

Optimalan raspored rada uređaja u kući koja se napaja iz fotonaponskog sistema

Kristina Džodić

student drugog ciklusa studija
Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
Kristinadodi1@gmail.com

Sažetak— PV sistemi su, zbog pouzdanosti, lakog monitiranja i toga što ne proizvode buku našli svoju primenu na krovovima stambenih objekata. Vlasniku domaćinstva koji na svom krovu ima instalisane fotonaponske panele, od interesa je da svoj PV sistem eksploatiše što efikasnije. U ovom radu predložena je strategija upravljanja radom uređaja, sa ciljem postizanja minimalne zavisnosti domaćinstva od spoljašnje mreže. Primijenjena je optimizaciona metoda Mešanog celobrojnog linearnog programiranja (Mixed Integer Linear Programming, MILP) i problem je rešavan u Matlab okruženju.

Ključne reči 1; Obnovljivi izvori energije 2; upravljanje potrošnjom 3; samoodrživo domaćinstvo

I. UVOD

Tradicionalni koncept elektroenergetskog sistema podrazumeva proizvodnju električne energije u velikim, konvencionalnim elektranama. Zbog klimatskih promena, koje je uzrokovala emisija štetnih gasova iz termoelektrana, kao i zbog ograničene količine fosilnih goriva, na značaju je dobila proizvodnja iz obnovljivih izvora energije (OIE). Međutim, pojava OIE donela je teškoće sa aspekta upravljanja elektroenergetskim sistemom koje nastaju usled njihove intermitentne prirode, zbog čega je dosta teže održavati balans između proizvodnje i potrošnje.

Jedno od rešenja za ovaj problem viđeno je u upravljanju potrošnjom. Upravljanje potrošnjom obuhvata planiranje i kontrolu nad aktivnostima potrošača električne energije koje su osmišljene tako da izazovu željene promene u obliku dijagrama opterećenja. Za realizaciju upravljanja potrošnjom, zahteva se viši nivo monitoringa, automatizacije i kontrole u odnosu na već postojeće elektroenergetske sisteme. Otuda i koncept-inteligentna mreža (smart grid). Ovakva mreža povezuje komunikacione i informacione tehnologije sa infrastrukturom EES-a. Istovremeno sa promenama koje se dešavaju u elektroenergetici, raste životni standard i razvijaju se pametne tehnologije sa ciljem da se svakodnevne aktivnosti obavljaju što brže i jednostavnije. Ovakve promene imaju uticaj i na zahteve koje treba da zadovolji električni sistem savremenog domaćinstva. Kao odgovor na to, pojavile su se pametne kuće, (tzv. smart home), što su sistemi kućne automatike koji podrazumavaju integraciju raznih, pre svega, električnih uređaja u domaćinstvu kojima se može upravljati na različite načine. U skladu sa životnim stilom, navikama i potrebama

korisnika, sistemom se upravlja daljinskim upravljačem, mobilnim ili fiksnim telefonom, računarom ili ekranom osetljivim na dodir. U ovakvim kućama, korisnicima je obezbeđen visok stepen funkcionalnosti i komfora, a jedna od značajnijih mogućnosti je efikasno i ekonomično upravljanje energijom. U ovakvim sistemima može se implementirati upravljačka strategija koja će uskladiti rad uređaja kako bi se ostvario određeni cilj.

Kada je poroizvodnja iz fotonaponskog sistema instaliveća od potrošnje, vlasnik tog sistema može višak energije prodati spoljašnjoj mreži. Proizvodnja iz PV sistema svoj maksimum dostiže tokom dana, kada je i potrošnja najveća, pa se može očekivati da će vlasnik fotonaponskog sistema na svojoj kući električnu energiju prodati po najvećoj ceni. Međutim, sa povećanjem ukupnih instalisanih PV kapaciteta, proizvodnja električne energije u toku dana biće sve veća, što će vremenom dovesti do pada cene električne energije na tržištu u momentima kada je najveća proizvodnja iz PV sistema. Zbog toga, potrošačima se više neće isplatiti da električnu energiju prodaju po maloj ceni, već tu energiju da skladište i koriste je onda kada je cena na tržištu veća. Međutim, sistemi za skladištenje energije dovode i do određenih gubitaka, zbog čega se pokazuje da je najisplativije potrošnju pomerati u sate kada je i proizvodnja iz PV sistema maksimalna. Na taj način potrošači primaju potrebnu količinu električne energije za svoje potrebe, ali u različitim vremenskim trenucima. Sve upravljačke akcije moraju biti takve da se ne ugrožava udobnost korisnika, da su zadovoljene njegove potrebe i ispoštovan stepen fleksibilnosti koji on dozvoljava.

