

UPOREDNA TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA I OCENA PERFORMANSI TOPLOTNIH PUMPI I TOPLOVODNOG KOTLA NA PELET**TECHNO ECONOMIC ANALYSIS AND PERFORMANCE EVALUATION OF HEAT PUMP SYSTEMS AND HOT WATER BOILER**Velimir Marić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast- ENERGETIKA I PROCESNA TEHNIKA**

Kratak sadržaj – U radu je izvršena uporedna tehnno-ekonomska analiza pomenutih grejnih sistema, sa prikazom rezultata tabelarnim i grafičkim putem za objekat koji je u fazi izgradnje.

Gljučne reči: grejanje, toplotne pumpe, tehnno-ekonomska analiza

Abstract – This paper features a comparative techno-economic analysis of different heating systems for building currently under construction with results showcased in table and graphic form.

Keywords: Heating, Heat Pumps, techno-economic analysis

1. UVOD

Kada se govori o energetici, a i tehnicu uopšte, oduvek je aktuelna tema energetska efikasnost. Od nedavno ovaj pojam nije samo pitanje ekonomske isplativosti određenih sistema već i veoma značajan faktor u borbi za očuvanje životne sredine. Sa tim u vezi, toplotne pumpe doživele su naglu ekspanziju na tržištu grejanja i klimatizacije zahvaljujući tehnologijama koje omogućavaju racionalnu upotrebu energije dovoljnu za postizanje i održavanje termičkih uslova ugodnosti.

U ovom radu izvršena je uporedna tehnno-ekonomska analiza projekta koji je trenutno u fazi realizacije, a to je projekat Vlade Srbije i Kancelarije za javna ulaganja o rekonstrukciji i dogradnji predškolske ustanove „Poletarac“ u Koceljevi. Predložena su četiri grejna rešenja sa toplotnim pumpama, od kojih su dva hibridna, tj. spregnut rad toplotne pumpe sa solarnim kolektorima. Izvršena je simulacija pomenutih sistema u studentskoj verziji programa GeoTSol nemačke kompanije Valentin Software, a izveštaji iz simulacija su taksativno navedeni u pripadajućim odeljcima. Izvršene su tri simulacije u niskotemperaturnom režimu grejanja, dok je simulacija hibridnog sistema sa vazдушnom toplotnom pumpom u kombinaciji sa solarnim kolektorima izvršena u visokotemperaturnom režimu, u cilju veće raznovrsnosti raspoloživih podataka za analizu.

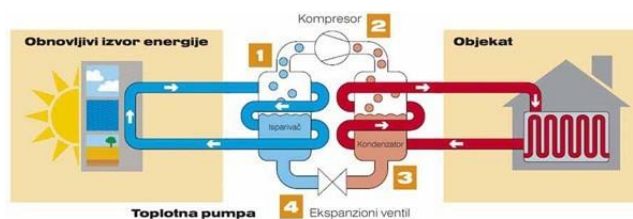
Za simulacije su korišćene vazдушna toplotna pumpa u režimu vazduh-voda i geotermalna toplotna pumpa sa vertikalnim sondama.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Aleksandar Andelković

2. POLAZNE TEORIJSKE OSNOVE**2.1 Princip rada i karakteristike toplotnih pumpi i hibridnih sistema**

Toplotna pumpa, kao što joj samo ime kaže, „pumpa“ u objekat toplotu koju oduzima iz spoljnog vazduha, zemlje ili vode. Generisanje toplotne energije i na niskim temperaturama je moguće zahvaljujući radnom fluidu, takozvanom „freonu“ koji ima veoma nisku temperaturu ključanja pa omogućava efikasan prenos toplote. Na slici 1 prikazan je radni ciklus toplotne pumpe.

