



Časopis Naučnog društva za pogonske mašine, traktore i održavanje  
Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance

# TRAKTORI I POGONSKE MAŠINE

UDK 631.372  
ISSN 0354-9496  
Godina 23  
Dec. 2018.

## TRACTORS AND POWER MACHINES



Novi Sad, Srbija

Trakt. i pog. maš., Trac. and pow. mach., Vol. 23, No. 3/4, p.1-94, Novi Sad, Dec. 2018.

Izdavač – Publisher



*Naučno društvo za pogonske mašine, traktore i održavanje*  
*Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance*

Suizdavač – Copublisher

Poljoprivredni fakultet, Department za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad  
 Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Engineering, Novi Sad

Glavni urednik – Editor in chief

**Dr Milan Tomić**

Urednici - Editors

**Dr Lazar Savin****Dr Ratko Nikolić****Dr Mirko Simikić****Dr Radojka Gligorić**

Tehnički urednik - Technical Editor

**Dr Milan Tomić**

Tehnički sekretar - Technical Secretary

**Nevenka Žigić**

Uređivački savet - Editorial Committee

**Dr Ratko Nikolić, Novi Sad****Dr Dragan Ružić, Novi Sad****Dr Radojka Gligorić, Novi Sad****Dr Tripo Torović, Novi Sad****Dr Ivan Klinar, Novi Sad****Dr Božidar Nikolić, Podgorica****Dr Milan Tomić, Novi Sad****Dr Rajko Radonjić, Kragujevac****Dr Zlatko Gospodarić, Zagreb****Dr Laszlo Mago, Gödöllő, Mađarska****Dr Aleksandar Šeljcin, Moskva, Rusija****Dr Milan Kekić, Bečej****Dr Radivoje Pešić, Kragujevac****Dr Klara Jakovčević, Subotica****Dr Jozef Bajla, Nitra, Slovačka****Dr Roberto Paoluzzi, Ferrara, Italija****Dr Hasan Silleli, Ankara, Turska****Dr Valentin Vladut, Rumunija**

Adresa – Adress

**Poljoprivredni fakultet****Trg Dositeja Obradovića br. 8****Novi Sad, Srbija****Tel.: ++381(0)21 4853 391****Tel/Fax.: ++381(0)21 459 989****e-mail: milanto@polj.uns.ac.rs**

Časopis izlazi svaka tri meseca

Godišnja pretplata za radne organizacije je 1500 din, za  
 Inostranstvo 5000 din a za individualne predplatnike 1000 din

Žiro račun: 340-4148-96 kod Erste banke

Rešenjem Ministarstva za informacije Republike Srbije, Br.651-115/97-03 od 10.02.1997.god., časopis je upisan u registar pod brojem 2310

Prema Mišljenju Ministarstva za nauku, Republike Srbije ovaj časopis je "PUBLIKACIJA OD POSEBNOG INTERESA ZA NAUKU"

Jurnal is published four times a year

Subscription price for organization is 40 EURO, for  
 foreign organization 80 EURO and individual  
 subscribes 15 EURO

Štampa – Printed by

Štamparija "Apollo plus" doo, 11000 Beograd, Cvijićevo 22/1

Tiraž 200 primeraka

**Časopis Traktori i pogonske  
mašine broj 3/4 posvećen je  
XXV-om naučnom skupu  
“Pravci razvoja traktora i  
obnovljivih izvora energije”**

**The journal Tractors and power  
machines number 3/4 is devoted to  
XXV scientific meeting  
“Development of tractors and  
renewable energy resources”**

## **JUMTO 2018**

### **Programski odbor**

- Prof. dr Lazar Savin, predsednik
- Prof. dr Ratko Nikolić
- Prof. dr Mirko Simikić
- Prof. dr Ivan Klinar

### **Program board**

- Prof. dr Dragan Ružić
- Prof. dr Radojka Gligorić, sekretar
- Prof. dr Milan Tomić
- Dipl. inž. Milan Samardžija
- Prof. dr Zdenko Tkač

### **Pokrovitelji skupa**

- Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
- Pokrajinski sekretarijat za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost
- Pokrajinski sekretarijat za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo AP Vojvodine

### **Godparent of meeting**

### **Organizatori skupa**

- Naučno društvo za pogonske mašine, traktore i održavanje

#### **JUMTO – Novi Sad**

- Poljoprivredni fakultet, Departman za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad
- Društvo za razvoj i korišćenje biogoriva – BIGO, Novi Sad
- Agencija za bezbednost saobraćaja, Beograd
- Akademija inženjerskih nauka Srbije, Odeljenje biotehničkih nauka Beograd

### **Organizers of meeting**

### **Mesto održavanja**

### **Place of meeting**

**Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 07.12.2018.**

Štampanje ove publikacije pomoglo je:  
Pokrajinski sekretarijat za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost

