

UPOREDNA ANALIZA PRIMENE TOPLOTNIH PUMPI ZA POTREBE GREJANJA I PRIPREME SANITARNE TOPLE VODE PORODIČNOG OBJEKTA**COMPARATIVE ANALYSIS OF HEAT PUMP APPLICATION FOR HEATING AND SANITARY HOT WATER PREPARATION - A FAMILY HOUSE EXAMPLE**Marko Zagorac, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast: MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj - U radu je prikazana analiza sistema toplotnih pumpi za potrebe grejanja i pripreme sanitarne tople vode. Opisani su neki glavni fizički procesi koji se odvijaju u toplotnim pumpama, data je i objašnjena njihova podela po više odlika, ali i načini i postupci po kojima se određeni tipovi tih toplotnih pumpi dimenzionišu. Ceo rad je zaokružen tehnokonomskom analizom i poređenjem više vrsta sistema toplotnih pumpi na izabranom porodičnom objektu preko specijalizovanog programskog paketa. Na kraju su upoređeni i prokomentarisani dobijeni rezultati.

Ključne reči: Grejanje, priprema sanitarne tople vode, toplotne pumpe, izbor sistema, uporedna analiza.

Abstract - The paper presents an analysis of the heat pump system for heating and sanitary hot water supply. Some main physical processes that take place in heat pumps are described, their division by several characteristics is given and explained, as well as the ways and procedures by which certain types of these heat pumps are dimensioned. The entire work is rounded off with a techno-economic analysis and a comparison of several types of heat pump systems on a selected family property using a specialized software package. At the end, the obtained results were compared and commented.

Key words: Heating, Domestic Hot Water, Heat pumps, System selection, Comparative analysis

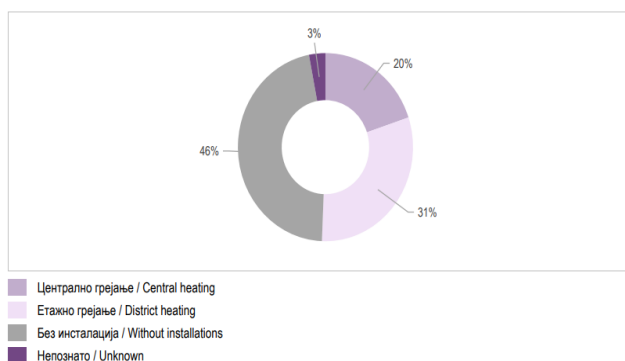
1. UVOD

U prvom poglavlju rada dat je trenutni presek stanja u Republici Srbiji po pitanju grejanja rezidencijalnih objekata, tj. postojanja instalacija grejanja u samim objektima i vrsti energenata koji se najčešće koriste.

U daljem delu ovog poglavlja se govori o potrebi za povećanjem energetske efikasnosti, smanjenju zagađenja koje proizilazi upotrebom konvencionalnih sistema za grejanje koji koriste fosilna goriva, ali i uštedi i finansijskom aspektu prelaska na nekonvencionalne sisteme koji koriste ekološki prihvatljivija rešenja.

NAPOMENA:

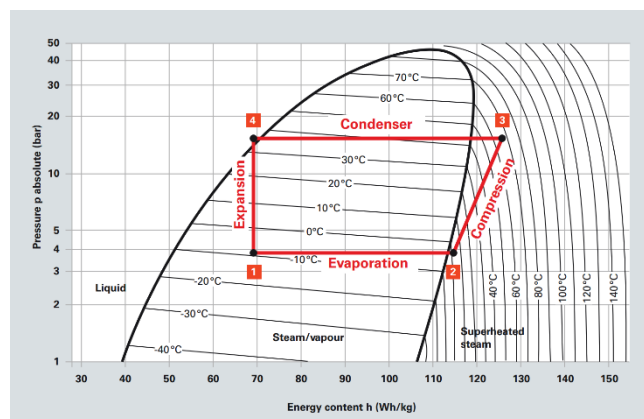
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Anđelković, vanr. prof.



Slika 1: Opremljenost stanova instalacijama grejanja, Republika Srbija [1].

2. KRATAK ISTORIJSKI RAZVOJ TOPLOTNE PUMPE

Pronalasci Nicolas Leonard Sadi Carnot-a, koji je opštepriznat kao „otac termodinamike“, bili su od fundamentalnog značaja. Istraživao je procese (i njihove uzroke i posledice) u parnim mašinama, i otkrio da su svi procesi koji su uključivali konverziju toplote u snagu uglavnom reverzibilni. Ukoliko se uzme pravi medijum za prenos toplote, koristeći energiju, ne samo da toplota može da se doda u medijum već može i da se izvuče iz istog, nezavisno od ambijentalne temperature [2].

