

PREGLED STANJA TEHNIKE SOLARNIH KOLEKTORA SA TEHNOEKONOMSKOM ANALIZOM**AN OVERVIEW OF THE TECHNICAL STATE OF SOLAR COLLECTORS WITH TECHNOECONOMIC ANALYSIS**Bojan Jokić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazana je ekonomska analiza, različitih sistema za grejanje tople potrošne vode i grejanje prostora, korišćenjem solarnih kolektora u Srbiji. Korišćenjem "F chart" metode možemo dobiti visoku tačnost proizvodnje tople vode u procentima na godišnjem nivou.

Ključne reči: Solarni termički sistemi, kolektori, f chart metoda, solarni sistemi za grejanje vode, solarni sistemi za grejanje vazduha

Abstract – This paper presents the economic analysis, of different systems for hot water heating and space heating, using solar collectors in Serbia. By using the "F chart" method, we can obtain a high accuracy of hot water production in percentages on an annual basis.

Keywords: Solar thermal systems, collectors, f chart method, solar water heating systems, solar air heating systems

1. UVOD

Zbog zagađenja životne sredine, povećanja cene energenata kao i nesigurnosti snabdevanja čisti i obnovljivi izvori energije dobijaju na značaju. Srbija je zemlja sa jednim od najzagađenijih vazduha i Evropi, ali i sa iznad prosečnom insolacijom, i dok su, manje efikasni, fotonaponski sistemi dobili na značaju, solarni termički sistemi nisu dovoljno zastupljeni.

Kao što na slici 1 možemo videti Srbija nije ni u prvih 15 zemalja po broju postavljenih solarnih kolektora po glavi stanovnika, iako od većina istih zemalja ima veću insolaciju.

U Evropi, ali i u Srbiji se oko 15 % od ukupne potrošene energije troši na zagrevanje vode, najčešće korišćenjem električne energije [1]. Solarni kolektori predstavljaju sjajan način smanjenja potrošnje energije, kao i jedan od najčistijih načina. Solarni termički sistemi ne zahtevaju mnogo održavanja, retko dolazi do kvarova i imaju dug životni vek, ali se postavlja pitanje isplativosti, uticaja na životnu sredinu i energetske duga.

Postoji više vrsta kolektora i sistema za grejanje potrošne vode u kojima se mogu koristiti, najčešće korišćeni je ravan pločasti kolektor u termosifonskom direktnom sistemu. Za grejanje tople vode se često se koriste i

vakuumski kolektori, ali oni su najčešće u indirektnom sistemu, odnosno koriste fluide za prenos toplote jer običnu vodu mogu zagrejati na više od 100 °C. Solarni kolektori se mogu koristiti i za grejanje vazduha, direktno ili zagrevanjem tečnog fluida koji nakon toga predaje toplote vazduhu.

Zemlja	Postavljeni kolektori na 1000 stanovnika u kvadratnim metrima
Austrija	288.89
Grčka	283.43
Danska	60.63
Nemačka	45.13
Švajcarska	36.11
Portugal	25.00
Švedska	25.00
Holandija	13.48
Španija	11.42
Francuska	9.90
Finska	5.87
Italija	5.45
Ujedinjeno Kraljevstvo	3.49
Belgija	2.35
Irska	0.87

Slika 1-Evropske zemlje po broju kolektora po glavi stanovnika [2]

2. POTREBE ENERGIJE ZA GREJANJE VODE I PROSTORA

Količina tople vode koje koristi jedno domaćinstvo zavisi od mnogo faktora, i ne može se izračunati sa 100% tačnosti. Najveće opterećenje je kada se sva mesta istovremeno koriste. Kako to nije čest slučaj onda iz dnevnog grafikona za celu nedelju treba uzeti kao merodavne srednje vrednosti dužih iskorišćenja a ne maksimume. Takođe, vrednost koju dobijemo zavisi i od standarda koji koristimo, dok su različite studije dolazile do različitih rezultata. Najčešće dobijena vrednost u studijama je 60 litara tople vode po danu za 1 osobu. U ovom slučaju posmatraćemo četvoročlanu porodicu. Pretpostavljamo da je voda u bojleru ili rezervoaru zagrejana na 60 °C, koji koristi električni grejač efikasnosti 99 %, i da je temperatura vode iz gradskog cevovoda 15 °C. Prema tome, utrošena energija po danu je (jednačina 1):

$$Q = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta t}{n} \quad (1)$$

$$Q = \frac{4 \cdot 60 \cdot 4,2 \cdot (60 - 15)}{0,99} = 45818 \text{ kJ}$$

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Đorđije Doder.