U dosadašnjim istraživanjima koja se tiču upravljanja potrošnjom u domaćinstvu sa PV sistemom uglavnom se predlažu metode za minimizaciju računa električne energije koje korisnik plaća. U [1], [2] i [3] primenjene su determinističke metode, koje ne uvažavaju neizvesnost u prognoziranim veličinama. U [4] upravljanjem su obuhvaćeni i sistemi za skladištenje u vidu akumulatorskih baterija. Literatura [5] pokazuje koliki uticaj uređaji kao što su klime i frižideri imaju na upravljanje potrošnjom u domaćinstvu.

U ovom radu predložen je način nalaženja optimalnog rasporeda rada kućnih uređaja, sa ciljem da se najveći deo proizvedene električne energije iz PV sistema koristi odmah, u tom istom domaćinstvu, kako bi vlasnik ostvario što manju

razmenu energije sa mrežom. Na taj način ostvaruje se veći stepen samoodrživosti u pogledu električne energije.

II. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM U DOMAĆINSTVIMA

Bitno je ispravno odabrati uređaje čijim će se radom upravljati. To moraju biti aparati čiji se rad sme premeštati u vremenu, a da to ne utiče na korisnike. Postoje uređaji čiji se rad može pomerati, ali se retko koriste i male su snage. Zato je bitno da udeo odabranih uređaja u ukupnoj potrošnji bude znatan, da bi rad sistema za upravljanje (Demand Side Management, DSM) imao dobar učinak.

Implementacija DSM sistema zahteva složeniju infrastrukturu, kao i odgovarajuću električnu i informacionu mrežu. Osnovni članovi sistema su:

1) Kontrolna jedinica. To je najvažnija komponenta sistema. Ona sadrži procesor koji kontroliše i optimizuje plan rada u skladu sa strategijom za upravljanje i razmenjuje informacije sa drugim elementima sistema. Neophodni ulazni podaci su prognoza proizvodnje električne energije i prognoza potrošnje korisnika. Prognoza proizvodnje zahteva vremenske podatke za dan unapred, za šta je neophodan pristup internetu. Takođe, u kontrolnoj jedinici se prikupljaju i obrađuju podaci o ponašanju korisnika i ti podaci koriste za upravljanje u budućnosti.

2) Lokalna proizvodnja u obliku PV sistema. Proizvedena energija se može trošiti u samoj kući ili injektirati u mrežu.

3) Kućni uređaji. Pretpostavka je da je kuća opremljena tzv. smart uređajima, i da se njihovo uključenje/isključenje i potrošnja energije mogu pratiti, da se mogu kontrolisati njihovi termostati (ukoliko ih imaju), kao i da je moguće njihovo daljinsko upravljanje.

4) Senzori. Koriste se za praćenje različitih veličina, i šalju podatke kontrolnoj jedinici. To mogu biti senzori temperature, osvetljenosti, detektori pokreta i slično.

5) Distributivna mreža. Domaćinstvo je priključeno na javnu mrežu, od koje se uzima energija onda kada je nema dovoljno i predaje joj se, kada ima viškova. Cilj upravljanja u ovom radu jeste da se zavisnost od mreže i razmena energije sa njom svede na minimum, odnosno da i preuzeta i predata energija od strane domaćinstva budu što manje.

Glavni elementi sistema prikazani su na Sl. 1.

A. Prognoza proizvodnje iz PV sistema

Prognoza proizvedene električne energije zahteva poznavanje prognoze meteoroloških parametara (naročito sunčevog zračenja, ali i oblačnosti, ambijentalne temperature) za vremenski period koji je od interesa kao i poznavanje karakteristika PV sistema. Razvijene su mnogobrojne metode za rešavanje ovog problema, koje iako dosta precizne, zahtevaju veliku bazu podataka što može da predstavlja problem za primenu u domaćinstvima.

B. Prognoza navika korisnika

Od velikog uticaja na efikasnost DSM sistema je i prognoza očekivane potrošnje električne energije (koliko često i kada korisnik upotrebljava koje uređaje). Informacije o tome mogu se dobiti ukoliko bi u domaćinstvu postojala mreža pametnih brojlara, koja bi nadgledala potrošnju svakog kućnog aparata, ili se koristili pametni uređaji koji mogu da vrše monitoring i proslede podatke o svojoj potrošnji. Analizom ovih podataka mogu se dobiti ulazni podaci za sistem za upravljanje potrošnjom.

