

Hibridni solarno-električni sistemi za unapređenje energetske efikasnosti u pripremi i korišćenju sanitarne tople vode u domaćinstvima

Željko Đurišić, Dimitrije Kotur, Nenad Šijaković

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet
Katedra za Elektroenergetske sisteme
Beograd, Srbija
djurismic@etf.rs, kotur@etf.rs,
nenad.sijakovic@energy-community.org

Aleksandra Sretenović

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
Katedra za Termotehniku
Beograd, Srbija
asretenovic@mas.bg.ac.rs

Sažetak— Potrošnja sanitarne tople vode u domaćinstvima je bitna komponenta u strukturi potrošnje energije i predstavlja značajan potencijal za unapređenje energetske efikasnosti ove kategorije potrošača. U ovom radu je predložen hibridni solarno-električni sistem za dobijanje tople vode. Osnovna ideja je primarno korišćenje krovno integrisanih solarno-termalnih sistema za pripremu tople vode koju koriste sanitarni uređaji u domaćinstvu. Klasični električni grejači u sanitarnim uređajima bi bili sekundarni sistem koji bi obezbeđivao pouzdanost rada sistema u uslovima nedovoljne insolacije. U ovom radu prikazani su osnovni elementi unapređenja postojećih instalacija sanitarnih uređaja i izvršeni proračuni energetskog bilansa i ušteda koje se ostvaruju u odnosu na standardna rešenja. Pored značajnog unapređenja energetske efikasnosti postignuti su i veoma značajni efekti u pogledu povećanja brzine radnih procesa koje obavljaju pojedini sanitarni uređaji u domaćinstvu, kao što su veš mašine i mašine za pranje suđa.

Ključne riječi- Energetska efikasnost, solarni kolektori, sanitarna topla voda, veš mašina, mašina za pranje suđa

I. UVOD

Dobijanje sanitarne tople vode u većini domaćinstava u Srbiji se uglavnom oslanja na električnu energiju. Ovakvi uređaji su mašine za pranje veša, mašine za pranje suđa, kao i električni protočni i akumulacioni bojleri. Ovakav pristup u pripremi sanitarne tople vode predstavlja vrlo neefikasan sistem budući da se dobijanje električne energije dominantno oslanja na fosilna goriva. Oko dve trećine električne energije se u svetu dobija sagorevanjem fosilnih goriva u termoelektranama. U Srbiji se oko 70% električne energije dobija u termoelektranama na lignit. S obzirom da je efikasnost konverzije toplotne energije u električnu vrlo niska i često ne prelazi 30%, zaključuje se da se za 1 kWh električne energije utroši oko 3 kWh toplotne energije. Jasno je da ponovno pretvaranje električne energije u toplotnu u procesu dobijanja sanitarne tople vode u domaćinstvima predstavlja neefikasan pristup ako se posmatra utrošena primarna energija. Dodatno ugrožavanje efikasnosti ovakvih sistema je uslovljeno i gubicima električne energije u prenosnoj i distributivnoj mreži.

Povećanje energetske efikasnosti za pripremu sanitarne tople vode veoma je aktuelna tema koja je obrađivana u brojnim naučnim radovima. U radu [1] prikazana je analiza za povećanje energetske performansi solarnih kolektora za dobijanje tople sanitarne vode. U radu [2] prikazana je metoda za određivanje potreba za električnom energijom za dobijanje tople sanitarne vode u cilju optimalnog upravljanja mikrosistemom. U radu [3], prikazana je primena PVT sistema za dobijanje tople vode i dobijanje električne energije i uticaj nagibnog ugla na njegove optimalne karakteristike. U radu [4] dat je pregled metoda za određivanje profila potrošnje tople vode u cilju određivanja energetske performansi objekata i formiranja metodologija za poboljšanje istih. U radu [5] prikazana je metodologija za povećanje efikasnosti konverzije solarnih kolektora upotrebom reflektora. U radu [6] data je analiza energetske efikasnosti bojlera za skladištenje tople vode integrisanih sa solarnim kolektorima. U radu [7] dat je prikaz radova koji analiziraju optimalno upravljanje sistemima sa solarnim kolektorima u cilju povećanja energetske efikasnosti čitavog sistema. U radu [8] izučavana je efikasnost 5 različitih tipova sistema za pripremu sanitarne tople vode u Ujedinjenom Kraljevstvu.

