

DETEKCIJA PRISUSTVA KOTLOVA ZA GREJANJE U NN MREŽI NA BAZI MERENJA SNAGE

M. D. MILOŠEVIĆ, Istraživačko-razvojni Centar "Alfatec" d.o.o. Niš, Srbija
A. JANJIĆ, Istraživačko-razvojni Centar "Alfatec" d.o.o. Niš, Srbija
M. M. MILOŠEVIĆ, Istraživačko-razvojni Centar "Alfatec" d.o.o. Niš, Srbija
Z. RADONJIĆ, PD Centar, Ogranak ED Smederevo, Srbija

SADRŽAJ – U ovom radu razmatra se primena fuzzy logike u detekciji prisustva kotlova za grejanje u NN mreži i to na bazi snimanja i analiziranja snage. Određivanjem tipa potrošnje električne energije se u nekim slučajevima može otkriti neovlašćena potrošnja električne energije od strane korisnika. Prilikom uključanja kotla, dolazi do velikog skoka aktivne električne energije. Snimanjem parametara potrošnje električne energije pomoću Merno-Informationog Sistema i analiziranjem podataka se može utvrditi da li se kotlovi koriste na tom izvodu transformatorske stanice. Ovaj način je prikazan u radu. Validnost određenog modela potvrđena je eksperimentalnim rezultatima.

Ključne reči: detekcija kotlova, fuzzy logika, MIS

UVOD

Brojilo električne energije prikazuje koliko je električne energije potrošeno u određenom vremenskom periodu, ali ne i kako se potrošnja menjala tokom tog perioda, tj. da li je potrošnja električne energije konstantna ili dolazi do skokovitih promena u potrošnji. U nekim slučajevima postoje i neovlašćene potrošnje električne energije, tj. korisnik pre brojila priključi veće potrošače i samim tim brojilo ne registruje tu potrošnju. Ovo se može otkriti merenjem električne energije na izvodima u transformatorskim stanicama. U radu je prikazan jedan od načina za određivanje postojanja ovakvih potrošača na izvodu transformatorske stanice na bazi merenja snage. Prikupljanje, tj. snimanje parametara potrošnje električne energije se vrši pomoću Merno - Informationog Sistema (MIS) Stajić, Radić, Antov, Radovanović, Tasić (1). Analiziranjem snimljenih podataka se dobijaju rezultati na osnovu kojih se utvrđuje da li na tom izvodu postoje uređaji koji su veliki potrošači električne energije. Među uređajima koji su veliki potrošači električne energije spadaju i električni kotlovi za grejanje. Za električne kotlove je karakteristično da dolazi do velikog skoka u potrošnji aktivne snage i malog skoka reaktivne snage.

Muniz, Vellasco, Tanscheit, Figueiredo su u (2) prikazali neuro-fuzzy sistem za otkrivanje krađa u elektrodistribucijama u Brazilu. Otkrivanje abnormalnosti i praćenje gubitaka u Maleziji su Nagi, Yap, Tiong, Ahmed, Mohammad (3) vršili pomoću genetičkih support vector mašina. Detekcija netehničkih gubitaka u elektrodistribucijama za velike potrošače električne energije se razmatra u Nagi, Yap, Nagi, Tiong, Koh, Ahmed (4). Poboljšanje (4) pomoću fuzzy inference sistema je dato u Nagi, Yap, Tiong, Ahmed, Nagi (5). Iz (2), (3), (4) i (5) se primećuje da je ponekad veoma važno odrediti tip potrošnje korisnika električne energije, tj. detektovati da li korisnik koristi određene uređaje koji imaju veliku potrošnju energije.

U radu je opisana korišćena metodologija za rešavanje problema detekcije prisustva električnih kotlova na izvodu transformatorske stanice, i prikazani su eksperimentalni rezultati.

METODOLOGIJA

Kada je u pitanju određivanje tipa potrošnje električne energije u Srbiji od interesa su srednjenaponski i niskonaponski nivo, s obzirom da pripadaju domenu distribucije električne energije. Prikupljanje podataka se vrši pomoću uređaja za snimanje parametara električne mreže, tj. MIS-a koji se već duže vreme koristi u velikom broju transformatorskih stanica za praćenje opterećenja.

