



UPOREDNA ANALIZA SISTEMA ZA PRIPREMU SANITARNE TOPLE POTROŠNE VODE U HOTELIMA

COMPARATIVE ANALYSIS OF SYSTEMS FOR HEATING OF DOMESTIC HOT WATER IN HOTELS

Danijel Todorović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratka sadržaj – U radu su prikazane teorijske osnove sistema za pripremu sanitarne tople potrošne vode (STPV), sa fokusom na sisteme koji su primjenjivi u hotelima. Iznijete teorijske osnove su korištene za izradu rješenja sa konvencionalnim i obnovljivim izvorima energije i izvršena je tehno-ekonomska analiza gdje jevršeno upoređivanje sistema sa konvencionalnim izvorom energije i sistema sa obnovljivim izvorima energije.

Ključne reči: Sanitarne topla potrošna voda,, Izvor energije, Analiza

Abstract – This paper describes theoretical basis of domestic hot water (DHW) systems, focusing to the systems that are apliable for hotel solutions. The presented theoretical foundations have been applied for conceptual design of DHW system with conventional energy source and systems with renewable energy sources and comparative techno-economic analysis of the systems.

Keywords: Domestic hot water, Power source systems, Analysis

1. UVOD

Hoteli se ubrajaju u neke od najvećih potrošača energije u svijetu i za objekte koji imaju jako veliki uticaj na životnu sredinu iz razloga što uvijek moraju da imaju određenu količinu finalne energije spremene za korištenje, pored toga hoteli su jedan od osnovnih elemenata turizma kao privredne grane. S' obzirom da su hoteli nekretnine prije svega, za povećanje kapaciteta, samim tim poboljšanje poslovnih rezultata su potrebne jako visoke investicije, tako da je prihvatljiviji smjer smanjenje operativnih troškova. Troškovi za energiju mogu da dostignu 50% ukupnih troškova, pa se upravo u tom dijelu prvo prave uštede. Prema [1], prosječna popunjenost kapacitea hotela u južnoj i istočnoj Evropi je 65-70% na godišnjem nivou, pa je kao referentna vrijednost za analizu uzeta popunjenost od 68%.

2. ZADATAK RADA

Zadatak master rada je da se prikaže sistem sa konvencionalnim izvorom energije i dva sistema sa obnovljivim izvorima energije, izradi idejno rješenje za

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio prof. Aleksandar S. Anđelković.

sva tri sistema, dimenzionišu elementi sistema i da se izvrši uporedna tehno-ekonomska analiza sistema.

Prema iznijetim teorijskim osnovama izvršen je proračun elemenata svakog sistema, potrošnje energije u eksploatacionom periodu za hotel u Novom Sadu.

Izrada idejnog projekta (rješenja) za potrebe finansijske analize podrazumijeva pravilan odabir osnovnih elemenata poput izvora energije, akumulacionih rezervoara, izmjenjivača toplote i cirkulacionih pumpi. Pored mašinskih elemenata potrebno je predvidjeti i način automatskog upravljanja.

3. PODJELA SISTEMA ZA PRIPREMU STPV I HIGIJENSKI ZAHTEVI

Podjela sistema za pripremu tople vode može da se izvrši prema vrsti izvora toplote, načinu zagrijavanja vode, broju mjesta za uzimanje potrošne vode, prema pritisku vode u izmjenjivaču toplote, prema sistemu zagrijavanja i prema veličini postrojenja, s' tim da se u praksi za sisteme za pripremu STPV naječešće uzima u obzir prema izvoru toplote:

- kotlovi na gas, čvrsto gorivo, tečno gorivo...
- solarni kolektori za zagrijavanje vode
- toplotne pumpe

Druga podjela koja se često koristi za odabir je način (sistem) zagrijavanja:

- Akumulacioni sistemi kod kojih se potrebna količina vode zagrijava u rezervoarima
- Protočni sistem kod kojih se zagrijava samo količina vode koja je potrebna u tom trenutku
- Kombinovani sistem

Prilikom dimenzionisanja sistema za pripremu STPV, posebno izvora toplote, potrebno je uzeti u obzir probleme koji se mogu pojaviti. Jedan od najvećih je svakako pojava bakterije legionele koja izaziva legionarsku bolest.

