

# GEOTERMALNA

## TOPLOTNA PUMPA SA UGLJEN-DIOKSIDOM KAO RASHLADNIM FLUIDOM

EZIO FORNASIERI, Università degli Studi di Padova, SERGIO GIROTTI, ENEX srl, Ponzano Veneto (TV), SILVIA MINETTO, Università degli Studi di Padova, Italia

U radu se opisuje projekat toplotne pumpe koja radi sa ugljen-dioksidom u transkriticnom ciklusu. Uređaj služi za proizvodnju tople sanitarne vode i nalazi se u jednom stambenom kompleksu u okrugu grada Beluna, u kome se letnja i zimska klimatizacija ostvaruju tradicionalnim toplotnim pumpama koje koriste R134a. Svi instalirani rashladni uređaji koriste tlo kao izvor toplote, putem niza geotermičkih sondi. Kompleks je opremljen fotonaponskim panelima instalisane snage od 20 kW

**KLJUČNE REČI:** ugljen-dioksid; geotermalna toplotna pumpa; stambeni kompleks

Projekat toplotne pumpe na ugljen-dioksid zahtevao je specifičnu logiku regulacije koja može upravljati porastom pritiska u ciklusu radi dostizanja maksimalnog koeficijenta grejanja, istovremeno održavajući temperaturu izlazne vode iz gasnog hladnjaka u okvirima potrebnih vrednosti.

Akumulacija vode vrši se stratifikacijom, a zagrevanje vode sa temperature mreže na temperaturu skladištenja vrši se jednim prolaskom kroz gasni hladnjak, čime se postiže maksimalna efikasnost transkriticnog ciklusa.

Postrojenje je projektovano za proizvodnju tople vode u noćnim satima, osim izuzetnih dnevnih uključivanja zbog prevelike potrošnje; odabrano rešenje omogućava smanjenje broja instaliranih sondi.

### Uvod

Ugljen-dioksid se trenutno smatra odličnim rešenjem za toplotne pumpe koje greju sanitarnu vodu: proces prenosa toplote promenljive temperature savršeno se prilagođava grejanju dovodne vode podvrgnute velikom skoku temperature, bez velikih posledica po koeficijent grejanja, kao što je detaljno prikazano u tehničkoj literaturi. Radovi Lorentzena

### GEOHERMAL HEAT PUMP WITH CO<sub>2</sub> AS A REFRIGERANT

The paper deals with a project of the heat pump working with carbon-dioxide in the transcritical cycle.

The device produces hot sanitary water and is located in a residential complex in Beluna city district, where the summer and winter air conditioning are provided by traditional heat pumps which use R134a.

All installed cooling plants use the soil as heat source, by means of an array of geothermal probes.

The complex is equipped with photovoltaic panels of 20kW installed power

**KEY WORDS:** CO<sub>2</sub>; geothermal heat pump; residential complex; cooling plants

(1993), Neksà i drugih (1998) i Neksà (2002), pružaju prilično široke okvire primene CO<sub>2</sub> za grejanje sanitarne vode.

Posebnost transkriticnog ciklusa, povezana sa neizotermnom razmenom toplote, zahteva primenu razmenjivača (gasni hladnjak) u koje voda utiče direktnim prolaskom (bez recirkulacije), grejući se do temperature skladištenja; akumulacije tople vode moraju obezbeđivati dobru stratifikaciju i sprečiti mešanje vode iz mreže i vode već zagrejane prolaskom kroz gasni hladnjak. Naime, samo na taj način se postiže bolja efikasnost, kao što su to i dokazali Cecchinato i drugi (2005). Dok su u tradicionalnom ciklusu temperatura kondenzacije, a time i koeficijent grejanja, suštinski povezani sa temperaturom izlazne vode iz razmenjivača, u slučaju transkriticnog ciklusa efikasnost je u tesnoj vezi sa temperaturom vode na izlazu, kao što je detaljno prikazano u literaturi (Neksà, 2002, Rieberer i drugi, 1997). Otuda potreba delovanja stratifikovanim akumulacijama kako bi se u gasni hladnjak poslala samo voda na temperaturi približnoj onoj u mreži.

