

Biblid: 0350-2953 (2010) 36: 4, 447-455

UDK: 628.8:621.57

Pregledni rad

Review paper

**EKONOMIČNOST GEOTERMALNE TOPLOTNE PUMPE U SISTEMU
PODNOG GREJANJA
EFFICIENCY OF GEOTHERMAL HEAT PUMP IN THE UNDERFLOOR
HEATING SYSTEM**

Marina Karić, Radisav Blagojević, Nada Škundrić

Visoka tehnička mašinska škola Trstenik

E-mail: karicmarina@gmail.com

SAŽETAK

Predmet analize u ovom radu jeste da se opišu prednosti iskorišćavanja geotermalne energije u svrhu grejanja i posebno naglasi glavna prednost a to je efikasnost geotermalnog grejanja tj. mala količina potrošene električne energije u odnosu na standardne sisteme grejanja. Pored toga geotermalna energija je obnovljiv izvor energije, geotermalno grejanje spada u ekološki vrlo prihvatljiv oblik grejanja, toplotne pumpe mogu da se koriste i za hlađenje, održavanje sistema je jeftino. Geotermalna parno kompresorska toplotna pumpa predstavlja jedan od načina korišćenja energije tela sa relativno niskom temperaturom (okolni vazduh, morska voda, podzemna voda, tlo), kao obnovljivog izvora, za proizvodnju toplotne energije. Izvor toplote za toplotnu pumpu je podzemna voda, sa malim temperaturnim oscilacijama. Analizirana toplotna pumpa radi sa rashladnim fluidom R 407C koji je standardizovani fluid u oblasti grejanja i klimatizacije prostora. Primenom moderne grejne instalacije sa toplotnom pumpom očekuje se znatno smanjenje troškova grejanja.

Ključne reči: obnovljivi izvori energije, geotermalna energija, toplotna pumpa

1. UVOD

Osnovni izvor energije na Zemlji trenutno su fosilna goriva (ugalj, nafta, zemni gas). Veliki broj sprovedenih analiza ukazuje na činjenicu da se oko 35% primarne visokokvalitetne energije troši na zagrevanje prostora i sanitarne vode, tj na niskotemperaturne potrebe. Tradicionalni načini grejanja imaju veoma nizak stepen korisnosti od 0,6 do 0,9, jer veliki deo toplote odlazi sa produktima sagorevanja, potreban je veliki prostor za skladištenje fosilnih goriva i oslobađa se ogromna količina produkata sagorevanja (zagađivača).

Rezerve fosilnih goriva su ograničene – troše se mnogo brže nego što nastaju, pa je zato potrebno istraživanja usmeriti u tehnologije iskorišćavanja obnovljivih izvora energije kao što su: energija biomase, solarna energija, energija vetra i geotermalna energija. U okolnom vazduhu, podzemnim vodama i tlu sadržana je ogromna, dostupna i besplatna energija, koja zbog niske temperature njenih nosilaca ne može neposredno da se koriste za

grejanje. Zahvaljujući najsavremenijim rešenjima toplotnih pumpi, ovu energiju moguće je iskoristiti za pripremu vode za grejanje.

Proces prihvatanja novih tehnologija veoma je spor, glavni problem je početna cena instalacije novog postrojenja. Upotreba obnovljivih izvora energije važna je iz više razloga odnosno zbog:

- smanjenja emisije štetnih gasova u atmosferu (eliminiše lokalno i globalno zagrevanje, zagrevanje planete i klimatske promene),
- povećanja energetske održivosti sistema, tj. smanjuju zavisnost od uvoza energetskih sirovina i električne energije
- obnovljivih izvora koji će postati ekonomski konkurenti konvencionalnim izvorima energije
- Obnovljiva energija je svuda oko nas i besplatna je (izuzev biomase) i može sigurno da
- zameni upotrebu primarne energije dobijene iz fosilnih goriva. Jedno od rešenja kojim se obnovljivim izvorima energije može zameniti primarna energija (goriva), čija cena svakim danom sve više raste i do koje se sve teže dolazi, jeste toplotna pumpa.

