

Emisije gasova staklene bašte u Srbiji za period 1995-2013. godina primenom rekurentnih neuronskih mreža

Lidija Stamenković¹, Davor Antanasijević²
Mirjana Ristić¹, Aleksandra Perić-Grujić¹
Viktor Pocajt¹

Originalni naučni rad
UDC:632.15.001.572:551.583.1/3

UVOD

Emisija gasova staklene bašte (*Greenhouse gases* - GHGs) usled antropogenih aktivnosti, kao što je poznato, glavni je uzrok globalnog zagrevanja. Akumulacija emitovanih količina gasova staklene bašte u atmosferi je naglo porasla tokom zadnjih decenija i predstavlja pretnju ne samo za opstanak ljudi već i čitavih ekosistemima [1]. Iz napred navedenih razloga, a radi smanjenja uticaja čoveka na klimatske promene, neophodno je kontinuirano i precizno praćenje emisije GHG.

Okvirna konvencija Ujedinjenih Nacija o promeni klime (*The United Nation Framework Convention on Climate Change* -UNFCCC) i Kjoto protokol predstavljaju neke od mera koje se preduzimaju na globalnom nivou, a sve u cilju smanjenja emisije GHG. Republika Srbija kao ne-Aneks I potpisnica Okvirne konvencije UN o promeni klime i Kjoto protokola, ima obavezu da prati emisiju GHG i sprovodi mere sa ciljem ispunjavanja kriterijuma definisanih Konvencijom i Kjoto protokolom[2].

Glavni izvori podataka o GHG emisiji su inventari emisija, u kojima se procena emisije vrši na osnovu velikog broja specifičnih podataka: stope aktivnosti izvora emisije i emisionih faktora koji su karakteristični za svaki izvor. Stopa aktivnosti je veličina kojom se kvantifikuje „rad“ određenog izvora i određuje se na osnovu statistički podataka vezanih za ekonomiju, energetiku itd. Emisioni faktori su takođe specifične veličine koje se određuju merenjem, proračunom ili procenom za svaki pojedinačni izvor emisije. Procena ukupne emisije vrši se sabiranjem proizvoda stope aktivnosti i emisionih faktora za sve evidentirane izvore emisije GHG-a na određenoj teritoriji. Za zemlje u razvoju, kao što je Srbija, precizna procena emisije ovim pristupom nije moguća zbog nedostatka podataka o aktivnosti pojedinih izvora kao i odgovarajućih emisionih faktora.

Adrese autora: ¹Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, Beograd, ²Inovacioni Centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Karnegijeva 4, Beograd

Rad primljen: 28. 04. 2015.

Rad prihvaćen: 10. 07. 2015.

Poslednjih godina razvijeni su emisioni modeli, zasnovani na veštačkim neuronskim mrežama (*Artificial Neural Networks* – ANN), koji pružaju mogućnost procene emisije zagađujućih materija sa znatno manjim brojem ulaznih parametara u odnosu na inventare emisija. Kao ulazni parametri za procenu emisije GHG neuronskim mrežama koriste se široko dostupni indikatori održivog razvoja, ekonomski i industrijski parametri koji kvantifikuju izvore emisija GHG. ANN su već uspešno primenjene za procenu godišnjih emisija GHG na nacionalnom nivou zemalja Evropske unije[3].

Da bi se razvio model zasnovan na ANN za Srbiju, potrebno je poznavanje određenih ekonomskih i industrijskih parametara kao i indikatora održivog razvoja. Kako je Srbija tek u fazi implementacije i usklađivanja određenih zakonskih propisa sa zakonodavstvom Evropske unije, to je praćenje ovih parametara još u povoju. Kao moguće rešenje za razvoj modela za procenu emisije GHG koji bi bio primenljiv za Srbiju, u ovom radu je razvijen ANN model sa ulaznim podacima za Bugarsku, koja je po nekim karakteristikama vrlo slična Srbiji: broju stanovnika, položaju, stepenu razvijenosti i dr., slika 1a. Navedene sličnosti su uslovile da kod Srbije i Bugarske osnovni nacionalni indikatori, bruto domaći proizvod (BDP) i godišnja potrošnja energije (GPE), imaju sličan trend u posmatranom periodu, slika 1b.

