

Primena toplotnih pumpi u sistemima klimatizacije

Danilo Kuprešanin
Branislav Todorović*

Današnji standard i kompleksne tehnološke operacije zahtevaju određene, precizne klimatske uslove sredine tokom cele godine. Rastuća energetska oskudica u svetu postavlja kao imperativ uslov ekonomičnosti — što manje troškove rada svih tehničkih postrojenja.

U oblasti klimatizacije, oba ova uslova uspešno zadovoljavaju sistemi koji primenjuju toplotne pumpe.

Toplotna pumpa, kao sredstvo uštede, može da nađe primenu u gotovo svim klimatizacionim sistemima koji se danas koriste. U okviru vazдушnih sistema, toplotna pumpa, u kombinaciji sa regenerativnim izmenjivačem toplote, koristi se za iskorišćenje toplote otpadnog vazduha. Kod dvokanalnih sistema toplota kondenzacije, koju daje rashladni proces kojim se hladi vazduh u hladnom kanalu, može da se koristi za grejanje vazduha u toplom kanalu. Kod vodeno-vazдушnih i vodenih sistema, toplotna pumpa se primenjuje za pripremu vode ili vazduha koji se ubacuje u prostorije opet koristeći neki vid toplote koji bi, da se ne koristi toplotna pumpa, bio nepovratno izgubljen. Pored sopstvene toplote, sistemi mogu da koriste prirodne i veštačke izvore toplote kao i toplotu sunčevog zračenja, ali osnovni princip na kome se zasniva rad i primena toplotnih pumpi je princip povraćaja toplote.

Međutim, toplotna pumpa ne mora da bude samo pomoćno sredstvo u okviru nekog sistema, već može da bude osnovni uređaj na kome se bazira rad sistema. Danas se koriste klimatizacioni sistemi s toplotnim

pumpama i mogu da budu vazdušni, vodeno-vazdušni ili samo vodeni. Takvi sistemi našli su široku primenu u SAD, a poslednjih godina je i u Evropi razvijen sistem koji se sve više primenjuje i koji će biti detaljno analiziran u ovom članku.

KOEFICIJENT GREJANJA I NE-DOSTACI TOPLOTNE PUMPE

Toplotna pumpa je rashladna instalacija sa reverzibilnim tokom rashladnog fluida. Kod nje je primarna toplota kondenzacije, i koristi se za grejanje.

Korisna toplota dobijena toplotnom pumpom je:

$$Q_k = Q_o + AL$$

gde je:

- Q_k — količina toplote odvedena iz kondenzatora,
- Q_o — količina toplote dovedena iz sredine u kojoj se nalazi isparivač,
- AL — ekvivalentni mehanički rad kompresora.

Kao kriterijum za ocenu procesa definiše se koeficijent grejanja. Za idealan ciklus bio bi:

$$\epsilon_c = \frac{Q_k}{AL} = \frac{Q_k}{Q_k - Q_o} = \frac{T}{T - T_o}$$

(T — temperatura grejanog tela; T_o — temperatura izvora toplote.)

Odavde se vidi da je ekonomičnost toplotne pumpe utoliko veća što je temperatura izvora toplote T_o viša, a temperatura grejanog tela (ponora) što niža. Što je manja razlika $T - T_o$, manji je potreban rad za pogon toplotne

pumpe, pa je koeficijent grejanja veći. Koeficijent grejanja uvek je veći od 1 i veći je od koeficijenta hlađenja ϵ_{re} :

$$\epsilon_c = \frac{Q_k}{AL} = \frac{Q_o + AL}{AL} = \frac{Q_o}{AL} + 1 = \epsilon_{re} + 1 = \frac{T}{T - T_o}$$

Neki autori nazivaju ga koeficijentom pojačanja.

Međutim, stvarni ciklus rashladne mašine znatno se razlikuje od idealnog, pa je realni koeficijent grejanja samo deo teorijskog.

$$\epsilon_{stv} = a \frac{T}{T - T_o}$$

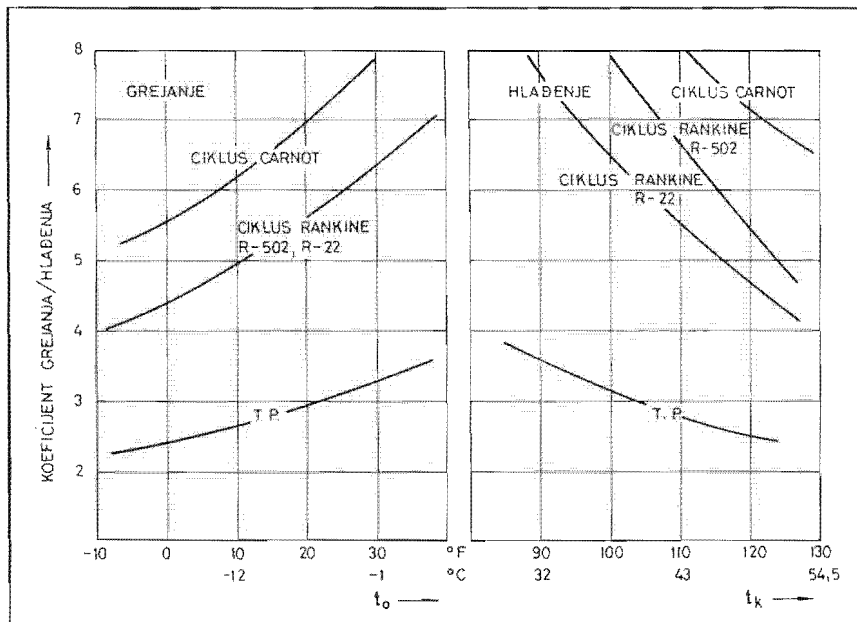
gde je a koeficijent koji zavisi od tipa mašine, upotrebljenog rashladnog fluida, kvaliteta razmenjivača i temperature isparavanja i kondenzacije. Obično se kreće u granicama 0,45—0,65 (0,25—0,75).

Na sl. 1. vidi se zavisnost koeficijenta grejanja od spoljnih uslova.

Kod niskih spoljnih temperatura potrebna je viša temperatura vode za grejanje, tj. viša temperatura kondenzacije. To daje veću temperatursku razliku $T - T_o$ i smanjuje koeficijent grejanja. U prelaznim periodima potrebna je niža temperatura zagrevnog medijuma, pomenuta temperaturska razlika opada a koeficijent grejanja raste. Prema tome, koeficijent grejanja toplotne pumpe najmanji je kada je zahtev za toplotom u prostoriji koja se greje, najveći, tj. za istu unutrašnju temperaturu koeficijent grejanja toplotne pumpe

* Danilo Kuprešanin, dipl. ing. i prof. dr. Branislav Todorović, dipl. ing., Mašinski fakultet, Beograd

Sl. 1.



pe smanjuje se kada spoljašnja temperatura opada.

