku dvaju sektora koji se odnose na proizvodnju električne odnosno ne-električne energije;
- zbirni ekonomski (gospodarski) model u kojem se razmatra proizvodnja i potrošnja jednog reprezentativnog proizvoda; i
- jednostavni klimatski model u kojem se izračunavaju koncentracije najvažnijih stakleničkih plinova te njihovi doprinosi promjeni intenziteta zračenja i temperatura.

Prednost modela je u uravnoteženoj kombinaciji opisa energetskih tehnologija, gospodarstva i klimatskog sustava. Glavni je nedostatak modela u tome što nije namijenjen za analiziranje kratkoročnih efekata pojedine politike.

Modeli IMAGE/TIMER/FAIR tvore grupu povezanih i integriranih modela čiji je primarni cilj proučavanje dugoročne dinamike globalnih promjena u okolišu.¹¹² Ta se grupa modela sastoji od modela korištenja zemljišta, modela energetskeg sustava TIMER i kombiniranog modela FAIR-SIMCAP za smanjenje emisija stakleničkih plinova. TIMER najčešće koristi pristup odozdo prema gore za opis energetskeg sektora. Geografski, opisuje se 26 svjetskih regija, vremenski raspon simulacije je 2000. – 2100., a njime mogu biti obuhvaćene emisije glavnih stakleničkih plinova i aerosola. Ova grupa modela uistinu može simulirati razvoj energetskeg sustava što ga čini prilično prikladnim za analizu osnovnoga (baznoga) scenarija i utjecaja pojedinih politika. Nedostaje simulacija tržišta što model čini prilično netransparentnim za zainteresirane strane koje su izvan promatranog područja.

Europska komisija razvila je tijekom 1990.-ih model POLES. Radi se o globalno djelomično uravnoteženom modelu s 47 svjetskih regija, 22 sektora potrošnje energije i oko 40 energetskeg tehnologija. Vremenski raspon simulacije je 2000. – 2100., a razmatra samo energetske sustav i emisije CO₂. Jedna od prednosti ovog modela je u detaljnom opisu globalnog energetskeg sustava i energetskeg tehnologija.

Na osnovi pristupa odozdo prema gore razvijen je PRIMES – simulacijski model za analizu europske energetske politike koji pokriva svih 28 zemalja članica Europske unije i daje vrlo detaljnu zastupljenost različitih potrošačkih sektora i podsektora što mu je i glavna prednost. Model uključuje emisije onečišćujućih tvari lokalnog utjecaja (PM, NMHOS i SO₂) kao i stakleničkih plinova CO₂, N₂O i CH₄. Model je optimiziran u vremenskim intervalima od po pet godina za razdoblje 1990. – 2050. PRIMES je povezan sa modelom GEM-E3 koji daje makroekonomske i sektorske podatke, modelom GAINS za procjenu utjecaja onečišćujućih tvari lokalnog utjecaja na okoliš, modelima POLES i Prometheus za određivanje tržišnih cijena energije u svijetu i modelom SCENE.¹¹² Nedostatak potrebne dokumentacije može uzrokovati poteškoće kod modeliranja, dok povezanost PRIMES-a s GAINS-om utječe na smanjenje transparentnosti.

Model GAINS razvila je međunarodna znanstvena ustanova IIASA (engl. *International Institute for Applied Systems Analysis*) i to je nastavak modela RAINS koji se bavi lokalnim onečišćivalima zraka. GAINS je optimizacijski model na osnovi pristupa odozdo prema gore koji se koristi za pronalaženje troškovno učinkovitih mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova (CO₂, N₂O i CH₄) i lokalnih onečišćivala (PM, NMHOS, NO_x, NH₃ i SO₂). Model se uglavnom koristi za procjenu povoljnih međusobnih utjecaja smanjivanja emisija stakleničkih plinova i emisija lokalnih onečišćivala kao i za izradu

krivulja graničnih troškova smanjenja emisija stakleničkih plinova i lokalnih onečišćivala zraka. GAINS je optimiziran u vremenskim intervalima od po pet godina za razdoblje 1990. – 2050. Prednost modela je u brojnosti uključenih tehnologija i u primjeni jednostavnog kriterija odlučivanja – smanjenja troška.¹¹²

GET je globalni model energetskeg sustava koji uz pretpostavku tzv. savršenog predviđanja minimizira trošak energetskeg sustava između 2000. i 2100. za zahtijevano smanjenje emisija stakleničkih plinova poput CO₂ (ne uključujući emisije uslijed korištenja zemljišta), ili može poslužiti npr. za izračunavanje krivulja graničnih troškova smanjenja emisija CH₄ i N₂O. Model obuhvaća četiri sektora krajnje potrošnje s egzogenom potrošnjom energije: električni sektor, potrebe u kemijskoj industriji, toplina za kućanstva i za trgovinu. Potrebe za energijom u sektoru prometa podijeljene su na željeznički, avionski, cestovni i pomorski prijevoz kao i na osobni i teretni prijevoz. Model opisuje brojne tehnologije i sadrži velik izbor tehnologija za koje se pretpostavlja da su najisplativije što se tiče troškova. Prednost ovog modela je u jednostavnosti te u detaljnom prikazu tehnologija. Model nije prikladan za kratkoročno procjenjivanje efekata promjena u energetskeg sustavu.¹¹²

MESSAGE je model energetskeg sustava zasnovan na metodama dinamičkog linearnog programiranja. Model je optimiziran u vremenskim intervalima od po deset godina za razdoblje od 2000. – 2100. Model uključuje 11 svjetskih regija, šest sektora potrošnje energije, a procjenjuju se emisije najvažnijih stakleničkih plinova. Model je vrlo sličan modelu GET, s još boljom zastupljenošću pojedinačnih tehnologija i boljom regionalnom pokrivenošću. Nedostatak je, kao i kod modela GET, u neprikladnosti za kratkoročno procjenjivanje efekata promjena u energetskeg sustavu.¹¹²

MiniCAM (engl. *Mini-Climate Assessment Model*) je integrirani model procjene koji uključuje ekonomski, energetske, klimatske te sustav korištenja zemljišta. Budući da se ekonomski sustav pojavljuje jedino kao ulazni parametar energetskeg sustava, radi se o djelomično uravnoteženome modelu koji uključuje energetske sustav, poljoprivredu i ostale oblike korištenja zemljišta. Model je optimiziran u vremenskim intervalima od po 15 godina za razdoblje 1990. – 2095. te obuhvaća 14 svjetskih regija i 15 stakleničkih plinova. Prednost modela je u detaljnom prikazu najvažnijih stakleničkih plinova kao i u iscrpnom opisu energetskeg sustava, od opskrbe energijom preko tehnologija za pretvorbu energije do krajnje potrošnje energije.¹¹²

GEM-E3 je rekurzivno-dinamički model opće ravnoteže iz klase CGE-modela. Model pokriva 15 europskih država. Zajedno s modelom POLES koristila ga je Europska komisija za procjenu politika i njihovih učinaka u kontekstu klime i energije. Model je razvijen za razdoblje od 1995. do 2030. te se koristi za kratkoročne ocjene makroekonomskih utjecaja različitih politika kojima je cilj smanjenje emisija stakleničkih plinova u energetsom sektoru, uključujući učinke na BDP, privatnu potrošnju i zapošljavanje. Prednost ovog modela je u njegovu pristupu opće ravnoteže, a nedostatak je u nefleksibilnim opisima energetske tehnologije.¹¹²

LEAP je alat za modeliranje na osnovi pristupa odozdo prema gore u kojemu se simulacijski i scenarijski energetske modeli koriste kao platforme za strukturiranje podataka, razvoj energetske bilanci, procjenu potreba za energijom i scenarija opskrbe, uz istodobno procjenjivanje s tim povezanih emisija i ocjenjivanje alternativnih politika. Dopuštanjem vrlo fleksibilne ulazne strukture podataka, LEAP daje analize koje su bogate tehnološkim specifikacijama i detaljima koji omogućavaju korisnicima alata puno izbora u postavljanju parametara. Često se koristi za projekcije različitih situacija opskrbe i potreba za energijom s ciljem predviđanja budućih uzoraka i prepoznavanja potencijalnih problema te za procjenu mogućih utjecaja energetske politika na različita područja na lokalnoj, nacionalnoj i globalnoj razini.¹¹³ Može se koristiti za procjene emisija stakleničkih plinova kako u energetsom tako i u neenergetskom sektoru. LEAP podržava široku lepezu različitih metodologija za modeliranje na obje strane energetske lanca (opskrba energijom i potrošnja energije). Što se tiče vremenskog okvira LEAP je namijenjen za srednjeročna ili dugoročna predviđanja, najčešće između 20 i 50 godina. Najveća prednost mu je u tome što mu nije potrebna velika količina ulaznih podataka te omogućuje iteracijski analitički pristup.¹¹⁴

2.4.4. Metoda ekstrapolacije trenda

Ekstrapolacija trenda je jednostavna metoda prognoziranja, ali se takve prognoze često pokazuju boljim od onih zasnovanih na kompleksnijim analizama. Ekstrapolacija trenda predstavlja metodu u kojoj se na osnovi korištenja podataka iz prošlosti nastoji predvidjeti budućnost.

Osnovna ideja metode je pretpostavka da će se potrošnja energije kretati po već utvrđenoj putanji. Za ekstrapolaciju je potreban vremenski niz podataka o potrošnji energije, jer je jedina nezavisna varijabla vrijeme. Između postojećih podataka iz prošlosti interpoliraju

se eventualno nedostajući podaci, a zatim se kroz te sve njih povlači "linija trenda" koja treba na najbolji mogući način izraziti kretanje potrošnje energije u prošlosti. Nakon toga se provodi ekstrapolacija (produljenje) dobivene krivulje za buduće razdoblje i dobiva se slika buduće potrošnje energije. Ekstrapolacija se može provoditi grafički, što najčešće daje zadovoljavajuće rezultate, ili analitički, određujući parametre "linije trenda" analitičkim putem koristeći statističke podatke o potrošnji u prethodnom periodu. U zavisnosti od funkcije kojom su interpolirani statistički podaci, razlikuju se linearni, parabolički i eksponencijalni trend te trend logaritamske parabole. Predviđanje buduće potrošnje temelji se na ekstrapolaciji trendova potrošnje iz prošlosti, te se takvi modeli koriste za analizu relativno kratkoročnih utjecaja. Bitni uvjet koji se postavlja na ovakve modele je da ključni parametri unutar modela (poput elastičnosti), moraju ostati konstantni tijekom promatranog razdoblja. Ovakav pristup zahtijeva prikaz ekonomskog ponašanja subjekata unutar modela i uglavnom se primjenjuje u kratkoročnim, ekonometrijskim modelima.⁹¹ Rezultati istraživanja pokazali su da je ekstrapolacija trenda adekvatan model procesa predviđanja energetske potreba, barem za razumijevanje kretanja u predviđanjima u cjelini.¹¹⁵ Ekstrapolacija trenda uspješno je primijenjena za predviđanje budućih potreba za energijom u indijskoj državi Kerala pri čemu su analizirane političke implikacije predviđenih rezultata. Rezultati dobiveni navedenim modelom ukazali su na osnove na kojima se može provoditi energetska planiranja te su naglasili potrebu za razvojem djelotvornijih strategija u odnosu na pretpostavljene.¹¹⁶

2.4.5. Primjena umjetnih neuronskih mreža kod predviđanja potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova

Uzimajući u obzir značenje potrošnje energije i njezinog utjecaja na okoliš te s ciljem planiranja potrošnje energije u skladu s održivim razvojem, važno je razviti pouzdani model predviđanja emisija stakleničkih plinova s obzirom na predviđenu sektorsku potrošnju energije, u čemu veliku primjenu nalaze umjetne neuronske mreže.

Umjetne neuronske mreže su se u mnogim znanstvenim disciplinama pokazale kao vrlo korisna alternativa tradicionalnim statističkim tehnikama modeliranja.¹¹⁷ Najvažnija prednost korištenja umjetnih neuronskih mreža kao alata za predviđanje leži u njihovoj sposobnosti osiguranja regresijske procjene nelinearnih funkcija u visokodimenzijalnim prostorima, a to nedostaje kod tradicionalnih statističkih metoda.¹¹⁷ Umjetnim neuronskim mrežama nisu potrebni rigidni matematički modeli, a kalibracijski parametri određuju se

postupcima treniranja ili učenja mreže. Umjetne neuronske mreže smatraju se standardnim nelinearnim procjeniteljima (estimatorima),¹¹⁸ a njihove sposobnosti predviđanja kao i generalizacijske sposobnosti bile su demonstrirane kroz njihovu uspješnu primjenu u različitim područjima.^{117, 119-122}

Umjetne neuronske mreže dobra su alternativa različitim rješenjima primijenjenima u odlukama o zaštiti okoliša.¹²³ Između ostalog, umjetne neuronske mreže mogu poslužiti i za optimiziranje energetskih sustava pa su stoga zanimljive potencijalnim korisnicima – inženjerima energetičarima. U posljednje vrijeme sve je popularnija upotreba umjetnih neuronskih mreža za modeliranje i predviđanje potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova.^{61, 132-137} Rezultati takvih predviđanja igraju važnu ulogu u postupcima donošenja odluka i planiranja sektorske potrošnje energije. U usporedbi s konvencionalnim modelima inventara emisija primjena umjetnih neuronskih mreža ima nekoliko prednosti. Prva od tih prednosti nalazi se u činjenici da kod predikcijskih modela koji su bazirani na umjetnim neuronskim mrežama nije potrebno koristiti predodređene inpute, odnosno ulazne podatke što omogućuje njihovu primjenu od slučaja do slučaja. Zbog korištenja takvih podataka nije potrebno izrađivati velike i dugotrajne terenske studije. Za razliku od metode koja koristi faktore emisije, pristup preko umjetnih neuronskih mreža zahtijeva znatno manji broj ulaznih parametara koji su široko dostupni, čak i za zemlje gdje su podaci o emisijama oskudni.^{130, 131} Nadalje, primjena predikcijskih modela s umjetnim neuronskim mrežama omogućava simulaciju različitih emisijskih scenarija s različitim vrijednostima ulaznih varijabli kao rezultata predloženih strategija smanjenja emisija stakleničkih plinova.

U posljednjem desetljeću, umjetne neuronske mreže izrasle su u alternativni pristup za procjenu emisija različitih onečišćujućih tvari. Tako su npr. Gardner i Dorling primijenili umjetne neuronske mreže za predviđanje koncentracija NO_2 ¹¹⁷, a Raimundo i Narayanaswamy za predviđanje koncentracije amonijaka (NH_3) u zraku.¹²⁴ Lim je primijenio umjetne neuronske mreže za predviđanje emisija amonijaka s polja koja su tretirana gnojivom.¹²⁵

Nekoliko studija pokazalo je da je za kreiranje modela umjetnih neuronskih mreža za predviđanje emisija onečišćujućih tvari u atmosferu prikladno koristiti gospodarske odnosno industrijske parametre kao i parametre održivosti.¹²⁶⁻¹³¹ Stamenković je npr. razvila model umjetnih neuronskih mreža kojim su se predviđale godišnje emisije NMHOS-a koristeći indikatore održivosti i gospodarske indikatore u Kini za razdoblje 2005. – 2011., a dobiveni rezultati koristili su se za usporedbu s rezultatima dobivenima pomoću modela inventara

emisijskih faktora.¹³⁰ Emisije NMHOS-a u Kini predviđene su primjenom modela umjetnih neuronskih mreža koji je razvijen korištenjem raspoloživih podataka iz devet europskih zemalja u kojima emisije NMHOS *per capita* za razdoblje 2004. – 2012. otprilike odgovaraju emisijama u Kini.¹³⁰ Za predviđanje emisija amonijaka u SAD-u i u državama EU Stamenković je primijenila umjetne neuronske mreže korištenjem dostupnih indikatora održivosti te gospodarskih odnosno poljoprivrednih indikatora kao ulaznih podataka.¹³¹

Radojević je uspješno primijenio umjetne neuronske mreže za predviđanje stakleničkih planova u Srbiji koristeći indikatore opterećenja kao ulazne varijable.¹³⁴

Antanasijević je uspješno primijenio umjetne neuronske mreže za predviđanje emisija stakleničkih plinova iz sektora prometa na razini 28 zemalja članica Europske unije koristeći široko raspoložive podatke za indikatore održivosti, ekonomske i industrijske indikatore kao ulazne varijable¹²⁸ kao i za predviđanje godišnjih emisija lebdećih čestica PM₁₀.¹²⁷

U Japanu su Huang i Nagasaka na temelju projekcija potrošnje električne energije kao ulaznih varijabli primjenom umjetnih neuronskih mreža analizirali trend emisija stakleničkih plinova.¹³⁵ U Iranu je Yousefi korištenjem podataka o primarnoj potrošnji energije kao ulaznih varijabli uspješno primijenio umjetne neuronske mreže za predviđanje emisija CO₂.¹³⁶ Slično istraživanje provedeno je u Kini, gdje je Liu primijenio umjetne neuronske mreže za dobivanje pouzdanijih predviđanja emisija CO₂ na osnovi industrijske potrošnje tri vrste primarne energije.¹³⁷ Ekonomou je kreirao model umjetnih neuronskih mreža za dugoročno predviđanje potrošnje energije u Grčkoj korištenjem povijesnih podataka o potrošnji energije.⁸⁴ Sözen je u Turskoj primijenio umjetne neuronske mreže kako bi izradio model za predviđanje emisija stakleničkih plinova koristeći povijesne podatke o potrošnji energije u sektorima.⁶¹ Pao je razvio model za predviđanje potrošnje energije na Tajvanu korištenjem dvaju hibridnih nelinearnih modela umjetnih neuronskih mreža.¹³⁸ U Južnoj Koreji je Geem razvio model za predviđanje potreba za energijom na nacionalnoj razini primjenom umjetnih neuronskih mreža na temelju četiri nezavisne varijable (BDP, broj stanovnika, uvoz i izvoz). Takav model pokazao se točnijim od modela linearne regresije i eksponencijalnog modela.¹³⁹

U Kini je Tian na temelju sinteze različitih faktora utjecaja poput: strukture energije, energetske učinkovitosti, gospodarskog razvoja, stanovništva, potrošnje *per capita* kao i faktora stope rasta urbanizacije, izradio model umjetnih neuronskih mreža kojim je predvidio emisije ugljika u narednom desetljeću te predstavio tri scenarija za smanjenje emisija ugljika koji nastaju potrošnjom energije.¹⁴⁰

Abderrahim je za predviđanje prosječnih dnevnih koncentracija lebdećih čestica PM₁₀ u Alžiru primijenio neuronsku mrežu iz klase višeslojnih perceptrona, koristeći meteorološke podatke o temperaturi zraka, relativnoj vlažnosti i brzini vjetera kao ulazne mrežne parametre.¹⁴¹

Dakako, niti jedna od navedenih studija ne navodi umjetne neuronske mreže kao vitalni alat u planiranju i razvoju energetske politike pojedine zemlje te tako ostavlja dobrobit implementacije umjetne inteligencije u društvu neistraženom.

2.5. RAŠČLAMBA ENERGETSKOG SEKTORA

Međuvladin panel o klimatskim promjenama (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) je svjetsko tijelo za procjenu znanstvenih činjenica o klimatskim promjenama koje su 1988. osnovali Svjetska meteorološka organizacija (engl. *World Meteorological Organization, WMO*) i Program Ujedinjenih naroda za okoliš (engl. *United Nations Environment Programme, UNEP*), a odobrili su ga Ujedinjeni narodi. Svrha IPCC-a je da donositeljima odluka redovito daje znanstveno utemeljene procjene o klimatskim promjenama, o njihovom utjecaju i budućim rizicima, kao i o mogućnostima prilagodbe i ublažavanju klimatskih promjena.

Jedna od zadaća IPCC-a je i prikupljanje podataka i izrada proračuna o emisijama stakleničkih plinova u svijetu. Pri izradi proračuna emisija koristi se metodologija opisana u priručnicima/smjernicama koje je pripremio IPCC.¹⁴² Pitanje klimatskih promjena na globalnom planu rješava se već spomenutom Konvencijom UNFCCC-a. Konvencija je prihvaćena na skupu u Rio de Janeiru 1992., a od tada ju je ratificiralo 190 država.

U prvom svesku smjernica iz 2006. godine¹⁴³ nalaze se opće informacije. Navedeni su koncepti po kojima su smjernice napravljene te upute o izradi nacionalnih inventara stakleničkih plinova. Ukupni izvori emisija podijeljeni su na sektore, a sektori na podsektore odnosno kategorije. Dan je popis stakleničkih plinova koji se uzimaju u obzir pri izračunima, uvjeti u kojima pojedini staklenički plinovi nastaju te je objašnjen izračun emisija putem faktora emisije (engl. *Emission Factors, EF*). Navedene su upute za prikupljanje podataka o emisijama na nacionalnoj razini. Posebno su naglašeni slučajevi u kojima se radi o indirektnim izvorima stakleničkih plinova te su navedeni postupci izračuna za svaki slučaj. Kvaliteta izračuna definirana je na tri različite razine (engl. *Tier*) koje se međusobno razlikuju na temelju stupnja metodološke složenosti izračuna, a time i na temelju točnosti. Razina 1

(engl. *Tier 1*) odnosi se na osnovne metode izračuna, razina 2 (engl. *Tier 2*) na metode izračuna srednjeg stupnja složenosti, dok je razina 3 (engl. *Tier 3*), razina najvećeg stupnja složenosti izračuna koja zahtijeva precizniju i veću količinu podataka, ali je time i najtočnija.

Emisijski faktori temelje se na sadržaju ugljika u gorivima i ulaznim materijalima i iskazuju se kao tCO₂/TJ (emisije uslijed izgaranja), ili kao tCO₂/t ili tCO₂/Nm³ (emisije iz proizvodnih procesa).¹⁴⁴

Nacionalni proračun emisija stakleničkih plinova određuje se primjenom IPCC-metodologije razvijene u okviru UNFCCC-konvencije. Hrvatski proračun emisija stakleničkih plinova u nadležnosti je Ministarstva zaštite okoliša i prirode i Agencije za zaštitu okoliša. Brigu o pripremi proračuna emisija vodi izvršna institucija EKONERG – Institut za energetiku i zaštitu okoliša d.o.o. iz Zagreba u suradnji s Agencijom za zaštitu okoliša.

Kao strana spomenuta u Prilogu I., Dio II. (FCCC/CP/1999/7, Dio II.) UNFCCC¹⁴⁵, Hrvatska ima obvezu praćenja i dostavljanja izvješća o godišnjem inventaru emisija stakleničkih plinova što pokriva emisije i uklanjanje izravnih stakleničkih plinova (ugljični dioksid, CO₂; metan, CH₄; didušikov oksid, N₂O; perfluorirani ugljikovodici, PFC; fluorirani ugljikovodici, HFC; sumporov heksafluorid, SF₆ i dušikov trifluorid, NF₃). Prema UNFCCC-smjernicama za izvještavanje te metodološkim smjernicama IPCC-a, ukupna nacionalna emisija stakleničkih plinova podijeljena je u pet CRF-sektora (engl. *Common Reporting Format*, zajednički izvještajni format): energetika, industrijski procesi i uporaba proizvoda, poljoprivreda, korištenje zemljišta, promjena korištenja zemljišta i šumarstvo (LULUCF) te otpad (gospodarenje otpadom) za sve godine od bazne godine do dvije godine prije roka inventara. Za izračun emisija sektora energetike za cijelo povijesno razdoblje od 1990. do 2014. godine koristile su se nacionalne energetske bilance.

Iz aspekta emisija onečišćujućih tvari u zrak, energetska sektor pokriva sve djelatnosti koje uključuju potrošnju fosilnih goriva i fugitivne emisije iz goriva. Fugitivne emisije nastaju tijekom proizvodnje, prijenosa, prerade, skladištenja i distribucije fosilnih goriva. Energetski je sektor glavni izvor antropogenih emisija stakleničkih plinova od čega najveći dio čine emisije CO₂ iz izgaranja goriva.

Prema smjernicama IPCC-a iz 2006. energetska sektor obuhvaća sve emisije stakleničkih plinova koje nastaju izgaranjem goriva i fugitivnim ispuštanjima iz goriva koje su suma svih kategorija i podkategorija od 1A, 1B i 1C.

Kategorije i podkategorije izvora emisija iz energetska sektora su:

(1A) Aktivnosti izgaranja goriva

- Energetska industrija
- Industrija i graditeljstvo
- Promet
- Ostali sektori (komercijalni/institucionalni, kućanstva, poljoprivreda/šumarstvo/ribogojilišta i ostalo)

(1B) Fugitivne emisije iz goriva

- Kruta goriva
- Nafta
- Ostale emisije iz proizvodnje energije

(1C) Transport ugljičnog dioksida i skladištenje

- Transport CO₂
- Utiskivanje i skladištenje
- Ostalo

2.5.1. Neposredna potrošnja energije iz energetskeg sektora

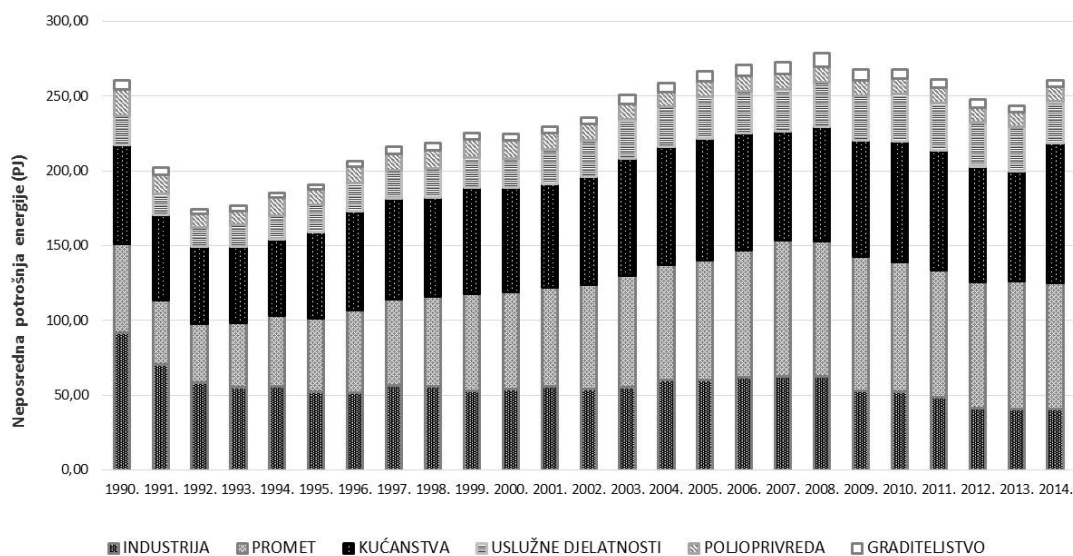
Neposredna potrošnja energije je energija predana krajnjim korisnicima u sektorima industrije i prometa te u sektoru opće potrošnje koji obuhvaća kućanstva, usluge, graditeljstvo i poljoprivredu.³⁹ Potrošnja energije dijeli se na:

- opću potrošnju, koju čini zbroj potrošnje energije u kućanstvima, uslužnim djelatnostima, poljoprivredi i graditeljstvu,
- potrošnju u industriji i
- potrošnju u prometu.

Zbrajanjem te tri kategorije dobiva se neposredna potrošnja energije, dok se ukupna potrošnja energije dobije ukoliko se neposrednoj potrošnji energije pribroje neenergetska potrošnja i kategorija ostale potrošnje.

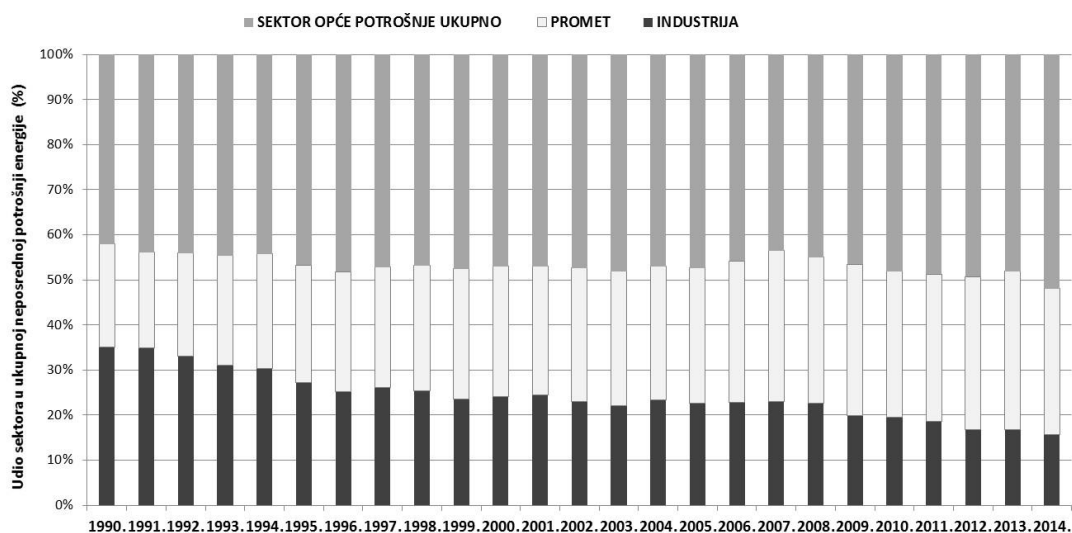
Neposredna potrošnja energije jedan je od osnovnih gospodarskih pokazatelja stupnja razvoja neke zemlje. Na slici 11. prikazano je kretanje iznosa neposredne potrošnje energije

po sektorima u razdoblju od 1990. do 2014. iz koje su razvidna dva velika sloma u neposrednoj potrošnji, prvi nakon 1990., a drugi nakon 2008. Pritom je posebno potrebno istaknuti pad u sektoru industrije koji izravno označava i pad proizvodnje, gubitak radnih mjesta i opći pad životnog standarda. Ukupna neposredna potrošnja energije, bez neenergetske potrošnje, iznosila je u Hrvatskoj u 2014. godini 1,6 tona ekvivalentne nafte (toe) po stanovniku. U odnosu na EU-28 ta je potrošnja bila manja za 28,6 %.⁴⁰ Neposredna je potrošnja energije u razdoblju od 2009. do 2014. ostvarila trend smanjenja s prosječnom godišnjom stopom od 2,7 %.⁴⁰



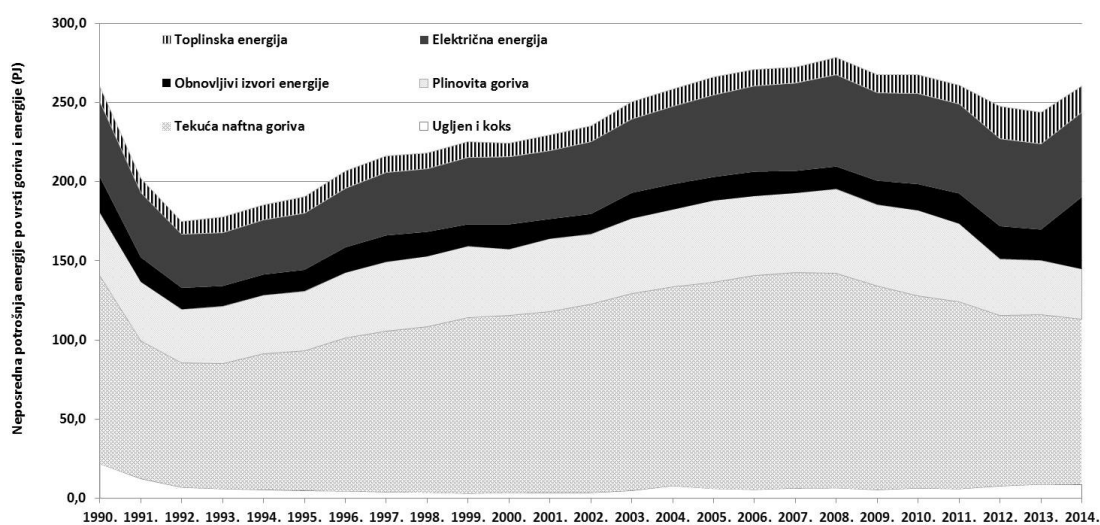
Slika 11. Neposredna potrošnja energije po sektorima u Hrvatskoj u razdoblju 1990. – 2014.^{40, 51-60}

Na slici 12. prikazano je kretanje postotnog udjela sektora industrije, prometa i sektora opće potrošnje u razdoblju od 1990. do 2014. Iz navedenog je razvidno smanjenje udjela sektora industrije te porast udjela sektora prometa u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije.



Slika 12. Udio sektora u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije^{40, 51-60}

Na slici 13. prikazana je neposredna potrošnja energije po oblicima u razdoblju od 1990. do 2014. Prema strukturi ukupne potrošnje energenata u Hrvatskoj u 2014., tekuća naftna goriva, električna energija i prirodni plin još uvijek zauzimaju najveći dio u ukupnoj potrošnji energije i goriva. U usporedbi sa 2009., neposredna potrošnja navedenih energenata smanjila se u 2014. uz napomenu da je nakon 2013. došlo do oporavka u neposrednoj potrošnji električne energije, dok se to još nije dogodilo u potrošnji tekućih naftnih goriva i prirodnog plina.