1. GHG EMISIONI MODEL

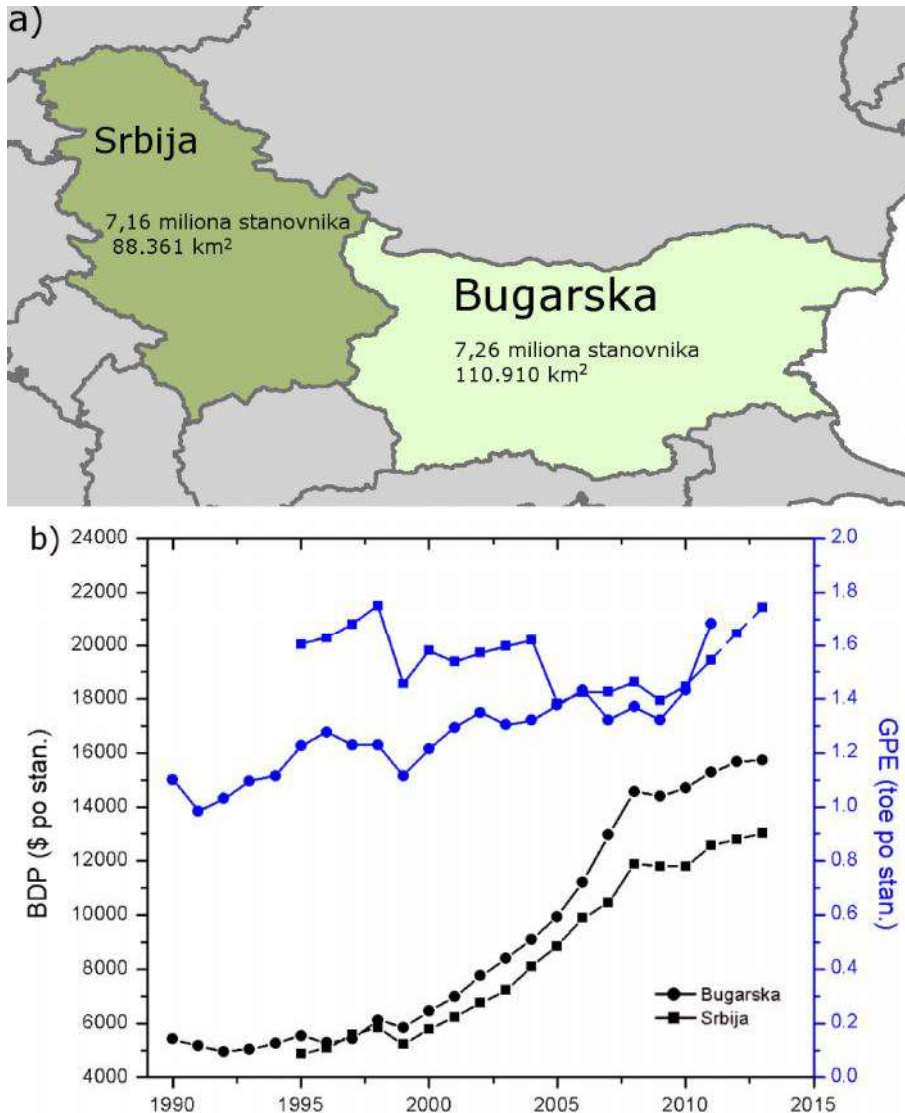
1.1. Arhitektura neuronske mreže

ANN su relativno nova i sofisticirana tehnika modelovanja, razvijena sa ciljem da simulira neke funkcije ljudskog mozga, kao što su: učenje, sposobnost generalizacije i donošenje zaključaka iz stečenog iskustva. Koristeći različite algoritme za učenje, one uočavaju veze i šablone unutar grupe podataka koja im se prezentuje i na taj način stiču sposobnost da predvide odgovore na nove eksperimentalne uslove [4].