Pored ovog nedostatka toplotnih pumpi nastaje još jedan — pri izmeni toplote spoljni vazduh — rashladni medijum i vezan je za zimski režim rada. To je pojava leda na spoljnom izmenjivaču toplote. Da bi se to pojava otklonila mora da se utroši dodatna količina toplotne energije, pa se još više snižava koeficijent grejanja. Za stvaranje leda na spoljnom razmenjivaču toplote najkritičniji je temperaturski interval od +5 do -5 °C spoljnog vazduha, jer pri tim temperaturama spoljni vazduh ima još prilično veliku apsolutnu vlažnost, pa je količina stvorenog leda dovoljno velika da zatvori prolaz vazduhu kroz isparivač. Ova pojava čini upotrebu toplotnih pumpi zavisnom od spoljnih uslova.

Ovi problemi velikim delom su rešeni upotrebom toplotnih pumpi u okviru sistema Versatemp.

SISTEM VERSATEMP

Poznata firma *Temperature Ltd.* iz Londona, patentirala je poseban sistem klimatizacije — sistem *Versatemp*.

Sistem je prihvaćen u mnogim evropskim zemljama i do sada je ugrađeno u razne objekte blizu 40 000 ovih klimatizacionih aparata.

Sistem Versatemp je decentralizovan sistem. Njegov rad bazira se na principu očuvanja, povraćaja toplotne energije. Sistem koristi male toplotne pumpe, i uz niz prednosti nad klasičnim klimatizacionim sistemima, pruža velike uštede u energiji, pa mu je utoliko veći značaj u vreme današnje rastuće ekonomske krize.

Sistem s malim toplotnim pumpama može da se definiše kao klimatizacioni sistem koji je sposoban da, koristeći oslobođenu toplotu unutar zgrade od osvetljenja, ljudi, mašina i toplotu sunčevog zračenja, delimično ili potpuno zadovolji promenljive zimske potrebe za grejanjem zgrade.

Princip povraćaja, obnavljanja toplote sprovodi se višestruko ali znatan uticaj na to ima klima, odnosno doba godine. U toku prelaznih perioda čest je slučaj da osunčana strana zgrade zahteva hlađenje, a deo zgrade u senci grejanje. Sistem Versatemp omogućuje prebacivanje suviše toplote iz prostorija sa osunčane fasade u prostorije koje su u senci. Ukoliko je pri tome ispunjen uslov jednakih toplotnih opterećenja, grejanja i hlađenja, u celoj zgradi postižu se ugodni uslovi a da pri tome nisu korišćeni ni kotlovske postrojenje ni rashladna kula. Uslovi ugodnosti postižu se uz minimalne troškove

za pokretanje kompresora i pumpi.

Savremena arhitektonska rešenja koriste poboljšane građevinske izolacione materijale, posebno i dvostruko zastakljenje, specijalne spoljne zaštite od sunca. To rezultira manjom zavisnošću gubitaka i dobitaka toplote od spoljnih uslova. U poslovnim zgradama usvaja se veća snaga osvetljenja a u upotrebi je niz kancelarijskih električnih mašina i uređaja. U zgradama se stvara velika količina toplote. Često, i u zimskom periodu, prostorije s centralnim položajem zahtevaju hlađenje. Može da se stvori dovoljna količina toplote unutar zgrade, da se njom nadoknade toplotni gubici perifernih prostorija. Tako se veliki deo toplote, koja bi inače bila izgubljena, koristi ponovo.

Dodatni povraćaj toplote moguće je ostvariti i korišćenjem rekuperativnih ili regenerativnih razmenjivača toplote u odvodnom vazдушnom kanalu.

KLIMATIZACIONI APARAT VERSATEMP

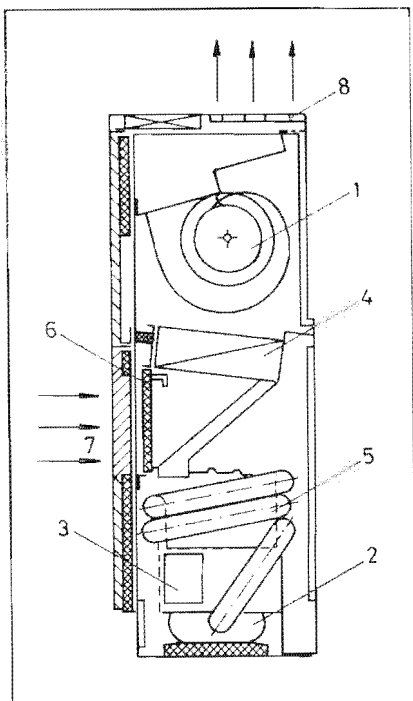
Sastavni delovi i princip rada

Sistem Versatemp objedinjuje neograničen broj malih toplotnih pumpi. Svaki klimatizacioni aparat je toplotna pumpa, koji nezavisno od ostalih toplotnih pumpi, greje, hladi vazduh ili vrši samo cirkulaciju vazduha u prostoriji, već prema potrebi.

Sve klimatizacione jedinice povezane su dvocevnim vodenim kolom konstantne temperature. Na slici 2. vidi se presek klimatizacionog aparata Versatemp. Ove kompaktne jedinice sadrže kompresor, hermetički zatvoren, isparivač, kondenzator, uređaj za distribuciju vazduha i kompletnu automatiku.