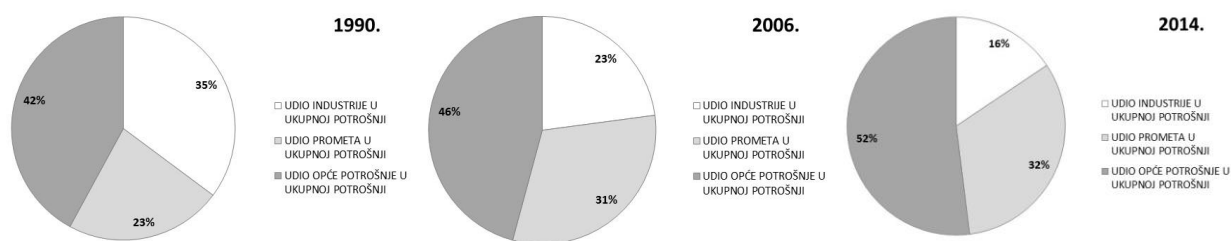


Slika 13. Neposredna potrošnja energije po vrsti goriva i energije od 1990. do 2014.^{40, 51-60}

Najveći udio u ukupnoj potrošnji energije u Hrvatskoj ostvarila su tekuća goriva. Njihov udio iznosio je 39,9 % u 2009. te se do 2014. smanjio na 31,3 %. Osim udjela tekućih goriva, u 2014. se smanjio još i udio prirodnog plina i uvozne električne energije. Navedeni udjeli smanjili su se za 1,9 %, odnosno za 0,5 % tako da je udio prirodnog plina u 2014. iznosio 21 %, a udio uvozne električne energije 3,5 %.

Udjeli ostalih oblika energije povećani su. Udio vodnih snaga varira ovisno o hidrološkim prilikama pa im je tako udio u 2009. iznosio 16,2 %, a u 2014. godini 22,1 %. Povećan je udio ostalih obnovljivih izvora (energija vjetra, sunčeva energija, geotermalna energija, biodizel i bioplin) s 0,3 na 2,6 %, kao i udio ogrjevnog drva i krute biomase s 11 na 11,4 %. Udio toplinske energije iz toplinskih crpki u ukupnoj potrošnji energije nije se promijenio i iznosio je samo 0,1 %, dok je udio ugljena i koksa povećan s 5,5 na 7,9 %.⁴⁰

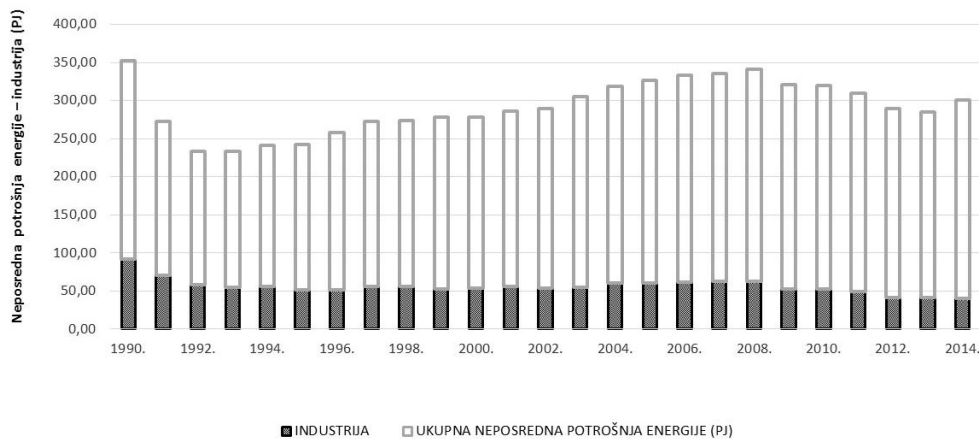
Na slici 14. prikazano je kretanje udjela po sektorima industrije, prometa i opće potrošnje u godinama 1990., 2006. i 2014. iz koje je razvidan drastičan pad udjela sektora industrije u potrošnji energije i to s 35 % u 1990. na samo 16 % u 2014., što predstavlja pad u apsolutnom iznosu od skoro 20 %. U istom razdoblju sektor opće potrošnje ostvario je rast udjela s 42 % u 1990. na 52 % u 2014., dok je sektor prometa rastao s 23 % u 1990. na 32 % u 2014. Uz 1990. i 2014. koje su izdvojene zbog toga što predstavljaju godinu koja je prethodila Domovinskom ratu (1990.) i godinu koja je predstavlja prvu godinu oporavka od recesije (2014.), izdvojena je i 2006. kao referentna godina na temelju koje je izrađena Strategija energetskeg razvoja RH iz 2009. koja je još uvijek važeći strateški dokument. Iz podataka se može zaključiti kako je u razdoblju 1990. – 2014. došlo do znatne promjene u samoj strukturi neposredne potrošnje energije koja je uvjetovana promjenom strukture gospodarstva. U navedenom se razdoblju hrvatsko gospodarstvo iz pretežno proizvodnog transformiralo u uslužno gospodarstvo.



Slika 14. Kretanje neposredne potrošnje energije u sektorima industrije, prometa i opće potrošnje u 1990., 2006. i 2014.^{40, 55, 56}

2.5.1.1. Neposredna potrošnja energije iz sektora industrije

Sektor industrije je prema dostupnim podacima za 2014. u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije sudjelovao s oko 16 %⁴⁰, kako je prikazano na slici 15. U važećoj Strategiji iz 2009. taj je udio procijenjen na preko 20 %.³⁹



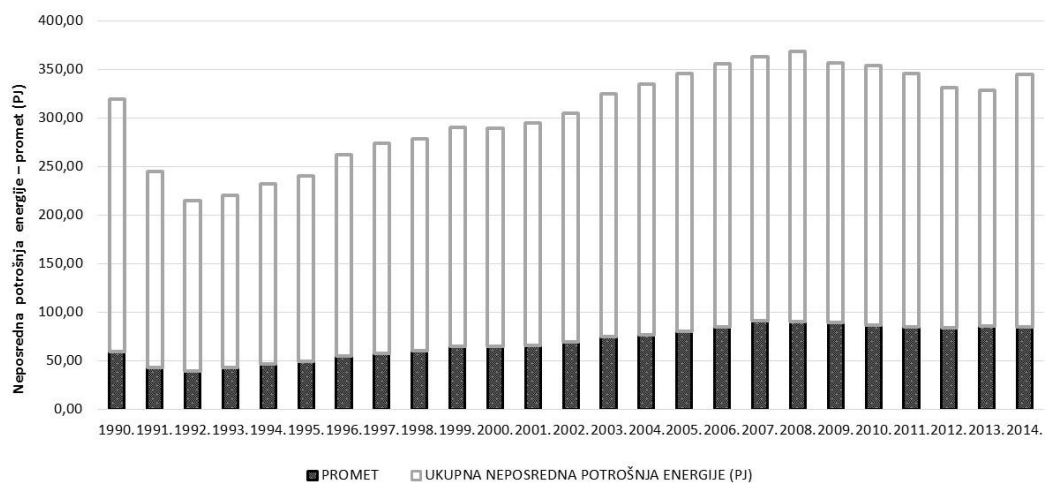
Slika 15. Neposredna potrošnja energije u sektoru industrije^{40, 51-60}

Potrošnja energije u industriji nastavila se smanjivati pa je tako i u 2014. ostvareno smanjenje od 0,7 % u odnosu na prethodnu godinu. Takvom padu potrošnje doprinijelo je smanjenje potrošnje većine korištenih oblika energije, osim električne energije čija je potrošnja povećana za 4,8 %.

U cijelom razdoblju od 2009. do 2014. ostvaren je trend smanjenja potrošnje energije u industriji s prosječnom godišnjom stopom od 4,5 %. Što se tiče strukture korištenih oblika energije, najveće smanjenje ostvareno je u potrošnji tekućih goriva, a iznosilo je 5,3 %. U potrošnji ogrjevnog drva i biomase te pare i vrele vode smanjenje potrošnje iznosilo je 3,6 %, odnosno 3,5 %. Smanjenje potrošnje ugljena i koksa kao i prirodnog plina bilo je nešto manje i iznosilo je 2,2 %, odnosno 1,3 %. U razdoblju od 2009. do 2014. ostvaren je trend smanjenja u potrošnji većine oblika energije, osim u potrošnji ogrjevnog drva i ostale biomase čija je potrošnja rasla s prosječnom godišnjom stopom od 2,1 %. Najbrže se smanjivala potrošnja tekućih goriva i prirodnog plina s prosječnim godišnjim stopama od 11 %, odnosno 10,8 %. Potrošnja pare i vrele vode te ugljena i koksa smanjivala se s prosječnim godišnjim stopama od 4,3 %, odnosno 1 %. Smanjenje potrošnje električne energije bilo je malo sporije, a prosječna godišnja stopa iznosila je 0,4 %.⁴⁰

2.5.1.2. Neposredna potrošnja energije iz sektora prometa

Sektor prometa je prema dostupnim podacima za 2014. u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije sudjelovao s oko 32 %, kako je prikazano na slici 16.⁴⁰ U važećoj Strategiji iz 2009. taj je udio procijenjen na oko 30 %.³⁹ U 2014. potrošnja energije u prometu smanjena je za 1,1 % u odnosu na potrošnju u prethodnoj godini. Povećana je potrošnja dizelskog goriva, ukapljenog plina i prirodnog plina, dok je potrošnja ostalih energenata smanjena. Smanjenja je potrošnja motornog benzina za 7,7 %, tekućih biogoriva za 6,3 % i električne energije za 1,8 %.



Slika 16. Neposredna potrošnja energije u sektoru prometa^{40, 51-60}

U duljem razdoblju od 2009. do 2014. došlo je do promjene u povećanju udjela dizelskog goriva, mlaznog goriva i tekućih biogoriva, udio električne energije i loživog ulja nije se promijenio, dok je udio motornog benzina i ukapljenog plina smanjen. Udio dizelskog goriva povećan je s 56,4 % u 2009. na 59,9 % u 2014. Udio mlaznog goriva povećan je s 4,7 % na 6,5 % u 2014., a udio tekućih biogoriva s 0,3 % na 1,5 %. Udio motornog benzina smanjen je za 6,1 postotnih poena te je u 2014. iznosio 27,5 %, a udio ukapljenog plina je smanjen je s 3,6 % na 3,4 %.⁴⁰

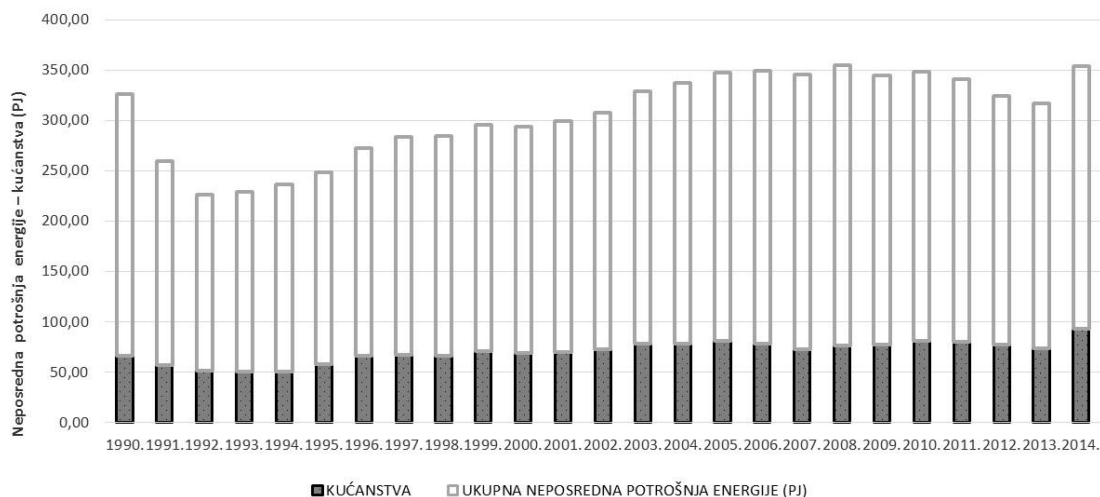
2.5.1.3. Neposredna potrošnja energije iz sektora opće potrošnje

Ovaj sektor čine podsektori kućanstava, usluga, poljoprivrede i graditeljstva koji su detaljno opisani u nastavku. Sektor opće potrošnje je u 2014. sudjelovao u ukupnoj potrošnji energije s 52 %. U važećoj Strategiji iz 2009. taj je udio procijenjen na oko 50 %.³⁹

Potrošnja energije u sektoru opće potrošnje je u 2014. smanjena za 8,5 % u apsolutnom iznosu u odnosu na prethodnu godinu. Povećana je potrošnja ostalih obnovljivih izvora (sunčeva energija, geotermalna energija i biogoriva) za 32,5 %, dok je potrošnja ostalih oblika energije smanjena. Potrošnja ugljena smanjena je za 36,4 %, tekućih goriva za 8,6 %, ogrjevnog drva i biomase za 11,8 % i prirodnog plina za 9 %. U odnosu na prethodnu godinu također je smanjena potrošnja električne energije za 3,2 %, kao i potrošnja toplinske energije za 16,6 %.⁴⁰ Od 2009. do 2014. potrošnja energije u općoj potrošnji ostvarila je trend smanjenja s prosječnom godišnjom stopom od 3 %. U tome razdoblju ostvaren je trend smanjenja potrošnje većine oblika energije, a samo je u potrošnji ostalih obnovljivih izvora energije ostvaren porast i to s prosječnom godišnjom stopom od 20,7 %. Potrošnja ugljena i tekućih goriva ostvarile su najbrži trend smanjenja s prosječnim godišnjim stopama od 8,6 %, odnosno 7,9 %. Potrošnja prirodnog plina i toplinske energije smanjivala se s prosječnim godišnjim stopama od 4,1 % i 3,7 %. U potrošnji električne energije, ogrjevnog drva i biomase također je ostvaren trend smanjenja potrošnje, a prosječne godišnje stope iznosile su 1 %, odnosno 1,7 %.⁴⁰

2.5.1.4. Neposredna potrošnja energije iz podsektora kućanstva

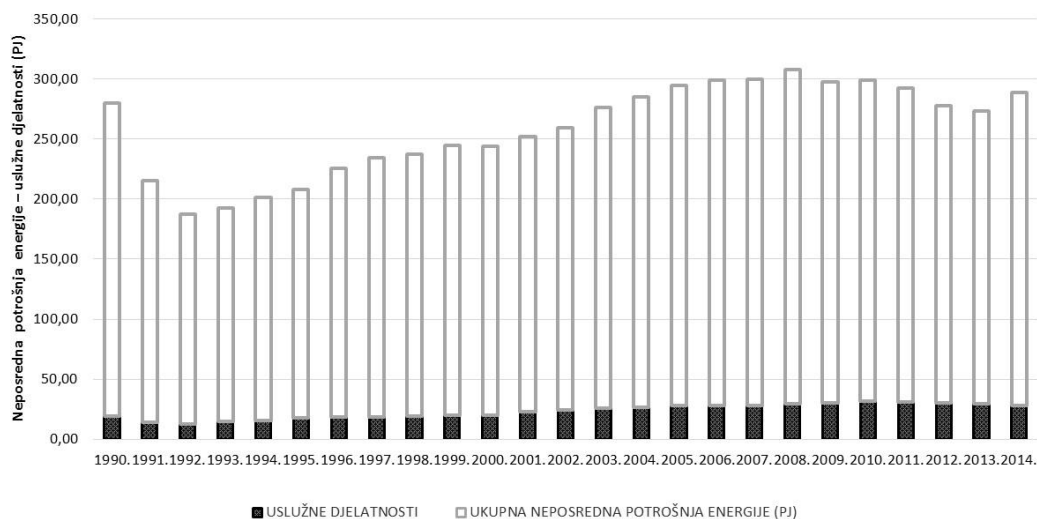
U sektoru opće potrošnje najveći udio zauzima podsektor kućanstava na kojeg otpada 36 % ukupne neposredne potrošnje energije⁴⁰, kako je to prikazano na slici 17. U važećoj Strategiji iz 2009. taj je udio iznosio oko 30 %.³⁹ Udio kućanstava u sektoru opće potrošnje čini najveći dio od gotovo 70 %. Neposredna potrošnja energije u kućanstvima u 2014. u odnosu na prethodnu godinu smanjila se za 10,5 %, dok se u odnosu na 2009. smanjila za 3,4 %.⁴⁰



Slika 17. Neposredna potrošnja energije u sektoru kućanstava^{40, 51-60}

2.5.1.5. Neposredna potrošnja energije iz podsektora uslužnih djelatnosti

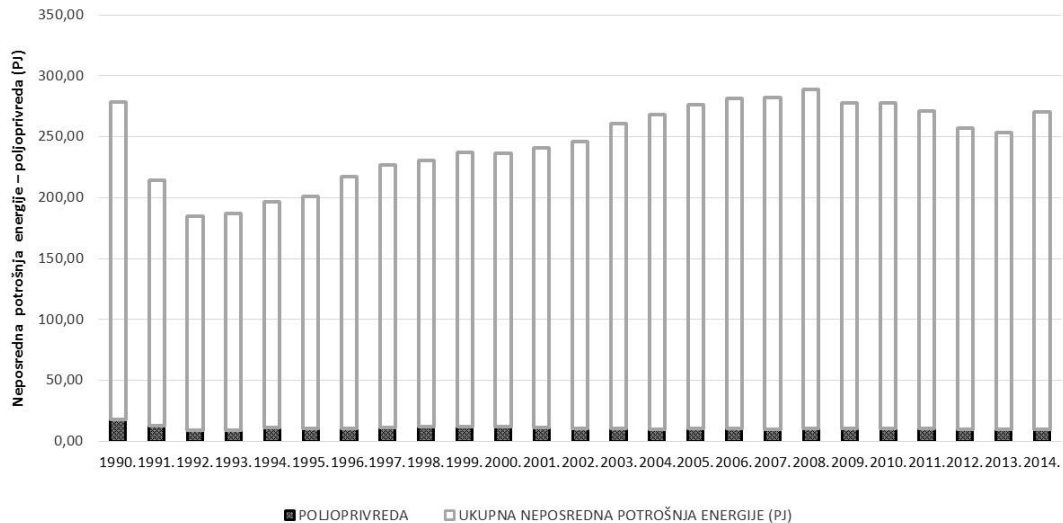
Sektor uslužnih djelatnosti, odnosno usluga u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije sudjeluje s oko 12 %, kako je to prikazano na slici 18. U važećoj Strategiji iz 2009. taj je udio procijenjen na preko 10 %.³⁹ Udio uslužnih djelatnosti u sektoru opće potrošnje iznosi oko 20 %. Neposredna potrošnja energije u uslužnom sektoru u 2014. u odnosu na prethodnu godinu smanjila se za 4,8 %, dok se u odnosu na 2009. smanjila za 1,7 %.⁴⁰



Slika 18. Neposredna potrošnja energije u sektoru usluga^{40, 51-60}

2.5.1.6. Neposredna potrošnja energije iz podsektora poljoprivreda

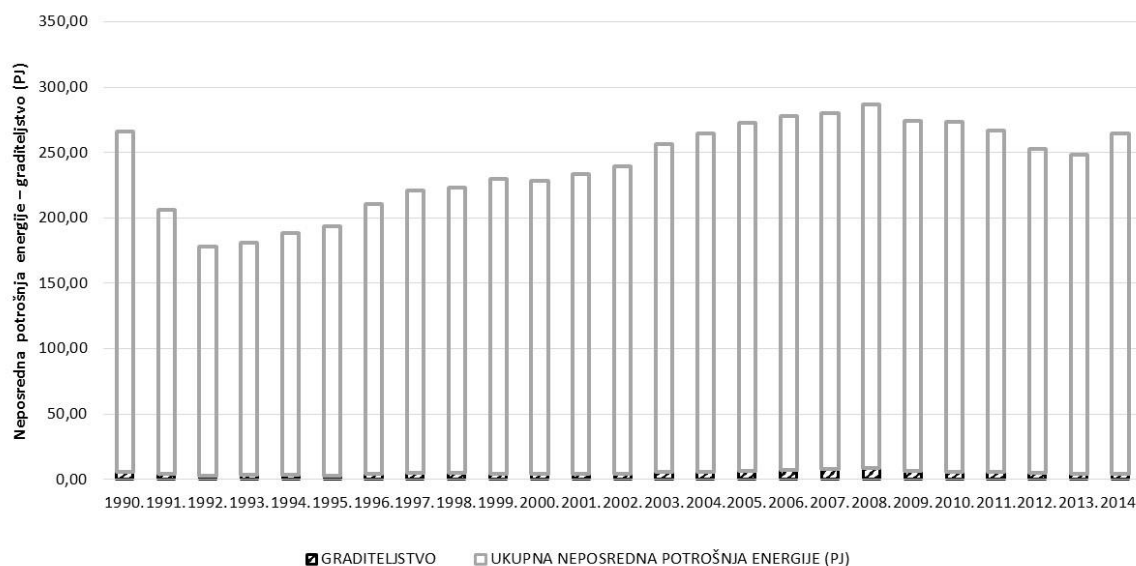
Sektor poljoprivrede u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije sudjeluje s oko 4 %, kako je to prikazano na slici 19. Udio poljoprivrede u sektoru opće potrošnje iznosi oko 7 %. Neposredna potrošnja energije u poljoprivredi u 2014. u odnosu na prethodnu godinu povećala se za 2,4 %, dok se u odnosu na 2009. smanjila za 1,5 %.⁴⁰



Slika 19. Neposredna potrošnja energije u sektoru poljoprivrede^{40, 51-60}

2.5.1.7. Neposredna potrošnja energije iz podsektora graditeljstvo

Sektor graditeljstva u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije sudjeluje s oko 2 %, kako je to prikazano na slici 20. Udio graditeljstva u sektoru opće potrošnje iznosi oko 3 %. Neposredna potrošnja energije u graditeljstvu u 2014. u odnosu na prethodnu godinu smanjila se za 9,6 %, dok se u odnosu na 2009. smanjila za 7,5 %.⁴⁰



Slika 20. Neposredna potrošnja energije u sektoru graditeljstva^{40, 51-60}

2.5.2. Emisije stakleničkih plinova iz energetskeg sektora

Prilikom potpunog izgaranja ugljik sadržan u gorivu oksidira i prelazi u CO₂, dok prilikom nepotpunog izgaranja osim CO₂ nastaju i male količine CH₄, CO i NMHOS.

Ugljikov dioksid (CO₂), metan (CH₄) i didušikov oksid (N₂O) glavni su staklenički plinovi, a iako se prirodno pojavljuju u atmosferi, porast njihove koncentracije u atmosferi čini se da je najvećim dijelom rezultat ljudskih aktivnosti. Sintetički staklenički plinovi, poput halogeniranih ugljikovodika (HFC, PFC), sumporov heksafluorid (SF₆) i dušikov trifluorid (NF₃) također se smatraju stakleničkim plinovima, a rezultat su isključivo ljudske aktivnosti. Postoje fotokemijski aktivni plinovi poput ugljikova monoksida (CO), dušikovih oksida (NO_x) te nemetanskih hlapivih organskih spojeva (NMHOS) koji, iako se ne smatraju stakleničkim plinovima, indirektno doprinose efektu staklenika u atmosferi. Njih se generalno naziva prethodnicima ozona budući sudjeluju u stvaranju i razaranju troposfernog i stratosfernog ozona (koji je također staklenički plin). Sumporov je dioksid (SO₂) prethodnik sulfata i aerosola, a smatra se da pogoršava efekt staklenika jer se stvaranjem aerosola uklanja toplina iz okoliša.

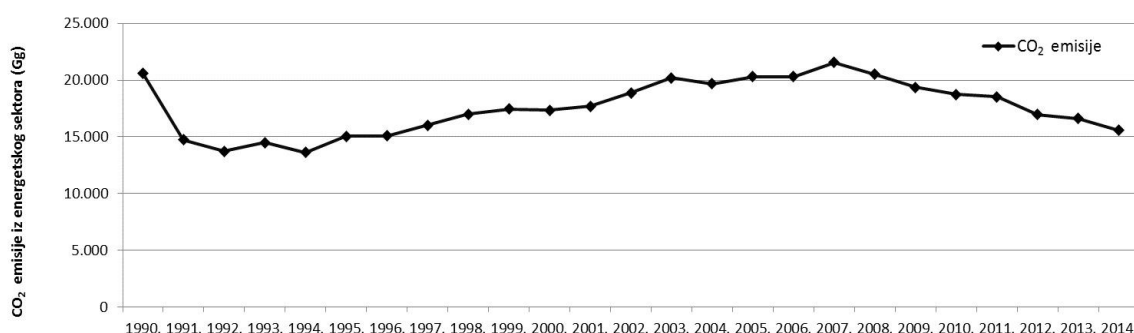
Energetski sektor ima najveći doprinos emisijama stakleničkih plinova, koje su u 2014. bile manje za 5,5 % u usporedbi sa 2013. i za 25,3 % manje u usporedbi sa 1990. Emisije iz energetskeg sektora odnosno emisije koje nastaju uslijed izgaranja fosilnih goriva imaju dominantan utjecaj na ukupnu emisiju CO₂. Energetika je glavni izvor antropogene

emisije stakleničkih plinova, s doprinosom od otprilike 75 % u ukupnoj emisiji stakleničkih plinova na teritoriju Republike Hrvatske.⁹

2.5.2.1. Emisije CO₂ iz energetskeg sektora

Emisija CO₂ iz izgaranja goriva ovisi o količini potrošenog goriva (iz energetske bilance), ogrjevnoj vrijednosti (iz energetske bilance), faktoru emisije (IPCC), udjelu uskladištenog ugljika (IPCC) i udjelu oksidiranog ugljika (IPCC). Emisija CO₂ ovisi o kvaliteti i tipu goriva koje izgara. Specifična je emisija najveća prilikom izgaranja ugljena, nešto manja prilikom izgaranja tekućih derivata nafte, a najmanja prilikom izgaranja prirodnog plina. Omjer specifičnih emisija prilikom izgaranja fosilnih goriva iznosi 1:0,75:0,55 (ugljen : tekuća goriva : plin).⁹

Na slici 21. prikazane su emisije CO₂ od 1990. do 2014. iz kojeg je razvidno kako su najviše vrijednosti emisija CO₂ zabilježene 2007. kada su iznosile 21.540 Gg, a najniže tijekom Domovinskog rata 1994. kada su iznosile 13.630 Gg. Iz slike je razvidan trend daljnjeg smanjenja emisija CO₂.

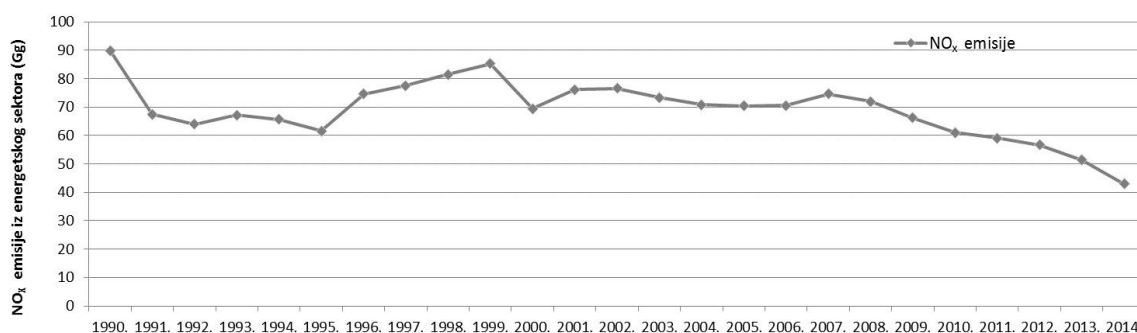


Slika 21. Emisije CO₂ iz energetskeg sektora u Hrvatskoj u razdoblju 1990. – 2014.⁹

2.5.2.2. Emisije NO_x iz energetskeg sektora

Emisija NO_x objedinjuje emisije NO i NO₂, a iskazuje se težinski kao NO₂. Osim što NO_x utječu na zakiseljavanje i eutrofikaciju, u atmosferi s hlapivim organskim spojevima i ostalim reaktivnim plinovima, uz prisutnost sunčevog zračenja sudjeluju u stvaranju prizemnog ozona. Emisija NO_x iz energetskeg sektora u 2014. iznosila je 42,9 Gg što je za 3,9 % niže u odnosu na 2013., dok je u odnosu na 1990. manja za 38,1 %.⁹ Energetski sektor doprinosi s 95 % ukupnim nacionalnim emisijama NO_x. Kretanje emisija NO_x od 1990. do 2014. prikazano je na slici 22. Na navedenoj slici može se primijetiti kako su najveće

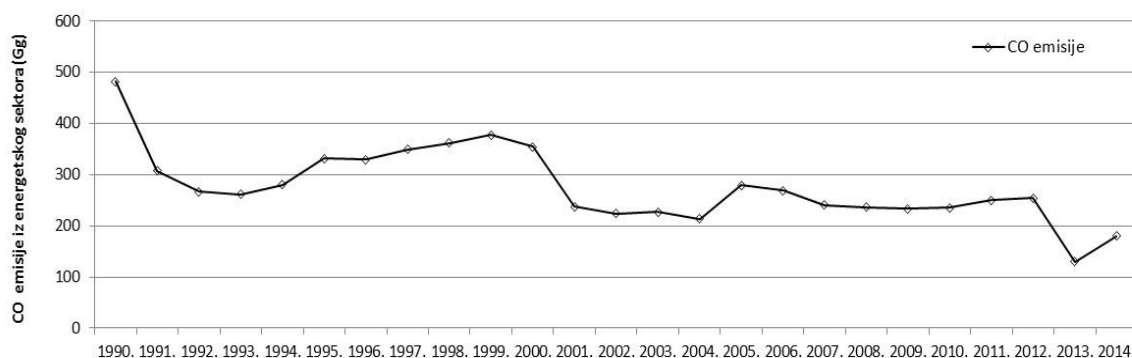
vrijednosti emisija NO_x zabilježene upravo 1990. kada su iznosile 89,8 Gg, a najniže u 2014. kada su iznosile 42,9 Gg, pri čemu je trend emisija padajući. Dominantan izvor emisija NO_x je promet (52,4 % ukupne emisije NO_x na području Republike Hrvatske). Sektor opće potrošnje doprinosi sa 16,4 % ukupnim nacionalnim emisijama NO_x, dok emisije NO_x iz industrije i graditeljstva čine 16,3 % ukupnih nacionalnih emisija.⁹



Slika 22. Emisije NO_x iz energetskog sektora u Hrvatskoj u razdoblju 1990. – 2014.⁹

2.5.2.3. Emisije CO iz energetskog sektora

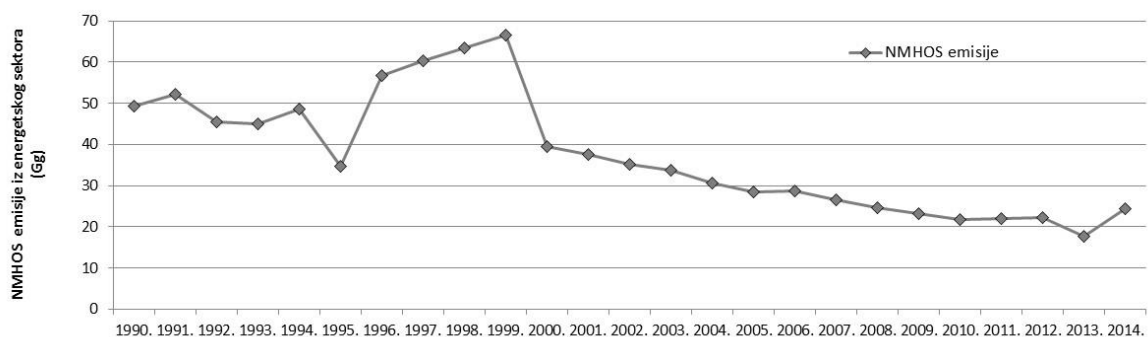
Sektor energetike doprinosi s 90 % ukupnim nacionalnim emisijama CO. U 2014. emisija CO iz sektora Energetika iznosila je 180,5 Gg što je za 59,1 % više nego godinu ranije te za 48,7 % manje u odnosu na 1990., kada je ostvarena maksimalna emisija (352,2 Gg) za promatrano razdoblje. Kretanje emisija CO od 1990. do 2014. godine prikazano je na slici 23. Može se primijetiti kako su najveće vrijednosti emisija CO zabilježene upravo 1990. kada su iznosile 481,4 Gg, a najniže u 2013. kada su iznosile 129,7 Gg, pri čemu je trend emisija opadajući. Najveći izvori emisija CO posljedica su nepotpunog izgaranja goriva u malim stacionarnim ložištima (71 %) te u cestovnom prometu (21 %).⁹



Slika 23. Emisije CO iz energetskog sektora u Hrvatskoj u razdoblju 1990. – 2014.⁹

2.5.2.4. Emisije NMHOS iz energetskeg sektora

Antropogena emisija nemetanskih hlapivih organskih spojeva (NMHOS) u energetskeg sektoru godine 2014. iznosila je 24,4 Gg što je za 56,6 % više nego 2013. i 44,5 % manje nego 1990. Energetski sektor doprinosi s 33,0 % ukupnim nacionalnim emisijama NMHOS-a. Kretanje emisija NMHOS od 1990. do 2014. prikazano je na slici 24. Može se primijetiti kako su najveće vrijednosti emisija NMHOS zabilježene 1999. kada su iznosile 66,5 Gg, a najniže u 2013. kada su iznosile 17,8 Gg, pri čemu je trend emisija opadajući. Dominantan izvor emisija NMHOS je podsektor Stacionarne energetike koji doprinosi sa 76,4 % ukupnoj emisiji iz energetskeg sektora, najviše iz sektora Usluga i Kućanstava (68,0 %).⁹



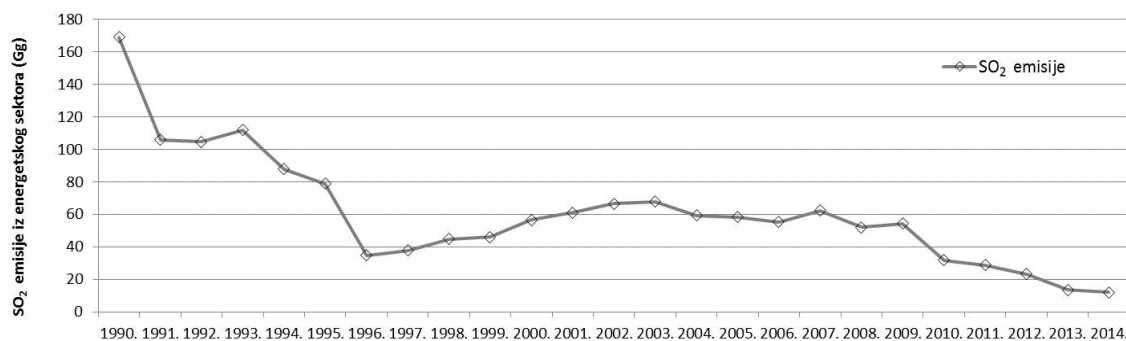
Slika 24. Emisije NMHOS iz energetskeg sektora u Hrvatskoj u razdoblju 1990. – 2014.⁹

2.5.2.5. Emisije SO₂ iz energetskeg sektora

Emisija SO₂ iz energetskeg sektora u 2014. iznosila je 11,9 Gg, što je 91 % ukupne nacionalne emisije. Promatrajući trend može se uočiti da se emisija u 2014. smanjila za 10,5 % u usporedbi s 2013. te za čak 90,9 % u odnosu na 1990. Smanjenje emisije SO₂ rezultat je sagorijevanja goriva s manjim sadržajem sumpora. Izrazito visoka vrijednost emisije SO₂ vidljiva u 1990. posljedica je potrošnje goriva s visokim sadržajem sumpora u podsektorima stacionarne energetike i to naročito u podsektorima energetskeg transformacija odnosno industrije i graditeljstva. Do 2014. emisije ova dva podsektora smanjene su za 50 % u odnosu na 1990.