Legionela se razvija u stajaćoj vodi pri temperaturama 32-42°C, a uništava se na temperaturi 60-65°C, tako da je potrebno predvidjeti kapacitet za zagrijavanje vode na temperaturu 60°C ili izvor koji može da dogreje vodu do 65°C u periodu od par sati nedeljno.

4. ELEMENTI SISTEMA

Osnovni elementi sistema za pripremu STPV primjenjenim u hotelima su:

- Izvor energije (toplote)

Izvor toplote koji može direktno ili indirektno da zagrijava STPV. Izvori koji direktno zagrijavaju vodu moraju biti izrađeni od nerđajućeg čelika.

- Rezervoar za STPV

Rezervoar za skumulaciju STPV su izrađeni do nerđajućeg čelika ili običnog čelika, ali su iznutra obloženi staklastim materijalima kako voda ne bi bila u dodiru sa čelikom. Mogu da budu bez izmjenjivača ili da sadrže cjevaste izmjenjivače toplote, jedan ili dva, koji se koriste za zagrijavanje STPV tehničkom vodom. Dimenzionisanje rezervoara STPV se vrši na osnovu dnevnih potreba i vremena zagrijavanja vode.

- Rezervoari za tehničku vodu

Rezervoari za tehničku vodu mogu biti deo sistema koji su dimenzionisani i po protočnom i po akumulacionom sistemu, zavisno od snage izvora energije.

- Izmjenjivači toplote

Za indirektno zagrijavanje sanitarne vode se najčešće koriste pločasti izmjenjivači toplote koji se biraju za suprotno-smjerno strujanje fluida. Mogu da budu lemljeni ili rastavljivi, zavisno od tipa radnog fluida koji se koristi za zagrijavanje STPV.

-Cirkulacione pumpe

Cirkulacione pumpe se ugrađuju uvijek na strani STPV, odnosno sekundarnoj strani sistema, a radna kola i kućišta moraju biti izrađena od nerđajućeg čelika ili mesinga, dok se sa primarne strane ugrađuju u standardnoj izvedbi.

- Cijevna mreža i cijevna armatura

Cijevna mreža treba da bude izrađena od materijala pogodnih za STPV poput bakra, nerđajućeg čelika ili eventulano plastike koja može da zadrži karakteristike pri temperaturama od 60°C. Kompletne cijevne armature poput hvatača nečistoće, zaustavnih i (automatskih) balansnih ventila treba da bude izrađena od mesinga ili nerđajućeg čelika. Ekspanzione posude treba da budu nazivnog pritiska 10bara.

5. PRORAČUN POTREBNE KOLIČINE VODE I ELEMENATA SVAKOG SISTEMA

5.1 Količina STPV i zapremina rezervoara za STPV

Na osnovu preporuka iz [2] za dnevnu količinu STPV za ugostiteljske objekte prikazanih u tabeli 5.1 i na osnovu arhitektonsko-građevinskih osnova izvršen je proračun potrebne količine STPV na dnevnom nivou za 100% popunjenosti hotela. Količine STPV po hotelskoj jedinici i ukupna količina STPV na dnevnom nivou su prikazani u tabelama 5.2 i 5.3.

