

8. MERE UNAPREĐENJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI TERMOTEHNIČKIH SISTEMA

8.1 MERE UNAPREĐENJA TERMOTEHNIČKIH SISTEMA

Kada je bilo reči o uticajnim parametrima na potrošnju energije KGH sistema, pomenuto je da veliki uticaj na potrošnju energije za rad sistema tokom godine ima izbor projektnog rešenja samog sistema, izvora energije, režima korišćenja i nivoa automatske regulacije. Kako bi bilo moguće pravilno projektovati sistem i integrisati ga u zgradu, potrebno je poznavati mogućnosti primene određenih tehničkih rešenja koja značajno mogu doprineti energetske performansama sistema, uštedama energije za pogon tokom godine i smanjenju eksploatacionih troškova.

Analiza mogućih mera za unapređenje energetske efikasnosti sistema uključuje analize:

- mogućnosti zamene energenta i korišćenja OIE,
- poboljšanja energetske svojstava sistema za grejanje,
- poboljšanja energetske svojstava sistema za hlađenje,
- poboljšanja energetske svojstava sistema za klimatizaciju i ventilaciju,
- poboljšanja energetske svojstava sistema za pripremu potrošne tople vode,
- poboljšanja energetske svojstava sistema potrošnje električne energije – elektroinstalacija, rasveta, kućni aparati i dr.,
- poboljšanja energetske svojstava specifičnih podsistema,
- poboljšanja sistema regulacije i upravljanja,

Sprovedena analiza svake od predloženih mera mora dati odgovore na sledeća pitanja:

- kolike su godišnje uštede energije i koliko je smanjenje emisije ugljen-dioksida,
- koliki su investicioni troškovi, uključujući troškove projektovanja, javne nabavke (tendera), montaže i demontaže postojeće opreme,
- koliki je period povrata investicije (prost i dinamički),
- kakva je specifikacija opreme i radova (u smislu dostupnosti na tržištu),
- kakvi su troškovi održavanja novoprojektovanih sistema.

Moguće mere za unapređenje energetske efikasnosti sistema KGH mogu biti:

- Zamena standardnih kotlova niskotemperaturnim ili kondenzacionim kotlovima ili kotlovima za sagorevanje biomase;
- Primena niskotemperaturnih sistema grejanja (panelnog ili sistema sa ventilator-konvektorima);
- Primena visokotemperaturnih sistema hlađenja (panelni sistemi zidnog i plafonskog hlađenja, kao i temperiranje betonskog jezgra);
- Povraćaj toplote iz otpadnog vazduha u sistemima ventilacije i klimatizacije (ptimenom razmenjivača toplote vazduh-vazduh);
- Prirodno provetranje ili mehanička noćna ventilacija, u cilju smanjenja toplotnog opterećenja sistema hlađenja tokom leta;

- Priprema potrošne tople vode pomoću energije Sunca;
- Priprema potrošne tople vode pomoću toplotnih pumpi koje kao izvor toplote koriste toplotu otpadne vode;
- Primena inverterskih uređaja za hlađenje prostora (Uređaja sa frekventnom regulacijom rada kompresora);
- Primena toplotnih pumpi u pasivnom režimu rada za pasivno hlađenje (bez uključivanja u rad rashladnog agregata);
- Iskorištenje otpadne toplote sa kondenzatora rashladnih agregata za zagrevanje potrošne tople vode;
- Omogućavanje predgrevanja vazduha u zimskom periodu za rad toplotne pumpe vazduh – voda, ukopavanjem dovodnog kanala za vazduh;
- Omogućavanje predgrevanja spoljnog vazduha za sagorevanje toplotom dimnih gasova ugradnjom dimljaka sa koaksijalnom cevi;
- Toplotna izolacija neizolovanih delova sistema (cevne mreže sa pripadajućom armatourom, razmenjivača toplote, kanalske mreže);
- Domaćinsko rukovanje (uz uvođenje automatske regulacije rada sistema), upotreba i održavanje sistema za grejanje, hlađenje, ventilaciju i pripremu sanitarne tople vode.

8.1.1 Zamena izvora i energenta za snabdevanje energijom

Kada je u pitanju razmatranje mogućnosti zamene energenta za snabdevanje energijom ili primena obnovljivih izvora energije, pre svega treba imati u vidu dostupnost određene vrste energenta na lokaciji na kojoj se zgrada nalazi. Na primer, ako se želi zamena kotlova na uglj i nabavka novih kotlova na gas, potrebno je prikupiti informaciju o mogućnosti priključenja zgrade na gasovodnu mrežu, ili mogućnosti formiranja kotlarnice sa rezervoarom za gas. Svakako, analiza treba da sadrži ulazne podatke o mogućnostima i preprekama zamene izvora energije i korišćenju OIE, kao što su:

- decentralizovani sistem snabdevanja energijom na bazi korišćenja OIE (biomasa, solarna energija, geotermalna energija, vetar),
- kogeneracija (kombinovan proizvodnja toplote i električne energije),
- apsorpciono hlađenje,
- daljinsko grejanje/hlađenje (ako postoje infrastrukturne mogućnosti),
- toplotne pumpe koje kao izvor toplote koriste okolinu (vazduh, vodu ili zemlju),
- prelazak na ekološki prihvatljivije gorivo (uz smanjenje emisije CO₂, pri nepromenjenom instalisanom kapacitetu izvora).

Prilikom razmatranja zamene starih konvencionalnih kotlova koji kao gorivo koriste prirodni gas, lož-ulje ili mazut, kondenzacionim kotlom na prirodan gas, postižu se sledeći efekti:

- Energetska ušteda u odnosu na novi konvencionalni kotao istih parametara iznosi oko 10 – 15 %;
- Energetska ušteda u odnosu na stari konvencionalni kotao istih parametara iznosi oko 25 - 30 %;
- Ušteda u troškovima za energent se kreće i do 50 % u zavisnosti od sistema grejanja i pripreme STV koji je zastupljen u objektu;

- Prosečni povraćaji investicije se kreću od 2 – 5 godina, dok je procenjeni životni vek mere za povraćaj investicije 15 – 20 godina;
- Značajno se smanjuje emisija ugljen-dioksida;
- Veće uštede se postižu kod niskotemperaturnih sistema grejanja (što podrazumeva i rekonstrukciju postojeće kućne instalacije sistema visokotemperaturnog radijatorskog grejanja instalacijom panelnog grejanja ili sistema sa ventilator-konvektorima).

U slučajevima kada se razmatra zamena starih konvencionalnih kotlova koji kao gorivo koriste prirodni gas, lož-ulje ili mazut, kotlom na biomasu, postižu se sledeći efekti:

- Ušteda u troškovima za energent se kreće i do 40 % u zavisnosti od sistema grejanja koji je zastupljen u objektu;
- Prosečni povraćaji investicije se kreću od 2,5 – 5 godina, dok je procenjeni životni vek mere za povraćaj investicije 15 – 20 godina;
- Značajno se smanjuje emisija ugljen-dioksida.

Zamena starih kotlova koji koriste električnu energiju, toplotnom pumpom koja koristi kao izvor toplote vazduh, zemlju ili podzemnu vodu i dodatnim električnim grejačima, postiže se:

- Ušteda u troškovima za energent se kreće i do 85 % u zavisnosti od sistema KGH koji je zastupljen u objektu;
- Prosečni povraćaji investicije se kreću od 10 – 20 godina u zavisnosti od sistema grejanja i tipa toplotne pumpe, dok je procenjeni životni vek mere za povraćaj investicije 20 godina;
- Značajno se smanjuje emisija ugljen-dioksida.

8.1.2 Poboljšanje sistema za regulaciju i upravljanje

Moguće mera za unapređenje energetske efikasnosti sistema poboljšanjem sistema za regulaciju i upravljanje mogu biti:

- Ugradnja radijatorskih ventila sa termoglavama radi lokalne regulacije toplotnog učinka;
- Ugradnja sobnog termostata sa programatorom u cilju zonske regulacije;
- Ugradnja regulacionih ventila sa motornim pogonom za regulaciju rada kotla;
- Ugradnja merača utroška toplote, sa ciljem praćenja utroška toplotne energije u sistemu;
- Ugradnja pumpi sa promenjivim brojem obrtaja u cilju smanjenja potrošnje električne energije za pogon cirkulacionih pumpi u sistemima.