Ventilator je dvobrzinski, obično izveden za radijalni tok vazduha. Istrujni otvori su u obliku rešetki sa pokretnim lopaticama ili od elemenata sa nepomičnim lopaticama pod nekim uglom prema vertikali. Ovi elementi postavljaju se tako da usmeravaju struju vazduha prema prostoriji, prema prozoru ili levo i desno, prema potrebi. Kom-

Sl. 2; 1 — ventilator; 2 — kompresor; 3 — ventil za prebacivanje; 4 — isparivač (hlađenje), kondenzator (grejanje); 5 — kondenzator (hlađenje); 6 — filter; 7 — usis vazduha; 8 — rešetke za izbacivanje vazduha.



presor je postavljen u donjem delu aparata. Postoje dva izmenjivača toplote. Jedan izmenjivač toplote je spiralni, tipa cev u cev. U njemu se vrši razmena toplote između vode i rashladnog fluida. Postavljen je niže, u donjem delu aparata. Originalan mu je naziv vodeni izmenjivač (water coil). Drugi izmenjivač toplote je tipa orebrene cevi, i kao i cela instalacija u aparatu, i on je od bakra (rebra od Al), jer se ovde koriste kao rashladni fluidi freoni. Razmena toplote vrši se između rashladnog medijuma i vazduha koji se ubacuje u prostoriju. Originalan naziv mu je sobni izmenjivač (room coil). Ovi izmenjivači toplote imaju uloge isparivača i kondenzatora i menjaju ih u zavisnosti od funkcije klimatizacionog aparata. Na prednjoj strani aparata nalazi se usisna rešetka i filter. Prigušivanje rashladnog fluida ostvaruje se kapilarnom cevi. A pored kompresora, pri dnu aparata, nalazi se ventil za prebacivanje, četvorokraki. Od položaja u kome se on nalazi zavisi da li aparat radi po rashladnom ciklusu toplotne pumpe — zagrev-

nom. Tu su još regulacioni i zaštitni elementi.

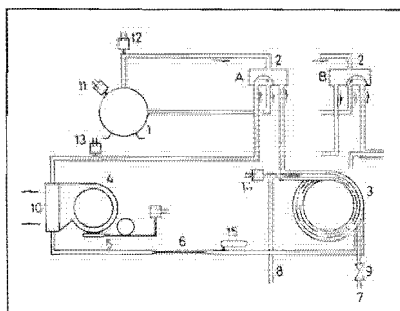
Svaki klimatizacioni aparat ima svoj termostat, prekidač (on /off), prebacivač brzina ventilatora. Primjenjeno je automatsko regulisanje; kada dostigne željenu temperaturu nastavlja rad samo ventilator, obezbeđujući tako stalnu cirkulaciju vazduha. Uređaji automatske zaštite osiguravaju kompresor od prevelikog pritiska, nenormalno niske temperature ili preopterećenja motora. Svaki aparat ima električni priključak.

Na slici 3. dat je šematski prikaz rada instalacije klimatizacionog aparata za letnji (A) i zimski (B) režim rada.

Kada klimatizacioni aparat radi po rashladnom ciklusu, ventil za prebacivanje je u položaju A; tok rashladnog fluida označen je strelicama. Sobni izmenjivač toplote ima funkciju isparivača a vodeni izmenjivač toplote radi kao kondenzator.

Suvišnu toplotu u prostoriji prima rashladni fluid u isparivaču i na račun nje isparava. Toplota kondenzacije, u spiralnom izmenjivaču toplote, predaje se vodi koja preko cevne mreže spaja sve aparate. Na izlazu iz vodenog izmenjivača toplote voda je s višom temperaturom od one, regulacijom postavljene, na ulazu. Na taj način prekomerna

Sl. 3; 1 — kompresor; 2 — ventil za prebacivanje; 3 — vodeni razmenjivač toplote; 4 — uređaj sa ventilatorom za ubacivanje vazduha; 5 — sobni termostat; 6 — kapilar-prigušni organ; 7 — ulaz vode; 8 — izlaz vode; 9 — regulacioni protočni ventil; 10 — sobni izmenjivač toplote; 11 — sigurnosni isključivač kompresora; 12 — presostat; 13 — granični termostat; 14 — granični termostat; 15 — skupljač; A — hlađenje (letnji režim); B — grejanje (zimski režim).



toplota iz prostorije predata je vodi — posrednom medijumu.

U zagrevnom ciklusu ventil za prebacivanje je u položaju B. U odnosu na izmenjivače toplote suprotan je tok rashladnog fluida, a izmenjivači toplote zamenili su uloge. Vodeni izmenjivač preuzima ulogu isparivača — oduzima toplotu vodi. Na osnovu nje vrši se isparavanje rashladnog fluida, koji posle sabijanja u kompresoru, dolazi u sobni izmenjivač toplote. Vazduh, potiskivan ventilatorom, prolazi između lamela ovog isparivača i prima toplotu kondenzacije. Tako se potrebna količina toplote oduzima vodi i predaje vazduhu u prostoriji, povišavajući mu temperaturu do željene. U ovom slučaju voda ulazi u izmenjivač s regulisanom konstantnom temperaturom ali ga napušta sa sniženom temperaturom.

SISTEM VERSATEMP

Sistem Versatemp čine toplotne pumpe projektovane kao agregatne klimatizacione jedinice koje su sve povezane vodenim kolom kontrolisane konstantne temperature.

Slika 4. predstavlja sistem, a na slici 5. data je šema regulisanja.

U sistem su uključena tri odvojena, zasebna vodena kola:

— zatvoreno vodeno kolo konstantne regulisane temperature, na koje su priključeni svi klimatizacioni aparati;

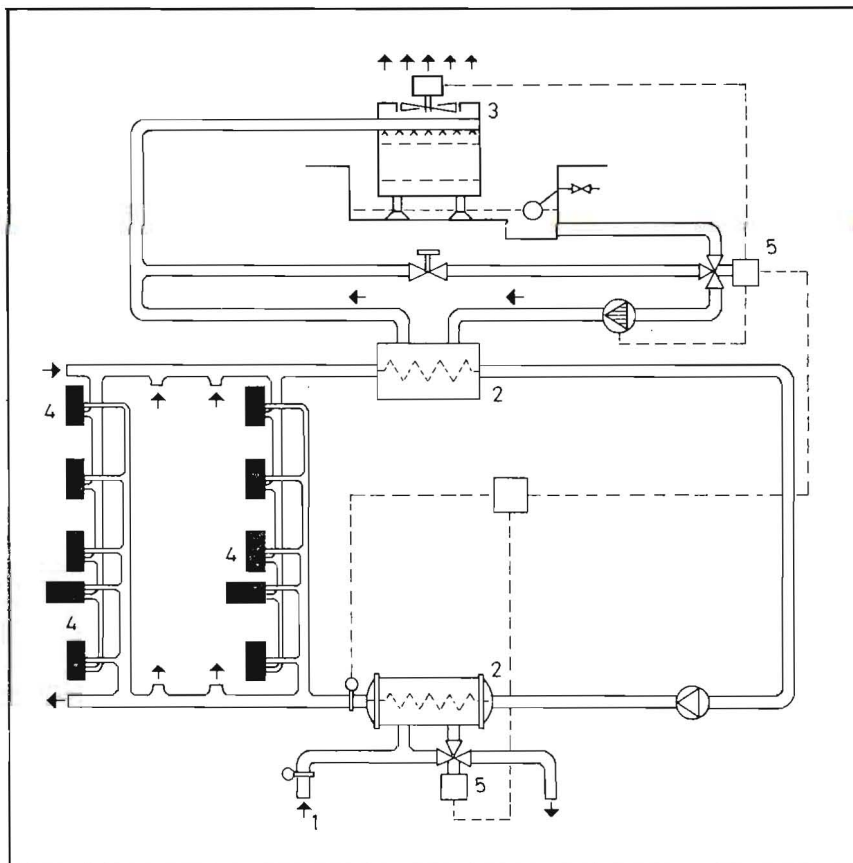
— kolo tople vode snabdeveno izvorom toplote i izmenjivačem toplote;

— kolo hladne vode koje uključuje kulu za hlađenje ili neko drugo sredstvo hlađenja, i izmenjivač toplote. Izmenjivač toplote može da izostane iz kruga hladne vode, ako se primeni rashladna kula s indirektnim dejstvom.