Smanjenje emisije SO₂ od 1990. do 2014. ostvareno je u gotovo svim podsektorima, no najveće smanjenje ostvareno je u sektoru energetskeg transformacija. Kretanje emisija SO₂ od 1990. do 2014. prikazano je na slici 25. Može se primijetiti kako su najveće vrijednosti

emisija SO₂ zabilježene 1990. kada su iznosile 169 Gg, a najniže u 2014. kada su iznosile 11,9 Gg, pri čemu je trend emisija silazni.



Slika 25. Emisije SO₂ iz energetskeg sektora u Hrvatskoj u razdoblju 1990. – 2014.⁹

2.6. UMJETNE NEURONSKE MREŽE

Umjetne neuronske mreže su skup međusobno povezanih jednostavnih procesnih elemenata (jedinica, čvorova) čija se funkcionalnost temelji na biološkom neuronu i koji služe distribuiranoj paralelnoj obradi podataka.¹⁴⁶ Najvažnije svojstvo umjetnih neuronskih mreža je sposobnost aproksimacije proizvoljnih kontinuiranih funkcija te mogućnost primjene u identifikaciji nelinearnih dinamičkih procesa.

Ideja za razvoj umjetnih neuronskih mreža kao metode za rješavanje praktičnih problema došla je upravo iz spoznaja o građi i funkcioniranju ljudskog mozga. Američki psiholozi W. S. McCulloch i W. Pitts objavili su 1943. rad u kojem su pokušali razumjeti kako mozak može proizvesti vrlo složene uzorke korištenjem osnovnih međusobno povezanih stanica koje su nazvali neuronima.¹⁴⁷ Na osnovi njihova istraživanja konstruirane su prve umjetne neuronske mreže; u istraživanju su postavili vrlo jednostavan matematički model biološkog neurona te su ga nazvali perceptron. Daljnji razvoj računalne tehnologije i informatike omogućio je da umjetne neuronske mreže postanu apstraktni matematički model ljudskog mozga i njegovih aktivnosti.¹⁴⁸ Bitno je istaknuti da su umjetne neuronske mreže vrlo moćan programski alat, a do danas je razvijeno mnoštvo različitih vrsta umjetnih neuronskih mreža.

S obzirom na strukturu, neuronske se mreže mogu podijeliti na statičke i dinamičke. Područja primjene umjetnih neuronskih mreža su identifikacija modela sustava i upravljanje takvim sustavima, prepoznavanje uzoraka, medicinska dijagnostika itd. Sa stajališta primjene

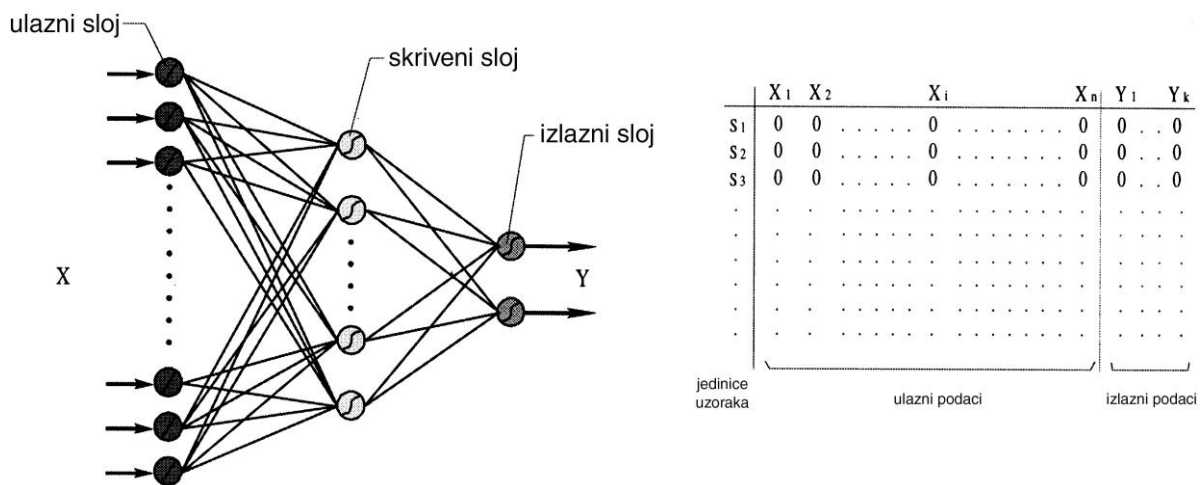
u identifikaciji procesa najvažnije svojstvo statičkih neuronskih mreža je njihova sposobnost aproksimacije proizvoljnih kontinuiranih funkcija.

S obzirom na rasprostiranje podataka, umjetne neuronske mreže mogu se podijeliti u dvije skupine:

- neuronske mreže s unaprednim vezama (engl. *feedforward neural networks*) i
- neuronske mreže s povratnim vezama (engl. *feedback neural networks*).

Prva skupina obuhvaća umjetne neuronske mreže koje posjeduju samo unapredne veze između neurona dvaju susjednih slojeva. Kod druge skupine s povratnim vezama na ulazne veličine svakog sloja (uz iznimku početnoga) mogu utjecati izlazne veličine tog istog ili čak nekog od daljnjih slojeva.

Zahvaljujući svojoj sposobnosti da kvalitetno opisuju različite tipove matematičkih funkcija, neuronske se mreže s unaprednim vezama pod određenim uvjetima mogu koristiti kao univerzalni aproksimatori.¹⁴⁹ Zbog tih su karakteristika vrlo popularne višeslojne neuronske mreže s unaprednim vezama (engl. *multi-layer feedforward networks* ili *MultiLayer Perceptron, MLP*).¹⁵⁰ MLP-mreže često se koriste za rješavanje širokog spektra problema gdje se učenje pod nadzorom odvija pomoću algoritma s povratnom propagacijom pogreške (engl. *error back-propagation algorithm*). Takve mreže imaju ulazni sloj, izlazni sloj, te niz skrivenih slojeva koji se nalaze između njih (slika 26.). Svaki sloj sadrži određeni broj neurona, a neuroni između susjednih slojeva međusobno su povezani (ima puno sinapsi). Veze između neurona unutar istog sloja nisu dozvoljene. Na slici 26. razvidno je da izlazne veličine jednog sloja postaju ulazne veličine sljedećeg, a da bi se to postiglo svaka od njih mora se množiti odgovarajućom težinom veze (engl. *connection weight*).



Slika 26. Shematski prikaz strukture višeslojne neuronske mreže s unaprednim vezama¹⁵¹

Da bi neuronska mreža mogla kvalitetno predviđati, mora biti optimalno konstruirana i istrenirana. Skup za treniranje mora sadržavati dovoljan broj podataka reprezentativnih za predmetni problem.¹⁵¹ Premalen broj podataka dat će lošu kvalitetu predviđanja. Što se tiče broja neurona u mrežnoj arhitekturi, premalen broj spriječit će mrežu da uzme u obzir sve relevantne odnose ulaznih i izlaznih veličina, dok će prevelik broj uzimati u obzir i one odnose koje ne bi trebao. Primjerice, prevelik broj neurona može rezultirati time da kreirani model eventualne nasumične pogreške sustava promatra kao pravilnosti te ih nastoji predvidjeti i reproducirati tijekom predviđanja.¹⁵²

Postoje dva glavna pristupa treniranju neuronskih mreža, individualni i grupni. U individualnom načinu treniranja korekcija težina veza provodi se nakon svakog prezentiranog uzorka za učenje, pri čemu je prednost u jednostavnijoj izvedbi. U grupnom načinu treniranja mreži se prezentiraju svi parovi uzoraka iz skupa za treniranje, izračunava se pogreška za sve parove uzoraka te se korekcija težina izvodi jednom za sve uzorke. Prednost takvog pristupa je točnija procjena gradijentnog vektora, a nedostatak je veća potrebna memorija.¹⁵²

2.6.1. Algoritmi za treniranje umjetnih neuronskih mreža

Model umjetnih neuronskih mreža može se izraditi kroz postupak koji se zove treniranje mreže. Primjena algoritma za treniranje sastavni je dio razvoja modela umjetnih neuronskih mreža. Dobar algoritam skratit će vrijeme treniranja postizući bolju točnost.

Za treniranje MLP-a razvijen je niz algoritama.¹⁵³ Jedan od njih koji se često koristi je tzv. algoritam s povratnim rasprostiranjem pogreške (engl. *Back Propagation*, BP).¹⁵⁴ Algoritam ciklički ponavlja dvije faze, rasprostiranje (pogreške) i korekciju mrežnih težina. Kad se vektor ulaznih varijabli unese u ulazni sloj mreže, rasprostire se unaprijed kroz mrežu, sloj po sloj, dok ne dosegne izlazni sloj. Skup izlaznih varijabli tada se uspoređuje sa željenim pomoću tzv. funkcije cilja ili funkcije pogreške; vrijednost funkcije izračunava se za svaki neuron u izlaznom sloju. Vrijednosti pogreške tada se rasprostiru unatrag kroz mrežu, sve dok se svakom neuronu ne pridruži odgovarajuća pogreška koja predstavlja približni doprinos toga neurona ukupnoj pogrešci ulaza.

Povratno rasprostiranje koristi tako procijenjene pogreške za računanje gradijenta funkcije pogreške s obzirom na mrežne težine. U drugoj fazi, izračunati gradijenti služe kao ulazne vrijednosti prikladnog optimizacijskog postupka koji daje korekcije mrežnih težina u pokušaju minimiziranja funkcije pogreške.

Kako treniranje napreduje, neuroni u skrivenim slojevima "organiziraju" se tako da svaki od neurona "uči" prepoznavati različita svojstva skupa ulaznih varijabli. Nakon treniranja, neuroni skrivenih slojeva prepoznat će, odnosno reagirati na novi, nepoznati skup ulaznih podataka, ukoliko on slični onima korištenima za treniranje, i dati odgovarajući izlaz.

Dakako, BP-algoritam ima i svoje nedostatke. Naime, nema jamstva da će se pronaći globalni minimum funkcije pogreške; spust u smjeru silaznog gradijenta može odvesti optimizacijski postupak prema lokalnom minimumu. Optimizacija u smjeru silaznoga gradijenta često je neprihvatljivo spora. Brzina i kvaliteta konvergencije prema željenome minimumu funkcije pogreške, odnosno optimumu mrežnih težina može se unaprijediti varijacijama algoritma kao što su delta-bar-delta (engl. *Delta-Bar-Delta*, DBD) pravilo i prošireno delta-bar-delta pravilo (engl. *Extended Delta-Bar-Delta*, EDBD). Za traženje minimuma često se koristi i Levenberg-Marquardtov (LM) algoritam koji kombinira najbolja svojstva Gauss-Newtonove metode i metode gradijentnog spusta, a izbjegava njihova ograničenja.¹⁵⁴ Ipak, većina umjetnih neuronskih mreža trenira se jednostavnim algoritmom – tzv. poopćenim delta pravilom kao proširenjem postupka gradijentnog spusta na slučaj mreže s više slojeva.¹⁵⁵

Kako je već spomenuto, mrežne se težine i pomaci u najjednostavnijem slučaju BP-algoritma korigiraju u smjeru silaznoga gradijenta. $(k+1)$ -ta iteracija izračunava se iz k -te prema formuli^{156, 153}:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - \alpha_k \mathbf{g}_k \quad (1)$$

gdje je \mathbf{x}_k vektor trenutnih težina i pomaka, \mathbf{g}_k je trenutni gradijent i α_k je brzina učenja.

Umjesto navedenoga, koristi se i algoritam gradijentnog spusta s prilagodljivom brzinom učenja (engl. *Gradient Descent algorithm with Adaptive learning rate*, GDA) utemeljen na heurističkoj metodi^{157, 153} koja je mnogo brža od osnovnog algoritma jer omogućuje promjenu brzine učenja tijekom procesa treniranja; brzina se dakako ograničava zahtjevom da ne bude povećanja pogreške.

U algoritmu s konjugiranim gradijentom spust se izvodi uzduž konjugiranog smjera, što je općenito brže nego u smjeru najvećega silaznoga gradijenta. Smjer najvećega silaznoga gradijenta koristi se u prvoj iteraciji:

$$\mathbf{p}_0 = -\mathbf{g}_0 \quad (2)$$

Zatim se određuje optimalna udaljenost uzduž toga smjera:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \alpha_k \mathbf{p}_k \quad (3)$$

Tada se određuje novi, konjugirani smjer spusta prema:

$$\mathbf{p}_k = -\mathbf{g}_k + \beta_k \mathbf{p}_{k-1} \quad (4)$$

Varijante algoritma s konjugiranim gradijentom razlikuju se po načinu izračunavanja konstante β_k .

Powell-Bealeov algoritam odlikuje svojstvo da se novi smjer potrage napušta ukoliko je rezidualna ortogonalnost trenutnog i prethodnog gradijenta premala, tj. ako vrijedi:

$$\left| \mathbf{g}_{k-1}^T \mathbf{g}_k \right| \geq 0,2 \|\mathbf{g}_k\|^2 \quad (5)$$

Kao alternativa metodama konjugiranog gradijenta za brzu optimizaciju može poslužiti standardna Gauss-Newtonova metoda^{153,156,158}. Osnovni korak metode je:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \mathbf{A}_k^{-1} \mathbf{g}_k \quad (6)$$

gdje je \mathbf{A}_k Hessova matrica (drugih derivacija) funkcije cilja po trenutnim vrijednostima težina i pomaka. Za unapredne neuronske mreže izračunavanje Hessove matrice je složeno i zahtijeva dosta računalnog vremena. Stoga se u tu svrhu koristi kvazi-Newtonov postupak, varijanta metode sekante, koja pri svakoj iteraciji algoritma izračunava približnu vrijednost Hessove matrice kao funkcije gradijenta^{153,158}:

$$\mathbf{A}_{k+1} = \mathbf{A}_k + \left(1 + \frac{\Delta \mathbf{g}_k^T \mathbf{A}_k \Delta \mathbf{g}_k}{\Delta \mathbf{g}_k^T \Delta \mathbf{x}_k} \right) \frac{\Delta \mathbf{x}_k \Delta \mathbf{x}_k^T}{\Delta \mathbf{x}_k^T \Delta \mathbf{g}_k} - \frac{\mathbf{A}_k \Delta \mathbf{g}_k \Delta \mathbf{x}_k^T + (\mathbf{A}_k \Delta \mathbf{g}_k \Delta \mathbf{x}_k^T)^T}{\Delta \mathbf{g}_k^T \Delta \mathbf{x}_k} \quad (7)$$

Levenberg-Marquardtov algoritam za treniranje^{153,159} razvijen je s ciljem postizanja brzine treniranja drugoga reda bez potrebe za izračunavanjem Hessove matrice. Kada se kao funkcija cilja koristi srednje kvadratno odstupanje, što je čest slučaj kod treniranja unaprednih mreža, tada se Hessova matrica može aproksimirati jednadžbom:

$$\mathbf{H} = \mathbf{J}^T \mathbf{J} \quad (8)$$

a gradijent izračunati izrazom:

$$\mathbf{g} = \mathbf{J}^T \mathbf{e} \quad (9)$$

gdje je \mathbf{J} Jacobijeva matrica prvih derivacija funkcije cilja po težinama i pomacima, a \mathbf{e} je vektor mrežnih pogrešaka. Levenberg-Marquardtov algoritam za aproksimiranje Hessove matrice koristi kvazi-Newtonov izraz:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - [\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \mu \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{J}^T \mathbf{e} \quad (10)$$

Dobro je poznata činjenica da veće mreže mogu davati pretjerano kompleksne modele te da su manje mreže osjetljive na pretreniranje. Ti se problemi mogu otkloniti primjenom Bayesove metode regularizacije¹⁵⁶. Funkcija cilja, koja se najčešće definira kao srednje kvadratno odstupanje (engl. *Mean Square Error*, MSE) mrežnih pogrešaka, e :

$$\text{MSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^2 \quad (11)$$

može se modificirati dodavanjem kaznene funkcije koja se sastoji od srednjih vrijednosti sume kvadrata mrežnih težina i pomaka (engl. *Mean Square Weight*, MSW), x :

$$\text{MSW} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^2 \quad (12)$$

kako bi se oblikovala funkcija regulariziranog srednjeg kvadratnog odstupanja:

$$\text{MSE}_{\text{REG}} = \gamma \text{MSE} + (1 - \gamma) \text{MSW} \quad (13)$$

gdje je $1 - \gamma$ težinski udio parametra regularizacije, a n je broj mrežnih parametara. Korištenje funkcije MSE_{REG} pomiče rezultate u područje manjih apsolutnih vrijednosti mrežnih težina i pomaka, što smanjuje vjerojatnost pretreniranja mreže¹⁵³.

3. METODOLOGIJA RADA

3.1. IZVORI PODATAKA O POTROŠNJI ENERGIJE I EMISIJAMA STAKLENIČKIH PLINOVA

3.1.1. Godišnje izvješće Energija u Hrvatskoj

Godišnje izvješće Energija u Hrvatskoj izrađuje Energetski institut Hrvoje Požar, a objavljuje ga Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta. U Godišnjem izvješću daje se pregled gospodarskih kretanja u Republici Hrvatskoj, makroekonomskih pokazatelja kao i financijskih pokazatelja u energetici. Također, daju se podaci o proizvodnji primarne energije, uvozu i izvozu energije te ukupnoj potrošnji energije. Nadalje, daju su podaci o strukturi neposredne potrošnje energije u industriji, prometu i u sektorima opće potrošnje u koje se ubrajaju sektori kućanstava, usluga, poljoprivrede i graditeljstva. U Godišnjem izvješću provedena je detaljna analiza energetske tokova te su prikazane brojne informacije o kapacitetima, rezervama, cijenama, kao i pojedinačne energetske bilance sirove nafte, svih derivata nafte, prirodnog plina, električne energije, toplinske energije, ugljena i obnovljivih izvora energije. Prikazani su i osnovni gospodarski i financijski pokazatelji, kao i emisije onečišćujućih tvari u zrak te osnovni pokazatelji učinkovitosti korištenja energije. U svakom Godišnjem izvješću na kraju energetske pregleda prikazane su energetske bilance Republike Hrvatske za prethodnu i važeću godinu koje su izrađene primjenom metodologije po Eurostatu, odnosno metodologije Međunarodne agencije za energiju (engl. *International Energy Agency, IEA*).

3.1.2. Izvješće o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske

Prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda (UNFCCC), Republika Hrvatska obvezna je razvijati, nadopunjavati, poboljšavati i izrađivati nacionalno Izvješće o inventaru stakleničkih plinova, tj. o antropogenim emisijama iz izvora i njihovu uklanjanju ponorima (za stakleničke plinove koji nisu pod nadzorom Montrealskog protokola).⁹ Proračuni emisija stakleničkih plinova Republike Hrvatske izrađuju se prema smjernicama Tajništva UNFCCC-a, kao i prema metodologiji Međuvladinog tijela o klimatskim promjenama (IPCC). Osnova za proračun emisija stakleničkih plinova iz sektora energetike je nacionalna energetska bilanca.

Izrada i dostava izvješća Tajništvu UNFCCC-a u nadležnosti je Ministarstva zaštite okoliša i energetike koje je do sada ove poslove povjeravalo domaćim stručnim institucijama koje imaju iskustvo i potrebne kapacitete za prikupljanje podataka i proračun emisija. Slijedom obveza Uredbe o praćenju emisija stakleničkih plinova¹⁶⁰, politike i mjera za njihovo smanjenje u Republici Hrvatskoj⁹, za organizaciju izrade inventara, izvješća o inventaru stakleničkih plinova (engl. *National Inventory Report*, NIR) i zajedničkog formata za izvješćivanje o stakleničkim plinovima (CRF) kao i za prikupljanje podataka potrebnih za izračun emisija zadužena je Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (HAOP). Postupak pripreme inventara obuhvaća nekoliko koraka. Prvi je korak prikupljanje podataka, slijedi procjena emisija i rekalkulacije sukladno IPCC-metodologiji i preporukama za poboljšanje proračuna (engl. *Electronic Reporting Tool*, ERT-izvješća), kompiliranje inventara te priprema izvješća (NIR) i tabličnih prikaza emisija (CRF), uz usporedno provođenje općih i specifičnih postupaka kontrole i osiguranja kvalitete. Proračun emisija u RH dostupan je za razdoblje od 1990. do 2015.⁹

Za potrebe izrade Izvješća o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske 1990. – 2014. iz 2016. kao i za potrebe procjene emisija stakleničkih plinova za 2016. koje su rezultat antropogenih aktivnosti: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆ i NF₃ korištena je UNFCCC-metodologija preporučena u odgovarajućim dokumentima.^{142, 143} Emisije indirektnih stakleničkih plinova preuzete su iz dokumenta Izvješće o inventaru⁹ izrađenom prema Konvenciji o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka (engl. *Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*, CLRTAP). Smjernice¹⁴³ prikazuju metodologiju s preporučenim faktorima emisije za različite razine proračuna emisija. Izvori emisija i odljevi stakleničkih plinova podijeljeni su u pet glavnih sektora: energetika; industrijski procesi i uporaba proizvoda; poljoprivreda; korištenje zemljišta, promjena korištenja zemljišta i šumarstvo; otpad.

3.2. RAZVOJ MODELA PREDVIĐANJA EMISIJA STAKLENIČKIH PLINOVA

U ovom je radu za izradu modela odabrana troslojna neuronska mreža s unaprednim vezama. Model za predviđanje emisija stakleničkih plinova razvijen je na osnovi metodologije umjetnih neuronskih mreža. Kao ulazni podaci korištene su projekcije neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030., a izlazni podaci su emisije stakleničkih plinova do 2030. Mreža je trenirana s obzirom na povijesne podatke o neposrednoj potrošnji

energije po sektorima i povijesne podatke o emisijama stakleničkih plinova. Proces treniranja imao je za cilj odrediti optimalnu arhitekturu troslojne neuronske mreže s unaprednim vezama za predviđanje emisija za sve istraživane stakleničke plinove s obzirom na projekcije neposredne potrošnje energije.

Prilikom traženja optimalne arhitekture neuronske mreže mijenjano je više različitih izvedbenih karakteristika:

1. Algoritmi za treniranje

- algoritam padajućeg gradijenta s prilagodljivom brzinom učenja (engl. *Gradient Descent algorithm with Adaptive learning rate*, GDA);
- algoritam padajućeg gradijenta s momentom i prilagodljivim pravilom učenja (engl. *Gradient Descent with momentum and adaptive learning rule*, GDX);
- Powell-Bealeov algoritam (engl. *Conjugate Gradient Backpropagation*, CGB);
- kvazi-Newtonov algoritam s Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shannovim ažuriranjem (BFGS);
- Levenberg-Marquardtov algoritam (LM);
- Levenberg-Marquardtov algoritam s Bayesovom regularizacijom (BR).

2. Broj neurona u skrivenom sloju:

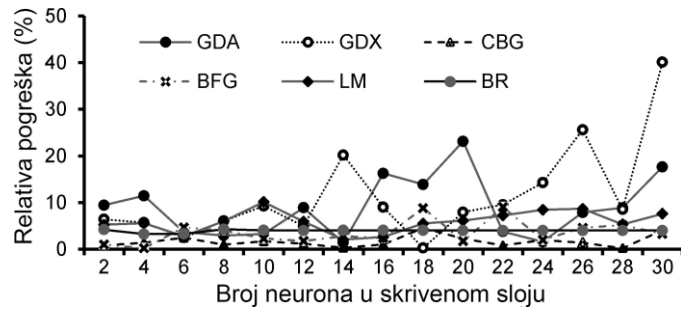
- od 2 do 30.

S ciljem testiranja predviđanja razvijenog modela umjetnih neuronskih mreža, korišten je neovisan skup podataka za razdoblje 2012. – 2015. uz primjenu opširne statističke evaluacije. Validacijski skup odabran je u skladu s konačnom primjenom umjetne neuronske mreže, odnosno istraživanjem budućega vremenskoga niza. Svi proračuni izvedeni su u programskom alatu MATLAB R2016a.

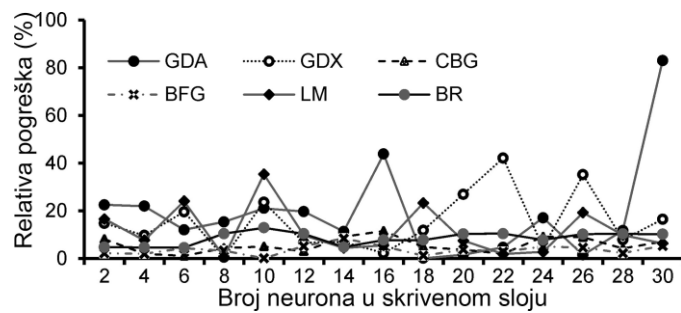
Ulazni sloj sastojao se od šest neurona koji su predstavljali godišnju potrošnju energije za svaki od šest ekonomskih sektora (industrija, promet, kućanstva, usluge, poljoprivreda i graditeljstvo) u razdoblju 1994. – 2013. Ulazni eksperimentalni podaci bili su normalizirani do srednje vrijednosti 0 i standardne devijacije 1. Iako većina neuronskih mreža može prihvatiti ulazne vrijednosti u bilo kojem rasponu, takvo normaliziranje provodi se uobičajeno jer se traži osjetljivost na ulazne podatke u znatno manjem rasponu. Izlazni sloj sastojao se od pet neurona koji su predstavljali emisije svakog od pet stakleničkih plinova odnosno njihovih

prethodnika (CO_2 , CO , NO_x , NMHOS i SO_2) u istom razdoblju, te su bili uspoređeni s dostupnim podacima za emisije stakleničkih plinova.

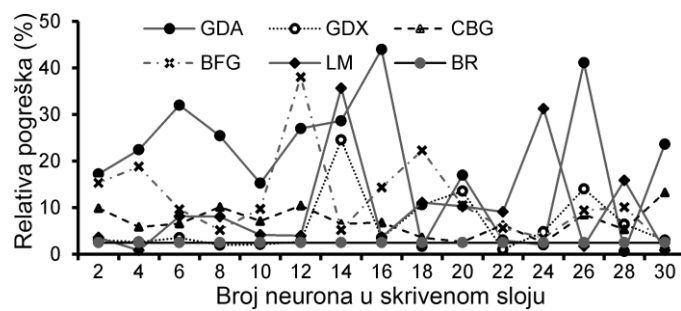
Rezultati su prikazani na slikama 27 – 31.



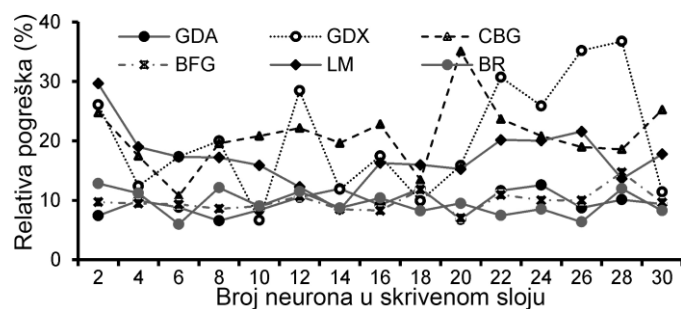
Slika 27. Broj neurona u skrivenom sloju za CO_2



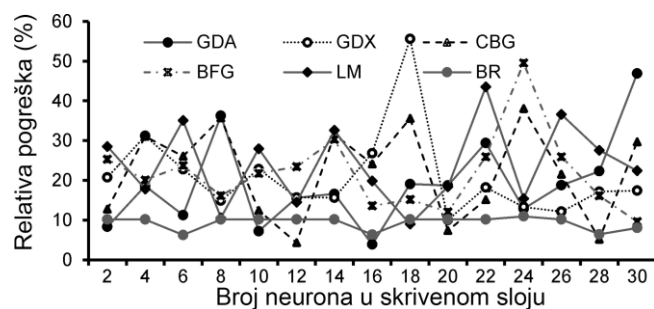
Slika 28. Broj neurona u skrivenom sloju za NO_x



Slika 29. Broj neurona u skrivenom sloju za CO



Slika 30. Broj neurona u skrivenom sloju za NMHOS



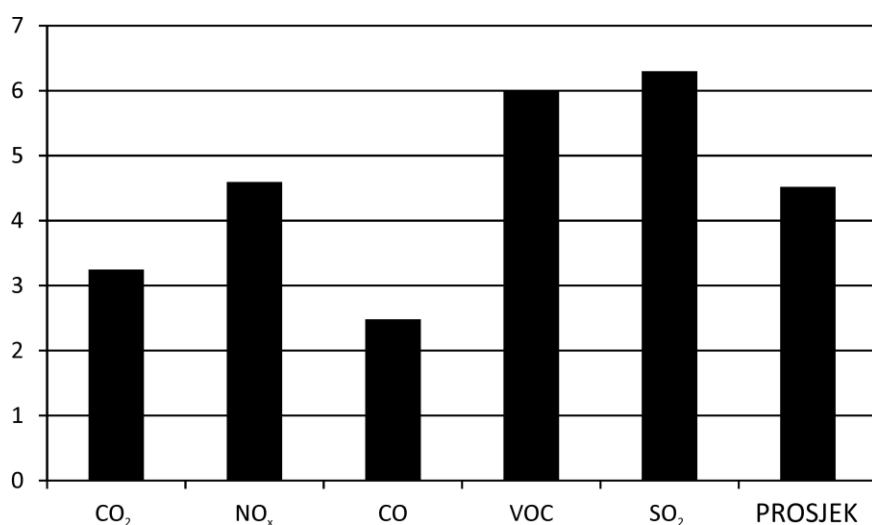
Slika 31. Broj neurona u skrivenom sloju za SO₂

Može se primijetiti kako algoritmi za treniranje koji koriste informacije prvog reda često zapnu u lokalnim minimumima što ukazuje na nestabilnost postupka treniranja. To se može dokazati činjenicom da GDA-algoritam pokazuje vrlo velike minimalne relativne pogreške za svaku pojedinu emisiju stakleničkih plinova (u prosjeku 1,90 %), ali pri različitom broju neurona u skrivenom sloju za različite stakleničke plinove (20 za CO₂; 18 za NO_x; 26 za CO; 8 za NMHOS i 16 za SO₂). U isto vrijeme, prosječna relativna pogreška za GDA za sve stakleničke plinove i preko čitavog istraživanog raspona broja neurona u skrivenom sloju (2 do 30) bila je čak 15,36 %. Nadalje, validiranje modela je u svim slučajevima provedeno na skupu od samo četiri uzastopne godine. Sve te činjenice mogu ukazivati na to da je vrlo vjerojatno došlo do pretreniranja. Validiranje s većim skupom podataka vjerojatno bi rezultiralo većom pogreškom kao posljedicom smanjenja skupa podataka za treniranje.

Isti se zaključak može donijeti za GDX-algoritam koji se također temelji na podacima prvog reda. Dakako, implementacija varijabilne stope učenja doista je doprinijela nekim poboljšanjima i promatrani lokalni minimumi bili su nešto plići (vrijednosti nisu bile niže od 2,27 % u ekstremnim slučajevima).

S druge strane, algoritmi CGB, BFG i LM korišteni za treniranje temeljeni su na podacima drugog reda i promatrane prosječne vrijednosti relativnih pogrešaka za sve

stakleničke plinove i preko čitavog istraživog raspona broja neurona u skrivenom sloju (2 do 30) bile su 11,45 %, 11,05 % i 10,21 %. Podaci drugog reda donijeli su veću stabilnost u postupak treniranja, ali je ostala nekonzistentnost s obzirom na pronalaženje optimalnog broja neurona u skrivenom sloju. Uvođenjem regulariziranja srednjeg kvadratnog odstupanja, jednadžba (13), postupak treniranja postao je iznimno stabilan što je vrlo važno za naknadnu ekstrapolaciju. To se može potkrijepiti npr. činjenicom da je najmanja relativna pogreška predviđanja emisija svih stakleničkih plinova utvrđena upravo za šest neurona u skrivenom sloju. Sažetak rezultata validacije modela prikazan je na slici 32. Slijedom navedenog, svi daljnji izračuni provedeni su korištenjem LM-BR-metodologijom za treniranje mreže i sa šest neurona u skrivenom sloju.