Opis merno-informacionog sistema (MIS)

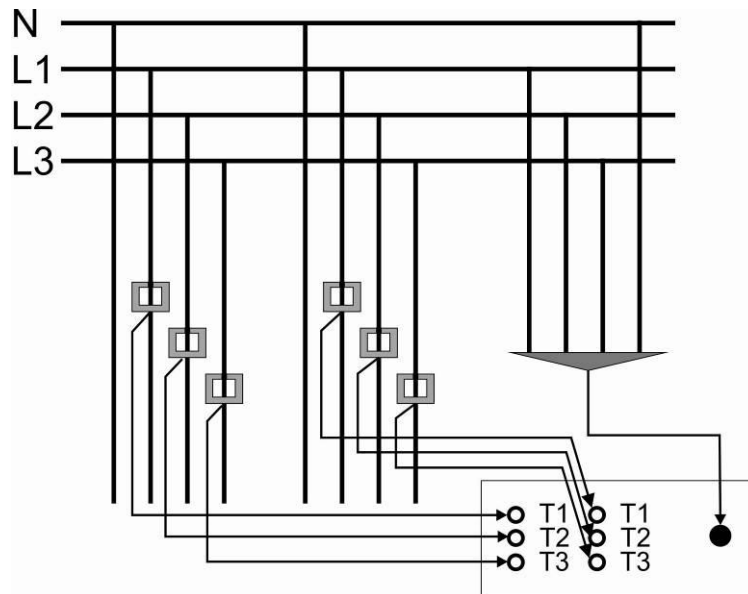
Merno-informacioni sistem (MIS) (1) predstavlja uređaj koji se koristi za praćenje i snimanje parametara niskonaponske distributivne mreže i potrošnje električne energije u poluindirektnoj izvedbi (sa direktnim merenjem napona mreže i merenjem struje na nivou 0 – 5 A). Osnovna funkcija MIS-a je kontinualno praćenje i arhiviranje svih relevantnih parametara mreže i potrošnje električne energije u delu potrošačkog konzuma koji se prati: faznih i linijskih napona, struja, aktivnih, reaktivnih i prividnih snaga, faktora snage, faktora ukupnog harmonijskog izobličenja napona i struja, frekvencije, asimetrije napona i struja, aktivnih i reaktivnih energija preuzetih iz električne distributivne mreže u određenom vremenskom periodu, itd.



Slika 1. Merno informacioni sistem

MIS se na potrošačke izvode priključuje u 7 mernih tačaka i to:

- 3 tačke u kojima se mere struje na izvodima pomoću strujnih mernih transformatora ili strujnih mernih klešta;
- 4 merne tačke u kojima se meri napon na mreži (potpuni trofazni sistem sa nulom);



Slika 2. Šema povezivanja dvokanalnog MIS-a

Uređaj može biti jednokanalni ili višekanalni (do 8 kanala) za trofazni sistem struja, pa je stoga u mogućnosti da prati parametre električne energije na više izvoda (mesta) u jednoj transformatorskoj stanici ili više potrošača koji se napajaju iz zajedničke tačke.

Trenutne vrednosti osnovnih parametara potrošnje električne energije sa priključenih kanala se mogu direktno pratiti na odgovarajućim displejevima na samom uređaju.

Sistem kontinualno meri sve bitne parametre mreže i vrši njihovo arhiviranje sa unapred definisanom periodom koju definiše korisnik a koji iznosi 10-tak sekundi.

Snimljeni podaci se iz MIS-a preuzimaju veoma jednostavno pomoću USB flash memorije. Kada se pomoću USB fleš memorije skinu podaci sa instrumenta, na fleš memoriji se automatski formira folder. Ime tog foldera je takođe određeno konfiguracijom MIS-a. Kako bismo iz podataka o potrošnji električne energije odredili da li potrošač koristi električne kotlove za grejanje, u programskom okruženju je razvijen program zasnovan na fuzzy logici.

Fuzzy logika

Fuzzy upravljanje se opisuje funkcijom $y(t)=f(x(t))$, gde je f definisana kao preslikavanje tačka u tačku. Tipične funkcije pripadnosti fuzzy skupa su: trougaona, trapezoidna, Gausova...