Kolo vode (prvo) naziva se Versatemp kolo ili primarno. Voda u njemu ima ulogu posrednika za prenos toplotne energije, a u isto vreme i u neku ruku, akumulatora toplote.

Temperatura vode primarnog kola održava se konstantnom. Nivo temperature vode zavisi od letnje spoljne projektne temperature po vlažnom termometru, a mora da se vodi računa i o

Sl. 4; 1 — dovod tople vode; 2 — izmenjivač toplote; 3 — rashladna kula; 4 — klimatizacioni aparat; 5 — automatski vnešni ventil.



temperaturi tačke rose u uslovi- ma korišćenja sistema. Naime, pri hlađenju u rashladnoj kuli teorijska granica hlađenja vode je temperatura vazduha, koji struji kroz kulu, po vlažnom termometru. U praksi, ona se ne dostiže. Takođe, temperatura vode ne sme da se spušta ispod temperature tačke rose, da ne bi došlo do kondenzacije vlage iz vazduha na neizolovanim delovi- ma cevovoda.

Temperatura vode mora da bude dovoljno niska da primi toplotu kondenzacije, a kako je moguće da u jednom objektu bude i prostorija koje zahtevaju grejanje i onih sa potrebama hlađenja, ona u isto vreme treba da bude dovoljno visoka da bi odala potrebnu toplotu za isparavanje rashladnog fluida u isparivačima aparata koji rade po rashladnom ciklusu.

Iz tih razloga temperatura vode primarnog kola može da ima vrednosti 18—35°C, zavisno od uslova. Obično je ona između tih vrednosti, pa nije potrebno izolovati cevi.

Leti, ili tokom drugih toplih perioda godine, kada većina klimatizacionih aparata radi po rashladnom ciklusu, suvišna toplota predaje se vodi primarnog kola. Po registrovanju povišenja temperature vode, termostat Tw1 pokreće pumpu kule za hlađenje i ventilator Dwl (sl. 5). Višak toplote koji je primilo primarno kolo rashladnom kulom odvodi se u atmosferu.

Za vreme hladnih dana, kada većina klimatizacionih aparata greje, približno 1/3 ukupnih toplotnih gubitaka pokriva se toplotom koju odaje kompresor u radu. Preostala potrebna količina toplote dovodi se u vodeno kolo, od izvora toplote preko razmenjivača toplote. U ovom slučaju toplotne gubitke nadoknađuje parni kotao.

Pod određenim uslovima, u prelaznim periodima godine, dostiže se stanje ravnoteže. Broj klimatizacionih aparata koji radi po rashladnom ciklusu, približno je jednak broju aparata koji greju. Tada prvi predaju toplotu kondenzacije vodenom kolu i ona je gotovo jednaka količini

toplote koju drugi crpe iz vodenog kola. Tako dolazi do izmene toplote između pojedinih zona zgrade i postiže se da temperatura dovodne vode bude jednaka temperaturi povratne vode, te su van pogona i proizvođač toplote i rashladna kula (sl. 6).

Karakteristično je da nikada nisu istovremeno u pogonu rashladna kuća i kotao, što se često događa kod konvencionalnih klimatizacionih sistema u prelaznom periodu. Pošto u toku najdužeg dela godine vlada ravnoteža između pojedinih zona zgrade, uzimajući u obzir i sve unutrašnje izvore toplote, to su dodatno grejanje i rashladna kula veoma kratko vreme u pogonu.

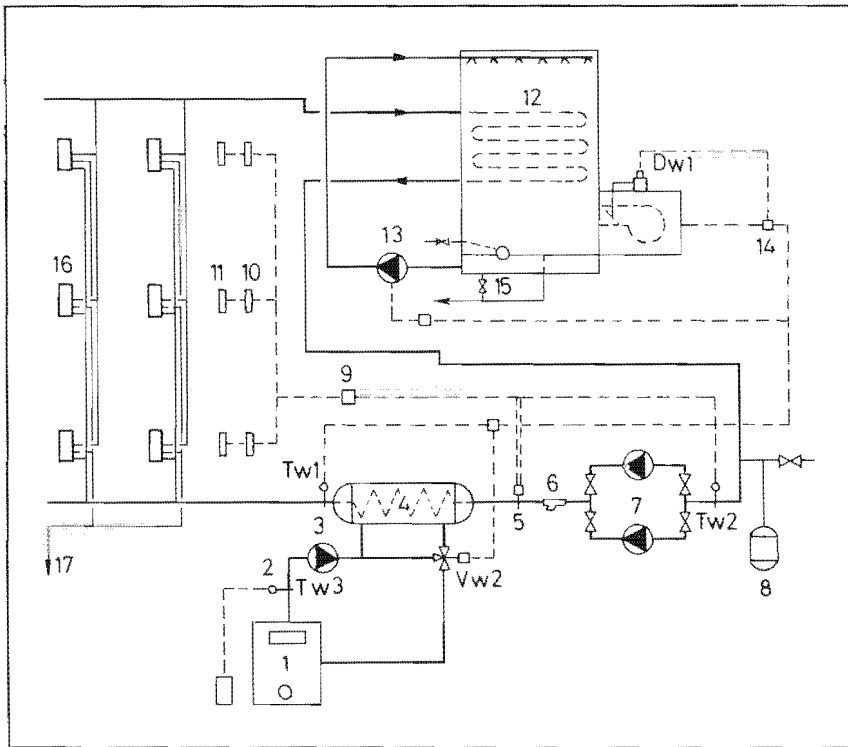
U celom objektu grejanje ili hlađenje svih prostorija trenutno je moguće preko cele godine. Za tu svrhu nije potrebno vršiti zoniranje sistema. Svaki klimatizacioni aparat radi potpuno nezavisno od drugih i ima svoj termostat. Za veće prostorije ili pri upotrebi plafonskih modela, moguće je da se svi aparati u prostoriji priključe na jedan termostat, zajednički za sve aparate u grupi. Prisutni u prostoriji mogu po želji da odaberu uslove: temperaturu, da li da aparat hladi ili greje ili samo da provetrava i da izaberu jednu od dve brzine ventilatora.

