

PRIMENA METODA JEDNOSTAVNOG EKSPONENCIJALNOG IZGLAĐIVANJA ZA PRORAČUN PROGNOZE PROTOKA PRIRODNOG GASA**IMPLEMENTATION OF SIMPLE EXPONENTIAL SMOOTHING METHOD FOR NATURAL GAS CONSUMPTION FORECASTING**

Luka Ivezić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu se razmatra problem prognoze protoka prirodnog gasa, koji se zbog minimalnog zagađenja životne sredine danas sve više koristi za zagrevanje objekata, naročito stambenih. Prvo je prikazan teorijski uvod i data postavka problema, a zatim je formiran matematički model za prognozu zasnovan na metodu jednostavnog eksponencijalnog izgladivanja. Numerička verifikacija matematičkog modela izvršena je na jednostavnoj test mreži. U tu svrhu, prethodno formirani model za prognozu razvijen je u programskom jeziku C#. Dobijeni rezultati predstavljeni su kroz dijagrame na osnovu kojih je izvršena analiza.

Ključne reči: Prognoza protoka prirodnog gasa, Metod jednostavnog eksponencijalnog izgladivanja

Abstract – In this paper main focus is on forecast of natural gas consumption, which is nowadays increasingly used for heating objects, especially residential, because of its minimal contamination of natural environment. First, it is shown the theoretical introduction and given setting of the problem, then mathematical model for forecast based on simple exponential smoothing method was formed. Numerical verification of mathematical model is performed on simple test gas network. In that purpose, the model for forecast was developed in the C# programming language. The obtained results are presented through diagrams on the basis of which the analysis is performed.

Keywords: Forecast of the natural gas consumption, Simple exponential smoothing method

1 UVOD

U današnje vreme moderne evropske zemlje se uglavnom oslanjaju na prirodni gas kao primarni energent. Prirodni gas je izuzetno važan izvor energije zbog smanjenja zagađenja i održavanja čiste i zdrave životne sredine. Iako je obično grupisan sa drugim fosilnim gorivima i izvorima energije, postoje mnoge karakteristike koje ga čine jedinstvenim. To je jedan od najčistijih, najsigurnijih i najkorisnijih izvora energije. Pored toga, očekuje se da će svetske cene nafte ostati visoke, te će se prirodni gas koristiti gde god je to moguće [1]. Kompanije koje se

bave distribucijom gasa, nalaze se pred konstantnim izazovom da svojim korisnicima obezbede neprekidan i kvalitetan dotok prirodnog gasa. Za ostvarivanje ovog cilja neophodna je dobra gasna prenosna mreža. Ovakav kompleksan sistem se sastoji od [2]: gasnih stanica, kompresora, cevi, gasnih skladišta i naravno potrošača, povezanih na ovakav sistem. Da bi se obezbedio efikasan, ekonomičan i bezbedan dotok gasa, unapred se, sa visokom preciznošću moraju znati dnevne potrebe za gasom svih potrošača u mreži. Prognoza protoka gasa vrši se na bazi od jednog sata za naredna dva gasna dana [2]. Pod gasnim danom podrazumeva se period od 24 uzastopna časa, počevši od nekog predefinisano momenta u toku dana. Potrošači gas koriste najviše za zagrevanje vazduha–grejno opterećenje. Gas se koristi i u druge svrhe, kao što su zagrevanje vode, kuvanje i ostale procese–bazno opterećenje. Gas se može koristiti i kao energent iz kojeg se dobija električna energija [2].

U drugom poglavlju postavljen je problem koji će biti rešavan u radu – problem prognoze protoka prirodnog gasa za naredna dva gasna dana.

U trećem poglavlju formiran je matematički model, odnosno algoritam zasnovan na metodu eksponencijalnih pokretnih proseka [3,4]. Pokazano je kako se računa osnovna prognoza i njena greška [5]. Na kraju ovog dela je opisano dobijanje konačne, korigovane prognoze protoka prirodnog gasa.