U ovom radu predložen je solarno-termalni sistem za obezbeđivanje tople vode za potrebe rada sanitarnih uređaja u domaćinstvima: mašine za pranje veša, mašine za pranje suđa, kao i akumulacionih električnih bojlera. Postojeći sistem rada ovih uređaja podrazumeva korišćenje hladne vode koja se pomoću električnih grejača zagreva na relativno visoku temperaturu (40 - 95°C). S obzirom na kapacitet i frekventnost korišćenja ovih uređaja, potrošnja električne energije za pripremu tople vode je značajna. Predloženi koncept podrazumeva da se napajanje ovih uređaja vrši iz rezervoara tople vode koja bi se proizvodila pomoću solarno-termalnih sistema na krovovima objekata. Na taj način bi postojeći električni grejači u ovim uređajima imali funkciju samo dogrevanja vode, čime bi se značajno smanjila potrošnja električne energije, odnosno izvršila supstitucija dela električne energije za pripremu tople vode sa solarnom energijom. Pored ovog primarnog efekta, predloženi koncept ima i značajan pozitivan efekat u pogledu smanjenja vremena

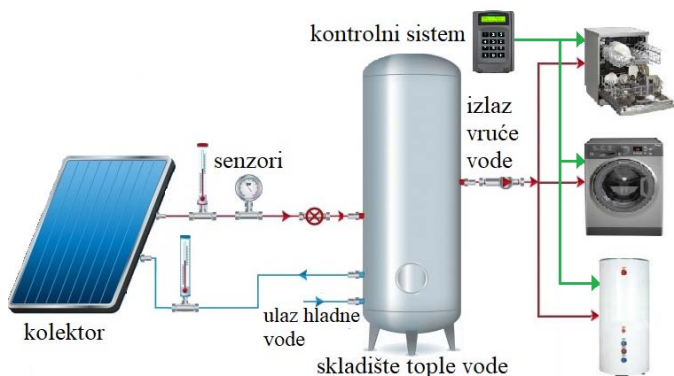
rada veš mašine i mašine za pranje posuđa na račun skraćanja vremena potrebnog za zagrijavanje vode do određene radne temperature.

U radu je prikazano idejno rešenje instalacija predloženog koncepta, izvršena eksperimentalna analiza potrošnje električne energije za dobijanje tople vode u sanitarnim uređajima u jednom četvoročlanom domaćinstvu i prikazan matematički model za proračun solarno-termalnog kolektora i rezervoara. Na osnovu uporednih analiza potrošnje energije za dobijanje tople vode proračunati su efekti uštede u potrošnji električne energije, primarne energije u elektranama i smanjenja emisije CO₂. Takođe su prikazani i očekivani efekti u povećanju brzine obavljanja radnih procesa u mašinama za pranje veša i suđa u domaćinstvima.

II. IDEJNO REŠENJE HIBRIDNOG SISTEMA ZA DOBIJANJE TOPLE VODE U DOMAĆINSTVU

Sistem koji je predložen u ovom radu se sastoji iz sistema za pripremu i skladištenje tople vode, toplovodne instalacije i sistema za kontrolu rada sanitarnih uređaja. Principijelna šema ovog sistema je prikazana na slici 1.

Predloženi sistem ima centralizovanu proizvodnju tople vode pomoću solarno-termalnog sistema sa akumulacionim rezervoarom i distribuirano dogrevanje vode pomoću grejača u sanitarnim uređajima u domaćinstvu. Cilj predloženog rešenja je da se, u što je moguće većoj meri, smanji potrošnja električne energije za dobijanje sanitarne tople vode. Električni grejači, koje sadrže svi uređaji koji koriste toplu vodu, bi u ovom konceptu imali sekundarnu ulogu i služe samo za dogrevanje vode ukoliko je zahtevana radna temperatura iznad temperature vode u centralizovanom rezervoaru.



Slika 1. Principijelna šema hibridnog sistema za dobijanje sanitarne tople vode u domaćinstvu

A. Unapređenje sistema za pripremu i skladištenje tople vode

Osnovna ideja je da se priprema tople vode primarno vrši pomoću solarno-termalnih sistema integrisanih na krovovima objekata, kao što je prikazano na slici 1. Proizvedena topla voda bi se skladištila u centralizovanim zatvorenim rezervoarima velikog kapaciteta i pojačane toplotne izolacije, koji bi mogli biti smešteni u tavanjskim prostorima kuća ili zgrada. Voda u ovom rezervoaru bi se održavala na zahtevani pritisak koji odgovara standardima za vodovodne instalacije u

domaćinstvima. Održavanje pritiska bi se vršilo pomoću regulacionih ventila koji bi bili postavljeni na dovodne cevi kojima se rezervoar napaja hladnom vodom iz vodovodne mreže. Zagrevanje vode u rezervoaru bi se vršilo preko površinskog spiralnog izmenjivača toplote. U primarnom krugu ovog izmenjivača bi se nalazio solarni kolektor, a kao radni fluid bi se mogao koristiti antifriz, kako bi se obezbedila funkcionalnost sistema i u hladnim regionima tokom zimskih meseci i sprečili problemi zamrzavanja vode, kao i stvaranje kamenca na zidovima primarnog kruga. Dimenzionisanje snage solarnog kolektora i zapremine rezervoara tople vode zavisi od raspoložive insolacije (količinu dozračenosti solarne energije po jedinici površine u određenom vremenskom periodu izraženu u kWh/m²), količine i dinamike korišćenja tople vode.

