

INSTALACIJA ZA GREJANJE I HLAĐENJE POMOĆU TOPLOTNE PUMPE

HEATING AND COOLING SYSTEM USING A HEAT PUMP

MIŁORAD BOJİĆ,

Mašinski fakultet, Kragujevac, i

SAA KOSTİĆ,

„Tehnoprojekt”, Agencija za projektovanje i inženjering, Kragujevac

Kao studentsko učilo na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, instalirana je toplotna pumpa (voda–voda), projektno rešenje studenata poslednje godine studija na predmetu Grejanje i klimatizacija. Njenu izradu finansiralo je Američko društvo inženjera za grejanje, hlađenje i klimatizaciju (ASHRAE). Trošeći elektroenergiju na svom kompresoru, toplotna pumpa prebacuje toplotu iz toplotnog izvora (na nižoj temperaturi) u toplotni ponor (na višoj temperaturi) koji čine radijatorski sistem grejanja, sistem podnog grejanja i sistem za grejanje sanitarne vode. Toplotni izvor je ili voda u solarnom bojleru, ili vodovodska voda. Kada je to vodovodska voda, onda se ona leti (kada se ohladi u toplotnoj pumpi) provodi kroz konvektor koji obezbeđuje hlađenje vazduha.

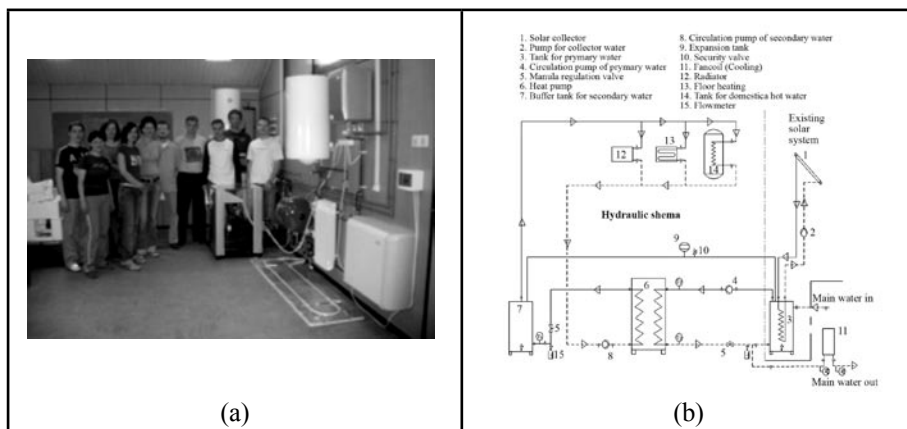
At the Faculty of Mechanical Engineering of Kragujevac, a heat pump (water–water) was installed as a design made by the senior undergraduates within the academic course Heating and Air-conditioning. This project was financed by ASHRAE. Using electrical power on its compressor, the heat pump transfers heat from the heat source (lower temperature) to the cold source (heat sink) (higher temperature), which comprises central heating radiators, floor heating system and technical water heating system. Heat source is water from the solar water heater or water from water supply system. If water from the water supply system is used, during the summer (when it is cooled down in the heat pump), it goes through the convector that provides air cooling.

Ključne reči: grejanje; hlađenje; instalacija; učilo; student
Key words: heating; refrigerating; installation; teaching aid; student

1. Uvod

Korišćenje fosilnih goriva u budućnosti je pod znakom pitanja. Rezerve fosilnih goriva su ograničene i njihova upotreba dovodi do lokalnog (SO_2 i NO_x) i globalnog zagađenja (CO_2), zagrevanja planete i klimatskih promena. Da bi se zadovoljile narastajuće energetske potrebe bez korišćenja fosilnih goriva, potrebno je koristiti obnovljive energetske izvore kao što su solarna energija i energija akumulirana u tlu. Zato je radi grejanja i hlađenja prostorija u zgradarstvu, u Srbiji potrebno istražiti mogućnosti korišćenja raznih vrsta obnovljivih energija. U Srbiji se troši velika količina energije na grejanje jer je zbog klimatskih uslova potrebno šest meseci grejanja godišnje. Mnogo obećava upotreba toplotnih pumpi tipa voda–voda (Langley, 2001, Silberstein, 2003). Toplotne pumpe uz upotrebu elektroenergije služe za preba-