Dok utrošena energija po mesecu možemo dobiti prema jednačini 2:

$$Q_{\text{mesec}} = 30 \cdot Q \quad (2)$$

$$Q_{\text{mesec}} = 1374540 \text{ kJ ili približno } 380 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{god}} = 12 \cdot Q_{\text{mesec}} = 4560 \text{ kWh} \quad (3)$$

gde je:

Q – Utrošena energija za grejanje vode [kWh]

n – Efikasnost električnog grejača [%]

C_p – Specifični toplotni kapacitet [$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$]

Δt – Temperaturna razlika između vode koja ulazi i izlazi iz rezervoara [°C]

Q_{mesec} – Utrošena energija za grejanje vode na mesečnom nivou [kWh]

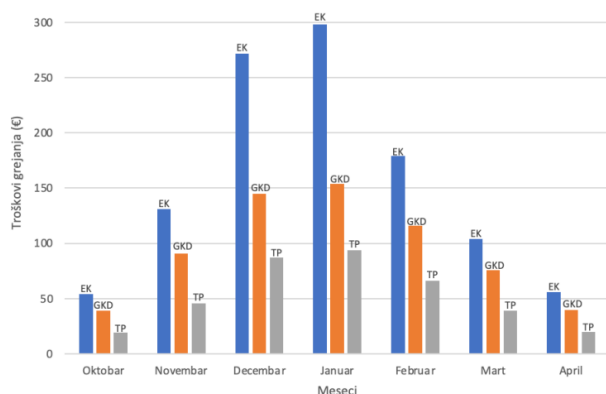
Q_{god} – Utrošena energija za grejanje vode na godišnjem nivou [kWh]

Pretpostavljeno je da se domaćinstvo nalazi u plavoj tarifnoj zoni i da plaća kWh 9,051 dinar. Cena korišćene električne energije prema tome na godišnjem nivou za zagrevanje vode je 41468 dinara. Cena električne energije preuzeta sa sajta countryeconomy.com [4].

Za analizu potrošnje energije za grejanje izabrana je porodična kuća u Beogradu koja se sastoji iz prizemlja i jednog sprata sa kosim krovom. U tabeli 1 možemo videti utrošenu toplotnu energiju za zagrevanje prostora, dok na slici 2 možemo videti poređenje troškova za tri najčešće korišćena načina grejanja.

Mesec	Utrošena energija u kWh
Oktobar	956
Novembar	2351
Decembar	3743
Januar	3979
Februar	2997
Mart	1918
April	983

Tabela 1 - Utrošena energije za grejanje kuće [3]



Slika 2 - Poređenje troškova za grejanje kuće [3]

Na svakom spratu se nalaze dnevna soba, kuhinja, tri spavaće sobe, dva kupatila i ostave, dok je mašinska sala smeštena u prizemlju.

Ukupni trošak grejanja na godišnjem nivou:

- Električni kotao 128 198,55 RSD (1094 €)

- Gasni kotao 77 452,37 RSD (661 €)

- Toplotna pumpa 38 784,77 RSD (331 €)

3. "F CHART" METODA

Metoda F-grafikona ili metoda "F-Chart" zasniva se na korelacijama velikog broja simulacija u zavisnosti od bezdimenzionalnih promenljivih X i Y [5]. X je povezan sa odnosom gubitka kolektora i toplotnog opterećenja, a drugi se odnosi na odnos apsorbovanog sunčevog zračenja i toplotnog opterećenja [5]. Uslovi simulacije varirali su u odgovarajućim rasporedima parametara praktičnih dizajnerskih sistema. Dobijene korelacije daju f , razlomak mesečnog grejnog opterećenja (u ovom slučaju grejanje prostora i tople vode) i proizvedene toplotne energije dobijene sunčevim zračenjem. Rezultat simulacije sistema za koje se primenjuje f grafikoni su korišćeni za razvoj korelacije između bezdimenzionalnih promenljivih f i X , mesečnog udela toplotnog opterećenja zadovoljenog solarnom energijom [5]. Bezdimenzionalni parametri X i Y su definisani kao (formule broj 4 i 5):

$$X = \frac{A_c \cdot F'_R \cdot U_L \cdot (T_{\text{ref}} - T_a) \cdot \Delta_t}{L} \quad (4)$$

$$Y = \frac{A_c \cdot F'_R \cdot (\overline{\tau\sigma})}{L} \cdot H_t \cdot N \quad (5)$$

gde je:

A_c – Površina [m^2]

F'_R – Efikasnost kolektora [%]

Δ_t – Broj sekundi u mesecu

L – Toplotno opterećenje po mesecima [J]

T_a – Prosečna mesečna ambijentalna temperatura [°C]

$\overline{\tau\sigma}$ – Bezdimenzioni proizvod transmitivnosti i apsorpcije

U_L – Toplotni gubitak kolektora [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$]

H_t – Prosečno dnevno zračenje po mesecima [$\frac{\text{J}}{\text{m}^2}$]

