

Pomeranje potrošnje po vremenskoj osi u domaćinstvu - analiza uticaja na kupce i sistem

Jelena Stojković, Darko Šošić
Katedra za elektroenergetske sisteme
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
jstojkovic@etf.rs, sosic@etf.rs

Sadržaj — Pomeranje potrošnje po vremenskoj osi, kao jedan od načina upravljanja potrošnjom, nudi odgovore na mnoge probleme sa kojima je danas suočen elektroenergetski sistem. U radu je prikazana metoda za preraspodelu potrošnje kao i rezultati simulacije pomeranja potrošnje po vremenskoj osi u domaćinstvu gde je izvršena analiza uticaja na kupce i na sistem. Simulacija je urađena nad stvarnim podacima u programskom alatu MATLAB. Posmatrano je pomeranje potrošnje poluautomatskih uređaja u koje spadaju mašina za pranje veša/sudova kao i mašina za sušenje. Za optimizaciju preraspodele je korišćen genetski algoritam gde je za kriterijum optimizacije izabrana minimizacija troškova kupaca.

Ključne reči - upravljanje potrošnjom; pomeranje potrošnje; poluautomatski uređaji; genetski algoritam; inteligentne mreže.

I. UVOD

Danas je tradicionalni elektroenergetski sistem suočen sa gorućim problemom zaštite životne sredine i od ovog sektora se očekuje značajan doprinos u smanjenju emisije CO₂. Postojeća proizvodnja električne energije je većinom bazirana na eksploataciji fosilnih goriva koja ne predstavljaju ekološki čisto rešenje. Istovremeno, njihove rezerve su ograničene te ovaj koncept ne daje dobar odgovor u budućnosti. S druge strane, usled stalnog porasta zahteva za električnom energijom nameće se potreba za izgradnjom novih elektrana.

Zbog trenda porasta potrošnje električne energije kao problem se pojavljuje i neefikasno angažovanje pomoćnih agregata. U kratkotrajnim periodima sa vršnim opterećenjem moraju se pokrenuti dodatni generatori koji će zadovoljiti zahteve potrošača, dok su oni neaktivni preostalo vreme. Iz tog razloga, potrebne su nove ideje i investicije koje će dati dobar odgovor u zadovoljenju vršne potrošnje.

Mnogobrojna rešenja za ove probleme objedinjena su u okviru koncepta inteligentnih mreža. Sa distribuiranom proizvodnjom od obnovljivih izvora energije umanjuje se zavisnost od fosilnih goriva. Učešće čistih izvora čiji su resursi neograničeni daje doprinos u smanjenju emisije gasova staklene bašte. Postojeća električna mreža je centralizovana i koncipirana da omogući isporuku električne energije potrošačima od malog broja elektrana velikih kapaciteta. Stoga, rasteći udeo obnovljivih izvora energije, koji predstavljaju

male decentralizovane jedinice sa varijabilnom proizvodnjom, se suprotstavljaju trenutnoj mrežnoj upravljačkoj strukturi [1]. Pouzdanost u mreži sa velikim brojem intermitentnih izvora može biti garantovana sa adekvatnom rezervom koja će biti dostupna da izbalansira potrošnju i proizvodnju. Inteligentne mreže mogu da odgovore na ovo pitanje na više načina. Jedno rešenje predstavljaju sistemi za skladištenje koji bi mogli da kompenzuju fluktuacije. Gubici koji su neizbežni prilikom postupka dvostruke konverzije energije kao i veliki investicioni troškovi ne favorizuju ovaj pristup. Drugo i manje investicioni zahtevno rešenje koje može da odgovori na ovaj problem jeste upravljanje potrošnjom [2]. Ovim je takođe dato rešenje za neekonomično angažovanje agregata, gde će za balansiranje u periodima vršnog tereta upravo biti korišćenja potrošnja.

Inteligentne mreže, pre svega upravljanje potrošnjom, menjaju dosadašnji koncept elektroenergetskog sistema. Ranije je proizvodnja bila ta koja je služila potrošnji i koja se prilagođavala opterećenju, dok je sada potrošnja ta koja se prilagođava proizvodnji. Kada se na to sve doda i sve više zastupljena stohastička proizvodnja iz vetra i sunca, upravljanje potrošnjom se nameće kao optimalno rešenje.

U ovom radu je posmatrano pomeranje potrošnje po vremenskoj osi u domaćinstvu i izvršena je analiza uticaja na kupce i na sistem. Simulacija je urađena nad realnim podacima u programskom alatu MATLAB. Posmatrano je pomeranje uređaja kao što su mašina za pranje veša/sudova kao i mašina za sušenje dok je za optimizaciju preraspodele korišćen genetski algoritam. Rad je organizovan na sledeći način: U drugom poglavlju je dat pregled značajnih radova i literature iz ove oblasti. Teorijski uvod o upravljanju potrošnjom je dat u sekciji tri. Sekcija četiri posvećena je pregledu karakteristika domaćinstva. Opis scenarija je izložen u petoj, a predloženi algoritam u šestoj sekciji. U poglavlju sedam su dati rezultati simulacije dok je zaključak dat u osmom.

