

# IZBOR KLIMA-KOMORA I MOGUĆNOSTI ZA POVEĆANJE EFIKASNOSTI

## CLIMATE CHAMBERS SELECTION AND ENERGY EFFICIENCY IMPROVING POSSIBILITIES

Dejana SOLDO<sup>1</sup>, Milan MARKOVIĆ, Jovana MARKOVIĆ

Soko inženjering, Beograd

*Svaki sistem klimatizacije koji ispravno funkcioniše održavaće razumne termičke parametre (temperaturu i vlagu) u zatvorenom prostoru. Primena energetski efikasnijih sistema i ErP direktive takođe se podrazumeva u današnje vreme. U radu je prikazan izbor klima-komora; potrebni parametri za izbor optimalne konfiguracije, mogućnosti za poboljšanje performansi koje mogu učiniti klimatizovane prostore još udobnijim, a istovremeno poboljšati energetska efikasnost. Godišnja provera, redovno održavanje i podešavanje sistema takođe doprinose značajnoj uštedi.*

**Ključne reči:** Klima-komora, razmenjivači za povrat toplote, energetska efikasnost, kvalitet vazduha, održavanje, ...

*Any properly functioning air conditioning system will maintain reasonable thermal parameters (temperature and humidity) indoors. The application of more energy efficient systems and the ErP directive is also implied nowadays. The paper presents the choice of climate chambers; the necessary parameters for the selection of the optimal configuration, the possibilities for improving the performance that can make the air-conditioned spaces even more comfortable, and at the same time improve the energy efficiency. Annual inspection, regular maintenance and adjustment of the system also contribute to significant savings.*

**Key words:** Climate chamber, heat recovery exchangers, energy efficiency, air quality, maintenance...

### UVOD

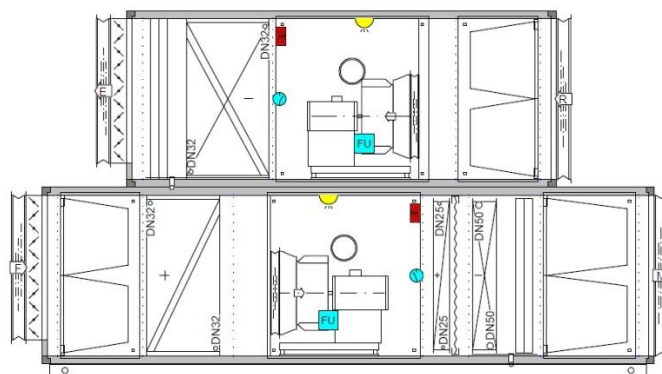
Zbog velikih energetskih troškova, ekološke brige i boljeg kvaliteta vazduha primena rekupe- rativnih i regenerativnih razmenjivača toplote (koji omogućavaju razmenu toplote sa povratnog vaz- duha na stranu svežeg vazduha) u klima-komorama postala je imperativ današnjeg vremena. Izbor tipa razmenjivača zavisi od namene objekta, klimatskih uslova, potrebnih parametara vazduha i postavljenih zahteva, dok izbor veličine razmenjivača treba da bude optimalan, da obezbedi što bolji stepen iskorišćenja sa jedne strane, a što manji pad pritiska, sa druge strane. U nastavku navedene su prednosti i mane razmenjivača za povrat toplote, koji nam stoje na raspolaganju.

**Kružni cirkulacioni sistemi** iako imaju najmanji stepen efikasnosti, nezamenljivi su u siste- mima gde ne sme doći do mešanja struja vazduha, u slučajevima klimatizacije čistih prostora, labo- ratorija i slično. Njihova velika prednost je i što ne postoji opasnost od pojave leda, pa se mogu koristiti tokom celog grejnog perioda. Najveći nedostatak je što imaju najmanju uštedu energije u letnjem režimu rada.