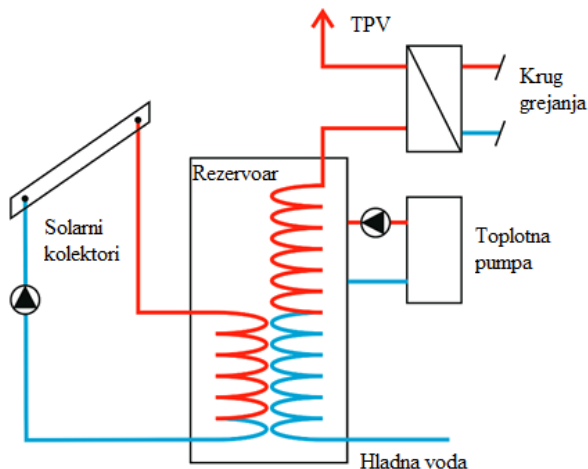
Slika 1: *Princip rada toplotne pumpe*

Osnovni delovi toplotne pumpe su kompresor, dva izmenjivača toplote (isparivač i kondenzator), termoe-kspanzioni ventil i četvoropolni magnetni ventil. U procesu grejanja objekta, rashladni fluid kao mešavina tečnosti i gasa niske temperature i pritiska ulazi u spoljni izmenjivač toplote (1) koji u ovom slučaju ima funkciju isparivača. Dolazi do prenosa toplote između spoljnog medijuma i rashladnog fluida i zahvaljujući njegovoj niskoj temperaturi ključanja izlazi iz isparivača kao gas niske temperature i pritiska i dolazi do kompresora (2). U kompresoru dolazi do sabijanja usled čega se dobija pregrejano isparenje visoke temperature i pritiska. Tako pripremljen fluid odlazi u kondenzator (3) gde otpušta toplotu i predaje je sredini. Fluid iz kondenzatora izlazi kao ohlađena tečnost visokog pritiska i dolazi u termoe-kspanzioni ventil (4) gde mu se obara pritisak. Sada je fluid opet smeša tečnosti i gasa niske temperature i pritiska i ciklus se ponavlja.

Slično kao i u automobilskoj industriji, pojam hibridnog grejanja označava da se dobijena toplota za grejanje generiše iz dva ili više izvora toplote uz pomoć nadređenog kontrolera koji na osnovu različitih parametara sredine daje prioritet pogodnijem izvoru. Na slici 2 prikazana je šema ciklusa hibridnog sistema.

Prosečan godišnji broj sunčanih sati u Srbiji iznosi 1800-2000 sati. Nivo sunčevog zračenja u Srbiji je za 30-40% veći nego u srednjoj i severnoj Evropi, što primenu solarne energije čini ekonomski opravdanom [1]. Na

našim prostorima, eksploatacija solarne energije polako dobija na značaju, iako je trenutno nedovoljno zastupljena. U prilog tome govori i činjenica da Danska, koja ima dosta manji broj sunčanih sati godišnje, trenutno gradi dve solarne elektrane kapaciteta 200 i 300 MW.



Slika 2: Šema ciklusa hibridnog sistema

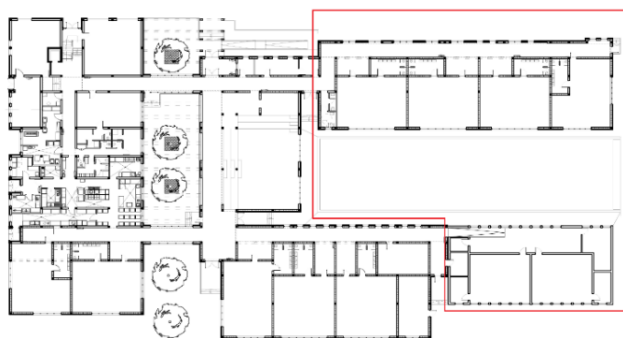
2.2. Prikaz objekta i projektovanog rešenja

Objekat na kom je izvršena uporedna tehno-ekonomska analiza je predškolska ustanova „Poletarac“ u Koceljevi, prikazana na slici 1.6. Projektom mašinskih instalacija predviđen je toplovodni kotao na pelet za zagrevanje vode koja će se cevnom mrežom razvoditi po radiatorima smeštenim u prostorijama objekta.

