

## 10 OPTIMIZACIJA RADA KLIMATIZACIONIH SISTEMA

### 10.1 MERE OPTIMIZACIJE RADA 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. 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*).

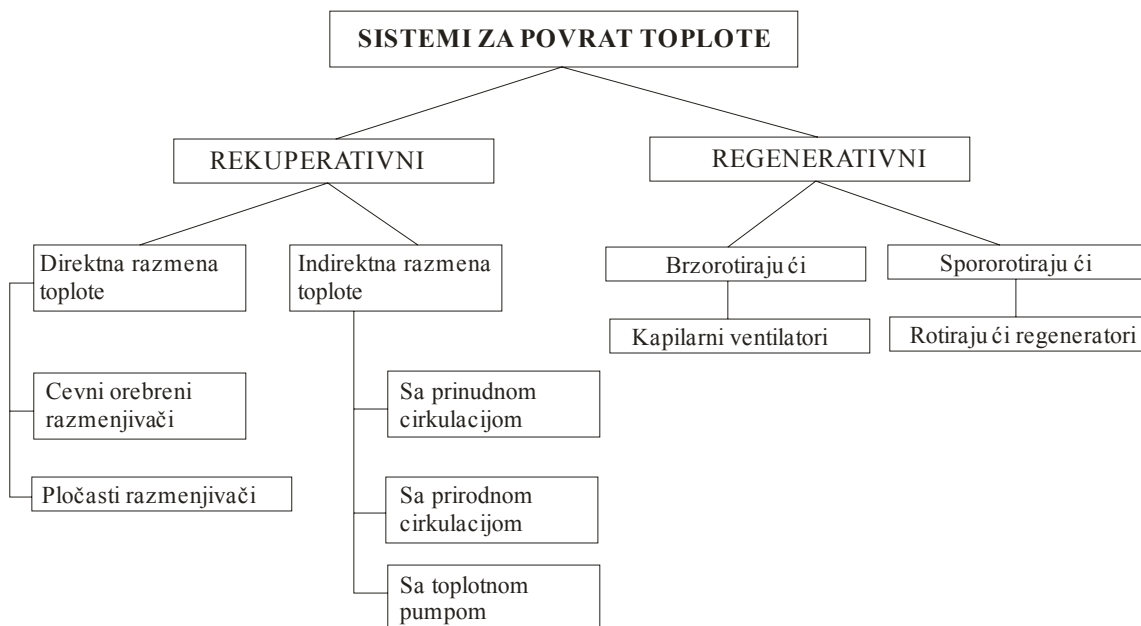
#### 10.1.1 Korišćenje otpadne toplote vazduha

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 m<sup>3</sup>/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 10.1 prikazana je podela sistema za korišćenje otpadne toplote vazduha.



Slika 10.1 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:

$$\eta = \frac{Q_P - Q_S}{Q_R - Q_{SV}} \quad (10.1)$$

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:

$$\eta_t = \frac{\theta_C - \theta_D}{\theta_C - \theta_A} \quad (10.2)$$

- na strani svežeg vazduha:

$$\eta_t = \frac{\theta_B - \theta_A}{\theta_C - \theta_A} \quad (10.3)$$

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:

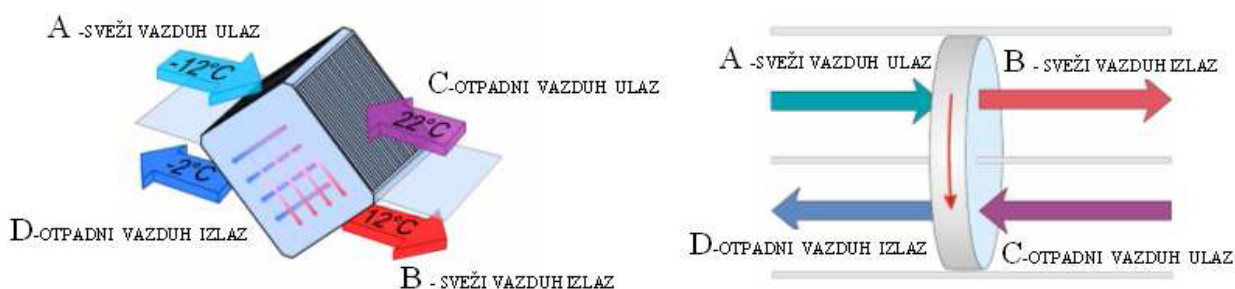
- na strani otpadnog vazduha:

$$\eta = \frac{h_C - h_D}{h_C - h_A}, \quad (10.4)$$

- na strani svežeg vazduha:

$$\eta = \frac{h_B - h_A}{h_C - h_A}. \quad (10.5)$$

Na slici 10.2 dat je šematski prikaz strujanja vazduha kroz pločasti rekuperativni razmenjivač toplote i rotacioni regenerativni razmenjivač toplote.