3. FIZIČKI PRINCIPI TOPLOTNE PUMPE

Slika 2: PH dijagram stanja rashladnog sredstva R 407C [2]

Koeficijent performansi je mera efikasnosti i definiše se kao odnos između troškova i koristi. U odnosu na

toplotnu pumpu ovo se definiše na sledeći način: prednost predstavlja količinu toplote prenetu na visokom temperaturnom nivou (kondenzacija), dok je trošak potrebna pogonska energija (kompresija) da bi se ovo postiglo.

Primenom logaritamskog p-h dijagrama, koeficijent performansi toplotne pumpe definisan je kao (jednačina 1.) [2]:

$$COP = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_2} \quad (1)$$

gde je:

h_2 – entalpija na početku kompresije [J/kg].

h_3 – entalpija na kraju kompresije /početkuprenosa toplote [J/kg].

h_4 – entalpija na kraju kondenzacije /kraju prenosa toplote .

4. ZAKONSKA REGULATIVA

Što se tiče zakonske regulative u Srbiji na polju obnovljivih izvora energije, njihovo zakonsko uređenje, podsticaji države i mere koje se sprovode navedeni su u strategiji razvoja energetike Republike Srbije do 2025. sa projekcijama do 2030. godine, kao i aktivnostima koje se sprovode ili treba da budu sprovedene u tom pogledu, uz pomoć EU [3].

5. VRSTE I REŽIMI RADA TOPLOTNIH PUMPI

Toplotne pumpe se mogu podeliti prema izvoru dodatne energije na [4]:

- kompresione,
- apsorpcione.

Toplotna pumpa može da radi u:

- monovalentnom režimu rada, gde toplotna pumpa pokriva 100% godišnjeg toplotnog opterećenja grejanja objekta,
- bivalentnom režimu, gde toplotna pumpa pokriva deo godišnjeg toplotnog opterećenja grejanja objekta [4].

Kod bivalentnog način rada razlikujemo:

1. bivalentno-alternativne,
2. bivalentno-paralelne,
3. delimično paralelne režime rada [4].

6. PRIMARNI IZVORI ENERGIJE ZA TOPLOTNU PUMPU

Tri primarna izvora energije za toplotne pumpe su [2]:

1. zemlja (kolektori i geotermalne sonde)
2. podzemna voda
3. vazudh

Broj cevnih krugova ili petlji proizilazi iz maksimalne dužine pojedinačnih krugova od 100 m, specifične dužine cevi i potrebne ukupne površine geotermalnih kolektora (jednačina 2.) [2]:

$$N_{RK} = \frac{F_E \cdot L_{RL}}{100 m} \quad (2)$$

N_{RK} – broj cevnih krugova / petlji,

F_E – ukupna površina geotermalnih kolektora [m^2],

L_{RL} – specifična dužina cevi po m^2 [m^{-1}].

Potrebna površina kolektora izračunava se po sledećem izrazu (formula 3.) [2]:

$$F_E = \frac{Q_K}{q_e} \quad (3)$$

F_E – potrebna površina geotermalnih kolektora [m^2],

Q_K – rashladni kapacitet toplotne pumpe [W],

q_e – maksimalna stopa ekstrakcije za specifično područje [W/m^2].

Potrebna dužina geotermalne sonde dobija se na osnovu jednačine (4) [2]:

$$l_{geo} = \frac{P_{TP,hl}}{\dot{q}_L} \quad (4)$$

gde su:

$P_{TP,hl}$ – rashladni kapacitet toplotne pumpe [W]

\dot{q}_L – specifična toplota koja se preuzima iz zemljišta [W/m].

Voda je takođe veoma pogodan izvor toplote za toplotne pumpe. Čak i u hladnim zimskim danima, podzemne vode održavaju konstantnu temperaturu između 7 °C i 12 °C. Da bi se podzemna voda koristila za toplotnu pumpu prvo se mora izvući kroz dovodni bunar i transportovati do isparivača toplotne pumpe tipe voda/voda. Ohlađena voda se zatim usmerava kroz povratni bunar [2].

Ako se toplotna pumpa koristi za zagrevanje STV (sanitarne tople vode) tokom leta, pretpostavlja se da temperatura vazduha od 35 °C određuje maksimalnu snagu. Sa ovim dizajnom može se pretpostaviti širenje od 10 K (izraz 5.) [2]:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t \quad (5)$$

\dot{Q} – snaga toplotne pumpe [W],

\dot{m} – protok [l/h],

c – toplotni kapacitet vode u [Wh/kgK],

Δt – temperaturna razlika [K].