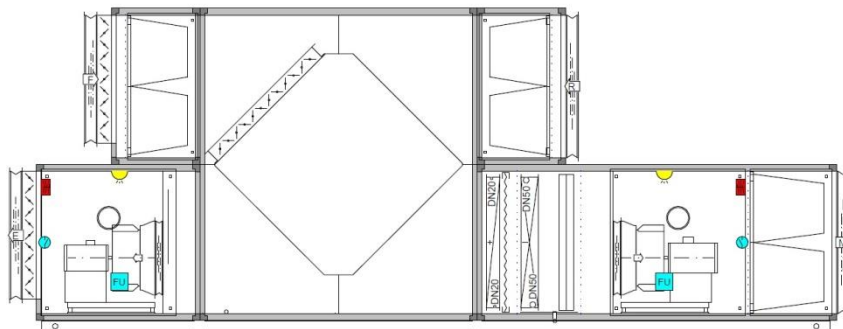
**Rekuperativni razmenjivači pločasti**, imaju visok stepen efikasnosti u zimskom i u letnjem režimu rada. Omogućavaju razmenu samo osetne toplote. Jednostavni su za održavanje. Nedostatak je što imaju najveću mogućnost pojave leda i smrzavanja.

**Regenerativni rotacioni razmenjivači** entalpijski i sorpcioni, imaju takođe visok stepen efika- snosti u zimskom i u letnjem režimu rada. Omogućavaju razmenu osetne i latentne toplote. Dimen- ziono su manji od pločastih, i manja je mogućnost pojave leda i smrzavanja. Zbog pokretnih delova zahtevaju posebnu pažnju prilikom održavanja.

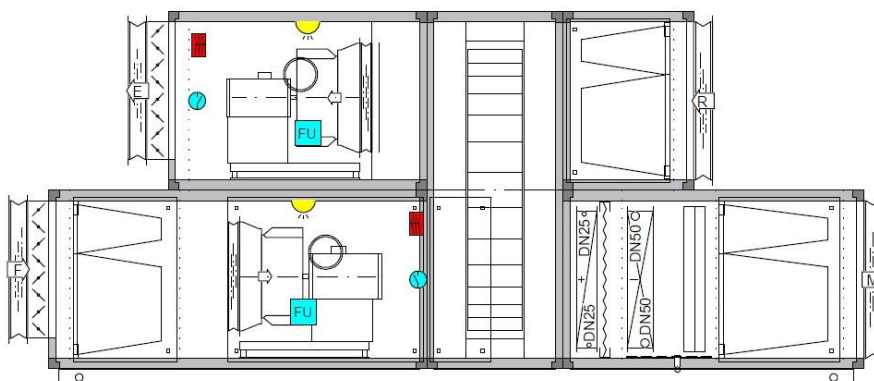
<sup>1</sup> Corresponding author's email: dejana.soldo@sokoing.rs



Slika 1. Klima-komora sa rekuperatorom dva izmenjivača u zatvorenom krugu



Slika 2. Klima-komora sa pločastim rekuperatorom

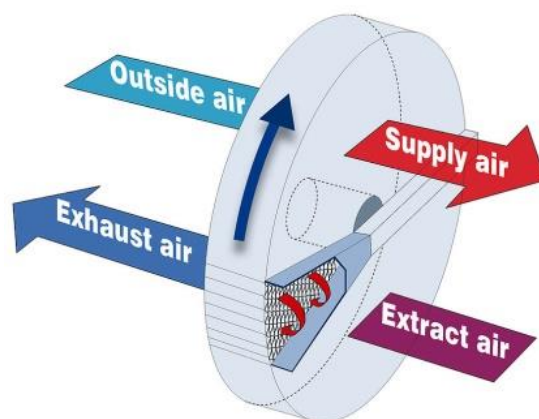


Slika 3. Klima-komora sa rotacionim rekuperatorom

Zajednički nedostatak pločastih i rotacionih razmenjivača je mogućnost unakrsnog propuštanja vazdušnih tokova. Propuštanja vazdušnih tokova posledica je curenje kroz zaptivke koje odvajaju vazdušne tokove, a kod rotacioni razmenjivača postoji mogućnost prenosa male količine vazduha u saću rotora dok se rotira od jednog vazdušnog toka do drugog. Ovaj nedostatak može se prevazići postavljanjem ventilatora u preporučenu konfiguraciju tako da se razmenjivač nalazi u zoni podpritisaka na odsisnoj strani, i u zoni nadpritisaka na potisnoj strani. Za tačan proračun mogućnosti unakrsnog propuštanja vazdušnih tokova, potrebno je znati pad pritiska u sve četiri kanalske deonice koje povezuju klima-komoru sa spoljašnjim vazduhom i vazduhom u prostoru.