U četvrtom poglavlju prikazani su rezultati proračuna dobijeni na primeru jednostavne test mreže [6]. Tačnost primenjenog algoritma određena je pomoću srednje apsolutne procentualne greške, tzv. *MAPE (Mean Absolute Percentage Error)* [7,8]. Na osnovu dobijenih rezultata vrši se analiza.

U petom poglavlju dat je zaključak o tome zašto je prognoza protoka prirodnog gasa važna, moguća unapređenja algoritma kao i pravci daljeg istraživanja u ovoj oblasti. Nakon zaključka referentno je navedena literatura korišćena za realizaciju ovog rada.

2 POSTAVKA PROBLEMA

Osnovni problem koji se u radu razmatra je problem prognoze potrošnje prirodnog gasa za narednih 48 sati, na bazi od jednog sata. Prognoza se obično vrši od trenutnog vremena, ali opciono se može vršiti od bilo kog trenutka za koji su dostupni istorijski podaci. Za svaki sat u posmatranom intervalu postoji po jedan model za prognozu. Svaki model zahteva, kao ulaz, vrednosti protoka i efektivne temperature za trenutni sat za sve

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor dr Goran Švenda, red.prof.

gasne stanice u mreži. Ove vrednosti su potrebne kako bi se izvršilo prilagođavanje modela. Satna prognoza temperature na gasnoj stanici tokom perioda predikcije potrebna je da bi se proizvela prognoza potražnje gasa. U tu svrhu svaka gasna distributivna stanica ima pridruženu meteorološku stanicu. Vremenska prognoza koja se koristi u prognoziranju protoka prirodnog gasa može biti od trenutnog vremena, ili možemo koristiti arhivirane podatke u slučaju istorijskog predviđanja.

2.1 Adaptacija

Proces adaptacije se izvršava na kraju svakog intervala, kako za meteorološke stanice, tako i za gasne stanice.

2.1.1 Meteorološke stanice

Informacije o vremenu koje prima svaka meteorološka stanica koriste se za izračunavanje efektivne temperature na kraju intervala adaptacije.

2.1.2 Gasne stanice

Za svaku gasnu stanicu odvijaju se sledeći koraci pri izvođenju adaptacije ako su dostupni satni protok i efektivna temperatura:

- određuje se redukovana temperatura,
- izračunavaju se osnovna prognoza i njena greška,
- vrši se detekcija tačaka koje odstupaju od preostalih tačaka posmatranog skupa (eng. *outlier* – izuzetak, otpadak),
- ako su zadovoljeni odgovarajući kriterijumi adaptacije:
 - radni dani: prilagođavanje nagiba i pivotnih proseka,
 - dani vikenda: prilagođavanje pivotnih proseka i faktora vikenda,
 - kvazi-praznici: prilagođavanje pivotnih proseka,
 - praznici: nema adaptacije.
- ažuriranje vremena adaptacije, poslednje izračunate greške i korelacijskih proseka.

Konačna, korigovana prognoza protoka prirodnog gasa dobija se dodavanjem greške izračunate u istorijskoj adaptaciji na osnovnu prognozu protoka gasa.

3 FORMIRANJE MATEMATIČKOG MODELA

Matematički model za proračun prognoze protoka prirodnog gasa zasnovan je na metodu eksponencijalnih pokretnih proseka, odnosno metodu jednostavnog eksponencijalnog izgladivanja [3,4]. Jednačina kojom se opisuje ovaj metod ima oblik [3]:

$$F_{t+1} = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot F_t, \quad (3.1)$$

gde je:

- y_t – stvarna, poznata serijska vrednost u trenutku t ,
- F_t – prognozirana vrednost varijable y u trenutku t ,
- F_{t+1} – prognozirana vrednost u vremenskom trenutku $t+1$,
- α – konstanta (faktor) izgladivanja.