Termostat Tw1 (sl. 5) ima zadatak da održava konstantnu temperaturu vode koja napušta izmenjivač toplote. To postiže otvaranjem ventila za toplu vodu Vw2 i prekidanjem rada kule za hlađenje ili, obrnuto, otvaranjem regulatora protoka za vazduh kule za hlađenje i puštanjem u rad njene cirkulacione pumpe, a zatvaranjem ventila za toplu vodu. Termostat Tw2 isključuje snabdevanje klima aparata strujom u slučaju da se temperatura povratne vode spusti na 15°C. Kontrolor protoka (5) isključuje dotok električne struje klima aparatima u slučaju da protok vode padne na 60% od nominalnog. Termostat Tw3 održava potrebnu temperaturu izlazne kotlovske vode.

Priprema vazduha. Svež, odnosno, pripremljen vazduh može da se dovede u klimatizovan prostor na dva načina:

1) direktno u klimatizacioni aparat, ili

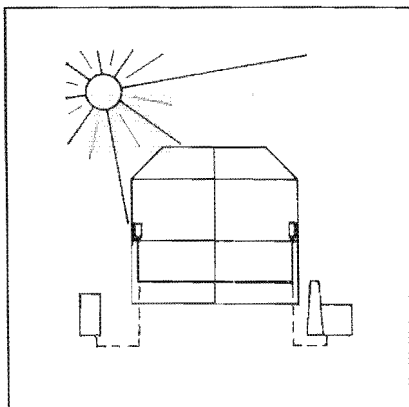
Sl. 5; 1 — kotao; 2 — regulacioni termostat na izlazu iz kotla; 3 — razvodna pumpa tople vode; 4 — izmenjivač toplote; 5 — kontrola protoka; 6 — filter; 7 — pumpa; 8 — ekspanzioni sud; 9 — relej; 10 — električni prekidač; 11 električni osigurač; 12 — rashladna kula; 13 — pumpa; 14 — prekidač ventilatora rashladne kule; 15 — odvod i preliv; 16 — Versatemp klimatizacioni aparat; 17 — odvod kondenzata.



2) u klimatizovan prostor nezavisno od klimatizacionog aparata.

Primarni vazduh može da se uvodi direktno kanalskom mrežom u klimatizacionu jedinicu. U tom slučaju je svaki aparat snabdeven elastičnom cevi koja se priključuje na vazдушnu kanalsku mrežu. Međutim, čest je slučaj da se aparat, koji je postavljen uz spoljni zid, kratkom vezom kroz zid, svež spoljni vazduh, kroz filtriran ulaz, ubacuje u aparat. Ovo ima nesumnji-

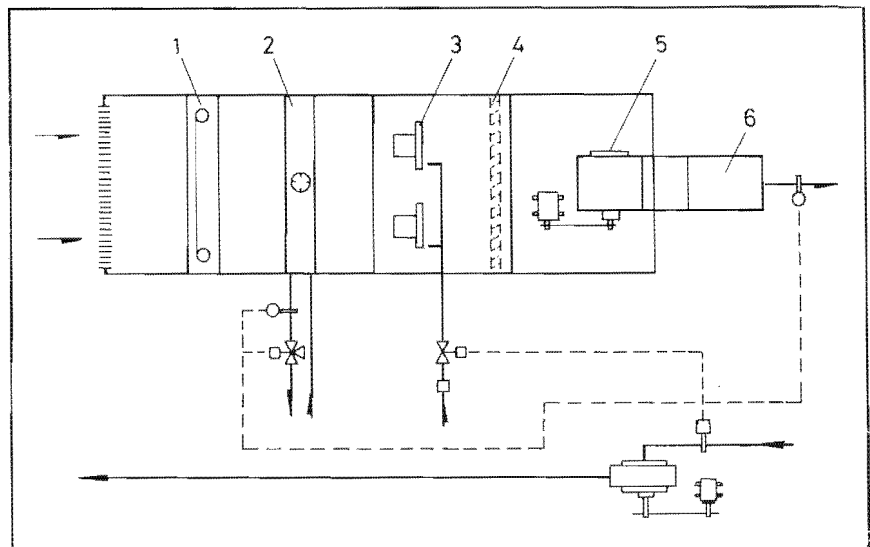
Sl. 6.



vu prednost pri uvođenju klimatizacije u stare zgrade. Uslov je da spoljni vazduh zadovolji određene zahteve u pogledu zagađenosti.

Prostorije, klimatizovane sistemom Versatemp, obično se snabdevaju pripremljenim, primarnim vazduhom iz centralne

Sl. 7; 1 — automatski filter; 2 — predgrejač; 3 — ovlaživač; 4 — eliminator kapi; 5 — ventilator; 6 — prigušivač zvuka.



klima komore kanalskom mrežom.

U oba slučaja ventilacija prostorija je neprekidna, bez obzira koju funkciju obavlja klima aparat. Ovo je važno za hotelske i druge prostorije koje se koriste periodično. U prostorijama u kojima ljudi trenutno ne borave, klimatizacija se isključuje, ali ventilacija neprekidno radi.

Klima komora, koju predviđa sistem Versatemp, prikazana je na sl. 7. Delovi komore za pripremu vazduha su: ulazni automatski filter, predgrejač, ovlaživač, ventilatorski uređaj za potiskivanje vazduha i, gde je to neophodno, izlazni prigušivač.

Tehnički zahtevi centralne pripreme vazduha veoma su uprošćeni zato što nema dogrejača i hladnjaka. Razlog izostavljanja ovih elemenata je u težnji da se toplota uneta svežim vazduhom (toplom), koristi za grejanje prostorija zone koja ima toplotne gubitke ili obratno. Odnosno, razlog tome je da se što više toplote unese u sistem bez upotrebe dodatnog grejanja i da se ona iskoristi za grejanje.

Međutim, ako se uzmu u obzir i najhladniji, odnosno najtopliji periodi godine, analiza troškova rada može da pokaže korisnim korišćenje kompletne klima komore.