2. TEHNOLOGIJA GEOTERMALNOG GREJANJA

Geotermalna energija je obnovljivi izvor energije. To je zaliha toplotne energije, akumulirane ispod zemljine površine. Stvara se apsorpcijom sunčeve energije, raspadanjem radioaktivnih elemenata, hemijskim reakcijama ili trenjem, pri pokretanju tektonskih masa. Potencijal geotermalne energije je ogroman, procenjuje se da je ima mnogostruko puta više od sveukupne količine energetskih izvora baziranih na fosilnim gorivima (uglju, nafti i gasu) širom sveta, pa bi joj trebalo pridati veću važnost. Srbija po geotermalnom potencijalu svrstava se u bogate zemlje, iako je geotermalna energija nedovoljno iskorišćen resurs. Korišćenje i eksploatacija geotermalne energije moraju da postaju intenzivniji, jer na to primoravaju brojni faktori: stalni rast cena fosilnih goriva, pogoršavanje ekološke situacije, porast troškova za zaštitu okoline.

Grejanje zgrada je zanimljiv oblik korišćenja geotermalne energije. Toplota se spontano prenosi sa tela više temperature na telo niže temperature, a sa tela niže temperature na telo više temperature prinudno. Toplotne pumpe su uređaji koji uzrokuju da toplota teče u suprotnom smeru od prirodnog. Ugradnjom geotermalne toplotne pumpe moguće je u režimu grejanja uzeti toplotu iz yemlje i prebaciti je u grejani prostor, dok u letnjem periodu dolazi do obrnute radnje iz prostorijske se uzima toplota i šalje u yemlju. Najbolji rezultati postižu se korišćenjem podzemnih voda ako su one na temperaturi od 10 – 300°C, kada nisu pogodne za direktno zagrevanje.

3. MATERIJAL I METOD RADA

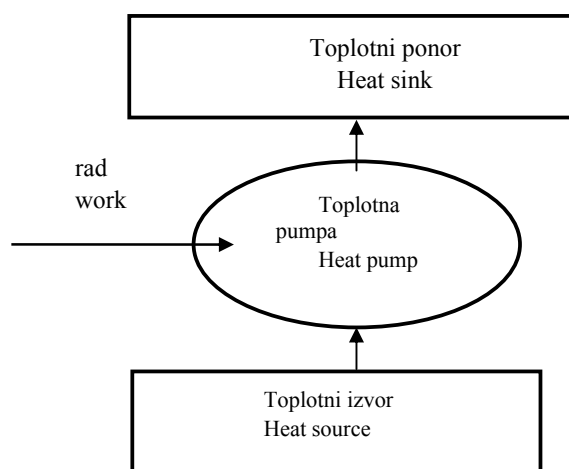
Toplotne pumpe ili dizalice toplote su uređaji koji rade na termodinamičkom principu podizanja toplote, tj. toplotnu energiju sa tela niže temperature prebacuju na telo više temperature trošeći pritom mehanički rad, koji je nekoliko puta manji od prenete energije, pomoću levokretnog kružnog procesa prikladnog radnog fluida. Udeo utrošene električne energije iznosi od jedne trećine do jedne petine dobijene toplotne energije, to znači da se utroškom 1kWh električne energije može da se obavi prenos 3 – 5 kWh toplotne energije.

Za rad toplotne pumpe potreban je:

- toplotni izvor (davalac toplote) – prostor (materija) kojem se uzima toplota – okolni vazduh, tlo, površinske ili podzemne vode, otpadna toplota,
- toplotni ponor (potrošač tako dobivene toplote) – prostor (materija) kojem se predaje toplota – prostorija, grejni fluid.

Za postrojenje toplotne pumpe od najvećeg su značaja svojstva toplotnog izvora. Postrojenje za grejanje dizalicom toplote onoliko je dobro koliko je dobar njegov toplotni izvor.

Toplotne pumpe se opisuju materijom koja se hladi (toplotnim izvorom) i materijom koja se zagreva (npr. vazduh – voda, tlo – voda, voda – voda itd). Efikasnije su geotermalne toplotne pumpe, koje kao izvor toplote koriste zemlju ili podzemnu vodu, čija je temperatura uglavnom konstantna tokom godine.



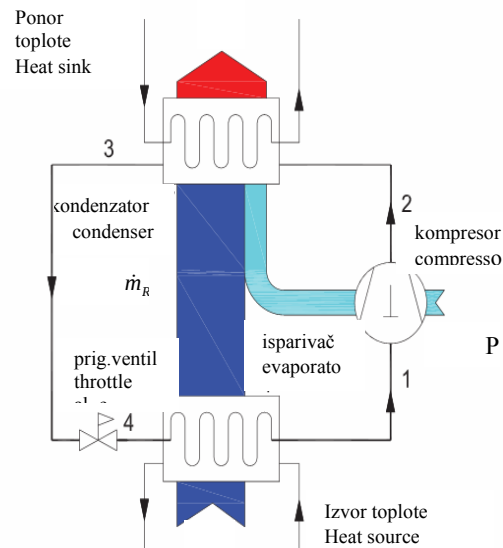
Sl. 1. Šematski prikaz rada toplotne pumpe