Slika 10.2 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 sruganje svažeg 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 10.3 dat je izgled pločastog rekuperatora i procesi promene stanja svežeg (crvena linija) i otpadnog vazduha (zeleno linija) prilikom stujanja kroz rekuperator (zimski režim).

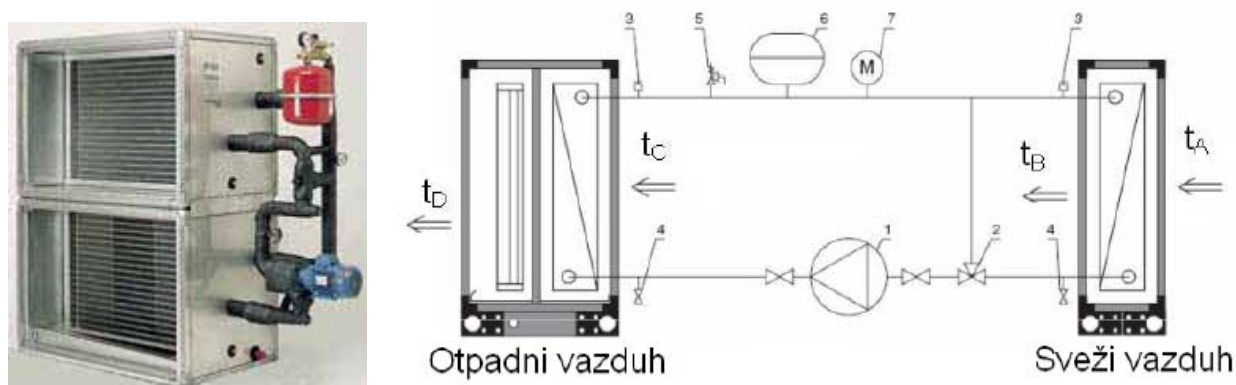


Slika 10.3 Pločasti rekuperator i promena stanja svežeg i otpadnog vazduha

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 m<sup>3</sup>/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 10.4 prikazan je izgled glikolnog rekuperatora i šema povezivanja.



Slika 10.4 Glikolni rekuperator sa prinudnom cirkulacijom

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

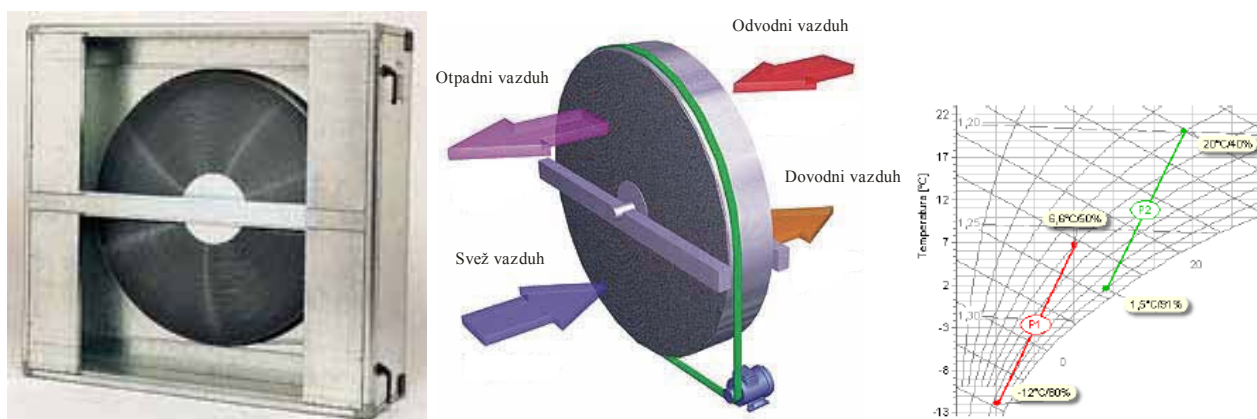
**Regenerativni razmenjivači toplote** omogućavaju razmenu suve i latentne toplote na taj način što se razmena toplote odvija preko akumulacione mase, uz međusovni direktni kontakt struja vazduha. Prednost je mogućnost povrata vlage i veći stepenn povrata toplote, kao i kompaktnija izvedba u poređenju 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 10.5), 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 protivstrujno i koristi se za prenos toplote između gasova temperatura do 200°C. Prečnik rotora je do 6 m, brzina rotacije 5 do

20 min<sup>-1</sup> s protocima gasa do 150 000 m<sup>3</sup>/h. Sistemom je moguće ostvariti stepen povrata toplote i strepen 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 regenerator ima 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.