Iz centralnog rezervoara bi se sprovela instalacija tople vode do sanitarnih čvorova za priključenje bojlera, veš mašine i mašine za pranje suđa na kojima već postoje priključci za hladnu vodu iz vodovodne mreže.

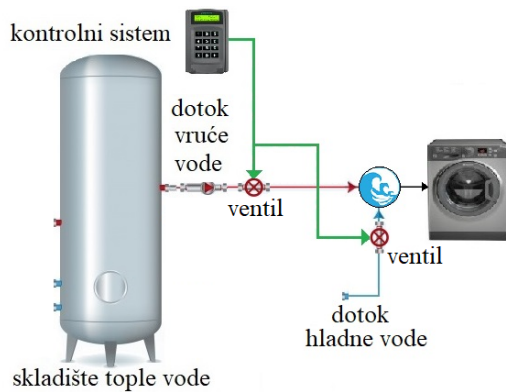
B. Unapređenje instalacije akumulacionog bojlera

Na akumulacionom bojleru bi se direktno umesto priključka na vodovodnu mrežu izvršio priključak na toplovodnu mrežu koja dolazi iz centralnog rezervoara i na taj način bojler bi dobijao toplu vodu koju bi po potrebi dogrevao ako je njena temperatura niža od temperature potrebne za tuširanje. Ako je temperatura vode u centralizovanom rezervoaru veća od temperature potrebne za tuširanje (npr. 40°C) bojler ne bi aktivirao grejač pošto je centralizovana akumulacija dovoljno velika da može da obezbedi potrebnu količinu vodu za tuširanje. U ovom slučaju akumulacioni bojler nema funkciju već topla voda iz centralnog rezervoara protiče kroz njega bez dogrevanja. Ukoliko je temperatura vode u centralnom bojleru niža od temperature potrebne za tuširanje, onda je potrebno aktivirati grejač u bojleru da vodu dogreje do željene temperature (npr. 60°C). Ova automatizacija ne zahteva dodatne kontrolno-upravljačke sisteme u odnosu na klasične sisteme koji postoje u bojleru a baziraju se na termostatskoj kontroli rada grejača. Ovakav sistem značajno će produžiti životni vek bojlera s obzirom da će biti značajno niže varijacije temperature njegovog kazana. Osim toga, sistem ima veću efikasnost jer će voda u bojleru biti niže temperature te će gubici toplote u bojleru biti značajno niži.

C. Unapređenje instalacija veš mašine i mašine za pranje suđa

Ovi uređaji imaju programibilan rad, tako da su njihovi zahtevi za toplom vodom zavisni od izabranog programa rada. Generalno, mogu se razlikovati režimi predpranja, pranja i ispiranja. U režimima predpranja i ispiranja mašine zahtevaju hladnu vodu, dok u režimu pranja zahtevaju toplu vodu određene temperature (30 – 95°C). Priključenje mašine na vodovodnu mrežu bi bilo vršeno preko posebno programirane električne račve koja je prikazana na slici 2. Programiranje električne račve bi se usklađivalo sa programima modela korišćene mašine za pranje veša, odnosno pranje suđa, koji se mogu dobiti od proizvođača ili se snimiti signali na grejačima

i ventilima za prihvatanje vode i na taj način optimizovati rad kontrolera za račvu.



Slika 2. Priključenje veš mašine na vodovodnu mrežu

Račva ima dva ulaza i to za toplu i hladnu vodu. Priključak za hladnu vodu bi se realizovao na vodovodnu mrežu, a priključak za toplu vodu na toplovodnu mrežu koja se napaja iz centralnog rezervoara. Na izlaz iz račve bi bila priključena veš mašina ili mašina za pranje suđa. Račva ima ulogu skretnice, odnosno da u fazama predpranja i ispiranja obezbedi dovod hladne vode u sudu ili veš mašine, a u slučaju pranja da obezbedi dovod tople vode. Kontrolni sistem račve bi bio povezan sa kontrolno upravljačkim sistemom sudo ili veš mašine, tako da bi obezbeđivao da se ne troši topla voda u režimima predpranja i ispiranja. Sa druge strane u režimu pranja mašina bi dobijala toplu vodu i po potrebi je dogrevala na zahtevanu radnu temperaturu. Na ovaj način bi se značajno smanjila potrošnja električne energije ovih uređaja ali i povećala brzina rada jer bi se radna temperatura vode brže dostizala nego u slučaju kada se zagreva hladna voda iz javne vodovodne mreže.