II. RADOVI U OVOJ OBLASTI

Upravljanje potrošnjom je oblast koja postaje sve popularnija kako u naučnim tako i u inženjerskim krugovima. Najveće njene prednosti se nameću u pogledu pametnog korišćenja energije i smanjenja troškova [3]. Izvedene su mnoge studije i razvijeni modeli koji razmatraju specifične

aparate u domaćinstvu koji su pogodni u kontekstu upravljanja potrošnjom. Bojler ima sposobnost da skladišti energiju, a istovremeno njime može lako da se upravlja. Iz tih razloga, pomoću te kategorije uređaja može lako da se utiče na krivu opterećenja i na smanjenje vršne snage pomeranjem potrošnje [4]. U radu [5] je izvršena analiza rada frižidera koji zbog svoje fleksibilnosti i velikog učešća u potrošnji predstavlja dobrog kandidata za upravljanje. Pomeranje potrošnje već mašine čiji je rad uslovljen cenom električne energije kao i dostupnom proizvodnjom vetroelektrana razmatran je u [6]. Termostatsko kontrolisana potrošnja domaćinstva je prezentovana u [7].

Upravljanje potrošnjom je mehanizam baziran na predikciji potrošnje i proizvodnje iz intermitentnih izvora koji automatski i optimalno raspoređuje opterećenje određenih uređaja za budući period. Glavni cilj je minimizacija troškova uz zadržavanje komfora korisnika. Pošto je ovaj problem optimizacioni u analizama se koristi genetski algoritam [8], evolucionarni algoritam [9], teorija igara [10] itd. Sve veće učešće obnovljivih izvora energije čija je proizvodnja varijabilna uzima se u obzir prilikom upravljanja potrošnjom. Postojanje greške usled predikcije proizvodnje iz ovih izvora uvaženo je pomoću dinamičkog programiranja koje predstavlja dobar alat pri odlučivanju u upravljanju energijom u okruženju koje karakteriše nesigurnost usled stohastičke proizvodnje [11]. U upravljanje potrošnjom uključuju se i sistemi za skladištenje energije koji se pune kada je cena električne energije mala [12].

U ovim rešenjima primenjuju se pristupi gde se posmatra pojedinačno domaćinstvo. Međutim, da bi se uvideo stvarni uticaj na sistem i mrežu potrebno je posmatrati agregisani konzum umesto pojedinačnog domaćinstva. Iz tog razloga, neka rešenja u radovima posmatraju upravljanje potrošnjom grupe kupaca. U [13] je razmatran problem minimizacije računa grupe korisnika koji imaju PV panele kao i uređaje za skladištenje energije. Ova multi-korisnička rešenja zahtevaju neku vrstu centralizovane koordinacije pokrenute od strane operatora kako bi se prikupiti svi zahtevi kupaca za energijom a istovremeno pronašlo optimalno rešenje.

III. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM

Aktivnosti koje se sprovode unutar konteksta upravljanja potrošnjom mogu se podeliti na indirektno i direktno upravljanje.

A. Indirektno upravljanje

Indirektno upravljanje potrošnjom postiže se pomoću podsticajnih mera, različitih tarifa, popusta itd. Ove metode imaju za cilj da ograniče potrošnju pri vršnim opterećenjima gde kupci prebacuju svoje opterećenje na vanvršni period. Princip dinamičkog tarifiranja i formiranja cena je jedan od indirektnih podsticaja koji ograničavaju potrošnju u željenim periodima. Glavne prednosti ovih mera jesu brza primena i niski investicioni troškovi. Zajednički nedostatak indirektnih mera upravljanja potrošnjom jeste nesigurnost ponašanja kupca u pogledu potrošnje. Rezultati ovih metoda mogu varirati s vremena na vreme tako da postoji mogućnost da se ne postigne predviđena promena u dijagramu opterećenja.

B. Direktno upravljanje

Direktno upravljanje vodi operator i on je taj koji upravlja raspoloživom potrošnjom prilagođavajući je potrebama sistema. Ove aktivnosti imaju za cilj da omoguće odsecanje vrha (peak clipping), popunjavanje dolina (valley filling) i pomeranje potrošnje po vremenskoj osi (load shifting) [14].