8.1.3 Primena panelnih sistema za grejanje i hlađenje

Primena panelnih sistema za grejanje i hlađenje podrazumeva niskotemperaturni sistem grejanja i visokotemperaturni sistem hlađenja. Naime temperaturni režim tople vode u sistemu panelnog grejanja je znatno niži (45/35°C) u odnosu na sisteme radijatorskog grejanja (90/70°C). Na taj način se postiže niz prednosti, kao što su:

- Dobra raspodela temperatura vazduha po zapremini prostorije;
- Veoma ugodno niskotemperaturno zračenje;
- Aktiviranje termičke mase zgrade;

- Moguća niža temperatura vazduha u prostoriji (ušteda energije);
- Niža temperatura panela – bolji higijenski uslovi;
- Mogućnost korišćenja alternativnih izvora energije, odnosno obnovljivih izvora energije (solarna, geotermalna, toplotne pumpe);
- Zadovoljavajući estetski kriterijumi – nema vidinih grejnih tela u prostoriji;
- U letnjem periodu se panelni sistem može koristiti za hlađenje (plafonsko i zidno, ali se pri tome mora voditi računa da ne dođe do kondenzacije vlage iz vazduha).

Visokotemperaturno hlađenje se ostvaruje panelnim sistemima, pri čemu je temperatura sekundarnog rashladnog fluida (vode) znatno viša (18/23°C) u odnosu na standardne režime hlađenja (7/12°C). Uslov visok temperature rashladnog fluida je, pre svega, diktiran temperaturom tačke rose vazduha u prostoriji tokom letnjih meseci, kako bi se sprečila kondenzacija vlage iz vazduha na rashladnim površinama. Međutim, ovakvim sistemom se postižu znatno bolji uslovi termičkog komfora.

Najveći nedostatak primene panelnih sistema jeste velika inertnost u radu, što dovodi do otežavanja regulacije toplotnog/rashladnog učinka sistema. Iz tog razloga, panelni sistemi se često kombinuju sa vazдушnim sistemom, koji ima za cilj:

- Održavanje relativne vlažnosti vazduha u optimalnim granicama i sprečavanja pojave kondenzata na rashladnim površinama tokom leta;
- Podmirivanje vršnih toplotnih/rashladnih opterećenja tokom godine;
- Dovođenje potrebne količine svežeg vazduha za ventilaciju;
- Brzu i laku regulaciji toplotnog/rashladnog učinka i
- Korišćenje otpadne toplote vazduha.

Primena pasivnih rashladnih sistema sa indukcionim uređajima daje niz prednosti:

- Mogućnost ugradnje u postojeće objekte;
- Veliki broj različitih konstrukcija koje se mogu prilagoditi svakom enterijeru;
- Manje dimenzije kanalske mreže;
- Manja količina pripremljenog svežeg vazduha (smanjenje potrošnje energije za pripremu svežeg vazduha);
- Manje zauzimanje prostora u zgradi za smeštaj klima komora;
- Lako održavanje;
- Nema izdvajanja kondenzata u unutrašnjoj jedinici, s obzirom na visokotemperaturni režim hlađenja;
- Ekonomičniji rad u odnosu na sistem sa ventilator-konvektorima i
- Nema potrošnje električne energije za pogon ventilatora.

8.2 MERE OPTIMIZACIJE RADA TERMOTEHNIČKIH SISTEMA

Ova grupa mera jesu mere optimizacije eksploatacije tehničkih sistema.

Neke od mera koje se mogu primeniti kod klimatizacionih postrojenja, o kojima će biti reči, su:

- primena cirkulacionih pumpi i ventilatora sa promenljivim brojem obrtaja;
- korišćenje otpadne toplote vazduha, kako u letnjem tako i u zimskom režimu;
- primena indirektnog adijabatskog hlađenja;

- korišćenje otpadne toplote kondenzacije rashladnih uređaja i
- primena tehnike noćne ventilacije zgrada.

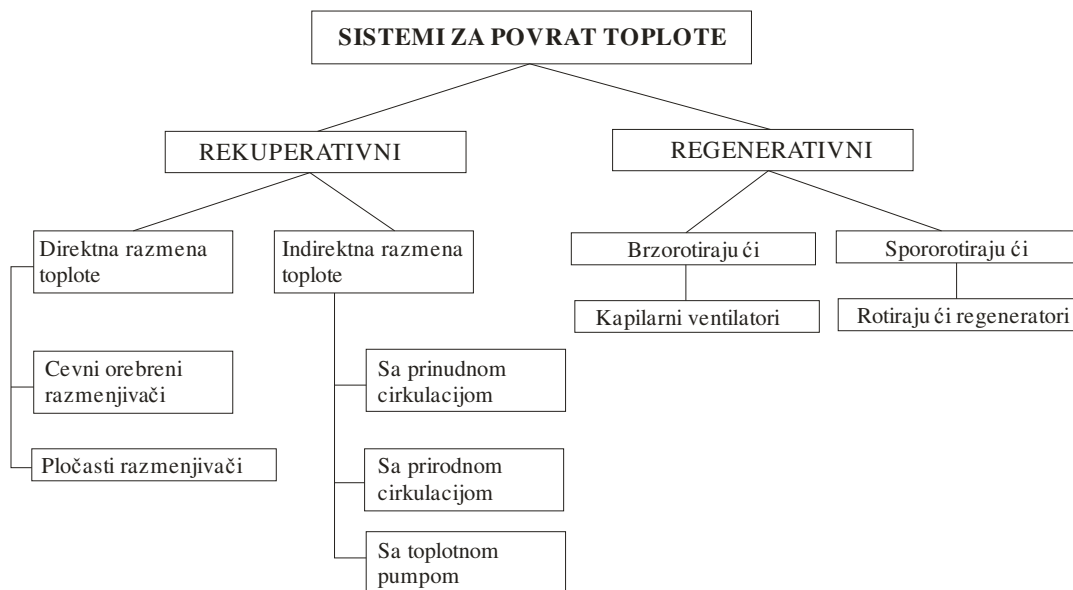
O primeni cirkulacionih pumpi sa kontinualno promenljivim brojem obrtaja, koje omogućavaju kvantitativnu regulaciju rada sistema, bilo je reči u poglavlju 5, kada su razmatrane mere unapređenja sistema toplovodnog grejanja. U praksi se pokazalo da, osim smanjenja gubitaka prilikom rada sistema pravilnom regulacijom, pumpe sa varijabilnim protokom znatno štede električnu energiju za pogon, i to od oko 40% godišnje, u poređenju sa pumpama koje rade sa konstantnim brojem obrtaja. Isto važi za ventilatore, kada se radi o vazдушnim sistemima klimatizacije koji rade sa varijabilnom količinom vazduha - VAV sistemi (*engl. Variable Air Volume*).

8.2.1 Korišćenje otpadne toplote vazduha

Generalno, povratom otpadne toplote iz otpadnih medijuma koristi se toplotna energija sadržana u njima, koja bi se inače neiskorišćena bacila u okolinu. Na taj način se smanjuju pogonski troškovi: ušteda goriva i električne energije, smanjuje se instalisana snaga i gabariti opreme i doprinosi se očuvanju životne sredine. Zbog toga, pitanje koje se nameće nije da li je potrebno koristiti sisteme povrata otpadne toplote, već kada i kako ih koristiti. Odgovori na ovo pitanje zavise od niza uticajnih parametara, pa je za svaki slučaj ponaosob potrebno sprovesti analizu isplativosti. Svakako, za velike sisteme je isplativo koristiti otpadnu toplotu. Kada su u pitanju vazdušni sistemi centralne klimatizacije, korišćenje otpadne toplote vazduha je gotovo obavezno kod sistema koji imaju protok spoljnog vazduha preko 3000 m³/h.