### Stambeni kompleks

Stambeni kompleks nalazi se u podnožju planina u oblasti Veneto i sastoji se od 26 stambenih jedinica. Procenje-

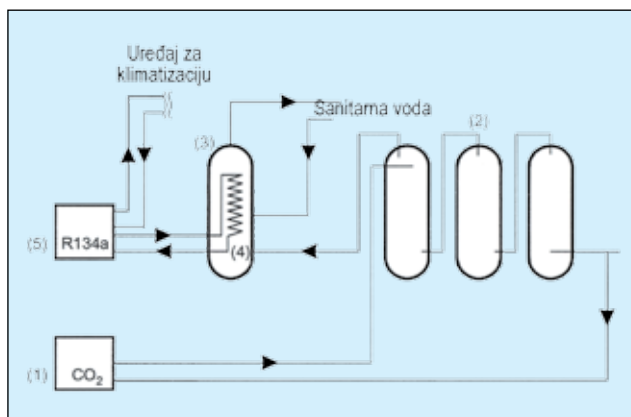
na potreba za toplom sanitarnom vodom na 50 °C je 7,4 m<sup>3</sup> dnevno; projektovano termičko opterećenje za uslugu grejanja, na spoljnoj temperaturi od -10 °C je oko 120 kW; topla voda se isporučuje na maksimalnoj temperaturi od 45 °C.

Procenjuje se da je letnje vršno termičko opterećenje oko 100 kW, pri spoljnoj temperaturi vazduha od 32 °C i temperaturi isporučene vode od 7 °C.

Projektna ideja da se upotrebe obnovljivi energetski izvori, konkretizovana je instaliranjem fotonaponskih panela kako bi se zadovoljile potrebe za električnom energijom i potrebe toplotnih pumpi za grejanje prostora i sanitarne vode, gde se tlo koristi kao izvor toplote, pomoću dubinskih geotermičkih sondi.

Toplotna pumpa za grejanje tople sanitarne vode kao rashladni fluid koristi ugljen-dioksid i radi u transkriticnom ciklusu: sama mašina će biti detaljnije opisana u daljem tekstu.

Međutim, dve reverzibilne toplotne pumpe za klimatizaciju rade na sintetički fluid R134a: povišena povratna temperatura vode u postrojenju za grejanje (od 35 °C do 40 °C) i skroman interval temperature između ulaza i izlaza, učinili bi manje efikasnom toplotnu pumpu na ugljen-dioksid.



Slika 1. Hidraulična šema povezivanja toplotnih pumpi i distributivnog prstena tople sanitarne vode

Na slici 1 je opšta šema hidrauličnih veza među toplotnim pumpama: toplotna pumpa na ugljen-dioksid (1) zagreva, u samo jednom prolasku kroz gasni hladnjak, sanitarnu vodu koja se potom akumulira u stratifikacionom sistemu (2). Izbor je pao na sistem sa tri serijski povezana rezervoara, budući da na jednostavan način može promovisati stratifikaciju. Voda, uzeta na maksimalnoj temperaturi akumulacije, šalje se u rezervoar za mešanje/distribuciju (3) i održava njena cirkulacija u distributivnom prstenu. Toplota pregrevanja dva uređaja na R134a (5) koristi se u razmenjivaču (4) kako bi se nadoknadile disperzije rezervoara i distributivnog prstena.

Ovaj doprinos je raspoloživ i u grejnoj sezoni, i u sezoni hlađenja.

Toplotna pumpa za grejanje sanitarne vode stalno radi u noćnim satima, kada je uređaj za grejanje ugašen, puneći stratifikacionu akumulaciju.

Do dnevnog uključivanja dolazi samo kada uzimanje vode iz rezervoara premaši prethodno utvrđeni prag.

Fotonaponski uređaj, sa vršnom snagom od 20 kW, dimenzionisan je da u potpunosti pokrije, zahvaljujući doprinosima koje predviđa "Conto Energia", cenu električne energije neophodne za rad sistema za klimatizaciju (grejanje/hlađenje) i proizvodnju tople sanitarne vode. Fotonaponski paneli su u potpunosti integrisani u krovni pokrivač.