Izvršice se rekonstrukcija i dogradnja, a ukupna bruto površina objekta iznosiće više od 2000 m². Celokupan objekat će sadržati deset dečjih spavaonica sa ostavom i toaletom, prostorije za osoblje, kuhinju, vešeraj, hodnike, pasarele, pokriven parking itd. Radovi se izvode u dve faze. U prvoj fazi se ruši jedan deo objekta, a nakon toga vrši se dogradnja i adaptacija sa postojećim delom. Deo objekta uokviren crvenom bojom predstavlja postojeće stanje.

Ukupna instalisana snaga za grejanje prostorija i tople potrošne vode iznosi 261 kW koja je obezbeđena toplovodnim kotlom na pelet nominalnog kapaciteta 280 kW. Grejna tela su člankasti radijatori sa ugrađenim termostatskim ventilima.

Ovaj tip cevne armature poseduje regulacioni element koji automatski podešava stepen otvorenosti ventila i time ostvaruje značajnu uštedu energije.



Slika 3: Osnova prizemlja

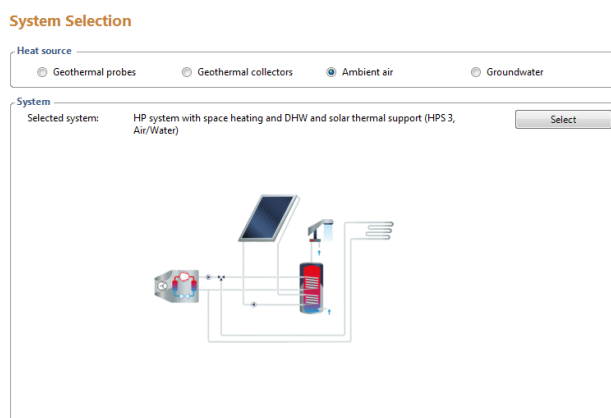
3. PROJEKTOVANJE GREJNIH SISTEMA KORIŠĆENJEM GEOTSOL SOFTVERSKOG PAKETA

GeoTSol je kompaktan, brz i jednostavan softver za upotrebu. Sastoji se od nekoliko polja koja se moraju popuniti kako bi se pristupilo simulaciji. Polaznu tačku predstavlja odabir geografskog područja u bazi softvera, odn. pod programom zvanom MeteoSyn.

Odabirom lokacije grejnog sistema obezbeđuje se raspoloživi temperaturni opseg na datom području, na osnovu kojih se odvija simulacija.

Kao bazu podataka za godišnje kretanje temperature odabran je grad Valjevo, kao trenutno najbliža dostupna lokacija.

Sledeći korak jeste odabir sistema grejanja, prikazan na slici 4.



Slika 4: Odabir tipa toplotne pumpe [2]

Odabirom toplotnog izvora otvara se mogućnost selekcije sistema toplotne pumpe na dugme „Select“, odn. očekuje se od korisnika da navede da li će se pumpe koristiti za grejanje, za zagrevanje TPV ili u hibridnom sistemu.

Nakon toga, može se pristupa se sledećim koracima. Potrebno je uneti projektovane toplotne gubitke objekta, njegovu kvadraturu, unutrašnju projektnu temperaturu i odabrati željene vrednosti temperature u grejnom krugu. Dalje, unose se parametri vezani za toplu potrošnu vodu. Za definisanje sistesta sa geotermalnom toplotnom pompom potrebno je definisati prečnik i dubinu izvora, tip konstrukcije i broj instaliranih sondi.

Na osnovu unetih parametara vrši se odabir odgovarajuće toplotne pumpe.

Takođe, veoma bitan faktor za dobijanje što preciznijih rezultata simulacije jeste korekcija cene električne energije na onu koja je trenutno aktuelna u Srbiji kako bi se dobila tačnija cena dobijene toplotne energije.