**PRORAČUN TOPLOTNIH GUBITAKA I ANALIZA  
ISPLATIVOSTI SISTEMA GREJANJA SA TOPLOTNOM  
PUMPOM TIPA ZEMLJA-VODA U POREDJENJU SA  
DRUGIM SISTEMIMA GREJANJA NA KONKRETNOM  
SLUČAJU**

**CALCULATION OF HEAT LOSSES AND COST BENEFIT  
ANALYSIS OF THE GROUND-WATER HEAT PUMP  
SYSTEM COMPARED TO THE OTHER HEATING  
SYSTEMS FOR THE CONCRETE EXAMPLE**

Cvetanović L.,<sup>1</sup> Šušteršič V.<sup>2</sup>

**REZIME**

*Kako je potreba za energijom iz godine u godinu sve veća, a uzimajući u obzir da zgrade imaju udeo 40% od ukupne potrošnje energije u svetu, potrebno je usresrediti se na povećanje energetske efikasnosti u zgradarstvu. Zbog velike potrošnje energije u zgradama, a istovremeno i najvećeg potencijala energetske i ekološke uštede, neophodno je fokusirati se na upotrebu obnovljivih izvora energije u istim. Poboljšanje energetske efikasnosti u objektima se može postići upotrebom geotermalne energije za sisteme centralnog grejanja, kao i za sisteme pripreme tople potrošne vode. Iz tog razloga, cilj ovoga rada jeste dimenzionisati toplotnu pumpu tipa zemlja-voda za stambeni objekat, čija je površina 120m<sup>2</sup>, a nakon toga izvršiti i tehnno-ekonomsku analizu odabrane toplotne pumpe kroz komparativni pregled sa različitim vidovima grejanja (kotao na gas i kotao na fosilna goriva).*

**Ključne reči:** obnovljivi izvori energije, geotermalna energija, toplotna pumpa, tehnno-ekonomska analiza

**SUMMARY**

*As the energy need grow year after year, considering that buildings have 40% share of total energy consumption in the world, it is necessary to focus on the increase of energy efficiency in buildings. As buildings are the largest consumers of energy, at the same time, they represent the largest potential in energy savings, so it is necessary to concentrate on the use of renewable energy sources. Improvement of energy efficiency can be achieved by use of geothermal energy for central heating systems, as well as for the preparation of hot sanitary*

<sup>1</sup> Luka Cvetanović, inž. maš., Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, [lukacvetanovic95@gmail.com](mailto:lukacvetanovic95@gmail.com)

<sup>2</sup> Dr Vanja Šušteršič, red. prof., Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, [vanjas@kg.ac.rs](mailto:vanjas@kg.ac.rs)



water. For that reason, the aim of this paper is to design ground-water heat pump heating system for residential building, whose surface amounts to 120m<sup>2</sup>, and to carry out cost benefit analysis for the selected heat pump through comparative overview with different types of heating (gas boiler and solid fuel boiler).

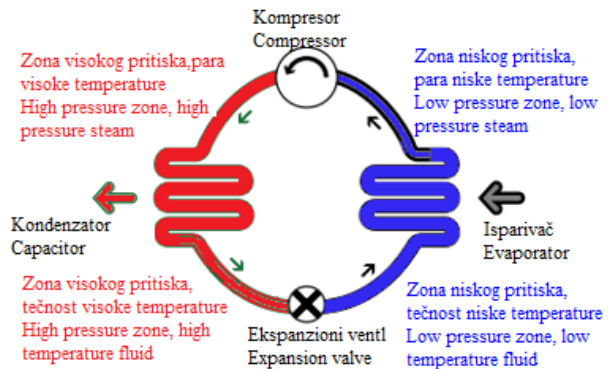
**Key words:** renewable energy sources, geothermal energy, heat pump, cost benefit analysis