Fig.1. Operation of the heat pump

Osnovne komponente parno kompresorske toplotne pumpe su kompresor s elektromotorom, povratni prigušni ventil i dva razmenjivača toplote (kondenzator i isparivač). Dodatni razmenjivač toplote može da se pridoda zbog grejanja potrošne tople vode. Izbor radne materije (freona) u dizalici toplote bitan je činilac i sa stanovišta termodinamičke efikasnosti celog sistema i u pogledu zaštite okoline. Rashladno sredstvo je obično R-407C ili R-410A, koje za razliku od prvobitno korišćenog freona 12 (CF_2Cl_2) ne deluje negativno na ozon (T. Kurevija 2008)

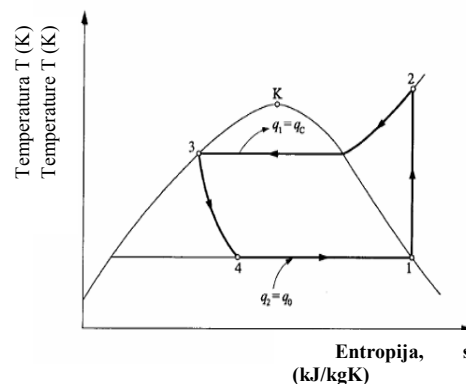
Parno kompresorska toplotna pumpa koja koristi vodu kao toplotni izvor i vodu kao toplotni ponor (voda-voda), uzima energiju iz podzemne vode i prenosi je takođe na rashladnu vodu koja se zagreva do temperature na kojoj može da se primeni za zagrevanje u sistemu podnog grejanja. Toplota se uzima iz podzemne vode koja je na temperaturi od 8 do 120°C, zavisno od dubine iz koje se voda crpi. Ta se temperatura tokom cele godine neznatno menja, pa je podzemna voda najpovoljnija kao izvor toplote za pogon toplotne pumpe. Za crpljenje podzemne vode potrebna su dva bunara potisni i poniruć. Iz potisnog bunara voda se vodi u toplotni razmenjivač (isparivač) u kojem se deo toplote iz podzemne

vode prenosi na radni fluid koji isparava. Delimično ohlađena voda vraća se u drugi ponirajući bunar koji je iste dubine kao i prvi tako da se tokovi podzemnih voda ne remete.



Sl. 2. Šematski prikaz primene parno kompresorske toplotne pumpe(tipa voda – voda) za podno grejanje

Fig.2. Steam compression heat pump (type water-water) used for underfloor heating



Sl. 3. Idealni termodinamički proces u parno kompresorskoj toplotnoj pumpi

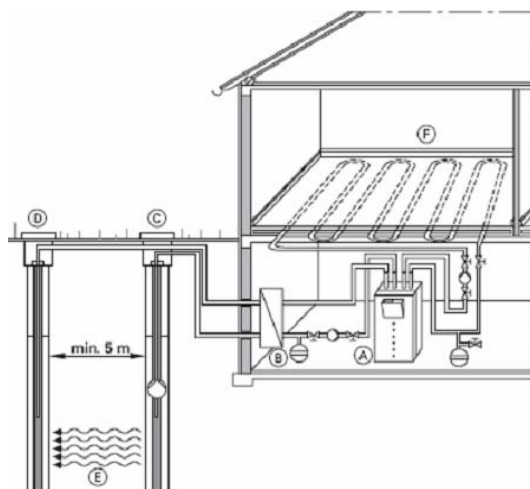
Fig.3. Ideal thermodynamic process in the steam compression heat pump

Radni fluid, koji je u gasovitom stanju sabija se u kompresoru, uz potrošnju mehaničkog rada (1 do 2), pri čemu mu se povećava pritisak i temperatura, pa se zatim uvodi u kondenzator (2 do 3), gde otpušta latentnu prenetu toplotu i predaje je vodi koja cirkuliše kroz kondenzator i podni sistem cevi u kući. Nakon toga radni fluid ulazi u ekspanzioni ventil, gde se prigušuje do pritiska i temperature u isparivaču (3 do 4). Vlažna para sada ulazi u isparivač, gde proces počinje ponovo iz početka. Promena stanja u isparivaču prikazana je linijom 4 do 1. Toplotne pumpe tipa voda-voda rade sa najvećim stepenom korisnosti u instalacijama niskotemperaturnog podnog grejanja, gde se zbog velikih površina grejanja već kod nižih temperatura grejanja razmenjuje znatna količina toplote.