Ako se vazduh priprema centralno, izbor temperature primarnog vazduha je stvar projektanta. Obično je temperatura pri-

marnog vazduha 16—22° C. Može da se izabere jedna temperatura vazduha za celu godinu ili za svaki režim rada. Izbor temperature primarnog vazduha treba da se bazira na ekonomskoj analizi.

Primarni vazduh najčešće se uvodi u prostoriju u neposrednoj blizini klimatizacionih aparata. Tako aparat usisava primarni i sobni vazduh. Poželjno je da se stvori strujna slika koja neće dovoditi do promaje.

PREDNOSTI I UŠTEDE U ODNOSU NA DRUGE SISTEME KLIMATIZACIJE

Karakteristike sistema Versatemp su: lokalno regulisanje — vrlo fleksibilno — prilagodljivost, efikasnost, miran rad i ekonomičnost.

U sklopu jednog objekta može da se javi više lokalno različitih i vremenski promenljivih opterećenja. Tu pojedinačno regulisanje predstavlja jedino rešenje. Primer za to su i zgrade sa mnogo prostorija u spoljnim zonama zgrade.

Pojedinačno regulisanje daje mogućnost i isključivanja pojedinih aparata bez ikakvog uticaja na rad ostalih, što je važno u slučaju kvara nekog od njih, ili u slučaju da se neka prostorija ne koristi trenutno. Pri najoštrijim klimatskim uslovima uključivanje aparata jedan čas ranije nego što će se prostorija koristiti, dovoljno je da se postignu zahtevani uslovi ugodnosti.

Prednost sistema Versatemp u modernizovanju starijih zgrada velika je u odnosu na druge sisteme, jer s današnjim interesovanjem i zahtevima za boljim radnim i životnim uslovima, jasno je, da primena klimatizacije nije ograničena na nove zgrade. S obzirom da ovaj sistem koristi cevovode malog prečnika i ne mora da ima glomaznu kanalsku mrežu, uvođenje klimatizacije može da se sprovede uz minimalne izmene i prepravke u zgradi. Može da se iskoristi i postojeća instalacija centralnog grejanja. Zbog radova malog obima, zgrada ne mora da se zadržava i prestaje s radom. Sve to, pri izboru sistema klimatizacije može da bude od odlučujućeg uticaja, ako bi se i zanemarile u-

štede koje ostvaruje, naročito pri renoviranju zgrada koje su zaštićene kao kulturni spomenici.

Sistem ostvaruje uštede u prostoru potrebnom za smeštaj instalacije i u pogonu. Mogu da se ostvare uštede u investiranju u:

- građevinski materijal,
- cevovode,
- kanale za sveži vazduh,
- korišćenje postojeće opreme,
- minimalne konstrukcione izmene zgrade koja se renovira.

Sistem ostvaruje uštede u građevinskom materijalu a, prema tome, i u ukupnoj ceni radova. Ako je Versatemp odabran u fazi izrade građevinskog projekta, u odnosu na konvencionalne sisteme, može da se uštedi materijal približno dovoljan za jedan sprat na svakih deset spratova gotovog objekta. Jer, potreban prostor za postrojenje može da se svede samo na 25% od uobičajenog, a sistem može da se izvede i bez glomaznih kanala za vazduh.

Ovo je vazdušno-vodeni sistem. Voda je medijum koji prenosi toplotu. Termička svojstva vode povoljnija su no svojstva vazduha na transport toplote, u smislu potrebnog prostora za strujanje fluida. Cevi za vodu su malog prečnika.

Temperatura vode Versatemp kola bliska je temperaturi sredine kroz koju cevi prolaze u oba režima klimatizacije. Zbog male razlike temperatura mali je transport toplote kroz zidove cevi, pa izolacija cevi nije potrebna, tako da nema izdataka za skupe izolacione materijale.

Ako su klimatizacioni aparati raspoređeni po spoljnim zidovima zgrade i ako spoljni vazduh zadovoljava određeni nivo čistoće, kratkim vezama kroz zid dovodi se spoljni vazduh u prostorije. Tada nema potrebe za izvođenjem kanalske vazdušne mreže, što takođe umanjuje investicije.

Konačno, u postojećim zgradama može da se iskoristi ili prilagodi postojeća instalacija centralnog grejanja: cevovod, kotao i ostali uređaji, uz smeštaj kule za hlađenje na krov.

Među tekućim uštedama najveća je ušteda u troškovima e-

nergije upotrebljene za rad sistema i ona potiče iz principa o konzervaciji energije na kome se sistem bazira. Ove uštede, ili, bolje rečeno, proporcionalno smanjena potrošnja ulazne energije, praktično se ostvaruje na sledeći način:

- sistem radi ravnomerno;
- aparati rade samo po želji i potrebi korisnika (selektivni rad);
- praćenje povremenih preopterećenja kapaciteta i mogućnost produženog rada pojedinih aparata bez korišćenja dodatne energije;
- rad sistema u prelaznom periodu;
- mali gubici energije.

Retko se dešava da neki delovi zgrade nemaju komplementarne energetske potrebe, potrebe i grejanja i hlađenja, koje se dopunjuju posredstvom primarnog vodenog kola. To je tokom godine naglašeno s obzirom na promene položaja sunca, pa nastaju periodi toplotne ravnoteže zgrade. Tada se ne koristi dodatna energija.

Pored toga, samo jedan deo aparata radi stalno s kompresorom, jer proces hlađenja ili grejanja traje samo do postizanja zadatih uslova. Od tog trenutka nastavlja se samo ventilacija. Potrošnja energije za pogon kompresora prestaje onog trenutka kada tenmostat registruje da je postignuta zadata temperatura.

Voda primarnog kola je, u izveznom smislu, i akumulator toplote jer dopušta da pojedini aparati duže rade, a moguće je da sistem podnese i povremena preopterećenja. U svim periodima godine obično ima dovoljno zaostale toplotne energije u primarnom vodenom kolu da može da se izvrši dodatni rad, a da se ne koristi dodatna toplota iz kotla.

Mali gubici toplote razlog su male razlike temperatura vode u cevima i vazduha sredine kroz koju cevi prolaze, i kratko vreme kada aparati samo greju ili samo hlade, pa deo toplote rashladnom kulom ide u atmosferu.

Prema tome, uštede energije dolaze od:

- smanjene ukupne ulazne energije;

— periodičnosti radnog ciklusa uređaja (smanjena potrošnja električne energije uređaja) za vreme delimičnog ili potpunog uravnoteženja sistema;

— periodičnog rada rashladne kule; čak i leti rashladna kula ne radi stalno;

— rashladna kula i dodatno grejanje ne koriste se istovremeno.