## UVOD

Broj stanovnika na planeti Zemlji konstantno raste, te je u 2018. godini zabeležena cifra od 7,6 milijardi. Rast stanovništva utiče i na rast potrebe za energijom, kao i na trošenje energetskih resursa, a kako se klasični, konvencionalni izvori energije polako iscrpljuju, neophodno je pronaći i koristiti alternativne izvore energije. Neophodnost tranzicije ka obnovljivim izvorima energije opravdava se problemima koje sa sobom nosi upotreba neobnovljivih izvora energije, a to su da je njihov životni vek ograničen i da zagađuju okolinu [1]. Naime, sagorevanjem fosilnih goriva oslobađa se velika količina CO<sub>2</sub>, koji doprinosi povećavanju efekta staklene baste [2]. Alternativni ili obnovljivi izvori energije imaju potencijal za unapređenje razvoja čovečanstva, zato što korišćenje takvih izvora energije predstavlja jednu od najbitnijih komponenti održivog razvoja, koji se definiše kao razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnje populacije, ne dovodeći u pitanje mogućnost budućih generacija da zadovolje svoje potrebe. Ovaj rad se zasniva na proučavanju mogućnosti primene geotermalne energije, koja u najširem smislu predstavlja prirodnu toplotu Zemlje, a podrazumeva toplotu akumuliranu u fluidima i stenskim masama u Zemljinoj kori. Pod geotermalnom energijom se podrazumeva toplota koja dolazi do površine putem kondukcije, konvekcije i zračenja. Geotermalni resursi nalaze se u širokom spektru dubina, od plitkih površinskih do više kilometara dubokih rezervoara vruće vode i pare koja se može dovesti na površinu i iskoristiti za: grejanje stambenih objekata, pripremu tople potrošne vode, proizvodnju električne energije, razne industrijske delatosti, uzgajanje riba, balneologiju, itd. Cilj ovoga rada jeste proračun i tehnno-ekonomska analiza toplotne pumpe koja se koristi za grejanje stambenog prostora. Upravo, toplotne pumpe koriste obnovljiv izvor energije, odnosno geotermalnu energiju podzemnih voda ili suvih slojeva zemljine kore i smatraju se alternativom konvencionalnim grejnim sistemima.

## TOPLOTNE PUMPE

Toplotna pumpa je uređaj koji omogućava prenos toplote iz sistema niže temperature (toplotni izvor) u sistem više temperature (toplotni ponor) korišćenjem dodatne energije, odnosno rada. Toplotne pumpe uspevaju da uz pomoć male količine energije prinudno izmene, prirodan smer toplotnog protoka pri čemu se koriste za grejanje, hlađenje i sušenje. Toplotna pumpa za prenos toplote koristi specijalni radni fluid, koji u zavisnosti od temperature i pritiska pod kojima se nalazi, može biti u tečnom ili gasovitom stanju (para). Pumpe imaju dve zone, odnosno zonu



Sl. 1. Ciklus toplotne pumpe

Fig. 1. Heat pump cycle

sa niskim i zonu sa visokim pritiskom, koji se poklapa sa pritiskom radnog fluida koji cirkuliše u toplotnoj pumpi (slika 1).

Radni medijum, preuzimajući toplotu u isparivaču, isparava i pri tome mu raste i pritisak. Para radnog medijuma sada ulazi u kompresor gde se sabija, pri čemu joj se povećavaju i pritisak i temperatura i dalje cirkuliše kroz sistem uz pomoć kompresora. Po izlasku iz kompresora, radni fluid u obliku vrelog gasa pod visokim pritiskom ulazi u kondenzator, gde predaje toplotu toplotnom ponoru, najčešće vodi u sistemu grejanja i time je zagrejava, dok se para hladi i kondenzuje u tečnost umerene temperature pod visokim pritiskom. Da bi se radni medijum vratio na odgovarajući pritisak i temperaturu na kojoj može ponovo da primi toplotu od okoline, prolazi kroz ekspanzioni ventil gde se širenjem naglo hladi i smanjuje pritisak. Potom kondenzovani rashadni fluid ulazi u isparivač gde dolazi do njegovog isparavanja usled dovođenja toplote. Rashladni fluid se potom vraća u kompresor i ciklus se ponavlja [3].

### **2.1 Efikasnost toplotnih pumpi**

Na osnovu prethodno objašnjenog principa rada toplotne pume, dolazi se do zaključka da je za njeno funkcionisanje potrebno korišćenje električne energije u kompresoru, oduzimanje toplote od izvora i predaja toplote korisniku preko razmenjivača toplote. Koeficijent performansi (engl. *Coefficient Of Performance - COP*) toplotne pumpe se koristi za izražavanje efikasnosti toplotne pumpe i predstavlja odnos količine toplote koja se preda korisniku i električne energije, koju utroši pumpa [4].

Vrednost koeficijenta performansi ili kako se još naziva, stepena efikasnosti toplotne pumpe je varijabilan i razlikuje se od vrste pumpe i radnih uslova. Na osnovu brojnih istraživanja, zaključuje se da se vrednost COP menja u zavisnosti od temperatura pri kojima se vrši razmena toplote, odnosno što je izvor toplote hladniji, niži je i koeficijent performansi toplotne pumpe.

Generalno, vrednost COP se kreće u opsegu od 3 do 5, što označava da po 1 kWh električne energije, toplotna pumpa preda potrošaču od 3-5 kWh toplote [5].

### **2.2 Podela toplotnih pumpi**

Podela toplotnih pumpi se vrši na osnovu brojnih kriterijuma, međutim najčešća podela se vrši na osnovu izvora toplote, odnosno toplotnog ponora. Ukoliko je okolina na višoj temperaturi od nekog analiziranog sistema, onda je ona toplotni izvor, a ukoliko je na nižoj temperaturi od sistema, onda se za okolinu kaže da predstavlja toplotni ponor.