III. MATEMATIČKI MODEL ZA PRORAČUN BILANSA PROIZVODNJE, SKLADIŠTENJA I POTROŠNJE TOPLE VODE

Predloženo idejno rešenje podrazumeva dva izvora toplote za zagrevanje sanitarne vode i to centralizovani solarnotermalni kolektor i disperzovane električne grejače u sanitarnim uređajima. Postoji više vrsta solarnih kolektora koji se razlikuju prema efikasnosti rada i maksimalnih temperatura primarnog radnog fluida koju mogu postići.

Količina toplotne energije koju solarni kolektor preda radnom fluidu (Q_{kol}) u primarnom krugu se može predstaviti sledećim izrazom:

$$Q_{kol} = \eta_{kol} \cdot I_{kol} \cdot A_{kol} \cdot t, \quad (1)$$

gde su:

- η_{kol} – Efikasnost konverzije solarnog kolektora,
- I_{kol} – Iradijacija na površini solarnog kolektora, (predstavlja snagu solarnog zračenja po jedinici površine izraženu u W/m^2)
- A_{kol} – Veličina aktivne površine solarnog kolektora,
- t – Vremenski interval (u analizi u ovom radu proračuni su vršeni sa vremenskom rezolucijom od $t=1h$).

Efikasnost konverzije solarnog kolektora zavisi od iradijacije i razlike ambijentalne temperature i temperature radnog fluida u primarnom krugu. Ovaj podatak daje proizvođač kolektora. Iradijacija na površini kolektora se može proračunati na osnovu prostorne orijentacije površine kolektora i mernih podataka o direktnom i difuznom zračenju na analiziranoj lokaciji. Površina kolektora se usvaja i može se optimizovati prema zahtevima za toplom vodom u analiziranom domaćinstvu.

Toplotna energija koja se akumulira u centralnom rezervoaru (Q_{rez}) u svakom satu t je:

$$Q_{rez} = Q_{kol} \cdot \eta_{gub} - k \cdot A_{rez} \cdot (\theta_{rez0} - \theta_a) \cdot t, \quad (2)$$

gde su:

η_{gub} – Koeficijent koji uvažava gubitke cevovoda i izmenjivača toplote ($\eta_{gub} \approx 0,9$),

k – Koeficijent prolaza toplote kroz izolacioni materijal rezervoara ($k \approx 0,59W/m^2K$),

A_{rez} – Veličina spoljašnje površine rezervoara (m^2),

θ_{rez0} – Temperatura vode u rezervoaru na početku analiziranog sata,

θ_a – Ambijentalna temperatura u analiziranom satu.

Promena temperature vode u rezervoaru ($\Delta\theta_{rez}$) u analiziranom satu je:

$$\Delta\theta_{rez} = \frac{Q_{rez} - Q_{pot}}{V_{rez} \cdot \rho \cdot c_p}, \quad (3)$$

gde su:

V_{rez} – zapremina rezervoara,

ρ – gustina vode ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$),

c_p – specifična toplota vode pri konstantnom pritisku ($c_p = 4181 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$).

Q_{pot} – Toplota koja je odvedena potrošačima sanitarne vode u analiziranom satu i koja se računa prema sledećem izrazu:

$$Q_{pot} = \Delta m \cdot c_p \cdot (\theta_{rez} - \theta_{svez}) \cdot t, \quad (4)$$

gde su:

Δm – količina vode koju su potrošači preuzeli iz rezervoara u analiziranom satu.

θ_{rez0} – Temperatura sveže vode koju centralni rezervoar preuzima iz vodovodne mreže.

Temperatura vode u rezervoaru na početku narednog sata (θ_{rez1}):

$$\theta_{rez1} = \theta_{rez0} + \Delta\theta_{rez}. \quad (5)$$

Količina toplote koja se dobija na račun električne energije (Q_{el}) u analiziranom satu je:

$$Q_{el} = c_p \cdot t \cdot \sum_{i=1}^N \Delta m_i \cdot (\theta_i - \theta_{rez}), \quad (6)$$

gde je N ukupan broj sanitarnih uređaja koji troše toplu vodu u analiziranom satu, a θ_i je radna temperatura vode koju zahteva i-ti sanitarni uređaj u analiziranom satu.