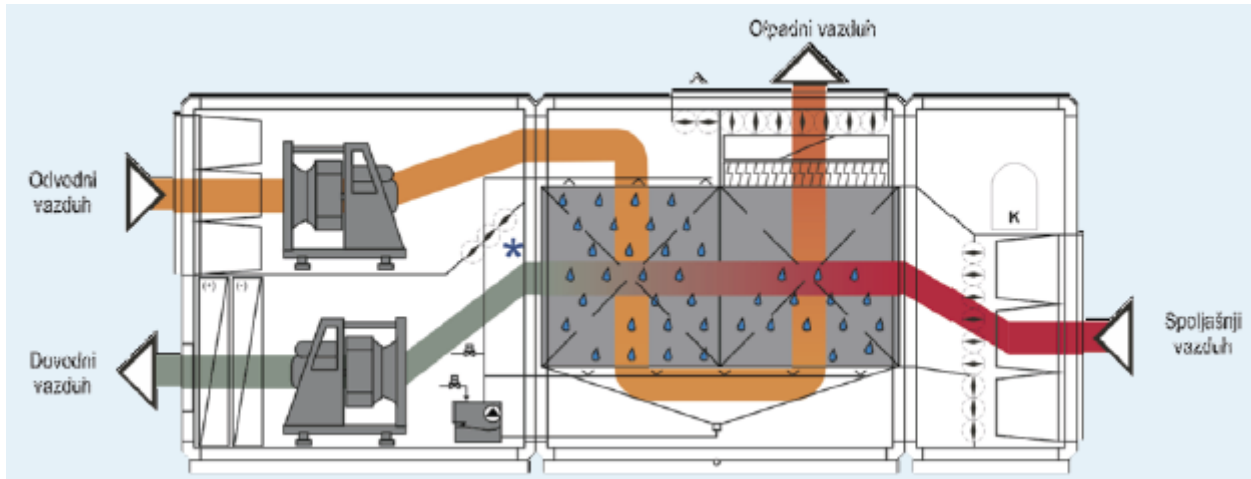
Slika 10.5 Rotacioni regenerativni razmenjivač toplote i promena stanja u h-x dijagramu

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.

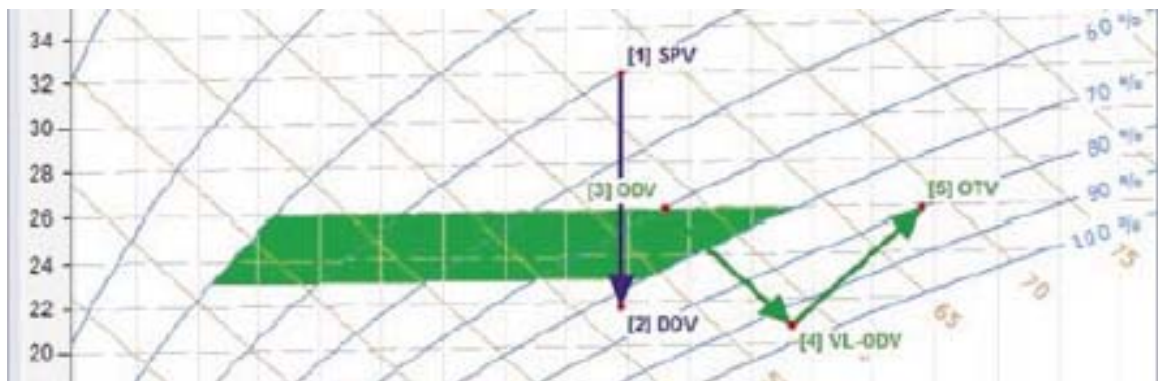
### 10.1.2 Primena indirektnog adijabatskog hlađenja

Jedna od posebnih izvedbi (slika 10.6) 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 10.7 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 temperaturskom 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 10.6 Klima komora sa indirektnim adijabatskim hlađenjem