Slika 32. Rezultati validacije modela po svakom pojedinom stakleničkom plinu te prosjek za sve plinove

3.2.1. Projekcije neposredne potrošnje energije u RH do 2030.

Kao polazna točka za razvoj projekcije neposredne potrošnje energije korištena je Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske³⁹ iz 2009., temeljena na podacima iz 2006. U Strategiji su predstavljena dva razvojna scenarija, temeljna projekcija neposredne potrošnje energije, odnosno BAU-scenarij i tzv. održivi scenarij kretanja neposredne potrošnje energije.

Strategija u navedenim scenarijima predviđa potrošnju energije koja je znatno veća od realne, odnosno od one koja je ostvarena zadnjih godina. Glavni uzrok tome je gospodarska recesija s početkom u 2009. koja je rezultirala snažnim padom gospodarskih aktivnosti, a time i smanjenjem neposredne potrošnje energije. Usporedba stope porasta potrošnje iz Strategije i

realnih podataka iz 2013. jasno ukazuje na negativne trendove u svim sektorima gospodarstva, a posebno se to odnosi na sektor industrije. Stoga se ukazala potreba za razvojem novih scenarija koji će biti bliži realnom stanju gospodarstva.

Primjena mjera energetske učinkovitosti prema Strategiji³⁹ dovest će do tzv. Održivog scenarija u kojem je smanjena neposredna potrošnja energije i ostvaruju se realnije vrijednosti prosječnih godišnjih stopa rasta potrošnje energije po sektorima. Pod pretpostavkom da će udio svakog od sektora u razdoblju 2016. – 2030. ostati otprilike jednak sadašnjem i s pretpostavljenim porastom BDP-a, te s primjenom mjera energetske učinkovitosti, predviđeno je smanjenje neposredne potrošnje energije od 20 % u Održivom scenariju u odnosu na temeljnu projekciju BAU iz Strategije. Razlozi takvog umanjenja nalaze se u revidiranim projekcijama iz 2013. koje su usvojene u Nacionalnom akcijskom planu za obnovljive izvore energije do 2020.¹⁶¹ U tom dokumentu gospodarski oporavak kao i s tim povezana neposredna potrošnja energije počinje još 2013. i predviđa se za čitavo razdoblje do 2020. sa stopama rasta za sve gospodarske sektore od 1,8 %.

U stvarnosti se takve projekcije nisu ostvarile, jer je u 2013. zabilježen daljnji pad BDP-a u iznosu od 1,1 %, te se kriza nastavila i u 2014. s padom BDP-a od 0,5 %. Gospodarski oporavak započeo je tek 2015. s rastom od 1,6 % koji se nastavio i u 2016. s rastom od 2,9 %.¹⁶² Za sljedeće razdoblje u ovom radu predviđena je stopa rasta BDP-a od 3,5 % za 2017. i 2018., 4,0 % za 2019. i 2020., od 4,5% za razdoblje od 2021. – 2027. te 4,4 % za razdoblje 2028. – 2030. Pretpostavljajući elastičnost porasta neposredne potrošnje energije i BDP-a od 0,61 za 2015., 0,56 za 2016. – 2022. i 0,47 za razdoblje 2023. – 2030., procijenjena je prosječna godišnja stopa rasta neposredne potrošnje energije od 2,1 %, što se podudara s 20 %-tnim smanjenjem u odnosu na već ranije smanjene vrijednosti iskazane u temeljnoj projekciji BAU-scenarija (2,7 %). Na temelju tako izračunate prosječne stope porasta neposredne potrošnje energije za oba korigirana scenarija odabrana je metoda linearne ekstrapolacije trenda neposredne potrošnje energije za razdoblje 2014. – 2030. Metoda predviđa linearni porast potrošnje po procijenjenoj godišnjoj stopi porasta. Iznos neposredne potrošnje energije za promatranu godinu dobiva se kao umnožak prosječne godišnje stope i iznosa neposredne potrošnje energije iz prethodne godine.

3.2.2. Temeljna projekcija neposredne potrošnje energije (BAU scenarij iz Strategije energetskeg razvoja RH)

Temeljna projekcija neposredne potrošnje energije (engl. *Business As Usual*, BAU), pretpostavlja rast potrošnje koji je prepušten tržišnim kretanjima i potrošačkim navikama, bez državnih intervencija, ali uz pretpostavku uobičajene primjene novih, tehnološki naprednijih proizvoda kako se tijekom vremena pojavljuju na tržištu.³⁹

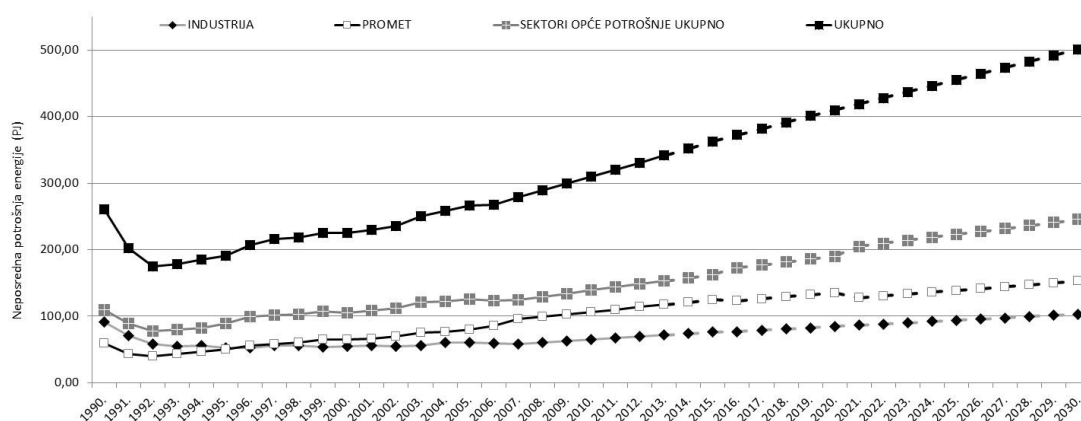
U temeljnoj projekciji iz Strategije energetskeg razvoja RH iz 2009. (BAU-scenarij) predviđena je neposredna potrošnja energije u RH do 2020., odnosno do 2030. U tablici 2. prikazane su projekcije neposredne potrošnje energije bazirane na podacima iz 2006., a predviđena stopa porasta bazirana je na tadašnjim optimističnim gospodarskim pokazateljima. Temeljna projekcija Strategije energetskeg razvoja do 2020. predviđa stope rasta neposredne potrošnje energije u sektoru industrije u iznosu od 2,6 %, u sektoru prometa u iznosu od 3,3 % i u sektorima opće potrošnje, koji se sastoji od podsektora kućanstva, usluga, poljoprivrede i graditeljstva, u iznosu od 3,1 %. S obzirom na navedeno, ukupna neposredna potrošnja energije u 2020. godini 409,60 PJ, a u 2030. godini 500,84 PJ.

Tablica 2. Projekcija neposredne potrošnje energije prema temeljnom BAU-scenariju iz Strategije energetskeg razvoja RH

PJ	2006.	Stopa porasta 2014. – 2020.	2020.	2030.
Industrija	58,86	1,026	84,43	103,09
Promet	85,63	1,033	135,22	152,59
Sektor opće potrošnje	123,4	1,031	189,95	245,16
Ukupno	267,89		409,60	500,84

S tim u vezi, na slici 33. prikazana je projekcija neposredne potrošnje energije prema temeljnom BAU-scenariju u tri glavna sektora: industriji, prometu i sektorima opće potrošnje kao i ukupna neposredna potrošnja energije po godinama počevši od 2014. do 2030. Punom crtom prikazane su vrijednosti neposredne potrošnje energije koje su izmjerene u razdoblju 1990. – 2013., a crtkanom linijom označene su projekcije neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2014. do 2030. prema temeljnom BAU-scenariju iz Strategije. Na slici 33. zamjetan je predloženi linearni uzlazni trend, odnosno konstantni porast u neposrednoj potrošnji energije u sva tri navedena sektora.

Temeljna projekcija (BAU) – Strategija energetskog razvoja RH



Slika 33. Projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. prema temeljnoj (BAU) projekciji iz Strategije energetskog razvoja RH

3.2.3. Održivi scenarij neposredne potrošnje energije iz Strategije energetskog razvoja RH

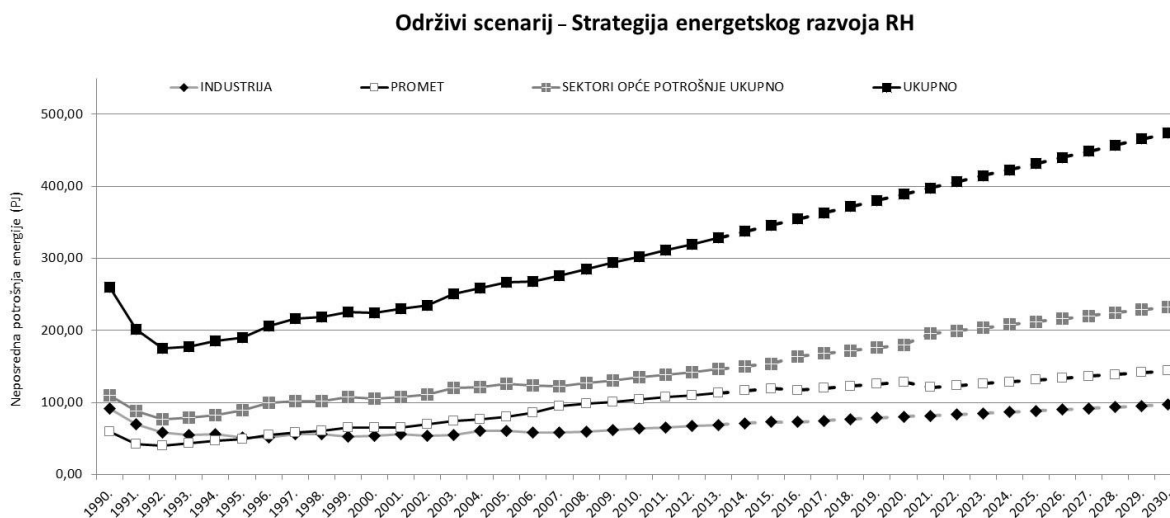
U održivom scenariju iz Strategije energetskog razvoja RH iz 2009. predviđena je neposredna potrošnja energije u RH do 2020., odnosno do 2030. U tablici 3. prikazane su projekcije neposredne potrošnje energije bazirane na podacima iz 2006., kao i predviđena stopa porasta neposredne potrošnje energije, bazirana na planiranom provođenju mjera energetske učinkovitosti koje rezultiraju smanjenjem potrošnje energije.

Tablica 3. Projekcija neposredne potrošnje energije prema održivom scenariju iz Strategije energetskog razvoja RH

PJ	2006.	Stopa porasta 2014. – 2020.	2020.	2030.
Industrija	58,86	1,022	80,32	97,11
Promet	85,63	1,029	128,54	144,04
Sektorima opće potrošnje	123,40	1,027	180,32	232,93
Ukupno	267,89		389,18	474,08

Održivi scenarij iz Strategije energetskog razvoja do 2020. predviđa stope rasta neposredne potrošnje energije u sektoru industrije u iznosu od 2,2 %, u sektoru prometa u iznosu od 2,9 % i u sektorima opće potrošnje u iznosu od 2,7 %. S obzirom na navedeno

ukupna neposredna potrošnja energije u 2020. godini iznosi 389,18 PJ, a u 2030. iznosi 474,08 PJ.



Slika 34. Projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. prema održivom scenariju iz Strategije energetskeg razvoja RH

S tim u vezi, na slici 34. prikazana je projekcija neposredne potrošnje energije prema održivom scenariju u tri glavna sektora: industriji, prometu i sektoru opće potrošnje kao i ukupna neposredna potrošnja energije po godinama počevši od 2014. do 2030. Punom crtom prikazane su vrijednosti neposredne potrošnje energije koje su izmjerene u razdoblju 1990. – 2013., a crtkanom linijom označene su projekcije neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2014. do 2030. prema održivom scenariju iz Strategije. Na slici 34., kao i kod BAU-scenarija, zamjetan je predloženi linearni uzlazni trend u iznosu nižem nego kod BAU-scenarija, odnosno konstantni porast u neposrednoj potrošnji energije u sva tri navedena sektora. U usporedbi s vrijednostima navedenima u temeljnom BAU-scenariju, vrijednosti neposredne potrošnje energije u održivom scenariju predstavljaju smanjenje potrošnje u iznosima od 20 PJ u 2020., odnosno od 26 PJ u 2030.

3.2.4. Korigirani BAU-scenarij

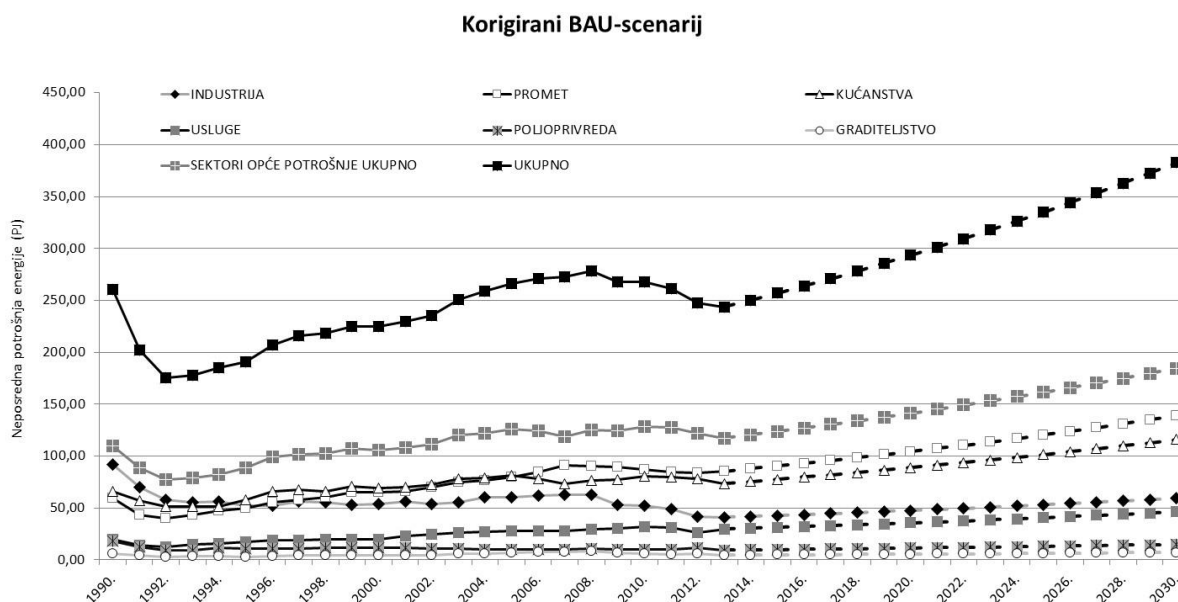
Usljed događaja koji su opisani u poglavlju 3.2.1., za potrebe ovog rada izrađen je korigirani BAU-scenarij, koji uzima u obzir stvarne podatke o neposrednoj potrošnji energije

u razdoblju nakon 2006. S obzirom na navedeno, u tablici 4. prikazani su iznosi neposredne potrošnje energije u 2013. s ukupnom neposrednom potrošnjom od 243,63 PJ.

Tablica 4. Stope porasta neposredne potrošnje energije za korigirani BAU-scenarij

PJ	2013.	Stopa porasta 2014. – 2020.	2020.	Stopa porasta 2021. – 2030.	2030.
Industrija	40,92	1,022	47,65	1,022	59,24
Promet	85,41	1,029	104,33	1,029	138,86
Kućanstva	73,66	1,027	88,76	1,027	115,86
Usluge	29,55	1,027	35,61	1,027	46,48
Poljoprivreda	9,49	1,027	11,44	1,027	14,93
Graditeljstvo	4,60	1,027	5,54	1,027	7,24
Ukupno	243,63		293,33		382,60

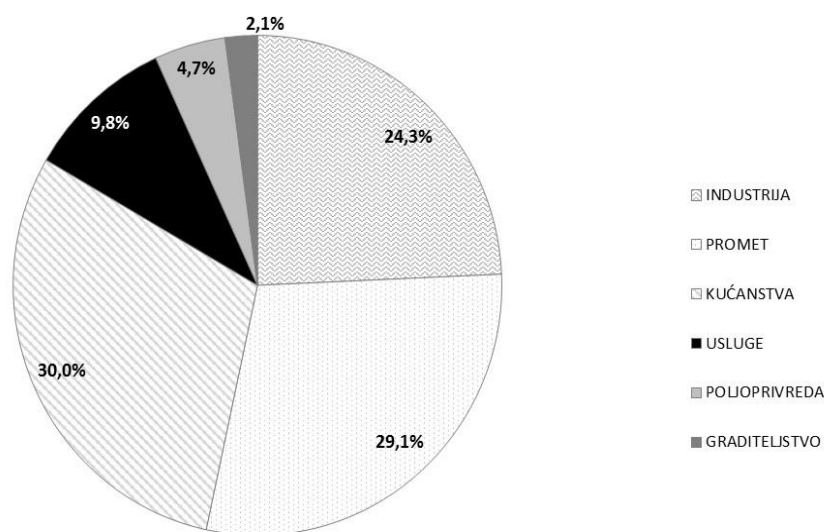
U tablici 4. prikazane su prosječne stope porasta neposredne potrošnje energije za korigirani BAU-scenarij za sve gospodarske sektore u razdoblju od 2014. do 2020. i od 2021. do 2030., kao i predviđeni iznosi neposredne potrošnje energije za 2020. i 2030. Prosječne stope porasta neposredne potrošnje energije za korigirani BAU-scenarij preuzete su iz Strategije za održivi scenarij. Prosječna stopa porasta za sektor industrije iznosi 2,2 %, za sektor prometa 2,9 %. Prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje koji se sastoji od podsektora kućanstva, usluga, poljoprivrede i graditeljstva, iznosi 2,7 %.



Slika 35. Projekcija neposredne potrošnje energije po korigiranom BAU-scenariju

Na slici 35. prikazana je projekcija neposredne potrošnje energije za korigirani BAU-scenarij u razdoblju do 2030. Punom crtom prikazane su vrijednosti neposredne potrošnje energije koje su izmjerene u razdoblju 1990. – 2013., a crtkanom linijom označene su projekcije neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2014. do 2030.

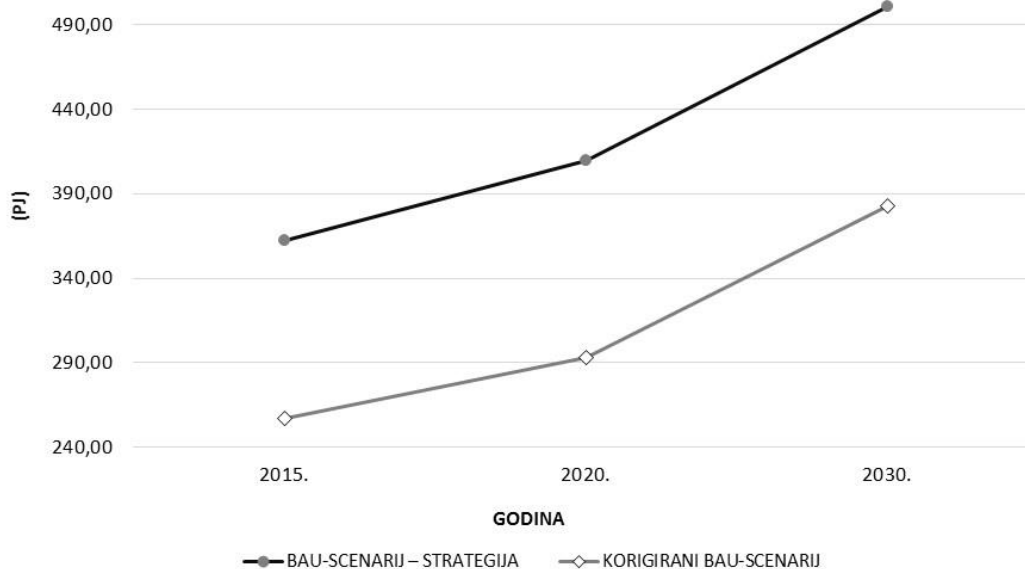
U razdoblju od 1990. pa sve do izbijanja gospodarske krize 2009. udio pojedinih sektora u ukupnoj neposrednoj potrošnji mijenjao se na način da se smanjivao udio sektora industrije, a da je rastao udio prometa i sektora opće potrošnje, posebno podsektora kućanstava. Tako je npr. prosječni udio pojedinih sektora u neposrednoj potrošnji 1990. udio industrije iznosio oko 35 %, udio sektora prometa bio je 23 %, a udio sektora opće potrošnje iznosio je tada 42 %. Još 2006. kada je rađena važeća Strategija taj se udio kretao na način da je sektor industrije činio 23 %, promet 31 %, a sektor opće potrošnje činio je 46 %. Kada bi se uzeo prosjek za razdoblje 1990. – 2014. ti bi udjeli iznosili: industrija 22,5 %, promet 30,3 %, kućanstva 30,4 %, usluge 10,2 %, poljoprivreda 4,5 % i graditeljstvo 2,1 %, kako je prikazano na slici 36.



Slika 36. Prosječni udio pojedinih sektora u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije u razdoblju 1990. – 2014.

Na slici 37. prikazana je usporedba iznosa ukupne neposredne potrošnje energije za temeljni BAU-scenarij kako je to bilo određeno u važećoj Strategiji s korigiranim BAU-scenarijem. U početnoj 2015. određene su vrijednosti neposredne potrošnje energije za temeljni BAU-scenarij iz Strategije u iznosu od 362,75 PJ; za korigirani BAU-scenarij iznos je isti, tj. 256,90 PJ. Za 2020. za temeljni BAU-scenarij neposredna potrošnja energije iznosi

409,60 PJ, a za korigirani BAU-scenarij iznos je 293,33 PJ. Za 2030. za temeljni BAU-scenarij neposredna potrošnja energije iznosi 500,84 PJ, dok za korigirani BAU-scenarij neposredna potrošnja energije iznosi 382,60 PJ.



Slika 37. Projekcija ukupne neposredne potrošnje energije prema temeljnom BAU-scenariju i korigiranom BAU-scenariju

3.2.5. Korigirani održivi scenarij

Korigirani održivi scenarij razvoja neposredne potrošnje energije jest scenarij putem kojega se ispunjavaju ciljevi nove Strategije energetske razvoja Hrvatske uzimajući u obzir smanjenja potrošnje uslijed gospodarske krize. Smanjenja potrošnje ubuduće će biti posljedica i predloženih mjera energetske politike, a tu se prvenstveno misli na poticanje mjera energetske učinkovitosti, primijenjenih kao državna intervencija u odnosu na temeljni BAU-scenarij. Održivi scenarij je, dakle, željena izvedenica temeljne projekcije neposredne potrošnje energije nakon što se primjene mjere:

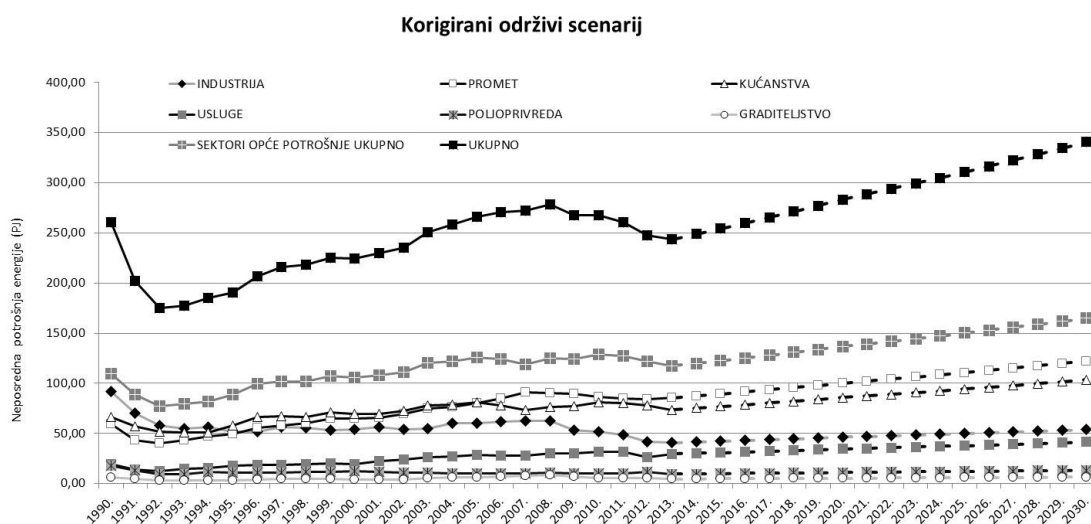
- povećanja energetske učinkovitosti u neposrednoj potrošnji energije;
- povećanja udjela obnovljivih izvora energije i drugih poticanih promjena strukture u odnosu na temeljnu projekciju korištenih energijskih oblika;
- primjene distribuiranih izvora energije.

U korigiranom održivom scenariju stope porasta su s obzirom na protekla i trenutna gospodarska kretanja (recesiju) smanjene za 20 % za razdoblje do 2020., te za 30 % za razdoblje od 2021. – 2030. u odnosu na stope za korigirani BAU-scenarij.

Tablica 5. Stope porasta neposredne potrošnje energije za korigirani održivi scenarij

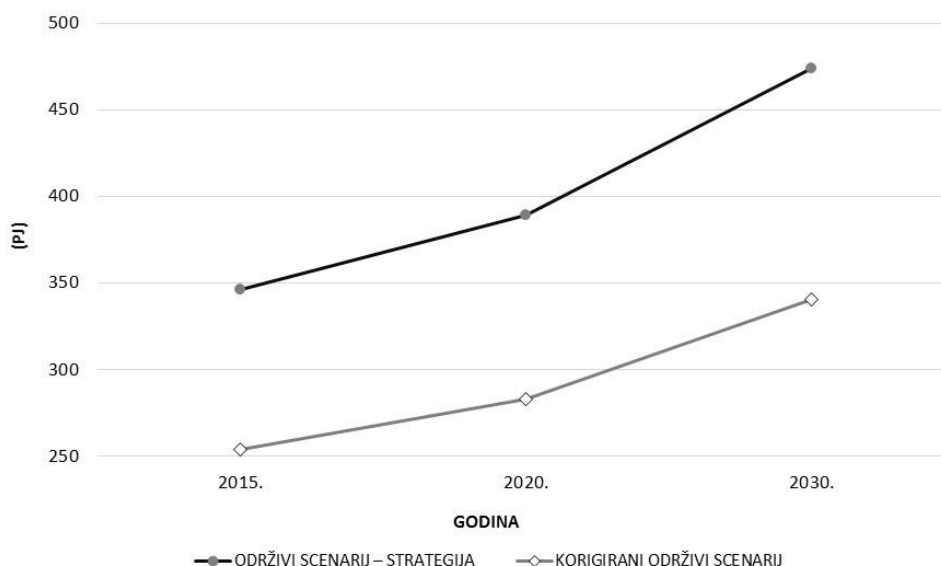
PJ	2013.	Stopa porasta 2014. – 2020.	2020.	Stopa porasta 2021. – 2030.	2030.
Industrija	40,92	1,018	46,36	1,015	53,81
Promet	85,41	1,023	100,15	1,02	122,08
Kućanstva	73,66	1,022	85,78	1,019	103,55
Usluge	29,55	1,022	34,41	1,019	41,54
Poljoprivreda	9,49	1,022	11,05	1,019	13,34
Graditeljstvo	4,60	1,022	5,36	1,019	6,47
Ukupno	243,63		283,11		340,78

U tablici 4. prikazane su prosječne stope porasta potrošnje za sve gospodarske sektore u razdoblju od 2014. do 2020. i od 2021. do 2030., kao i predviđeni iznosi neposredne potrošnje energije za 2020. i 2030. za korigirani održivi scenarij. Predviđeno je da će u razdoblju do 2020. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznositi 1,8 %, za sektor prometa 2,3 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje iznositi 2,2 %. U razdoblju 2021. – 2030. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznositi će 1,5 %, a za sektor prometa 2 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje iznositi 1,9 %.



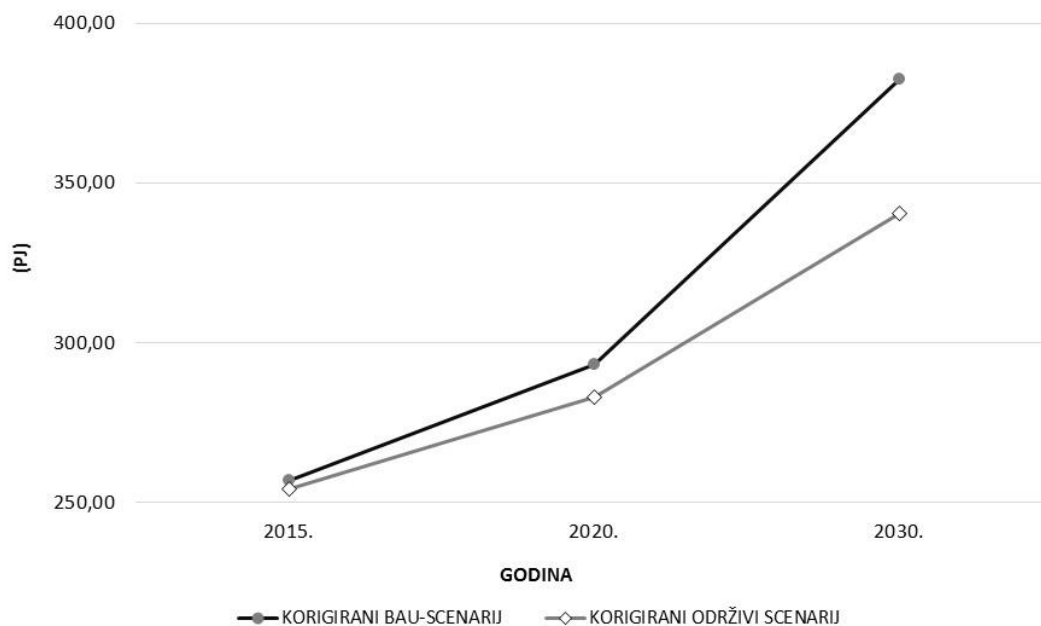
Slika 38. Projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. za korigirani održivi scenarij

Na slici 38. prikazana je projekcija neposredne potrošnje energije za korigirani održivi scenarij u razdoblju do 2030. Punom crtom prikazane su vrijednosti neposredne potrošnje energije koje su izmjerene u razdoblju 1990. – 2013., a crtkanom linijom označene su projekcije neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2014. do 2030.



Slika 39. Projekcija ukupne neposredne potrošnje energije prema održivom scenariju iz Strategije i korigiranom održivom scenariju od 2015. do 2020. i do 2030.

Nakon usporedbe projekcija neposredne potrošnje energije u održivom scenariju iz Strategije i korigiranog održivog scenarija za 2015., 2020. i 2030. na slici 39. razvidno je da projekcija korigiranog održivog scenarija prikazuje nižu potrošnju energije od one koja je bila izvorno prezentirana u Strategiji. Niža potrošnja energije posljedica je primjene smanjene stope porasta potrošnje koja je nastala kao produkt prvenstveno gospodarske krize, a dijelom i povećanja energetske učinkovitosti. U početnoj 2015. za održivi scenarij iz Strategije neposredna potrošnja energije iznosila bi 346,01 PJ, za 2020. godinu iznosila bi 389,18 PJ, a za 2030. godinu iznosila bi 474,08 PJ. Za korigirani održivi scenarij predviđeno je da bi neposredna potrošnja energije u 2015. uslijed niže stope porasta iznosila 254,31 PJ, u 2020. godini 283,11 PJ, a u 2030. iznosila bi 340,78 PJ.



Slika 40. Projekcija ukupne neposredne potrošnje energije prema korigiranom BAU-scenariju i korigiranom održivom scenariju od 2015. do 2020. i do 2030.

Na slici 40. prikazane su usporedno projekcije ukupne neposredne potrošnje energije prema korigiranom BAU-scenariju i korigiranom održivom scenariju od 2015. do 2020. i do 2030. Iznos neposredne potrošnje energije u 2015. za korigirani BAU-scenarij bio bi 256,90 PJ, u 2020. iznosio bi 293,33 PJ, a za 2030. neposredna potrošnja energije bila bi 382,60 PJ. Za korigirani održivi scenarij neposredna potrošnja energije u 2015. iznosila bi 254,31 PJ, za 2020. godinu 283,11 PJ, a za 2030. bila bi 340,78 PJ.

Ukoliko se usporede projekcije za korigirani BAU-scenarij i korigirani održivi scenarij, kako je to prikazano na slici 40., razvidno je da je razlika u neposrednoj potrošnji energije manja nego kod temeljnog BAU-scenarija i održivog scenarija u Strategiji, koja je ranije prikazana na slici 5. Pretpostavka je da će 2015. neposredna potrošnja energije u oba korigirana scenarija biti jednaka (razlika je samo 2,6 PJ), a da će se razlika u potrošnji početi nazirati tek u 2020. kada bi iznosila 10,2 PJ, dok bi u 2030. razlika iznosila 41,8 PJ. Za usporedbu, razlika u projekcijama u neposrednoj potrošnji energije između temeljne BAU projekcije i održivog scenarija iz Strategije iznosila je za 2015. godinu 16,7 PJ, u 2020. godini bila bi 20,4 PJ, a u 2030. godini 26,7 PJ.