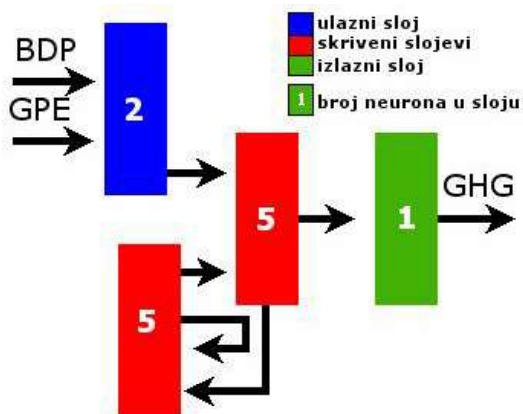
Rekurentne neuronske mreže (RNN) spadaju u neuronske mreže sa propagacijom greške unazad, ali se od standardnih (*feedforward*) mreža, kod kojih je svaki sloj povezan samo sa slojem koji mu neposredno prethodi, razlikuju po povratnim vezama između slojeva koje se nadgledano obučavaju

[5]. Razlika u strukturi, u odnosu na standardnu tro-slojnu neuronsku mrežu, se ogleda u dodatnom sloju kojim se ostvaruje povratna veza. Ovaj dodatni

skriveni sloj se često naziva i "memorijom" mreže, pošto se u njemu memoriše izlaz mreže iz prethodne iteracije [6].



Slika 1 - Poređenje Srbije i Bugarske: a) položaj, broj stanovnika i površina, b) vrednost BDP-a i GPE-a



Slika 2 - RNN arhitektura

Na slici 2 je šematski prikazana rekurentna mreža, tip *Džordan-Elman*, kod koje je povratna veza ostvarena u okviru skrivenog sloja. Navedeni tip predstavlja jako preciznu RNN, zato što se karakteristike uočene u određenim ulaznim podacima paralelno obrađuju sa karakteristikama podataka koje im prethode.

Broj neurona u ulaznom (N_u) i izlaznom (N_l) sloju jednak je broju ulaznih i izlaznih promenljivih, dok je optimalan broj neurona u skrivenom sloju (N_s) određen empiriskom formulom (1), gde je n broj serija podataka. U ovom radu razvoj RNN modela vršen je specijalizovanim softverskim paketom NeuroShell 2 [7].

$$N_s = \frac{N_u + N_i}{2} + \sqrt{n} \quad (1)$$

1.2. Ulazne veličine i podaci

Kako na emisiju GHG najviše utiču industrija i proizvodnja energije, za ulazne veličine GHG emisionog ANN modela odabrani su bruto domaći proizvod po stanovniku (BDP) i godišnja proizvodnja energije po stanovniku (GPE). Ulazni podaci za na-

vedene indikatore za Bugarsku i Srbiju su preuzeti iz baze podataka Svetske banke [8], dok su podaci o emisiji GHG u Bugarskoj preuzeti iz baze podataka Eurostata [9], tabela 1. Dostupni podaci o emisiji GHG u Srbiji za 1990. i 1998. godinu preuzeti su sa sajta Sekretarijata Ujedinjenih nacija za klimatske promene (UNFCCC) [10].