Slika 10.7 Proces promena stanja prilikom indirektnog adijabatskog hlađenja u rekuperatoru

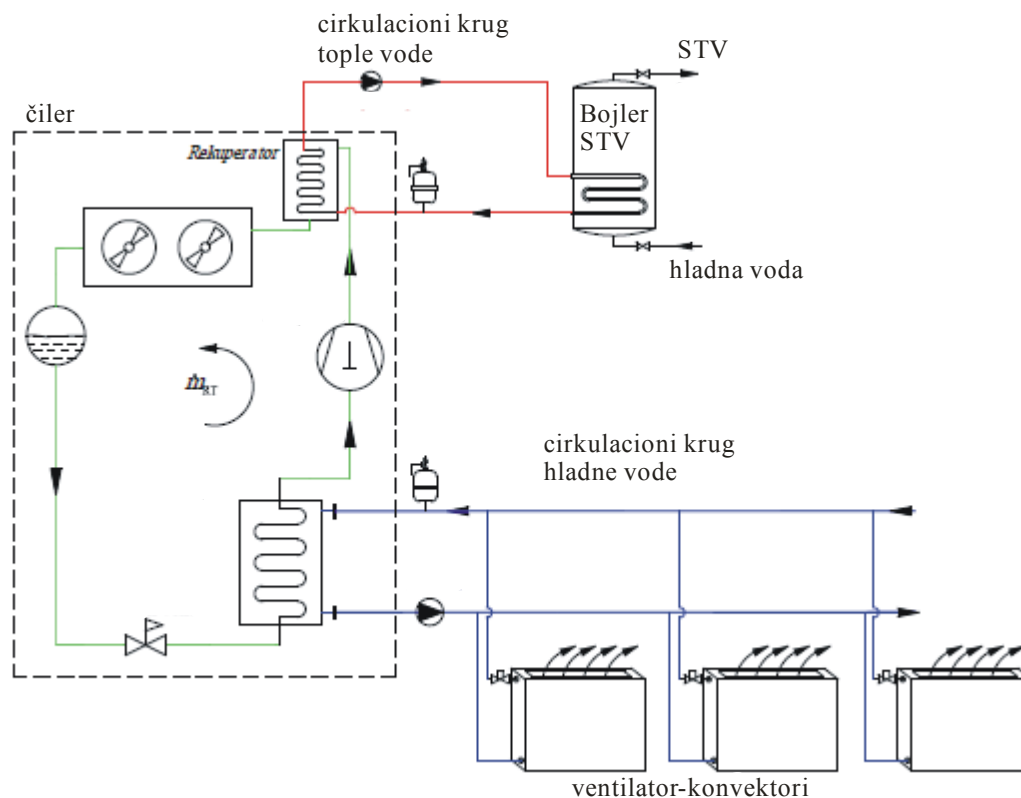
### 10.1.3 Korišćenje otpadne toplote kondenzacije

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 10.8.

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 10.8 Šema sistema za korišćenje otpadne toplote kondenzacije