Sistem povrata toplote u vazдушnim klimatizacionim sistemima funkcioniše po principu razmene toplote prilikom strujanja otpadnog i svežeg vazduha. Proces razmene toplote između svežeg i otpadnog vazduha može se koristiti i u letnjem i u zimskom režimu, pri čemu se leti svež vazduh predhlađuje, a zimi predgreva strujanjem kroz razmenjivač toplote. Za ocenu efikasnosti povrata toplote koriste se veličine kao što su: stepen povrata toplote, stepen povrata vlage i dodatni pad pritiska pri strujanju svežeg vazduha kroz razmenjivač toplote. Razmenjivač toplote u kome se koristi otpadna toplota predstavlja dodatni otpor za strujanje vazduha i ne sme značajno povećati napor i snagu potisnog ventilatora u sistemu.

Na slici 8.1 prikazana je podela sistema za korišćenje otpadne toplote vazduha.



Slika 8.1 Podela sistema za korišćenje otpadne toplote vazduha

Stepen povrata toplote definiše se kao toplote koja se predala svežem vazduhu i toplote koja se baca u okolinu:

$$\eta = \frac{Q_P - Q_S}{Q_R - Q_{SV}} \quad (8.1)$$

Kada dolazi do razmene samo osetne toplote (u rekuperativnim razmenjivačima) onda se stepen rekuperacije može definisati preko odnosa promene temperatura vazduha koji struje kroz razmenjivač toplote, i to:

- na strani otpadnog vazduha:

$$\eta_t = \frac{\theta_C - \theta_D}{\theta_C - \theta_A} \quad (8.2)$$

- na strani svežeg vazduha:

$$\eta_t = \frac{\theta_B - \theta_A}{\theta_C - \theta_A} \quad (8.3)$$

gde su temperature vazduha:

A – svež vazduh na ulazu u rekuperator,

B – svež vazduh na izlazu iz rekuperatora,

C – recirkulacioni vazduh (odvodni vazduh iz prostorije) i

D – otpadni vazduh.

Kod regenerativnih razmenjivača dolazi do prenosa ukupne količine toplote – suve i latentne, tj, razmenjuje se i toplota i vlaga. Tada se stepen povrata toplote mora definisati preko odnosa promene entalpija vazduha:

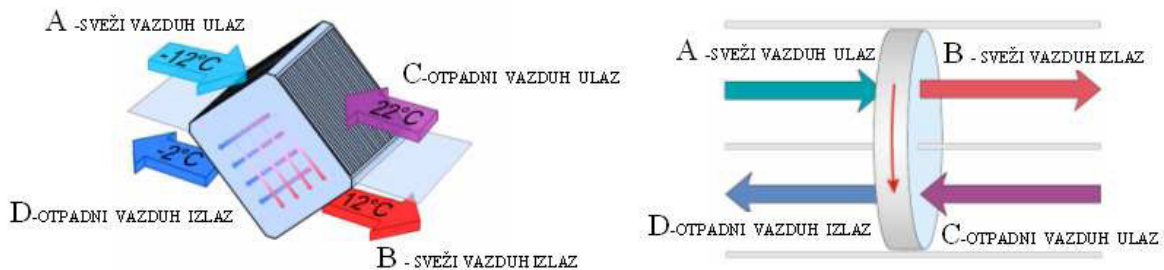
- na strani otpadnog vazduha:

$$\eta = \frac{h_C - h_D}{h_C - h_A} \quad (8.4)$$

- na strani svežeg vazduha:

$$\eta = \frac{h_B - h_A}{h_C - h_A} \quad (8.5)$$

Na slici 8.2 dat je šematski prikaz strujanja vazduha kroz pločasti rekuperativni razmenjivač toplote i rotacioni regenerativni razmenjivač toplote.



Slika 8.2 Šematski prikaz strujanja vazduha kroz pločasti rekuperativni razmenjivač toplote (levo) i rotacioni regenerativni razmenjivač toplote (desno)

Rekuperativni razmenjivači omogućavaju razmenu osetne toplote preko ploča ili cevi bez međusobnog dodira dve struje vazduha. Prednost ovakvih razmenjivača je što su struje otpadnog vazduha (koji može biti zagađen) i svežeg vazduha potpuno odvojene i nema mogućnosti mešanja. Nedostaci su manji stepen povrata toplote, veći pad pritiska za srujanje svežeg i otpadnog vazduha, kao i veći prostor za ugradnju u poređenju sa regenerativnim razmenjivačima. Izvedba klima komore sa razmenjivačima toplote koji koriste otpadnu toplotu su spratne komore, pa je potrebno obezbediti dovoljno prostora u mašinskim salama za smeštaj opreme i kanala za vazduh.

Na slici 8.3 dat je izgled pločastog rekuperatora i procesi promene stanja svežeg (crvena linija) i otpadnog vazduha (zelena linija) prilikom stujanja kroz rekuperator (zimski režim).



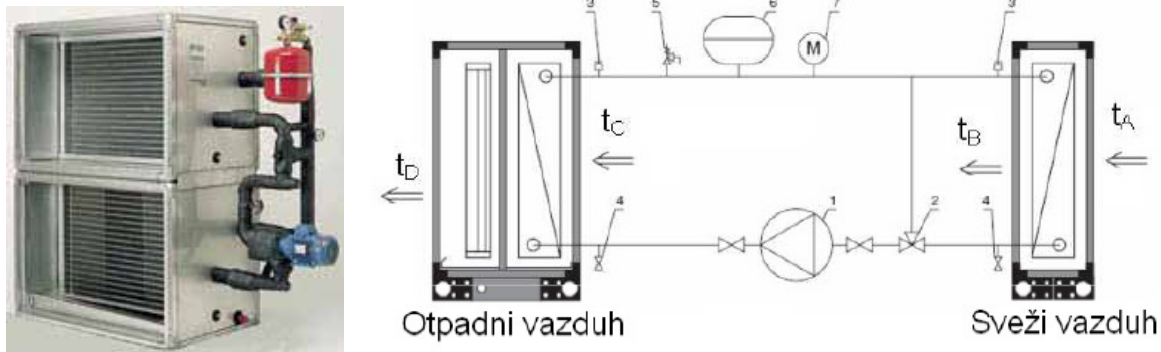
Slika 8.3 Pločasti rekuperator i promena stanja svežeg i otpadnog vazduha

Ako struja otpadnog vazduha ima veći sadržaj vlage, tj. stanje čija je temperatura tačke rose iznad temperature spoljnog vazduha, doći će do pojave kondenzacije u rekuperatoru na strani otpadnog vazduha. Zato se rekuperator izvodi sa kadicom i mogućnošću odvoda kondenzata. Pri jako niskim temperatura spoljnog vazduha može doći do pojave leda na površini razmenjivača, a to negativno utiče na razmenu toplote i može dovesti do začepljenja kanala za stujanje vazduha. kako bi se ova pojava izbegla, postavlja se obilazni vod oko rekuperatora ili električni predgrejač spoljnog vazduha.

Pločasti rekuperatori se izrađuju od aluminijumskog lima, nerđajućeg čelika ili plastike. Debljina ploča je oko 1mm, a razmak između njih je od 5 do 10 mm. Širina razmenjivača može ići i do 3 m za komore protoka vazduha do 100 000 m³/h. Stepenn povrata toplote pločastih rekuperatora kreće se od 50 do 75% uz brzine strujanja vazduha od 2 do 3 m/s.

U indirektno rekuperatore (sa posrednim medijumom između struja vazduha) spada zatvoreni kružni sistem sa glikolnim razmenjivačima toplote. Ovaj sistem ima dva razmenjivača vazduh-glikol (najčešće rastvor glikola, jer se voda izbegava zbog mogućnosti smrzavanja). Razmenjivači su lamelastog tipa, od bakarnih cevi sa aluminijumskim rebrima na strani vazduha ili čeličnih cevi sa rebrima od čeličnog lima. Glikol je posrednik koji cirkuliše kroz razmenjivače koji su povezani cevovodom. U zimskom režimu, otpadni vazduh zagreva glikol u prvom razmenjivaču, a onda se tako zagrejan glikol dovodi u drugi razmenjivač, gde predaje toplotu svežem vazduhu. Ovakva izvedba je povoljna kada su mesta dovoda svežeg vazduha i odvoda otpadnog vazduha udaljena. Razmenjivači se obično sastoje od 2 do 8 redova cevi.

Na slici 8.4 prikazan je izgled glikolnog rekuperatora i šema povezivanja.