NEKE PREPORUKE ZA PROJEKTOVANJE SISTEMA VERSATEMP

Od posebne je važnosti, u proceni pogodnosti ovakvog sistema za određeni objekat, određivanje »ravnotežne tačke« zgrade. Ravnotežna tačka može da se definiše kao spoljna temperatura, pri kojoj su unutrašnji dobici toplote jednaki ukupnom gubitku toplote zgrade.

Ovaj sistem pogodan je za zgrade koje imaju veliko unutrašnje toplotno opterećenje u poređenju s gubitkom toplote, u zemljama gde je cena električne energije približna cenama drugih pogonskih energija i gde su maksimalne potrebe za grejanjem i hlađenjem približno jednake. Sistem je pogodniji za primenu što je ravnotežna tačka bliža zimskim projektnim uslovima.

Potrebno je precizno sprovesti proračun ukupnih dobitaka i gubitaka toplote za ekstremne slučajeve — zimski i letnji period, ali i za niz slučajeva u toku prelaznih godišnjih doba. U tu svrhu postoji metod konstruisanja nomograma pomoću kojih se, za dati objekat, mogu određivati toplotna opterećenja.

Projekat treba da se uradi tek po izboru i razmeštaju klimatizacionih aparata, jer modela ima više, a neki zahtevaju poseban dovod vazduha. Uvođenje svežeg vazduha kratkom vezom »kroz zid«, umesto centralnog razvoda vazduha, zahteva položaj klimatizacionih aparata uz spoljni zid.

Koji god model klimatizacionog aparata da je odabran, pošto su uzeti svi ostali faktori u obzir, njegov položaj mora da obezbedi najbolju moguću raspodelu vazduha. U slučajevima gde su potrebna dva ili više aparata za veću prostoriju, naj-

bolji rezultati dobijaju se postavljanjem uređaja što je moguće dalje jedan od drugog.

Rashladna kula. Maksimalni rashladni kapacitet koji ostvaruje kula za hlađenje proračunava se prema maksimalnom trenutnom opterećenju zgrade i dobija se množenjem maksimalnog rashladnog opterećenja zgrade s 1,4. Faktor 1,4 je popravni koeficijent koji predstavlja odnos između celokupne toplote odvedene Versatemp aparatima i korisne rashladne sposobnosti.

Postoje dve vrste rashladnih kula: s direktnim i indirektnim dejstvom. Za sve, osim za najmanje sisteme, preporučljivo je koristiti rashladne kule indirektnog dejstva s regulatorom protoka vazduha i grejačem. Pored uobičajenih prednosti ova pruža automatsku zaštitu od zamrzavanja.

Izbor ove kule za hlađenje vrši se prema spoljnoj projektnoj temperaturi vazduha po vlažnom termometru, maksimalnom rashladnom opterećenju (kapacitetu), izlaznoj temperaturi vode i količini vode koja je jednaka celokupnoj vodenoj zapremini u primarnom kolu.

Alternativna mogućnost gore preporučenoj kuli je konvencionalna otvorena kula izolovana od Versatemp kola protivstrujnim izmenjivačem toplote. Ova kula bira se na osnovu spoljne projektno temperature vazduha po vlažnom termometru, potrebnoj izlaznoj temperaturi vode, maksimalnom rashladnom opterećenju prethodno izračunatom i protoku vode 25% većem od protoka kroz kolo Versatempa.

Izmenjivač toplote za upotrebu u sprezi s kulom otvorenog dejstva bira se na osnovu razlike temperatura ulazne vode u razmenjivač toplote sa strane kule i vode primarnog kola na izlazu iz izmenjivača toplote. Protoci vode: s jedne strane protok primarnog kola, s druge strane 1,25 puta veći protok (na strani kule za hlađenje).

Kotlovsko postrojenje. Bira se prema maksimalnom zagretnom opterećenju, protoku vode jednakom polovini protoka primarnog kola i izlaznoj temperaturi vode (90°C). Toplotna produkcija kotla može da se prora-

čuna kao 0,7 puta trenutno opterećenje zgrade.

Ako se umesto kotla koriste pločasti ili cevni grejači vode, protok vode ostaje isti.

Cirkulaciona pumpa. Bira se na osnovu napora koga čini napor za savlađivanje svih otpora u cevovodu i izmenjivaču toplote uvećanom 5—10 mVS rezerve.

Kolo rashladne kule, a posebno kolo toplote vode moraju da budu izolovani od Versatemp kola. Kada ove izolovanosti ne bi bilo, topla voda bi bila povučena u primarno kolo s posledicom oštećenja klimatizacionih aparata.

MODELI KLIMATIZACIONIH APARATA

Postoje tri tipa klimatizacionih aparata Versatemp: tip VF za postavljanje na pod prostorije (podni), tip VM za postavljanje na zid (modularni-zidni) i plafonski tip VH koji se postavlja u prostor spuštеног plafona. Svaki od ova tri tipa izrađuje se sa različitim kapacitetima. Podni i modularni mogu da imaju estetski oblikovane maske.

Nivo buke ovih modela nije viši od 32 dB.

Priključci aparata na vazdušnu kanalsku i vodenu cevnu mrežu su plastični i mogu na svakom modelu da se priključe na više mesta.

Ukoliko aparati rade sa spoljnim, svežim vazduhom u stanju su da pripreme 15% od ukupnog časovnog protoka kroz aparat, zavisno od uslova. To se mora imati u vidu pri određivanju potrebnog broja aparata za jednu prostoriju.

Rashladna sredstva su freoni 22 i 502.

PRIMERI UPOREĐIVANJA TROŠKOVA SISTEMA VERSATEMP I DRUGIH SISTEMA

Troškovi energije klimatizacionih sistema

Izvor podataka: »Energy Consumption of Air Conditioned Buildings« by Electricity Council London, 1973.

Podaci su bazirani na toplotnom opterećenju tipične poslov-

ne zgrade u Engleskoj, uz karakteristike zgrade:

— dve, duže fasade su 50% zastakljene;

— spoljna zaštita propušta sunčevo zračenje samo pri malim visinama sunca;

— koristi se fluorescentno osvetljenje instalisane snage od 32 W/m²;

— K za spoljni zid je 0,85;

— centralni razvod vazduha.

Godišnja potrošnja u kWh/m².

Jedinica površine (m²) uključuje stepeništa, liftove, prodavnice, toalete na poslovnim spratovima. Klimatizovani prostor je 75% od ukupnog. (Suteren i prostor za postrojenje nisu uračunati.)