Tabela 5.1: Preporučene dnevne količine STPV [2]

Potrošno mjesto	Litara na dan po sobi	
	60°C	45°C
Restorani po gostu	4-20	12-30
Hoteli		
Sobe sa kupatilom	100-150	140-220
Sobe sa tušem	50-100	70-120

Tabela 5.2: Dnevne potrebe STPV za kafe i restoran

Prostorija	Broj ljudi	Dnevna količina STPV po osobi na 60°C	Ukupna količina STPV dnevno na 60°C
Restoran	76	20	1520
Cafe-restoran	60	8	600

Tabela 5.3: Dnevne potrebe STPV za sobe i apartmane

Prostorija	Broj prostorija	Dnevna količina STPV po prostoriji na 60°C	Ukupno Ukupna količina STPV dnevno na 60°C
Dvokrevetne sobe sa tuš kabinom u kupatilu	144	100	14400
Apartmani sa kadmom u kupatilima	9	130	1170

Ukupno potrebna količina STPV dnevno pri popunjenosti kapaciteta od 100% na temperaturi 60°C je 17690l.

Potrebna zapremina rezervoara pri prosječnoj zauzetosti hotela na godišnjem nivou od 68%:

$$V_s = \frac{C}{c \cdot (t_0 - t_u)} \cdot b = \frac{1000 \cdot C}{1,16 \cdot 35} \cdot b = 24,5 \cdot C \cdot b \quad (1)$$

C - potrebna akumulaciona energija;

b- faktor dodatke zbog mrtvog prostora ispod površine grijača, b=1,1-1,2;

$$C = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (2)$$

\dot{m} - maseni protok vode za 68% potrebnog kapaciteta [kg/s];

$c_p = 4,14 \text{ kJ/kg}$ specifični toplotni kapacitet vode za piće na 25°C;

$\Delta t = 60 - 25 = 35 \text{ K}$ - razlika u temperaturama vode prije ulaza u zagrijač i posle zagrijača [K];

$$\dot{m} = V_{STPV/dan} / 3600 \cdot 0,68 \cdot \rho_{H2O} \quad (3)$$

$V_{STPV/dan} = 17690 \text{ l}$ - potrebna količina STPV na dnevnom nivou pri 100% popunjenosti kapaciteta;

$\rho_{H2O} = 0,997 \text{ kg/dm}^3$ - gustina vode za piće na 25°C;

$$\dot{m} = 3,331 \text{ kg/s} \quad (4)$$

$$C = 482,66 \text{ kWh} \quad (5)$$

$$V_s = 13007,69 \text{ l} \quad (6)$$

Usvojena je ukupna zapremina rezervoara od 13000l. Zbog velike promjenjivosti potrebne količine STPV usvaja se čelijski tip konfiguracije rezervoara i to dva horizontalna od 5000l tip Storatherm Aquaload 5000 H i jedan vertikalni od 3000l tip Storatherm Aquaload 3000. Na osnovu dnevno potrebne energije za zagrijavanje STPV izvršen je proračun potrebne energije na godišnjem nivou uz gubitak toplote na cjevovodu i izmjenjivačima toplote od 5%:

$$Q_{god} = C \cdot 365 \quad (7)$$

$$Q_{god} = 176 \ 170,9 \text{ kWh} \quad (8)$$

$$Q_{uk} = 176 \ 170,9 \cdot 1,05 \quad (9)$$

$$Q_{uk} = 184 \ 979,45 \text{ kWh} \quad (10)$$

5.2 Sistem sa gasnim kotlovima

S obzirom da je kotao jedini izvor, sistem će biti dimenzionisan na 130% potrebnog kapaciteta za vrijeme zagrijavanja 2h i to tako da imamo dva kotla svaki po 65% potrebnog kapaciteta, kao zaštitu zbog moguće havarije na jednom od kotlova. Potreban kapacitet kotla:

$$\dot{Q}_K = \frac{\dot{Q}_{uk} \cdot z_B}{z_B + z_A} \quad (11)$$

\dot{Q}_K - potreban kapacitet izvora energije;

z_A - broj časova zagrijavanja vode;

z_B - broj časova rada izvora energije;