Da bismo izrazili posledicu koju proizvode trenutne vrednosti ulaznih pomenjivih, gradimo IF-THEN pravila. Jedan primer pravila je:

If _ condition 1 _ *and* *If* _ condition 2 _ ... *and* _ condition n _ *then* _ conclusion _

Presek dva fuzzy skupa (operator „and“) se može predstaviti na dva načina – funkcijom minimum ili algebarskim proizvodom:

$$\mu_{A1}(x) \cap \mu_{A2}(x) = \min \{ \mu_{A1}(x), \mu_{A2}(x) | x \in X \}.$$

$$\mu_{A1}(x) \cap \mu_{A2}(x) = \{ \mu_{A1}(x) \mu_{A2}(x) | x \in X \}.$$

Slično, unija dva skupa se može predstaviti funkcijom maksimuma ili algebarskim zbirom:

$$\mu_{A1}(x) \cup \mu_{A2}(x) = \max \{ \mu_{A1}(x), \mu_{A2}(x) | x \in X \}$$

$$\mu_{A1}(x) \cup \mu_{A2}(x) = \{ \mu_{A1}(x) + \mu_{A2}(x) - \mu_{A1}(x) \mu_{A2}(x) | x \in X \}.$$

Ako je X skup objekata opisanih sa x , onda je fuzzy skup A u X definisan kao skup pravila:

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) | x \in X \}.$$

Za sistem sa više ulaza a samo jednim izlazom (*multy input single output – MISO*) možemo da definišemo fuzzy skupove kao:

$$A_1 = \{ (x, \mu_{A1}(x)) | x \in X \}$$

$$A_2 = \{ (x, \mu_{A2}(x)) | x \in X \}$$

...

$$A_n = \{ (x, \mu_{An}(x)) | x \in X \}$$

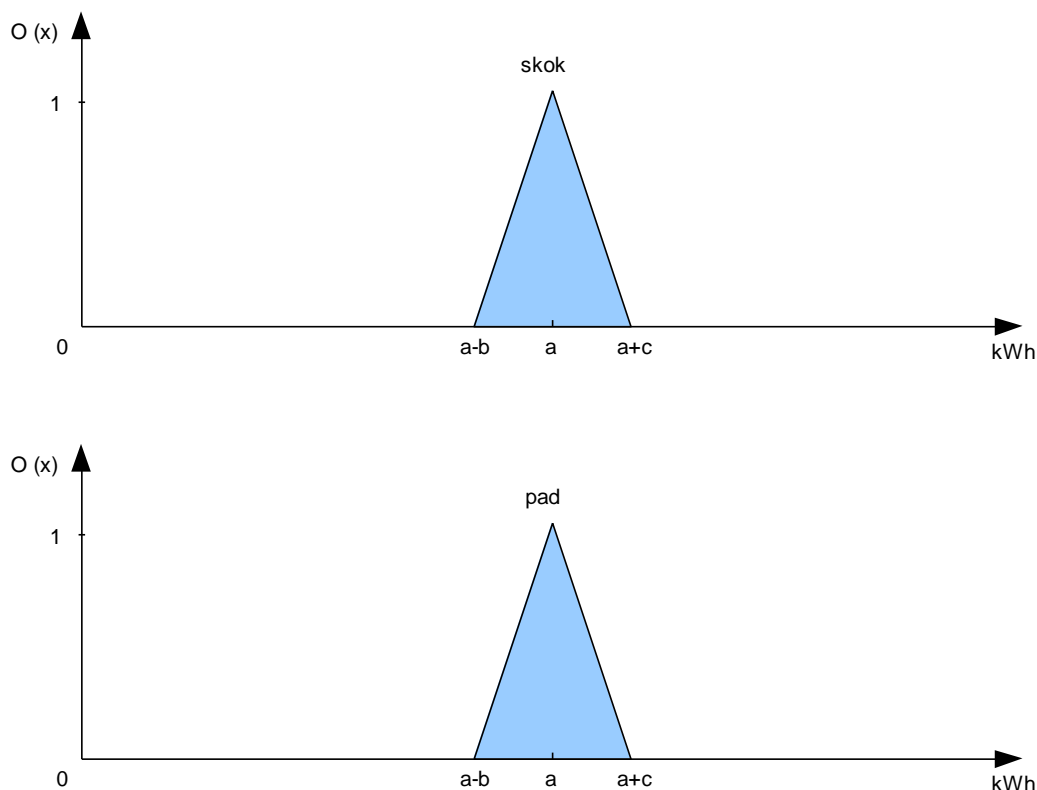
$$B = \{ (u, \mu_B(u)) | u \in U \}.$$

Tada if – then pravilo koje predstavlja *fuzzy* implikaciju glasi:

if A_1 and A_2 and ... and A_n then B,

gde su A_i , $i=1..n$ *fuzzy* skupovi koji sadrže sve kvantifikovane lingvističke vrednosti.