Smanjenje potrošnje električne energije u analiziranom satu se formalno matematički može prikazati sledećom relacijom:

$$\Delta Q_{el} = Q_{el} - Q_{el0}, \quad (7)$$

gde je Q_{el0} potrebna električna energije za dobijanje sanitarne tople vode pre instalacije solarno-termalnog sistema i može se proračunati prema sledećoj relaciji:

$$Q_{el} = c_p \cdot t \cdot \sum_{i=1}^N \Delta m_i \cdot (\theta_i - \theta_{svež}). \quad (8)$$

Kombinovanjem dve prethodne relacije može se napisati sledeći izraz:

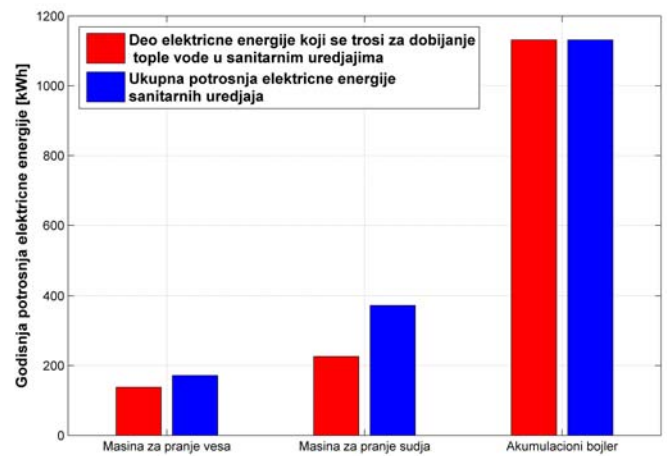
$$\Delta Q_{el} = Q_{el} - Q_{el0} = c_p \cdot t \cdot \sum_{i=1}^N \Delta m_i \cdot (\theta_{svež} - \theta_{rez}). \quad (9)$$

IV. DEMONSTRACIONI SISTEM

U cilju sagledavanja efikasnosti predloženog sistema, sprovedena je analiza na primeru prosečnog domaćinstva u Beogradu. Za sagledavanje potreba za toplom vodom izvršena je analiza potrošnje električne energije akumulacionih bojlera, mašine za pranje veša i mašine za pranje suđa. Za dimenzionisanje i proračun snage solarnog kolektora korišćeni su podaci o insolaciji na teritoriji Beograda.

A. Struktura potrošnje tople vode u domaćinstvu

Da bi se odredile uštede ugradnje predloženog hibridnog sistema za dobijanje sanitarne tople vode, neophodno je odrediti strukturu potrošnje tople vode u analiziranom domaćinstvu. Karakteristike potrošnje mašine za pranje veša preuzete su iz rada [9]. U radu [9] prikazana je struktura potrošnje vode i električne energije za jedan ciklus pranja kao i za čitavu godinu u različitim državama sveta. Za potrebe ovog rada, preuzeti su podaci za Hrvatsku i Sloveniju za koje se pretpostavlja da su podaci slični kao i za Srbiju. Za određivanje potrošnje mašine za pranje posuđa preuzete su karakteristike mašine tipa Gorenje GV6SY2W koja se može nabaviti i na tržištu Srbije. Potrošnja akumulacionog bojlera dobijena je pod pretpostavkom da prosečno domaćinstvo koristi 60 l tople vode dnevno koja se u bojleru akumulira na temperaturi od 60°C. Na osnovu svih ovih podataka, formirana je struktura ukupne potrošnje električne energije svih sanitarnih uređaja, kao i struktura potrošnje tople vode za svaki od ovih tipova uređaja. Dobijeni podaci prikazani su na Sl. 3. Akumulacioni bojler sadrži samo grejač, kao potrošač električne energije, tako da se celokupna preuzeta električna energija troši na zagrevanje vode u njemu. Veš mašina i mašina za pranje suđa imaju i elektromotore, tako da se deo električne energije konvertuje u mehaničku.



Slika 3. Struktura potrošnje električne energije za dobijanje sanitarne tople vode

Na osnovu Slike 3. mogu se proračunati prosečne dnevne potrebe za dobijanje tople vode i one iznose **4,09 kWh**.