Prilikom postavke parametara hibridnog sistema potrebno je odabrati proizvođača i tip kolektora, definisati njegovu orijentaciju i odabrati količinu na osnovu čega nam program računa ukupnu bruto površinu solarnog kruga.

Ovaj postupak ponovljen je četiri puta, a najbitniji rezultati prikazani su u uporednoj analizi u poglavlju 5.

4. PRORAČUN GREJANJA NA PELET [3]

Vreme punog pogona tokom godine:

$$\dot{b}_N = \frac{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 24 SD}{\Delta\tau} = 1309 \text{ h/god}$$

gde su:

η_1 – vremenski faktor = 0,95

η_2 – faktor izjednačenja = 0,75

η_3 – uticaj provetranja = 0,99

η_4 – povećanje usled starta = 0,99

SD – broj stepen dana za Valjevo = 2784

$\Delta\tau$ – vremenska razlika = 36

Što znači da je godišnja potrošnja energije:

$$\dot{Q}_A = \frac{\dot{b}_N Q_N}{\eta_{uk}} = 499.355 \text{ kWh/god}$$

gde su:

Q_N – instalisana toplotna snaga u objektu [kW] = 236

η_{uk} – objedinjeni factor = 0,63

Stvarna godišnja količina produkata sagorevanja (PS) dobijena posle detaljnog proračuna prikazana je u nastavku:

$$m_{PS_{god}} = V_{PS_{god}} \rho_2 \approx 553 \text{ t}$$

gde su:

V_{PS} – godišnja zapremina PS = 747.182 m³

ρ_2 – gustina PS = 0,74 kg/m³

Kako bi se kompletirao proračun, potrebno je uzeti u obzir i cenu peleta. Danas na tržištu postoji mnoštvo proizvođača ovog biogoriva, a maloprodajna cena se kreće od 24-30 din/kg. Treba napomenuti da je za veće količine vrlo izvesna povoljnija cena pa će se za potrebe ovog proračuna, uzimajući u obzir potrebnu godišnju količinu goriva uzeti cena od 24 din/kg.

Ukupna cena potrebna za nabavku goriva iznosi:

$$C_{god} = C B_A = 24 \times 116130 = 2.322.600,00 \text{ din}$$

gde su:

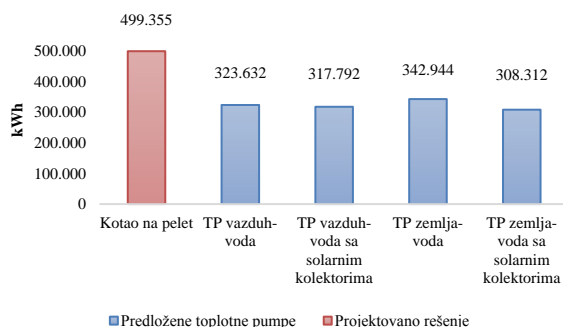
C – cena peleta [din/kg]

B_A – godišnja potrošnja peleta [kg/god]

5. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

Na dijagramu 5.1 prikazana je godišnja potrošnja energije za potrebe grejanja.

Na dijagramu je jasno uočljiva razlika u količinama energije. Čak i najefikasniji kotlovi nemaju stepen korisnosti iznad 91%, a savremene tehnologije proizvodnje toplotnih pumpi im omogućavaju male razlike u pogledu proizvedene i iskorišćene energije, tj. manje toplotne gubitke prilikom distribucije fluida.



Slika 5: Generisana količina energije za grejanje na godišnjem nivou

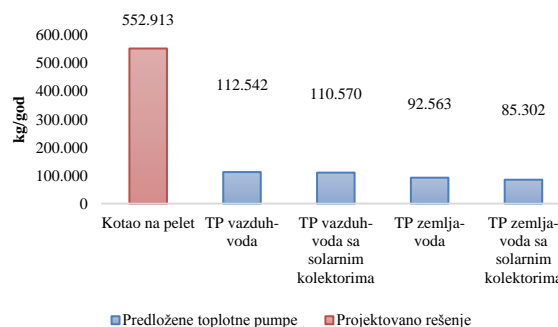
Takođe, veoma bitan faktor predstavlja i projektovani toplotni režim grejanja. Kod podnog grejanja (koje je predviđeno u svim gore navedenim simulacijama sa toplotnim pumpama), površina za razmenu toplote sa vazduhom u prostoriji je nekoliko puta veća od površine projektovanih radijatora. Ovim je omogućeno da grejna tela odaju manje toplote po jedinici površine, a da istovremeno zadovoljavaju projektovane toplotne gubitke.