Tabela 1. Karakteristike toplotne pumpe

Kompresor (1)	Alternativni poluhermetički jednostepeni kompresor. Časovna zapremina 4,3 m <sup>3</sup> /h
Gasni hladnjak (2)	Razmenjivač sastavljen od ploča duplog zida
Ekspanzioni ventil (3)	Ekspanzioni ventil sa step-motorom
Isparivač (4)	Pločasti razmenjivač
Niskopritisni akumulator (5)	Akumulator od legurnog čelika. Unutrašnja zapremina 0,04 m <sup>3</sup>
Regenerativni razmenjivač (6)	Razmenjivač sa koaksijalnim cevima (suprotnosmerni). Spoljna cev čelična (niskopritisna), unutrašnja cev bakarna (visokopritisna). Cevi glatke. Zona razmene (niskopritisna strana) 0,5 m <sup>2</sup>
Rezervoar vode (7a) – konfiguracija za laboratorijske probe	Plastični kontejner od 1 m <sup>3</sup>
Rezervoar vode (7b) – konfiguracija za instaliranje	Rezervoari za skladištenje vode Ukupni kapacitet 1,8 m <sup>3</sup> + 0,6 m <sup>3</sup>
Cirkulaciona pumpa (8)	Centrifugalna pumpa promenljive brzine

## Toplotna pumpa sa ugljen-dioksidom

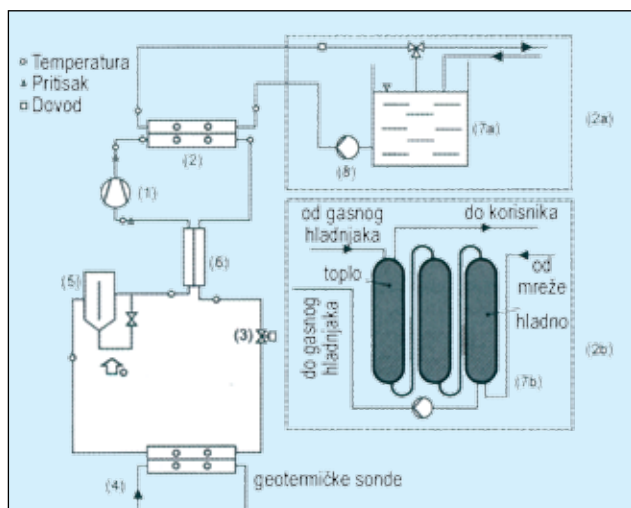
Toplotna pumpa na ugljen-dioksid projektovana je da toplom sanitarnom vodom snabdeva stambeni kompleks, čija je dnevna potreba procenjena na 7,4 m<sup>3</sup> na 50 °C.

Gasni hladnjak je razmenjivač u kome se jednim prolaskom temperatura vode podiže sa temperature mreže na temperaturu skladištenja. Voda se proizvodi na temperaturi višoj od 70 °C i skladišti u stratifikacionom sistemu rezervoara, kao što je predstavljeno na slici 1.

Skladištenje na povišenoj temperaturi omogućava smanjenje zapremine akumulacije i izbegavanje opasnosti vezanih za legionelu, uz zanemarljive energetske penale.

Jedinica veoma slična instaliranoj (osim ako je u ovom slučaju izvor toplote vazduh), isprobana je u laboratoriji, kako bi se proverile njene karakteristike, kao i da bi se detaljno definisala logika kontrole.

Laboratorijske probe biće ilustrovane u nastavku ovoga rada.

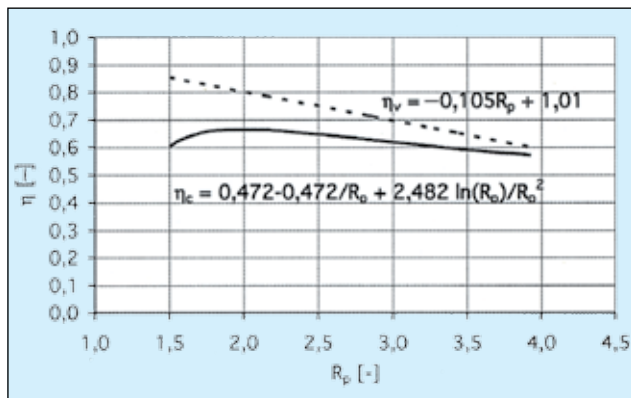


Slika 2. Toplotna pumpa za grejanje sanitarne vode i ciklusi vode (2a probni ciklus; 2b upotrebnii ciklus)

Na slici 2 predstavljena je rashladna šema toplotne pumpe i njeno povezivanje sa ciklusom vode; detalj 2a prikazuje re-

zervoar vode koji je korišćen za probe, dok je sa 2b šematski prikazano ono što je predstavljeno na slici 1, odnosno sistem stratifikovanih rezervoara.