C. Kućni uređaji

U domaćinstvu se ne može upravljati potrošnjom svih aparata, a i za one kojima se može upravljati, postoje različite metode upravljanja. U tom smislu podela se može izvršiti na sledeći način:

1. Neupravljivi uređaji. To su oni uređaji čije ispunjavanje zadatka korisnik zahteva trenutno, odmah po zadavanju komande. U ovu grupu spadaju: rerna, TV, računari, osvetljenje, usisivač... Oni nisu uključeni u mehanizam upravljanja električnom energijom, ali se zarad efikasnosti celog sistema njihova potrošnja treba predvideti sa što većom tačnošću.

2. Vremenski upravljivi uređaji. Ovu grupu čine uređaji za koje sistem može sam da odredi trenutak početka rada, nakon čega se ta aktivnost ne sme prekidati. Ovu grupu uređaja čine mašine za pranje i sušenje.

3. Termostatski upravljivi uređaji. To su: klima uređaji, bojleri, frižideri i zamrzivači. Koristi se termička inercija ovih uređaja, odnosno akumulirana toplotna energija. Ovakvi uređaji su dobri kandidati za upravljanje potrošnjom, pri čemu se mora voditi računa da se upravljačkim akcijama ne ugrozi njihova prvobitna uloga (npr. temperatura unutar zamrzivača ne sme da preterano poraste).

D. Upravljačka strategija

U nastavku rada biće predložen mehanizam za upravljanje čiji je cilj minimizirati razmenu energije sa mrežom, kako bi domaćinstvo sa aspekta potrošnje električne energije bilo samostalnije. Ovakva strategija može naročito biti od značaja za izolovane potrošače, koji nemaju drugi izvor napajanja sem fotonaponskog sistema, i koji bi primenom ovakvih ili sličnih mera, i uz primenu akumulatorskih baterija mogli nesmetano da napajaju svoje uređaje. Dodatna prednost je što bi onda kapacitet baterija mogao da bude manji. Sposobnost kuće da bude nezavisna od distributivne mreže zavisi od količine instaliranih PV panela, potrošnje i vrste uređaja koji se koriste,

fleksibilnosti koju korisnik dozvoljava, a i prisustva i kapaciteta sistema za skladištenje. Kako je već istaknuto, korišćenje akumulatorskih baterija nosi sa sobom određene gubitke, zbog čega je analiziran slučaj bez skladištenja energije.

Raspored za sledeći dan pravi se u 00:00. Ulazni podaci za koje se očekuje da će se dostaviti korisnik odnose se na vremenski period u okviru koga želi da budu završene aktivnosti uređaja koji se smeju premeštati u vremenu, i temperaturni opseg u kome želi da se kreće temperatura prostorija koje se hlade klima uređajem.

Senzori za temperaturu dostavljaju informaciju o tome kolika je trenutna temperatura u prostorima koji hlade termostatski uređaji (prostorija u kojoj je klima uređaj, unutrašnjost frižidera ili zamrzivača itd.). Zbog toga što su ograničenja temperature strožija u sistemima za hlađenje hrane, usvojeno je da su ona konstantna, definisana standarima za tu vrstu uređaja.

Kontrolni sistem teži da napravi takav raspored rada vremenski i termostatski upravljivih uređaja da se mreži i preda i iz nje uzme što manja količina energije. Odnosno, treba sinhronizovati dijagrame proizvodnje i potrošnje u meri u kojoj je to moguće. Napravljen raspored treba da je dostupan korisniku, kako bi znao kada da očekuje izvršavanje zadatih aktivnosti.

III. MATEMATIČKA FORMULACIJA PROBLEMA

Predložena optimizacija je predstavljena kao problem mešanog celobrojnog linearnog programiranja (Mixed Integer Linear Programming, MILP), i rešavana uz korišćenje OPTI Toolbox-a, alata za optimizacije u Matlab-u. Problemi linearnog programiranja su problemi u kojima je funkcija cilja linearna i dopustiv skup zadata linearnim jednačinama i nejednačinama. Ukoliko se u problemu linearnog programiranja zahteva da sve promenljive budu celobrojne, onda se problem naziva problemom celobrojnog programiranja, a ukoliko se zahteva da samo neke promenljive budu celobrojne, onda se to zove problem mešanog celobrojnog programiranja.