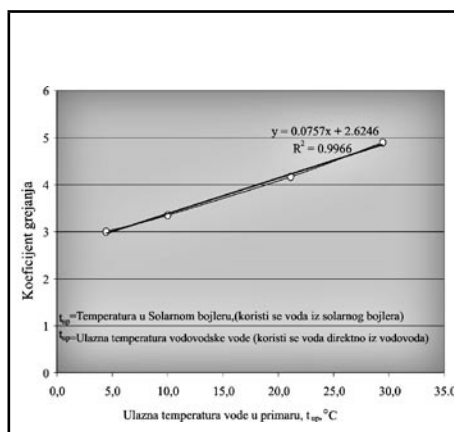
civanje toplote sa jednog strujnog toka koji je na nižoj temperaturi (strujni tok u primaru), na strujni tok koji je na višoj temperaturi (strujni tok sekundara). Obično se u strujnom toku primara akumulira toplota solarne i drugih obnovljivih energija, tako što im se uvećavaju entalpija i temperatura. Međutim, ta temperatura je nedovoljna da bi se entalpija iskoristila za grejanje ili u neke druge svrhe. Toplotna pumpa prebacuje tu akumuliranu toplotu u strujni tok sekundara koji zagreva na višu temperaturu, kako bi se mogla upotrebiti za grejanje prostorija. Za to se troši elektroenergija na pogon kompresora toplotne pumpe. Naime, potrebno je utrošiti 1 J električne energije da se prenese oko 3 J toplote iz kotla solarnog kolektora na vodu sekundara kojom se greju ili prostorije ili sanitarna voda. Ohlađeni tok primara može se koristiti za hlađenje prostorija.



Slika 1. Demonstrator za grejanje i hlađenje: (a) glavni deo instalacije i studenti završne godine koji su radili na ovom projektu; (b) Šema demonstratora



Slika 2. Toplotna pumpa



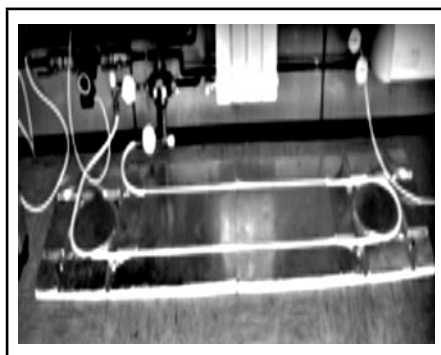
Slika 3. Koeficijent grejanja toplotne pumpe kao funkcija ulazne temperature vode u „primaru”

U Srbiji se predviđaju veće potrebe za energijom i veće korišćenje toplotnih pumpi u budućnosti. Kako mladi mašinski inženjeri treba da sa ovom tehnologijom upoznaju buduće korisnike, potrebno je omogućiti studentima Laboratorije za termotehniku da se u okviru predmeta Grejanje i klimatizacija sa njom upoznaju još tokom studija. Za to služi instalacija koja će da „pumpa“ toplotu iz vode koja je zagrejana solarnom energijom ili iz drugih vodenih tokova, i da je prenese na fluid koji zagreva radiator, grejač poda i grejač potrošne vode.

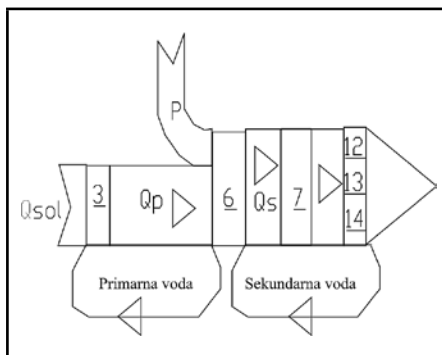
Ovaj „demonstrator“ bi omogućio studentima da rade na takvom uređaju, da mere njegove parametre i proračunaju efekte njegove primene na okolinu i uštedu energije. U cilju izrade ove instalacije u laboratoriji, studenti su, sa predmetnim nastavnikom, osmislili projekat pod nazivom „demonstrator podnog i radijatorskog grejanja i grejanja sanitarne vode pomoću vode grejane suncem uz upotrebu toplotne pumpe“. ASHRAE je 15.2.2006. odobrio sumu od 4277 dolara za finansiranje ovog projekta.

2. Instalacija

Cilj ovog projekta bio je da se dobijena sredstva utroše tako da se za demonstracioni i laboratorijski rad sa studentima napravi „demonstrator“ grejanja pomoću solarnih kolektora i toplotne pumpe. Instalacija je projektovana i montirana u Laboratoriji za termodinamiku i termotehniku Mašinskog fakulteta u Kragujevcu (sl. 1).