Kompresor (1) je jednostepeni, poluhermetički, sa časovnom zapreminom od 4,3 m<sup>3</sup>/h. Volumetrijska efikasnost i opšta efikasnost kompresije, u odnosu na apsorbovanu električnu snagu, na osnovu podataka dobijenih iz kataloga, predstavljene su na slici 3, zbog odnosa pritiska R<sub>p</sub> između 1,5 i 4.



Slika 3. Volumetrijska efikasnost  $\eta_v$  i ukupna efikasnost kompresije  $\eta_c$  u funkciji odnosa pritiska  $R_p$

Gasni hladnjak je pločasti razmenjivač, projektovan da radi na ugljen-dioksid do 140 bar, uz jedan prolazak ugljen-dioksida i vode suprotno od struje.

Gasni hladnjak ima sistem duplih zidova koji sprečavaju svaku eventualnu kontaminaciju sanitarne vode u slučaju postojanja gubitaka ugljen-dioksida/ulja.

Isparivač je takođe pločasti razmenjivač. Voda koja ulazi u isparivač potiče iz ciklusa geotermičkih sondi.

Akumulator tečnosti (5) smešten je na izlazu iz isparivača, kako bi kompenzovao promene opterećenja u preostalom delu ciklusa. Dolazi i do preteranog napajanja isparivača i višak tečnosti se zajedno sa mazivom skuplja na dnu akumulatora (5), odakle se stalno uklanja i isparava u regenerativnom razmenjivaču (6); to odgovara uobičajenoj slici kontrolisanih transkričnih sistema sa ventilom za regulaciju pritiska isparavanja.

Ciklus vode, kao što je projektovano za instalaciju (slika 2b), uključuje tri serijski vezana kontejnera za skladištenje, svaki od po 600 litara. Donji deo prvog prijemnika povezan je sa gornjim delom drugog itd., odnosno hladni deo prvog za topli deo narednog. Na taj način se skoro potpuno izbegava bilo kakvo mešanje tople i hladne vode.

Gasni hladnjak se napaja hladnom vodom koja potiče iz donjeg dela poslednjeg kontejnera, dok se topla voda na izlazu iz gasnog hladnjaka uvodi u gornji deo prvog kontejnera, odakle se uzima da bi se opslužio sledeći kontejner od 600 litara, preko koga se napaja recirkulativni prsten tople vode (3 na slici 1).

Ovim dopunskim kontejnerom nadoknađuju se gubici izazvani recirkulacijom zbog pregrevanja reverzibilnih uređaja na R134a za grejanje prostora; time se izbegava progresivno hlađenje vode poslate korisnicima i ona se ne mora ponovo grejati pomoću toplotne pumpe na ugljen-dioksid, uz rizik od pogoršanja njenog učinka ili mešanja vode u stratifikacionim kontejnerima.

Primećuje se da je sistem projektovan tako da omogućava distribuciju vode na konstantnoj temperaturi, čak i kada je nivo tople vode u rezervoarima nizak (znači, pred kraj faze

pražnjenja rezervoara), za razliku od konvencionalnih rezervoara za mešanje.

## Kontrola toplotne pumpe na ugljen-dioksid

Svrha toplotne pumpe na ugljen-dioksid je da proizvodi toplu vodu na temperaturi potrebnoj za skladištenje, kao i da to čini na najefikasniji mogući način. Kao što je već pomenuto, gasni hladnjak deluje pri direktnom prolasku vode i zbog toga se izlazna temperatura mora pažljivo kontrolisati, jer određuje temperaturu za akumulaciju u glavnim rezervoarima. Povišenje temperature vode do koga dolazi pri prolasku kroz gasni hladnjak zavisi, zbog određenih uslova isparavanja, od dovoda vode i vrednosti visokog pritiska transkričnog ciklusa na ugljen-dioksid.