Slika 8.4 Glikolni rekuperator sa prinudnom cirkulacijom

Stepen povrata toplote glikolnih rekuperatora kreće se od 40 do 60% uz brzine strujanja vazduha od 2 do 3 m/s.

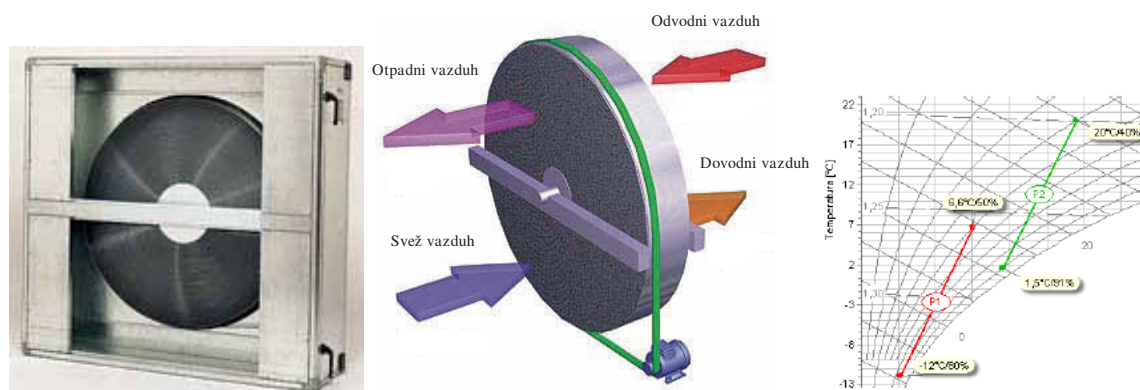
Regenerativni razmenjivači toplote omogućavaju razmenu suve i latentne toplote na taj način što se razmena toplote odvija preko akumulacione mase, uz međusovni direktni kontakt struja vazduha. Prednost je mogućnost povrata vlage i veći stepen povrata toplote, kao i kompaktnija izvedba u poređenju sa rekuperatorima. Nedostatak je nemogućnost potpunog razdvajanja otpadnog i svežeg vazduha. Takođe, ukoliko izostane redovno održavanje ili nastupi kvar motora za pogon rotacionog razmenjivača, on nije u funkciji i ne koristi se otpadna toplota.

Kod rotirajućeg regeneratora (slika 8.5), toplota se između struja vazduha prenosi rotirajućom akumulacijskom masom u obliku saća izrađenog najčešće od aluminijuma i smeštenog u čelično kućište. Pola regeneratora nalazi se u jednoj, a druga polovina u drugoj struji vazduha, međusobno različitih temperatura. Strujanje u uređaju je protvstrujno i koristi se za prenos toplote između gasova temperatura do 200°C. Prečnik rotora je do 6 m, brzina rotacije 5 do 20 min⁻¹ s protocima gasa do 150 000 m³/h. Sistemom je moguće ostvariti stepen povrata toplote i stepen povrata vlage od 65 do 85%.

Dve osnovne izvedbe rotirajućeg regeneratora su sorpcijska i kondenzaciona izvedba. Kod sorpcijskog regeneratora površina saća presvučena je higroskopnim materijalom (npr. silikagel), pa higroskopna ispunja preuzima vlagu iz vlažne struje gasa i predaje je suvoj struji. Sistem se može koristiti za povrat osetne i latentne toplote zimi, te hlađenje i odvlaživanje ljeti. Kondenzacijski regeneratori imaju glatku površinu saća izrađenu od aluminija ili čelika čime je omogućen povrat latentne toplote samo zimi, tj. samo u slučaju hlađenja ispod temperature tačke rose stanja otpadnog vazduha, pri čemu vlaga kondenzuje u toploj a isparava u hladnoj struji.

Problemi koji nastaju pri radu rotirajućeg regeneratora su opasnost od smrzavanja pri niskim spoljnim temperaturama, što dovodi do smanjenja stepena povrata toplote i vlage i porasta pada pritiska. Osim toga, dolazi do mešanja povratnog i svežeg vazduha u iznosu 2 do 5%. Mešanje se može smanjiti zaptivanjem, čime se mešanje smanjuje na manje od 0,5%. Sprečavanje smrzavanja i regulacija učinka rešavaju se promenom brzine rotacije.

Analize i praksa pokazuju kako su sistemi povrata toplotne energije po pravilu isplativi, a za optimalan izbor tipa sistema, potrebno je sprovesti celovitu analizu za konkretan slučaj ugradnje uključujući i investicione i eksploatacione troškove, troškove održavanja i uštedu energije. Analiza sistema se bazira na radnim uslovima sistema klimatizacije, dužine korišćenja, geografskoj lokaciji i nameni zgrade.

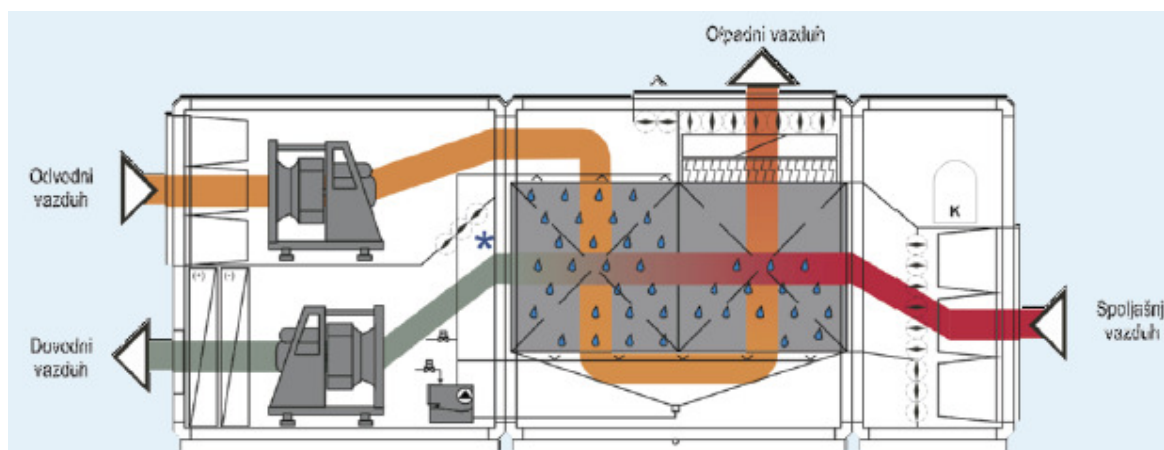


Slika 8.5 Rotacioni regenerativni razmenjivač toplote i promena stanja u h-x dijagramu

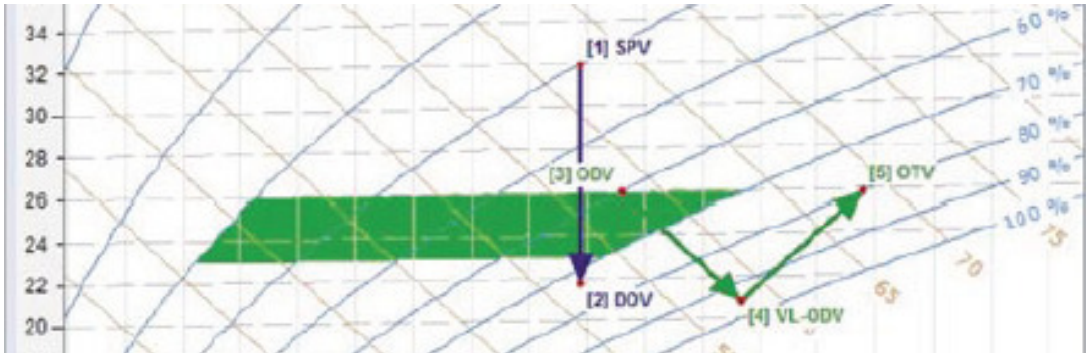
8.2.2 Primena indirektnog adijabatskog hlađenja

Jedna od posebnih izvedbi (slika 8.6) je postavljanje dva pločasta rekuperatora jedan iza drugog, uz raspršivanje vode sa strane otpadnog vazduha u letnjem režimu. Tako se u letnjem režimu rada korišćenjem evaporativnog hlađenja postiže stepen povrata toplote hlađenja do 90%. Na slici 8.7 prikazan je proces promene stanja vazduha u h-x dijagramu (plava linija pokazuje hlađenje svežeg vazduha, dok zelena linija prikazuje proces adijabatskog vlaženja otpadnog vazduha i njegovo zagrevanje).