Kao dodatna mera bezbednosti za rotacione razmenjivače preporučuje se ugradnja sektora za čišćenje. To je posebno dizajniran nosač koji čisti rotor svežim vazduhom i fizički sprečava da povratni cirkulacioni vazduh ponovo prodre u rotor.

Primena razmenjivača za povrat toplote omogućava uvođenje veće količine svežeg vazduha u klimatizovan prostor, čime se značajno smanjuje koncentracija zagađivača i poboljšava kvalitet vazduha bez povećanja energetske troškova.



Slika 4. Rotacioni rekuperator sa sektorom za čišćenje

### Izbor optimalne konfiguracije klima-komore

Sa ciljem da prikazemo kako različiti tipovi razmenjivača za povrat toplote utiču na ostale elemente klima-komore, napravljena je uporedna analiza četiri sistema. Kao osnova za analizu izabrana je klima-komora sa sledećim ulaznim parametrima, koji su isti u sva četiri slučaja:

- Dvosmerna ventilaciona jedinica BVU, spratne izvedbe
- Količina vazduha 12000m<sup>3</sup>/h na potisu i odsisu, sa parametrima vazduha datim u tabeli 1.
- Predviđeno je da sistem radi sa 100% svežim vazduhom
- Filteri M5 (ePM10 50%) i F7 (ePM1 50%) na potisu; i M5 (ePM10 50%) na odsisu
- Ventilatori su tipa „plug-in“ sa pogonom promenljive brzine sa frekventnom regulacijom
- Izabrani su motori klase energetske efikasnosti IE3 sa snagom 5,5 KW na potisu i 4 KW na odsisu, pri čemu je eksterne pad pritiska na potisu i odsisu ima vrednost 400 Pa
- U svim slučajevima, klima-komora ispunjava zahteve ErP regulative.

Tabela 1. Parametri vazduha usvojeni u analizi

Parametrima vazduha	Zima	Leto
Temperatura i relativna vlaga svežeg vazduha	(-12 °C),(90%)	(35 °C),(35%)
Temperatura i relativna vlaga povratnog vazduha	( 20 °C),(40%)	(25 °C),(50%)
Temperatura i relativna vlaga ubacnog vazduha	( 22 °C),(xx%)	(18 °C),(xx%)

U tabeli 2. dati su rezultati ove analize.

Glikolski rekuperatori da bi ispunili ErP regulativu i dostigli efikasnost od 68% zahtevaju najmanju brzinu vazduha od 1,7 m/s odnosno najveći poprečni presek klima-komore. Ukupna električna snaga kod ovog sistema je najmanja 8,44 KW srazmerno najmanjem padu pritiska od 120 Pa na glikolskom rekuperatoru i najmanjoj vrednosti SFP faktora od 552 W/(m<sup>3</sup>/s). Sa druge strane ovaj sistem zahteva najveću toplotnu i rashladnu energiju.

Pločasti rekuperatori da bi ispunili ErP regulativu i dostigli efikasnost veću od 73 % zahtevaju najveću dužinu klima-komore, a brzina od 1,81 m/s takođe zahteva veći poprečni presek. Kako omogućavaju razmenu samo osetne toplote ovi sistemu zahtevaju rashladnu energiju drugu po veličini.

Iz prikazanih rezultata vidimo da najveću uštedu energije omogućavaju rotacioni regeneratori, posebno sorpcioni, pa je i energetska klasa ovog sistema prema Euroventu najveća - A (2016).

### Mogućnosti za poboljšanje performansi

Upravljanje količinom svežeg vazduha moguće je obezbediti tačno potrebnu količinu svežeg vazduha u sistemu klimazizacije sa ciljem da se zadovolji potreban kvaliteta vazduha a ujedno i obezbedi maksimalna ušteda energije. Efikasno **regulisanje kvaliteta vazduha** u prostorijama moguće je kontrolisati pomoću senzora CO<sub>2</sub>, odnosno preko ventilacionog sistema koji sadrži senzore CO<sub>2</sub>. Ugljen dioksid (CO<sub>2</sub>) stvara se disanjem pa ga ima tamo gde boravi najveći broj ljudi, a to je ujedno

i jedan od kriterijuma prema kome se određuje potreban broj izmena vazduha u sistemu. Da bi se postiglo prijatno i zdravo okruženje za boravak ljudi potrebno je uneti dovoljne količine svežeg vazduha.