3.2.6. Podvarijante korigiranog održivog scenarija

Pored dva osnovna korigirana scenarija neposredne potrošnje energije: korigiranog BAU-scenarija i korigiranog održivog scenarija, a s ciljem utvrđivanja učinaka mogućih varijacija u projekcijama neposredne potrošnje energije na kretanje emisije stakleničkih plinova, u ovom su radu dodatno kreirane i četiri podvarijante korigiranog održivog scenarija s pretpostavljenim odstupanjima u neposrednoj potrošnji energije u rasponu od $\pm 20\%$, i to:

- podvarijanta 1 – predstavlja povećanje neposredne potrošnje energije za 20 % u odnosu na korigirani održivi scenarij;
- podvarijanta 2 – predstavlja povećanje neposredne potrošnje energije za 10 % u odnosu na korigirani održivi scenarij;
- podvarijanta 3 – predstavlja smanjenje neposredne potrošnje energije za 10 % u odnosu na korigirani održivi scenarij;
- podvarijanta 4 – predstavlja smanjenje neposredne potrošnje energije za 20 % u odnosu na korigirani održivi scenarij.

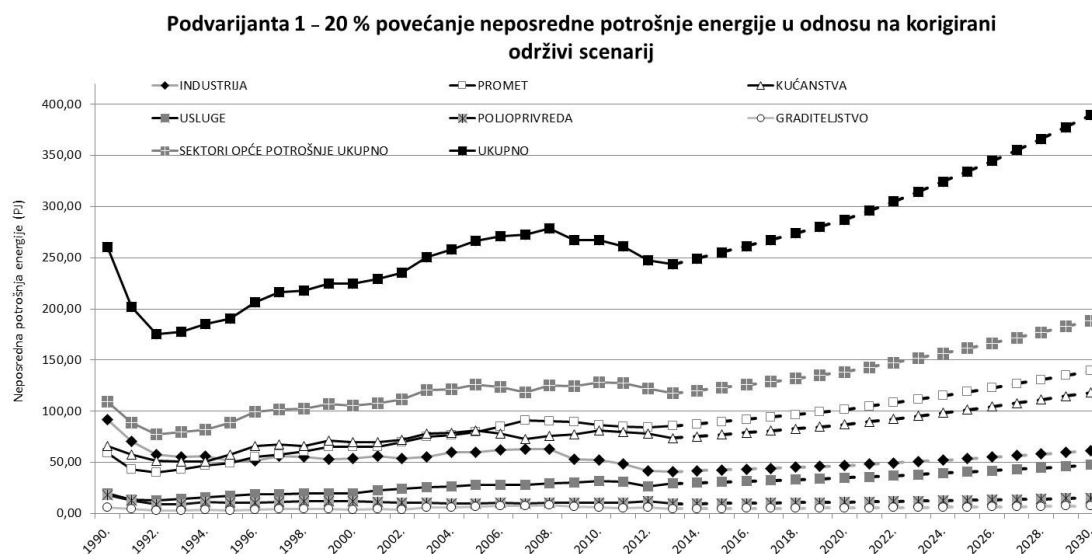
Podvarijanta 1

Tablica 6. Stope porasta neposredne potrošnje energije za podvarijantu 1 – povećanje neposredne potrošnje energije za 20 % u odnosu na korigirani održivi scenarij

PJ	2013.	Stopa porasta 2014. – 2020.	2020.	Stopa porasta 2021. – 2030.	2030.
Industrija	40,92	1,020	47,02	1,027	61,48
Promet	85,41	1,025	101,56	1,032	139,48
Kućanstva	73,66	1,024	86,99	1,031	118,31
Usluge	29,55	1,024	34,90	1,031	47,46
Poljoprivreda	9,49	1,024	11,21	1,031	15,24
Graditeljstvo	4,60	1,024	5,43	1,031	7,39
Ukupno	243,63		287,10		389,36

U tablici 6. prikazane su prosječne stope porasta potrošnje za sve gospodarske sektore u razdoblju od 2014. do 2020. i od 2021. do 2030., kao i predviđeni iznosi neposredne potrošnje energije za 2020. i 2030. za podvarijantu 1 – povećanje neposredne potrošnje energije za 20 % u odnosu na korigirani održivi scenarij. U podvarijanti 1 predviđeno je da će u razdoblju do 2020. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznositi 2,0 %, za sektor prometa 2,5 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje iznositi 2,4 %. U

razdoblju od 2021. – 2030. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznosit će 2,7 %, a za sektor prometa 3,2 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje iznositi 3,1 %.



Slika 41. Projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. za podvarijantu 1 korigiranog održivog scenarija

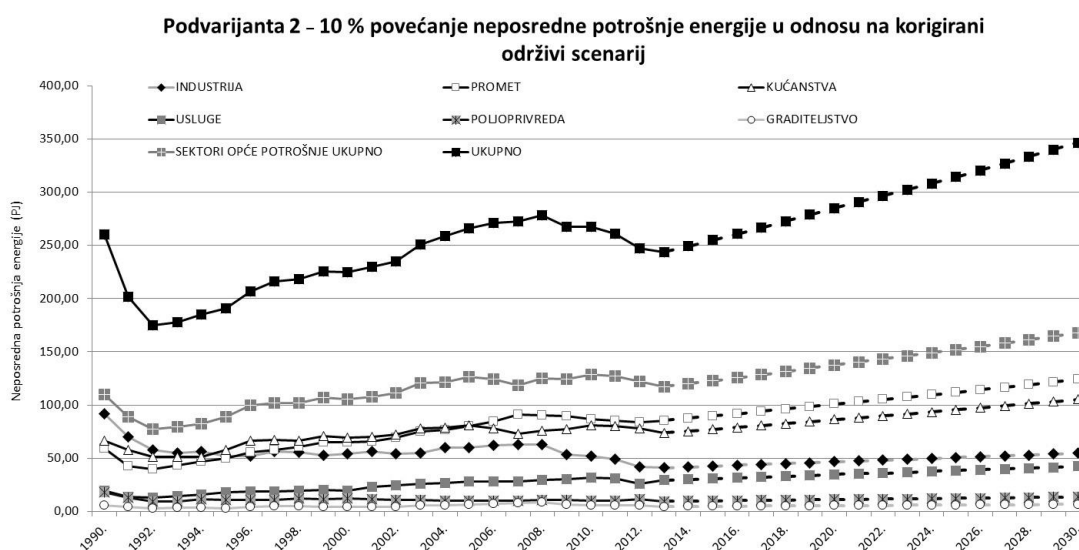
Na slici 41. prikazana je projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. za podvarijantu 1 korigiranog održivog scenarija. Punom crtom prikazane su vrijednosti neposredne potrošnje energije koje su izmjerene u razdoblju 1990. – 2013., a crtkanom linijom označene su projekcije neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2014. do 2030.

Podvarijanta 2

Tablica 7. Stope porasta neposredne potrošnje energije za podvarijantu 2 – povećanje neposredne potrošnje energije za 10 % u odnosu na korigirani održivi scenarij

PJ	2013.	Stopa porasta 2014. – 2020.	2020.	Stopa porasta 2021. – 2030.	2030.
Industrija	40,92	1,019	46,68	1,016	54,72
Promet	85,41	1,024	100,83	1,021	124,15
Kućanstva	73,66	1,023	86,37	1,020	105,30
Usluge	29,55	1,023	34,65	1,020	42,24
Poljoprivreda	9,49	1,023	11,13	1,020	13,57
Graditeljstvo	4,60	1,023	5,39	1,020	6,58
Ukupno	243,63		285,06		346,56

U tablici 7. prikazane su prosječne stope porasta potrošnje za sve gospodarske sektore u razdoblju od 2014. do 2020. i od 2021. do 2030., kao i predviđeni iznosi neposredne potrošnje energije za 2020. i 2030. za podvarijantu 2 – povećanje neposredne potrošnje energije za 10 % u odnosu na korigirani održivi scenarij. U podvarijanti 2 predviđeno je da će u razdoblju do 2020. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznositi 1,9 %, za sektor prometa 2,4 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje iznositi 2,3 %. U razdoblju od 2021. – 2030. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznositi će 1,6 %, a za sektor prometa 2,1 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje iznositi 2,0 %.



Slika 42. Projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. za podvarijantu 2 korigiranog održivog scenarija

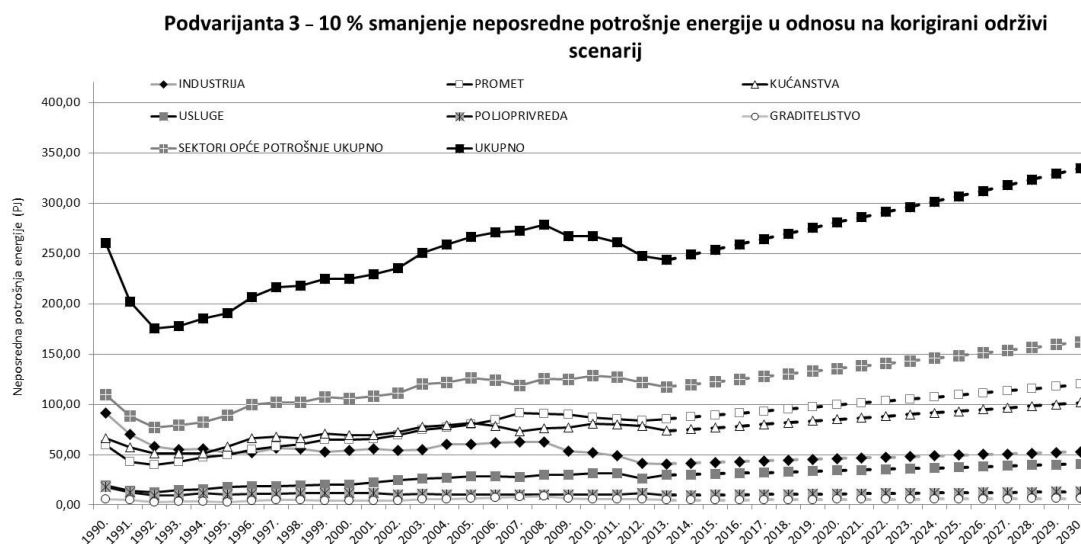
Na slici 42. prikazana je projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. za podvarijantu 2 korigiranog održivog scenarija. Punom crtom prikazane su vrijednosti neposredne potrošnje energije koje su izmjerene u razdoblju 1990. – 2013., a crtkanom linijom označene su projekcije neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2014. do 2030.

Podvarijanta 3

Tablica 8. Stope porasta neposredne potrošnje energije za podvarijantu 3 – smanjenje neposredne potrošnje energije za 10 % u odnosu na korigirani održivi scenarij

PJ	2013.	Stopa porasta 2014. – 2020.	2020.	Stopa porasta 2021. – 2030.	2030.
Industrija	40,92	1,017	46,04	1,014	52,90
Promet	85,41	1,022	99,45	1,019	120,02
Kućanstva	73,66	1,021	85,18	1,018	101,80
Usluge	29,55	1,021	34,17	1,018	40,84
Poljoprivreda	9,49	1,021	10,97	1,018	13,12
Graditeljstvo	4,60	1,021	5,32	1,018	6,36
Ukupno	243,63		281,14		335,03

U tablici 8. prikazane su prosječne stope porasta potrošnje za sve gospodarske sektore u razdoblju od 2014. do 2020. i od 2021. do 2030., kao i predviđeni iznosi neposredne potrošnje energije za 2020. i 2030. za podvarijantu 3 – smanjenje neposredne potrošnje energije za 10 % u odnosu na korigirani održivi scenarij. U podvarijanti 3 predviđeno je da će u razdoblju do 2020. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznositi 1,7 %, za sektor prometa 2,2 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje, iznositi 2,1 %. U razdoblju 2021. – 2030. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznositi će 1,4 %, a za sektor prometa 1,9 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje iznositi 1,8 %.



Slika 43. Projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. za podvarijantu 3 korigiranog održivog scenarija

Na slici 43. prikazana je projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. za podvarijantu 3 korigiranog održivog scenarija. Punom crtom prikazane su vrijednosti neposredne potrošnje energije koje su izmjerene u razdoblju 1990. – 2013., a crtkanom linijom označene su projekcije neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2014. do 2030.

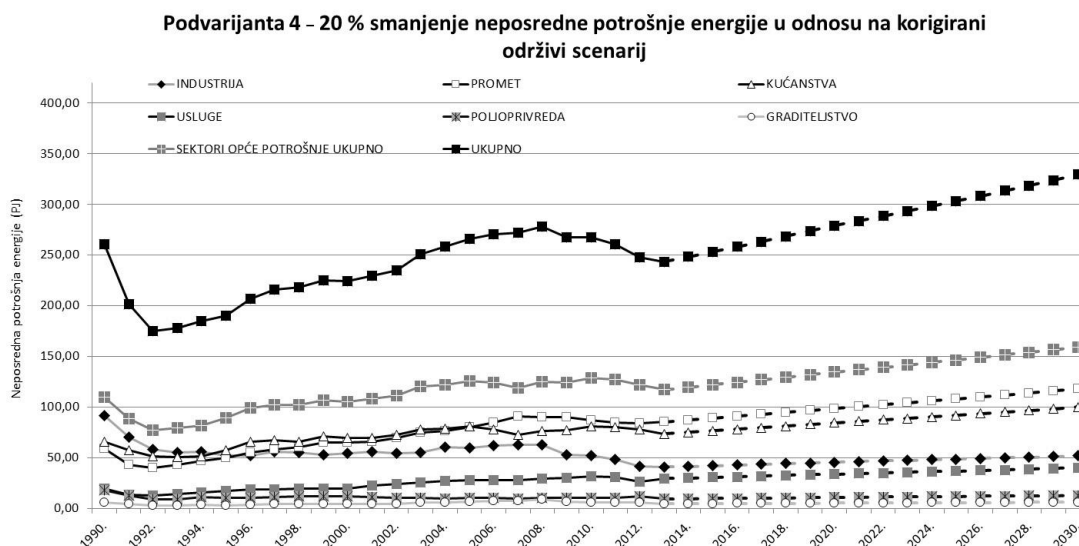
Podvarijanta 4

Tablica 9. Stope porasta neposredne potrošnje energije za podvarijantu 4 – smanjenje neposredne potrošnje energije za 20 % u odnosu na korigirani održivi scenarij

PJ	2013.	Stopa porasta 2014. – 2020.	2020.	Stopa porasta 2021. – 2030.	2030.
Industrija	40,92	1,016	45,72	1,013	52,01
Promet	85,41	1,021	98,75	1,018	117,99
Kućanstva	73,66	1,020	84,59	1,017	100,08
Usluge	29,55	1,020	33,93	1,017	40,15
Poljoprivreda	9,49	1,020	10,90	1,017	12,89
Graditeljstvo	4,60	1,020	5,28	1,017	6,25
Ukupno	243,63		279,17		329,37

U tablici 9. prikazane su prosječne stope porasta potrošnje za sve gospodarske sektore u razdoblju od 2014. do 2020. i od 2021. do 2030., kao i predviđeni iznosi neposredne

potrošnje energije za 2020. i 2030. za podvarijantu 4 – smanjenje neposredne potrošnje energije za 20 % u odnosu na korigirani održivi scenarij. U podvarijanti 4 predviđeno je da će u razdoblju do 2020. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznositi 1,6 %, za sektor prometa 2,1 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje iznositi 2,0 %. U razdoblju od 2021. – 2030. prosječna stopa porasta za sektor industrije iznositi će 1,3 %, a za sektor prometa 1,8 %, dok će prosječna stopa porasta za sektor opće potrošnje iznositi 1,7 %.



Slika 44. Projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. za podvarijantu 4 korigiranog održivog scenarija

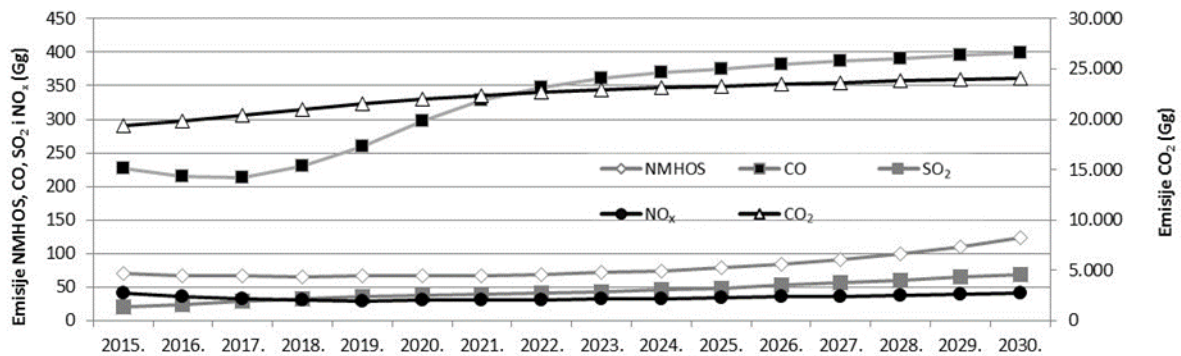
Na slici 44. prikazana je projekcija neposredne potrošnje energije po sektorima do 2030. za podvarijantu 4 korigiranog održivog scenarija. Punom crtom prikazane su vrijednosti neposredne potrošnje energije koje su izmjerene u razdoblju od 1990. – 2013., a crtkanom linijom označene su projekcije neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2014. do 2030.

3.3. PRIMJENA MODELA UMJETNIH NEURONSKIH MREŽA

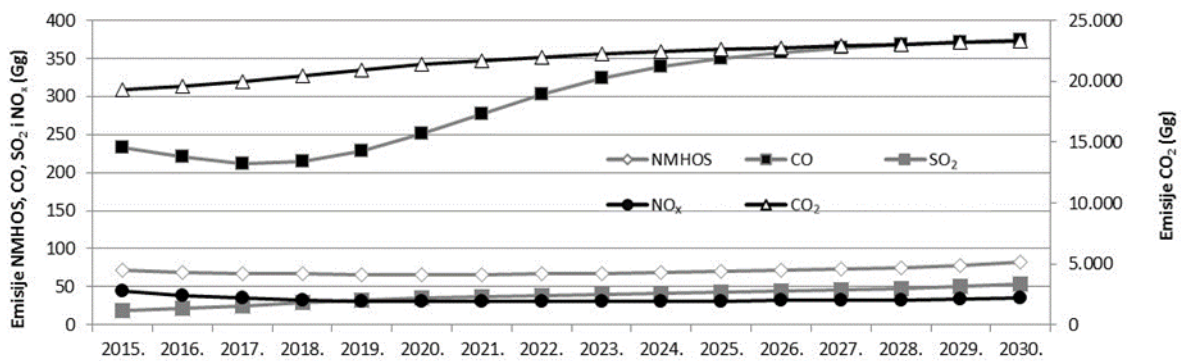
Za predviđanje emisija stakleničkih plinova korištene su prethodno razvijene troslojne neuronske mreže s unaprednim vezama. Ulazni sloj sastojao se od šest neurona koji su predstavljali godišnju potrošnju energije za svaki od šest ekonomskih sektora (industrija, promet, kućanstva, usluge, poljoprivreda i graditeljstvo) u razdoblju 1994. – 2013. Ulazni eksperimentalni podaci bili su normalizirani do srednje vrijednosti 0 i standardne devijacije 1. Iako većina neuronskih mreža može prihvatiti ulazne vrijednosti u bilo kojem rasponu, takvo

normaliziranje provodi se uobičajeno jer se traži osjetljivost na ulazne podatke u znatno manjem rasponu. Izlazni sloj sastojao se od pet neurona koji su predstavljali emisije svakog od pet stakleničkih plinova odnosno njihovih prethodnika (CO_2 , CO, NO_x , NMHOS i SO_2) u istom razdoblju, te su bili uspoređeni s dostupnim podacima za emisije stakleničkih plinova.

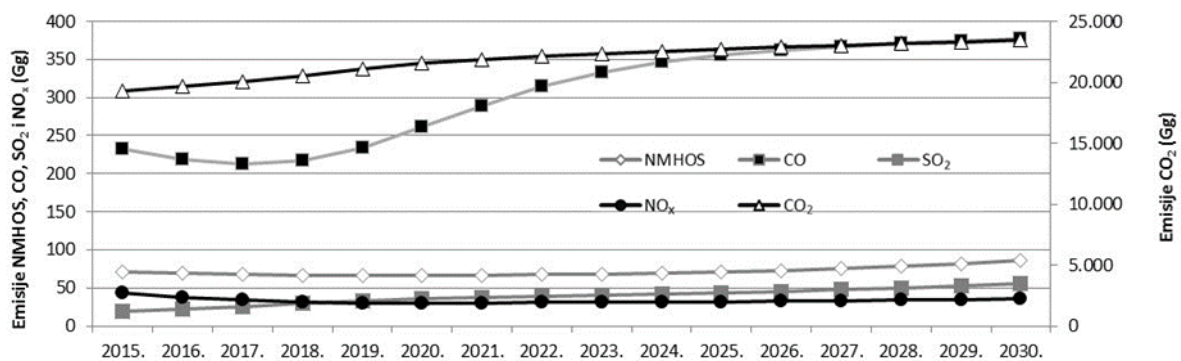
4. REZULTATI



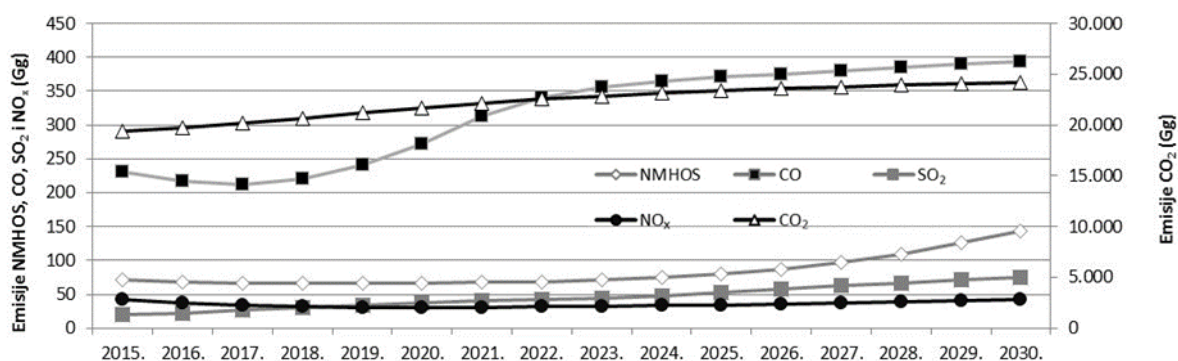
Slika 45. Projekcija emisija stakleničkih plinova prema korigiranom BAU-scenariju



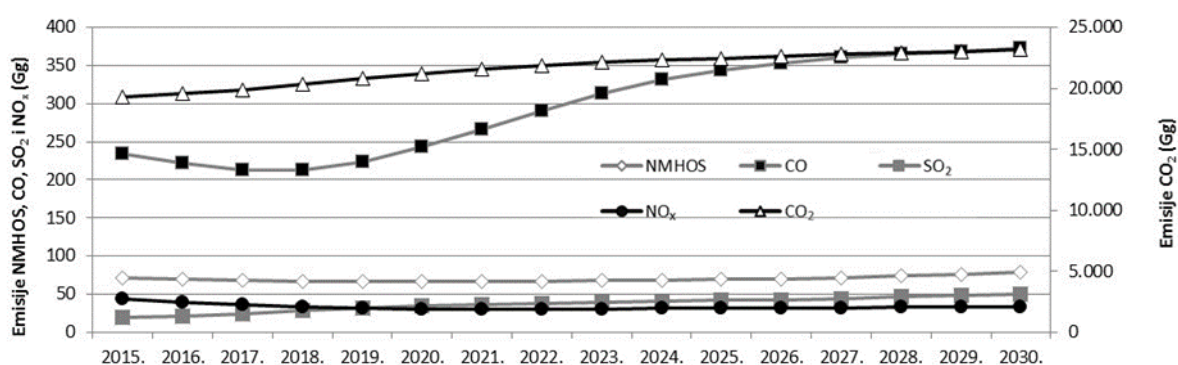
Slika 46. Projekcija emisija stakleničkih plinova prema korigiranom održivom scenariju



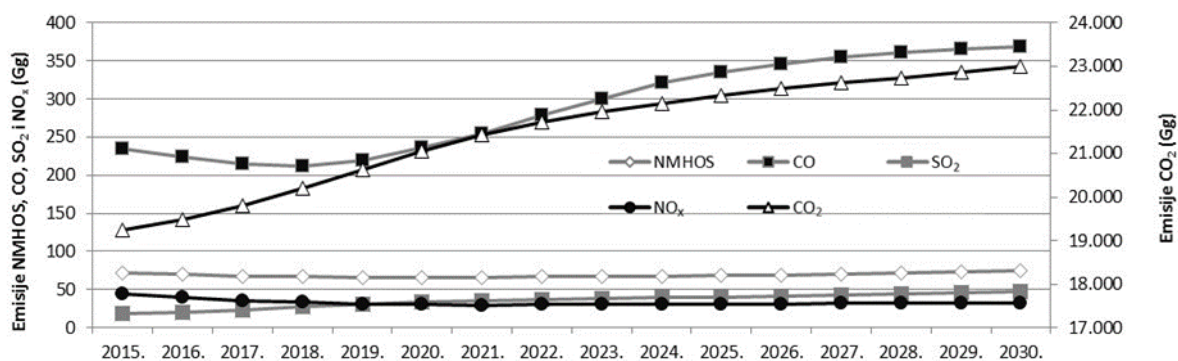
Slika 47. Projekcija emisija stakleničkih plinova prema korigiranom održivom scenariju Podvarijanta 1 – povećanje potrošnje energije prema korigiranom održivom scenariju za 20 %



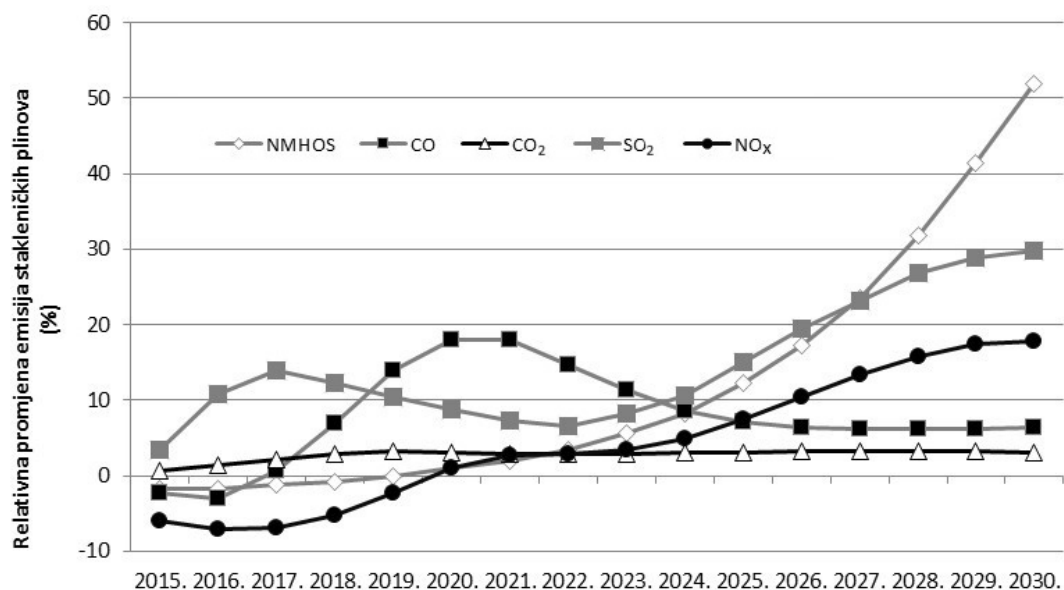
Slika 48. Projekcija emisija stakleničkih plinova prema korigiranom održivom scenariju Podvarijanta 2 – povećanje potrošnje energije prema korigiranom održivom scenariju za 10 %



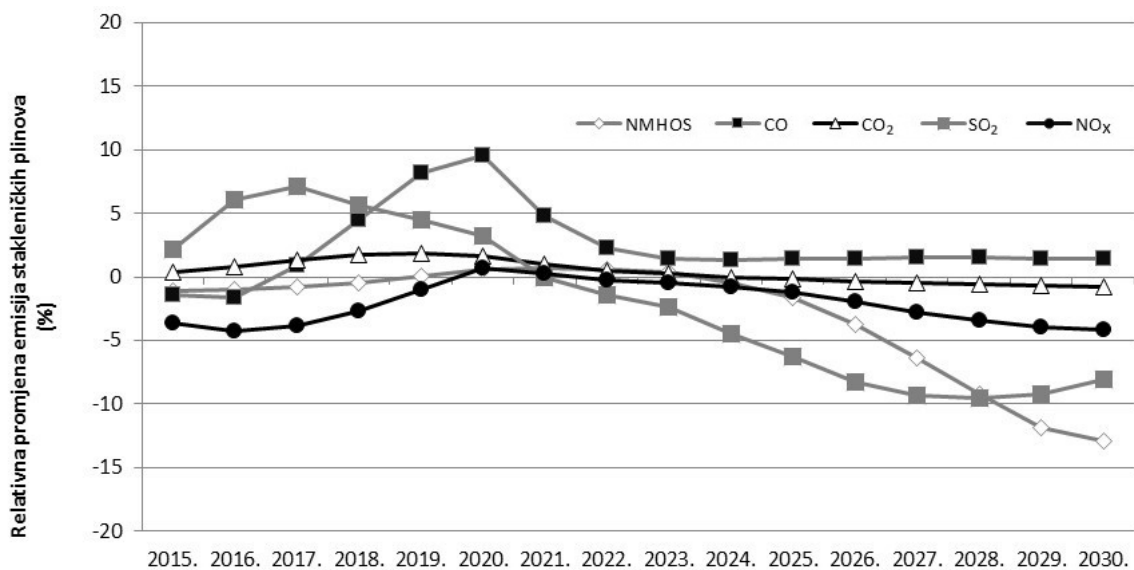
Slika 49. Projekcija emisija stakleničkih plinova prema korigiranom održivom scenariju Podvarijanta 3 – smanjenje potrošnje energije prema korigiranom održivom scenariju za 10 %



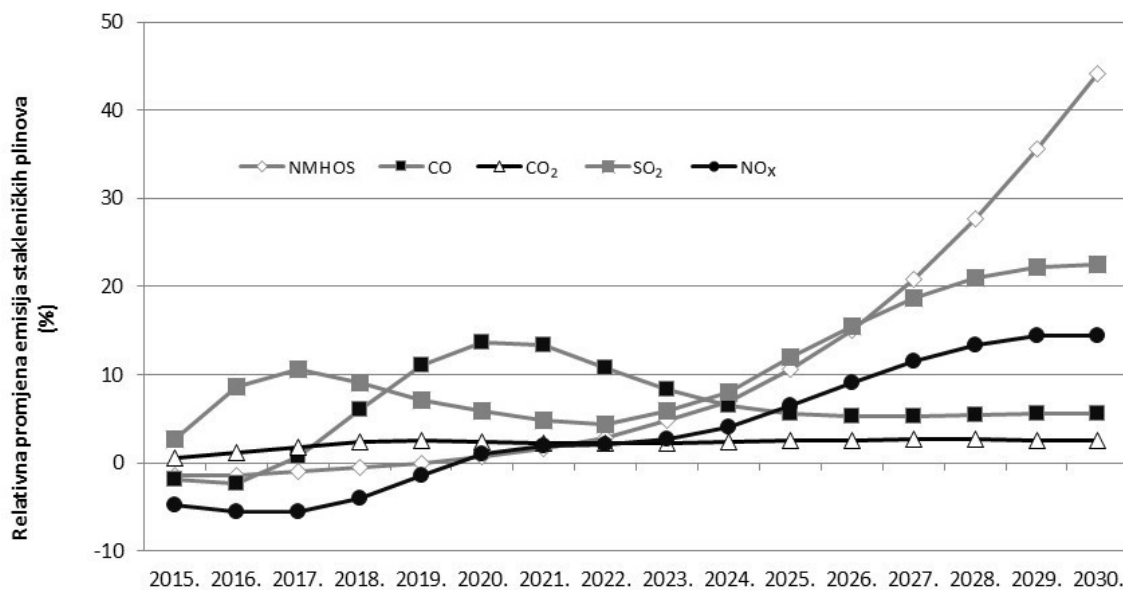
Slika 50. Projekcija emisija stakleničkih plinova prema korigiranom održivom scenariju Podvarijanta 4 – smanjenje potrošnje energije prema korigiranom održivom scenariju za 20 %



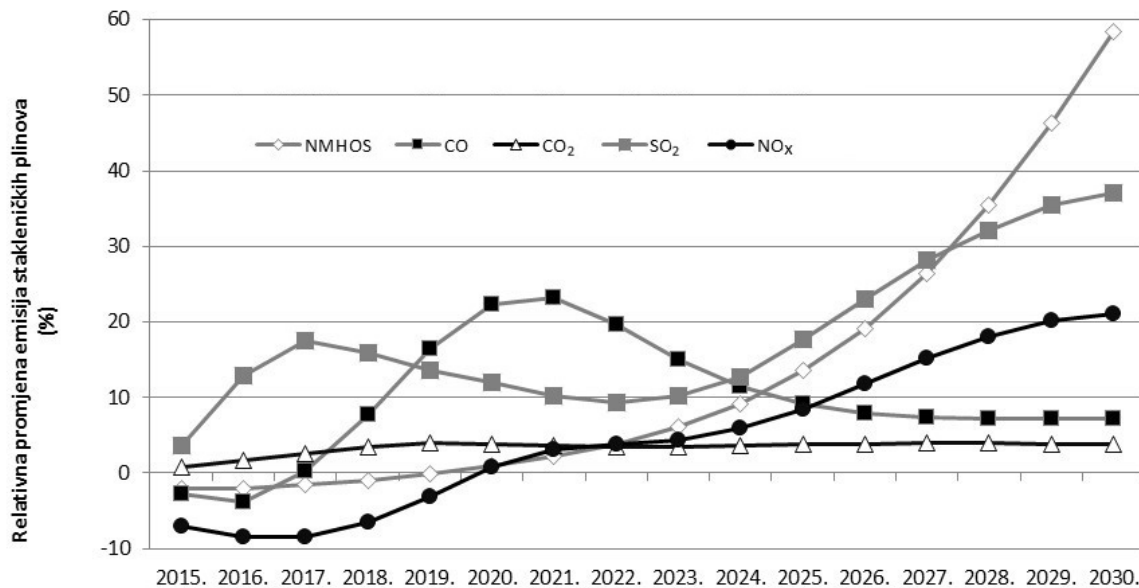
Slika 51. Projekcija relativne promjene emisija stakleničkih plinova u korigiranom održivom scenariju; (emisije u korigiranom BAU-scenariju minus emisije u korigiranom održivom scenariju) podijeljeno s emisijama u korigiranom održivom scenariju