Kako se u ovom radu razmatra grejanje stambenog prostora pomoću toplotnih pumpi, okolina iz koje pumpa crpi toplotu predstavlja toplotni izvor.

Uopšteno, toplotni izvor može biti vazduh, zemlja i voda, te analogno tome se i toplotne pumpe dele na:

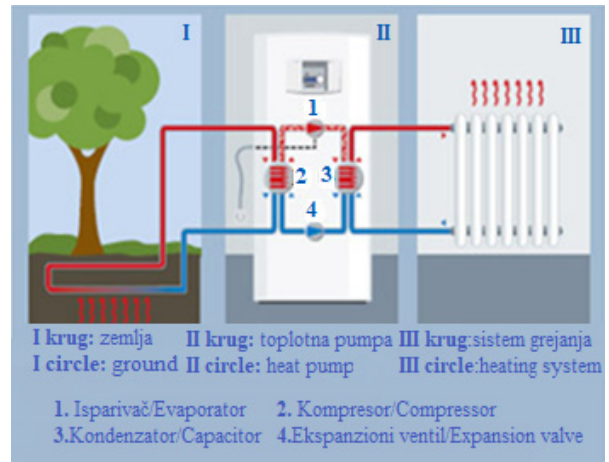
- toplotne pumpe vazduh – voda, koje kao toplotni izvor koriste okolni, reciklacioni, otpadni ili neočišćeni vazduh,
- toplotne pumpe voda – voda, koje kao toplotni izvor koriste podzemne, površinske ili otpadne vode,
- toplotna pumpa zemlja – voda, koje kao toplotni izvor koriste slojeve zemljišta, i
- hibridne toplotne pumpe.

Kako se ovaj rad zasniva na dimenzionisanju toplotne pumpe zemlja-voda, tako će u nastavku samo ovaj tip toplotne pumpe biti objašnjen.

### 2.3 Toplotna pumpa zemlja-voda

Toplotne pumpe zemlja-voda su pumpe kod kojih se zemlja koristi kako izvor toplote. Naime, u zemlju se spuštaju cevi kroz koji struji fluid, pa se vrši razmena između zemlje sa spoljašnje strane i fluida sa unutrašnje strane cevi.

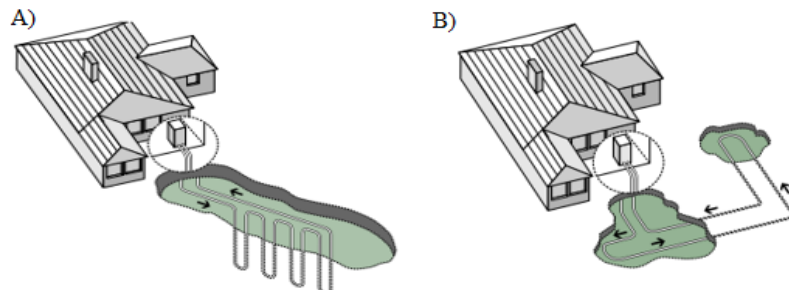
Šema koja objašnjava princip rada toplotne pumpe zemlja-voda, prikazana je na slici 2. Princip rada toplotne pumpe sastoji se iz tri kruga. U prvom krugu rastvor mešavine vode i antifrizna bezopasnog za okolinu, cirkuliše u dugim cevima koje su postavljene unutar zemljišta. Toplota, koja je generisana u zemlji (tlu), predaje se razmenjivaču toplote, odnosno rastvoru koji cirkuliše. Drugi krug predstavlja samu toplotnu pumpu, dok treći krug započinje u kondenzatoru (razmenjivaču toplote) gde radni medijum u gasovitom stanju visokog pritiska i temperature predaje svu preuzetu toplotu vodi, pri čemu iz gasovitog stanja prelazi u tečno stanje. Topla voda iz sistema grejanja teče kroz grejna tela i zagreva objekat ili se usmerava ka akumulacionom bojleru za pripremu sanitarne vode. Kod instalacije toplotne pumpe zemlja-voda, cevi koje se postavljaju u zemlji, osmišljene su tako da fluid ne napušta prostor koji cevi definišu, što znači da ovaj tip toplotne pumpe pripada zatvorenom sistemu.



Sl. 2. Prikaz principa rada toplotne pumpe zemlja-voda  
Fig. 2. Working principle of ground-water heat pump [6]

Za korišćenje toplote zemljišta postoje dva osnovna konstrukciona rešenja razmenjivača toplote:

- vertikalno postavljeni razmenjivači toplote. (slika 3 A) i
- horizontalno postavljeni razmenjivači toplote (slika 3 B).