N – Broj dana u mesecu

T_{ref} – Empirijski Izvedena temperatura [100 °C]

Tačnost metode „F Chart“ je prikazana u poređenju sa simulacijom u programu "TRNSIS" gde je razlika bila 3,3 % za sisteme za grejanje vode i 3,7 % za vazdušne sisteme. U poređenju sa ostalim metodama kao što je "Barlei i Vinn's", metodom gde je razlika manja od 3 %, za stohastički pristup modela "Sfeirov" oko 2,5 %, "SLR Metod (Balcomb i McFarland, 1978)" razlika 9 %, dok se "Chang" i "Minard-ovom" optimizacijom, "Havas" i "Abou-Zeid R-Chart", "Ajona" i "Gordon" analitičkim modelom, "Tsilingirisov" jednostavnim kompjuterskim simulacionim modelom skoro u potpunosti slaže, dok je

najveća razlika pronađena tokom direktnog merenja performansi sistema, najveća je bila 15% [6].

“F udeo” ukupnog mesečnog toplotnog opterećenja koje obezbeđuje solarna energija za grejanje vode (tečni sistem) dat je kao funkcija (formula broj 6)[5]:

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (6)$$

Uslovi za primenu formule 6 su:

$$0 < Y < 3 \text{ i } 0 < X < 18$$

Uslovi su preuzeti iz rada “F-Chart Method for Designing Solar Thermal Water Heating Systems” [5].

Gde je godišnji “F udeo” dat kao (formula broj 7):

$$f = \frac{\sum f_i \cdot Li}{\sum Li} \quad (7)$$

Za sisteme koji zagrevaju vazduh koristi drugačija formula (formula broj 8):

$$f = 1.040Y - 0.065X - 0.159Y^2 + 0.00187X^2 - 0.0095Y^3 \quad (8)$$

4. TEHNOEKONOMSKA ANALIZA

U tehnoekeonomskoj analizi odrađeni su proračuni prostog perioda povratka investicije, interne stope povrata, kao i neto trenutne vrednosti. Proračuni su rađeni u programu “Microsoft Excel” prema knjizi “Microsoft Excel 2013: Data Analysis and Business Modeling” [7]. Pretpostavljeno je da će ugradnja koštati 10 % od investicije i da će troškovi održavanja biti zanemarljivi. Pretpostavljeni radni vek sistema je 25 godina.

U slučajevima grejanja vode, pretpostavljeno je da se kolektori koriste u kombinaciji sa električnim grejačem.

U slučajevima grejanja prostora dobijamo više rezultata, jer je rađena analiza za tri različite vrste grejanja, odnosno kombinacija kolektora sa električnim kotlom, gasnim kotlom ili toplotnom pumpom. Troškovi grejanja su uzeti za objekat naveden u poglavlju 2. Analizirani kolektori za grejanje prostora koriste vazduh kao grejni fluid.

4.1. Ravan pločasti kolektor “SOL 27 Premium W”

Ravan pločasti kolektor za grejanje vode:

Godišnji “F udeo” :

$$f = \frac{\sum f_i \cdot Li}{\sum Li} = 0,5709$$

$$SPB = 13,74 \text{ godina}$$

$$IRR = 5,2 \%$$

$$NPV = 333707,69 \text{ RSD}$$

4.2. Vakuumski kolektor “TZ58-1800”

Vakuumski kolektor za grejanje vode:

Godišnji “F udeo”:

$$f = \frac{\sum f_i \cdot Li}{\sum Li} = 0,3301$$

$$SPB > 25 \text{ godina}$$

Period povratka investicije je duži od predviđenog radnog veka sistema.

$$IRR = 9 \%$$

$$NPV = 190511,52 \text{ RSD}$$

4.3. Vakuumski kolektor “Solar Master SHA50”

Vakuumski kolektor za grejanje prostora

Godišnji “F udeo”:

$$f = \frac{\sum f_i \cdot Li}{\sum Li} = 0,148$$

Kada se koristi sa gasnim kotlom:

$$SPB_{gk} = 4,86 \text{ godina}$$

$$IRR_{gk} = 20\%$$

$$NPV_{gk} = 162115 \text{ RSD}$$

Kada se koristi sa električnim kotlom:

$$IRR_{ek} = 34 \%$$

$$NPV_{ek} = 268331,5 \text{ RSD}$$

$$SPB_{ek} = 2,94 \text{ godine}$$

Kada se koristi sa toplotnom pumpom:

$$IRR_{tp} = 9 \%$$

$$SPB_{tp} = 9,72 \text{ godina}$$

$$NPV_{tp} = 81118 \text{ RSD}$$

4.4 Vazdušni kolektor “FCB-120-1V”

Kolektor za grejanje prostora

Godišnji “F udeo”:

$$f = \frac{\sum f_i \cdot Li}{\sum Li} = 0,047182$$

Kada se koristi sa gasnim kotlom:

$$SPB_{gk} = 16,69 \text{ godina}$$

$$IRR_{gk} = 3 \%$$

$$NPV_{gk} = 51504,66 \text{ RSD}$$

Diskontni period povratka je duži od predviđenog radnog veka sistema.