Pomenuta *fuzzy* logika se može primeniti na sistem koji se sastoji od 2 (ili 3) ulazne i 1 izlazne promenljive. U razmatranim slučajevima ulazne promenljive su takozvane lingvističke *fuzzy* promenljive. *Fuzzy* logika se uspešno koristi za određivanje izlazne promenljive. Model zasnovan na *fuzzy* logici se sastoji iz IF – THEN pravila. Ulazne promenljive su označene kao „skok“ i „pad“ i prikazane su na slici 3. Sa „kotao“ je označena izlazna promenljiva kojom se izražava ocena prisustva kotlova u potrošnji energije i ona uzima vrednost od 0-100%. Funkcije pripadnosti za izlaznu promenljivu su prikazane na slici 4.



Slika 3. *Funkcije pripadnosti ulaznih promenljivih za detekciju električnih kotlova*

Funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih se predstavlja sledećom relacijom:

$$O(x) = \begin{cases} \frac{x - (a - b)}{b}, & (a - b) \leq x \leq a \\ \frac{a + c - x}{c}, & a \leq x \leq (a + c) \\ 0, & x < a - b \text{ i } x > a + c \end{cases}$$

Kombinacijom ulaznih promenljivih po kriterijumima „skok“ i „pad“ mogu se postaviti četiri *fuzzy* pravila za određivanje tipa potrošnje, tj. za detekciju kotlova:

Pravilo 1.

AKO je „skok“ P1 i „pad“ P1, TADA je verovatnoća za „kotao“ velika.

Pravilo 2.

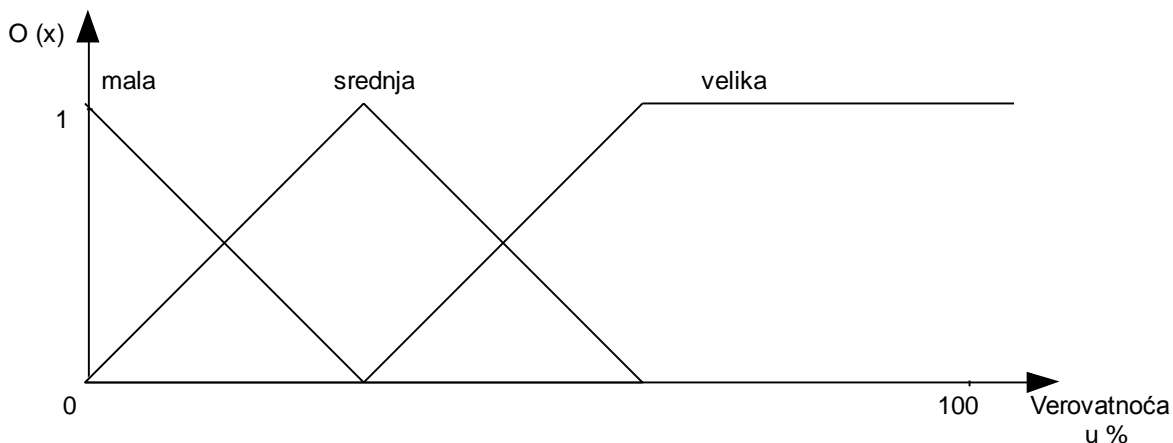
AKO nije „skok“ P1 i nije „pad“ P1, TADA je verovatnoća za „kotao“ mala.

Pravilo 3.

AKO nije „skok2 P1 i „pad“ P1, TADA je verovatnoća za „kotao“ srednja.

Pravilo 4.

AKO je „skok“ P1 i nije „pad“ P1, TADA je verovatnoća za „kotao“ srednja.