Slika 4. Laboratorijski sistem za podno grejanje



Slika 5. Tok energije za instalaciju koja radi u primaru sa vodom iz solarnog kotla

Instalacija može da za primar koristi ili vodu iz solarnog kotla, ili vodu iz vodo-voda. U ovom drugom slučaju, instalacija može da omogući i hlađenje prostorija.

Šema na sl. 1 pokazuje da se demonstrator sastoji iz toplotne pumpe (6), solarnog bojlera (3), bojlera-akumulatora (7), grejača podnog grejanja (13), radijatora (12), kalorifera (fen-koil uređaja) (11), kotla za grejanje sanitarne vode (SV) (14), zatvorene ekspanzione posude (9), cevi i ventila.

Solarni kotao je bio montiran kao rezultat prethodno odrađenog projekta (Bojić, 2005). Tada su montirana i dva hibridna solarna kolektora koji su generisali istovremeno elektroenergiju i toplotu, kao i akumulator za akumuliranje dobijene elektroenergije.

3. Elementi instalacije

Ovde su opisane karakteristike nekih delova instalacije: toplotne pumpe, sistema za podno grejanje, radijatora, sistema za grejanje sanitarne vode i kalorifera.

Toplotna pumpa, tipa voda–voda, predstavlja srce instalacije (sl. 2). Ona prenosi toplotu sa toplotnog izvora niže temperature (ovde je to voda u primaru) na toplotni ponor više temperature (ovde je to voda u sekundarnu). Prenos toplote se izvodi pomoću freona R22. Slika 3 prikazuje koeficijent grejanja toplotne pumpe kao funkciju ulazne temperature vode u “primaru” (McQuay International, 2007). Kako u literaturi nije bilo moguće naći ove podatke za instalisanu toplotnu pumpu, to je prikazana relacija data za toplotnu pumpu (model koji može i da greje i hladi) voda–voda nominalnog kapaciteta 10,6 kW (3 tone), pri čemu je rashladni fluid freon R22.

Poklopac toplotne pumpe je uklonjen da bi se studenti upoznali sa njenim elementima: (1) freonskim kompresorom, (2) dva koaksijalna razmenjivača toplote freon–voda, (3) ekspanzionim ventilom, (4) sušačem freona, (5) presostatom radi zaštite kompresora i freonske instalacije od visokog i niskog pritiska, (6) električnim delom za uključivanje kompresora i pumpi vode u primaru i sekundaru i (7) mikropresorskim regulatorom.

Tehničke karakteristike korišćene toplotne pumpe su: (1) temperatura isparavanja freona R22 na $P_i = 5,85$ bar je $t_i = 5^\circ\text{C}$; (2) temperatura kondenzacije na $P_c = 12,55$ bar je $t_c = 32^\circ\text{C}$; (3) snaga grejanja je 3,78 kW kada je $t_c = 55^\circ\text{C}$, $t_i = 5^\circ\text{C}$; (4) snaga kompresora je 0,98 kW pri čemu se upotrebljava naizmenična struja na 220 V i 50 Hz; (5) maksimalni broj uključenja kompresora je 6 na čas; (6) nominalni protok vode je $0,72\text{ m}^3/\text{h}$ na $t_w = 12^\circ\text{C}$; (7) minimalna temperatura ulazne primarne vode $t'_{w,\min} = 10^\circ\text{C}$ i minimalni protok primarne vode $\geq 0,28\text{ m}^3/\text{h}$; (8) maksimalna temperatura ulazne vode u primaru je $35^\circ\text{C} \leq t'_{w,\max} \leq 40^\circ\text{C}$ i maksimalni protok vode u primaru je $\leq 0,15\text{ m}^3/\text{h}$ za $t'_{w,\max}$; (9) protok vode u sekundaru je $0,65\text{ m}^3/\text{h}$, maksimalna temperatura 50°C , i nominalni pad pritiska 30 kPa.

Sistem podnog grejanja koji služi za grejanje prostorije prikazan je na sl. 4. Sastoji se iz jedne cevi spoljnog prečnika 14 mm i dužine od 4 m, koja je savijena u petlju i postavljena na foliju Al preko koje se toplota distribuira u prostor. Materijal cevi je poprečno povezan polietilen (PEX) umrežen Al žicom. Folija se postavlja na podlogu od stiropora (2 x 0,5 m) koja sprečava da se toplota prenosi dole prema zemlji. Količina toplote koja se dobija podnim grejanjem zavisi od međusobnog rastojanja cevi, temperature vode, protoka vode, i vrste podnog prekrivača.