Tabela 2

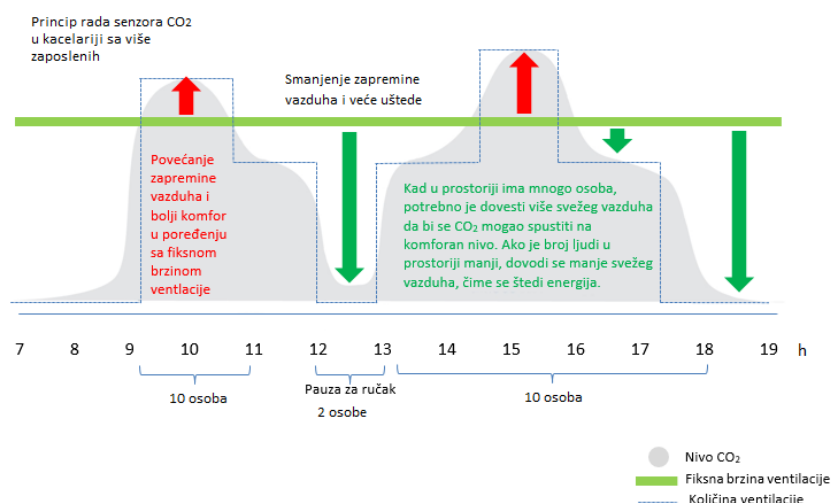
Analiza sistema	Razmenjivač za povrat toplote			
	Pločasti rekuperator	Rotacioni entalpijski	Rotacioni sorpcioni	Glikolski rekuperator
Veličina klima-komore	K5-4	K6-3	K6-3	K15
Širina x Visina x Dužina [mm]	1.58 x 2.8 x 6.94	1.88 x 2.2 x 4.79	1.88 x 2.2 x 4.79	1.67 x 2.8 x 4.69
Brzina vazduha na un.popr.preseku [m/s]	1.81	2	2	1.7
Brzina vazduha na svetlom preseku izmenjivača [m/s]	2.2	2.55	2.55	2
Pad pritiska na sistemu za povrat toplote[Pa]	198	199	205	120
Efikasnost sistema za povrat toplote HRS $\eta_t$ [%]	74.1	76.1	77.6	68
Min.Vrednost efikasnost $\eta_t$ [%] za ErP2016 / 2018	>67 / >73	>67 / >73	>67 / >73	>63 / >68
Povrat toplote KW (Zima) - Ukupna / Osetna	100.3	127.60 / 98.4	129.60 / 100.3	86.69
Povrat toplote Zima - Izlazna temp. °C	12.9	12.4	12.9	9.57
Povrat toplote Leto KW - Ukupna / Osetna	30.4	38 / 29.8	46.8 / 31.3	26.94
Povrat toplote Leto - Izlazna temp. °C	27.6	27.6	27.2	28.42
Potrebna toplotna energija za grejač [kW]	35.71	37.87	36.29	48.77
Potrebna rashladna energijae za hladnjak [kW]	51.37	47.25	41.29	70.17
Vrednost SFP <sub>int</sub> [W/(m <sup>3</sup> /s)]	785	823	839	552
Max.Vrednost SFP <sub>int</sub> [W/(m <sup>3</sup> /s)] za ErP2016 / 2018	1113 / 833	1173 / 893	1218 / 938	1550 / 1300
Ukupna električna snaga P [kW]	9.11	9.28	9.31	8.44
Energetska klasa Klima-komore prema Euroventu	B (2016)	B (2016)	A (2016)	B (2016)

Kod ventilacionih sistema sa uključenim razmenjivačima za povrat toplote, zahvaljujući CO2 senzoru sprečava se gubitak energije izazvane preteranom ventilacijom. Takođe treba voditi računa i o pravilnoj raspodeli minimalno potrebne količine svežeg vazduha po prostorijama. Kada se u bilo kojoj prostoriji otkrije povećanje sadržaja CO2, započinje ventilacija te prostorije. Stepenn otvaranja klapni i količina dovedenog vazduha zavise od količine sadržaja CO2. Isto tako ako u istoj prostoriji boravi manji broj ljudi ili uopšte ne boravi, na primer za vreme pauze ili sastanka, smanjuje se koncentracija CO2 u prostoriji i samim tim se smanjuje dotok svežeg vazduha. Princip rada CO2 senzora, na primer u kancelariji sa više zaposlenih, prikazan je na slici 5.