Slika 4. Funkcije pripadnosti izlazne promenljive za detekciju električnih kotlova

Četiri osnovna fuzzy pravila za određivanje tipa potrošnje, tj. za detekciju kotlova se mogu dalje proširiti dodavanjem vremenskog intervala kao još jednu (treću) ulaznu promenljivu. Pod vremenskim intervalom se podrazumeva period između pojave skoka i pojave pada u potrošnji električne energije, a čiji je red veličine oko zadate željene vrednosti. Ovo fuzzy pravilo se može predstaviti sledećom relacijom:

Pravilo 5.

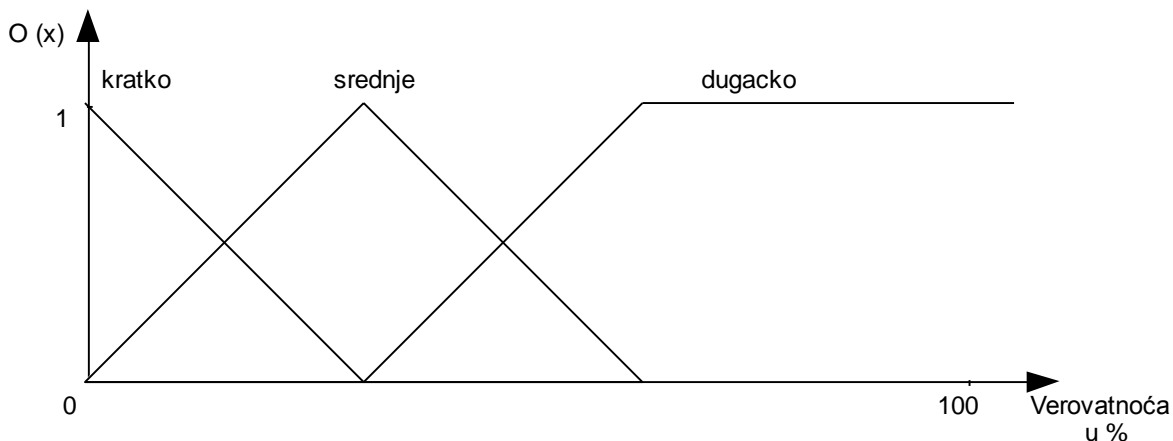
AKO je „skok“ P1 i „pad“ P1 i „vreme“ dugačko, TADA je verovatnoća za „kotao“ mala.

Pravilo 6.

AKO je „skok“ P1 i „pad“ P1 i „vreme“ kratko, TADA je verovatnoća za „kotao“ srednja.

Pravilo 7.

AKO je „skok“ P1 i „pad“ P1 i „vreme“ srednje, TADA je verovatnoća za „kotao“ velika.