1) Odsecanje vrha (Peak Clipping)

Odsecanje vrha se odnosi na smanjenje potrošnje u periodima vršnog opterećenja. Savršeni kandidati za ovaj tip upravljanja jesu uređaji sa termostatom, posebno za grejanje i hladene prostorija, kao i frižideri i zamrzivači.

2) Popunjavanje dolina (Valley Filling)

Popunjavanje dolina predstavlja namerno povećanje potrošnje u periodima vanvršnog opterećenja. Ovaj oblik upravljanja je naročito poželjan kada je u periodima malih opterećenja isključenje i ponovno uključivanje agregata ekonomski nepovoljno. Ovo može da se koristi i pomoću skladištenja energije koja će kasnije da se koristi u periodima vršnog opterećenja. Idealni kandidati za ovaj metod upravljanja jesu uređaji sa termalnim skladištenjem električne energije (bojleri, TA peći).

3) Pomeranje opterećenja po vremenskoj osi (Load Shifting)

Ovaj metod se odnosi na pomeranje potrošnje iz perioda vršnog u period vanvršnog opterećenja. Važno je napomenuti da pri ovoj metodi korišćena energija ostaje ista, s tim da se izvršila samo njena preraspodela u vremenu. Kandidati za ovaj pristup su takođe uređaji sa termostatom, kao i mašine za pranje i sušenje.

IV. KARAKTERISTIKE DOMAĆINSTVA U POGLEDU UPRAVLJANJA POTROŠNJOM

Domaćinstva učestvuju u ukupnoj potrošnji električne energije sa velikom procentom. Republika Srbija je industrijski nerazvijena zemlja te domaćinstva predstavljaju glavne potrošače električne energije. U prilog tome ide i podatak da je električna energija jako zastupljena u grejanju prostorija. Kao rezultat dobijamo da domaćinstva u Srbiji učestvuju sa 54.9% u ukupnoj potrošnji električne energije [15]. Zbog velikog učešća domaćinstava u ukupnoj potrošnji električne energije, ona kao konzum mogu da značajno doprinesu izmeni krive potrošnje u sistemu i da daju velike mogućnosti prilikom upravljanja. Takođe kod ovog dela konzuma postoji trend povećanja zahteva za potrošnjom.

A. Podela aparata u domaćinstvu

Sa aspekta upravljanja potrošnjom, aparate u domaćinstvu možemo podeliti na sledeće kategorije [16]:

1) Automatsko upravljivi uređaji.

Ovo se odnosi na uređaje koje učestvuju u procesu hlađenja/grejanja prostorija, grejanja vode, kao i frižideri i zamrzivači, tj. uređaji koji imaju termostate. Oni ne rade stalno u toku dana, već se uključuju po potrebi da bi temperatura ostala u zadatom opsegu. Ovi aparati predstavljaju idealne uređaje koji se mogu koristiti u postupku upravljanja potrošnjom. Postoje matematički modeli koji opisuju njihov rad i njihova kontrola je laka za realizaciju. U ovom radu se oni

neće modelovati iz razloga što je pomeranje njihove potrošnje u vremenu moguće u intervalu od 15 do 30 min, zbog održavanje temperature [17], što sa aspekta sprovedenih analiza neće dati značajne efekte.

2) Poluautomatsko upravljivi uređaji.

U ovu grupu uređaja spadaju mašine za pranje veša i sudova, kao i mašine za sušenje. Ovi aparati su poluautomatski zato što je za njihov rad potrebna interakcija sa čovekom, tj. da bi mašina za pranje radila mora prethodno biti napunjena vešom/sudovima kao i odgovarajućim deterdžentom. Međutim, ono što je kod njih jako povoljno jeste to da aktivnosti nisu hitne, tj. da obično nisu uslovljene time da moraju što pre da se završe. Ono što je sa ovakvim aparatima dato na izbor čoveku jeste da on, nakon što napuni mašinu, postavi vreme do kad bi mašina trebalo da završi i uključi mašinu u smart mod. Dužina vremena odlaganja ovih aplikacija je velika što daje veliki prostor za preraspodelu. U ovom primeru je uzeto da ovi uređaji treba da završe svoj rad do 7 h. Razlozi za uvođenje ovog uslova leže u pretpostavci da korisnik zahteva da ovi uređaji završe rad pre nego što se on probudi.

3) Neupravljivi uređaji.

Neke aktivnosti u domaćinstvu, kao što su rad na računaru, gledanje televizije, kuvanje itd. se ne mogu odložiti. Uređaji koji se koriste u ovakvim aktivnostima ne mogu se direktno upravljati jer se takve aktivnosti izvršavaju po potrebi korisnika.