Upotreba CO2 senzora ostvaruje najveću uštedu u objektima u kojima postoji promenljiv i nepredvidljiv broj prisutnih ljudi tokom određenog perioda, sa jako izraženim maksimumom, kao na primer kancelarije, državne institucije, prodavnice i tržni centri, bioskopi, auditorijumi, škole, itd. Ventilacioni system reaguje na promene nivoa koncentracije CO2 u skladu sa parametrima koje definiše korisnik.

**Filteri** su elementi klima-komore koji imaju veoma važnu ulogu za kvalitet vazduha. Kao jedini zamenski deo u klima-komori imaju za cilj da zaštite ceo klimatizacioni sistem od spoljašnjih zagađivača. Zavisno od namene prostora koji se klimatizuje i potrebe za čistim vazduhom biraju se i

stepeni filtracije koji će se primeniti. Pravilnim izborom filtera za klima-komoru moguće je uštedeti do 30% na električnoj energiji a zadržati isti stepen filtracije.



Slika 5. Princip rada CO2 senzora u kancelariji sa više zaposlenih

Pravilna ugradnja filtera u klima-komoru takođe je važna, time se sprečava curenje vazduha oko filtera, povećava eksploatacioni period, kvalitet vazduha ostaje isti tokom čitavog perioda korišćenja filtera. Vrećasti filteri se ugrađuju tako da vreće stoje uspravno a ne horizontalno. Filtere treba menjati kada dostignu krajnji pad pritiska predviđen za njega. Vrednosti početnog i krajnjeg pada pritiska mogu se očitavati sa diferencijalnog manometra.



Slika 6. Primer pravilne i nepravilne ugradnje filtera



Slika 7. Diferencijalni manometar

Usled klimatskih promena, sve češće se susrećemo sa ekstremnim vrednostima temperature i vlage i potrebom za odvlaživanjem vazduha. Kombinacijom više sistema za povrat toplote moguće je postići efikasnu regulaciju vlage i doprineti značajnoj uštedi energije.

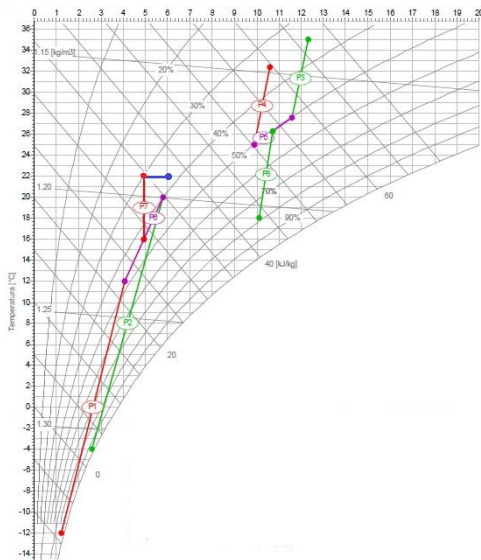
**Mešanjem struja vazduha nakon rotacionog regeneratora** postiže se značajna ušteda u potrebnoj energiji za vlaženje vazduha u zimskom periodu; kao i ušteda rashladne energije u letnjem periodu za odvlaživanje.

**Kombinacija pločastog rekuperatora sa freonskim krugom** (isparivačem na strani povratnog vazduha i kondenzatorom na strani ubacnog vazduha) ima najčešću primenu u klimatizaciji namenskih prostora kao što su bazeni, slika 10. Isparivač je dimenzionisan tako da svojim rashladnim kapacitetom omogućava kontrolu odvlaživanja, a toplota kondenzacije koristi se za naknadno dogrevanje vazduha.