Tabela 2. Karakteristike toplotne pumpe

Kompresor (1)	Alternativni poluhermetički jednostepeni kompresor. Časovna zapremina 3,5 m <sup>3</sup> /h
Gasni hladnjak (2)	Razmenjivač sa koloksjalnim cevima (suprotnosmerni). Spoljna cev (CO <sub>2</sub> ) i unutrašnja cev (voda) od čelika.  Glatke cevi. Zona razmene (strana CO <sub>2</sub> ) 0,68 m <sup>2</sup>
Ekspanzioni ventil (3)	Ekspanzioni ventil sa step-motorom
Isparivač (4)	Razmenjivač rebrastih cevi. Zona spoljne razmene 41,1 m <sup>2</sup> , unutrašnje 3,2 m <sup>2</sup>
Niskopritisni akumulator (5)	Akumulator od legumog čelika. Unutrašnja zapremina 0,04 m <sup>3</sup>
Regenerativni razmenjivač (6)	Razmenjivač sa koloksjalnim cevima (suprotnosmerni). Spoljna cev čelična (niskopritisna), unutrašnja cev bakarna (visokopritisna). Cevi glatke. Zona razmene (niskopritisna strana) 0,5 m <sup>2</sup>
Rezervoar vode (7a) – konfiguracija za laboratorijske probe	Plastični kontejner od 1 m <sup>3</sup>
Cirkulaciona pumpa (8)	Centrifugalna pumpa promenljive brzine Maksimalni dovod 325 kg/h

Potrebna vrednost temperature može se postići različitim protocima vode i višim pritiscima ciklusa. Kao i visok pritisak, povišenje protoka vode dovodi do smanjenja temperature ugljen-dioksida na izlazu iz razmenjivača i do povećanja koeficijenta grejanja, kao i sniženja temperature vode na izlazu. Viši pritisak ciklusa nema jednak uticaj na koeficijent grejanja i na temperaturu izlazne vode i zbog toga postoji optimalna vrednost koja energetske efikasnosti procesa čini maksimalnom.

I da bi analiza bila komplikovanija, treba dodati činjenicu da promena snage toplotne pumpe dovodi i do promene temperature isparavanja uređaja, koja zavisi od dimenzija isparivača.

Očigledno je da potreba kontrolisanja isporučene vode i optimizovanja koeficijenta grejanja zahteva kompleksnu logiku regulacije koja je bila predmet detaljnih studija i laboratorijskih proba, sa ciljem utvrđivanja para promenljivih, protoka vode i visokog pritiska, a koji bi garantovali željenu temperaturu distribucije i maksimalni koeficijent grejanja na toj temperaturi.

Regulacija deluje na pumpu za cirkulaciju vode, kako bi izmenila isporučeni protok i na ekspanzioni ventil regulisanim visokog pritiska. Protok vode menja se pomoću PID kontrole: temperatura vode upoređuje se sa podešenom vrednošću, a brzina pumpe posledično se menja kako bi se umanjila razlika između dve vrednosti. Istovremeno, re-

gulaciona logika može izračunati koeficijent grejanja u zavisnosti od nekoliko izmerenih parametara i visokog pritiska ciklusa na maksimalnu vrednost, regulacionom procedurom adaptativnog tipa.

Regulaciona logika koristi matematički model realnog sistema kako bi procenila koeficijent grejanja na osnovu ograničenog broja parametara očitanih tokom rada, a to su visok pritisak, izlazna temperatura rashladnog fluida iz gasnog hladnjaka i pritisak isparavanja.

Polinom sa deset koeficijenata izražava koeficijent grejanja u funkciji dve promenljive (visok pritisak, izlazna temperatura rashladnog fluida iz gasnog hladnjaka), a koeficijenti su izraženi u funkciji pritiska isparavanja.

## Probni ciklus

Karakteristike toplotne pumpe isprobane u laboratoriji, a koja se može pripisati šemi na slici 2, uz varijantu da je isparivač za hlađenje vode (4) zamenjen rebrastim cevima, navedene su u tabeli 2.

Kružni tok vode, poput onoga na slici 2, napaja se direktno iz vodovoda i odvodi u atmosfersku kanalizaciju; hladna voda, drenirana sa dna akumulacije, ulazi u gasni hladnjak, dok se topla voda može odvesti ili delimično ponovo ubaciti u akumulaciju da bi regulisala temperaturu imisije.