Osnovni preduslov takvog rešenja toplotne pumpe je zadovoljavajuća prisutnost izvora podzemnih voda u većim količinama, koja će omogućiti razmenu toplote, približno konstantne temperature tokom godine. Podzemna voda mora biti čista i inertna prema materijalu od kojeg je izrađen uređaj.

Kompletna instalacija sistema grejanja sastoji se od tri podsistema:

- podsistem za skupljanje energije (bunarski sistem) – izvora toplotne energije
- podsistem za povećanje energije - toplotna pumpa koja zauzima malo mesta poput većeg frižidera
- podsistem za distribuciju i čuvanje toplotne energije – podno grejanje, radijatorsko grejanje, priprema tople potrošne vode



Sl.4. Instalacija sistema podnog grejanja stambenog prostora
Fig.4. Installation of the underfloor heating in flats and houses

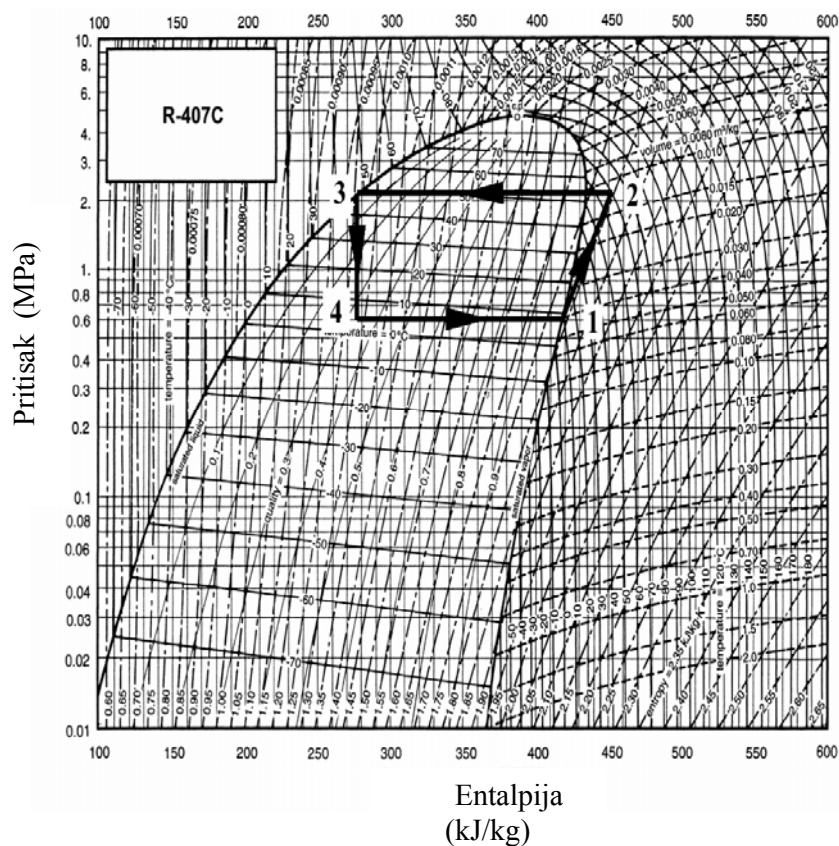
4. REZULTATI I DISKUSIJA

Sistem toplotnih pumpi funkcioniše isključivo na osnovu temperaturskih razlika.

Ulazni podaci neophodni za termodinamički proračun cilusa toplotne pumpe:

(Radni parametri toplotne pumpe)

- efektivna površina kuće za grejanje: $A_k=150 \text{ m}^2$
- zapremina kuće: $V_k=150 \times 2.6=390 \text{ m}^3$
- ulazna temperatura geotermalne vode u toplotnu pumpu: $t_{gu}=12^\circ\text{C}$
- izlazna temperatura geotermalne vode iz toplotne pumpe: $t_{gi}=6^\circ\text{C}$
- ulazna temperatura rashladnog sredstva u kompresor: $t_1=9^\circ\text{C}$
- temperatura nakon kompresije: $t_2=70^\circ\text{C}$
- temperatura kondenzacije: $t_3=50^\circ\text{C}$
- temperatura isparivanja: $t_4=4^\circ\text{C}$
- temperatura podnog grejanja (ulaz): $t_{ru}=35^\circ\text{C}$
- temperatura podnog grejanja (izlaz): $t_{ri}=20^\circ\text{C}$
- rashladni fluid: R-407 C