Konstanta izgladivanja α je odabrani broj između nula i jedan, $0 < \alpha < 1$ [4]. Preuređivanjem formule (3.1) uočava se da je:

$$F_{t+1} - F_t = \alpha \cdot (y_t - F_t), \quad (3.2)$$

Dakle, promena u prognoziranoj vrednosti je proporcionalna greški prognoze. Izraz (3.2) se zapisuje i kao:

$$F_{t+1} = F_t + \alpha \cdot e_t, \quad (3.3)$$

gde je rezidual:

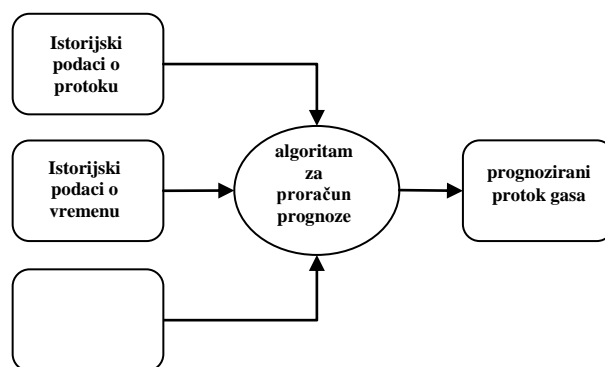
$$e_t = y_t - F_t, \quad (3.4)$$

greška predviđanja u trenutku t .

Korišćenjem jednačine (3.1) vrši se proračun pokretnih proseka vremenskih faktora – temperature, brzine vetra i stepena oblačnosti, potrebnih za dobijanje redukovane temperature, složene funkcije vremena. Pokretni proseci ove veličine i protoka gasa su u linearnoj korelaciji i određuju osnovnu prognozu protoka gasa. Parametri koji se uzimaju kao ulazni za algoritam zasnovan na metodu eksponencijalnih pokretnih proseka su:

- istorijski podaci o protoku gasa,
 - istorijski podaci o vremenu za temperaturu, brzinu vetra i stepen oblačnosti,
 - tipovi dana za istorijske datume i za dva dana unapred – razlikuju se radni dani, dani vikenda i praznični dani (pravi praznici i kvazi-praznici),
 - vremenska prognoza za sledeća dva gasna dana za temperaturu, brzinu vetra i stepen oblačnosti,
 - istorijski podaci o danima obeleženim kao neželjeni.
- Pod neželjenim danima se podrazumevaju dani koji se žele isključiti iz skupa za trening. To su istorijski datumi čiji podaci nisu validni iz nekog od sledećih razloga [5]:
- neispravnost mernih instrumenata,
 - ljudski faktor, greške prilikom očitavanja mernih instrumenata,
 - podaci ili komponente agregiranih podataka nedostaju,
 - veliki broj tačaka koje odstupaju od preostalih tačaka iz skupa podataka – otpatci, izuzeci.

Na slici ispod su prikazani ulazi i izlazi razmatranog algoritma:



Slika 1 – Algoritam za proračun prognoze [1]

4 PRIMER PRORAČUNA

Verifikacija algoritma za proračun prognoze protoka prirodnog gasa vrši se na jednostavnoj test mreži, koja je prikazana u nastavku. Originalni algoritam se modifikuje u cilju dobijanja tačnije prognoze. Razlikuju se pre svega sledeće varijante, algoritam kao ulaz koristi:

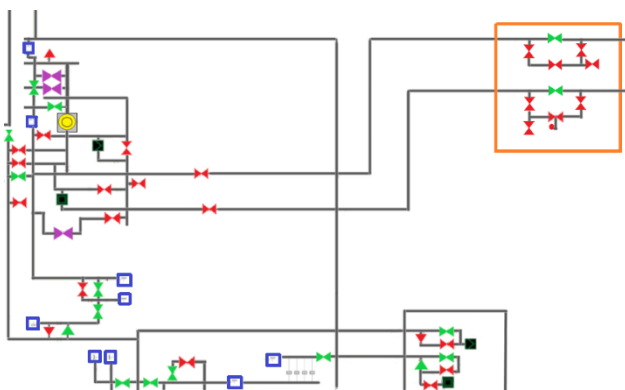
- podatke o protoku i vremenu iz skorije istorije, te se vrši predviđanje istorijske greške u cilju dobijanja konačne prognoze – originalni algoritam,

- podatke o protoku i vremenu sličnog dana iz istorije, te se vrši predviđanje istorijske greške u cilju dobijanja konačne prognoze – prvi predlog za unapređenje,
- podatke o protoku i vremenu iz skorije istorije, dok se na osnovnu prognozu dodaje apsolutna vrednost istorijske greške u cilju dobijanja konačne prognoze – drugi predlog za unapređenje,
- podatke o protoku i vremenu sličnog dana iz istorije, a na osnovnu prognozu se dodaje apsolutna vrednost istorijske greške u cilju dobijanja konačne prognoze – treći predlog za unapređenje.