MILP ima sledeći oblik:

$$\min_X f^T X \quad (1)$$

Uz ograničenja:

$$AX \leq b \quad (2)$$

$$A_{eq}X = b_{eq} \quad (3)$$

$$l_b \leq X \leq u_b \quad (4)$$

$$x_i \in \mathbf{Z} \quad (5)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad (6)$$

gde je: f vektor dimenzija $n \times 1$ i on definiše objektivnu funkciju, A je slabopopunjena matrica dimenzija $m \times n$, a b je vektor dimenzija $m \times 1$, A_{eq} slabopopunjena matrica dimenzija $k \times n$, a b_{eq} je vektor dimenzija $k \times 1$, ograničenja promenljivih l_b i u_b su vektori dimenzija $n \times 1$, gde se $-\infty$ (-inf) i $+\infty$ (inf) odnose na neograničenost sa donje i gornje strane, tim redom, x_i su promenljive koje moraju biti celi brojevi, binarna ograničenja x_j su promenljive koje moraju pripadati skupu $\{0,1\}$, $i \neq j$. [6] Cilj je minimizirati objektivnu funkciju odabirom vrednosti elemenata vektora X , koje moraju biti takve da su sva ograničenja zadovoljena. Problem optimalnog rasporeda uređaja u domaćinstvu koje se napaja iz PV sistema, treba formulirati tako da odgovara gorenavedenoj formi, definisati objektivnu funkciju, promenljive i ograničenja i formirati potrebne matrice. Optimalno upravljanje uređajima vrši se za dan unapred, tako da se ostvari najveća moguća potrošnja električne energije dobijene iz PV sistema. Period od 24h je podeljen na $m=96$ intervala, svaki trajanja od 15 minuta.

Ulazni podaci su prognoza proizvodnje iz PV sistema, kao i ambijentalne temperature, prognoza potrošnje neupravljivih uređaja i podaci koje obezbeđuje korisnik, a to su: vremenski interval u okviru koga se aktivnosti vremenski upravljivih uređaja moraju izvršiti. Ovaj interval definisan je početnim, t_{start} , i krajnjim trenutkom t_{end} . Minimalna i maksimalna temperatura prostorije koja se hladi klima uređajem, T_{min} i T_{max} .

Cilj upravljanja potrošnjom je da se iskoristi što veći deo energije koja je proizvedena iz fotonaponskog sistema, odnosno da se u što većoj meri sinhronizuju dijagrami proizvodnje i potrošnje. U skladu sa tim, objektivna funkcija definiše se na sledeći način:

$$f = \min_X \sum_{m=1}^{96} |P_{pot,m}(X) - P_{PV,m}| \quad (7)$$

Očigledno da gornjim izrazom nije zadata linearna funkcija, ali se ona može preformulisati tako da odgovara problemu linearnog programiranja na sledeći način: uvodi se još m novih pomoćnih promenljivih, z_1, z_2, \dots, z_m gde svaka odgovara gornjoj granici svakog člana sume iz (1), tako da treba minimizirati sledeći izraz

$$f = \min \sum_{m=1}^{96} z_m \quad (8)$$

Ograničenja:

$$|P_{pot,j}(X) - P_{PV,j}| \leq z_j, \quad (9)$$

$z_j = 1, 2 \dots m$ su ekvivalentna sa $2m$ linearnih ograničenja:

$$P_{pot,j}(X) - P_{PV,j} \leq z_j, \quad (10)$$

$$-P_{pot,j}(X) + P_{PV,j} \leq z_j, \quad (11)$$

Nejednakosti (10) i (11) ukazuju na to da su promenljive z_j nenegativne, tako da je svedeno da li će postojati ograničenje sa donje strane koje će to potvrditi.[7]

Pretpostavlja se da su prognoza neupravljive potrošnje, ambijentalne temperature i proizvodnje fotonaponskog sistema poznate.