Promena stanja pri vlaženju odvodnog vazduha odvija se duž linije entalpije odvodnog vazduha ($h = \text{const}$), pri istovremenom sniženju temperature sve do relativne vlažnosti od 90% do 95%. U nastavku se u razmenjivaču toplote, u koji s jedne strane ulazi spoljašnji topli vazduh a sa druge ohlađeni odvodni vazduh, ekvivalentno temperaturnom stepenu povrata toplote, spoljašnji vazduh hladi, a na drugoj strani odvodni vazduh zagreva. Obe promene stanja, adijabatsko vlaženje vazduha i prenos toplote moguće je izvoditi istovremeno.



Slika 8.6 Klima komora sa indirektnim adijabatskim hlađenjem



Slika 8.7 Proces promena stanja prilikom indirektnog adijabatskog hlađenja u rekuperatoru

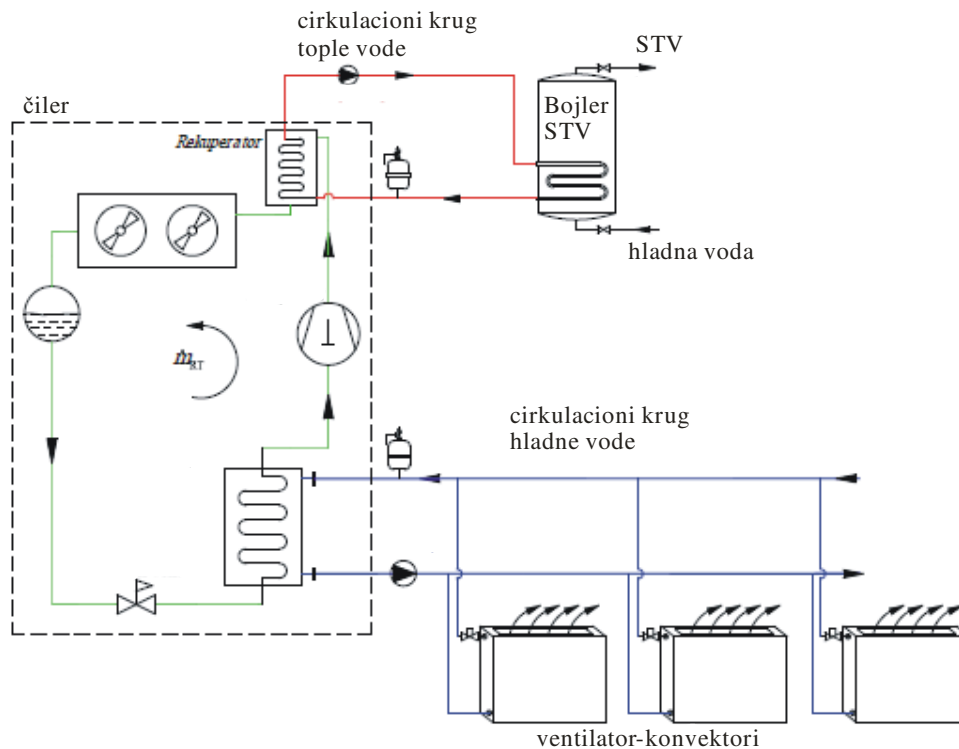
8.2.3 Korišćenje otpadne toplote kondenzacije

U praksi je čest slučaj da se istovremeno javlja potreba za hlađenjem i grejanjem. U takvim slučajevima je pogodno koristiti otpadnu toplotu kondenzacije za predgrevanje ili zagrevanje radnog fluida koji se koristi kao grejni fluid.

Instalacija rashladnog sistema se može izvesti sa vodom hlađenim kondenzatorom, tako da se zagrejana voda, koja je primila toplotu kondenzacije, može direktno koristiti u zatvorenom krugu grejanja (npr. u predgrejaču ili grejaču bojlera STV).

Ukoliko se koristi čiler za pripremu hladne vode za sistem hlađenja ili klimatizacije koji ima vazduhom hlađeni kondenzator, može se koristiti dodatni razmenjivač toplote (rekuperator vazduh - voda) za korišćenje otpadne toplote kondenzacije, kao što je prikazano na slici 8.8.

U praksi je sve veći broj jedinica koji delimično ili potpuno koriste toplotu kondenzacije za zagrevanje sanitarne tople vode. Najviše su u primeni rashladni fluidi R407C i R410A.



Slika 8.8 Šema sistema za korišćenje otpadne toplote kondenzacije

8.2.4 Primena noćne ventilacije

Hlađenje prostorija uvođenjem noćne ventilacije, tokom letnjeg perioda kada je temperatura spoljašnjeg vazduha niža od temperature vazduha u prostoriji, ključna je tehnika za smanjenje toplotnog opterećenja i eliminaciju akumulisane toplote u masi zidova prostorije. Samim tim, dolazi i do smanjenja potrošnje energije za pripremu vazduha za klimatizaciju prostorije tokom dana. Energetski uticaj uvođenja noćne ventilacije ogleda se u smanjenju dnevnog toplotnog opterećenja, kao i u smanjenju dnevnog vršnog opterećenja. Efikasnost noćne ventilacije najviše zavisi od temperature spoljašnjeg vazduha tokom noći, načina uvođenja vazduha u prostoriju (prirodna ili mehanička ventilacija), količine vazduha, načina strujanja vazduha u prostoriji (cirkulacijom ili prostrujavanjem – promajom), kao i od građevinske mase zidova posmatrane prostorije.

Za efikasnu primenu noćne ventilacije ključni parametar je temperatura spoljašnjeg vazduha tokom noći. Taj parametar određuje u kojoj meri spoljašnja okolina objekta može da preuzme ulogu toplotnog ponora i primi određenu količinu toplote koja se akumulirala u masi zidova zgrade tokom dana. Učinak pomenutog toplotnog ponora određen je, dakle, razlikom između temperatura unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha. Drugi veoma bitan parametar je protok vazduha za noćnu ventilaciju. Efikasnost hlađenja primenom noćne ventilacije uglavnom je bazirana na vrednosti protoka vazduha za ventilaciju. U zavisnosti od protoka vazduha koji se koristi za noćnu ventilaciju, postoje tri osnovna koncepta:

- Prirodna ventilacija tokom noći kroz otvore na fasadi objekta,
- Mehanička ventilacija korišćenjem ventilatora za ubacivanje i izvlačenje vazduha i
- Kombinovana tehnika, korišćenjem prirodne i mehaničke ventilacije.

Kada se primenjuje prirodna ventilacija svakako treba uzeti u obzir brzinu i smer vetra, kao i izbor odgovarajućeg mesta na fasadi zgrade gde će biti postavljeni otvori za ventilaciju. Na taj način se može uticati na količinu spoljašnjeg vazduha koji će prirodnim putem prodirati u zgradu i ventilirati prostoriju. Protok vazduha je slučajno promenljiva veličina koja zavisi od temperaturske razlike, brzine i smera vetra, kao i razlike pritisaka unutrašnje i spoljašnje sredine. Broj izmena vazduha na čas jako varira, i može se kretati od 0,3 (već samom infiltracijom spoljašnjeg vazduha kroz procepe prozora i vrata) do čak 20 (kada su prozori širom otvoreni).

Mehanička ventilacija podrazumeva puštanje u pogon ventilatora za ubacivanje i izvlačenje vazduha iz prostorije. Ventilator za ubacivanje vazduha obezbeđuje konstantan protok i cirkulaciju vazduha u prostoriji. Odsisni ventilator je takođe u funkciji, kako bi se sprečio prekomeran nadpritisak u prostoriji, koji ujedno utiče na sniženje efikasnosti ventilatora. Primenom mehaničke ventilacije protok vazduha se tačno može odrediti, ovom veličinom se može upravljati, odnosno, protok se može povećavati u cilju efikasnije ventilacije. Korišćenje mehaničke ventilacije je u tom smislu pogodnije, ali je neophodan utrošak električne energije za pogon ventilatora. Proces mehaničke noćne ventilacije obično se reguliše korišćenjem termostatskih regulatora, koji puštaju u pogon ventilatore i postavljaju žaluzine spoljašnjeg vazduha u maksimalno otvoren položaj kada je temperatura spoljašnjeg vazduha niža od unutrašnje, i obrnuto. Mehanička noćna ventilacija se može i vremenski upravljati, podešavanjem programa za uključivanje ventilacije tokom noći.