Sl. 3. A) Prikaz vertikalne instalacije – geotermalne sonde, B) Prikaz horizontalne instalacije-geotermalni kolektori

Fig. 3. A) The example of vertical installation – geothermal probe, B) The example of horizontal installation-geothermal collector [7]

## OPIS ANALIZIRANOG OBJEKTA

Analizirani objekat se nalazi u gradu Kragujevcu. Prilikom analize temperature objekta za prosečnu godišnju temperaturu lokacije definisana je vrednost od 10,74°C. Analizirani objekat se sastoji od 7 prostorija, koje su raspoređene na jednoj etaži. Visina objekta iznosi 2,7 m. Ukupna grejna površina objekta iznosi 120 m<sup>2</sup>, dok je ukupna grejna zapremina objekta iznosi 332,10 m<sup>3</sup>.

### *Proračun toplotnih gubitaka objekta*

Ukupni projektni toplotni gubici analiziranog objekta su određeni na osnovu matematičkih relacija koje su definisane Standardom 1283:2003 [8].

Potrebna količina toplote za grejanje jednog objekta određuje se na osnovu ukupnih projektnih toplotnih gubitaka za grejanu prostoriju *i*:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i}$$

U prikazanoj jednačini sabirci se definišu kao:

$\Phi_{HL,i}$  – ukupni projektni toplotni gubici za grejanu prostoriju [W],

$\Phi_{T,i}$  – projektni transmisioni toplotni gubici za grejanu prostoriju [W],

$\Phi_{V,i}$  – projektni ventilacioni toplotni gubici za grejanu prostoriju [W],

$\Phi_{RH,i}$  – grejni kapacitet potreban da kompenzuje efekat grejanja sa prekidima grejane prostorije [W].

Prilikom izračunavanja toplotnih gubitaka objekta, uzeti su u obzir koeficijenti prolaza toplote svih građevinskih materijala koji čine konstrukcije analiziranog objekta, prosečna dnevna temperatura, projektna godišnja temperatura, projektne temperature prostorija objekta, prisustvo toplotnih mostova, kao i izloženost objekta vetru.

**Tab. 1 Rezultati proračuna toplotnih gubitaka analiziranog objekta**

**Tab. 1. Heat losses calculation results of analyzed facility**

REZULTATI PRORAČUNA TOPLOTNIH GUBITAKA ANALIZIRANOG OBJEKTA / HEAT LOSSES CALCULATION RESULTS OF ANALYZED FACILITY			
Redni broj prostorije / Room number	Namena prostorije / Room purpose	Površina prostorije / Room surface [m <sup>2</sup> ]	Ukupni toplotni gubici prostorije / Total heat losses of the room [W]
1.	Dnevna soba / Living room	27,495	1.607,60
2.	Kuhinja sa trpezarijom / Kitchen with dining room	28,925	1.514,61
3.	Hodnik / Hallway	14,850	556,85
4.	Spavaća soba 1/ Bedroom 1	12,750	836,40
5.	Spavaća soba 2/ Bedroom 2	21,250	1.307,40
6.	Kupatilo / Bathroom	8,325	607,82
7.	Ostava / Pantry	9,775	581,97
<b>Ukupni toplotni gubici / Total heat losses [W]</b>			<b>7.012,65</b>



## ODABIR TOPLOTNE PUMPE

Pravilno dimenzionisanje i proračun sistema toplotne pumpe su preduslovi za dugotrajan, efikasan i zadovoljavajuć rad. U vezi s tim je neophodno da sve komponente budu međusobno usklađene. Ovo se odnosi kako na izvor toplote, toplotnu pumpu ali i na toplotni ponor. Na osnovu prethodne tabele se može zaključiti da ukupni toplotni gubici analiziranog objekta iznose 7012,65 W, a uzimajući u obzir i toplotnu energiju koja je neophodna za zagrevanje potrošne sanitarne vode (minimum 2 kW), kapacitet grejanja toplotne pumpe koja će biti usvojena, mora biti veći od 9 kW. Na osnovu izvršene analize tržišta i uređaja dopustnih u asortimanu ponude različitih proizvođača, doneta je odluka da će se usvojiti toplotna pumpa marke Vaillant, model Geotherm Exclusiv VWS 103/3, sa integrisanim rezervoarom za toplu vodu, čije su tehničke karakteristike su prikazane u tabeli 2.

Kako je površina objekta 120 m<sup>2</sup>, a snaga toplotne pumpe 10 kW, dobija se da je instalisana toplotna snaga 81,3 W/m<sup>2</sup>.