A. Termostatski upravljivi uređaji

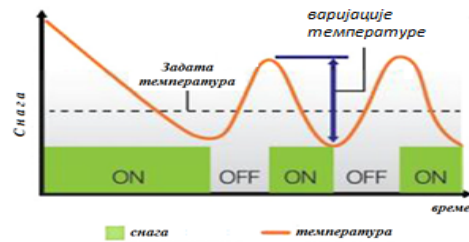
Većina termostatskih uređaja koristi se za hlađenje i takvi uređaji kao što su frižideri, zamrzivači i klima uređaji čine najveći deo ukupne potrošnje električne energije u jednom domaćinstvu.. Učinak sistema za hlađenje se menja u zavisnosti od temperature spoljašnjeg prostora, tako da se u proračunu mora uvažiti i ambijentalna temperatura ukoliko se radi o klima uređajima, odnosno temperatura prostorije, ukoliko je reč o frižiderima i sl. Uvek postoji razmena toplote sa okolinom, te u obzir treba uzeti i toplotne karakteristike mesta na kome rade ovakvi sistemi.

Termostatski uređaji za hlađenje imaju isti princip rada. Njihov zadatak je da temperaturu održavaju unutar prihvatljivih granica, oko željene temperature. Uređaj radi sa naznačenom snagom dokle god temperatura ne dostigne minimalnu vrednost, a onda se isključuje, dok temperatura raste i ne dostigne maksimalnu dozvoljenu vrednost. Princip rada i promena temperature prikazani su na Sl.1. Promena temperature hlađenog prostora, može opisati na sledeći način [4]:

$$T_{i+1} = \varepsilon * T_i + (1 - \varepsilon) * \left(T_{amb} - COP * \frac{q_i}{A} \right) \quad (12)$$

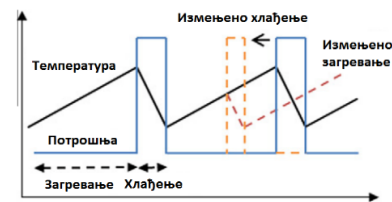
$$\varepsilon = \exp(-\tau * A / C_{th}) \quad (13)$$

T_i je temperatura hlađenog prostora, q_i je snaga uređaja, COP je odnos dobitne rashladne i utrošene električne energije, A je toplotna provodnost prema spoljašnjoj sredini, τ vremenski razmak između trenutaka t_i i t_{i+1} , a C_{th} je toplotni kapacitet. T_{amb} predstavlja temperaturu okoline, dok je ε koeficijent toplotne inercije. Dok se unutrašnja temperatura održava u dozvoljenim granicama, raspored hlađenja i zagrevanja se može promeniti, ubrzavanjem hlađenja, bez ugrožavanja komfora korisnika i bez rizikovanja kvarenja hrane. Cilj optimizacije je da periode hlađenja, odnosno potrošnje energije, rasporedi u one periode kada je na raspolaganju električna energija dobijena iz sunca, a da se periodi zagrevanja, kada nema potrošnje poklope sa periodima kada nema lokalno proizvedene energije, naravno u meri u kojoj je to izvodivo kako se ne bi prekoračile granice dozvoljenih temperatura kao što je prikazano na Sl.2.



Slika 1. Princip rada termostatskih uređaja [4]

Za ovaj tip uređaja potrebno je definisati optimalni raspored 15-minutnih intervala u kojima treba da rade, a u kojima ne, vodeći računa o ograničenjima temperature.



Slika 2. Izmenjen rad termostatskih uređaja [4]

B. Vremenski upravljivi uređaji

Svaki od vremenski upravljivih uređaja može se opisati svojim nepromenljivim dijagramom potrošnje, i trajanjem izvršenja aktivnosti, pri čemu α_i odgovara broju 15-minutnih podeoka tokom kojih traje jedan ciklus rada i-tog uređaja. Svi uređaji koji pripadaju ovom skupu (mašina za pranje veša, za pranje sudova, sušenje veša...) svoj rad moraju početi i završiti unutar vremenskog intervala $[t_{start}, t_{end}]$. Broj podeoka koji zauzima ovaj vremenski opseg je

$$p = t_{end} - t_{start} - 1 \quad (14)$$

Vremensko ograničenje koje je time nametnuto je:

$$p \geq \alpha_i, \quad i = 1, 2, \dots, N_v, \quad (15)$$

kako bi svaki od uređaja mogao da završi svoj rad unutar definisanog intervala.

Za svaki iz ove grupe uređaja kontrolni sistem treba da odredi onaj 15-minutni interval kada treba uključiti uređaj.