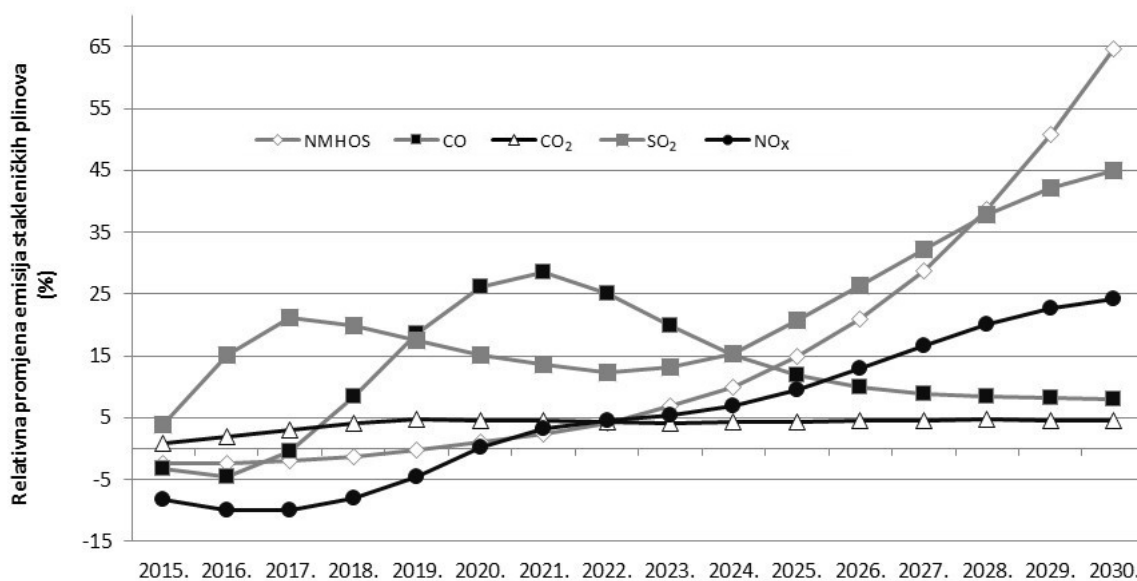
Slika 52. Projekcija relativne promjene emisija stakleničkih plinova prema podvarijanti 1 korigiranog održivog scenarija; (emisije u korigiranom BAU-scenariju minus emisije u korigiranom održivom scenariju – podvarijanta 1) podijeljeno s emisijama u korigiranom održivom scenariju – podvarijanta 1



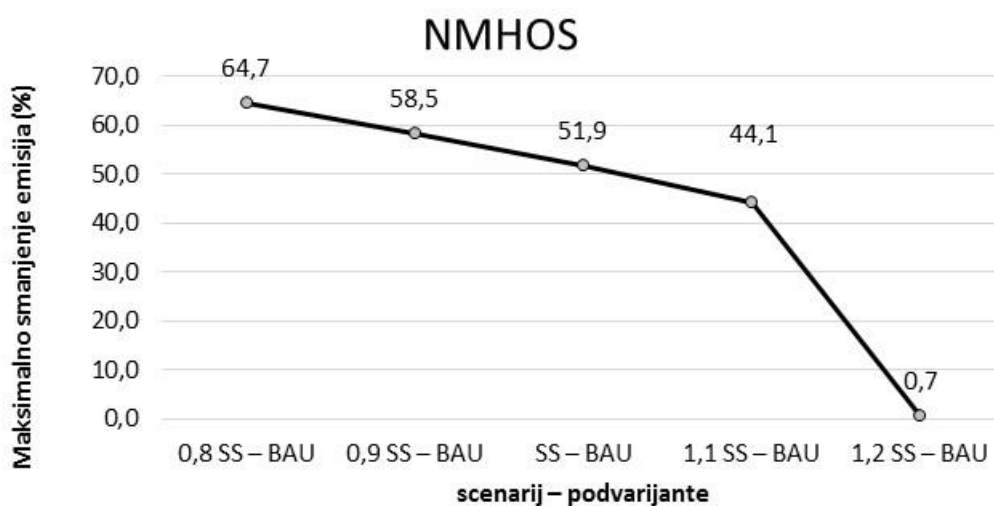
Slika 53. Projekcija relativne promjene emisija stakleničkih plinova prema podvarijanti 2 korigiranog održivog scenarija; (emisije u korigiranom BAU-scenariju minus emisije u korigiranom održivom scenariju – podvarijanta 2) podijeljeno s emisijama u korigiranom održivom scenariju – podvarijanta 2



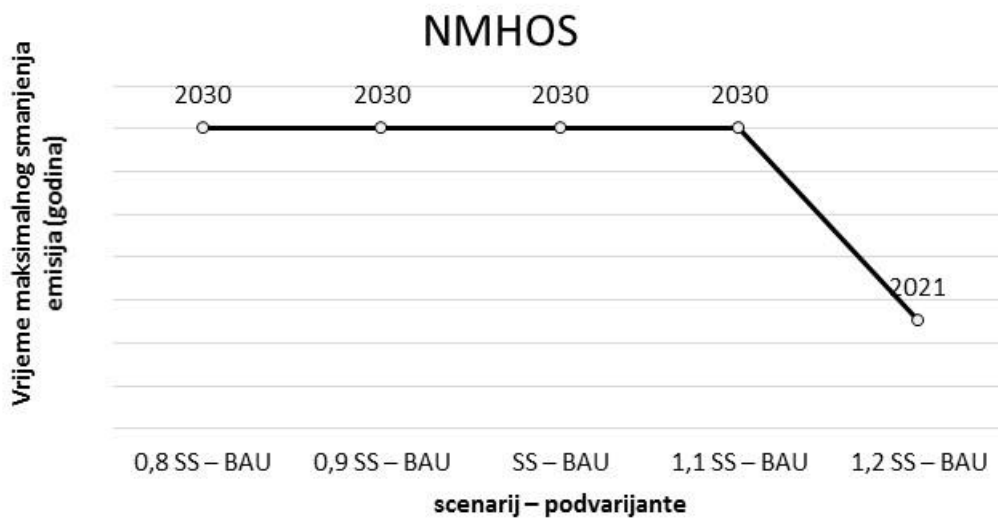
Slika 54. Projekcija relativne promjene emisija stakleničkih plinova prema podvarijanti 3 korigiranog održivog; (emisije u korigiranom BAU-scenariju minus emisije u korigiranom održivom scenariju – podvarijanta 3) podijeljeno s emisijama u korigiranom održivom scenariju – podvarijanta 3



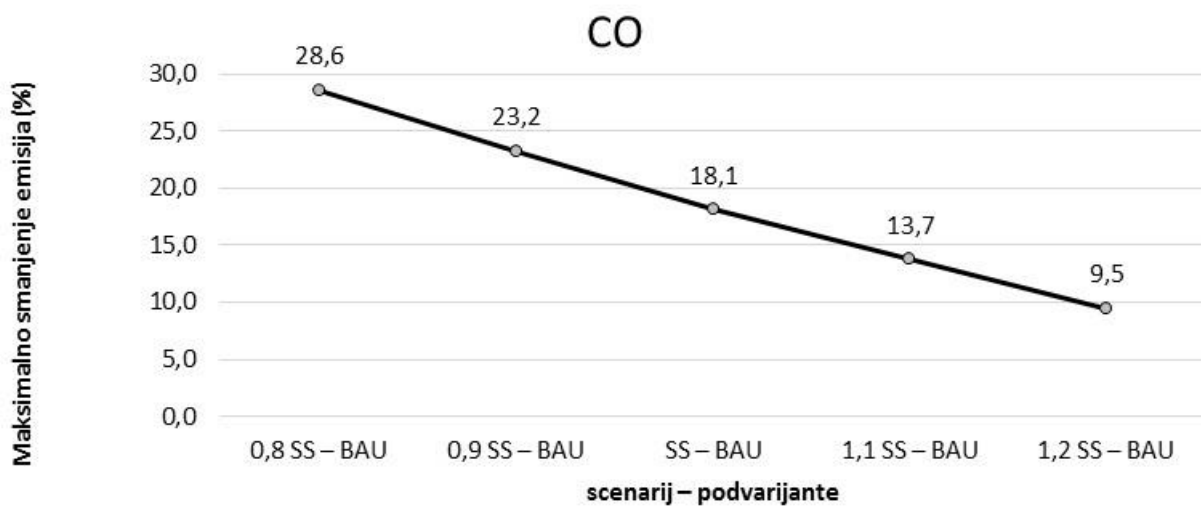
Slika 55. Projekcija relativne promjene emisija stakleničkih plinova prema podvarijanti 4 korigiranog održivog scenarija; (emisije u korigiranom BAU-scenariju minus emisije u korigiranom održivom scenariju – podvarijanta 3) podijeljeno s emisijama u korigiranom održivom scenariju – podvarijanta 3



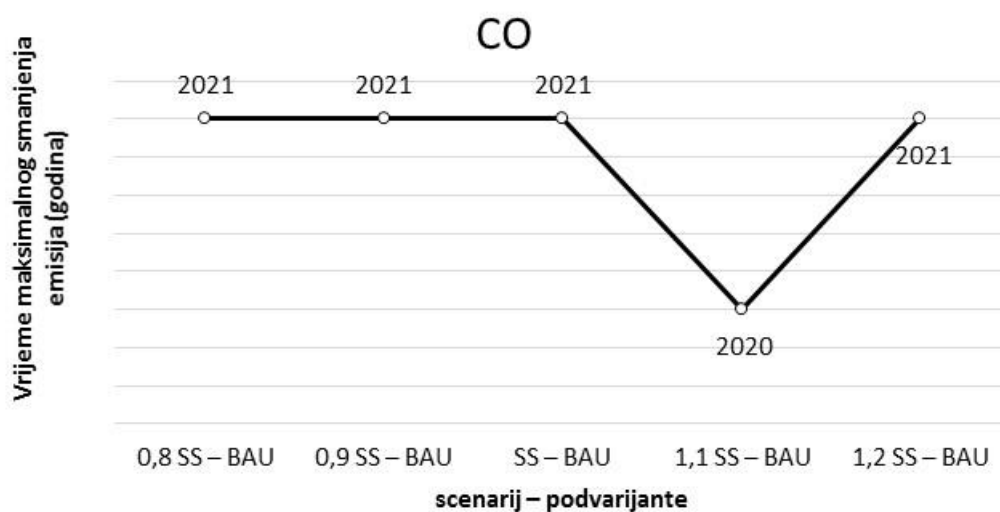
Slika 56. Maksimalno smanjenje emisija NMHOS u svim podvarijantama i scenarijima



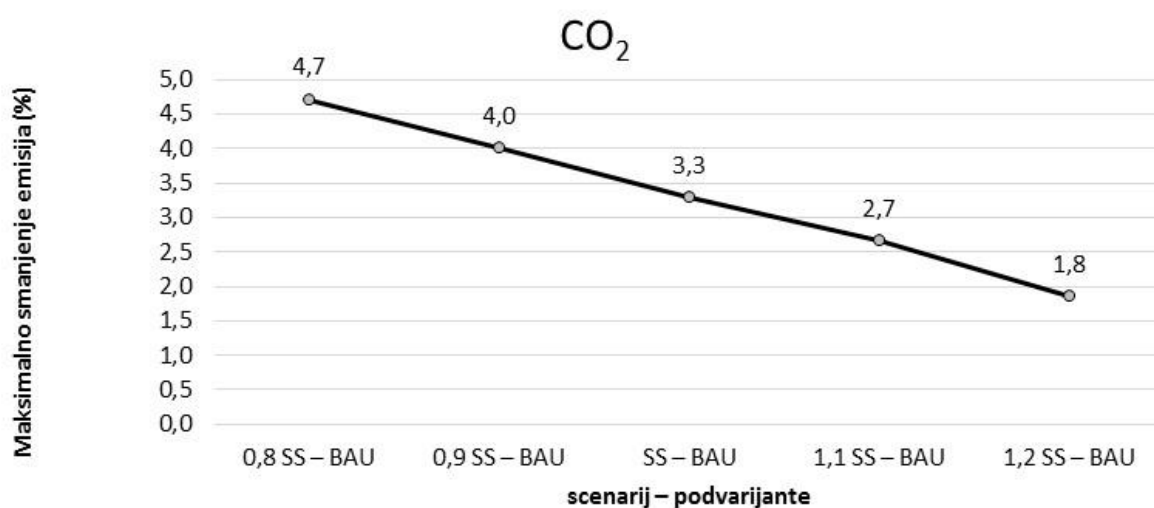
Slika 57. Vrijeme postizanja maksimalnog smanjenja emisija NMHOS u svim podvarijantama i scenarijima



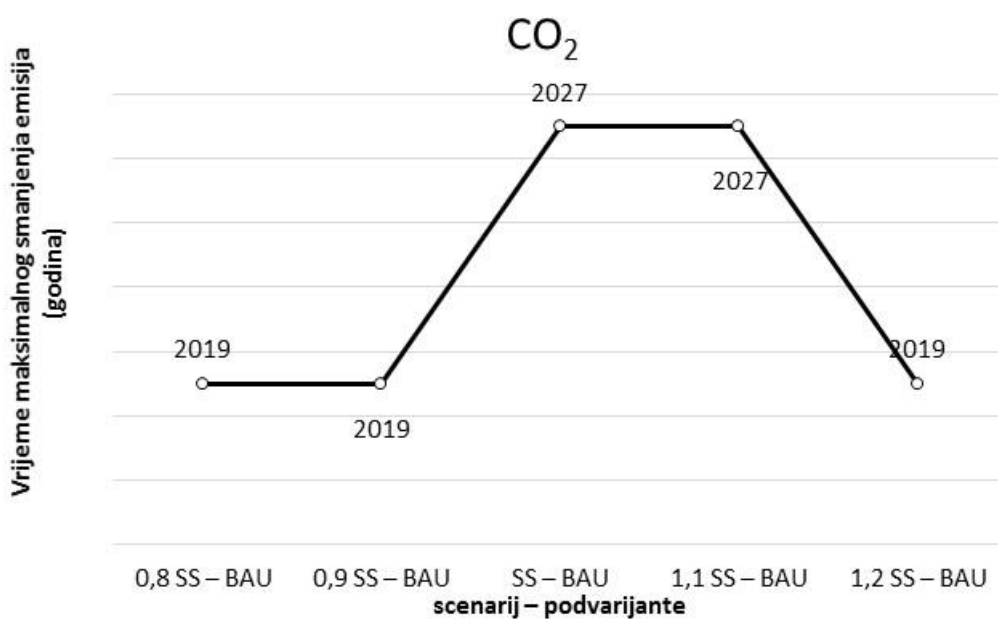
Slika 58. Maksimalno smanjenje emisija CO u svim podvarijantama i scenarijima



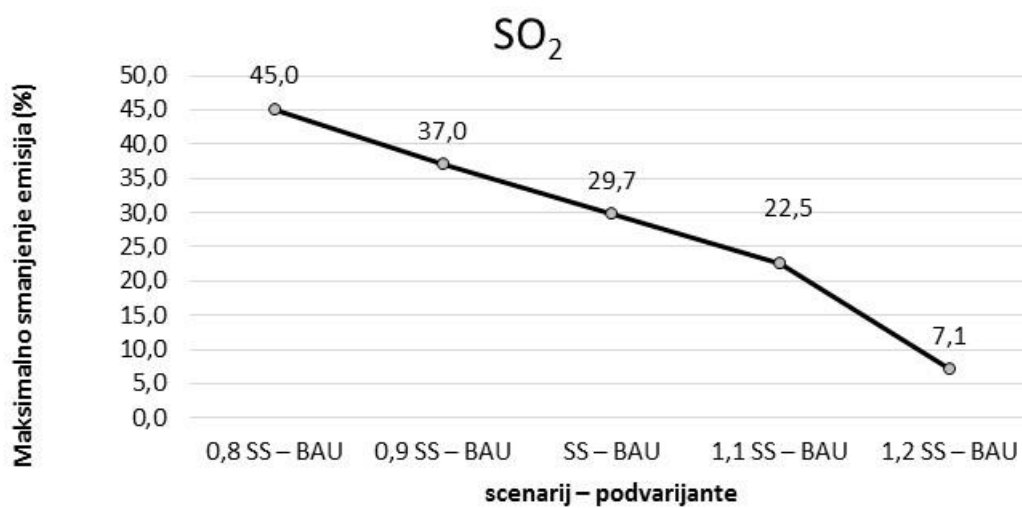
Slika 59. Vrijeme postizanja maksimalnog smanjenja emisija CO u svim podvarijantama i scenarijima



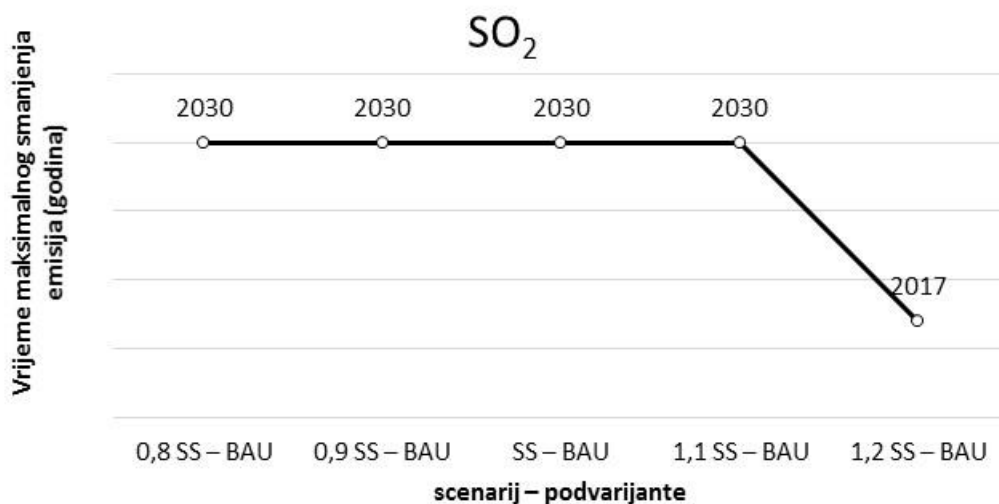
Slika 60. Maksimalno smanjenje emisija CO₂ u svim podvarijantama i scenarijima



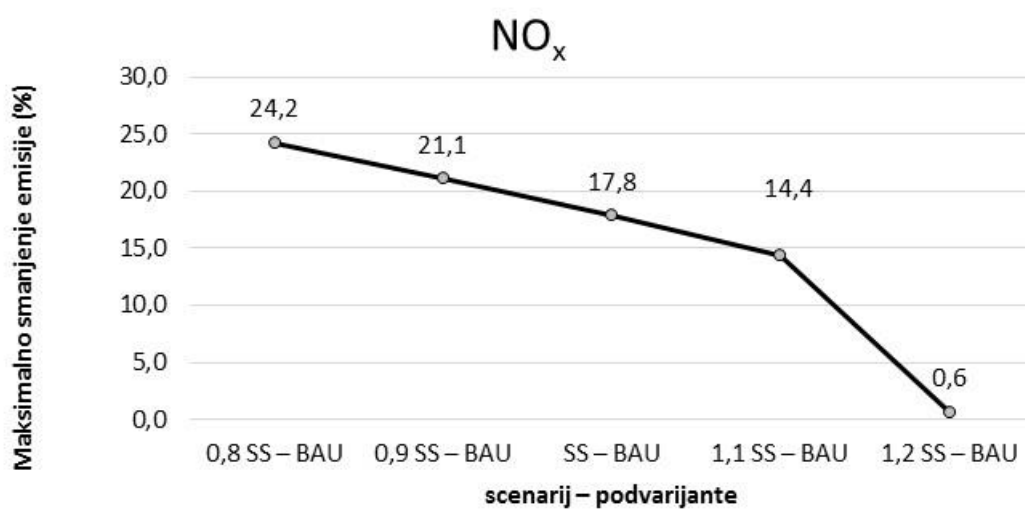
Slika 61. Vrijeme postizanja maksimalnog smanjenja emisija CO₂ u svim podvarijantama i scenarijima



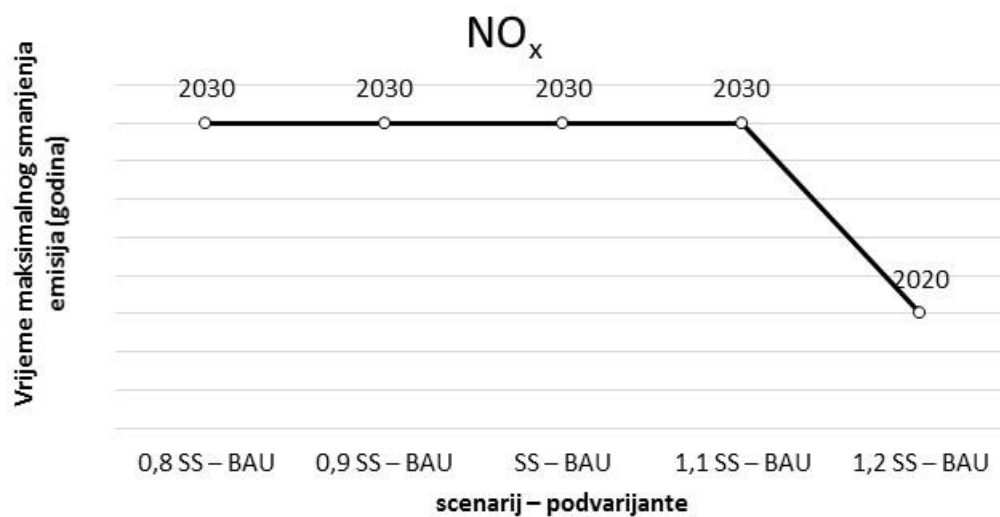
Slika 62. Maksimalno smanjenje emisija SO₂ u svim podvarijantama i scenarijima



Slika 63. Vrijeme postizanja maksimalnog smanjenja emisija SO_2 u svim podvarijantama i scenarijima



Slika 64. Maksimalno smanjenje emisija NO_x u svim podvarijantama i scenarijima



Slika 65. Vrijeme postizanja maksimalnog smanjenja emisija NO_x u svim podvarijantama i scenarijima

5. RASPRAVA

5.1. Modeliranje parametara emisija stakleničkih plinova

Temeljna projekcija, odnosno BAU-scenarij iz Strategije zasniva se na korištenju postojećih izvora energije i goriva te uključuje programe koji imaju za cilj prilagodbu tržištu. Temeljna projekcija ne uključuje implementaciju mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Ovaj scenarij predstavlja referentnu razinu stakleničkih plinova u odnosu na koju je izveden izračun potencijalnog smanjenja emisija stakleničkih plinova u održivom scenariju. Navedena je i razlika između najviših i najnižih predviđenih vrijednosti emisija za svaki pojedinačni staklenički plin u razdoblju do 2030.

Pod pretpostavkom optimalnog, stabilnog i kontinuiranog gospodarskog oporavka, a primjenom metode ekstrapolacije trenda porasta neposredne potrošnje energije, predviđen je od 2015. godine početak gospodarskog oporavka u Hrvatskoj. Taj će se gospodarski oporavak dijelom očitovati i kroz povećanje neposredne potrošnje energije.

U projekcijama neposredne potrošnje energije u razdoblju od 2013. do 2030. razvijena su dva osnovna scenarija neposredne potrošnje energije, korigirana temeljna projekcija, odnosno korigirani BAU-scenarij i korigirani održivi scenarij. Stope porasta potrošnje neposredne potrošnje energije u ovim scenarijima izrađene su na osnovi stopa porasta iz važeće Strategije iz 2009. Usto su razvijene i četiri podvarijante održivog scenarija u kojima se varira sa potrošnjom energije u rasponu od $\pm 20\%$.

Projekcije neposredne potrošnje energije prema razvijenim scenarijima služile su kao ulazni podaci za prethodno razvijenu umjetnu neuronsku mrežu. Izlazni podaci tj. rezultati bile su emisije stakleničkih plinova CO₂, NO_x, CO, NMVOC i SO₂ u razdoblju od 2013. do 2030.

5.1.1. Emisije stakleničkih plinova za korigirani BAU-scenarij (održivi scenarij iz strategije 2009.)

Projekcija emisija stakleničkih plinova za korigirani BAU-scenarij (koji je po neposrednoj potrošnji energije usporediv s održivim scenarijem iz Strategije 2009.) u razdoblju od 2015. do 2030. prikazana je na slici 45. Iz slike se vidi kako će emisija CO₂ biti najmanja u 2015. te da će iznositi 19.427 Gg, te da će u razdoblju do 2030. kontinuirano rasti do najveće vrijednosti u 2030. kada će iznositi 24.036 Gg. U razdoblju od 2015. do 2030.

emisije CO₂ porast će za ukupno 4.600 Gg. Projekcija pokazuje da će emisija CO₂ u 2020. biti 22.037 Gg.

Od neizravnih stakleničkih plinova na slici 45., emisije CO će u 2015. iznositi 227,7 Gg, najnižu vrijednost emisije će ostvariti 2017. kada će iznositi 213,76 Gg., a najveću će vrijednost postići 2030. kada će iznositi 399 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO će porasti za 186 Gg.

Emisije NMHOS-a će u 2015. iznositi 239,6 Gg, što je i najniža vrijednost, najveća vrijednost emisije NMHOS-a ostvarit će se 2030. kada će iznositi 251,5 Gg.

Emisije SO₂ će svoj minimum ostvariti u 2015. kada će iznositi 19,8 Gg, a najvišu razinu ostvariti će u 2030. kada će iznositi 68,8 Gg.

Emisije NO_x najnižu vrijednost imat će 2019. kada će iznositi 29,9 Gg, dok će najvišu vrijednost imati 2015. kada će iznositi 41,2 Gg, 2030. godine emisije NO_x iznosit će 40,9 Gg.

5.1.2. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij

Projekcija emisija stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij u razdoblju od 2015. do 2030. prikazana je na slici 46. Iz slike se vidi kako će emisija CO₂ biti najmanja u 2015. te da će iznositi 19.296 Gg, a u razdoblju do 2030. kontinuirano će rasti do najveće vrijednosti u 2030. kada će iznositi 23.312 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO₂ će porasti za oko 4.000 Gg. Projekcija pokazuje da će emisija CO₂ u 2020. godini biti 21.392 Gg.

Od neizravnih stakleničkih plinova na slici 46., emisije CO će u 2015. iznositi 233,1 Gg, najnižu vrijednost emisije će ostvariti 2017. kada će iznositi 212,5 Gg., a najveću će vrijednost postići 2030. kada će iznositi 375 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO će porasti za 162,5 Gg.

Emisije NMHOS-a će u 2015. iznositi 71,4 Gg, dok će najnižu vrijednost postići 2019. kada će iznositi 66,2 Gg; najveća vrijednost emisije NMHOS-a ostvarit će se 2030. kada će iznositi 81,9 Gg.

Emisije SO₂ će svoj minimum ostvariti u 2015. kada će iznositi 19,24 Gg, a najvišu razinu ostvariti će u 2030. kada će iznositi 53 Gg.

Emisije NO_x najnižu vrijednost imati će 2020. kada će iznositi 30 Gg, dok će najvišu vrijednost imati 2015. kada će iznositi 43,8 Gg; 2030. godine emisije NO_x iznosit će 34,7 Gg.

5.1.3. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 1

Projekcija emisija stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 1 (povećanje potrošnje energije prema korigiranom održivom scenariju za 20 % u razdoblju od 2015. do 2030.) prikazana je na slici 42. Iz slike 47. vidi se kako će emisija CO₂ biti najmanja u 2015. te da će iznositi 19.346 Gg, a u razdoblju do 2030. kontinuirano će rasti do najveće vrijednosti od 24.227 Gg. U razdoblju do 2030. godine emisije CO₂ porast će za oko 4.880 Gg. Projekcija pokazuje da će emisija CO₂ u 2020. godini biti 24.227 Gg.

Od neizravnih stakleničkih plinova na slici 47., emisije CO će u 2015. iznositi 230,8 Gg, najnižu vrijednost emisije CO će ostvariti 2017. kada će iznositi 211,9 Gg., a najveću vrijednost postići će 2030. kada će iznositi 393,5 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO porast će za 181,6 Gg.

Emisije NMHOS-a će u 2015. iznositi 70,9 Gg, dok će najnižu vrijednost postići 2019. kada će iznositi 66,2 Gg; najveću vrijednost emisije NMHOS-a ostvarit će 2030. kada će iznositi 142,8 Gg.

Emisije SO₂ će svoj minimum ostvariti u 2015. kada će iznositi 19,5 Gg, a najvišu razinu ostvariti će u 2030. kada će iznositi 74,8 Gg.

Emisije NO_x najnižu vrijednost imati će 2020. kada će iznositi 30,1 Gg, dok će najvišu vrijednost imati 2015. kada će iznositi 42,7 Gg; godine 2030. emisije NO_x iznosit će 42,6 Gg.

5.1.4. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 2

Projekcija emisija stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 2 (povećanje potrošnje energije prema korigiranom održivom scenariju za 10 % u razdoblju od 2015. do 2030. prikazana je na slici 48. Iz slike se vidi kako će emisija CO₂ biti najmanja u 2015. te će iznositi 19.321 Gg, a u razdoblju do 2030. kontinuirano će rasti do najveće vrijednosti od 23.454 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO₂ će porasti za oko 4.130 Gg. Projekcija pokazuje da će emisija CO₂ u 2020. biti 21.536 Gg.

Od neizravnih stakleničkih plinova na slici 48., emisije CO će u 2015. iznositi 232 Gg, najnižu vrijednost emisije CO ostvarit će 2017. kada će iznositi 212 Gg., a najveću vrijednost postići će 2030. kada će iznositi 377,6 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO porasti će za 165,5 Gg.

Emisije NMHOS-a će u 2015. iznositi 71,1 Gg, dok će najnižu vrijednost postići 2019. kada će iznositi 66,2 Gg; najveću vrijednost emisije NMHOS-a ostvariti će 2030. kada će iznositi 86,3 Gg.

Emisije SO₂ svoj minimum ostvarit će u 2015. kada će iznositi 19,3 Gg, a najvišu razinu ostvarit će u 2030. kada će iznositi 56,1 Gg.

Emisije NO_x najnižu vrijednost imati će 2020. kada će iznositi 30 Gg, dok će najvišu vrijednost imati 2015. kada će iznositi 43,3 Gg; godine 2030. emisije NO_x iznosit će 35,7 Gg.

5.1.5. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 3

Projekcija emisija stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 3 (smanjenje potrošnje energije prema korigiranom održivom scenariju za 10 % u razdoblju od 2015. do 2030.) prikazana je na slici 49. Iz slike se vidi kako će emisija CO₂ biti najmanja u 2015. te će iznositi 19.272 Gg, a u razdoblju do 2030. kontinuirano će rasti do najveće vrijednosti u 2030. kada će iznositi 23.148 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO₂ porast će za oko 3.875 Gg. Projekcija pokazuje da će emisija CO₂ u 2020. biti 21.234 Gg.

Od neizravnih stakleničkih plinova na slici 49., emisije CO će u 2015. iznositi 234,2 Gg, najnižu vrijednost emisije CO ostvarit će 2018. kada će iznositi 213,3 Gg., a najveću vrijednost postići će 2030. kada će iznositi 372,2 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO porast će za 159 Gg.

Emisije NMHOS-a će u 2015. iznositi 71,6 Gg, dok će najnižu vrijednost postići 2020. kada će iznositi 66,2 Gg; najveću vrijednost emisije NMHOS-a ostvarit će 2030. kada će iznositi 78,5 Gg.

Emisije SO₂ će svoj minimum ostvariti u 2015. kada će iznositi 19,2 Gg, a najvišu razinu ostvarit će u 2030. kada će iznositi 50,2 Gg.

Emisije NO_x najnižu vrijednost imati će 2021. kada će iznositi oko 30 Gg, dok će najvišu vrijednost imati 2015. kada će iznositi 44,3 Gg; godine 2030. emisije NO_x iznosit će 33,8 Gg.

5.1.6. Emisije stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 4

Projekcija emisija stakleničkih plinova za korigirani održivi scenarij – Podvarijanta 4 (smanjenje potrošnje energije prema korigiranom održivom scenariju za 20 % u razdoblju od

2015. do 2030.) prikazana je na slici 50. Iz slike se vidi kako će emisija CO₂ biti najmanja u 2015. te će iznositi 19.248 Gg, a u razdoblju do 2030. kontinuirano će rasti do najveće vrijednosti od 22.997 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO₂ porast će za oko 3.750 Gg. Projekcija pokazuje da će emisija CO₂ u 2020. biti 21.064 Gg.