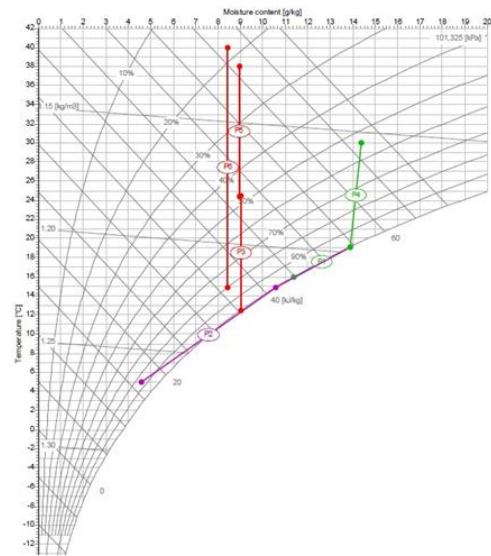
**Primena glikolskog rekuperatora u seriskoj vezi kao dodatni sistem za povrat toplote** koji omogućava uštedu energije potrebnu za odvlaživanje vazduha. Primenu nalazi u objektima sa promenljivim brojem prisutnih ljudi sa ciljem redukovanja dodatnog latentnog toplotnog opterećenja



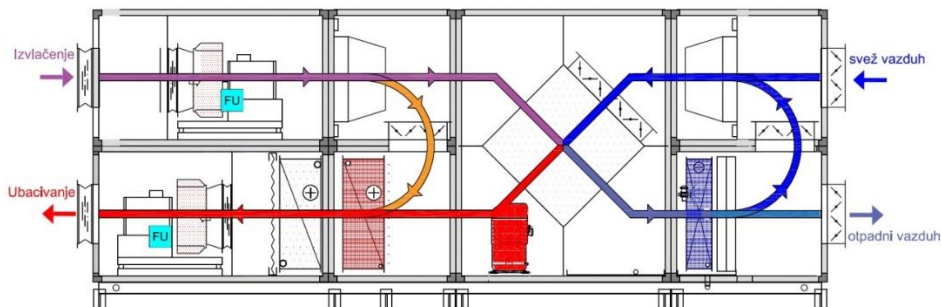
koje može da se javi u prelaznim periodima godine. Glikolni rekupeator hladnjak (P7) obezbeđuje potreban rashladni kapacitet za dodatno pothlađivanje, a glikolski rekuperator grejač (P9) obezbeđuje potrebnu toplotu za dogrevanje ubacnog vazduha.



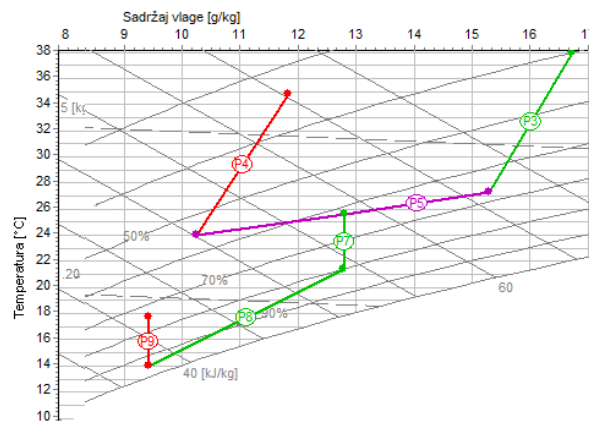
Slika 8. Promena stanja vazduha u sistemu sa pripremom svežeg vazduha sa rotacionim regeneratom i naknadnim mešanjem strija vazduha



Slika 9. Promena stanja vazduha bazenske klima-komore



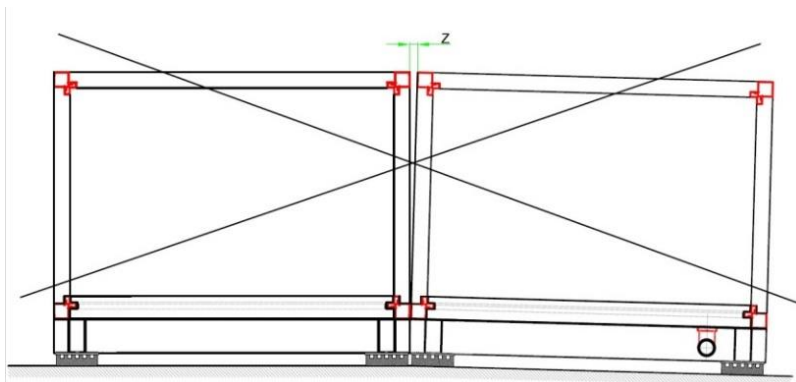
Slika 10: Bazenska klima-komora



Slika 11. Promena stanja vazduha pri primeni rotacionig regeneratora i glikolskog rekuperatora