Radijator za grejanje prostorije je od aluminijuma, ima 4 rebra i visinu od 600 mm.

Bojler za zagrevanje potrošne vode je od 10 litara. Unutar bojlera se nalazi razmenjivač toplote koji zagreva sanitarnu vodu preko bakarnih spiralnih cevi, kroz koje prolazi topla voda iz sekundara koja se zagreva pomoću toplotne pumpe.

Kalorifer za hlađenje prostorije prikazan je na sl. 1. Vazduh koji se hladi ulazi u kalorifer na oko 26°C , i hladi se do oko 14°C pomoću ohlađene vode primara. Ovako ohlađeni vazduh ubacuje se u prostoriju koju hladi pomoću centrifugalnog ventilatora. Kalorifer može da radi samo kada instalacija koristi vodovodsku vodu u primaru.

4. Energetske transformacije

Demonstrator može da radi dvojako: pomoću vode u primaru, ili iz solarnog bojlera, ili iz vodovoda. Kada radi sa vodom iz solarnog bojlera, demonstrator omogu-

čava prenos toplote sa vode u solarnom bojleru (3) na vodu u sekundaru, upotrebom toplotne pumpe (6) i električne energije za pogon kompresora toplotne pumpe (vidi šemu instalacije na sl. 1 i dijagram energetskog toka na sl. 5). Voda iz solarnog bojlera je na nižoj temperaturi u odnosu na temperaturu vode u sekundaru. Solarna energija (Q_{SOL}) prvo ulazi kroz solarni prijemnik (1) i zagreva vodu u njemu. Zagrejana voda izlazi iz solarnog prijemnika i ulazi u spiralni razmenjivač toplote u solarnom bojleru 3 gde prenosi toplotu Q_{SOL} na vodu solarnog bojlera. Zagrejana voda izlazi iz solarnog bojlera i ulazi u toplotnu pumpu (6) (njen isparivač–razmenjivač toplote). U isparivaču je ova voda na temperaturi višoj od temperature freona F22. F22 ulazi u isparivač u pretežno tečnom stanju i usled temperaturske razlike otparava, pri čemu mu se prenosi toplota $Q_p = Q_{SOL}$.

Voda se hladi i vraća nazad u solarni bojler (3). Para freona F22 ulazi u kompresor gde se, uz upotrebu električne energije snage P sabija na viši pritisak, pri čemu dostiže i višu temperaturu. Ovako zagrejana para na višem pritisku ulazi u kondenzator–razmenjivač toplote u koji ulazi i voda sekundara. Para freona je na višoj temperaturi od temperature vode sekundara. Zato se para freona kondenzuje, a hladna voda sekundara se greje, pri čemu para freona oslobađa toplotu Q_S kojom zagreva vodu sekundara.

Zagrejana voda u sekundaru se šalje u akumulacioni bojler (7). Iz bojlera, topla voda se na $50^{\circ}C$ šalje do radijatora (12), podnog grejača (13), i grejača u bojleru (14) za sanitarnu vodu. Radijator (12) zagreva sobu toplotom Q_R . Podni grejač (13) zagreva prostoriju toplotom Q_F . Grejač (14) zagreva sanitarnu vodu toplotom Q_K . Koficijent grejanja instalacije (COP) može se dati izrazima:

$$COP_{S(RFK)} = \frac{Q_R + Q_F + Q_K}{P}; \quad COP_{S(K)} = \frac{Q_K}{P}. \quad (1)$$

Izraz za $COP_{S(RFK)}$ je dat za slučaj kada toplotna pumpa zagreva prostoriju i sanitarnu vodu (što može da bude situacija zimi i u prelaznim periodima). Izraz za $COP_{S(K)}$ je dat za slučaj kada se zagreva samo sanitarna voda (što može da bude slučaj leti). U proseku, $COP_{S(RFK)} \approx 3,5$ i $COP_{S(K)} \approx 5$.