Od neizravnih stakleničkih plinova na slici 50., emisije CO će u 2015. iznositi 235,2 Gg, najnižu vrijednost emisije CO će ostvariti 2018. kada će iznositi 212,2 Gg., a najveću vrijednost postići će 2030. kada će iznositi 369 Gg. U razdoblju do 2030. emisije CO porast će za 156 Gg.

Emisije NMHOS-a će u 2015. iznositi 71,9 Gg, dok će najnižu vrijednost postići 2020. kada će iznositi 66,2 Gg; najveću vrijednost emisije NMHOS-a ostvarit će 2030. kada će iznositi 75,5 Gg.

Emisije SO₂ će svoj minimum ostvariti u 2015. kada će iznositi 19,1 Gg, a najvišu razinu ostvarit će u 2030. kada će iznositi 47,5 Gg.

Emisije NO_x najnižu vrijednost imati će 2021. kada će iznositi 30 Gg, dok će najvišu vrijednost imati 2015. kada će iznositi 44,8 Gg; godine 2030. emisije NO_x iznosit će 32,9 Gg.

5.2. Relativno smanjenje emisija

Na slici 51. prikazano je relativno smanjenje emisija usporedbom korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija. Smanjenje emisija stakleničkih plinova u korigiranom održivom scenariju u odnosu na emisije iz korigiranog BAU-scenarija posljedica je prvenstveno mjera energetske politike predloženih u važećoj Strategiji energetskog razvoja, ali i korekcija u neposrednoj potrošnji energije koja je svedena na realnije stope rasta. Predložene mjere za smanjenje emisija stakleničkih plinova u korigiranom održivom scenariju mogu se podijeliti u dvije skupine. Prva skupina su mjere koje imaju izravan utjecaj na smanjenje gubitaka energije, odnosno mjere povećanja energetske učinkovitosti. Druga skupina mjera ima izravan učinak na smanjenje emisija stakleničkih plinova i može se razvrstati u tri podskupine:

- povećanje korištenja obnovljivih izvora energije,
- korištenje najboljih raspoloživih tehnologija za sprječavanje emisija stakleničkih plinova,
- primjena europskog sustava trgovanja emisijama (EU ETS).

Prema rezultatima dobivenima usporedbom predviđenih emisija za korigirani održivi scenarij i emisija za korigirani BAU-scenarij na slici 51., relativno smanjenje emisija CO₂ svoj prvi maksimum u korigiranom održivom scenariju u odnosu na emisije CO₂ u korigiranom BAU-scenariju dostiže u 2019. u iznosu od 3,26 %.

Relativno smanjenje emisija SO₂ svoj prvi maksimum u korigiranom održivom scenariju u odnosu na emisije SO₂ u korigiranom BAU-scenariju dostiže u 2017. u iznosu od 13,9 %.

Relativno smanjenje emisija CO u korigiranom održivom scenariju u odnosu na emisije u korigiranom BAU-scenariju do 2016. ima negativni predznak što znači da su emisije CO veće u korigiranom održivom scenariju nego u BAU-scenariju; utjecaj mjera počinje se osjećati od 2017. kada smanjenje iznosi 0,6 %.

Relativno smanjenje emisija NMHOS u korigiranom održivom scenariju u odnosu na emisije NMHOS u korigiranom BAU-scenariju počinje 2020. kada prva pozitivna stopa relativnog smanjenja iznosi 0,9 %. Relativno smanjenje emisija NO_x počinje 2020. kada će inicijalna stopa relativnog smanjenja iznositi 0,9 %.

S ciljem utvrđivanja mogućih dodatnih učinaka na smanjenje emisija stakleničkih plinova dodatnim smanjenjem neposredne potrošnje energije u odnosu na korigirani BAU-scenarij, napravljena je usporedba s četiri podvarijante korigiranog održivog scenarija.

Na slici 52. prikazano je relativno smanjenje emisija stakleničkih plinova podvarijante 1 korigiranog održivog scenarija u odnosu na korigirani BAU-scenarij. Može se zaključiti kako bi povećanje neposredne potrošnje energije od 20 % u odnosu na korigirani održivi scenarij u promatranom razdoblju 2015. – 2030. negativno utjecalo na emisije stakleničkih plinova

Relativno smanjenje emisija CO₂ svoj prvi maksimum u podvarijanti 1 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije CO₂ u korigiranom BAU-scenariju dostiže u 2019. u iznosu od 1,85 %.

Relativno smanjenje emisija SO₂ svoj prvi maksimum u podvarijanti 1 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije SO₂ u korigiranom BAU-scenariju postiže 2017. u iznosu od 7,1 %.

Relativno smanjenje emisija CO u podvarijanti 1 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije CO u korigiranom BAU-scenariju počinje 2017. s iznosom od 0,9 %.

Za emisije NMHOS u podvarijanti 1 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije NMHOS u korigiranom BAU-scenariju, relativno smanjenje počinje 2019. u iznosu od 0,03 %.

Relativno smanjenje emisija NO_x u podvarijanti 1 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije NO_x u korigiranom BAU-scenariju počinje 2020. s iznosom od 0,7 %.

Na slici 53. prikazano je relativno smanjenje emisija pri usporedbi podvarijante 2 korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija.

Relativno smanjenje emisija CO₂ svoj prvi maksimum u podvarijanti 2 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije CO₂ u korigiranom BAU-scenariju doseže u 2019. u iznosu od 2,6 %.

Relativno smanjenje emisija SO₂ svoj prvi maksimum u podvarijanti 2 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije SO₂ u korigiranom BAU-scenariju postiže 2017. u iznosu od 10,7 %.

Relativno smanjenje emisija CO u podvarijanti 2 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije CO u korigiranom BAU-scenariju počinje 2017. s iznosom od 0,8 %.

Za emisije NMHOS u podvarijanti 2 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije NMHOS u korigiranom BAU-scenariju, relativno smanjenje počinje 2020. s iznosom od 0,8 %.

Relativno smanjenje emisija NO_x u podvarijanti 2 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije NO_x u korigiranom BAU-scenariju, počinje 2020. s iznosom od 0,9 %.

Na slici 54. prikazano je relativno smanjenje emisija pri usporedbi korigiranog održivog scenarija podvarijante 3 korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija.

Relativno smanjenje emisija CO₂ svoj maksimum u podvarijanti 3 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije CO₂ u korigiranom BAU-scenariju doseže u 2019. u iznosu od 4,0 %.

Relativno smanjenje emisija SO₂ svoj prvi maksimum u podvarijanti 3 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije SO₂ u korigiranom BAU-scenariju postiže 2017. u iznosu od 17,5 %.

Relativno smanjenje emisija CO u podvarijanti 3 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije CO u korigiranom BAU-scenariju počinje 2017. s iznosom od 0,2 %.

Za emisije NMHOS u podvarijanti 3 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije NMHOS u korigiranom BAU-scenariju, relativno smanjenje počinje 2020. u iznosu od 1,0 %.

Relativno smanjenje emisija NO_x u podvarijanti 3 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije NO_x u korigiranom BAU-scenariju počinje 2020. u iznosu od 0,7 %.

Na slici 55. prikazano je relativno smanjenje emisija pri usporedbi korigiranog održivog scenarija podvarijante 4 korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija.

Relativno smanjenje emisija CO₂ svoj maksimum u podvarijanti 4 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije CO₂ u korigiranom BAU-scenariju doseže u 2019. u iznosu od 4,7 %.

Relativno smanjenje emisija SO₂ svoj prvi maksimum u podvarijanti 4 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije SO₂ u korigiranom BAU-scenariju postiže 2017. u iznosu od 21,1 %.

Relativno smanjenje emisija CO u podvarijanti 4 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije CO u korigiranom BAU-scenariju, počinje 2018. s iznosom od 8,3 %.

Za emisije NMHOS u podvarijanti 4 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije NMHOS u korigiranom BAU-scenariju, relativno smanjenje počinje 2020. s iznosom od 1,0 %.

Relativno smanjenje emisija NO_x u podvarijanti 4 korigiranog održivog scenarija u odnosu na emisije NO_x u korigiranom BAU-scenariju počinje 2020. s iznosom od 0,3 %.

S ciljem utvrđivanja najprimjerenije varijante scenarija u kojem bi se ostvarili najveća smanjenja emisija stakleničkih plinova, u nastavku su prikazane usporedbe maksimalnih smanjenja emisija za sve stakleničke plinove u svim razvijenim scenarijima i njihovim podvarijantama.

5.3. Maksimumi smanjenja emisija stakleničkih plinova

Maksimalno smanjenje emisija NMHOS prema svim scenarijima i njihovim podvarijantama prikazano je na slici 56. Najveće smanjenje emisija NMHOS ostvaruje se kod podvarijante 4 održivog scenarija u odnosu na korigirani BAU-scenarij (0,8 SS – BAU) i iznosi 64,7 %, a najmanje, sasvim očekivano, kod podvarijante 1 održivog scenarija u odnosu na korigirani BAU-scenarij (1,2 SS – BAU) u iznosu od svega 0,7 %. Usporedba korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (SS – BAU) daje maksimalno smanjenje emisija NMHOS u iznosu od 51,9 %.

Na slici 58. prikazano je maksimalno smanjenje emisija CO prema svim scenarijima i njihovim podvarijantama. Najveće smanjenje emisija CO ostvariti će u usporedbi podvarijante 4 održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (0,8 SS – BAU) u iznosu od 28,6 %, a najmanje u usporedbi podvarijante 1 održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (1,2 SS – BAU) u iznosu od 9,5 %. Usporedba korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (SS – BAU) daje maksimalno smanjenje emisija CO u iznosu od 18,1 %.

Maksimalno smanjenje emisija CO₂ prema svim scenarijima i njihovim podvarijantama prikazano je na slici 60. Najveće smanjenje emisija CO₂ ostvarit će se u usporedbi podvarijante 4 održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (0,8 SS – BAU), u iznosu od 4,7 %, a najmanje u usporedbi podvarijante 1 održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (1,2 SS – BAU) u iznosu od 1,8 %. Usporedba korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (SS – BAU) daje maksimalno smanjenje emisija CO₂ u iznosu od 3,3 %.

Maksimalno smanjenje emisija SO₂ prema svim scenarijima i njihovim podvarijantama prikazano je na slici 62. Najveće smanjenje emisija SO₂ ostvarit će se u usporedbi podvarijante 4 održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (0,8 SS – BAU), u iznosu od 45 %, a najmanje u usporedbi podvarijante 1 održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (1,2 SS – BAU) u iznosu od 7,1 %. Usporedba korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (SS – BAU) daje maksimalno smanjenje emisija SO₂ u iznosu od 29,7 % smanjenja emisija SO₂ u odnosu na emisije SO₂ u korigiranom BAU-scenariju.

Maksimalno smanjenje emisija NO_x prema svim scenarijima i njihovim podvarijantama prikazano je na slici 64. Najveće smanjenje emisija NO_x ostvarit će se u usporedbi podvarijante 4 održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (0,8 SS – BAU), u iznosu od 24,2 %, a najmanje u usporedbi podvarijante 1 održivog scenarija i korigiranog

BAU-scenarija (1,2 SS – BAU) u iznosu od svega 0,6 %. Usporedba korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (SS – BAU) daje maksimalno smanjenje emisija NO_x u iznosu od 17,8 % smanjenja emisija NO_x u odnosu na emisije NO_x u korigiranom BAU-scenariju.

Dakle, maksimalno smanjenje emisija prema svim scenarijima i njihovim podvarijantama, ostvaruje se kod podvarijante 4 korigiranog održivog scenarija, što je sasvim očekivano jer ta varijanta računa emisije prema najmanjim godišnjim stopama porasta neposredne potrošnje energije.

5.4. Vrijeme postizanja maksimuma smanjenja emisija stakleničkih plinova

Iz vremena u kojem će predložene mjere za smanjenje emisija ostvariti maksimalno smanjenje emisija NMHOS za korigirani održivi scenarij i sve njegove podvarijante u usporedbi s korigiranim BAU-scenarijem, kako je prikazano na slici 57., razvidno je da će se maksimum smanjenja emisija NMHOS najbrže ostvariti u podvarijanti 1 korigiranog održivog scenarija (1,2 SS – BAU). Navedeno smanjenje emisija NMHOS ostvarit će se već u 2021., a nakon toga će efekt primijenjenih mjera slabjeti (relativno smanjenje bit će sve manje). Kod ostalih podvarijanti korigiranog održivog scenarija efekt mjera s vremenom biva sve jači i maksimalno smanjenje emisija očekuje se na kraju promatranog razdoblja, tj. u 2030. Naravno, najveće smanjenje emisija očekuje se za podvarijantu 4 održivog scenarija koja predviđa najmanju neposrednu potrošnju energije.

Rezultati za CO, kako je to prikazano na slici 59., pokazuju da se za sve istražene podvarijante korigiranog održivog scenarija maksimum smanjenja emisija očekuje u 2020. (podvarijanta 2, 1,1 SS – BAU) ili 2021. (ostale podvarijante). Naravno, iznosi maksimalnog smanjenja rastu kako se smanjuje neposredna potrošnja energije, odnosno bit će najveći za podvarijantu 4. Nakon 2021. efekt primijenjenih mjera slabi ali uvijek ostaje prisutan.

Rezultati za CO₂ prikazani su na slici 61. Pokazuje se da maksimum smanjenja emisija uvijek postoji. Za podvarijante 1, 3 i 4 korigiranog održivog scenarija u usporedbi s korigiranim BAU-scenarijem (1,2 SS – BAU; 0,8 SS – BAU; 0,9 SS – BAU) on se ostvaruje već u 2019., a za ostale podvarijante u 2027. Nakon opaženog maksimuma efekt primijenjenih mjera slabi, a kod istražene podvarijante 1 prelazi čak u negativne vrijednosti, odnosno očekuje se povećanje emisija u odnosu na korigirani BAU-scenarij. Maksimumi za CO₂ općenito su razmjerno slabije izraženi nego za ostale stakleničke plinove, što znači da su

primijenjene mjere manje djelotvorne na za taj (glavni) staklenički plin i da bi trebalo razmotriti što još učiniti kako bi se smanjile emisije CO₂.

Rezultati za SO₂ prikazani su na slici 63. Karakteristični oblik krivulje je rani maksimum smanjenja emisija, nakon čega slijedi relativni pad djelotvornosti mjera, a zatim potkraj promatranog razdoblja mjere ponovo postaju djelotvornije. Taj "rani" maksimum uvijek se ostvaruje već u 2017. godini, za sve podvarijante, nakon čega djelotvornost mjera pada i prelazi u negativne vrijednosti (tj. mjere postaju nedjelotvorne). Za ostale varijante, kako se smanjuje neposredna potrošnja energije, raste iznos ranog maksimuma, a mjere postaju sve djelotvornije čak i nakon prolaska ranog maksimuma, tj. nakon određenog razdoblja djelotvornost mjera ponovo počinje rasti i poprima maksimum na kraju promatranog razdoblja, odnosno u 2030.

Rezultati za NO_x, slika 65. pokazuju da se karakteristični maksimum pojavljuje samo kod podvarijante 1 korigiranog održivog scenarija (1,2 SS – BAU) i vrlo je nizak. Zapravo, tijekom većine promatranog razdoblja rezultati su za tu podvarijantu, kod koje se očekuju najveća potrošnja neposredne energije, negativni i primijenjene mjere ne mogu se smatrati djelotvornima. Navedeni maksimum smanjenja emisija NO_x ostvarit će se već u 2020. Kod ostalih podvarijanti s manjom potrošnjom neposredne energije, učinak mjera može se smatrati odgođenim. Prvi pozitivni efekti očekuju se u 2020., rastu prema kraju promatranog razdoblja te sa smanjenjem potrošnje neposredne energije.

5.5. Usporedba predviđenih emisija stakleničkih plinova s objavljenim službenim podacima

5.5.1. Emisije u 2014., 2015. i 2016.

U cilju testiranja točnosti razvijenog modela predviđanja emisija stakleničkih plinova, rezultati predviđanja dobiveni modelom uspoređeni su sa podacima o emisijama stakleničkih plinova za 2015. objavljenima u Izvješću o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske za razdoblje 1990. – 2015.¹⁶³

Podaci iz 2014. korišteni su za validaciju samoga modela. Dakle, striktno govoreći modelom nije rađeno predviđanje za 2014., ali se usporedba svejedno može provesti. Ukupne emisije stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj u sektoru energetike za 2014. iznosile su 16.241 Gg CO₂. Model je u postupku validacije predvidio emisije stakleničkih plinova za dva osnovna scenarija iz Strategije, BAU scenarij prema kojem su ukupne emisije stakleničkih plinova za 2014. iznosile 20.266 Gg CO₂ dok su za održivi scenarij ukupne emisije

stakleničkih plinova iznosile 20.201 Gg CO₂, iz čega je razvidno kako su te vrijednosti za 24,7% više od službenih podataka. Iz navedenog je jasno kako je uslijed slabljenja gospodarskih aktivnosti, a time i pada u neposrednoj potrošnji energije došlo do znatnog pada emisija stakleničkih plinova, no taj pad nije rezultat predloženih mjera iz Strategije. Strategija je predvidjela cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova za 20 % u 2020. u odnosu na razine ukupnih emisija stakleničkih plinova iz bazne 1990. (34.620 Gg CO₂-eq), što iznosi 27.720 Gg CO₂. Ovo jasno pokazuje potrebu za izradom nove Strategije koja će obuhvatiti i aktualnu situaciju te planove energetskeg razvoja i gospodarskog oporavka Republike Hrvatske.

Što se tiče 2015., ukupne emisije stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj u sektoru energetike za 2015. iznosili su 16.728 Gg CO₂ što predstavlja porast emisija za 1,6 % u odnosu na emisije u 2014. godini. Model je za 2015. predvidio emisije stakleničkih plinova u rasponu od najviših vrijednosti u iznosu od 19.786 Gg CO₂ u korigiranom BAU-scenariju te do najnižih vrijednosti u iznosu od 19.619 Gg CO₂ u podvarijanti 4 korigiranog održivog scenarija, iz čega je razvidno kako su te vrijednosti za 18% više od službenih podataka. Jasno je, dakle, ali i logično, da razvijene varijante i podvarijante modela nisu uspjele na zadovoljavajući način "uhvatiti" stvarni pad emisija do 2015. koji je posljedica slabljenja gospodarske aktivnosti.

Što se tiče 2016., službeni podaci o emisijama još nisu objavljeni.

5.5.2. Procjene emisija u 2015., 2020., 2025. i 2030.

Razvijeni model umjetnih neuronskih mreža za predviđanje emisija stakleničkih plinova uspoređen je i s objavljenim podacima o emisijama stakleničkih plinova iz Izvješća o projekcijama emisija stakleničkih plinova – dopuna iz 2015. godine.¹⁶³ Izvješće o projekcijama emisija stakleničkih plinova sadržava tri scenarija: "bez mjera", "s mjerama" i "s dodatnim mjerama". Za usporedbu, najgori scenario "bez mjera" predviđa ukupne emisije stakleničkih plinova za 2015. u iznosu od 14.523 Gg CO₂; za 2020. u iznosu od 18.769 Gg CO₂; za 2025. u iznosu od 20.205 Gg CO₂; za 2030. u iznosu od 21.811 Gg CO₂. Projekcije ukupnih emisija za preostala dva scenarija "s mjerama" i "s dodatnim mjerama" daju znatno niže iznose pa one nisu niti obuhvaćene ovom usporedbom.

Međutim, prije same usporedbe objavljenih procjena i ovdje provedenih proračuna treba istaknuti da razvijeni model može prepoznati učinke propisanih mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova prvenstveno u dijelu koji se odnosi na smanjenje neposredne

potrošnje energije kroz mjere energetske učinkovitosti, jer su jedino takve mjere bile primjenjivane u vremenskom razdoblju koje je korišteno za razvoj modela.

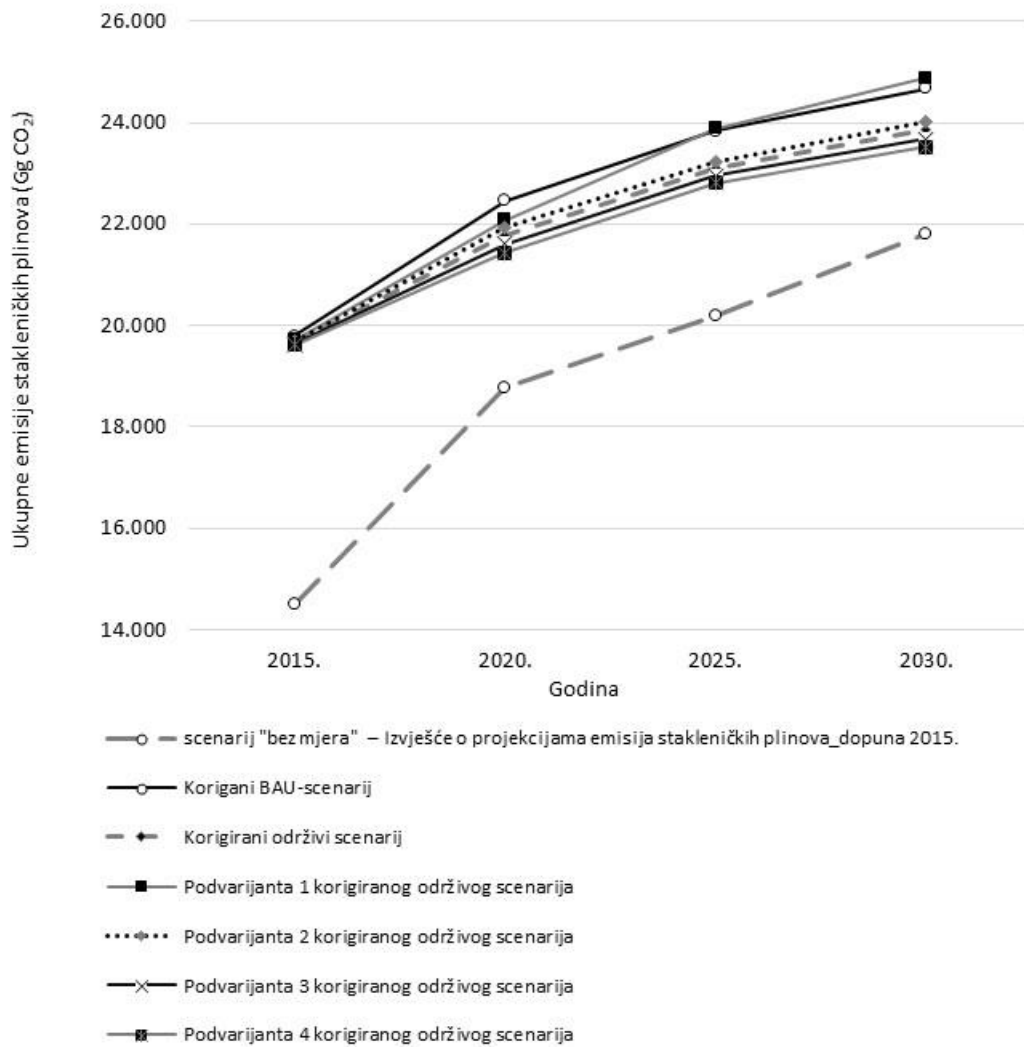
Slika 66. daje usporedbu ukupnih vrijednosti emisija stakleničkih plinova u scenarijima i podvarijantama iz ovoga rada s rezultatima tzv. scenarija "bez mjera" iz Izvješća¹⁶³. Scenarij "bez mjera" daje projekcije ukupnih emisija stakleničkih plinova bez provođenja mjera energetske učinkovitosti i poticanja obnovljivih izvora energije te uz predviđeni porast broja elektrana na fosilna goriva s ciljem smanjenja uvoza električne energije do 2020. Kao takav, on pokazuje snažan rast emisija do 2020. te nakon toga nešto umjereniji rast do 2030.

Glavni problem ovdje predstavljaju početne vrijednosti emisija u 2015. Izvješće¹⁶³ daje očito prenisku procjenu emisija od 14.523 Gg CO₂, nižu od objavljenih¹⁶³ emisija za 2015. od 16.728 Gg CO₂. Već je rečeno da modeli i podvarijante razvijeni u ovom radu nisu uspjeli na zadovoljavajući način "uhvatiti" pad emisija do 2015., pa projekcije emisija stakleničkih plinova koje su dobivene modelom razvijenim u ovom radu daju znatno više rezultate od ukupnih emisija u scenariju "bez mjera" iz Izvješća¹⁶³. Ovo svakako treba imati na umu prilikom buduće primjene modela iz ovoga rada i permanentno ih korigirati tako da hvataju stalne mijene realnih podataka.

Kao što je već raspravljeno, korigirani BAU-scenarij i Podvarijanta 1 korigiranog održivog scenarija daju najveće vrijednosti emisija, a najmanje daje Podvarijanta 4 korigiranog održivog scenarija u kojoj su najviše prisutne mjere smanjenja potrošnje energije, odnosno mjere energetske učinkovitosti. Rezultat dobiven tom podvarijantom se u 2030. tek neznatno (23.522 Gg CO₂) razlikuje od ukupnih emisija u scenariju "bez mjera" iz Izvješća (21.811 Gg CO₂).

Iz navedenog se može zaključiti kako mjere energetske učinkovitosti odnosno smanjenja neposredne potrošnje energije same nemaju dovoljno snažan učinak za smanjenje ukupnih emisija stakleničkih plinova te bi u daljnjem istraživanju u model trebalo uključiti i druge mjere za smanjenje emisija. To se nažalost zbog strukture modela ne može učiniti *ad hoc* već jedino tijekom godina prikupljanjem podataka o emisijama i mijenjanjem ulaznih podataka u mrežu, koji će u godinama koje slijede uključivati i učinke drugih mjera za smanjenje emisija koje su već na snazi u Hrvatskoj.

Međutim, dokazano je da su modeli u ovome radu na suvisli način i s dovoljnom točnošću uspjeli povezati neposrednu potrošnju energije i emisije stakleničkih plinova.



Slika 66. Usporedba rezultata projekcija ukupnih emisija stakleničkih plinova predviđenih u podvarijantama i scenarijima u ovom radu sa scenarijem "bez mjera" iz Izvješća¹⁶³

6. ZAKLJUČAK

- Razvijen je model koji na temelju projekcija neposredne potrošnje energije u sektorima industrija, promet, usluge, kućanstva, poljoprivreda i graditeljstvo predviđa emisije stakleničkih plinova (CO₂, CO, NO_x, NMHOS i SO₂) do 2030.
- Za izradu modela korištene su projekcije neposredne potrošnje energije po sektorima, koje su izračunate korištenjem metode ekstrapolacije trenda s prosječnim stopama porasta prilikom kojih su kreirani korigirani BAU-scenarij, korigirani održivi scenarij te četiri podvarijante korigiranog održivog scenarija.
- Razvijeni model umjetnih neuronskih mreža za predviđanje emisija stakleničkih plinova s obzirom na projekcije neposredne potrošnje energije čini troslojna umjetna neuronska mreža s unaprednim vezama sa šest neurona u skrivenom sloju u kojoj je primijenjen Levenberg-Marquardtov algoritam s Bayesovom regularizacijom (LM-BR).
- Na osnovi usporedbe dobivenih rezultata relativnog smanjenja emisija za svaki pojedini staklenički plin i za svaki pojedini scenarij i podvarijantu, može se zaključiti kako se iznosi prvih maksimuma kao i vrijeme kada relativna smanjenja emisija počinju davati rezultate razlikuju od slučaja do slučaja.
- Model je pokazao da će se najveće smanjenje emisija ostvariti u usporedbi podvarijante 4 korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija, a da će mjere za smanjenje emisija najbrže početi djelovati u usporedbi podvarijante 1 korigiranog održivog scenarija i korigiranog BAU-scenarija (iako razlike među podvarijantama nisu znatne).
- Odabrana se metoda procjene emisija pokazala prikladnom s obzirom na utrošeno vrijeme kao i na preciznost dobivenih rezultata koji su korišteni za predviđanje emisija stakleničkih plinova, a koji su objavljeni u literaturi.
- Razvidna je izravna povezanost između smanjenja neposredne potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova, odnosno smanjenjem neposredne potrošnje energije raste i stopa smanjenja emisija stakleničkih plinova.
- Budući da službeni podaci uključuju učinke svih mjera za smanjenje emisija, a ne samo mjere energetske učinkovitosti na kojima je zasnovan model razvijen u ovom

radu, nije moguće kvantitativno uspoređivati rezultate dobivene ovim modelom sa službenim podacima. To međutim ukazuje na potrebu kontinuiranog ažuriranja modela unošenjem "svježih" ulaznih podataka koji će tako uključivati i ostale mjere za smanjenje emisija stakleničkih plinova koje su već na snazi u Hrvatskoj.

- S obzirom na dobivene rezultate, cjelokupna metodologija predložena ovim radom može se uspješno primijeniti kao napredan alat za bržu i ekonomičniju izradu novih energetske strategije, a koje su uvjetovane smanjenjem emisija stakleničkih plinova i energetske učinkovitosti.

7. LITERATURA

1. E. Toklu, M. S. Güney, M. Işık, M. O. Comakli, K. Kaygusuz, Energy production, consumption, policies and recent development in Turkey, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 14 (2010) 1172-1186.
2. M. Panella, F. Barcellona, R. L. D'Ecclesia, Forecasting energy commodity prices using neural networks, *Adv. Decis. Sci.* (2012) 1-26.
3. U. Soytaş, R. Sari, B. T. Ewing, Energy consumption, income and carbon emissions in the United States, *Ecol. Econ.* 62 (2007) 482-489.
4. R. Quadrelli, S. Peterson, The energy–climate challenge: Recent trends in CO₂ emissions from fuel combustion, *Energ. Policy* 35 (2007) 5938-5952.
5. United Nations Framework Convention on Climate Change, <http://unfccc.int/2860.php> (pristup 23. travnja 2017.)
6. J. Von Stein, The international law and politics of climate change: Ratification of the United Nations Framework Convention and the Kyoto Protocol. *J. Conflict. Resolut.* 52 (2008) 243-268.
7. 2020 climate & energy package URL: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en (pristup 25. veljače 2014.)
8. Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/> (pristup 23. travnja 2017.)
9. Agencija za zaštitu okoliša, Izvješća o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske za razdoblje 1990. – 2014., URL: <http://www.azo.hr/Izvjesca26> (pristup 17. kolovoza 2016.)
10. K. Gajowniczek, T. Ząbkowski, Short term electricity forecasting using individual smart meter data, *Procedia Comput. Sci.* 35 (2014) 589-597.
11. A. Samimi, S. Zarinabadi, Reduction of Greenhouse gases emission and effect on environment, *Aust. J. Basic & Appl. Sci.* 5 (2011) 752-756.
12. G. A. Florides, P. Christodoulides, Global warming and carbon dioxide through sciences, *Environ. Int.* 35 (2009) 390-401.
13. Direktiva 2003/87/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi sustava trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova (2003). URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003L0087-20140430&from=EN> (pristup 28. srpnja 2016.)

14. T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley, Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (ed.) (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
15. N. Nakićenović, O. Davidson, G. Davis, A. Grübler, T. Kram, E. L. La Rovere, B. Metz, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, A. Sankovski, P. Shukla, R. Swart, R. Watson, Z. Dadi, Emissions Scenarios: Summary for Policymakers, A Special Report of IPCC Working Group III (2000), <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf> (pristup 13. veljače 2016.)
16. United Nations, UN (2012) Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change: United Nations, http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php (pristup 2. veljače 2016.)
17. Zakon o potvrđivanju Kyotskog protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime ("Narodne novine" – Međunarodni ugovori, broj 5/2007)
18. Međunarodni sporazumi u području klime <http://www.consilium.europa.eu/hr/policies/climate-change/international-agreements-climate-action/> (pristup 14. ožujka 2016.)
19. Ugovor o Europskoj uniji i Ugovor o funkcioniranju Europske unije (2010/C 83/01).
20. I. Kersan-Škabić, Ekonomija Europske unije, Društ. Istraž. 21 (2012) 795-815.
21. N. Vlahinić-Dizdarević, S. Žiković, Ekonomija energetskog sektora (izabrane teme), Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2011, str. 4.
22. Energy Roadmap 2050, European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the regions, COM (2011) 885 final, Bruxelles, 15.12.2011. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0885&from=EN> (pristup 17. prosinca 2016.).
23. Eurostat, statistic explained, Greenhouse gas emission statistics, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics#Further_Eurostat_information (pristup 23. siječnja 2016.)

24. Eurostat, statistic explained, Greenhouse gas emission statistics, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-6/assessment> (pristup 12. lipnja 2016.)
25. Europska komisija, Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru, Odboru regija, Okvir za klimatsku i energetska politiku u razdoblju 2020. – 2030., COM (2014) 15, završna verzija, Bruxelles, 22. siječnja 2014.
26. Eurostat, Greenhouse gas emissions per capita, http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/download.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcode=t2020_rd300 (pristup 28. srpnja 2016.)
27. Direktiva 2006/32/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 5. travnja 2006. o energetske učinkovitosti u krajnjoj potrošnji i energetske uslugama te o stavljanju izvan snage Direktive Vijeća 93/76/EEZ Tekst značajan za EGP <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0032&from=HR> (pristup 18. srpnja 2017.)
28. Treći Nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti RH za razdoblje od 2014. do 2016., http://www.mingo.hr/public/3%20Nacionalni_akcijski_plan.pdf (pristup 28. srpnja 2016.)
29. Četvrti nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti RH za razdoblje od 2017. do 2019., Dodatak: Mjere za uspostavu infrastrukture za alternativna goriva, travnja 2017., https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/hr_neeap_2017_hr.pdf (pristup 30. svibnja 2017.).
30. Agencija za investicije i konkurentnost, <http://www.aik-invest.hr/o-hrvatskoj/> (pristup 28. srpnja 2016.)
31. Europska komisija, Smanjenje emisije stakleničkih plinova do 2020.: Odluka o podjeli napora <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=URISERV:en0008&from=HR> (pristup 28. srpnja 2016.)
32. EEA Report, Trends and projections in Europe 2015, No 4/2015, www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2015/download (pristup 28. srpnja 2016.)
33. Ministarstvo zaštite okoliša i prirode (2013), Okvir za izradu Strategije niskougljičnog razvoja- sažetak, https://issuu.com/undphr/docs/leds_za_net (pristup 17. ožujka 2016.)
34. Climate and energy framework, http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030/index_en.htm (pristup 14. ožujka 2016.)