Sl 5. Fazni dijagram R 407C i ciklus rada toplotne pumpe prikazan na p-h dijagramu
Fig.5. Phase diagram of R 407C and operation cycle of the heat pump presented in p-h diagram

Iz faznog dijagrama R-407C (smeša od 23% R-32, 25% R-125, 52% R-134a) očitavaju se vrednosti pritiska i entalpija u karakterističnim tačkama

Tab. Vrednosti pritiska i entalpije

Tab. Value of pressure and enthalpy

	Pritisak, bar Pressure, bar	Temperatura, °C Temperature, °C	Entalpija (h), kJ/kg Enthalpy (h), kJ/kg
1	6	9	419
2	21.86	70	452
3	21.86	50	280
4	6	4	280

Potrebna toplotna snaga za grejanje objekta površine 150 m² – snaga kondenzatora

$$\dot{Q} = f_o \cdot V_k = 0,043 \cdot 390 = 16,77 \text{ kW}$$

$$f_o = 0.043 \text{ kW/m}^3 \text{ - grejni faktor za prosečnu termoizolaciju}$$

Specifične veličine:

Isparivač – rashladni učin (razlika entalpija 1-4):

$$q_o = h_1 - h_4 = 419 - 280 = 139 \text{ kJ/kg}$$

Kompresor – utrošeni rad kompresora (razlika entalpija 1-2):

$$l = h_2 - h_1 = 452 - 419 = 33 \text{ kJ/kg}$$

Kondenzator – toplota koja se oslobađa u kondenzatoru (razlika entalpija 2-3):

$$q = h_2 - h_3 = 452 - 280 = 172 \text{ kJ/kg}$$

Kontrola:

Toplota koja se oslobađa u kondenzatoru (proces 2-3) jednaka je toploti razmenjenoj na isparivaču uvećana za energiju (rad), dovedenu kompresoru

$$q = q_o + l \Rightarrow 172 = 139 + 33 \quad (172 \text{ kJ/kg} = 172 \text{ kJ/kg})$$

Ukupne veličine:

Potrebni maseni protok freona R-407C:

$$\dot{m}_{R-407C} = \frac{\dot{Q}}{q} = \frac{16,77}{172} = 0,0975 \text{ kg/s} = 351 \text{ kg/h}$$

Maseni protok vode u sistemu podnog grejanja:

$$\dot{Q} = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot \Delta t_{pod} \Rightarrow \dot{m}_w = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_w \cdot \Delta t_{pod}} = \frac{16,77}{4,187 \cdot 15} = 0,267 \text{ kg/s} = 961,2 \text{ kg/h}$$

Snaga kompresora:

$$P_{kom} = \dot{m}_{R-407C} \cdot l = 0,0975 \cdot 33 = 3,22 \text{ kW}$$

Toplota isparavanja- rashladni učinak u ciklusu hlađenja:

$$\dot{Q}_O = \dot{m}_{R-407C} \cdot q_o = 0,0975 \cdot 139 = 13,55 \text{ kW}$$

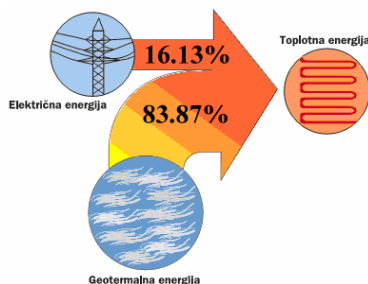
Maseni protok geotermalne vode:

$$\dot{Q}_O = \dot{m}_{w-G} \cdot c_w \cdot \Delta t_G \Rightarrow \dot{m}_{w-G} = \frac{\dot{Q}_O}{c_w \cdot \Delta t_G} = \frac{13,55}{4,187 \cdot 6} = 0,54 \text{ kg/s} = 1944 \text{ kg/h}$$

Ukupni stepen korisnosti toplotne pumpe (koeficijent grejanja):

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{P_{kom}} = \frac{16,77}{3,22} = 5,2$$

Ekonomičnost toplotnih pumpi ogledase se, pre svega, u što većem koeficijentu grejanja koji predstavlja odnos količine toplotne energije, koju isporučuje toplotna pumpa i količine električne energije potrebne za rad toplotne pumpe. Brojka 5,2 označava da se dobija 5,2 puta više toplotne energije nego što je utrošeno za pogon kompresora. Zagrevanje podnih površina i zidova je idealno. Ako je radna temperatura niska (oko 350 C) toplotna pumpa funkcioniše naročito efikasno – troši malo električne energije, a isporučuje mnogo toplote.