Kada instalacija radi pomoću vode u primaru iz vodovoda (vidi šemu instalacije na sl. 1 i tok energije na sl. 6), vodovodska voda ulazi u toplotnu pumpu (6) gde se hladi pošto joj se oduzima toplota Q_p i prenosi na isparivač toplotne pumpe, gde freon F22 isparava. Zatim tako dobijena para freona ulazi u kompresor gde se uz upotrebu elektroenergije P , sabija na viši pritisak, pri čemu se dobija i viša temperatura. Ta para se zatim šalje u kondenzator. U kondenzatoru, toplota Q_s se prenosi iz toplotne pumpe na vodu u sekundaru koja se šalje u akumulacioni bojler (7). Topla voda iz bojlera na 50°C šalje se do radijatora (12), podnog grejača (13), i grejača (14) za sanitarnu vodu. Radijator (12) zagreva sobu toplotom Q_R . Podni grejač (13) zagreva prostoriju toplotom Q_F . Grejač (14) zagreva sanitarnu vodu toplotom Q_K . Tom prilikom se sekundarna voda hladi, posle čega se prenosi natrag u toplotnu pumpu gde se ponovo zagreva. Sa druge strane, ukoliko je potrebno hlađenje prostorije, primarna voda se usmerava na kalorifer (11), pri čemu se vazduh u prostoriji hladi tako što se iz prostorije toplota Q_C prenosi na vodu u primaru. Koeficijent grejanja (COP) može da ima sledeći izraz:

$$COP_{M(RFK)} = \frac{Q_R + Q_F + Q_K}{P}; \quad COP_{M(KC)} = \frac{Q_K + Q_C}{P}. \quad (2)$$

gde $COP_{M(RFK)}$ predstavlja COP kada se greju prostorija i sanitarna voda zimi, ili u prelaznim periodima, $COP_{M(KC)}$ predstavlja COP kada se greje sanitarna voda i hladi prostorija (leti). Prosečno, $COP_{M(RFK)} \approx 3$; $COP_{M(KC)} \approx 6$ (vidi sl. 3).

6. Zaključci

Kako fosilna goriva mogu da se potroše, i kako pri njihovom sagorevanju dolazi do lokalnog i globalnog zagađenja, moraju se razmotriti mogućnost da se energetske potrebe za grejanjem i hlađenjem u zgradarstvu zadovolje upotrebom obnovljivih energija i to solarnom energijom i energijom koja se akumulira u vodi, vazduhu i tlu.

U Laboratoriji za termodinamiku i termotehniku Mašinskog fakulteta u Kragujevcu instalirano je demonstraciono postrojenje. Postrojenje demonstrira studentima korišćenje obnovljive energije (uz manju upotrebu električne energije), da bi se zagrevao i hladio vazduh u prostoriji i zagrevala sanitarna voda. Procena je da u proseku u ovoj instalaciji utrošak 1 J električne energije za kompresor toplotne pumpe omogućava da se ili iz solarnog bojlera ili iz vode vodovoda prenesu 3 do 6 J toplote za potrebe grejanja sanitarne vode i grejanje i hlađenje vazduha u prostoriji. Uređaji za grejanje (koji su instalirani) su radijator, grejač za podno grejanje i grejač za sanitarnu vodu. Uređaj za hlađenje (koji je instaliran) je kalorifer. Ova instalacija je sada operativna, što će omogućiti eksperimentalni rad na instalaciji i edukaciju studenata.

7. Izraz zahvalnosti

Želeli bismo da se zahvalimo Američkom društvu inženjera za grejanje, hlađenje i klimatizaciju (vidi sl. 6) koje je finansiralo izradu demonstratora. Verujemo da će demonstrator omogućiti našim studentima bolju edukaciju kao i dalji prodor ove vrste grejanja (hlađenja) u Srbiji, uštedu energije kao i smanjenje zagađenja spoljašnje sredine.

7. References

- [1] **Bojić, M.**, *Razvoj i istraživanje hibridnog ravnog prijemnika solarne energije za toplotnu i električnu konverziju*, projekat EE708-1003B Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, 2005.
- [2] **Langley, B.**, *Heat pump technology*, Prentice Hall; 3 edition, 2001.
- [3] *******, McQuay international (2007) Water to Water Source Heat Pumps 3 to 35 Tons R-22 and R-407C Refrigerant / 60Hz, catalog, cat 1111, http://www.mcquay.com/mcquay_biz/literature/lit_at_wshp/Catalogs/Cat_1111_Wtr_to_Wtr.pdf, retrived on 31.08.2007.
- [4] **Silberstein, E.**, *Heat pumps*, Thomson, U.S., 2003.

kgH