\dot{Q}_{uk} - potrebna toplota u kW za 100% kapaciteta;

$$\dot{Q}_{uk} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (12)$$

$$\dot{Q}_{uk} = 754,6 \text{ kW} \quad (13)$$

Kapacitet jednog kotla:

$$\dot{Q}_K = \frac{\dot{Q} \cdot z_B}{z_B + z_A} \cdot 0,65 \quad (14)$$

$$z_A = z_B = 2h \quad (15)$$

$$\dot{Q}_K = 245,3 \text{ kW} \quad (16)$$

Izabran je kotao Gas 310 ECO Pro 285/5 nominalne snage 261kW pri temperaturnom režimu fluida 80/60°C i efikasnosti 88% na godišnjem nivou. Potrošnja gasa na godišnjem nivou za izabrani kotao;

$$B_{god} = \frac{3,6 \cdot 10^3 \cdot Q_{god}}{\eta_K \cdot H_d} \quad (17)$$

B_{god} - potrošnja goriva (energenta) u toku godine za zagrijavanje STPV [m³];

Q_{god} - potrebna energija za zagrijavanje STPV tokom cele godine sa prosečnom popunjenošću hotela 65% [Wh];

$\eta_K = 88\%$ - efikasnost kotla, uzima se iz dokumentacije;

$H_d = 33500 \text{ kJ/m}^3$ - donja toplotna moć prirodnog zemnog gasa;

$$B_{god} = 22589,1 \text{ m}^3 \quad (18)$$

Na osnovu predate količine toplote izmjenjivaču i rezervoarima i vremena rada kotlova od 2h dnevno, proračunato je vrijeme rada cirkulacionih pumpi, samim tim i potrošnja električne energije:

$$E_{aux} = (P_{cpK} + P_{cpSTPV}) \cdot n \cdot 365 \cdot 20 \quad (19)$$

E_{aux} - električna energija za cirkulacione pumpe u periodu eksploatacije od 20 godina;

P_{cpK} - ulazna snaga cirkulacione pumpe sa strane kotla [W];

P_{cpSTPV} - ulazna snaga cirkulacione pumpe sa STPV [W];

n - broj sati rada cirkulacionih pumpi dnevno;

$$E_{aux} = 17374 \text{ kWh} \quad (19)$$

Na osnovu cijene električne energije od 0,067eur/kWh i cijene gasa od 0,31 eur/m³, ukupni eksploatacioni troškovi sistema sa gasnim kotlovima kao jedinim

izvorom su 141216,53 eur, dok su investicioni troškovi za ceo sistema 55230,00 eur.

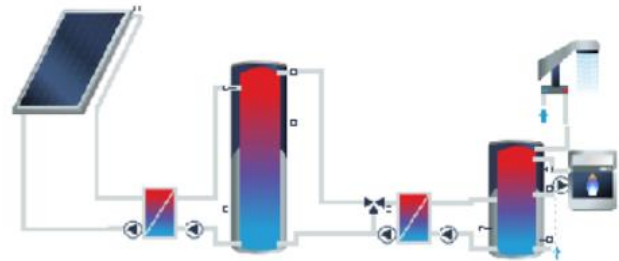
5.3 Sistem sa solarnim kolektorima

U softverskom programu T-sol je izvršena analiza sistema za zagrijavanje STPV sa solarnim kolektorima koji bi radili u bivalenciji sa gasnim kotlom kapaciteta 350kW, koji je dovoljan da zagreje količinu vode potrebnu pri popunjenosti kapaciteta od 100% za dva sata. Za jugozapadnu orijentaciju solarnih kolektora i na osnovu dostupne površine za smještanje, izvršena je simulacija u T-sol-u za potrebnu količinu STPV pri prosječnoj popunjenosti kapaciteta i za 37 solarnih kolektora. Rezultati simulacije su prikazani u tabeli 5.4:

Tabela 5.4: Rezultati simulacije izrađene u T-sol programu za sistem sa solarnim kolektorima