Cirkulaciona pumpa (8), postavljena na ulazu u gasni hladnjak, opremljena je stalnim regulatorom brzine; maksimalni protok vode u ciklusu je 325 kg h<sup>-1</sup>.

Toplotna pumpa i kružni tok vode opremljeni su sensorima za temperaturu i pritisak, kao što je obeleženo na slici 2.

Merenje temperature i pritiska obavlja se instrumentom „agilent 34970A”, koji je opremljen dvama modulima 34901A-20. Procenjuje se da je tačnost merenja temperature koja se obavlja termoparom tipa T ± 1,5 °C. Pritisak se meri ispred i iza kompresora, pomoću dva magnetna pojačivača pritiska „huba control” čije je merno polje 0–60 barg i 0–160 barg. Tačnost ovih instrumenata je ± 0,5% FS. Konačno je dovod vode izmeren ručno, kućnim meračem, u intervalu od otprilike 10 minuta i procenjenom preciznošću od ± 0,02 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

## Eksperimentalni rezultati

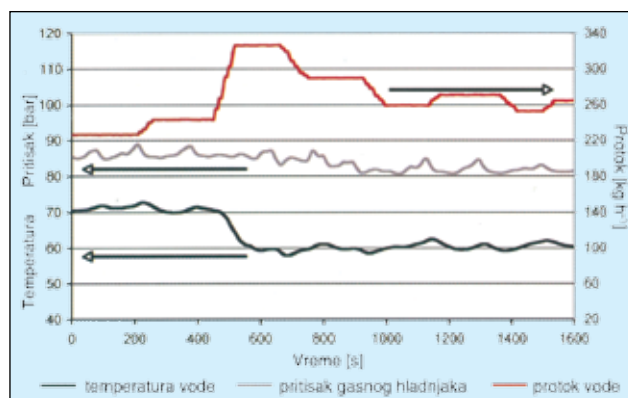
Toplotna pumpa isprobana je u laboratoriji prvenstveno da bi se proverio kapacitet sistema da pronađe optimalne operativne uslove pri promeni temperature vode. Na operativne uslove, naime, utiče temperatura vode u mreži, kao i temperatura sekundarnog fluida isparivača, a koji je u slučaju laboratorijskih proba spoljni vazduh, dok će kod geotermičkih sondi koje će na kraju biti instalirane, to biti mešavina antifrizna koja će cirkulisati.

Tokom testova, obavljenih u periodu april–jun 2008. godine, temperatura vode u mreži bila je prilično visoka, prosečno oko 20°C, dok se spoljni vazduh kretao oko 22°C. U ovakvim operativnim uslovima, zadata vrednost vode varirala je od 60 °C do 70 °C, u intervalima od 5 °C. Kao što se vidi u podacima u tabeli 3, odgovor sistema bio je zado-

voljavajući: dovod vode menjan je tako da postigne i održi prethodno utvrđene vrednosti temperature izlazne vode, dok je vrednost visokog pritiska menjana do postizanja maksimalnog koeficijenta grejanja. Variranje kapaciteta, vezanog za varijacije izlaznih uslova iz gasnog hladnjaka, utiče na temperaturu isparavanja.

Vrednosti kapaciteta i efikasnosti grejanja dobijene su na osnovu krive učinka kompresora u efektivnim operativnim uslovima.

Odgovor sistema na promenu zadate vrednosti temperature vode uvek je odgovarajući, uz brzo prigušene oscilacije pre stabilizacije novih operativnih uslova. Na slici 4 prikazan je tipičan odgovor sistema na varijaciju od 10 °C zadate vrednosti vode.



Slika 4. Odgovor sistema na promenu zadate vrednosti vode sa 70 °C na 60 °C

## Rerverzibilni rashladni uređaji sa R134a

Stambeni kompleks opremljen je dvama reverzibilnim rashladnim uređajima sa R134a za letnju i zimsku klimatizaciju. Rashladna šema pojedinačnog hladnjaka/toplotne pumpe prikazana je na slici 5.

Svaki uređaj opremljen je sa dva (1) alternativna poluhermetička kompresora ukupne časovne zapremine od 71 m<sup>3</sup>/h povezana paralelno.