**Tab. 2. Tehničke karakteristike toplotne pumpe Geotherm Exclusiv VWS 103/3**  
**Tab. 2. Technical specification of Geotherm Exclusiv VWS 103/3 heat pump [9]**

GEO THERM EXCLUSIV VWS 103/3	
Snaga / Power	10 kW
Efikasnost / Efficiency	4,2
Visina / Height	1.800 mm
Širina / Width	600 mm
Dubina / Depth	840 mm
Akustična snaga (unutrašnja) / Acoustic power (inner)	45 – 47 dB(A)
Gas / Gas	R407C
Rezervoar toplo vode / Hot water tank	Integrirani rezervoar od nerđajućeg čelika / Integrated stainless steel tank
Zapremina rezervoara / Tank volume	157 L
Temperatura polaznog voda, min. / maks. / Flow temperature, min. / max.	25 / 62 °C
Temperatura povratnog voda, min. / maks. / Return temperature, min. / max.	55/75°C
Temperatura rasoline, min. / maks. / Working fluid temperature, min. / max.	-10 / 20 °C
Cena / Price	538.160,00 dinara / dinars

## DIMENZIONISANJE IZVORA TOPLOTE

Uzevši u obzir da je grejna površina objekta za koji se dimenzioniše sistem grejanja prilično mala, a kako je pretpostavljeno da je površina dvorišta zadovoljavajuća, odlučeno je da će se usvojiti sistem sa horizontalno postavljenim razmenjivačima toplote- geotermalnim kolektorima (slika 4), koji će biti postavljeni na dubinu od 1,5 m. Potrebna dužina cevi geotermalnih kolektora iznosi 543 m, a dobijena je korišćenjem sledećih jednačina:

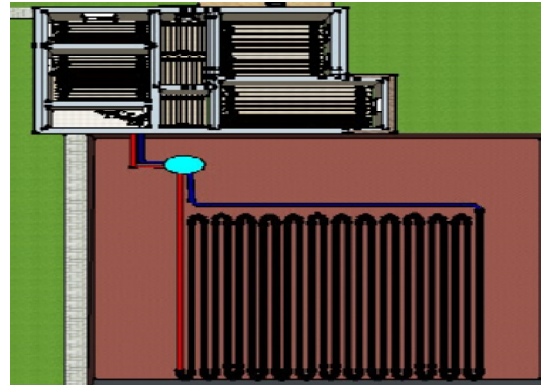
$$P_{\text{isparivača}} = \frac{[P_{\text{pumpe}} \times (COP_{\text{pumpe}} - 1)]}{COP_{\text{pumpe}}}$$

$$\text{Površina kolektora} = \frac{P_{\text{isparivača}}}{\text{Specifična izdašnost tla}}$$

$$\text{Dužina cevi} = \frac{\text{Pov geotermalnog kolektora}}{\text{Razmak polaganja cevi}}$$

### Proračun podnog grejanja

Proračun neophodne dužine cevi za podno grejanje razmatranog objekta, izvršen je uz pomoć online kalkulatora „HERZ“ (slika 5), namenjenog isključivo u te svrhe. Nakon unošenja osnovnih parametara, kao što su kvadratura, vrsta poda, ulazna i izlazna temperatura vode, kalkulator izračunava neophodnu dužinu cevi, i podatke kao što su toplotni kapacitet podnog grejanja, ukupan protok, broj krugova i ukupan pad pritiska u sistemu. Kako je neohodna dužina cevi izračunata i iznosi 861 m, potrebno je kupiti minimum devet krugova cevi, jer se kupuju u krugovima od po 100 m.

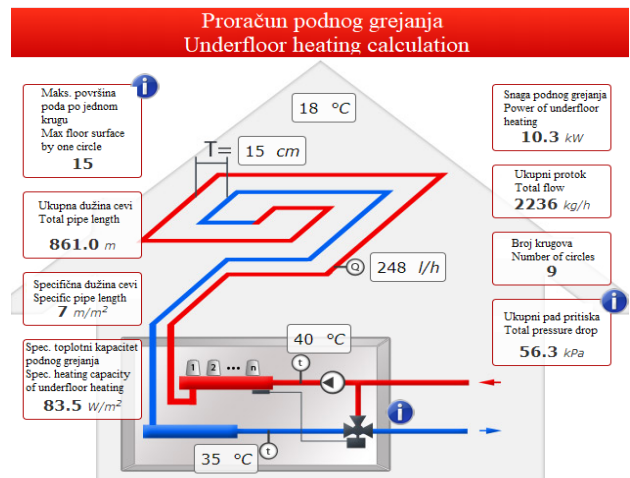


Sl. 4. 3D model geotermalnih kolektora izrađen u SketchUp-u

Fig. 4. 3D model of geothermal collectors modeled in SketchUp

### UPOREDNA ANALIZA ISPLATIVOSTI

Usavršavanje tehnologije u oblasti energetike dovelo je do toga da sada, pri odabiru adekvatnih vidova grejanja postoji mogućnost odabira velikog broja različitih sistema, i još veći broj varijacija prilikom projektovanja istog. Prilikom samog odabira, od velike je važnosti da prednosti odabranog nadjačaju njegove mane, a isto tako i da se te mane mogu prevazići pravilnim projektovanjem sistema, ali svakako je najbitnije da je ekonomski opravdano. Što se tiče tehnologije toplotnih pumpi, ovaj vid korišćenja energije obećava, jer pre svega, omogućava korišćenje obnovljivih izvora energije. Međutim, jedini problem kod toplotnih pumpi jeste neophodnost potrošnje električne energije. Taj problem u zemljama koje proizvodnju električne energije u velikom delu zasnivaju na korišćenju obnovljivih izvora energije nije