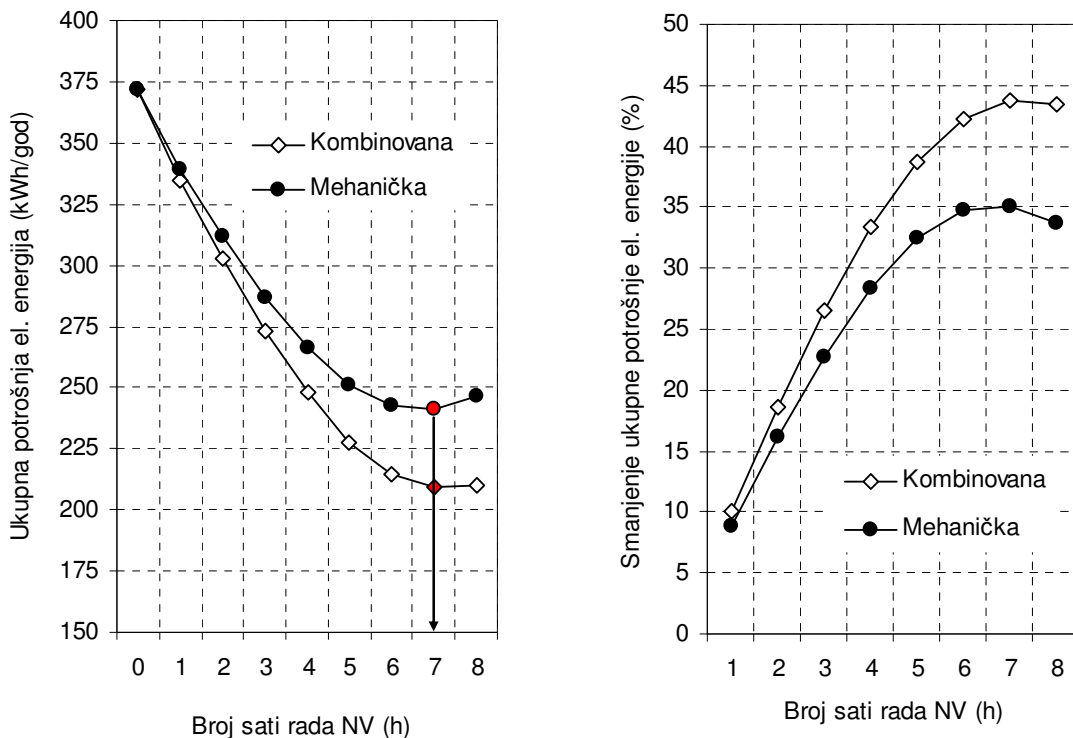
Kombinovana tehnika noćne ventilacije podrazumeva korišćenje ventilatora i fasadnih otvora na zgradi u isto vreme. U ovom slučaju koristi se samo ventilator za ubacivanje ili ventilator za odsisavanje vazduha, dok otvori na fasadi imaju ulogu izbacivanja, odnosno ubacivanja vazduha, u zavisnosti od toga koji je ventilator u pogonu. I u ovom slučaju regulacija procesa se može izvesti pomoću termostatskih regulatora koji će uključivati i isključivati ventilator u funkciji razlike unutrašnje i spoljašnje temperature vazduha.

Na osnovu rezultata ispitivanja primene noćne ventilacije iz raznih zemalja Evrope (Engleska, Holandija, Nemačka, Belgija, Francuska i Grčka) i Kalifornije u Americi, može se zaključiti sledeće:

- Primena noćne ventilacije značajno doprinosi smanjenju potrošnje energije za hlađenje poslovnih zgrada tokom dana,
- Procenat uštede koja se može postići zavisi od više uticajnih parametara (kao što su tip gradnje objekta, tehnika i dužina trajanja noćne ventilacije, protok vazduha, itd.),
- Smanjenje efikasnosti tehnike javlja se u urbanim, gusto naseljenim zonama, kao i u periodima visokih temperatura spoljašnjeg vazduha tokom noći,
- Snižavanje željene temperature unutrašnjeg vazduha dovodi do smanjenja efikasnosti tehnike noćne ventilacije,
- Orijentacija prostorija u zgradi zanemarljivo utiče ne efikasnost tehnike ventilacije,
- Klimatske karakteristike podneblja utiču na efikasnost tehnike noćne ventilacije,
- Uslovi za prirodnu ventilaciju nisu uvek ostvarivi i protok vazduha tokom ventilacije varira, što utiče ne efikasnost tehnike,
- Potrebna su dodatna ulaganja za izvođenje efikasnih otvora za prirodnu ventilaciju.

Na osnovu dinamičke simulacije tipične klimatizovane prostorije, koja je uključila režime rada bez primene i sa uvođenjem mehaničke noćne ventilacije, dobijeni su rezultati koji pokazuju koliko se energije za rad klimatizacionog sistema može uštedeti za klimatsko podneblje Brograda. Simulacije su obuhvatile period od pet meseci (maj- septembar) a korišćeni su časovne vrednosti meteoroloških podataka za tipičnu meteorološku godinu za Beograd.

Dijagramima na slici 8.9 prikazan je uticaj dužine trajanja noćne ventilacije na smanjenje potrošnje električne energije za rad sistema.



Slika 8.9 Uticaj dužine trajanja NV na smanjenje potrošnje električne energije za kombinovanu i mehaničku noćnu ventilaciju

Električna energija potrebna za rad sistema troši se za pogon rashladnog agregata za eliminaciju toplotnog opterećenja i pripremu spoljnog vazduha, kao i za pogon ventilatora tokom rada klimatizacije i mehaničke noćne ventilacije:

$$P(\tau) = \int_0^{\tau} Q_{OPT}(\tau) \cdot d\tau + \int_0^{\tau} Q_{SV}(\tau) \cdot d\tau + \int_0^{\tau} p_{FAN}(\tau) \cdot d\tau. \quad (8.6)$$

Energija potrebna za hlađenje vazduha, bilo da se radi o svežem ili recirkulacionom vazduhu, svedena je na jedinicu električne energije, tako što je toplotno opterećenje podeljeno sa koeficijentom hlađenja EER (*Energy Efficiency Ratio*) kako bi bilo moguće sabiranje sva tri člana u jednačini (8.6). Trenutno toplotno opterećenje prostorije računa se iz toplotnog bilansa i predstavlja količinu toplote koju vazduh u prostoriji primi u posmatranom trenutku:

$$Q_{OPT}(\tau) = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i [t_i(\tau) - t_{UV}(\tau)] + b_{ST} Q_{SU}(\tau) \right) \cdot \frac{1}{EER}, \quad (8.7)$$

gde je $i = 1, \dots, n$ broj unutrašnjih površina prostorije sa kojih se konvekcijom predaje toplota vazduhu u prostoriji, a b_{ST} konvektivni udeo odavanja toplote sijalice.