Pločasti razmenjivač (2), pri bilo kom načinu rada, nadoknađuje veliki deo toplote pregrevanja u korist tople sanitarne vode, nadoknađujući na taj način rasipanje ciklusa i distributivnog rezervoara (3 na slici 1). Pri radu leti, toplota kondenzacije oslobađa se putem razmenjivača (4).

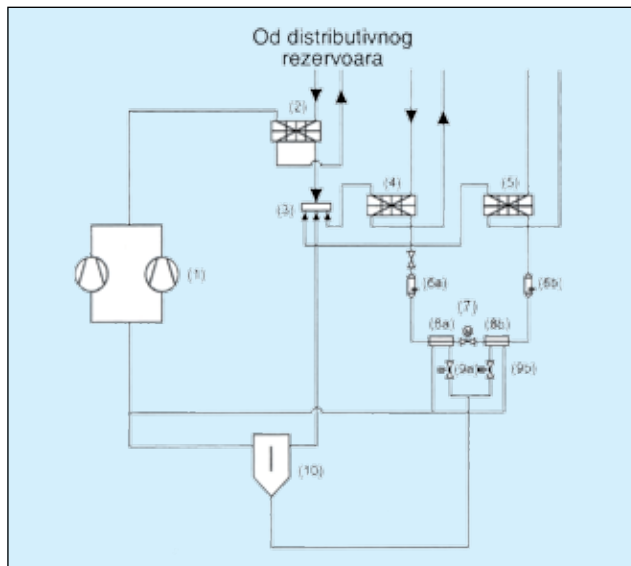
Prigušni ventil (7) reverzibilnog tipa koji napaja isparivač (5), kontroliše signal nivoa tečnosti visokog pritiska (6a), mada prethodno navedeni razmenjivač radi sa direktnim prolaskom fluida, kao tradicionalni isparivači sa suvom ekspanzijom; iza isparivača, na liniji usisa kompresora, predviđen je akumulator – separator tečnosti (10), sa funkcijom kompenzacione komore za poremećaje nastale varijacijom zadržavanja rashladnog fluida u različitim komponentama ciklusa; tečnost se, zajedno sa uljem, izvlači sa dna akumulatora i šalje u regenerativni razmenjivač (8a) kroz ventil (9a), gde isparava hladeći tečnosti pre ekspanzionog ventila (7). Ulje se distribuira podjednako u oba kompresora, zahvaljujući odgovarajućoj konstrukciji kolektora.

U radu zimi, uloga pločastih razmenjivača (4) i (5), pored senzora nivoa (6a i 6b), razmenjivača (8a

Tabela 3. Eksperimentalni rezultati

T vode (zadato)	T ulazne vode	T izlazne vode	Pritisak gasnog hladnjaka	Protok vode	T isparavanja	Učink gasnog hladnjaka	Koeficijent grejanja
[°C]	[°C]	[°C]	[bar]	[kg h <sup>-1</sup> ]	[°C]	[kW]	[-]
60	19,8	60,2	82,8	276,8	10,6	17,3	4,89
65	20,0	65,6	86,0	255,6	10,7	16,7	4,50
70	20,6	71,3	87,8	237,4	13,4	15,6	4,18

i 8b) i ventila (9a i 9b), izmenjena je, zahvaljujući četvorokrakom ventilu (3).



Slika 5. Šema reverzibilnog rashladnog uređaja sa R134a

Poseban i inovativni sistem usvojen za prigušenje omogućava napajanje preplavljivanjem isparivača sa direktnom ekspanzijom, povećavajući mu na taj način učinak; treba imati u vidu da dovod tečnosti izvučene iz akumulatora (10) po principu kontinuiteta odgovara, kao prosečna vrednost u vremenu, protoku tečnosti na izlazu iz isparivača i određuje joj učešće u toj tečnosti. Naime, nedovoljno hlađenje tečnosti na ulazu u prigušni ventil (7) omogućava smanjenje udela rashladnog fluida koji se šalje u isparivač, ograničavajući tako probleme distribucije koji su tipični za pločaste razmenjivače.