Rezultati su dobijeni na osnovu matematičkog modela razvijenog u C# programskom jeziku.

4.1 Jednostavna test mreža

Posmatrana mreža se sastoji od velikog broja čvorova, svaki od čvorova predstavlja jednu distributivnu stanicu koja napaja određen broj potrošača. Rezultati proračuna će biti sakupljeni, prikazani i poređeni samo za jednu gasnu distributivnu stanicu. Zbog velike test šeme, na slici 2 prikazan je samo deo test mreže, gde je narandžastom bojom uokvirena distributivna gasna stanica koja se posmatra, a plavom bojom skupovi potrošača koji se napajaju sa obeležene stanice. Svetlo zeleni simboli predstavljaju otvorene ventile, crveni zatvorene (i jedni i drugi su mehanički), dok su ljubičasti ventili daljinski upravljivi (telemetrisani). Tamno zeleni kvadrati predstavljaju stanice za snižavanje pritiska. Žuti simbol označava kompresorsku stanicu za povećanje pritiska u mreži.



Slika 2 – Test mreža [6]

Zbog jednostavnijeg prikaza grafici će biti predstavljeni samo za jedan od datuma prikazanih u tabeli 1, i to za 14.12.2015 – ponedeljak, radni dan u zimskoj sezoni. Tačnost algoritma za prognozu protoka prirodnog gasa kvantifikovana je na osnovu srednje apsolutne procentualne greške (*MAPE*) [7,8].

Ova greška se računa na sledeći način:

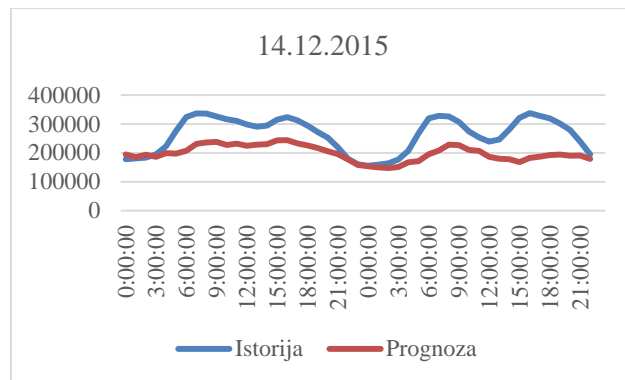
$$MAPE = \frac{100}{n} \cdot \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|,$$

gde je:

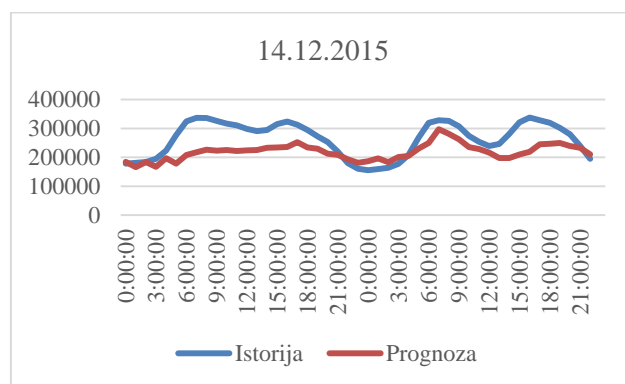
- n – broj sati za koje se *MAPE* računa,
- A_t – stvarne vrednosti protoka (istorijski podaci),
- F_t – izračunate vrednosti (primenom algoritma).