Što se tiče emisije ugljen-dioksida tokom rada toplotnih pumpi, u GeoTSol simulacijama data je godišnja ušteda u emisijama, a ne njen ukupan iznos. S obzirom da se pomenuti iznos proračunava na osnovu korištene primarne energije za njenu transformaciju u električnu, ostaje pitanje po kom principu je proračunata ova vrednost uštede u emisijama.

U dostupnoj literaturi znamo da u bilansu energetskih rezervi Srbije lignit učestvuje sa udelom od preko 95%, a s obzirom da se oko 70% električne energije proizvede u termoelektranama, za posledicu imamo ogromne količine emisija štetnih gasova [4]. U cilju što verodostojnije uporedne analize u pogledu emisije, iskoristiće se rezultati proračuna specifične emisije CO₂ iz termoelektrana Nikola Tesla A i B. Za uvid u detaljan proračun, čitalac se upućuje na literaturu [5]. Vrednosti do kojih se proračun došlo su sledeće:

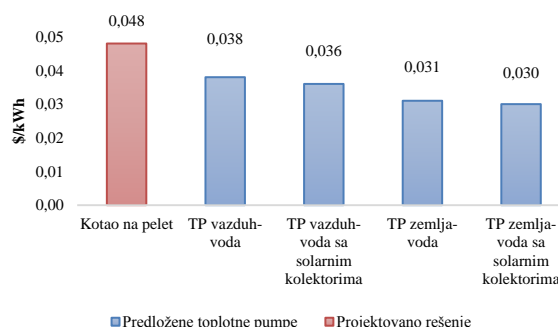
Izabrani sistem	godišnja generacija CO ₂ [kg]
TP vazduh-voda	112.542
TP vazduh-voda i solar	110.570
TP zemlja-voda	92.563
TP zemlja-voda i solar	85.302

Shodno rezultatima u tabeli i proračun u odeljku 4 dobijamo sledeći dijagram:



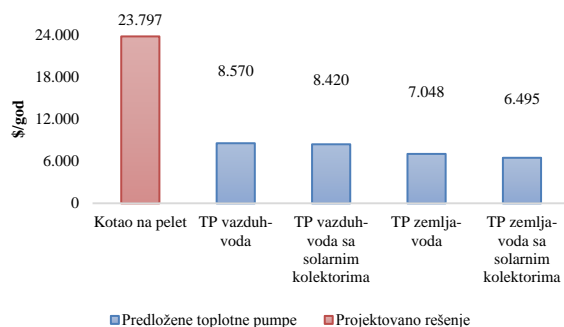
Slika 6: Godišnja emisija produkata sagorevanja

U nastavku je dat dijagram cena energije po kWh, kao i godišnja cena energije dovoljne za pokrivanje projektovanih toplotnih gubitaka.



Slika 7: Cena po kWh različitih sistema za grejanje

Jasno se vidi trend opadanja cene; od projektovanog rešenja, preko vazдушnih pumpi, pa sve do geotermalne toplotne pumpe sa solarnim kolektorima. Trend opadanja cene prati rast prosečnog sezonskog grejnog faktora, odnosno SPF.