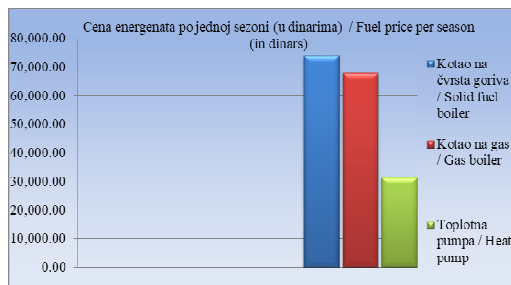


Sl. 5. „HERZ“ online kalkulator podnog grejanja  
Fig5. „HERZ“ calculator of underfloor heating

izražen, dok je to slučaj u Republici Srbiji, gde se veliki deo električne energije dobija sagorevanjem nekvalitetnih fosilnih goriva što opet vodi ka zagađenju životne sredine. Za 1 kW električne energije proizvedene u temoelektranama, u Srbiji se utroši 3 kW toplotne energije dobijene sagorevanjem lignita. Tehnologija toplotnih pumpi predstavlja budućnost za snabdevanje toplotnom energijom, ali kao takva, tek će biti opravdana kada se bude koristila u kombinaciji sa električnom energijom pretežno dobijenom iz obnovljivih izvora. Jedna od najvećih prepreka u korišćenju ove tehnologije u Srbiji predstavljaju investiciona ulaganja, koja svakako imaju tendenciju smanjenja, ali za masovnije korišćenje u Republici Srbiji, još uvek predstavljaju veliki izazov. Isplativost sistema podnog grejanja u kombinaciji sa toplotnom pumpom tipa zemlja-voda biće ispitana u poredjenju sa sistemom centralnog toplotnog grejanja sa gasnim kotlom, i sa sistemom centralnog toplotnog grejanja sa kotlom na čvrsto gorivo.

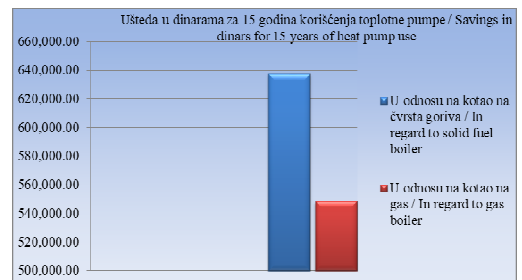
### Ušteda u energentima

Za analizirani objekat usvojeni su kotao na gas i kotao na čvrsto gorivo koji zadovoljavaju toplotne gubitke, odabrani su radijatori i ostale komponente koje prate proces dimenzionisanja sistema grejanja, kako bi na osnovu pomenutih bio sproveden verodostojan proračun utroška energenata po jednoj grejnoj sezoni. Na osnovu cene koštanja i količine utroška energenata, dobijeni su sezonski izdaci za svaki vid grejanja (slika 6), kao i sezonska ušteda na energentima, korišćenjem toplotne pumpe (slika 7).



Sl. 6. Cena energenata po jednoj sezoni, izražena u dinarima

Fig. 6. Fuel price per season, in dinars



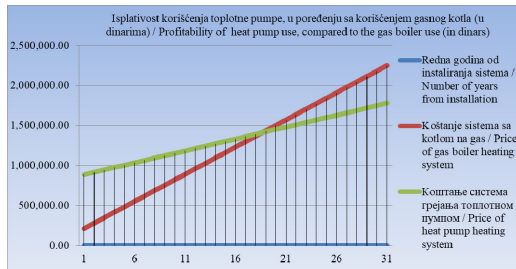
Sl. 7. Ušteda u energentima izražena u dinarima za 15 godina, korišćenjem toplotne pumpe