Instalisana snaga solarnih kolektora	65,01 kW
Instalisana bruto površina solarnih kolektora	92,87 m ²
Zračenje na aktivnu površinu solarnih kolektora	128,74 MWh
Energija solarnih kolektora	50,78 MWh
Neto energija solarnih kolektora dostavljena na izmjenjivač	45,45 MWh
Potrebna energija za zagrijavanje STPV	178 MWh
Doprinos solarnih kolektora ukupni potrebama za zagrijavanje sanitarne vode	44,06 MWh
Energija za zagrijavanje STPV od pomoćnog sistema	141,7 MWh
Solarna frakcija sistema	23,7 %

Na slici 5.1 je prikazana šema odabranog sistema:



Slika 5.1: Šema odabranog sistema

Na osnovu rezultata simulacije, pomoću izraza (17) proračunato je da je u toku godine potrebno je 17303,94 m³ gasa. Takođe na osnovu rezultata simulacije i obrazca (20) je proračunato vrijeme rada cirkulacionih pumpi, a zatim, potrošnja električne energije u eksploatacionom periodu, a samim tim i eksploatacioni troškovi. Eksploatacioni troškovi sistema sa solarnim kolektorima u predviđenom eksploatacionom periodu su 108843,43 eur, dok su investicioni troškovi sistema 78500eur.

Primjer proračuna vremena rada cirkulacione pumpe na godišnjem nivou na osnovu isporučene energije:

$$\tau = \frac{Q_{GODsolar}}{\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t} \quad (20)$$

$Q_{GODsolar}$ - energija solara za zagrijavanje STPV na godišnjem nivou;

\dot{m} - maseni protok rasoline sa strane kruga solarnih kolektora;

Δt - prosječna temperaturna razlika potisnog i povratnog voda;

5.4 Sistem sa toplotnim pumpama i rekuperacijom toplote iz sivih otpadnih voda - SOV

Na osnovu potrebne količine STPV na 60°C i prosječne temperature tople vode pri korištenju od 36,4°, prosječnih padavina u Novom Sadu u periodu od maja do septembra na površinu krova od 700m², proračunato je da u sistem svaki dan dolazi 28943,6 kg SOV pri popunjenosti kapaciteta 100 % i 1240 kg atmosferskih voda. Pretpostavljeno je minimalno vrijeme dotoka otpadnih voda od 2h, pa su izabrani rezervoari za STPV od 15000l. Na osnovu mjerenja vršenih na objektu u periodu od 11-17.7.2018. kao referentna temperatura je uzeta ona izmjerena 14.7.2018., 25,1°C, jer je mjerena u vrijeme jutarnjih pikova i posmatrana je promjena temperature od 2h. U tabeli 5.5 su prikazani rezultati očitavanja temperatura:

Tabela 5.5: Temperature SOV u period 11.-17.7.2018

Dan	Temperatura SOV	Popunjenost kapaciteta hotela
11.7.2018.	11.5 °C	33%
12.7.2018.	17.8 °C	62%
13.7.2018.	24.3 °C	88%
14.7.2018.	25.1 °C	86%
15.7.2018.	20.8 °C	88%
16.7.2018.	23.0 °C	62%

S' obzirom da je pretpostavljena temperaturna razlika potisnog i povratnog voda 5K, najniža temperatura SOV koja može da se koristi za odavanje toplote je 9°C. Na osnovu referentne i minimalne temperature SOV i prosječne temperaturne razlike potis/povrat proračunat je broj recirkulacija SOV i usvojene su tri recirkulacije što daje ukupan dnevni protok pri prosječnoj popunjenosti kapaciteta od 64200 l/h prosječnog temperaturnog režima 17/12°C. Na osnovu protoka i pretpostavljenog maksimalnog vremena rada od 16h, izabrane su dvije toplotne pumpe, svaka kapaciteta 17 kW koje bi radile u bivalenciji sa gasnim kotlom kapaciteta 350 kW. Ukupni investicioni troškovi sistema sa toplotnim pumpama kao i rekuperacijom toplote iz SOV su 62930eur, a eksploatacioni za procjenjeni eksploatacioni period 95855,27eur.