7. SEKUNDARNI GREJNI KRUG. GREJANJE, SANITRARNA TOPLA VODA I HLAĐENJE.

Sistemi za pripremu sanitarne tople vode (STV) [2]:

Zagrevanje STV pomoću toplotnih pumpi može biti pokriveno – u zavisnosti od zahteva – sledećim sistemima:

- Centralizovano zagrevanje STV pomoću a toplotne pumpe za STV.
- Centralizovano zagrevanje STV skladištenjem u rezervoar STV.

- Centralizovano zagrevanje STV pomoću čuvanje vode iz grejanog kruga u bufferu cilindru i centralizovanom modul za pijaću vodu.
- Decentralizovano grejanje preko individualnih stambenih podstanica.
- Decentralizovano grejanje na struju protočnim bojlerom [2].

Potrebna količina STV-a može se izračunati iz ukupne potrošnje energije tokom referentnog perioda (izraz 6.) [2]:

$$V_{DP} = \frac{Q_{DPB}}{c_w \cdot (t_{set} - t_{cw})} \quad (6)$$

V_{DP} – potrebna količina STV – a tokom referentnog perioda [l],

Q_{DPB} – potražnja za energijom tokom referentnog perioda [kWh],

c_w – specifični toplotni kapacitet

$$\left(= 1,163 \frac{Wh}{kgK} \text{ za vodu} \right),$$

t_{set} – podešena temperatura rezervoara [K],

t_{cw} – temperatura hladne vode [K].

8. PROJEKTOVANJE SISTEMA GREJANJA TOPLOTNIM PUMPAMA POMOĆU PROGRAMSKOG PAKETA „GEOTSOL“

Prilikom projektovanja sistema grejanja pomoću GeoTSOL-a prvi korak podrazumeva odabir lokacije. Pomoću potprograma MeteoSyn bira se lokacija i povlače se klimatski podaci za tu lokaciju. Izvor klimatskih podataka je servis „Meteonorm“. Treba imati u vidu da su dostupni podaci samo do 2015.god [5].

Nakon definisanja i dimenzionisanja svih delova sistema, simulacijom se dobijaju podaci o efikasnosti sistema, potrošnji električne energije, dobijenoj količini toplotne energije, gubicima i tako dalje [5].

U delu finansijske analize vrši se analiza ekonomske opravdanosti sistema. Finansijskom analizom se dobija modifikovana stopa povrata, odnosno MIRR, koji predstavlja jasan indikator isplativosti, odnosno što je MIRR veći, sistem je isplativiji. Osim MIRR, dobija se i cena grejanja po kWh toplotne energije, koja je značajna u pogledu poređenja sistema sa nekim drugim sistemima [5].

9. TEHNOEKONOMSKA ANALIZA RAZLIČITIH SISTEMA SA TOPLOTNOM PUMPOM

Izvršena je analiza tri različita sistema sa toplotnim pumpama.

U tabelama u nastavku dati su rezultati proračuna za različite sisteme sa toplotnim pumpama. Dati su sezonski faktori performansi, količine dobijene toplotne energije, kao i potrošnje električne energije.

Dobijeni rezultati su potom međusobno upoređeni [5].

Tabela 1: Rezultati proračuna sistema sa geo-sondama [5].

| Rezultati finansijske analize | | Vrednost |
|-------------------------------|--------------|--------------------|
| Dobijena toplotna energija | | 20185 kWh/godišnje |
| Neto sadašnja vrednost | | 158.20 € |
| Investicioni anuitet | Sistem sa TP | 1512.67 € |
| | Drugi sistem | 150 € |
| Godišnji operativni troškovi | Sistem sa TP | 564.39 € |
| | Drugi sistem | 1422.30 € |
| Godišnji troškovi održavanja | Sistem sa TP | 303.72 € |
| | Drugi sistem | 303.72 € |
| Cena grejanja | Sistem sa TP | 0.093 €/kWh |
| | Drugi sistem | 0.0935 €/kWh |
| Povrat (MIRR) | | 0,05 % |
| Višak | | 158.20 € |

Tabela 2: Rezultati proračuna sistema podzemnom vodom [5].

| Rezultati finansijske analize | | Vrednost |
|-------------------------------|--------------|--------------------|
| Dobijena toplotna energija | | 20171 kWh/godišnje |
| Neto sadašnja vrednost | | 813.45 € |
| Investicioni anuitet | Sistem sa TP | 750.00 € |
| | Drugi sistem | 150.00 € |
| Godišnji operativni troškovi | Sistem sa TP | 542.28 € |
| | Drugi sistem | 1182.90 € |
| Godišnji troškovi održavanja | Sistem sa TP | 303.72 € |
| | Drugi sistem | 303.72 € |
| Cena grejanja | Sistem sa TP | 0.079 €/kWh |
| | Drugi sistem | 0.081 €/kWh |
| Povrat (MIRR) | | 0,33 % |
| Višak | | 813.45 € |