B. Dimenzionisanje solarnog kolektora i zapremine rezervoara tople vode

Na osnovu dobijenih vrednosti srednjih dnevnih potreba za toplotnom energijom za pripremu sanitarne tople vode, moguće je odrediti zapreminu rezervoara tople vode. Ovde treba napomenuti da se umesto 4,09 kWh za ukupnu energiju uzima vrednost 4,5 kWh. Razlog je taj što se mašina za pranje veša ne koristi svaki dan, pa se umesto njene srednje dnevne potrošnje koristi podatak o potrošnji neophodnoj za jedan ciklus pranja. Zapremina rezervoara iznosi:

$$V = \frac{Q_u}{\eta_e \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_{rez} - \theta_{svež})}, \quad (10)$$

gde su:

Q_u – ukupne dnevne potrebe za toplotnom energijom

η_e – efikasnost rezervoara tople vode

Ako se za efikasnost rezervoara usvoji 90%, na osnovu izmerenih dnevnih potreba za toplotnom energijom dobijena vrednost zapremine rezervoara iznosi **100 l**. Kako je pretpostavljeno da je zapremina akumulacionog bojlera 60 l, ostalih 40 l se koristi za ostale uređaje koji koriste sanitarnu toplu vodu. Temperatura sveže vode iznosi 15°C.

Za dimenzionisanje solarnih kolektora, pored dnevnih potreba za toplotnom energijom neophodno je odrediti i gubitke koji se javljaju kada se voda nalazi u rezervoaru tople vode. Ukupna površina solarnih kolektora iznosi:

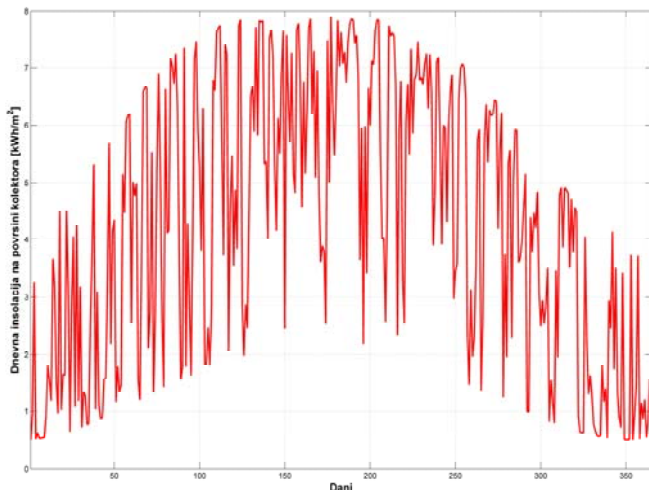
$$A_{kol} = \frac{Q_u + Q_{gub}}{\eta_{kol} \cdot I_{kol} \cdot t} \quad (11)$$

Gde su:

Q_{gub} – dnevni gubici energije u rezervoaru tople vode, koji se računaju prema sledećem izrazu:

$$Q_{gub} = k \cdot A_{rez} \cdot (\theta_{rez0} - \theta_a) \cdot t \quad (12)$$

Prema preporukama, temperatura vode u bojleru ne bi trebalo da bude ispod 60°C. Sa druge strane, ambijentalna temperatura u domaćinstvima iznosi oko 25°C. Za dobijanje gubitaka neophodno je odrediti i približnu površinu rezervoara. Ako se pretpostavi da je bojler valjkastog oblika čija je visina 1m, iz dobijene zapremine bojlera dobija se da spoljašnja površina bojlera iznosi 1,32m², pa se zamenom za t=24h u formuli (12) dobija da ukupni dnevni gubici toplotne energije iznose **0,6 kWh**. Ovakvim pristupom ide se na stranu sigurnosti, obzirom da se gubici energije smanjuju sa smanjenjem temperature vode u bojleru. Na osnovu dobijenih dnevnih potreba i gubitaka toplotne energije, a na osnovu solarnog potencijala ciljne lokacije moguće je na osnovu formule (11) odrediti površinu solarnih kolektora. U proračunu je usvojena srednja efikasnost kolektora od 40%. Solarni potencijal je analiziran pomoću softvera PVWATTS za lokaciju Beograda. Na Slici 4 prikazan je dijagram dnevnih insolacija za teritoriju Beograda. U toku zimskih dana, dobijena vrednost srednje dnevne insolacije iznosi **3,07kWh/m²**, dok je ova vrednost u letnjim mesecima jednaka **5,76kWh/m²**. Za proračun površine kolektora, uzet je podatak o insolaciji u toku zimskih dana, na osnovu kojeg je dobijena površina solarnog kolektora koja iznosi **2,2m²**.