Prema vrednosti *MAPE*, razlikuju se četiri nivoa tačnosti prognoze. Da bi se prognoza smatrala odlično tačnom,

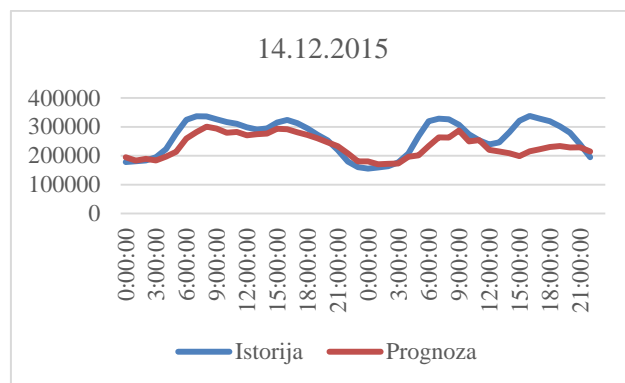
mora da bude zadovoljen kriterijum da je izračunata vrednost *MAPE* manja od 10%, između 10÷20% prognoza je dobra, između 20÷50% prihvatljiva i preko 50% *MAPE* znači da je prognoza netačna [3].



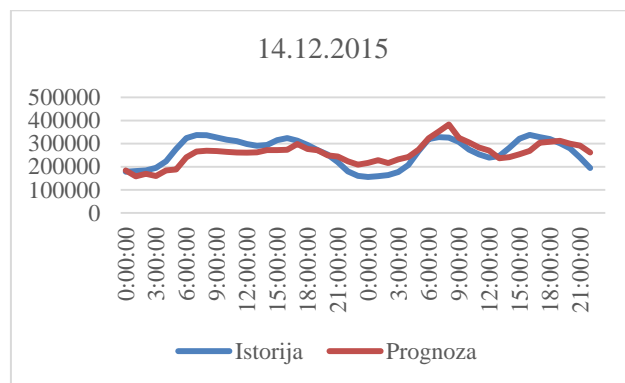
Slika 3 – Rezultati proračuna – originalni algoritam



Slika 4 – Rezultati proračuna – prvi predlog



Slika 5 – Rezultati proračuna – drugi predlog



Slika 6 – Rezultati proračuna – treći predlog

U nastavku su u tabeli 1 prikazane srednje apsolutne procentualne greške po intervalima, za sve datume od interesa. Za svaki algoritam su izračunate srednja i maksimalna greška u svakom od intervala, radi lakšeg poređenja rezultata.

Tabela 1 – MAPE po intervalima, za originalni algoritam, prvi, drugi i treći predlog za njegovo unapređenje

	MAPE ₆ [%]				MAPE ₁₂ [%]			
	o.a. ¹	p.p. ²	d.p. ³	t.p. ⁴	o.a.	p.p.	d.p.	t.p.
04.05.'15	11.2	26.2	10.1	14.4	9.4	31.6	13.1	9.2
16.09.'15	20.7	14.5	27.3	13.7	32.9	8.9	33.2	8.1
14.12.'15	10.1	12.2	8.9	15.2	29.6	32.2	12.9	19.5
19.03.'16	16.6	7.2	16.8	8.0	28.1	31.9	15.8	17.6
11.06.'16	21.5	9.7	20.4	9.9	33.5	20.3	24.7	13.4
Total	16.1	13.9	16.7	12.3	26.7	25.0	19.9	13.5
Max	21.5	26.2	27.3	15.2	33.5	32.2	33.2	19.5
	MAPE ₂₄ [%]				MAPE ₄₈ [%]			
	o.a.	p.p.	d.p.	t.p.	o.a.	p.p.	d.p.	t.p.
04.05.'15	9.6	22.6	39.9	37.8	23.9	28.1	66.7	16.9
16.09.'15	15.6	13.4	14.2	11.3	9.4	15.4	7.6	21.6
14.12.'15	18.0	18.1	8.0	11.4	26.8	16.8	16.4	16.0
19.03.'16	31.4	42.9	17.3	14.6	24.8	28.5	23.1	25.0
11.06.'16	31.0	20.9	13.7	11.4	30.6	14.6	11.1	10.8
Total	21.1	23.6	18.6	17.3	23.1	20.7	25.0	18.1
Max	31.4	42.9	39.9	37.8	30.6	28.5	66.7	25.0