V. OPIS SCENARIJA

U cilju izvođenja određenih zaključaka biće simulirano pomeranje poluautomatsko upravljive potrošnje po vremenskoj osi. Analiza će biti izvršena za stvarne podatke o potrošnji konzuma sastavljenog pretežno od domaćinstava koji je priključen na 20 kV distributivni vod. Ovo predstavlja elementaran primer ali na njemu se najlakše mogu uvideti posledice pomeranja potrošnje. Pomeranje potrošnje ima najveće efekte pri tarifiranju u realnom vremenu, i iz tog razloga ovde će biti usvojen taj metod tarifiranja. Da bi rezultati bili pregledniji i jasniji, simulacija je izvršena na dnevnom dijagramu potrošnje. Ovaj problem implementiran je i rešen u softverskog alatu MATLAB.

Analiziraće se sledeći efekti:

- Poboljšanje faktora kapaciteta ;
- Odnos maksimalnog i minimalnog opterećenja na dijagramu potrošnje;
- Smanjenje vršne snage;
- Smanjenje računa konzuma;
- Smanjenje gubitaka aktivne snage na distributivnom vodu i ušteda distributivnog preduzeća;
- Uticaj na naponske prilike.

A. Struktura domaćinstava

Sledeći zadatak je procena učešća poluautomatsko upravljive potrošnje u ukupnom opterećenju jednog domaćinstva. Pregled uređaja koji se koriste u domaćinstvu sa procentualnim učešćem u ukupnom teretu dat je u tabeli I [18].

TABELA I. STRUKTURA DOMAĆINSTVA

Uređaj	Udeo u ukupnoj potrošnji[%]	Tip uređaja
Frižider	9.0	Automatsko upravljiv
Zamrzivač	7.1	Automatsko upravljiv
Mašina za pranje sudova	3.7	Poluautomatsko upravljiv
Mašina za pranje veša	3.5	Poluautomatsko upravljiv
Mašina za sušenje veša	2.5	Poluautomatsko upravljiv
Akumulacioni bojler	5.2	Automatsko upravljiv
Uređaji za grejanje - hlađenje prostorija	17.0	Automatsko upravljiv
Šporet	8.1	Neupravljiv
Elektronika	13.0	Neupravljiv
Informacioni komunikacioni uređaji	5.0	Neupravljiv
Osvetljenje	8.0	Neupravljiv
Ostali uređaji	17.9	Neupravljiv

Prema podacima, udeo poluautomatsko upravljivih uređaja u potrošnji električne energije jednog domaćinstva je 9.7%. U simulaciji je uzeto da procenat poluupravljivih uređaja u domaćinstvu iznosi 8% i na taj način je uključena mogućnost da svi uređaji nisu raspoloživi. Smatra sa da u svakom satnom intervalu ovi uređaji učestvuju sa ovim procentom.

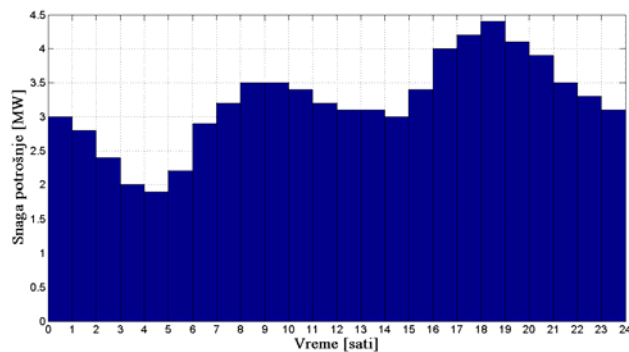
U ovom primeru se razmatra agregisano potrošačko područje jer se na taj način može videti stvaran uticaj pomeranja potrošnje na sistem.

B. Test sistem

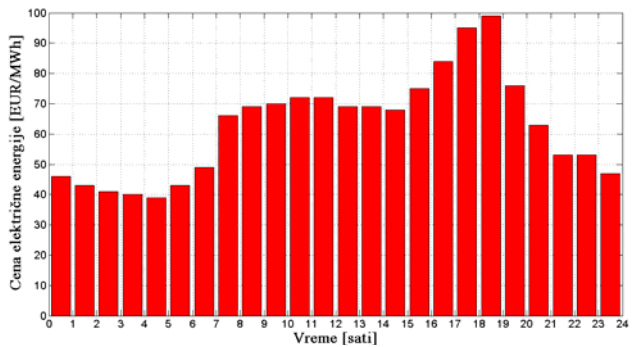
Na Sl. 1 je dat vod na kome je sprovedena analiza, dok je dnevni dijagram opterećenja potrošačkog konzuma sa satnom rezolucijom prikazan na Sl. 2. Cene električne energije za taj dan prikazane su na Sl. 3 (EPEX Spot AuctionMarket).