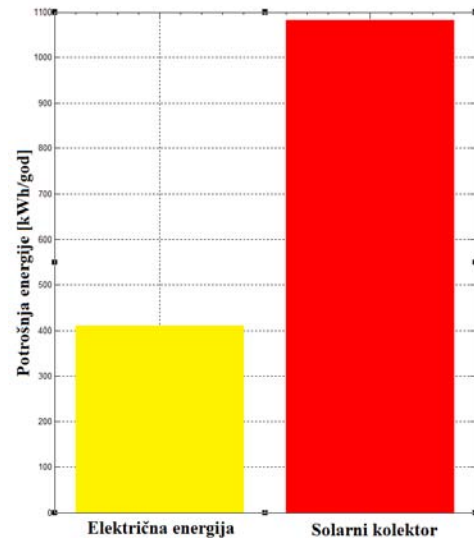


Slika 4. Dijagram dnevnih insolacija na površini solarnog kolektora lociranog u Beogradu

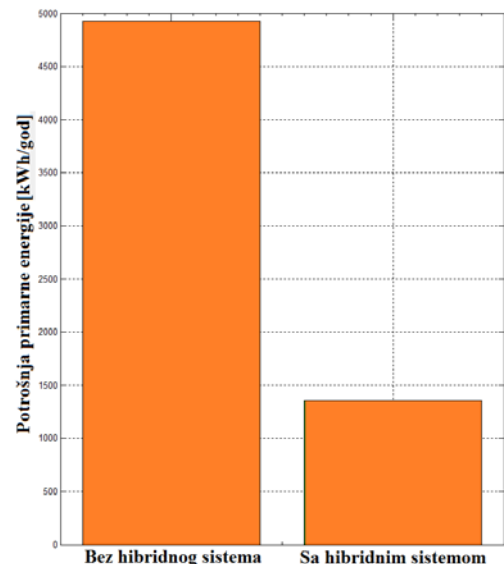
C. Komparativna analiza energetske efikasnosti

Na osnovu prethodnih analiza moguće je odrediti kolike uštede u potrošnji primarne energije se postižu ugradnjom predloženog hibridnog sistema. U Srbiji se 70% električne energije dobija iz termoelektrana na ugalj a 30% iz hidroelektrana. Proizvodnja električne energije iz hidroelektrana zavisi od godišnjeg rečnog potencijala i proizvodnja iz njih se planira tako da se upotrebi kompletan potencijal voda. Zbog toga, uštede u potrošnji električne energije se pre svega manifestuju na uštede u proizvodnji električne energije iz termoelektrana. Kako je stepen konverzije toplotne u električnu energiju oko 33%, usvaja se da je stepen konverzije električne energije u primarnu energiju

jednak 3. Prenos električne energije od elektrane do krajnjih korisnika vrši se uz gubitke u prenosnom i distributivnom sistemu. Ako se usvoji srednja vrednost gubitaka električne energije od 10%, konačni koeficijent konverzije električne energije u primarnu energiju koja se dobija iz uglja iznosi 3,3. Za analizu ušteda, koriste se podaci o insolaciji na teritoriji Beograda prikazani na Slici 4. Na Slici 5 prikazani su podaci o upotrebi električne energije i toplotne energije za dobijanje sanitarne tople vode. Rezultati pokazuju da se nakon instaliranja hibridnog sistema, potrošnja električne energije za dobijanje sanitarne tople vode smanjila **72,5%**, odnosno **1082,2 kWh** godišnje. Na Slici 6 dati su podaci o neophodnoj primarnoj energiji za dobijanje sanitarne tople vode pre i nakon instaliranja hibridnog sistema. Sa slike se vidi da se primarna energija smanjila **78,5%**, odnosno **3571,3kWh**.



Slika 5. Udeo električne i toplotne energije iz solarnih kolektora za dobijanje sanitarne tople vode