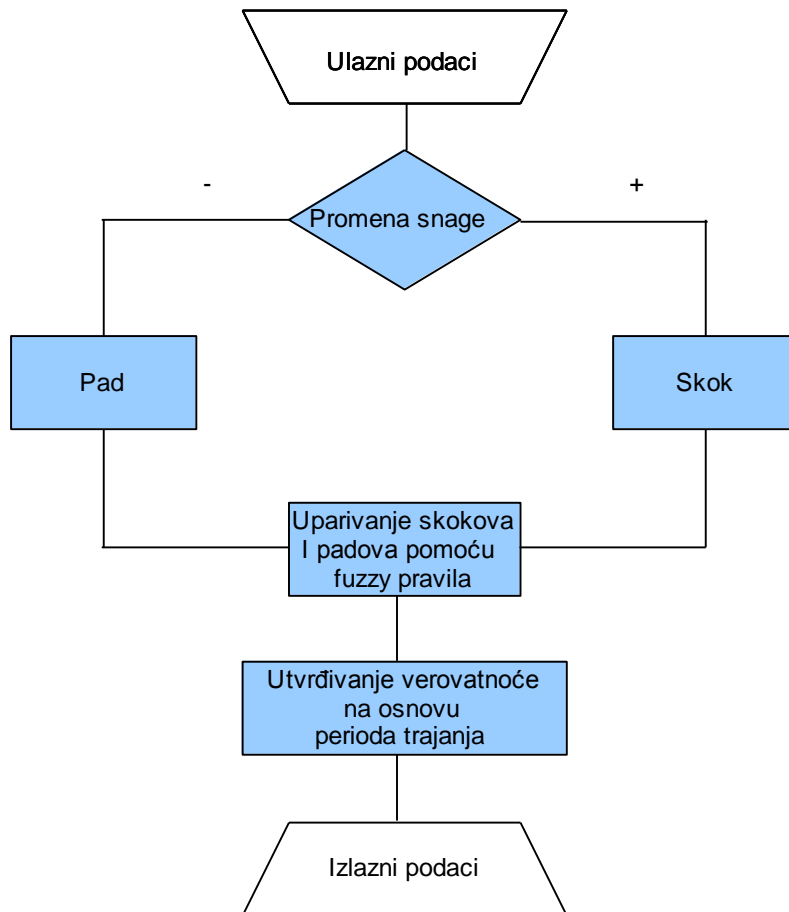


Slika 5. Funkcije pripadnosti ulazne promenljive „vreme“ za detekciju električnih kotlova

EKSPERIMENTALNI REZULTATI

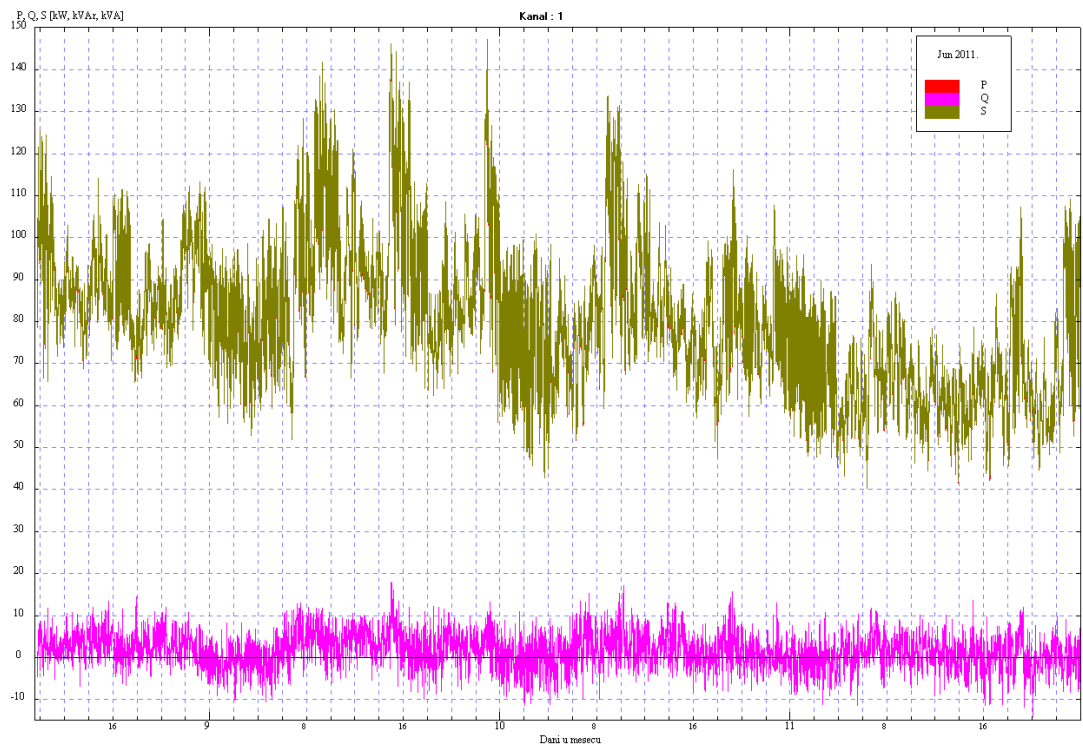
Nakon pokretanja programa u programskom okruženju, učitava se fajl sa podacima o električnoj energiji koji su dobijeni merenjem parametara električne energije MIS-om i startuje se program. U programu se može izabrati vremenski interval za koji želimo da se izvrši analiza, tj. može se izabrati samo jedan dan, nekoliko dana ili ceo mesec. Zabeležene su sve promene vrednosti aktivne snage iznad zadate vrednosti u listi. Prvo se beleže sve pozitivne promene vrednosti aktivne snage (skokovi) iznad zadate vrednosti u listi, zatim se beleže sve negativne promene vrednosti aktivne snage (padovi) iznad zadate vrednosti u listi. Nakon zabeleženih vrednosti skokova i padova, vrši se uparivanje skokova sa padovima i izračunava se vreme njihovog trajanja. Nakon izvršenog uparivanja skokova i padova isti se grupišu na osnovu vremena trajanja i na osnovu snage skokova i padova. Računaju se vremena između susednih pojava skokova i padova u tim grupama i izračunava se procenat verovatnoće da su te promene nastale usled prisustva kotlova za grejanje.