## Zaključci

Detaljno je analizirana topotna pumpa za grejanje sanitarne vode koja radi na principu transkritičnog ciklusa sa ugljen-dioksidom. Takav uređaj se upravo instalira u jednom stambenom kompleksu koji koristi fotonaponske i geotermičke sisteme kao izvore obnovljive energije. Efikasnost toplotnih pumpi u suštini zahteva dva uslova:

a) upotrebu razmenjivača u kome se voda zagreva sa temperature mreže na temperaturu skladištenja, jed-

nim polaskom kroz gasni hladnjak; samo na taj način se obezbeđuje minimalna vrednost temperature rashladnog fluida na ulazu u uređaj za prigušenje, od koga umnogome zavisi koeficijent grejanja ciklusa;

b) optimizaciju natpritisaka ciklusa.

Koeficijent grejanja, osim od vrednosti visokog pritiska, zavisi i od temperature isparavanja i temperature hlađenja na izlasku iz gasnog hladnjaka; u ovim uslovima samo kontrola adaptativnog tipa može proceniti efekat varijacije visokog pritiska i povezanih promenljivih na energetske efikasnost, u vezi sa kontrolisanom temperaturom vode na izlazu iz gasnog hladnjaka.

Konstruisana je probna jedinica za eksperimentalnu proceduru sistema kontrole koji može održavati konstantnom temperaturu vode, istovremeno održavajući pritisak u gasnom hladnjaku koji garantuje najbolju efikasnost.

Izvršene eksperimentalne probe potvrdile su neospornost koncepta uređaja, njegove dimenzije i logiku regulacije operativnih promenljivih.

Funkcionalni podaci koji će biti dobijeni u dužem vremenskom periodu omogućiće utvrđivanje energetske potrošnje u uslovima korišćenja i proveru podobnosti izabranog rešenja u vezi sa tipom stambenog kompleksa i lokacije, prvenstveno u pogledu proizvodnje tople sanitarne vode.

## Literatura

- [1] **Cecchinato, L., M. Corradi, E. Fornasieri, L. Zamboni**, 2005, *Carbon dioxide as refrigerator for tap water heat pumps: A comparison with the traditional solution*, Int. J. Refrigeration, Vol. 28(8): 1250–1258.
- [2] **Fornasieri, E. S. Giroto, S. Minetto**, 2008, *CO<sub>2</sub> heat pump for domestic hot water*, 8th IIR Gustav Lorentzen Conference, 7–10 Settembre, Copenhagen.
- [3] **Lorentzen, G.**, 1994, *Revival of carbon dioxide as a refrigerant*, Int. J. Refrigeration, Vol. 17(5): 293–301.
- [4] **Nekså, P., H. Rekstad, G. Zakeri, P. A. Schiefloe**, 1998, *CO<sub>2</sub> – heat pump water heater: characteristics, system design and experimental results*, Int. J. Refrigeration, Vol. 21(3): 172–179.
- [5] **Nekså, P.**, 2002, *CO<sub>2</sub> heat pump systems*, Int. J. Refrigeration, Vol. 25/4: 421–427.
- [6] **Rieberer, R. G. Kasper, J. Halozan**, 1997, *CO<sub>2</sub> – a chance for once through heat pump heaters, CO<sub>2</sub> technology in refrigeration, heat pumps and air conditioning systems*, IEA Heat Pump Centre, Trondheim, Norway.

kgH

# Airtrend

Limited

# GOBRID

Limited

**TOSHIBA** AIR CONDITIONERS

GebhardtVentilatoren

**spirax sarco**

**FläktWoods**

**HYGROMATIK**

air curtain design

**Rycroft Ltd**

**ÖSTBERG**

CRANE fluid systems

**HEATEX**

**VORTICE**

**Thermocold**

**BONNEY FORGE** Valve Licensee

Predstavništvo u Beogradu  
Kumanovska 14, 11000 Beograd,  
Tel: +381 11 383 68 86, 308 57 40  
Fax: +381 11 344 41 13  
E-mail: gobrid@eunet.rs  
www.airtrend.rs • www.gobrid.rs  
www.toshiba-klima.rs  
www.toshiba-estia.rs

Представительство в Москве  
проспект Мира, д. 74, стр. 1, офис 154  
129110 Москва  
Тел: (495) 981-1002  
Факс: (495) 981-1003  
E-mail: gobrid@online.ru

Kumanovska 14, 11000 Beograd,  
Tel: +381 11 308 57 40  
Fax: +381 11 344 41 13  
E-mail: office@kovent.rs  
www.kovent.rs