Slika 1. Model voda



Slika 2. Dnevni dijagram opterećenja



Slika 3. Dijagram cena električne energije

Može se uočiti da dijagram cena električne energije većim delom prati dijagram potrošnje. Cena električne energije na tržištu zavisi i od predikcije proizvodnje iz obnovljivih izvora energije (vetar, sunce) i zbog toga generalno postoje odstupanja između dijagrama cena i potrošnje.

VI. ALGORITAM

U ovom primeru potrebno je izvršiti prebacivanje dela potrošnje iz perioda vršnog u period vanvršnog opterećenja. Za period maksimalnog tereta usvojen je vremenski interval od 16h do 21h. Preraspodela opterećena predstavlja optimizacioni postupak. Potrebno je pronaći optimalno rešenje po nekom kriterijumu optimizacije uz uvažavanje ograničenja tipa jednakosti i nejednakosti. Ovde je optimizacija izvršena pomoću genetskog algoritma koji pripada grupi algoritama koji oponašaju prirodne procese tokom evolucije. Glavna prednost genetskog algoritma u odnosu na druge optimizacione metode jeste što on pretragu započinje sa grupom potencijalnih rešenja a ne samo sa jednim. Na taj način je izbegnuta verovatnoća da algoritam pronađe rešenje koje je lokalni a ne globalni ekstremum. Genetski algoritam počinje pretragu sa inicijalnom populacijom i na njoj primenjuje operacije selekcije, ukrštanja i mutacije. Moguća rešenja se nazivaju hromozomi i oni su najčešće binarno kodirani. Selekcija jedinki je bazirana na vrednosti *fitness* funkcije koje je povezana sa vrednošću objektivne funkcije tog potencijalnog rešenja. Novonastala rešenja predstavljaju generaciju nad kojoj se ponavljaju prethodne operacije, dok se ne zadovolji uslov izlaska iz algoritma. Uslov može biti određen maksimalnim brojem generacija ili minimalnim odstupanjem vrednosti *fitness* funkcije.

A. Ograničenja algoritma

1) Kriterijumska funkcija

Kao optimizacioni zadatak usvaja se minizacija troškova agregisanog konzuma:

$$F = \sum_{i=1}^{24} c_i * P_i \quad (1)$$

U izrazu (1) definisane su sledeće veličine: F - kriterijumska funkcija, c_i - cena električne energije za i -ti sat i P_i - snaga, odnosno energija konzuma u i -tom satu.

2) Ograničenja tipa jednakosti

Energija potrošnje na intervalu od jednog dana pre i posle pomeranja je ista:

$$W_p^{pre_pom} = W_p^{posle_pom} \quad (2)$$

odnosno:

$$\sum_{i=1}^{24} P_i^{pre_pom} = \sum_{i=1}^{24} P_i^{posle_pom} \quad (3)$$

3) Ograničenja tipa nejednakosti

- Razlika tereta u intervalu vanvršnog opterećenja pre i posle pomeranja potrošnje mora da bude veća ili jednaka nuli

$$P_j^{posle_pom} - P_j^{pre_pom} = \Delta P_j \geq 0 \quad (4)$$

U izrazu (4) je: j - interval u vanvršnom opterećenju, ΔP_j - razlika opterećenja u j -tom intervalu posle i pre pomeranja potrošnje.

- Razlika tereta u dva susedna intervala vanvršnog opterećenja posle pomeranja potrošnje ne sme da se razlikuje više od 10%

$$P_{j+1}^{posle_pom} * 0,9 \leq P_j^{posle_pom} \leq P_{j+1}^{posle_pom} * 1,1 \quad (5)$$

Ova dva ograničenja su neophodna da bi se izbeglo rešenje gde bi algoritam prema zadatom kriterijumu svu pomerljivu potrošnju iz perioda vršnog opterećenja pomerio u sat u kome je električna energija najjeftinija. To bi moglo da stvori novi špic u dijagramu opterećenja. Prvo ograničenje sprečava da se pomerljivo opterećenje iz perioda vanvršnog tereta preraspodeli u sat u kom je električna energija minimalna. Drugim ograničenjem se utiče na ravnost dijagrama potrošnje u periodu vanvršnog opterećenja koje je povoljno se aspekta angažovanja agregata.