Algoritam po kome se na bazi merenja snage u NN mreži detektuje prisustvo kotlova za grejanje je prikazan na slici 6.



Slika 6. Algoritam za detekciju prisustva kotlova

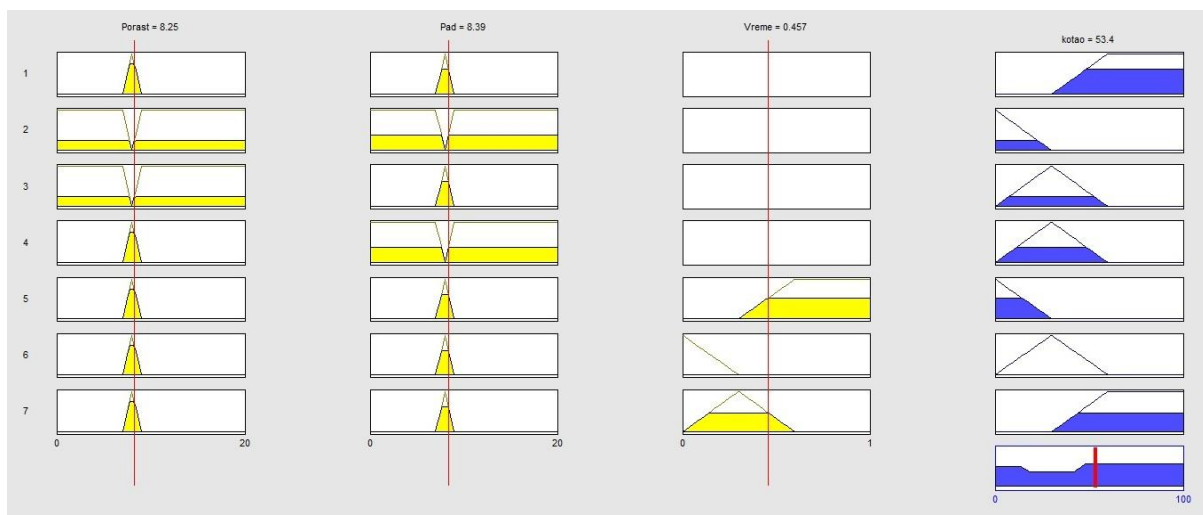
Dat je primer u kome se određuje da li na izvodu trafo-stanice postoje kotlovi za grejanje snage 8 KW.



Slika 7. Grafički prikaz snaga snimljenih na izvodu trafo-stanice pomoću MIS-a

Na slici 7 su grafički prikazane vrednosti snaga snimljenih na izvodu transformatorske stanice pomoću merno-informacionog sistema. Sa grafika se vidi da nije moguće odmah jasno uočiti da li se među potrošačima nalaze i kotlovi za grejanje.

Primenom fuzzy logike određuju se skokovi i padovi koji su približni snazi od 8 KW. Na osnovu dobijenih uparenih vrednosti kao i vremenskog intervala između pojave skoka i pojave pada u potrošnji električne energije sa određenom verovatnoćom možemo tvrditi da li na datom izvodu transformatorske stanice postoje kotlovi kao jedan od mnogobrojnih potrošača.



Slika 8. Primenjena fuzzy logika za detekciju prisustva kotlova

Uparene vrednosti skokova i padova aktivne snage električne energije snimljene na izvodu transformatorske stanice tabelarno su prikazane u tabeli 1. Dve kolone u tabeli sa leve strane se odnose na vrednost skoka aktivne snage i vreme kada se on desio, naredne dve kolone na vrednost pada aktivne snage i vreme kada se on desio. U sledećoj koloni se nalazi vrednost koliko je trajao period između skoka i pada aktivne snage, dok je u poslednjoj koloni pomoću lingvističke promenljive prikazana verovatnoća prisustva kotlova za grejanje.