Slika 6. Potrošnja primarne energije termoelektrana bez i sa hibridnim sistemom

V. ZAKLJUČAK

Energija koja se koristi za pripremu potrošne tople vode ima značajan udeo u ukupnoj potrošnji energije u domaćinstvima u Srbiji. Topla voda za potrebe tuširanja, kao i za mašine za pranje veša i suđa dobija se uglavnom zagrevanjem pomoću električnih grejača. S obzirom da se 70% električne energije u Srbiji dobija iz termoelektrana, ovakva konverzija toplote u električnu energiju, pa zatim ponovo u toplotu je neefikasna. U ovom radu je izvršena analiza potrošnje tople vode u prosečnom domaćinstvu u regionu Beograda i analiziran solarni potencijal. Na osnovu sprovedenih analiza predložen je hibridni sistem, koji se sastoji iz solarnih kolektora površine 2,2 m² koji se koriste za pripremu tople vode. Voda iz akumulatora ukupne zapremine 100 l se zatim distribuira do bojlera za tuširanje (60 l), mašine za pranje suđa i mašine za pranje veša (ukupno predviđena dnevna potrošnja ovih uređaja je 40 l). Svaki od ovih uređaja bi koristio električni grejač samo u slučajevima kada temperatura vode u centralnom akumulatoru nije dovoljna za određeni proces. Kod akumulacionih bojlera je to ukoliko temperatura vode nije dovoljna za tuširanje, a kod mašina za pranje veša i sudova tokom ciklusa pranja na višim temperaturama (za predpranje i ispiranje se koristi hladna voda). Na ulazu u sudo i veš mašinu postavljena je račva, koja je povezana sa kontrolno-upravljačkim sistemom i ima ulogu skretnice kojom se reguliše preuzimanje tople i hladne vode iz sistema. Rezultati analize pokazuju da se nakon instaliranja hibridnog sistema, potrošnja električne energije za dobijanje sanitarne tople vode smanjila 72,5%, odnosno 1082,2 kWh godišnje. Ušteda u potrošnji primarne energije iznosi 78,5%, odnosno 3571,3 kWh. Ušteda u smanjenju emisije CO₂ je oko 1,2 tone/domaćinstvu. Primenom ovog solarno-termalnog hibridnog sistema se ostvaruju značajne uštede u potrošnji električne, kao i primarne energije. Osim toga, postiže se i povećanje brzine rada mašina za pranje jer bi se radna temperatura vode brže dostizala nego u slučaju kada se zagreva hladna voda koja se dovodi direktno iz javne vodovodne mreže. Očekivano je i produženje životnog veka bojlera za pripremu tople vode za tuširanje s obzirom da se javljaju značajno manje varijacije temperature u samom kazanu.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju projektu Embuild, finansiran od strane Evropske komisije, H2020, poziv H2020-EE-2015-3-MarketUptake za finansijsku podršku pruženu prilikom izrade ovog rada.

LITERATURA

- [1] S. ed-Din Fertahi, T. Bouhal, F. Gargab, A. Jamil, T. Kousksou, and A. Benbassou, "Design and thermal performance optimization of forced

collective solar hot water production system in Morocco for energy saving in residential buildings," *Solar Energy*, vol. 160, pp. 260-274, 2018.

- [2] M. W. Jack, K. Suomalainen, J. J. W. Dew, and D. Evers, "A minimal simulation of the electricity demand of a domestic hot water cylinder for smart control," *Applied Energy*, vol. 211, pp. 104-112, 2018.
- [3] L. L. Sun, M. Li, Y. P. Yuan, X. L. Cao, B. Lei, and N. Y. Yu, "Effect of tilt angle and connection mode of PVT modules on the energy efficiency of a hot water system for high-rise residential buildings," *Renewable Energy*, vol. 93, pp. 291-301, 2016.
- [4] E. Fuentes, L. Arce, and J. Salom, "A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1530-1547, 2018.
- [5] H. Bhowmik, and R. Amin, "Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector," *Energy Reports*, vol. 3, pp. 119-123, 2017.
- [6] E. El, G. Cakmak, and C. Yildiz, "Efficiency analysis of tank-type water distillation system integrated with hot water collector," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 3, pp. 24-30, 2017.
- [7] S. Budea, and V. Badescu, "Improving the Performance of Systems with Solar Water Collectors Used in Domestic Hot Water Production," *Energy Procedia*, vol. 112, pp. 398-403, 2017.
- [8] P. J. Boait, D. Dixon, D. Fan, and A. Stafford, "Production efficiency of hot water for domestic use," *Energy and Buildings*, vol. 54, pp. 160-168, 2012.
- [9] C. Pakula, and R. Stamminger, "Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide," *Energy Efficiency*, vol. 3, pp. 365-382, 2010.

ABSTRACT

Hot water consumption in households is an essential component in the energy consumption structure and represents a significant potential for improving the energy efficiency of this category of consumers. In this paper a hybrid solar-electric system for obtaining hot water is proposed. The basic idea is the primary use of roof-integrated solar thermal systems for the preparation of hot water used by domestic sanitary appliances. Classic electrical heaters in sanitary facilities would be a secondary system that would ensure reliability of the system in conditions of insufficient insolation. This paper presents basic elements of improvement of existing installations of sanitary devices and energy balance calculations and savings that are made in relation to standard solutions. In addition to significantly improving energy efficiency, very significant effects have been achieved in terms of increasing the speed of work processes performed by individual domestic appliances, such as washing machines and dishwashers. Hybrid solar-electric systems for improving energy efficiency in the preparation and use of domestic hot water in households

HYBRID SOLAR-ELECTRIC SYSTEMS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN THE PREPARATION AND USE OF DOMESTIC HOT WATER IN HOUSEHOLDS

Željko Đurišić, Dimitrije Kotur, Nenad Šjaković, Aleksandra Sretenović