Slika 8: Godišnja cena energije

Zbog veličine posmatranog objekta, na slici 8 su evidentne uštede koje se mogu ostvariti odabirom nekog od predloženih sistema. Ukoliko uzmemo za primer najmanje efikasnu opciju, tj. TP voda-vazduh i uporedimo je sa projektovanim rešenjem, dobijamo da ušteta na godišnjem nivou iznosi 15.227\$, odnosno 1.500.000 dinara. Ušteta je naravno još veća ukoliko se uporedi sa TP zemlja-vazduh sa solarnim kolektorima. Ona iznosi čak 1.700.000 dinara. Iako gruba procena, ova cena svakako ima uporište u realnim uslovima i pokazuje ogroman potencijal ovakvih sistema.

6. ZAKLJUČAK

Dosadašnja praksa instalacije toplotnih pumpi se u velikoj meri svodila na rad u letnjem režimu, odn. za hlađenje prostorija. Priloženi statistički podaci, proračuni i dijagrami imaju za cilj da prikažu TP kao ekonomski opravdano i ekološki prihvatljivo rešenje i u sistemu grejanja. Čitalac stiče uvid o principu rada TP, njihovim prednostima i manama u odnosu na konvencionalne sisteme i razloge zbog kojih se ostvaruje veća efikasnost, kao i u velike energetske, a samim tim i ekonomske uštede koje iz priloženog proizilaze.

Osnovni ciljevi ovog rada jesu otvaranje mogućnosti za održiv razvoj, povećanje svesti za brigu o ekološkoj sredini i naravno, finansijska dobit kao jedan od glavnih razloga za odabir toplotne pumpe kao izvora/generatora toplote. Smanjeni obim održavanja i tehničkih lica za opsluživanje sistema je takođe prednost. Nakon detaljne analize postavljenih grejnih sistema, proračunata cena toplotne energije, a samim tim i velike uštede u grejanju predstavljaju glavni rezultat ovog rada koji zainteresovanom čitaocu ima za cilj da prenese interesovanje za toplotne pumpe kao rešenjima za grejanje objekta.

Prema već dobro poznatoj Pariskoj strategiji za smanjenje emisija do 2050. godine, presudnu ulogu ima sektor grejanja. Stoga je potrebno kontinualno povećavanje efikasnosti grejnih sistema, a toplotne pumpe velikih kapaciteta predstavljaju jedan od njih. Naime, ponovna upotreba otpadne toplote proistekle iz različitih procesa, a naročito iz termoelektrana, ima veliki potencijal za iskorišćenje u svrhe daljinskog grejanja.

Brojni sakupljeni i proračunati podaci u ovom radu imaju za cilj da zainteresiraju čitaoca o osnovnim pogodnostima korišćenja TP za grejanje i da daju podstrek ka daljem razvoju ove ideje kod nas. Ostavlja se prostor za neki budući rad u kome bi se do detalja pristupilo termotehničkom projektovanju objekta, sa kompletnom specifikacijom opreme i radova gde bi se jasno definisale prednosti i mane svih predloženih rešenja i naposljetku izvršio odabir najoptimalnijeg.

7. LITERATURA

- [1] Kovačević S.: PREZENTACIJA PATENTIRANOG SOLARNOG KOLEKTORA, Solar Energy Focus, 2015.
- [2] GeoT*SOL basic, Planning and designing heat pump systems, Valentin Software, 2020.
- [3] Reknagel H. & Šprenger E.: GREJANJE I KLIMATIZACIJA, Interklima, Vrnjačka Banja, 2004
- [4] STRATEGIJA RAZVOJA ENERGETIKE REPUBLIKE SRBIJE DO 2025. GODINE SA PROJEKCIJAMA DO 2030. GODINE, Službeni Glasnik RS, br. 101/2015.
- [5] Marković Z., Erić M., Cvetinović D., Stefanović P., Spasojević V. & Škobalj P.: PRORAČUN SPECIFIČNE EMISIJE UGLJEN DIOKSIDA IZ TERMOELEKTRANA NIKOLA TESLA A I B, Laboratorija za termotehniku i energetiku, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Srbija.

Kratka biografija:



Velimir Marić rođen je u Zrenjaninu 1993. god. Osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetika i procesna tehnika završio je 2019. god. Trenutno student master studija na smeru Energetika i procesna tehnika.