TABELA 1 - PRIKAZ UPARENIH VREDNOSTI SKOKOVA I PADOVA

Vrednost skoka aktivne snage[W]	Vreme kada se desio skok [hh/mm/ss]	Vrednost pada aktivne snage [W]	Vreme kada se desio pad [hh/mm/ss]	Interval između skoka i pada [s]	Verovatnoća postojanja kotla [lingv.prom.]
8000	10:13:37	7940	12:00:07	6390	velika
7920	21:34:28	7840	23:04:33	5405	velika
7120	21:50:05	7040	23:11:46	4901	velika
7280	5:49:33	7280	7:03:49	4456	velika
8000	8:17:17	8080	10:05:35	6498	velika
7600	19:06:31	7600	20:17:35	4264	velika
7120	6:10:57	7280	7:34:50	5033	velika
8720	4:49:16	8640	6:15:45	5189	velika
7200	11:19:39	7200	13:17:09	7050	velika
7040	13:43:47	7280	15:17:52	5645	velika
7360	12:22:06	7120	14:03:12	6066	velika
7600	17:55:26	7520	20:02:45	7639	velika
7120	3:16:46	7040	5:20:05	7399	velika
7840	7:59:27	7520	9:11:43	4336	velika
8400	8:23:04	8240	9:43:21	4817	velika

ZAKLJUČAK

U ovom radu je razmatran problem određivanja jednog od velikih tipova potrošača električne energije - detekcije prisustva kotlova za grejanje u NN mreži i to pomoću fuzzy logike radi detekcije neovlašćene potrošnje električne energije. Prikazan je jedan od načina za detekciju kotlova za grejanje, a kao konkretan slučaj uzeti su električni kotlovi snage 8 KW. Utvrđivanjem prisustva kotlova za grejanje na izvodu iz transformatorske stanice pomoću fuzzy logike se mogu bliže utvrditi slučajevi gde postoje između ostalih i neovlašćene potrošnje električne energije, tj. gde korisnik pre brojila priključi veće potrošače i samim tim brojilo ne registruje tu potrošnju.

Planira se da se istraživanje nastavi u ovoj oblasti, tako što bi se omogućilo određivanje različitih tipova potrošača drugačijih karakteristika, kao i istovremena detekcija električnih kotlova različitih snaga, pošto se broj i snaga grejača na kotlovima razlikuje od potrošača do potrošača.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan u okviru projekata "Razvoj novih informaciono-komunikacionih tehnologija korišćenjem naprednih matematičkih metoda, sa primenama u medicini, telekomunikacijama, energetici, zaštiti nacionalne baštine i obrazovanju" (III 44006).

LITERATURA

1. Z. Stajić, M. Radić, I. Antov, N. Radovanović, M. Tasić, 2010, „Tehničko rešenje za merno-informacioni sistemi za kontrolu potrošnje električne energije u elektrodistributivnim mrežama“
2. C. Muniz, M. Vellasco, R. Tanscheit, K. Figueiredo, 2009, "A Neuro-fuzzy System for Fraud Detection in Electricity Distribution", IFSA-EUSFLAT
3. J. Nagi, K. S. Yap, S. K. Tiong, S. K. Ahmed, A. M. Mohammad, 2008, "Detection of Abnormalities and Electricity Theft using Genetic Support Vector Machines", TENCON
4. J. Nagi, K.S. Yap, F. Nagi, S.K. Tiong, S. P. Koh, S. K. Ahmed, 2010, "NTL Detection of Electricity Theft and Abnormalities for Large Power Consumers In TNB Malaysia", SCORED
5. Jawad Nagi, Keem Siah Yap, Sieh Kiong Tiong, Syed Khaleel Ahmed, Farrukh Nagi, 2011 „Improving SVM-Based Nontechnical Loss Detection in Power Utility Using the Fuzzy Inference System“, Transactions on Power Delivery
6. Spirić J, Janjić A, 2006, "Application Of 'Fuzzy' Logic In Detection Of Unauthorized Electricity Consumption By Customers With Single-Rate Tariff Meters", Elektroprivreda