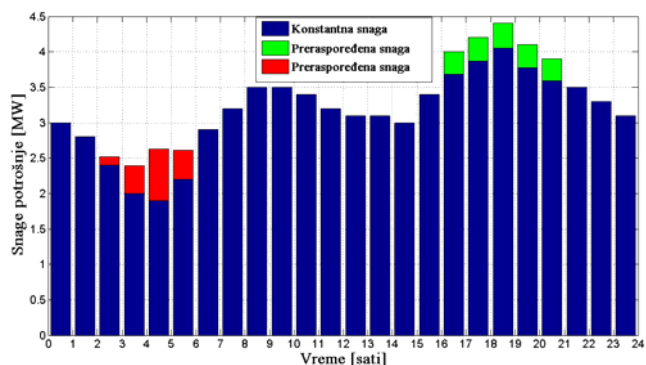
B. Predloženi algoritam

1. Učitaju se podaci o dnevnom dijagramu opterećenja i dnevnom dijagramu cena sa satnom rezolucijom;
2. Postavi se inicijalna populacija, odnosno set nasumičnih rešenja;
3. Proveravaju se ograničenja za svaki hromozom iz populacije;
4. Za svako od rešenja se izračuna vrednost *fitness* funkcije prema izrazu (1);
5. Proverava se uslov za izlaz iz algoritma određen maksimalnim brojem generacija;
6. Ako je uslov prekidanja zadovoljen prelazi se na korak 8;
7. Formira se nova populacija pomoću standardnih operacija GA (selekcija, ukrštanje, mutacija) i vraća se na korak 3;
8. Kraj.

VII. REZULTATI

Na Sl. 4. je dat prikaz dnevnog dijagrama potrošnje nakon pomeranja dela vršnog opterećenja. Vidi se da je najveći deo potrošnje prebačen u interval između četvrtog i petog sata što je opravdano s obzirom da je u ovom intervalu električna energija najjeftinija. Ipak zbog ograničenja uvedenih u procesu optimizacije, koje se odnose na ravnost dijagrama potrošnje, nije sva pomerljiva potrošnja prebačena u taj interval i na taj

način je izbegnuto stvaranje novog vrha u dijagramu opterećenja.

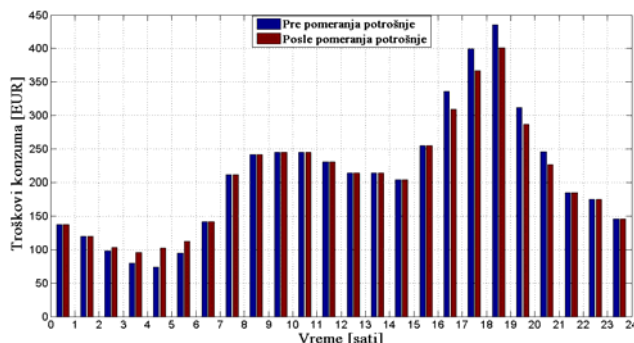


Slika 4. Dijagram opterećenja nakon preraspodele

U pogledu karakteristika dijagrama potrošnje, izračunat je odnos maksimalne i minimalne potrošnje na dijagramu pre i posle pomeranja. Pre pomeranja je on iznosio 0.43, dok je posle pomeranja 0.59. Ovde se može zaključiti da je pomeranje potrošnje dalo dobre rezultate.

Takođe je izračunata vrednost faktora korišćenja. Pre pomeranja je on iznosio 0.73, a posle pomeranje je njegova vrednost 0.80. Ovde je ovaj metod, iako ograničen samo na jedan tip potrošnje, dao jako zadovoljavajuće rezultate. Takođe, smanjenje vršne snage je 8%. Novonastali dijagram opterećenja je sa aspekta angažovanja agregata mnogo lakše zadovoljiti.

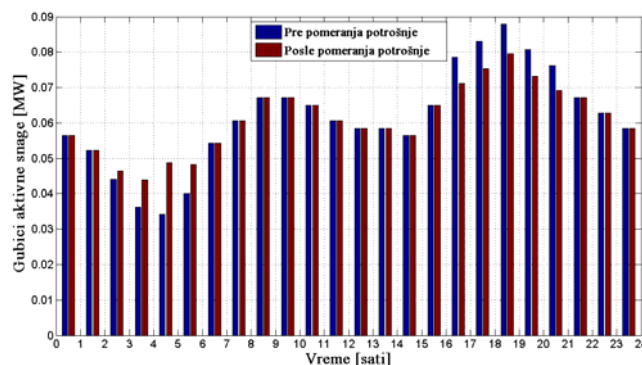
Zatim je analizan uticaj pomeranja na smanjenje računa grupe kupaca. Pretpostavljeno je da pomeranje potrošnje ne utiče na promenu cene električne energije. Na Sl. 5. su dati troškovi za svaki satni interval. Pre pomeranja troškovi konzuma su iznosili 5041€, a posle 4970€. Ušteda na dnevnom nivou za taj potrošački konzum iznosi 71 €, odnosno 1.41%. Na intervalu od jedne godine ušteda bi iznosila 25915€. Ako se pretpostavi da je prosečna potrošnja jednog domaćinstva na mesečnom nivou 600 kWh, odnosno 20 kWh na dnevnom novou, može se proceniti da u ovakvom konzumu gde je ukupna potrošena električna energija na dnevnom nivou 77.1 MWh, ima oko 4000 domaćinstava. To bi značilo da ovim mehanizmom gde se pomera samo poluautomatska potrošnja, pri tarifiranju u realnom vremenu, jedno domaćinstvo uštedi 6.5€ na godišnjem intervalu. Ovaj podatak nije zadovoljavajući i iz ugla korisnika investicije u ovoj oblasti nisu opravdane.