35. Okvirna strategija za otpornu energetska uniju s naprednom klimatskom politikom, Europska komisija, Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru, Odboru regija te Europskoj investicijskoj banci, COM (2015) 80 završna verzija, Bruxelles, 25. veljače 2015.
36. Metodologija za sustav obveze energetske učinkovitosti u skladu s člankom 7. i člankom 20. stavkom 6. te Prilogom V. Direktive 2012/27/eu Europskog parlamenta i vijeća od 25. listopada 2012. o energetske učinkovitosti, članak 7. (Praćenje ušteda energije), <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency-directive/obligation-schemes-and-alternative-measures> (pristup 28. srpnja 2016.)
37. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, Europska komisija, Komunikacija Komisije Europskom Parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru, Odboru regija, COM (2011) 112, završna verzija, Bruxelles, 8. ožujka 2011.
38. Hrvatski Sabor (2002): Strategija energetske razvitka Republike Hrvatske, Narodne novine br. 38/02, Zagreb.
39. Hrvatski Sabor (2009): Strategija energetske razvoja Republike Hrvatske, Narodne novine br. 130/09, Zagreb.
40. Energetski institut Hrvoje Požar, Godišnji energetski pregled – energija u Hrvatskoj 2014., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2015., str. 47, 78, 91, 94, 100, 107.
41. Hrvatski Sabor (2009): Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske, Narodne novine br. 30/09, Zagreb.
42. P. Söderholm, R. Hildingsson, B. Johansson, J. Khan, F. Wilhelmsson, Governing the transition to low-carbon futures: A critical survey of energy scenarios for 2050, *Futures* 43 (2011) 1105-1116.
43. M. A. Knudstrup, H. T. Ring Hansen, C. Brunsgaard, Approaches to the design of sustainable housing with low CO₂ emission in Denmark, *Renew. Energ.* 34 (2009) 2007-2015.
44. G. P. Peters, C. L. Weber, D. Guan, K. Hubacek, China's growing CO₂ emissions – a race between increasing consumption and efficiency gains, *Environ. Sci. Technol.* 41 (2007) 5939-5944.
45. E. H. K. Yung, E. H. V. Chan, Implementation challenges to the adaptive reuse of heritage buildings: Towards the goals of sustainable, low carbon cities, *Habitat Int.* 36 (2012) 352-361.

46. P. N. Jiang, K. Tovey, Opportunities for low carbon sustainability in large commercial buildings in China, *Energ. Policy* 37 (2009) 4949-4958.
47. Eurostat, Share of renewable energy in fuel consumption of transport, <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdcc340&plugin=1> (pristup 28. srpnja 2016.)
48. M. Drljača, Concept of sustainable development and management system, *Kvalitet i izvrsnost* 1 (2012) 20-26.
49. G. Rajović, J. Bulatović, Some geographical aspects of sustainable development with view on Montenegro: a review, *World Sci. News* 42 (2014) 98-109.
50. N. Zhang, N. Lior, H. Jin, The energy situation and its sustainable development strategy in China, *Energy* 36 (2011) 3639-3649.
51. Energetski institut Hrvoje Požar, Godišnji energetski pregled – energija u Hrvatskoj 2013., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2014., str. 85, 90, 94, 100, 107.
52. Energetski institut Hrvoje Požar, Godišnji energetski pregled – energija u Hrvatskoj 2011., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2012., str. 84, 89, 94, 99, 105.
53. Energetski institut Hrvoje Požar, Godišnji energetski pregled – energija u Hrvatskoj 2010., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2011., str. 82, 87.
54. Energetski institut Hrvoje Požar, Godišnji energetski pregled – energija u Hrvatskoj 2009., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2010., str. 84, 89.
55. Energetski institut Hrvoje Požar, Godišnji energetski pregled – energija u Hrvatskoj 2008., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2009b., str. 92, 98, 103, 110, 116.
56. Energetski institut Hrvoje Požar, Godišnji energetski pregled – energija u Hrvatskoj 1945–2007., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2009a., str. 21, 22, 23, 25, 27.
57. Energetski institut Hrvoje Požar, Godišnji energetski pregled – energija u Hrvatskoj 2004., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2006., str.78, 83, 88, 93, 98.
58. Godišnji energetski pregled – energija u Hrvatskoj 1994 – 1998, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 1999., str. 27, 29, 31, 34, 37.

59. Godišnji energetska pregled – energija u Hrvatskoj 1992 – 1996, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 1997., str. 34, 36, 40, 43, 46, 48.
60. Godišnji energetska pregled – energija u Hrvatskoj 1991 – 1995, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 1996., str. 34, 48.
61. A. Sözen, Z. Gülseven, E. Arcaklioğlu, Forecasting based on sectoral energy consumption of GHGs in Turkey and mitigation policies, *Energ. Policy* 35 (2007) 6491-6505.
62. X. P. Zhang, X. M. Cheng, Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China, *Ecol. Econ.* 68 (2009) 2706-2712.
63. J. Šimurina, A. Dobrović, A. Analysis of environmental Kuznets curve, *Zbornik Ekonomskog Fakulteta u Zagrebu* 9(2) (2011) 123-143.
64. G. M. Grossman, A. B. Krueger, Environmental impacts of a North American free trade agreement, National Bureau of Economic Research, Working paper series, No. w3914, Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1991.
65. M. Galeotti, A. Lanza, F. Pauli, Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: a robustness exercise, *Ecol. Econ.* 57 (2006) 152-163.
66. A. Jalil, S. F. Mahmud, Environment Kuznets curve for CO₂ emissions: a cointegration analysis for China, *Energ. Policy* 37 (2009) 5167-5172.
67. H. T. Pao, C. M. Tsai, Multivariate Granger causality between CO₂ emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries, *Energy* 36 (2011) 685-693.
68. J. B. Ang, CO₂ emissions, energy consumption, and output in France, *Energ. Policy* 35 (2007) 4772-4778.
69. C. C. Lee, The causality relationship between energy consumption and GDP in G-11 countries revisited, *Energ. Policy* 34 (2006) 1086-1093.
70. R. F. Engle, C. W. J. Granger, Co-Integration and error correction: representation, estimation and testing, *Econometrica* 55 (1987) 251-276.
71. T. Gelo, Causality between economic growth and energy consumption in Croatia, *Zb. rad. Ekon. fak. Rij.* 27 (2009) 327-348.
72. N. Vlahinić, P. Jakovac, Revisiting the energy consumption-growth nexus for Croatia: New evidence from a multivariate framework analysis, *Contemp. Econ.* 2 (2014) 141–164.

73. http://www.hnb.hr/statistika/h_ekonomski_indikatori.pdf, (pristup 23. siječnja 2016.)
74. J. Chontanawat, L. C. Hunt, R. Pierse, Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over 100 countries, *J. Policy Model.* 30 (2008) 209-220.
75. H. Jošić, M. Jošić, M. Janečić, Testing the environmental Kuznets curve in the case of Croatia. *Notitia – časopis za održivi razvoj* 2 (2016) 31-47.
76. GHG Intensity of Economy, <https://sites.google.com/site/climateanalysisindicatorstool/cait-international-8-0/ghg-intensity-of-economy-1> (pristup 23. travnja 2017.)
77. Y-S. Lee, L-I. Tong, Forecasting energy consumption using a grey model improved by incorporating genetic programming, *Energ. Convers. Manage.* 52 (2011) 147-152.
78. N. van Beeck, Classification of energy models. Tilburg: Tilburg University; 1999. Report No.: FEW-777.
79. M. Grubb, The costs of limiting fossil-fuel CO₂ emissions: a survey and analysis, *Annu. Rev. Energy Env.* 18 (1993) 397-478.
80. S. Jebaraj, S. Iniyan, A review of energy models, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 10 (2006) 281-311.
81. H. R. Khosravani, M. Del Mar Castilla, M. Berenguel, A. E. Ruano, P. M. Ferreira, A comparison of energy consumption prediction models based on neural networks of a bioclimatic building, *Energies* 9 (2016) 1-24.
82. N. Neshat, M. R. Amin-Naseri, F. Danesh, Energy models: Methods and characteristics, *J. Energy South. Afr.* 25 (2014) 101-111.
83. L. Hong, H. Lund, B. V. Mathiesen, B. Möller, 2050 pathway to an active renewable energy scenario for Jiangsu province, *Energ. Policy* 53 (2013) 267-278.
84. L. Ekonomou, Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks, *Energy* 35 (2010) 512-517.
85. O. E. Canyurt, H. Ceylan, H. K. Ozturk, A. Hepbasli, Energy demand estimation based on two-different genetic algorithm approaches, *Energ. Sources* 26 (2004) 1313-1320.
86. E. Worrell, L. Bernstein, J. Roy, L. Price, Harnisch, J. Industrial energy efficiency and climate change mitigation, *Energ. Effic.* 2 (2009) 109-123.
87. Eurostat, Energy intensity of the economy, <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdec360> (pristup 23. siječnja 2016.)

88. N. Rivers, M. Jaccard, Combining top-down and bottom-up approaches to energy-economy modeling using discrete choice methods, *Energ. J.* 1 (2005) 83-106.
89. H. K. Jacobsen, Integrating the bottom-up and top-down approach to energy–economy modelling: the case of Denmark, *Energ. Econ.* 20 (1998) 443-461.
90. M. Kavgic, A. Mavrogianni, D. Mumovic, A. Summerfield, Z. Stevanovic, M. Djurovic-Petrovic, A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector, *Build. Environ.* 45 (2010) 1683-1697.
91. H. Božić, Svrha i metode modeliranja energetskeg sustava, *Energija* 55 (2006) 530-549.
92. MIT, Energy technology availability: review of longer term scenarios for development and deployment of climate-friendly technologies. Cambridge, Massachusetts, USA: Massachusetts Institute of Technology Energy Laboratory; 1997.
93. T. Barker, P. Ekins, T. Foxon, T. Macroeconomic effects of efficiency policies for energy-intensive industries: the case of the UK Climate Change Agreements, 2000–2010, *Energ. Econ.* 29 (2007) 760-778.
94. A. Herbst, F. Toro, F. Reitze, E. Jochem, Introduction to energy systems modelling, *Swiss J. Econom. Stat.* 148 (2012) 111-135.
95. G. Catenazzi, Advances in Techno-Economic Energy Modeling: Costs, Dynamics and Hybrid Aspects, Dissertation, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zürich, 2009., str. 7-132.
96. C. Nathani, M. Wickart, R. Oleschak, R. van Nieuwkoop, Estimation of a Swiss input-output table for 2001. CEPE Report, 2006 (6).
97. H. Mayer, Calculation and Analysis of a Hybrid Energy Input-Output Table for Germany within the Environmental-Economic Accounting (EEA). Paper presented at the 16th International Input-Output Conference 2–6 July 2007, Istanbul/Turkey, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2007.
98. E. Jochem, T. Barker, S. Scricciu, W. Schade, N. Helfrich, O. Edenhofer, N. Bauer, S. Marchand, J. Neuhaus, S. Mima, P. Criqui, J. Morel, B. Chateau, A. Kitous, G. J. Nabuurs, M. J. Schelhaas, T. Groen, L. Riffeser, F. Reitze, E. Jochem, G. Catenazzi, M. Jakob, B. Aebischer, K. Kartsoni, W. Eichhammer, A. ; Held, M. Ragwitz, U. Reiter, S. Kypreos, H. Turton, EU-Project ADAM: Adaption and Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy – Deliverable M1.1: Report of the Base Case Scenario for Europe and Full Description of the Model System, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, November 2007.

99. J.-C. Hourcade, M. Jaccard, C. Bataille, F. Ghersi, Hybrid modeling: New answers to old challenges, *Energ. J.* 2 (2006) 1-12.
100. A. Bernard, M. Vielle, GEMINI-E3, A general equilibrium model of international-national interactions between economy, energy and environment, *Comput. Manag. Sci.* 5 (2008) 173-206.
101. M. Krail, W. Schade, The potential of alternative fuel cars for achieving CO₂ reduction targets in EU27. In 12th World Conference on Transport Research (WCTR). Published in Selected Proceedings, Lisbon, Portugal, July, 2010.
102. P. Russ, P. Criqui, Post-Kyoto CO₂ emission reduction: the soft landing scenario analysed with POLES and other world models. *Energ. Policy* 35 (2007) 786-796.
103. Industrial energy and material efficiency: What role for policies?, http://www.un.org/esa/sustdev/publications/industrial_development/3_2.pdf (pristup 23. travnja 2017.)
104. S. Brönnimann, C. Appenzeller, M. Croci-Maspoli, J. Fuhrer, M. Grosjean, R. Hohmann, R. Röthlisberger, Climate change in Switzerland: a review of physical, institutional, and political aspects, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 5 (2014) 461-481.
105. W. Fichtner, D. Möst, M. Wietschel, C. Weinhardt, O. Rentz, Strategische Planung von Energieversorgern in liberalisierten Energiemärkten, *WiSt* 32 (2003) 707-713.
106. S. C. Bhattacharyya, G. R. Timilsina, A review of energy system models, *International Journal of Energy Sector Management* 4 (2010) 494-518.
107. Climate Change 2007: Synthesis Report (IPCC, 2007), Valencia: Intergovernmental Panel on Climate Change, November 2007., URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf (pristup 12. prosinca 2015.)
108. D. P. Van Vuuren, M. Hoogwijk, T. Barker, K. Riahi, S. Boeters, J. Chateau, S. Scricciu, J. van Vliet, T. Masui, K. Blok, E. Blomen, T. Kram, Comparison of top-down and bottom-up estimates of sectoral and regional greenhouse gas emission reduction potentials, *Energ. policy* 37 (2009) 5125-5139.
109. C. W. Frei, P. A. Haldi, G. Sarlos, Dynamic formulation of a top-down and bottom-up merging energy policy model, *Energ. Policy* 31 (2003) 1017-1031.
110. S. C. Bhattacharyya, G. R. Timilsina, Energy demand models for policy formulation: a comparative study of energy demand models, *The World Bank Development Research Group, Environment and Energy Team*, March 2009.

111. I. S. Wing, The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: Electric power technology detail in a social accounting framework, *Energ. Econ.* 30 (2008) 547-573.
112. F. Hedenus, D. J. Johansson, K. Lindgren, A critical assessment of energy-economy-climate models, Chalmers University of Technology, 2012.
113. J. Lin, B. Cao, S. Cui, W. Wang, X. Bai, Evaluating the effectiveness of urban energy conservation and GHG mitigation measures: the case of Xiamen city, China, *Energ. Policy* 38 (2010) 5123-5132.
114. C. Heaps, An introduction to LEAP, Stockholm Environment Institute, 2008, 1-16.
115. J. D. Sterman, Modeling the formation of expectations: the history of energy demand forecasts, *Int. J. Forecasting* 4 (1988) 243-259.
116. D. P. Sharma, P. C. Nair, R. Balasubramanian, Demand for commercial energy in the state of Kerala, India: an econometric analysis with medium-range projections, *Energ. policy* 30 (2002) 781-791.
117. M. Gardner, S. Dorling, Artificial neural networks (the multilayer perceptron) – a review of applications in the atmospheric sciences, *Atmos. Environ.* 32 (1998), 2627-2636.
118. F. Despagne, D. L. Massart, Neural networks in multivariate calibration, *Analyst* 123 (1998) 157R-178R.
119. H. J. S. Fernando, M. C. Mammarella, G. Grandoni, Forecasting PM₁₀ in metropolitan areas: efficacy of neural networks, *Environ Pollut.* 163 (2012) 62-67.
120. K. P. Singh, S. Gupta, A. Kumar, S. P. Shukla, Linear and nonlinear modeling approaches for urban air quality prediction, *Sci. Total. Environ.* 426 (2012) 244-255.
121. P. Hájek, V. Olej, Ozone prediction on the basis of neural networks, support vector regression and methods with uncertainty, *Ecol. Inf.* 12 (2012) 31-42.
122. A. Russo, F. Raischel, P. G. Lind, Air quality prediction using optimal neural networks with stochastic variables, *Atmos. Environ.* 79 (2013) 822-830.
123. M. Matthies, C. Giupponi, B. Ostendorf, Environmental decision support systems: current issues, methods and tools, *Environ. Model. Softw.* 22 (2007) 123-127.
124. I. M. Raimundo Jr, R. Narayanaswamy, Simultaneous determination of relative humidity and ammonia in air employing an optical fibresensor and artificial neural network, *Sensor. Actuat. B.* 74 (2001) 60-68.

125. Y. Lim, Y. S. Moon, T. W. Kim, Artificial neural network approach for prediction of ammonia emission from field-applied manure and relative significance assessment of ammonia emission factors, *Eur. J. Agron.* 26 (2007) 425-434.
126. J. M. Alonso, F. Alvarruiz, J. M. Desantes, L. Hernández, V. Hernández, G. Moltó, Combining neural networks and genetic algorithms to predict and reduce diesel engine emissions, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 11 (2007) 46-55.
127. D. Z. Antanasijević, V. V. Pocajt, D. S. Povrenović, PM₁₀ emission forecasting using artificial neural networks and genetic algorithm input variable optimization, *Sci. Total. Environ.* 443 (2013) 511-519.
128. D. Z. Antanasijević, M. Đ. Ristić, A. A. Perić-Grujić, V. V. Pocajt, Forecasting GHG emissions using an optimized artificial neural network model based on correlation and principal component analysis, *Int. J. Greenh. Gas Control* 20 (2014) 244-253.
129. B. Khoshnevisan, S. Rafiee, M. Omid, M. Yousefi, M. Movahedi, Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks, *Energy* 52 (2013) 333-338.
130. L. J. Stamenković, D. Z. Antanasijević, M. Đ. Ristić, A. A. Perić-Grujić, V. V. Pocajt, Estimation of NMVOC emissions using artificial neural networks and economical and sustainability indicators as inputs, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23 (2016) 10753-10762.
131. L. J. Stamenković, D. Z. Antanasijević, M. Đ. Ristić, A. A. Perić-Grujić, V. V. Pocajt, Modeling of ammonia emission in the USA and EU countries using an artificial neural network approach, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22 (2015) 18849-18858.
132. J. Ljubičić, Predviđanje potrošnje električne energije na Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu elektrotehnike i računarstva neuronskom mrežom s funkcijama s kružnom osnovicom, završni rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2012.
133. H. Novak, Predviđanje potrošnje električne energije na Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu elektrotehnike i računarstva višeslojnom perceptronskom neuronskom mrežom, završni rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2012.
134. D. Radojević, V. V. Pocajt, I. Popović, A. A. Perić-Grujić, M. Đ. Ristić, Forecasting of greenhouse gas emissions in Serbia using artificial neural networks, *Energ. Source. Part A.* 35 (2013) 733-740.
135. J. Huang, K. Nagasaka, The trends of greenhouse gas emission for Japanese electric utility post Kyoto protocol, *IJEAT* 1 (2012) 225-229.

136. M. Yousefi, M. Omid, Sh. Rafiee, S. F. Ghaderi, Strategic planning for minimizing CO₂ emissions using LP model based on forecasted energy demand by PSO algorithm and ANN, *IJEE* 4 (2013) 1041-1052.
137. X. Liu, A grey neural network and input-output combined forecasting model and its application in primary energy related CO₂ emissions estimation by sector in China, *Enrgy. Proced.* 36 (2013) 815-824.
138. H. T. Pao, Forecasting energy consumption in Taiwan using hybrid nonlinear models, *Energy* 34 (2009) 1438-1446.
139. Z. W. Geem, W. E. Roper, Energy demand estimation of South Korea using artificial neural network, *Energ. policy* 37 (2009) 4049-4054.
140. L. Tian, L. Gao, P. Xu, The Evolutional Prediction Model of Carbon Emissions in China Based on BP Neural Network, *International Journal of Nonlinear Science* 10 (2010) 131-140.
141. H. Abderrahim, M. Reda Chellali, A. Hamou, Forecasting PM₁₀ in Algiers: efficacy of multilayer perceptron networks, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23 (2016) 1634-1641.
142. IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (IPCC Good Practice Guidance), <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/> (pristup 23. travnja 2017.)
143. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC Guidelines), <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (pristup 23. travnja 2017.)
144. Priručnik MZOPUG za praćenje i izvješćivanje o emisijama stakleničkih plinova iz postrojenja nastalih obavljanjem djelatnosti iz Priloga I Uredbe o emisijskim kvotama stakleničkih plinova i načinu trgovanja emisijskim jedinicama NN 142/08, Zagreb, 2009. URL: <http://www.azo.hr/lgs.axd?t=16&id=3883> (pristup 24. travnja 2017.).
145. United Nations Framework Convention on Climate Change, Review of the implementation of commitments and of other provisions of the convention UNFCCC guidelines on reporting and review <http://unfccc.int/resource/docs/cop5/07.pdf> (pristup 24. travnja 2017.)
146. B. Dalbelo Bašić, M. Čupić, J. Šnajder, Umjetne neuronske mreže, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2011. (Skripta) https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/UI_12_UmjetneNeuronskeMreze.pdf (pristup 23. siječnja 2016.)
147. W. S. McCulloch, W. Pitts, A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bull. Math. Biophys.* 5 (1943) 115-133.

148. D. Li, Y. Du, *Artificial intelligence with uncertainty*, Chapman&Hall/CRC, Boca Raton, 2008.
149. K. Hornik, Approximation capabilities of multilayer feedward networks, *Neural. Netw.* 4 (1991) 251-257.
150. S. Lončarić, Predavanja iz kolegija Neuronske mreže: Višeslojni perceptron, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb http://www.ieee.hr/_download/repository/06-ViseslojniPerceptron-1s.pdf (pristup 23. siječnja 2016.)
151. S. Lek, J. F. Guégan, Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction, *Ecol. Model.* 120 (1999) 65-73.
152. Š. Ukić, Matematički model za simuliranje odziva ionske kromatografske analize, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2009.
153. T. Bolanča, Š. Cerjan-Stefanović, Š. Ukić, M. Rogošić, M. M. Luša, Application of different training methodologies for the development of a back propagation artificial neural network retention model in ion chromatography, *J. Chemometrics* 22 (2008) 106-113.
154. T. Bolanča, Š. Cerjan-Stefanović, M. Regelja, H. Regelja, S. Lončarić, Development of an inorganic cations retention model in ion chromatography by means of artificial neural networks with different two-phase training algorithms, *J. Chromatogr. A.* 1085 (2005) 74-85.
155. G. Srečnik, Ž. Debeljak, Š. Cerjan-Stefanović, M. Novič, T. Bolanča, Optimization of artificial neural networks used for retention modelling in ion chromatography, *J. Chromatogr. A.* 973 (2002) 47-59.
156. H. B. Demuth, M. Beale, *Neural Network Toolbox for Use with MATLAB, User's Guide*, The MathWorks Inc., Natick, MA, USA, 2004.
157. T. P. Vogl, J. K. Mangis, A. K. Zigler, W. T. Zink, D. L. Alkon, Accelerating the convergence of the back-propagation method, *Biol. Cybern.* 59 (1988) 256-264.
158. E. K. P. Chong, S. H. Zak, *An Introduction to Optimization*, 2nd ed. Wiley, Singapore 2004.
159. M. T. Hagan, M. B. Menhaj, Training feedforward networks with the Marquardt algorithm, *IEEE transactions on Neural Networks* 5 (1994) 989-993.
160. Vlada Republike Hrvatske (2006): Uredba o praćenju emisija stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj, Narodne novine br. 1/2007, Zagreb.

161. Ministarstvo gospodarstva (2013) Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore energije do 2020. http://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/NAP_OIE.pdf (pristup 24. travnja 2017.).
162. Hrvatska narodna banka (2017): Glavni makroekonomski indikatori <https://www.hnb.hr/statistika/glavni-makroekonomski-indikatori> (pristup 24. travnja 2017.).
163. Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o o inventaru stakleničkih plinova na hrvatskom jeziku, NIR 2017., URL: <http://www.azo.hr/Izvjesca26> (pristup 27. srpnja 2017.)
164. Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o projekcijama emisija stakleničkih plinova, URL: <http://www.azo.hr/Izvjesca26> (pristup 17. lipnja 2017.)

8. PRILOG

POPIS OZNAKA

Oznaka/Kratica	Engleski naziv	Hrvatski naziv
ANN	Artificial Neural Network	Umjetna neuronska mreža
ARIMA	Auto Regressive Integrated Moving Average	Auto regresijski integrirani pomični prosjek
ARMA	Auto Regressive Moving Average	Auto regresijski pomični prosjek
ASTRA	ASAssessment of TRAnsport Strategies	Ocjena strategija prijevoza
BAU	Business-As-Usual	Temeljna projekcija
BDP		Bruto društveni proizvod
BFGS	quasi-Newton algorithm with Broyden, Fletcher, Goldfarb and Shanno update	Kvazi-Newtonov algoritam s Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shannovim ažuriranjem
BP	error Back-Propagation algorithm	Algoritam s povratnim rasprostranjem pogreške
BR	Levenberg-Marquardt algorithm with Bayesian Regularization	Levenberg-Marquardtov algoritam s Bayesovom regularizacijom
CDA	Conditional Demand Analysis	Analiza uvjetne potražnje
CGB	Powel-Beale Conjugate Gradient	Powel-Bealov konjugat gradijent
CGE	Computable General Equilibrium	Modeli opće ravnoteže
CLRTAP	Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution	Konvencija o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka
CRF	Common Reporting Format	Zajednički format za izvještavanje o stakleničkim plinovima
DBD	Delta-Bar-Delta	Delta-bar-delta
DIME	Dispatch and Investment Model for Electricity markets in Europe	Model otpreme i ulaganja za tržišta električne energije u Europi
E3ME	Energy-Environment-Economy global Macro-Economic (E3ME)	Energija, okoliš, ekonomija – globalni makroekonomski (model)
ECSC	European Coal and Steel Community	Europska zajednica za ugljen i čelik
EDBD	Extended Delta-Bar-Delta	Proširena delta-bar-delta
EEC	European Economic Community	Europska ekonomska zajednica
EF	Emission Factors	Faktori emisija
EFOM	Energy Flow Optimisation Model	Model za optimiziranje energetske tokova
EKC	Environmental Kuznets Curve	Kuznetsova krivulja okoliša
ERT	Electronic Reporting Tool	Alat za elektroničko izvještavanje

Oznaka/Kratica	Engleski naziv	Hrvatski naziv
ESD	Effort Sharing Decision	Odluka o raspodjeli napora
ETS	Emissions Trading System	Sustav trgovanja emisijama
EU	European Union	Europska unija
FAIR-SIMCAP	Framework to Assess International Regimes for the differentiation of commitments – Simple Model for Climate Policy Assessment	Okvir za procjenu međunarodnih režima za diferencijaciju obveza – Jednostavni model za procjenu klimatskih politika
GAINS	Greenhouse gas – Air pollution INteractions and Synergies	Staklenički plin – onečišćenje zraka i sinergije
GDA	Gradient Descent Algorithm (with adaptive learning rate)	Algoritam padajućeg gradijenta s prilagodljivom brzinom učenja
GDX	Gradient Descent (X – with momentum and adaptive learning rule)	Algoritam padajućeg gradijenta s momentumom i prilagodljivim pravilom učenja
GEM-E3	General equilibrium model – E3 (Economy-Energy-Environment)	Model opće ravnoteže – E3
GHG	GreenHouse Gases	Staklenički plinovi
GMM	Gaussian Mixture Models	Gaussovi mješoviti modeli
GTAP	Global Trade Analysis Project	Projekt analize globalne trgovine
GWP	Global Warming Potential	Potencijal globalnog zagrijavanja
HAOP		Hrvatska agencija za okoliš i prirodu
HERA		Hrvatska energetska regulatorna agencija
HFC	HydroFluoroCarbons	Hidrofluorouglikovodici
IEA	International Energy Agency	Međunarodna energetska agencija
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis	Međunarodno institut za primijenjene analize sustava
IMAGE	Integrated Model to Assess the Global Environment	Integrirani model za ocjenu globaloga okoliša
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Međuvladin panel o klimatskim promjenama
LEAP	Long-range Energy Alternatives Planning	Planiranje dalekosežnih alternativnih energija
LM	Levenberg–Marquardt algorithm	Levenberg–Marquardtov algoritam
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry	Korištenje zemljišta, promjena u korištenju zemljišta i šumarstvo
MAED	Model for Analysis of Energy Demand	Model za analizu energetskih potreba

Oznaka/Kratica	Engleski naziv	Hrvatski naziv
MARKAL	MARKet ALlocation model	Model tržišnih alokacija
MERGE	Model for Evaluating the Regional and Global Effects of greenhouse gas reduction policies	Model za ocjenu regionalnih i globalnih učinaka politika smanjenja stakleničkih plinova
MESSAGE	Model for Energy Supply Systems And their General Environmental impact	Model za sustave opskrbe energijom i njihov opći utjecaj na okoliš
MiniCAM	Mini-Climate Assessment Model	Mini-klimatski model za procjenu
MLP	MultiLayer Perceptron	Višeslojni perceptron
MSE	Mean sum of Squares of the network Errors	Srednja vrijednost zbroja kvadrata mrežnih pogrešaka
MSE _{REG}	Mean sum of Squares of the network Errors with Bayesian regularization included	Srednja vrijednost zbroja kvadrata mreže pogreške s Bayesovom regularizacijom
MSW	Mean sum of Squares of the network Weights and biases	Srednja vrijednost zbroja kvadrata težine mreže i pristranosti
NIR	National Inventory Report	Izvješće o inventaru stakleničkih plinova
NMVOC	NonMethane Volatile Organic Compounds	Ne-metanski hlapivi organski spojevi
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	Organizacija za ekonomsku suradnju i razvoj
PFC	PerFluoroCarbons	Perfluorouglikovodici
POLES	Prospective Outlook on Long-term Energy System	Potencijalni Outlook o dugoročnom energetsom sustavu
PM	Particulate Matter	Lebdeće čestice
PRIMES	Price-Induced Market Equilibrium System	Sustav za cijenom induciranu tržišnu ravnotežu
RAINS	Regional Air Pollution Information and Simulation	Informacija i simulacija regionalnog onečišćenja zraka
RBF	Radial Basis Function	Funkcije s kružnom osnovicom
UNDP	United Nations Development Programme	Program Ujedinjenih naroda za razvoj
UNEP	United Nations Environment Programme	Program Ujedinjenih naroda za okoliš
SCENE	SoCial, ENvironmental and Economic model	Model društva, okoliša i ekonomije
SRES	Special Report on Emissions Scenarios	Posebno izvješće o emisijskim scenarijima

Oznaka/Kratica	Engleski naziv	Hrvatski naziv
SVM	Support Vector Machines	Metoda vektora potpore
TD	Top-Down	(Metoda) odozgo prema dolje
TIME	(The Integrated MARKAL-EFOM system)	Integrirani sustav MARKAL-EFOM
TIMER	Targets IMage Energy Regional	Model IMAGE za regionalne energetske ciljeve
UNFCCC	United Nation Framework Convention on Climate Change	Okvirna konvencija o klimatskim promjenama Ujedinjenih naroda
WEM	World Energy Model	Svjetski energetska model
WMO	World Meteorological Organization	Svjetska meteorološka organizacija

9. ŽIVOTOPIS

Tomislav Strahovnik [REDACTED] Osnovnu i srednju kemijsko-geološku tehničku školu pohađao je u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet upisao je 1993. u Zagrebu, godine 2000. diplomirao je na studiju rudarstva, smjeru geotehnika, s temom *Proračun naprezanja uz otvor podzemne prostorije*, pod mentorstvom prof. dr. sc. Lidije Frgić s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu.

Godine 2001. zaposlio se u Ministarstvu gospodarstva RH, u Odjelu za rudarstvo, Upravi za energetiku i rudarstvo. Na tom radnom mjestu radio je do ožujka 2008. Na tom radnom mjestu sudjelovao je u izradi Strategije gospodarenja mineralnim sirovinama Republike Hrvatske.

Od ožujka 2008. zaposlen je u Hrvatskoj energetske regulatornoj agenciji u Sektoru za plin i naftu gdje radi i danas.

Sveučilišni interdisciplinarni poslijediplomski studij Ekoinženjerstvo Sveučilišta u Zagrebu upisuje 2009. Završni rad *Koncentracije lebdećih čestica PM₁₀ u ovisnosti o prometu i meteorološkim elementima* izradio je pod mentorstvom prof. dr. sc. Zvezdane Bencetić Klaić s Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu i obranio ga 2010.

Poslijediplomski doktorski studij Inženjerska kemija u znanstvenom području Tehničkih znanosti, polju Interdisciplinarne tehničke znanosti (Inženjerstvo okoliša) upisuje 2011. Znanstveno i stručno se bavi problematikom iz područja energetike i zaštite okoliša, te regulacijom tržišta plina i nafte. Objavio je jedan znanstveni rad citiran u bazi *Current Contents*, jedan sažetak u zbornicima skupova sa domaćom recenzijom te je sudjelovao na više znanstvenih i stručnih skupova iz područja energetike, regulacije i zaštite okoliša.