Tabela 1 - Ulazni i izlazni podaci RNN GHG modela

Skup podataka	Godina	Bugarska			Srbija		
		BDP**	GPE***	GHG****	BDP	GPE	GHG
Obučavanje mreže	1990	5410	1.10	12.6	-	-	10.7
	1991	5168	0.98	10.1	-	-	-
	1992	4954	1.03	9.5	-	-	-
	1993	5037	1.10	9.4	-	-	-
	1994	5256	1.12	9.0	-	-	-
	1995	5543	1.23	9.1	4853	1.60	-
	1996	5281	1.28	9.1	5081	1.63	-
	1997	5409	1.23	8.7	5583	1.68	-
	1998	6123	1.23	8.2	5843	1.75	8.8
	1999	5849	1.12	7.4	5226	1.46	-
	2000	6445	1.21	7.3	5778	1.58	-
	2001	6976	1.29	7.9	6215	1.54	-
	2002	7752	1.35	7.6	6763	1.57	-
	2003	8396	1.30	8.3	7221	1.60	-
	Provera mreže	2004	9097	1.32	8.2	8109	1.62
2005		9947	1.38	8.3	8861	1.38	-
2006		11229	1.43	8.4	9896	1.43	-
2007		12985	1.32	9.1	10454	1.43	-
2008		14566	1.37	9.0	11893	1.46	-
	2009	14410	1.32	7.8	11806	1.39	-
	2010	14690	1.43	8.2	11805	1.45	-
	2011	15278	1.68	9.1	12572	1.54	-
	2012	-	-	-	12806	1.64*	-
	2013	-	-	-	13020	1.74*	-

*ekstrapolacija rasta proizvodnje energije, **izražen u \$ po stanovniku, ***izražen u tonama ekvivalentne nafte po stanovniku, ****izražen u tonama CO₂e po stanovniku

RNN GHG model je razvijen podacima za Bugarsku od 1990. do 2006. godine (77 % od ukupnog skupa podataka) i testiran sa podacima iz perioda 2007-2011. godina (23 % podataka).

2. REZULTATI I DISKUSIJA

Da bi se ispitala sposobnost ANN modela da da tačne procene emisije, različiti autori koriste različite statističke pokazatelje. U ovom radu je za procenu performansi modela korišćena srednja relativna greška u procentima (*the mean absolute percentage error* - MAPE):

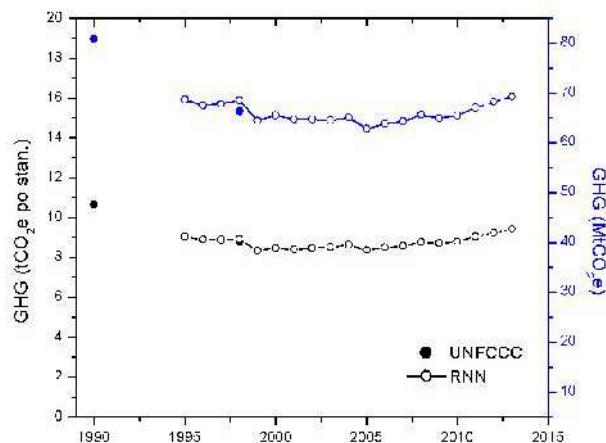
$$MAPE = 100 \frac{1}{k} \sum \frac{|C_o - C_p|}{C_o} \quad (2)$$

gde su C_p modelom predviđene, a C_o izmerene vrednosti.

MAPE vrednost za razvijeni RNN model kod predviđanja GHG za Bugarsku je iznosila 16%. Nesigurnost emisionih faktora kod inventara emisije se kreće od 10 do 30% [11]. Imajući u vidu tu nesigurnost, koja vodi ka nesigurnosti ukupne procenjene emisije, MAPE vrednost od 16% za model koji je razvijen u ovom radu, a samim tim i tačnost procenjene emisije ovim modelom, se može smatrati zadovoljavajućom.

Nakon što je RNN model testiran, pristupilo se predviđanju emisije GHG RNN modelom za Republiku Srbiju. Predviđene vrednosti GHG emisije

za Republiku Srbiju za period od 1995. do 2013. godine prikazane su na slici 3. Rezultati pokazuju dobro slaganje između proračunate (UNFCCC) i modelom predviđene vrednosti emisije GHG za 1998. godinu, sa odstupanjem od svega 3%.