#### 10.1.4 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:

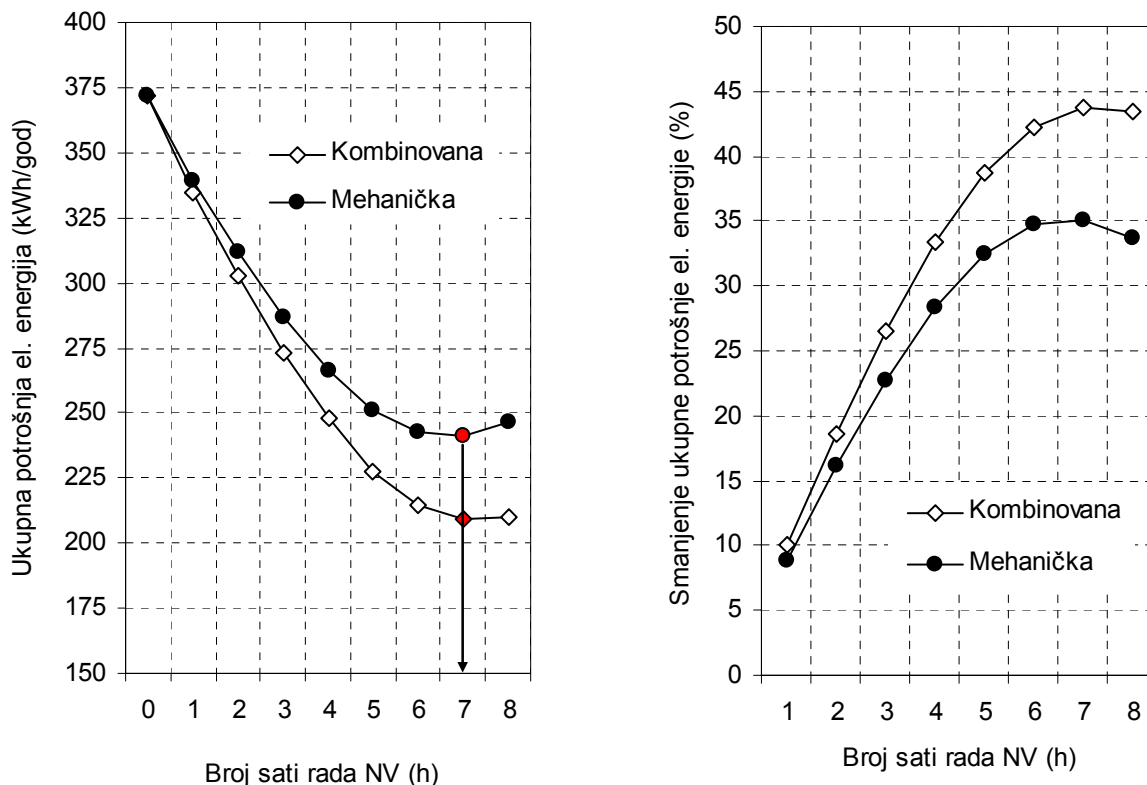
- Primena noćne ventilacije značajno doprinosi smanjenju potrošnje energije za hlađenje poslovnih zgrada tokom dana,
- Procenat uštede koja se može postići zavisi od više uticajnih parametara (kao što su tip gradnje objekta, tehnika i dužina trajanja noćne ventilacije, protok vazduha, itd.),
- Smanjenje efikasnosti tehnike javlja se u urbanim, gusto naseljenim zonama, kao i u periodima visokih temperatura spoljašnjeg vazduha tokom noći,
- Sniženje željene temperature unutrašnjeg vazduha dovodi do smanjenja efikasnosti tehnike noćne ventilacije,
- Orijentacija prostorija u zgradi zanemarljivo utiče na 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 na 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 10.9 prikazan je uticaj dužine trajanja noćne ventilacije na smanjenje potrošnje električne energije za rad sistema.



Slika 10.9 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:

$$P(\tau) = \int_0^{\tau} Q_{OPT}(\tau) \cdot d\tau + \int_0^{\tau} Q_{SV}(\tau) \cdot d\tau + \int_0^{\tau} P_{FAN}(\tau) \cdot d\tau. \quad (10.6)$$

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 (**E**nergy **E**fficiency **R**atio) kako bi bilo moguće sabiranje sva tri člana u jednačini (10.6). Trenutno toplotno opterećenje prostorije računa se iz toplotnog bilansa i predstavlja količinu toplote koju vazduh u prostoriji primi u posmatranom trenutku:

$$Q_{OPT}(\tau) = \left( \sum_{i=1}^n \alpha_i [t_i(\tau) - t_{UV}(\tau)] + b_{ST} Q_{SV}(\tau) \right) \cdot \frac{1}{EER}, \quad (10.7)$$

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:

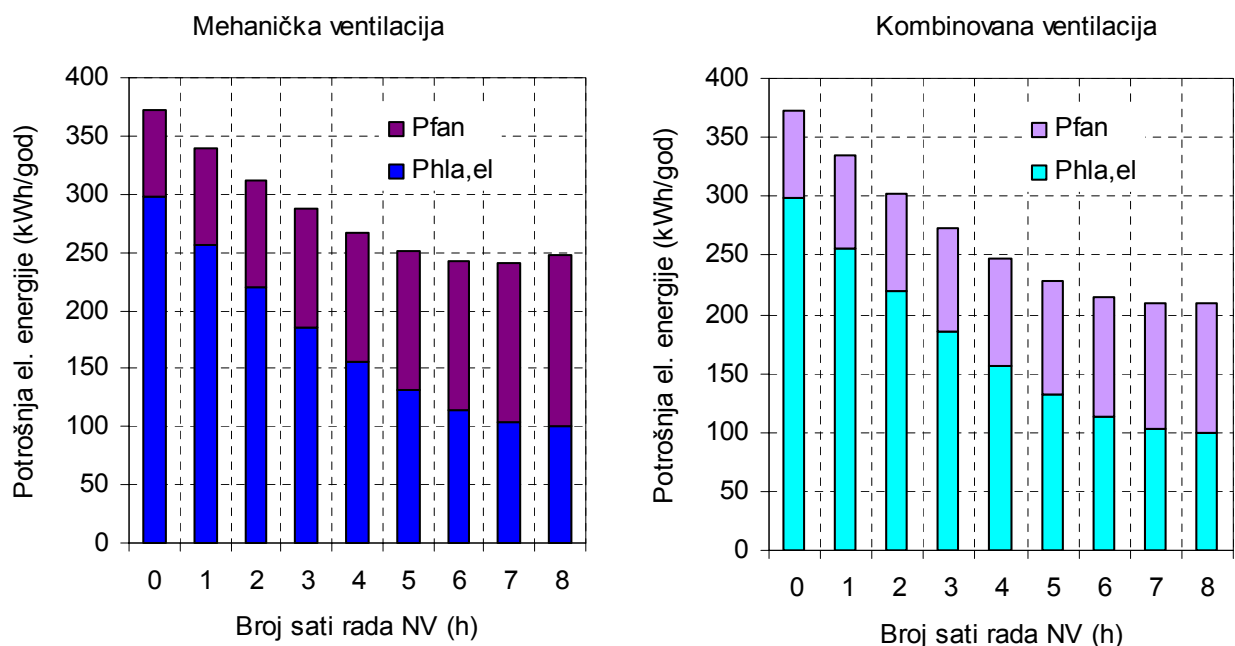
$$Q_{SV}(\tau) = \left[ m_{SV} \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{SV}(\tau) - t_{UV}(\tau)) \right] \cdot \frac{1}{EER} \quad (10.8)$$

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

$$P_{FAN}(\tau) = p_{EL} \cdot \tau \quad (10.9)$$

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 10.9 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%.

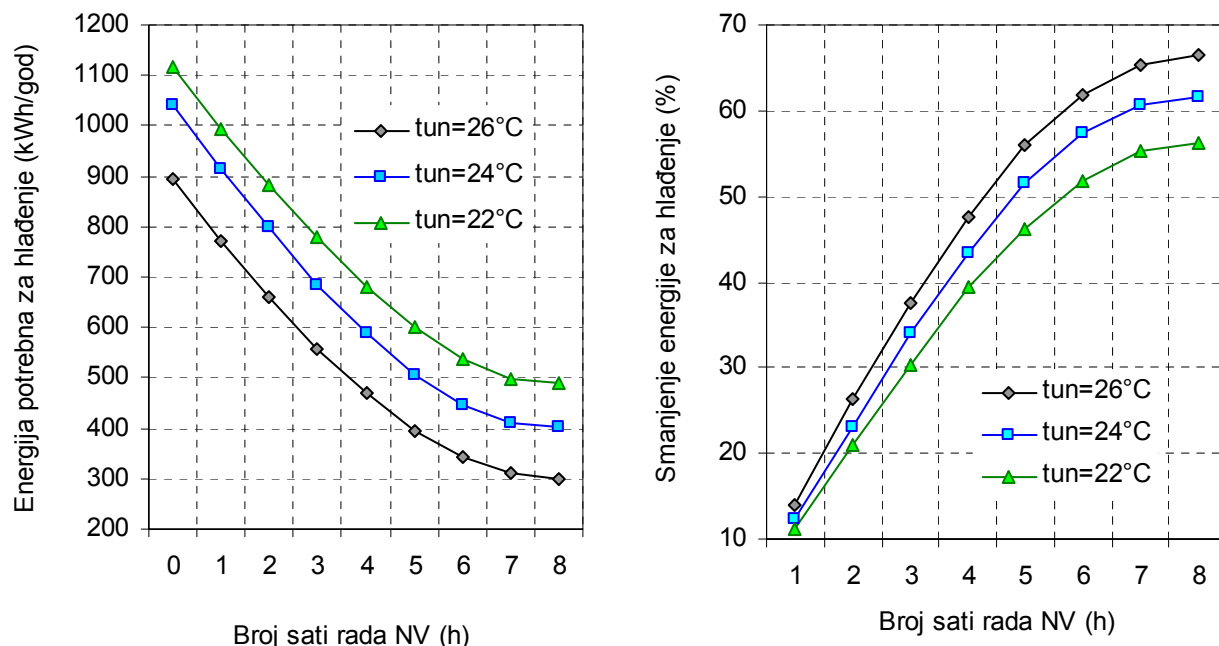
Dijagramima na slici 10.10. prikazana je potrošnja električne energije potrebne za hlađenje svežeg i recirkulacionog vazduha i za pogon ventilatora u zavisnosti od dužine trajanja NV i primenjene tehnike noćne ventilacije.