Detaljnijom analizom i podelom datuma po sezoni, a zatim i po tipu dana, zapaža se sledeće:

- u sezoni leto, najbolje rezultate daje treći predlog za unapređenje originalnog algoritma; dosta dobre rezultate daje prvi predlog;
- u sezoni zima, najbolji je drugi predlog za unapređenje; u stopu ga prati treći predlog čija je greška prognoze u toj sezoni malo veća;
- za kvazi-praznik, najbolju prognozu daje originalni algoritam; prihvatljive rezultate daje i treći predlog;
- najbolju prognozu protoka gasa za radne dane daju algoritmi koji predstavljaju drugi i treći predlog za unapređenje;
- za vikende najbolje rezultate daje treći predlog za unapređenje.

Na osnovu date analize, za sva četiri vremenska intervala, uočava se da je najbolji poslednji, treći predlog za unapređenje algoritma.

5 ZAKLJUČAK

Izazov koji se postavlja pred distributere, da na vreme dostave dovoljne količine kvalitetnog prirodnog gasa bez prekida, svakim danom je sve veći. Da bi se izbegli viši

operativni troškovi i plaćanje novčanih naknada, važno je da prognoza potražnje prirodnog gasa bude što tačnija. Originalni algoritam za proračun prognoze zasnovan na metodu jednostavnog eksponencijalnog izgladivanja dosta greši, te su data tri predloga za njegovo unapređenje. Od pomenutih predloga najbolje rezultate daje treći predlog za unapređenje. Međutim, bez obzira o kojoj verziji algoritma je reč, srednja apsolutna procentualna greška daleko je veća od praktično prihvatljivih 5÷10%. Takođe, maksimalna greška u pojedinim intervalima premašuje 40% ili čak 50%, što dovodi do zaključka da metod eksponencijalnih pokretnih proseka (jednostavnog eksponencijalnog izgladivanja) u oblasti prognoze praktično nije upotrebljiv.

6 LITERATURA

1. N.Aras: Forecasting Residential Consumption of Natural Gas Using Genetic Algorithms; *Energy Exploration & Exploitation*, 2008, Vol. 26, No. 4, pp. 241-266
2. S.R.Vitulo, R.H.Brown, G.F.Corliss, B.M.Marx: Mathematical Models for Natural Gas Forecasting; *Canadian Applied Mathematical Quarterly*, University of Alberta, Alberta, 2009, Vol. 17, No. 4, pp. 807-827
3. E.Ostertagova, O.Ostertag: The Simple Exponential Smoothing Model, *The 4th International Conference on Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems*, Košice, September 2011, pp. 380-384
4. E.Ostertagova, O.Ostertag: Forecasting using simple exponential smoothing method; *Acta Electrotechnica et Informatica*, 2012, Vol. 12, No. 3, pp. 62-66
5. H.N.Akouemo, R.J.Povinelli: Probabilistic anomaly detection in natural gas time series data; *International Journal of Forecasting*, July-September 2016, Vol. 32, No. 3, pp. 948-956.
6. W.A.W.Abu Bakar, R.Ali: *Natural Gas*, Department Of Chemistry, University Teknologi Malaysia, Skudai, Johor, Malaysia, August 2010, Page 6.
7. S.Kim, H.Kim: A new metric of absolute percentage error in intermittent demand forecasts; *International Journal of Forecasting*, July-September 2016, Vol. 32, No. 3, pp. 669-679
8. L.Y.Ren: Revised Mean Absolute Percentage Errors (MAPE) on Errors from Simple Exponential Smoothing Methods for Independent Normal Time Series; *The Journal of American Academy of Business*, 2007, Vol. 10, No. 2, pp. 65-70

Kratka biografija:



Luka Ivezić rođen je u Nevesinju, BiH, 08.04.1994. godine. Osnovne akademske studije završio na Fakultetu tehničkih nauka – oblast Elektrotehnika i Računarstvo, smer Elektroenergetski sistemi 2017. godine i iste godine upisao master studije na istom fakultetu.

¹ originalni algoritam
² prvi predlog
³ drugi predlog
⁴ treći predlog