Slika 3 - Predikcija GHG emisije za Srbiju

Analiza predviđenog trenda u emisiji GHG u navedenom periodu takođe potvrđuje tačnost razvijenog modela, s obzirom da se mogu uočiti promene u emisiji GHG-a usled određenih društveno-ekonomskih okolnosti koje su uticale na privrednu aktivnost, a time i na emisiju GHG. Na primer, uočava se opadanje GHG emisije tokom 1999. godine od oko 10 %, što je kao posledica smanjene industrijske aktivnosti usled bombardovanja Srbije. Takođe se i posle 2000. godine mogu uočiti periodi stagnacije ili opadanja emisije GHG u Republici Srbiji, koji se mogu povezati sa ekonomskim krizama.

Ukoliko je i tokom 2012. i 2013. godine bio nastavljen trend povećanja u proizvodnji energije, model pokazuje da bi emisija GHG-a prestigla nivo iz 1998. godine, ali bi dalje bila znatno ispod (na oko 88%) vrednosti emisije proračunate za 1990. godinu.

ZAKLJUČAK

Zakonska regulativa iz oblasti zaštite životne sredine, kako na globalnom tako i nacionalnom nivou, zahteva kontinuirano praćenje indikatora kvaliteta životne sredine. Jedan od veoma značajnih indikatora kvaliteta životne sredine, sa aspekta uticaja na klimatske promene, je i emisija GHG. Procena emisije GHG je zasnovana na emisionim faktorima i stopama aktivnosti izvora emisije. Nedostatak i/ili nesigurnost navedenih veličina kod država u razvoju, kao što je Republika Srbija, može onemogućiti procenu emisije ili dovesti do jako nepouzdanosti procene emisije GHG.

Veštačke neuronske mreže su jedna od savremenijih metoda koje se mogu primeniti za predviđanje emisije GHG na nacionalnom nivou. Prednost veštačkih neuronskih mreža u odnosu na

postojeće modele, ogleda se u korišćenju manje brojilako dostupnih ulaznih parametara. U okviru ovog rada razvijen je ANN model za predviđanje emisije GHG u Republici Srbiji u periodu 1995.-2013. godina, primenom rekurentne (RNN) arhitekture, dok su kao ulazni parametri korišćeni podaci o BDP-u i godišnjoj proizvodnji energije.

Zbog nedostatka podataka o emisiji GHG za R. Srbiju, model je razvijen dostupnim podacima za R. Bugarsku, državu koja je po svojim karakteristikama jako slična Republici Srbiji. Kako su testiranjem modela dobijena zadovoljavajuće tačna predviđanja za Republiku Bugarsku sa greškom od 16 %, model je primenjen i na Republiku Srbiju. Rezultati pokazuju dobro slaganje između proračunate i modelom predviđene vrednosti emisije GHG za 1998., sa odstupanjem od svega 3%. Analiza predviđenog trenda ukazuje na promene u emisiji koje su bile posledica društvenih okolnosti (smanjenje emisije od oko 10 % tokom 1999. godine).

Nastavljanjem trenda povećanja u proizvodnji energije u 2012. i 2013. godini, model predviđa da bi emisija GHG-a prestigla nivo iz 1998. godine, ali bi ostala i dalje biti znatno ispod vrednosti emisije proračunate za 1990. godinu.

Zahvalnica

Istraživanja su realizovana u okviru projekta Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, broj 172007.