Sl.6. Odnos uložene električne i iskorišćene geotermalne energije

Fig.6. Relation between input electrical energy and used geothermal energy

5. ZAKLJUČAK

Toplotna pumpa izvlači energiju niske temperature iz okruženja i povišava njenu temperaturu, radi grejanja prostora. Korišćenjem toplotnih pumpi ostvaruju se znatne uštede energije. Za definisane radne parametre toplotne pumpe teorijskim proračunom dobijen je koeficijent grejanja 1: 5,2 (odnos uložene i dobijene energije), to znači da se trošenjem 1 kWh električne energije za pogon kompresora može da obavi prenos 5,2 kWh toplotne energije u grejni prostor. Ova činjenica ukazuje na to da upotreba toplotnih pumpi daje mogućnost štednje energije, a istovremeno i očuvanja životne sredine. Energija koju koriste je besplatna i neiscrpna, a to je posebno interesantno u današnjim uslovima kada cena svih energenata raste. Pored toga toplotne pumpe ovu energiju generišu bez sagorevanja, bez emisije gasova i štetnih materija i time ne predstavlja nikakvu opasnost po životnu sredinu.

Od svih alternativnih grejanja najveću perspektivu imaju toplotne pumpe (tipa voda-voda), jer su se pokazale kao ekonomični sistemi za grejanje u dobro izolovanim kućama s niskim temperaturnim podnim grejanjem.

Geotermalna energija je energija budućnosti, kojom se višestruko štedi električna energija u poređenju sa klasičnim grejanjem na struju. Neiscrpne količine energije nalaze se

svuda oko nas: u zemlji, podzemnoj vodi i vazduhu. Koristeći ovo besplatno energetske blago, čuvamo okolinu dok istovremeno štedimo novac.

Da bi upotreba ove tehnologije postigla veću rasprostranjenost, potrebno je kontinualno ulagati napore usmerene ka:

- daljem poboljšanju i tehničkom usavršavanju samih uređaja i
- stimulaciji tržišta.

Zato je potrebno doneti nacionalne programe istraživanja, razvoja, demonstracije i informisanja i promocije upotrebe toplotne pumpe sve u cilju upotrebe obnovljivih izvora i postizanja energetske efikasnosti.

LITERATURA

- [1] Reknagel, Šprenger, Šramek, Čeperković (2004). Grejanje i klimatizacija, šesto dopunjeno i izmenjeno izdanje, Vrnjačka Banja.
- [2] Brkić, M. (2004). Termodinamika u poljoprivredi, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- [3] Šamšalović, S. (1987) : Toplotne pumpe u primeni, SMEITS, Beograd.
- [4] Viessmann (2006). Serija stručnih publikacija, Toplinske crpke, Zagreb.
- [5] Pavković, B. (2006). Radni procesi i toplinski izvori za dizalice topline, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka.
- [6] Bupić, M., Čustović S. (2006) : Stanje i trendovi uporabe dizalica topline, Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik.
- [7] Kurevija, T. (2008) : Analiza potencijala plitkih geotermalnih resursa u sustavima toplotnih pumpi na području grada Zagreba, Goriva i maziva, 355-390.
- [8] Heat pump centre (2006): <http://www.heatpumpcentre.org/> ožujak 2006.

SUMMARY

The analysis presented in the paper aims at describing the advantages of geothermal energy which is used for heating. A special emphasis is laid on the efficiency of geothermal heating, i.e. the amount of electrical energy used this way is less than by standard heating systems. Also, there are many other advantages such as: geothermal energy is a renewable source of energy, geothermal heating is an environment-friendly form of heating, heat pumps can be used for cooling as well, and the maintenance of the system is cheap. Geothermal steam compression heat pump represents one of the ways for using the energy of the bodies having relatively low temperatures (surrounding air, seawater, underground water, ground) in order to produce thermal energy. The heat source for a heat pump is underground water with small temperature oscillations. The heat pump analyzed in this paper operates with cooling fluid

R 407C which is a standard fluid in the field of heating and air conditioning. The combination of modern heating installation and heat pump is expected to significantly reduce the heating costs.

Keywords: renewable energy source, geothermal energy, heat pump

Primljeno: 18. 9.2010.

Prihvaćeno: 2.10.2010.