1. Električna struja,
2. kotlovsko gorivo,

označava da je taj utrošak uračunat u neki drugi, ili ga nema.

Utrošak energije sistema Versatemp manji je za 35% od utroška energije četvorocevnog indukcionog ili fan-coil sistema.

Upoređivanje ukupnih troškova za izgrađeni objekat

Izvor podataka: *Temperature Ltd.*, London. Tipična poslovna zgrada od 10 000 m² u Londonu, jun, 1976. godine.

Za dati objekat izvršena je ekonomska analiza na osnovu projekata koji su koristili različite klimatizacione sisteme:

a) četvorocevni indukcionni sistem,

b) decentralizovan sistem: lokalni električni klimatizacioni aparati,

c) decentralizovan sistem: Versatemp.

Cena u sterlinškim funtama.

Za ovaj objekat sistem Versatemp jeftiniji je od četvorocevnog indukcionog ili fan-coil sistema za 26%.

MOGUĆNOST PRIMENE SISTEMA VERSATEMP U NAS

Prednosti sistema su velike, naročito u pogledu ušteda, ali one ipak zavise od spoljašnjih uslova.

Tabela 1.

V. T.	Klimatizatori sa vazdušnim hlađenjem i električnim grejanjem	Četvorocevni indukcionni sistem ili fan-coil aparati	
Kompresori	32,78	20,58	I
Ventilator			
Kl. aparata	5,07	6,09	
Pumpe	5,40	—	10,09
Rashladna ikula	1,08	—	1,88
Dodatno grejanje	—	90,00	—
Ventilator za svež vazduh	3,60	3,60	19,31
Ukupno	47,93	120,27	57,28
II	63,00	—	114,00
UKUPNA ENERGIJA	110,93	120,27	171,28

Tabela 2. Upoređivanje investicionih troškova

	a	b	c
Klima instalacija	500 000	439 000	405 000
Sistem za dovod primarnog vazd.	—	27 200	27 200
Električni kablovi i spojevi	41 000	26 000	41 000
Građevinski radovi, prostor za postrojenje, spušten plafon, nosači kanala	170 000	10 000	75 000
Maske aparata	20 000	40 000	40 000
Projektovanje i kontrola	50 000	10 000	20 000
Ukupno	781 000	552 000	608 200

Tabela 3. Upoređenje godišnjih tekućih troškova

	a	b	c
Električna energija kompresor, ventilator, pumpe, dovod svežeg vazduha, grejanje za b)	10 310	21 700	8 627
Grejanje — prirodni gas — (dozvoljeni gubici kotla i sagorevanja)	7 752	—	4 284
Održavanje — servisiranje i opravke	20 000	15 000	15 000
Zamene	8 000	33 300	12 500
Ukupno	46 062	70 000	40 411

Sam sistem može da se primeni u svim delovima naše zemlje. Problemi oko stvaranja leda na isparivaču u zimskim uslovima rada, ovde se ne pojavljuju jer aparati rade s vazduhom čija je temperatura bliska temperaturi u prostoriji. Međutim, oštri klimatski uslovi, kao što je zimska projektna temperatura od -15° C za Beograd, neće dozvoliti da se ispolje sve ekonomske prednosti sistema. Zbog hladnijeg

Tabela 4. Ukupni troškovi

a	b	c
827 062	622 000	648 611

vazduha zimi mora da se ide na centralnu pripremu vazduha, kako se ne bi dobio veliki broj klimatizacionih aparata. A i ravnotežno stanje sistema, kada se ne koriste ni kotao niti rashlad-

na kula, ograničeno je na kraći vremenski period. Takve pojave moguće su, otprilike samo u toku 3—4 meseca godišnje. Ekonomska analiza verovatno bi pokazala da je ovaj sistem za klimatske uslove Beograda povoljniji, ili bar izjednačen u odnosu na sisteme koji se inače koriste, pošto treba imati u vidu i visoku cenu električne energije.

Međutim, sistem Versatemp ispoljio bi sve svoje prednosti pri upotrebi u primorskim oblastima. Naročito bi bio pogodan za velike hotelske komplekse koji u zimskim uslovima rade smanjenim kapacitetom. U takvim klimatskim uslovima uštede bi bile velike i kretale bi se 30—40% u odnosu na druge sisteme. Zatim bi se velike uštede postigle i korišćenjem sistema za veće poslovne ili druge zgrade sa stalnim unutrašnjim dobicima toplote. Sistem može efikasno da se primeni i pri renoviranju starijih zgrada.

U primorskim oblastima korisna bi bila upotreba i kombinovanih toplotnih pumpi sa već postojećim konvencionalnim klimatizacionim sistemima, u cilju smanjenja troškova pogona.

Uostalom, široka primena u evropskim zemljama sa klimom sličnom onoj u Dalmaciji, takođe ide u prilog tvrđenju da bi sistem Versatemp mogao i kod nas vrlo uspešno i ekonomično da se primeni.

LITERATURA

- [1] CROOME, D. J., GALE & ROBERTS, B. M.: *Air Conditioning and Ventilation of Buildings*
- [2] AMBROSE, E. R.: *Heat Pump and Electric Heating*
- [3] Temperature Ltd. London, *Versatemp — Heat Reclaim Air Conditioning*
- [4] LEUNBERGER, H.: *Wärmepumpen-Klimasystem.*



**RUDARSKI INSTITUT
BEOGRAD – ZEMUN**

Batajnički put broj 2 — Tel. 691-223
Telex 11830 YU RI

ZAVOD ZA TERMOTEHNIKU

**Za sva termička, procesna i
termoenergetska posirojenja vrši:**

- garancijska i kontrolna ispitivanja
- optimiranja
- pogonska ispitivanja
- atestiranja
- izrađuje studije, idejne i glavne
mašinsko-tehnološke projekte za
rekonstrukciju postojećih
i za nova postrojenja

**Izrađuje studije i idejne i
glavne tehnološko-mašinske
projekte za primenu gasa u
industriji i za grejanje**

**Vrši ispitivanja svih vrsta i
atestiranja i izrađuje studije i
idejne i glavne mašinsko-tehnološke
projekte za suzbijanje aeroxagađenja
u industriji i gradovima**

**Vrši sva ispitivanja, optimiranja i
afestiranja i izrađuje idejne i
glavne projekte za kompresorska
postrojenja**

**Izrađuje studije i idejne i glavne
mašinsko-tehnološke projekte transporta
toplote i gasa**

**Izrađuje studije i idejne i glavne
mašinsko-tehnološke projekte
za toplifikaciju gradova
i industrijskih naselja**