Kada se koristi sa električnim kotlom:

$$SPB_{ek} = 10,8 \text{ godina}$$

$$IRR_{ek} = 9 \%$$

$$NPV_{ek} = 85250,11 \text{ RSD}$$

Kada se koristi sa toplotnom pumpom:

$$SPB_{tp} > 25 \text{ godina}$$

Period povratka investicije je duži od predviđenog radnog veka sistema.

$$IRR_{tp} = 1 \%$$

$$NPV_{tp} = 25791,29 \text{ RSD}$$

gde je:

SPB_{gk} – Period otplate u kombinaciji kolektor i gasni kotao

SPB_{ek} – Period otplate u kombinaciji kolektor i električni kotao

SPB_{tp} – Period otplate u kombinaciji kolektor i toplotna pumpa

IRR_{tp} – Interna stopa povrata kada koristimo kolektor sa toplotnom pumpom

IRR_{ek} – Interna stopa povrata kada koristimo kolektor sa električnim kotlom

IRR_{gk} – Interna stopa povrata kada koristimo kolektor sa gasnim kotlom

IRR_{gk} – Interna stopa povrata kada koristimo kolektor sa gasnim kotlom

NPV_{gk} – Vrednost u upotrebi kada se kolektor koristi sa gasnim kotlom

NPV_{ek} – Vrednost u upotrebi kada se kolektor koristi sa električnim kotlom

NPV_{tp} – Vrednost u upotrebi kada se kolektor koristi sa toplotnom pumpom

NPV_{tp} – Vrednost u upotrebi kada se kolektor koristi sa toplotnom pumpom

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata, vidimo da, u slučaju zagrevanja vode za date kolektore, isplativije nam je korišćenje ravnog pločastog kolektora u odnosu na vakuumski. Prilikom grejanja prostora, dati vakuumski kolektor je značajno isplativiji od ravnog kolektora.

Solarni kolektori predstavljaju sjajan način povećanja energetske nezavisnosti, smanjenje emisija gasova staklene bašte ali period povratka investicije je relativno dug. Imaju veoma dug radni vek i ne zahtevaju previše održavanja, a mogu se koristiti i za grejanje prostora i za grejanje vode. Imaju veoma visoku efikasnost, a uz napredak izolacionih materijala, kao i materijala za apsorber i zastakljenje, fluida za prenos i skladištenje energije, mogu značajno povećati svoj udeo u grejanju vode ili prostora.

6. LITERATURA:

[1] State and perspective of individual household heating in Serbia: A survey-based study, Boban Pavlović, Dejan Ivezić, Marija Živković, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Djusina 7, 11000 Belgrade, Serbia, Energy and Buildings Volume 247, 15 September 2021, 111128

[2] Geographic Variation of Solar Water Heater Performance in Europe, June 2006, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A Journal of Power and Energy 220(4):395-407

[3] 53. Međunarodni kongres i izložba KGH – Analiza potrošnje energije stambenog objekta korišćenjem časovnih simulacija – KGH – Klimatizacija, grejanje, hlađenje, [S.l.], v. 52, n. 2, p. 29-35, jul 2023. ISSN 2560-340X.

[4] energy-and-environment, Serbia - Household electricity prices, countryeconomy.com pristupljeno 3.3.2024.

[5] F-Chart Method for Designing Solar Thermal Water Heating Systems I. F. Okafor, G. Akubue, International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 3, Issue 9, September-2012 1 ISSN 2229-5518 IJSER © 2012

[6], Literature Review of uncertainty of analysis methods (F-Chart Program) ,Jeff S. Haberl, P.E. Soolyeon Cho, Report to the Texas Commission on Environmental Quality, ESL-TR-04/08-04, August 2004 Revised October 2004, Energy systems Laboratory, Texas Engineering Experiment Station Texas A&M University System

[7] Microsoft Excel 2013: Data Analysis and Business Modeling ,Wayne L. Winston ,ISBN: 978-0-7356-6913-0

Kratka biografija:



Bojan Jokić rođen je u Šapcu 1999. god. Završio Srednju Tehničku školu u Šapcu, nakon čega 2018. god. upisuje Fakultet tehničkih nauka u oblasti Energetske tehnologije – Čiste energetske tehnologije. Bachelor rad odbranio je 2022. god. a master rad 2024. god. kontakt: bjokic436@gmail.com