Količina toplote potrebna za pripremu svežeg vazduha zavisi od udela svežeg vazduha u ukupnoj količini vazduha za klimatizaciju i od razlike spoljne i željene unutrašnje temperature vazduha u prostoriji:

$$Q_{SV}(\tau) = \left[m_{SV} \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{SV}(\tau) - t_{UV}(\tau)) \right] \cdot \frac{1}{EER}. \quad (8.8)$$

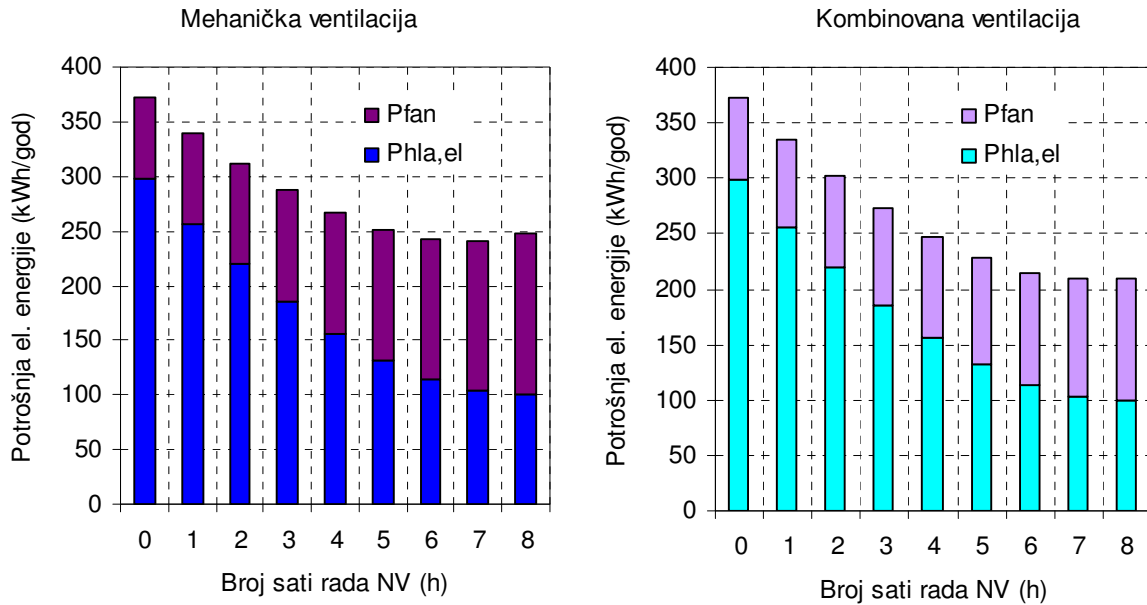
Potrošnja električne energije za pogon ventilatora računa se kao proizvod angažovane snage elektromotora za pogon ventilatora i vremena rada:

$$P_{FAN}(\tau) = p_{EL} \cdot \tau \quad (8.9)$$

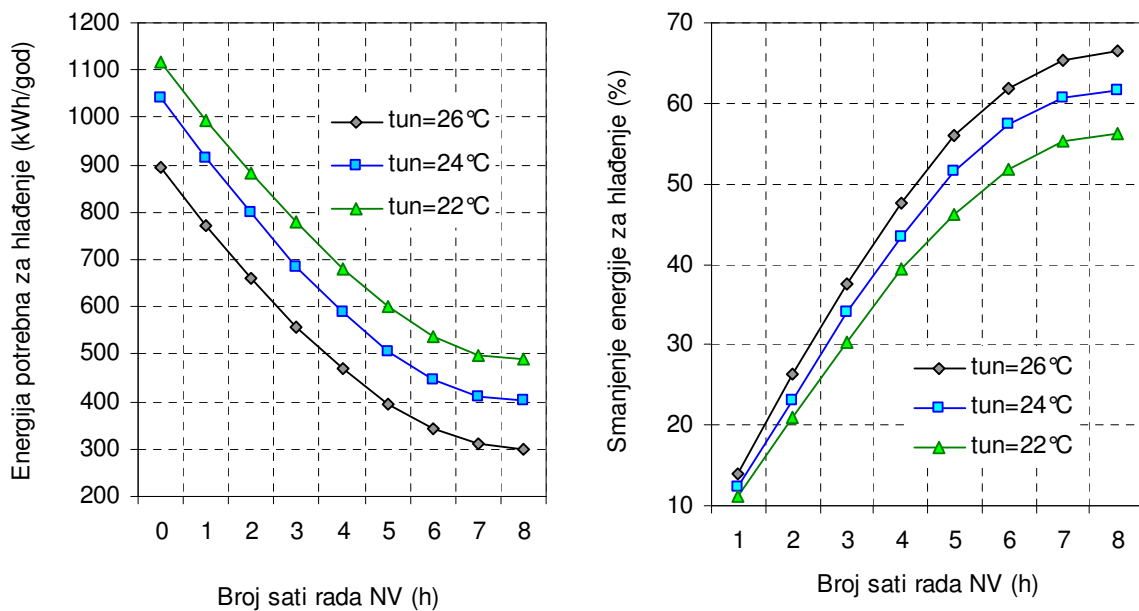
Ukoliko bi se za noćnu ventilaciju koristio samo jedan od ventilatora klima komore (kombinovana ventilacija), odnos potrošnje energije za hlađenje i rad ventilatora tokom sedmočasovne ventilacije gotovo je izjednačen (slika 8.9 desno). Dakle, kada je u pitanju rad sistema tokom letnje sezone optimalan režim je onaj koji uključuje noćnu ventilaciju od ponoći do 7 časova ujutro, bez obzira na to da li je u funkciji jedan ili oba ventilatora. Ušteda koja se postiže korišćenjem kombinovane ventilacije u odnosu na mehaničku iznosi 32 kWh/god, odnosno oko 13.3%.

Dijagramima na slici 8.10 prikazana je potrošnja električne energije potrebne za hlađenje svežeg i recirkulacionog vazduha i za pogon ventilatora u zavisnosti od dužine trajanja NV i primenjene tehnike noćne ventilacije.

Takođe su ispitivani i režimi rada postojećeg sistema koji radi sa nižim vrednostima željene temperature vazduha, sa ciljem da se dobije podatak o tome koliko će sistem više utrošiti energije. Simulirani su režimi za celu letnju sezonu sa postavljenim vrednostima unutrašnje temperature vazduha od 24°C i 22°C (unutrašnja projektna temperatura za leto je 26°C). Na slici 8.11 levo prikazana je ukupna godišnja količina toplote koju treba odvesti sistemom za klimatizaciju u zavisnosti od željene unutrašnje temperature i broja sati rada noćne ventilacije, a na dijagramu desno je dat prikaz doprinosa noćne ventilacije smanjenju energije koja je potrebna za hlađenje.



Slika 8.10 Potrošnja električne energije potrebne za hlađenje i za pogon ventilatora u zavisnosti od dužine trajanja NV i primenjene tehnike noćne ventilacije

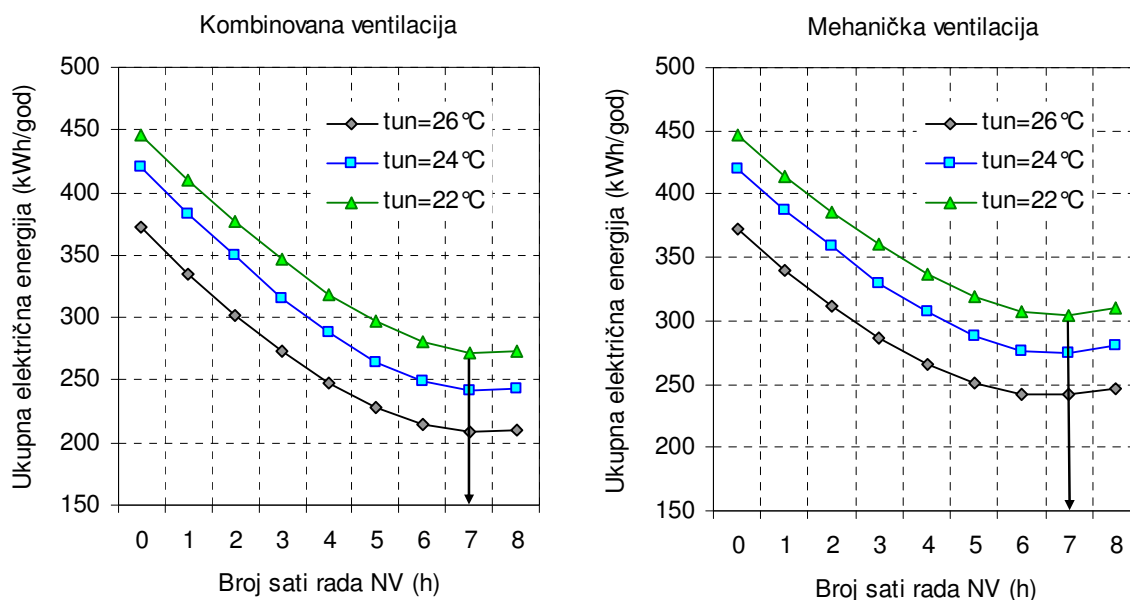


Slika 8.11 Godišnja potrebna finalna energija za hlađenje (levo) i njeno procentualno smanjenje (desno) u funkciji broja sati rada ventilacije tokom noći i različite željene unutrašnje temperature

Ukoliko se zadata temperatura unutrašnjeg vazduha snizi na vrednost od 24°C, godišnja potrebna energija za hlađenje uvećava se za 16.2% u režimu bez noćne ventilacije, a u odnosu na režim kada se zahteva unutrašnja temperatura od 26°C. Pri tome, postojeći sistem uspeva da tokom cele sezone održava unutrašnju temperaturu vazduha na zadatom nivou od 24°C. Kada se primeni noćna ventilacija dolazi do smanjenja efikasnosti hlađenja tokom noći od 1.8% do 5% u odnosu na slučaj kada sistem održava unutrašnju temperaturu na nivou od 26°C, a u zavisnosti od dužine trajanja noćne ventilacije (slika 8.11 desno).