## Značaj ispravne montaže, regulacije i održavanja

Pored izbora optimalne konfiguracije klima-komore i dimenzionisanja svih elemenata za dobijanje željenih parametara, važna je pravilna montaža, koja treba da obezbedi dobro zaptivanje, spreči prenos vibracija i buke. Dobra zaptivenost pored toga što smanjen utrošak energije obezbeđuje i higijensku ispravnost vazduha. Pri postavljanju klima-komore treba izvršiti nivelisanje svih sekcija. Povezivanje nepravilno nivelisanih sekcija (slika 12) dovodi do curenja vazduha i nepravilnosti u radu koje mogu oštetiti klima-komoru. Takođe važno je pravilno spajanje klima-komore sa kanalskom mrežom. Između klima-komore i kanala postavlja se elastična veza koja ima ulogu da spreči prenošenje vibracija sa klima-komore na kanalsku mrežu. Nepravilnim spajanjem (slika 13) vibracije sa klima-komore prenose se na kanalsku mrežu što dovodi do povećanja buke u klimatizovanom prostoru. Takođe može dovesti do oštećenja elastične veze što uzrokuje curenje vazduha i velike gubitke.



Slika 12. Nepravilno spojene sekcije klima-komore



Slika 13. Nepravilni spoj klima-komore i kanalske mreže

Ključni faktor koji utiče na performanse klima-komore je pristup eksploataciji na najoptimalniji način. Primena pravilnog upravljanja i namenski programabilnih kontrolera za upravljanje radom klima-komore omogućiti će ekonomičan režim rada prilagođen promenama spoljašnjih i unutrašnjih parametara. Vremenom može doći do promena unutar samog klimatizovanog prostora (prenamena prostora, građevinske izmene, i sl.), pa klima-komora treba da radi pri drugačijim uslovima od projektovanih. Iz tog razloga su godišnja podešavanja rada klima-komore neophodna, sa ciljem prilagođavanja novim zahtevima (novim uslovima rada). Takođe redovno održavanje i servisiranje obezbeđuje duži vek trajanja klima-komore i sprečiti gubitke koji mogu nastati usled zaprljanosti ili oštećenja na elementima klima-komore.

## ZAKLJUČAK

Danas se svet suočava sa sve većom pretnjom od temperaturskih ekstrema i ništa manjom pretnjom od nestašice energenata. Donošenje novih zakonskih regulative i novi tržišni trendovi zahtevaju značajno smanjenje potrošnje energije i primenu razmenjivača za povrat toplote u cilju dobijanja isplativog i energetski efikasnog sistema. Prezentovano je više tipova razmenjivača, njihove prednosti i mane, opisano kako različiti tipovi razmenjivača utiču na ostale elemente klima-komore.

Prilikom izbora optimalne konfiguracije treba napraviti ravnotežu i dati prioritet svim izborima koji se odnose na performanse, efikasnost, postizanje boljeg kvaliteta vazduha, održavanje i prostorna ograničenja. U radu su opisane mogućnosti za povećanje efikasnosti, kombinacijom više sistema za povrat toplote u funkciji odvlaživanja vazduha; kao i mogućnosti za poboljšanje kvaliteta vazduha i njegovo efikasno regulisanje. Pravilno održavanje i regulacija celokupnog sistema koja omogućava režim rada prilagođen spoljašnjim uslovima, kao i unutrašnjim, obezbeđuje maksimalnu uštedu energije tokom vremena.

Potrebno je da primenimo svaki mogući način uštede i poboljšanja, pogotovu tamo gde ispitana rešenja već postoje, i metodologija njihove primene razrađena.

### Literatura:

- [1] **Todorović B.**, Klimatizacija, SMEITS, Beograd, 1998
- [2] \*\*\* Commission Regulation (EU) No 1253
- [3] \*\*\* Eurovent Rating Standard RS 6/C/005
- [4] \*\*\* ASHRAE Standard 62.1-2016, (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013), Includes ANSI/ASHRAE addenda listed in Appendix K - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
- [5] \*\*\* <https://www.camfil.com/en/insights/education-and-experience/podcasts>
- [6] \*\*\* Chapter 22 of the ASHRAE Handbook-Fundamentals – Desiccant dehumidification.