Slika 10.10 Potrošnja električne energije potrebne za hlađenje 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 10.11 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.

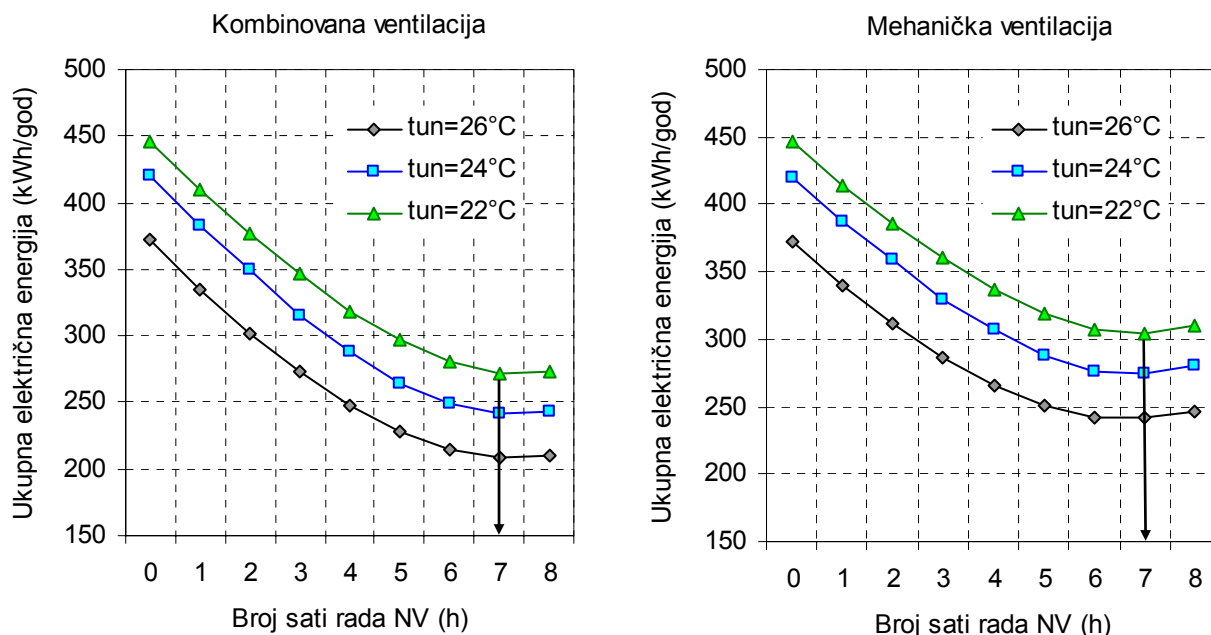


Slika 10.11 Godišnja potrebna finalna energija za hlađenje (levo) i njeno procentualno smanjenje (desno) u funkciji broja sati rada ventilacije tokom noći i različite željene unutrašnje temperature

Ukoliko se zadana 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 10.11 desno).