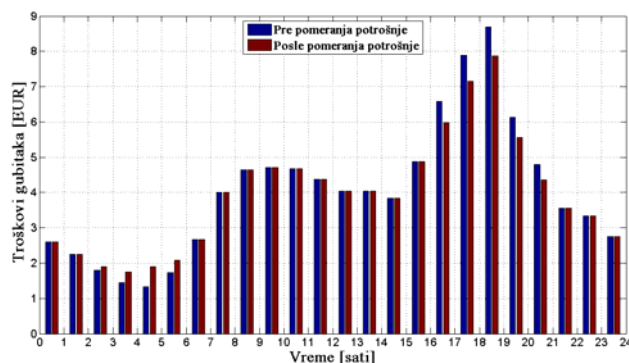
Slika 5. Troškovi konzuma pre i posle pomeranja potrošnje

Kao poslednje, sprovede se analiza uticaja na gubitke aktivne snage na distributivnom vodu kao i na naponske prilike. Iako je energija isporučena potrošačkom području u oba slučaja jednaka, zbog njene različite raspodele u vremenu postići će se smanjenje gubitaka aktivne snage. U ovim proračunima usvojeno je da je napona na početku voda konstantan i da iznosi $U_2 = 21\text{kV}$, dok potrošačko područje ima faktor snage $\cos \varphi = 1$. Ova pretpostavka je opravdana zato što je konzum sastavljen pretežno od domaćinstava.

Na Sl. 6. je dat raspored gubitaka aktivne snage u vremenu, dok su troškovi gubitaka prikazana na Sl. 7. Pre pomeranja gubici su iznosi 1.472 MWh, a posle 1.465 MWh, odnosno troškovi 96.8€ pre i 94.9€ posle. Ušteda distributivnog preduzeća u pogledu gubitaka izražena u kWh i u Evrima je 7 kWh (0.5%) odnosno nešto manje od 2€ (2.1 %) na dnevnom nivou.



Slika 6. Gubici aktivne snage pre i posle pomeranja potrošnje



Slika 7. Troškovi gubitaka pre i posle pomeranja potrošnje

U pogledu naponskih prilika, pomeranje potrošnje ima pozitivni efekat, što je direktna posledica smanjenja vršne snage. U slučaju pre pomeranja minimalni napon na potrošačkim sabirnicama je bio 19.2 kV, a sada je 19.4 kV.

VIII. ZAKLJUČAK

Treba napomenuti da su ovde analizirani uticaji na sistem i kupce pri uvažavanju pomeranja samo poluautomatske potrošnje. Ovde je prikazan slučaj gde se potrošnja pomera u vremenski interval pre aktiviranja uređaja, što je nerealno, ali ne umanjuje validnost rezultata. Može se posmatrati kao da se potrošnja pomera u vremenske intervale u okviru sledećeg dana, ali je zbog bolje preglednosti prikazana na jednom

dijagramu opterećenja. U realnom slučaju, operator bi trebalo da raspolaze podacima i upravlja ovim tipom uređaja koristeći prognozu potrošnje i cena za dan unapred. U slučaju poluupravljivih uređaja, kupcu se daje na raspolaganje da zada vreme do kada mu je potrebno da mašina završi rad. Na taj način kupac ne gubi komfor života, a istovremeno operator, na osnovu svojih potreba i uz uslov minimizacije računa kupaca može da premesti potrošnju u određeni interval. Rezultati dobijeni simulacijom nisu mnogo ohrabrujući. U slučaju uticaja na krivu opterećenja, rezultati su značajniji, ali sa aspekta kupaca u pogledu minimizacije troškova kao i u pogledu smanjenja gubitaka u mreže rezultati si neprimetni. Ono što treba uzeti u obzir jeste da su ovde razmatrani samo poluautomatsko upravljivi uređaji koji ne učestvuju sa velikim procentom u potrošnji. Znatno bolji rezultati se očekuju od automatsko upravljivih uređaja koji su zastupljeni u potrošnji sa velikim procentom, a istovremeno, njihov rad nije zavistan ili je jako malo zavisano od spoljnih faktora.