Tabela 3: Rezultati proračuna hibridnog sistema sa vazдушnom TP i kotlom [5].

| Rezultati finansijske analize | | Vrednost |
|-------------------------------|--------------|--------------------|
| Dobijena toplotna energija | | 20087 kWh/godišnje |
| Neto sadašnja vrednost | | 2773.54 € |
| Investicioni anuitet | Sistem sa TP | 300.61 € |
| | Drugi sistem | 149.83 € |
| Godišnji operativni troškovi | Sistem sa TP | 690.40 € |
| | Drugi sistem | 1178.53 € |
| Godišnji troškovi održavanja | Sistem sa TP | 303.71 € |
| | Drugi sistem | 303.71 € |
| Cena grejanja | Sistem sa TP | 0.064 €/kWh |
| | Drugi sistem | 0.081 €/kWh |
| Povrat (MIRR) | | 6,05 % |
| Višak | | 2773.54 € |

Tabela 4: Poređenje podataka različitih sistema sa TP [5]

| Sistem sa TP | Cena sistema | Cena grejanja | SPF | MIRR |
|----------------------------|--------------|---------------|------|------|
| TP sa geotermalnim sondama | 20 000 € | 0,093 €/kWh | 3,9 | 0,05 |
| TP sa podzemnim vodama | 15 000 € | 0,079 €/kWh | 4,15 | 0,33 |
| Hibridni sistem sa kotlom | 6000 € | 0,064 €/kWh | 3,97 | 6,05 |

10. ZAKLJUČAK

U Republici Srbiji je možda i najvažniji zadatak, animirati ljude, obično građanstvo, javno mnjenje, o potrebi prelaska na ovakve vidove dobijanja energije, i upoznati ih o svim posledicama koje nečinjenje sada može imati za njihova pokoljenja u budućnosti. Naravno, i predstaviti im sve benefite kojih je zaista mnogo.

Kod sistema sa toplotnim pumpama smo u ovome radu videli da imamo tu mogućnost da biramo odgovarajući, prema našim potrebama i finansijskim i ostalim mogućnostima, i da će se skoro sigurno naći neki koji je baš „idealni“ za naš dom. Bilo da je to toplotna pumpa sa geosondama ili kolektorima, sa podzemnim vodama ili vazdušna. Sva ova analiza koja je urađena je ustvari pokazala jednu možda i ključnu stvar. Koji god da od analiziranih sistema odaberemo i implementiramo, sigurno nećemo pogrešiti, a to je kada se sve sabere i oduzme, najvažnije.

11. LITERATURA

- <https://popis2022.stat.gov.rs/sr-latn/publikacijenajava/> - **dostupno na:** <https://publikacije.stat.gov.rs/G2023/pdf/G20234011.pdf> (datum poslednjeg pristupanja 21.11.2023)
- https://cdn0.scrvt.com/2828ebc457efab95be01dd36047e3b52/ceab8eb0c449dcd2/103428a45b62/Technical-Guide-Heat-Pumps_04-2012_GB.pdf?fbclid=IwAR1M1Ktiak9MJxjduvZ2FZ4imxo2o70BTOCXeK7DC_pTONPSipukXlj5Xyk (datum polednjeg pristupanja 14.11.2023)
- <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/ostalo/2015/101/1/r> (datum poslednjeg pristupanja 02.11.2023)

4. mr. Aleksandra Čenejac, prof. dr. Radivoje Bjelaković, Slobodan Petrović, Miloš Čenejac, *STUDIJA O MOGUĆNOSTIMA PRIMENE TOPLLOTNIH PUMPI NA TERITORIJI AP VOJVODINE, KAKO ZA INDIVIDUALNE I KOMERCIJALNE OBJEKTE POJEDINAČNO, TAKO I ZA DALJINSKE SISTEME GREJANJA PO UGLEDU NA EU, A U SKLADU SA AKTUELONOM DIREKTIVOM*, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, maj 2012 godine.

5. Dragan Lazić, *UPOREDNA ANALIZA SISTEMA GRIJANJA TOPLLOTNIM PUMPAMA I HIBRIDNIM SISTEMIMA*, Master rad, Novi Sad, 2018 godine

Kratka biografija:



Marko Zagorac rođen je u Novom Sadu, SR Jugoslavija 1998. god. Master rad odbranio je 2023. godine na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva – Termotehnika.
Kontakt:
zagoracmarko1@gmail.com



Aleksandar Andelković rođen je u Šapcu 1981. god. Doktorirao je 2015. god. Od 2020. je u zvanju vanrednog profesora. Oblast interesovanja su Nekonvencionalni sistemi grejanja i hlađenja.