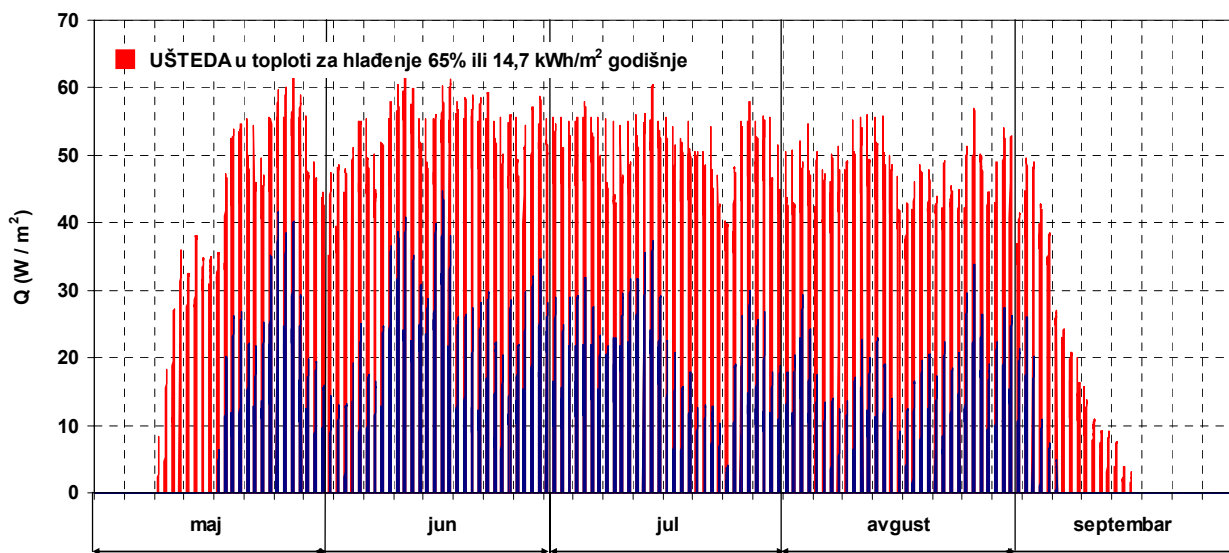
Sa dodatnim sniženjem vrednosti unutrašnje temperature na 22°C, godišnja potrebna energija za hlađenje poraste za 25% u odnosu na režim kada se održava 26°C, kada se ne primenjuje noćna ventilacija, ali postojeći sistem ne uspeva tokom celog letnjeg perioda da održava temperaturu vazduha na zadatom nivou. 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 zadana temperatura unutrašnjeg vazduha 26°C.

Na slici 10.12 predstavljena je ukupna godišnja potrošnja električne energije za rad sistema u zavisnosti od željene vrednosti unutrašnje temperature.



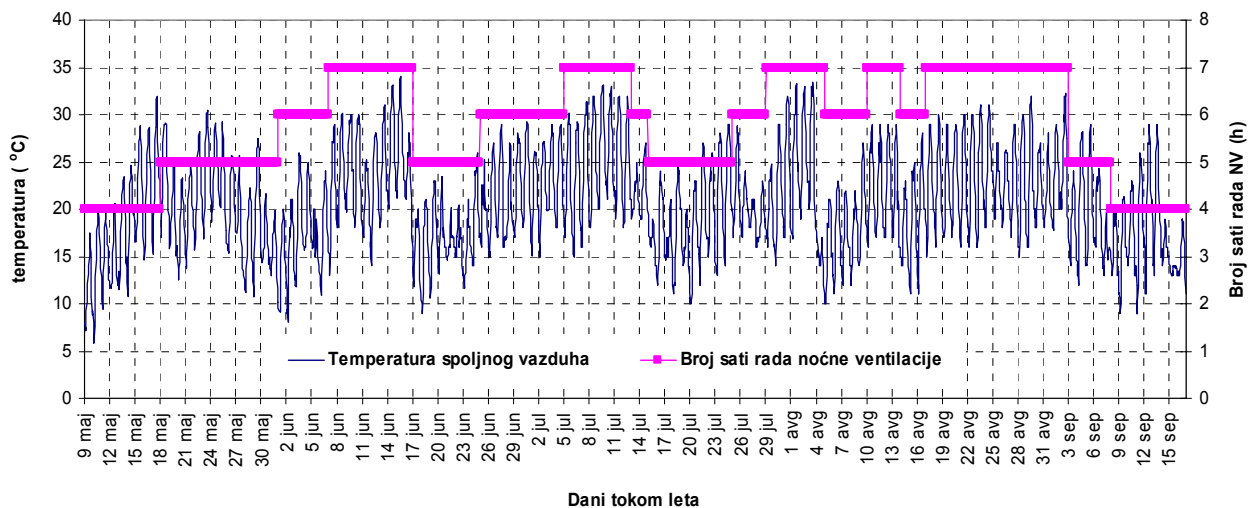
Slika 10.12 Uticaj željene unutrašnje temperature vazduha na izbor optimalnog režima rada sistema pri kombinovanoj (levo) i mehaničkoj (desno) noćnoj ventilaciji

Prikaz potrebne toplote hlađenja tokom cele letnje sezone za režime bez noćne ventilacije i sa primenom mehaničke noćne ventilacije dat je uporedo na slici 10.13. 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/m<sup>2</sup> godišnje.



Slika 10.13. Ušteda u finalnoj energiji za hlađenje tokom godine kada se primenjuje mehanička noćna ventilacija

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 10.14.



Slika 10.14 Vremenski vođena mehanička noćna ventilacija sa predviđanjem