IV. SIMULACIJA I REZULTATI

Predložena strategija za pravljenje optimalnog rasporeda rada uređaja biće pokazana na primeru domaćinstva koje na svom krovu ima instalisane PV panele snage 5kW, tokom standardnog letnjeg dana. Za prognoziranu proizvodnju PV sistema i ambijentalnu temperaturu iskorišćene su vrednosti dobijene merenjem tokom meseca jula 2009. godine na lokaciji Bavanište. Domaćinstvo je srednje veličine i ima kućne uređaje navedene u Tabeli 1. Prikazani su i podaci o njihovoj

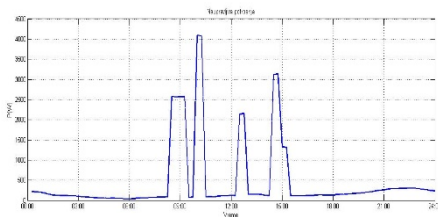
naznačenoj snazi, prosečnom broju sati rada tokom letnjeg dana i dnevnoj potrošnji električne energije. Nema bojlera, jer se očekuje da PV kolektori služe za zagrevanje vode. Takođe, iz modela je izuzet zamrzivač.

TABELA I. KUĆNI UREĐAJI

naziv uređaja	naznačena snaga[kW]	trajanje rada [h]	potrošnja energije [kWh]
<i>klima uređaj</i>	4	2	10
<i>frižider</i>	0.1	7.5	0.75
<i>mašina za pranje i sušenje veša</i>	3	2	2.67
<i>mašina za pranje sudova</i>	1.9	1.45	1.47
<i>električni šporet</i>	16	2	5
<i>osvetljenje</i>	0.2	8	0.2
<i>televizor</i>	0.05	8	0.4
<i>računar</i>	0.075	5	0.4
<i>pegla</i>	2.5	1	2.5
<i>usisivač</i>	2	0.5	1

Kuća je priključena i na distributivnu mrežu preko koje se u potpunosti napaja kada nema lokalnog generisanja, dok se tokom trajanja sunčevog zračenja, napaja u potpunosti ili delimično iz PV sistema, a ostatak preuzima iz mreže.

Dijagram očekivane potrošnje uređaja čijim se radom ne upravlja prikazan je na Sl. 4. Obuhvaćeni su sledeći aparati: televizor, kompjuter, električni šporet, osvetljenje, pegla, usisivač.. Podaci o uobičajenom vremenu upotrebe i dijagramu potrošnje svakog pojedinačnog uređaja usvojeni su iz izveštaja "Micene Project" (2013).[8].

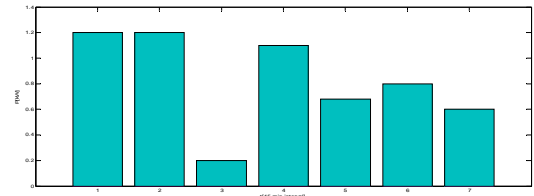


Slika 3. Usvojeni dijagram neupravljive potrošnje [9]

A. Opis upravljivih uređaja

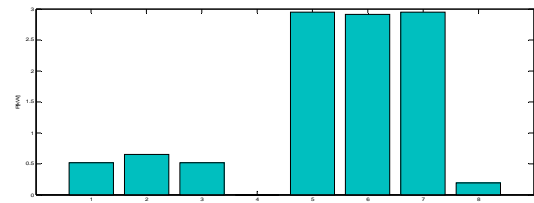
Karakteristični dijagrami potrošnje svakog uređaja mogu se dobiti eksperimentalno ili na osnovu podataka dobijenih od proizvođača. Profili potrošnje iskorišćeni za potrebe ovog rada usvojeni su iz projekta radenog na Virginia Tech. Advance Research Institute.[9]

Mašina za pranje sudova ima tri radna režima tokom jednog ciklusa rada: pranje, ispiranje i sušenje i treba joj približno 105 minuta da ih sve završi. Tokom 1.75 sati rada, potrošnja električne energije se menja od maksimalnih 1.2kW do minimalnih 0.6kW na način prikazan na Sl.5. Mašina za pranje sudova svrstava se u vremenski upravljive uređaje. Njena potrošnja se na 15-minutnom intervalu može grafički prikazati na sledeći način:



Slika 4. Potrošnja mašine za pranje sudova [9]

Ukupno trajanje jednog radnog režima mašine za pranje i sušenje veša je 120 minuta i obuhvata 45 minuta pranja, pauzu od 15 minuta i 60 minuta sušenja. Standardni dijagram potrošnje ovakve mašine prikazan je na Sl. 6. I ovaj uređaj spada u vremenski upravljive. Potrošnja mašine za pranje i sušenje veša na 15-minutnim intervalima je:

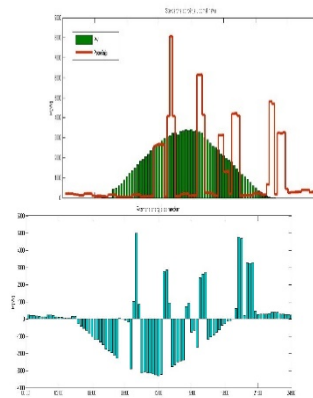


Slika 5. Potrošnja mašine za pranje i sušenje veša [9]

Frižider i klima uređaj su termostatski upravljivi uređaji koji imaju on/off regulaciju. Za potrebe simulacije napravljeni su modeli čiji su parametri dati u sledećoj tabeli:

TABELA II. PARAMETRI KLIMA UREADJA I FRIŽIDERA

Frižider		Klima uređaj	
$q[W]$	100	$q[kW]$	4
COP	3	COP	3
$C_{th}[Wh/^{\circ}C]$	25	$A[kW/^{\circ}C]$	0.25
$A[W/^{\circ}C]$	6	ϵ	0.95
ϵ	0.9684	$T_{min}[^{\circ}C]$	22
$T_{min}[^{\circ}C]$	3	$T_{max}[^{\circ}C]$	26
$T_{max}[^{\circ}C]$	8	$\tau[h]$	0.25
$\tau[h]$	0.25	$A[kW/^{\circ}C]$	0.25
$T_0[^{\circ}C]$	5	$T_0[^{\circ}C]$	22



Slika 6. Slika 7. PV proizvodnja i potrošnja (levo) i razmena sa mrežom (desno)

Na Sl. 7. Prikazani su dijagrami proizvodnje i potrošnje električne energije, kao i razmena energije sa mrežom. Pozitivna vrednost razmenjene energije sa mrežom, odgovara periodima kada se energija preuzima, dok negativna razmena znači da se tada energija predaje mreži. U slučaju uobičajenog rada uređaja očekivana su sledeća ostvarenja:

TABELA III. RAZMENA ENERGIJE BEZ UPRAVLJANJA POTROŠNJOM

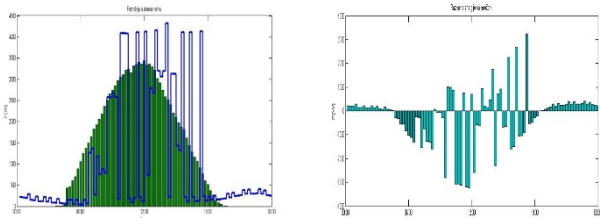
Potrošena PV energija [kWh]	11.88
Ukupna potrošena energija [kWh]	24.35
Energija preuzeta iz mreže [kWh]	12.47
Energija predata mreži [kWh]	17.28
Ukupna razmena energije [kWh]	29.75

Analizirana su tri scenarija. U Tabelama IV, V i VI prikazani su rezultati dobijeni u ovom slučaju, a na Sl. 8, 9 i 10 dijagrami potrošnje i razmenjene energije za scenario I, II i III tim redom.

I. Korisnik dozvoljava da se u toku sutrašnjeg dana, izvrše ciklusi pranja i sušenja veša bilo kada u toku dana (od 00:00 do 23:45), a da se temperatura prostorije koja se hladi kreće u opsegu 22°C do 26°C.

TABELA IV. REZULTATI I SCENARIJA

Uključenje mašine za pranje i sušenje veša	12:15
Uključenje mašine za pranje sudova	6:45
Potrošena PV energija [kWh]	17.3
Ukupna potrošena energija [kWh]	23.80
Energija preuzeta iz mreže [kWh]	6.50
Energija predata mreži [kWh]	11.76
Ukupna razmena energije [kWh]	18.3



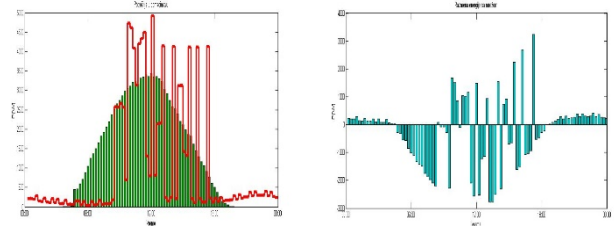
Slika 7. PV proizvodnja i potrošnja (levo) i razmena sa mrežom (desno) u scenariju I