Fig. 7. Fuel saving in dinars for 15 years, by use of heat pump

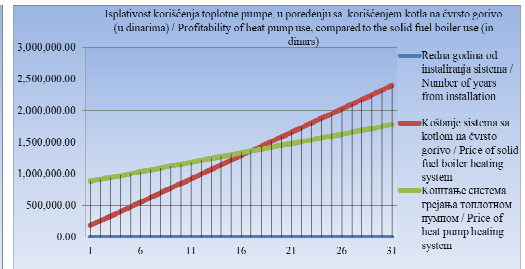
### Investiciona ulaganja

Međutim, kada se radi o ukupnim troškovima, potrebno je proračunati investiciona ulaganja koja podrazumevaju cene koštanja: toplotne pumpe, cevovoda, kotlova, radijatora, instalacije i postavljanja sistema, kopanja zemlje kod geotermalnih kolektora, kao i iznenadne troškove. Na slikama 8 i 9 prikazana je isplativost instalacije sistema sa toplotnom pumpom tipa zemlja-voda, u poredjenju sa kotlom na gas i kotlom na čvrsto gorivo, respektivno. Investiciona ulaganja u sistem grejanja sa gasnim kotlom su 210.245 RSD (1775 €), za sistem grejanja sa kotlom na čvrsto gorivo 183.493 RSD (1548 €), a za sistem sa toplotnom pumpom 886.994 RSD (7485 €), respektivno. Na osnovu početnih ulaganja sprovedena je analiza perioda otplate.

Kao što se može videti na dijagramima, sistem grejanja sa toplotnom pumpom bi u ovom slučaju otplatio svoja početna ulaganja nakon 18 godine upotrebe, u poredjenju sa sistemom grejanja sa gasnim kotlom tj. nakon 16 godina u odnosu na sistem sa kotlom na čvrsto gorivo.



Sl. 8. Isplativost korišćenja toplotne pumpe, u poređenju sa korišćenjem gasnog kotla  
Fig. 8. Profitability of heat pump use, compared to the gas boiler use



Sl. 9. Isplativost korišćenja toplotne pumpe, u poređenju sa korišćenjem kotla na čvrsto gorivo  
Fig. 9. Profitability of heat pump use, compared to the solid fuel boiler use

## ZAKLJUČAK

Energetska kriza i preopterećenje životne sredine utiče na promenu načina upotrebe energije, pogotovo za sisteme grejanja i hlađenja. Smatra se da geotermalni sistemi grejanja predstavljaju jedno od alternativnih rešenja problema koje sa sobom nosi nekontrolisana potrošnja neobnovljivih izvora energije. Kada je u pitanju grejanje, geotermalna energija će u budućnosti biti ubedljivo najvažniji obnovljivi resurs. U ovom radu je na osnovu izračunatih toplotnih gubitaka, koji iznose 7.013 W za stambeni objekat površine 120 m<sup>2</sup>, odabrana Vaillant Geotherm Exclusiv VWS 103/3 toplotna pumpa tipa zemlja-voda, čiji je COP 4,2. Takođe, u radu je analizirana i potrebna površina horizontalnih kolektora, kao i potrebna dužina cevi za podno grejanje u objektu, nakon čega je odrađena komparativna analiza sistema grejanja. Ustanovljeno je da su toplotne pumpe ekološki dosta prihvatljivije, međutim u Republici Srbiji, njihovo korišćenje još uvek nije ekonomski opravdano uzevši u obzir da su konvencionalni vidovi upotrebe energenata za grejanje znatno pristupačniji.

## LITERATURA

- [1.] Nikolić R., Furman T., Tomić M., Simikić M., Samardžija M. (2011), Korišćenje obnovljivih izvora energije u Srbiji, Traktori i pogonske mašine, vol. 16, br. 3, str. 7-14
- [2.] Pešić R., Petković S., Hnatko. E., Veinović S. (2010) Antropogeno globalno zagrevanje i obnovljive energije, Traktori i pogonske mašine, ISSN 0354-9496, vol. 15, br. 2/3, str. 101-108,
- [3.] Gagneja, A., Pundhir., S., (2016), Heat Pumps and Its Applications, International Journal of Advances in Chemical Engineering and Biological Sciences, Vol. 3 , page 117-120.
- [4.] Nordic - GHP, Internet strana: <https://www.nordicghp.com/2015/08/how-to-calculate-coefficient-of-performance/>, datum pristupa: 2018-10-06
- [5.] DELTA TERM, Internet strana: <http://www.deltaterm.com/dokumenti/HIDROS%20toplotne%20pumpe.pdf>, datum pristupa: 2018-10-09
- [6.] Thybo-Cool, Internet strana: <https://thybo-cool.dk/naturvarme/jordvarme/hvad-er-jordvarme/>, datum pristupa: 2018-10-09
- [7.] Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency, EnerGuide, (2004), Heating and Cooling With a Heat Pump, Canada.
- [8.] British Standards Institution, (2003), BS EN 12831:2003 Heating systems in buildings. Method for calculation of the design heat load, United Kingdom.
- [9.] Vaillant, Internet strana: <https://www.vaillant.rs/krajnji-korisnici/proizvodi/geotherm-exclusiv-vws-63-3-103-3-3069.html>, datum pristupa: 2018-10-10

Rad primljen: 04.09.2018.

Rad prihvaćen: 24.09.2018.