Upravljanje potrošnjom postaje oblast koja kako u svetu, tako i kod nas, postaje sve popularnija. Pored minimizacije troškova, upravljanje potrošnjom može da da odgovor i na optimalno angažovanje agregata što daje i manju cenu električne energije. Kriterijumi optimizacije mogu biti različiti u zavisnosti o čijem interesu se radi. Detaljna analiza se može sprovesti na mikro mreži gde se sva upravljiva potrošnja koja učestvuje sa određenim procentom u opterećenju može matematički modelovati. Takođe, rezultat bi bio potpun ako bi bile uključene i krive troškova generisanja. Koristeći neku od optimizacionih tehnika može se sprovesti optimalno upravljanje potrošnjom, bazirano na predikciji potrošnje i proizvodnje iz obnovljivih izvora.

ZAHVALNICA

Drugi autor zahvaljuje Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije koje je omogućilo izradu ovog rada u okviru Projekta III 42009 Inteligentne energetske mreže.

LITERATURA

- [1] A. Jansen, J. Molly, B. Neddermann and U. Bachmann, "Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Landung Offshore bis zum Jahr 2020," Technical Report, DeutscheEnergie-Agentur, Köln, 2005.
- [2] M. Klobasa, "Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz," Ph.D. Thesis, Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, 2009.
- [3] G. Strbac, "Demand side management: Benefits and challenges," Energy Policy, vol. 36, no. 12, pp. 1419-1426, December 2008.
- [4] A. Moreau, "Control strategy for domestic water heaters during peak periods and its impact on the demand for electricity," Energy Procedia, vol. 12, pp. 1074-1082, 2011.
- [5] A. Zehir and M. Bagriyanik, "Demand side management by controlling refrigerators and its effects on consumers," Energy Conversion and Management, vol. 64, pp. 238-244, December 2012.

- [6] P. Finn, M. O'Connell and C. Fitzpatrick, "Demand side management of a domestic dishwasher: Wind energy gains, financial savings and peak-time load reduction," Applied Energy, vol. 101, pp. 678-685, January 2013.
- [7] D. Pengwei and L. Ning, "Appliance commitment for household load scheduling," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 2, no. 2, pp. 411 - 419, 2011.
- [8] A. Soares, Á. Gomes, C.H. Antunes and H. Cardoso, "Domestic load scheduling using genetic algorithms," Applications of Evolutionary Computation, Springer, pp. 141-151, 2013.
- [9] F. Allering, M. Premm, P.K. Shukla and H. Schmeck, "Electrical load management in smart homes using evolutionary algorithms," Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization, Springer, pp. 99-110, 2012.
- [10] A. Mohsenian-Rad, V. Wong, J. Jatskevich, R. Schober and A. Leon-Garcia, "Autonomous demand-side management based on game theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 1, no. 3, pp. 320-331, 2010.
- [11] D. Livengood and R. Larson, "The energy box: locally automated optimal control of residential electricity usage," Serv. Sci. vol. 1, no. 1, pp. 1-16, 2009.
- [12] Y. Guo, M. Pan and Y. Fang, "Optimal power management of residential customers in the smart grid," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 23, no. 9, pp. 1593 - 1606, 2012.
- [13] A. Barbato, A. Capone, G. Carello, M. Delfanti, D. Falabretti and M. Merlo, "A framework for home energy management and its experimental validation, Energy Efficiency," vol. 7, no. 6, pp. 1013-1052, 2014.
- [14] C. Gellings, The smart grid : enabling energy efficiency and demand response ,The Fairmont Press, 2009.
- [15] Tehnički izveštaj EPS-a za 2013. godinu
- [16] S. Gottwalt, W. Ketter, C. Block, J. Collins and C. Weinhardt, "Demand side management—A simulation of household behavior under variable prices," Energy Policy, vol.39, no. 12, pp. 8163-8174, December 2011.
- [17] D. La Cascia and R. Miceli, "Environmental benefits through new distributed on site control actions inside European apartments," IEEE 2nd International Power and Energy Conference, pp. 1649 - 1654, December 2008.
- [18] V. Burger, "Identifikation, Quantifizierung und Systematisierung Technischer und verhaltensbedingter Stormeinsparpotenziale privater Haushalte," TRANSPPOSE Working Paper No.3, Oko-Institut e.V., Freiburg, 2009.

ABSTRACT

Load shifting is a method of demand side management that provides answers to many problems of today's energy system. This paper presents a method for load redistribution of semi-automatically controlled appliances in households. Simulation results of load shifting are given and its effects on customers and system were analyzed. The simulation was conducted over real data in MATLAB software. Genetic algorithm was used for optimization of load redistribution where minimization of consumers' bill was selected as criteria.

LOAD SHIFTING IN HOUSEHOLDS - EFFECTS ON CONSUMERS AND SYSTEM

Jelena Stojković
Darko Šošić