LITERATURA

- [1] Daeseung, K., Minsun, K., Jin, C., Woojin L.J. Clean. Prod., doi: 10.1016/ j.jclepro. 2015. 02. 032. 2015.
- [2] Cvetinović, D., Stefanović, P., Marković, Z., Bakić, V., Turanjanin, V., Jovanović, M., Vučićević, B., Energy 57, pp. 788-795, 2013.
- [3] Antanasijević, D.Z., Ristić, M.Đ., Perić-Grujuć, A.A., Pocajt V.V., Int. J. Greenh. Gas Con., 20, pp. 244-253, 2014.
- [4] Antanasijević, D., Nikolić, S., Pocajt V., Ristić, M., Perić-Grujuć, A., Ecologica, 20, pp. 626-631, 2013.
- [5] Qiao J, Yang W., J Comput 6, pp.1570-1577, 2011.
- [6] Antanasijević, D.Z., Pocajt V.V., Povrenović, D., Perić-Grujuć, A.A., Ristić, M.Đ., Environ. Sci. Pollut. Res. 20, pp. 9006-9013, 2013.
- [7] Ward systems group Inc., Neuroshell 2 version 4.2. MD, USA. 2007.
- [8] World Bank, Data, <http://data.worldbank.org/>
- [9] Eurostat, Database, <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- [10] United Nations Climate Change secretariat, Emissions Summary for Serbia, https://unfccc.int/files/ghg_data/ghg_data_unfccc/ghg_profiles/application/pdf/srb_ghg_profile.pdf, 2015.
- [11] EEA, 2009. EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook. [online] Available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>, 2015.

IZVOD

PREDVIĐANJE EMISIJE GASOVA STAKLENE BAŠTE U SRBIJI ZA PERIOD 1995-2013. GODINA PRIMENOM REKURENTNIH NEURONSKIH MREŽA

Cilj ovog rada je bio kreiranje modela, zasnovanog na veštačkim neuronskim mrežama, za predviđanje emisije GHG u Republici Srbiji. Zbog nedostatka podataka o GHG emisiji u Republici Srbiji, model je razvijen korišćenjem podataka za Republiku Bugarsku, a zatim je primenjen i na Republiku Srbiju. Kao ulazni parametri korišćeni su bruto domaći proizvod po stanovniku (BDP) i godišnja proizvodnja energije po stanovniku (GPE). Model je treniran i testiran sa podacima za Bugarsku za period od 1990 do 2011. godine, pri čemu je korišćena rekurentna neuronska mreža (RNN).

Rezultati za Republiku Srbiju pokazuju dobro slaganje između proračunate i modelom predviđene vrednosti emisije GHG za 1998. godinu, sa odstupanjem od svega 3%. Analiza predviđenog trenda ukazuje na promene u emisiji koje su bile posledica društvenih okolnosti (smanjenje emisije od oko 10% tokom 1999. godine). Model pokazuje da je emisija GHG-a u 2013. godini prestigla nivo iz 1998. godine, ali će i dalje biti ispod vrednosti emisije proračunate za 1990. godinu.

Ključne reči: emisija gasova staklene bašte, veštačke neuronske mreže, Srbija.

ABSTRACT

ESTIMATION OF GHG EMISSION IN SERBIA FOR PERIOD 1995-2013 USING RECURRENT NEURAL NETWORKS

The aim of this work was to create an ANN model for the prediction of GHG emissions in the Republic of Serbia in the period 1995-2013. Because of the lack of GHG emission data and inputs for Serbia, the ANN model was initially developed for Bulgaria, using the gross domestic product per capita (GDP) and annual energy production per capita (GPE) as inputs. The model was trained and validated with the data for Bulgaria for the period from 1990 to 2011, using Recurrent Neural Network (RNN) architecture.

The results obtained for Serbia indicate a good agreement between the calculated and predicted GHG emissions in 1998, with an error of only 3%. The predicted change in the emission of GHG in the studied period is in agreement with social and economical factors that can be related to the changes in GHG emissions (e.g. emission reduction of about 10% in 1999). The RNN model predicts that the GHG emissions in 2013 was above the level in 1998, but still lower than the GHG emissions calculated for the year 1990.

Keywords: GHG emission forecast, artificial neural networks, Serbia.