II. Vremenski interval koji korisnik zadaje je od 08:00 do 12:00 i temperaturni opseg 22°C – 26°C.

TABELA V. REZULTATI II SCENARIJA

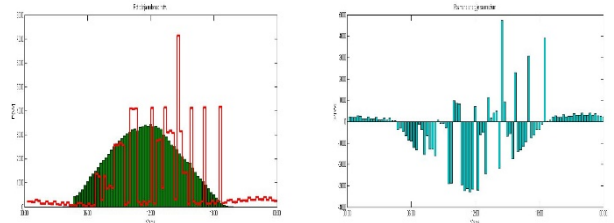
Uključenje mašine za pranje i sušenje veša	9:30
Uključenje mašine za pranje sudova	10:45
Potrošena PV energija [kWh]	16.44
Ukupna potrošena energija [kWh]	23.80
Energija preuzeta iz mreže [kWh]	7.36

Energija predata mreži [kWh]	12.62
Ukupna razmena energije [kWh]	19.99



Slika 8. PV proizvodnja i potrošnja (levo) i razmena sa mrežom (desno) u scenariju II

III. Vremenski interval koji korisnik zadaje je od 00:00 do 23:45 i temperaturni opseg 24°C – 26°C.



Slika 9. PV proizvodnja i potrošnja (levo) i razmena sa mrežom (desno) u scenariju III

TABELA VI. REZULTATI III SCENARIJA

Uključenje mašine za pranje i sušenje veša	12:30
Uključenje mašine za pranje sudova	6:45
Potrošena PV energija [kWh]	15.54
Ukupna potrošena energija [kWh]	22.82
Energija preuzeta iz mreže [kWh]	7.28
Energija predata mreži [kWh]	13.52
Ukupna razmena energije [kWh]	20.80

V. ZAKLJUČAK

Izložena je upravljačka strategija za pravljenje rasporeda rada uređaja u domaćinstvu koje ima instaliran fotonaponski sistem sa ciljem da predata i preuzeta energija iz mreže budu što manje. Na osnovu tri istražena scenarija, pokazano je da oni u kome je korisnik ostavio najviše slobode sistemu za upravljanje daju najbolji rezultat, a da ograničenje, bilo po temperaturi, ili vremenskom opsegu daju lošiji učinak. U poređenju sa slučajem kada nema upravljanja sva tri scenarija daju smanjenje razmenjene energije sa mrežom.

VI. ZAHVALNICA

Zahvaljujem se profesoru Željku Đurišiću i asistentu Dimitriju Koturu sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu na korisnim savetima i sugestijama prilikom izrade rada.

VII. LITERATURA

- [1] M. Jaradat, M. Jarrah, Y. Jararweh, A. Bouselham, "Integration of Renewable Energy in Demand-Side Management for Home Appliances", Renewable and Sustainable Energy Conference, 2014 International

- [2] A. Barbato, A. Capone, "Optimization Models and Methods for Demand-Side Management of Residential Users: A Survey", *Energies* 2014, 7, 5787, September 2014
- [3] A. Barbato, A. Capone, G. Carello, M. Delfanti, D. Falabretti, M. Merlo, "A framework for home energy management and its experimental validation", *Energy Efficiency*, December 2014, Volume 7, Issue 6, pp 1013–1052
- [4] M. Alparslan Zehir, M. Bagriyanik, "Demand Side Management by controlling refrigerators and its effects on consumers", *Energy Conversion and Management* 64 (2012) 238–244
- [5] F. Quayyum, "Appliance Scheduling Optimization with Micro-Grid in Smart Home Network", A Master Thesis, 2015
- [6] <https://www.inverseproblem.co.nz/OPTI/index.php/Probs/MILP>
- [7] T. Ferguson "Linear Programming: A Concise Introduction"
- [8] Micene Project (2013). <http://www.eerg.it/index.php?p=Progetti> - MICENE.
- [9] VirginiaTech Advanced Research Institute, <http://www.ari.vt.edu/research-data/>, Appliance Data, 2013.

ABSTRACT

Because of their high reliability, low level of noise, and easy installation, PV systems have application on roofs of residential buildings. The owner of household with PV panels, is interested into exploiting it as efficient as possible. In this paper, strategy for demand management of appliances is proposed, so that the household is the least dependant on external network. Optimization method which is used is Mixed Integer Linear Programming, and the problem is solved in Matlab environment.

OPIMAL APPLIANCE SCHEDULE IN HOUSEHOLD WITH PV SYSTEM

Kristina Džodić