6. FINANSIJSKA ANALIZA

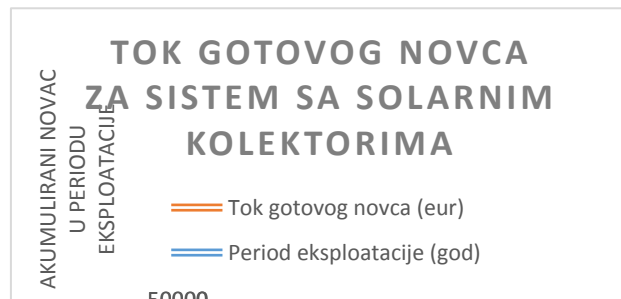
Na osnovu investicionih i eksploatacionih troškova sistema, izvršena je uporedna finansijska analiza gdje je vršena komparacija sistema sa obnovljivim izvorima energije u odnosu na sistem koji koristi konvencionalni izvor energije. U tabeli 6.1 su prikazani rezultati finansijske analize:

Tabela 6.1: Rezultati finansijske analize

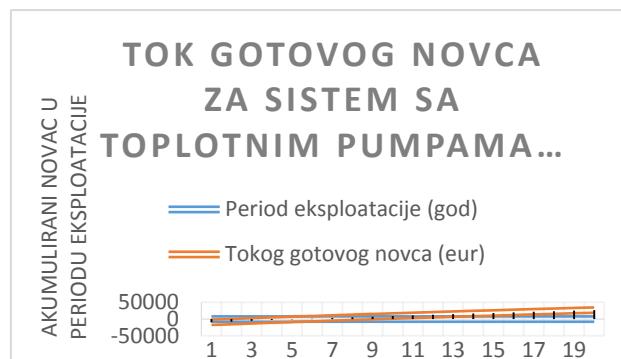
Sistem	B	POP	NPV
Solarni kolektori	32373,1	17	3907,75
Toplotne pumpe sa rekuperacijom iz SOV	46361,26	4,59	28221,49

B - ukupne uštede u troškovima eksploatacije za eksploatacioni period od 20 god [eur];

POP - dinamički period povrata novca [god];
NPV - neto sadašnja vrijednost novca [eur];



Dijagram 5.1: Period povrata investicije za sistema sa solarnim kolektorima



Dijagram 5. Period povrata investicije za sistema sa toplotnim pumpama i rekuperacijom toplote iz SOV

7. ZAKLJUČAK

U radu si iznijete teoretske osnove sistema za prpremu STPV uopšteno, sa posebnim osvrtom na sisteme pogodne za primjenu u hotelima, s' obzirom da se smatra da troškovi pripreme STPV učestvuju u ukupnim troškovima hotela za eneriju sa 25-50% zavisno od sistema. Na osnovu rezultata finansijske analize je primjetno da je sistem sa toplotnim pumpama najrentabilniji, dok se situacija kod sistem sa solarnim kolektorima obrnuta, uprkos visokim solarnim prinosima.

8. LITERATURA

- [1] www.statista.com
- [2] Grejanje i klimatizacija – Reknagel, Šprenger, Šramek, Čeperković
- [3] engineeringtoolbox.com
- [4] Valentine energije T sol

Kratka biografija:



Danijel Todorović rođen je u Tumarama, Lukavac, BIH 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva - Termotehnika odbranio je 2018.god.



Aleksandar Andelković rođen je u Šapcu 1981. god. Doktorirao je 2015. god., a od 2015. je u zvanju docent. Oblast interesovanja su Nekonvencionalni sistemi grijanja i hlađenja.