Sa dodatnim sniženjem vrednosti unutrašnje temperature na 22°C, godišnja potrebna energija za hlađenje poraste za 25% u odnosu na režim kada se održava 26°C, kada se ne primenjuje noćna ventilacija, ali postojeći sistem ne uspeva tokom celog letnjeg perioda da održava temperaturu vazduha na zadatom nivou. U periodima pojave nekoliko uzastopnih toplih dana, zbog ograničenja temperature ubacnog vazduha, temperatura vazduha u prostoriji kreće se od 22.11°C do 22.83°C. Takvih toplijih dana tokom cele sezone (153 dana) ima ukupno 23. Dakle, kada bi se želela održavati stalno temperatura od 22°C u prostoru, bilo bi potrebno sniziti temperaturu ubacnog vazduha ili povećati ukupni protok vazduha ili produžiti vreme rada klimatizacije. U svakom slučaju, količina toplote koju treba odvesti bila bi veća, i taj porast bi se kretao oko 32% u odnosu na režim sa željenom temperaturom od 26°C. U slučajevima kada se primenjuje noćna ventilacija, broj dana kada sistem ne uspeva da održi unutrašnju temperaturu na nivou od 22°C se smanjuje, tako da pri sedmočasovnoj noćnoj ventilaciji sistem uspeva da tokom celog letnjeg perioda održava zadatu vrednost unutrašnje temperature. Kada se uporede procenti doprinosa noćne ventilacije sniženju potrebne energije za hlađenje, vidi se da dolazi do sniženja efikasnosti primene noćne ventilacije od 3 do 10.3% u odnosu na režim kada je zadata temperatura unutrašnjeg vazduha 26°C.

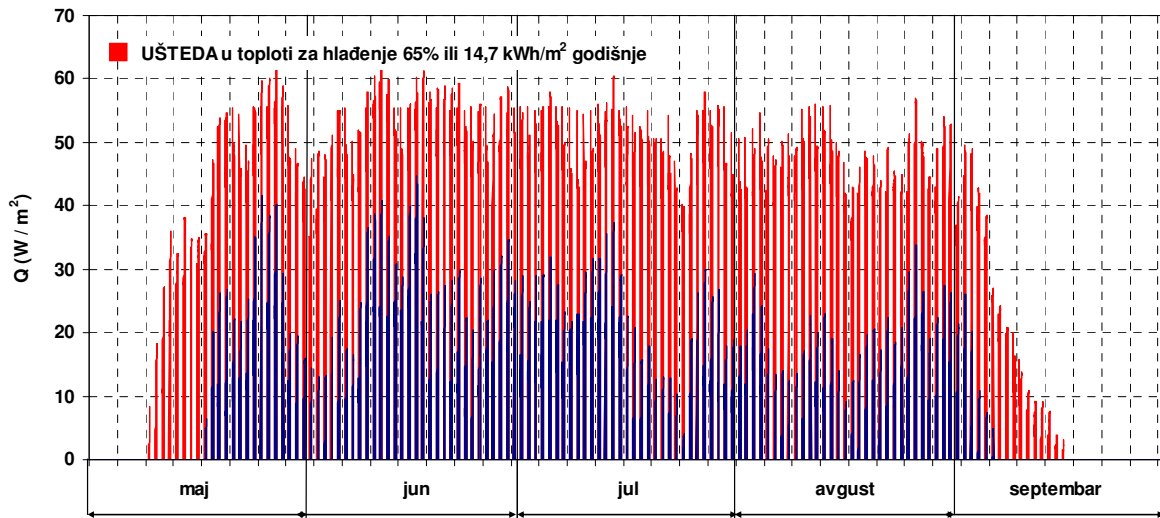
Na slici 8.12 predstavljena je ukupna godišnja potrošnja električne energije za rad sistema u zavisnosti od željene vrednosti unutrašnje temperature.



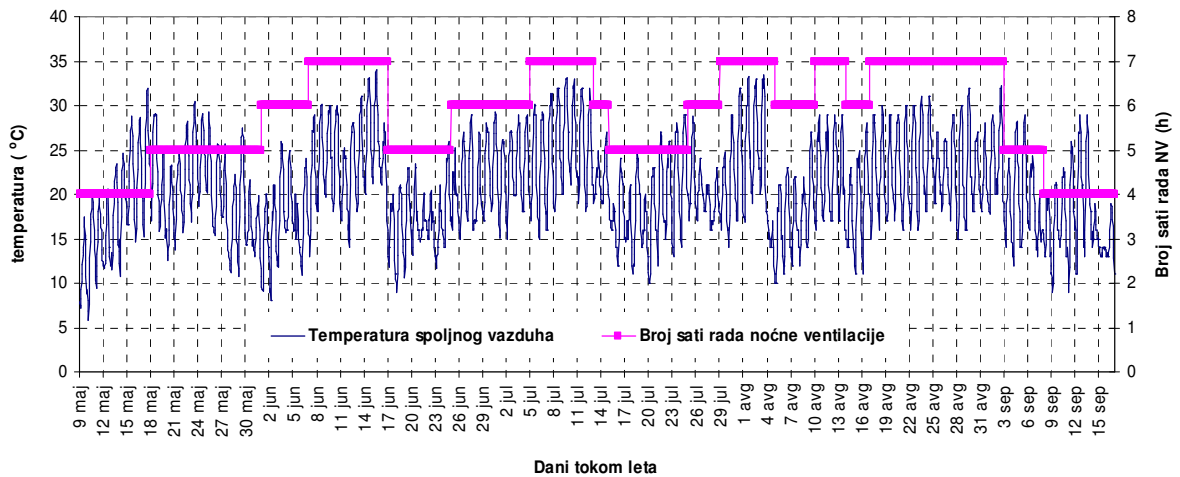
Slika 8.12 Uticaj željene unutrašnje temperature vazduha na izbor optimalnog režima rada sistema pri kombinovanoj (levo) i mehantičkoj (desno) noćnoj ventilaciji

Prikaz potrebne toplote hlađenja tokom cele letnje sezone za režime bez noćne ventilacije i sa primenom mehantičke noćne ventilacije dat je uporedo na slici 8.13. Primenjivan je režim vremenski vođene noćne ventilacije (od ponoći do 7 h ujutro). Ušteda ukupne energije potrebne za rad sistema iznosi 35% ili 6,52 kWh/m² godišnje.

Kako se tokom letnje sezone smenjuju topliji i hladniji periodi, tako se menja i dnevno toplotno opterećenje klimatizovanog prostora. U manje toplim periodima, sa oblačnim danima, smanjeno je toplotno opterećenje od spoljnih izvora toplote, manja je akumulacija toplote u građevinskim elementima zgrade. Iz tog razloga, umanjuje se efekat noćne ventilacije, pa je tada povoljnije da noćna ventilacija radi kraći vremenski period. Na osnovu vremenske prognoze, moguće je tokom letnjeg perioda postaviti nedeljne rasporede rada noćne ventilacije, sa različitom dužinom trajanja, što je prikazano dijagramom na slici 8.14.



Slika 8.13. Ušteda u finalnoj energiji za hlađenje tokom godine kada se primenjuje mehanička noćna ventilacija



Slika 8.14 Vremenski vođena mehanička noćna ventilacija sa predviđanjem