

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet Strojarsstva i Brodogradnje

# DIPLOMSKI RAD

Mentor

Doc. dr. sc. Igor Balen

Ivan Robić

Zagreb, 2007.

## SAŽETAK

Ovim diplomskim radom obuhvaćeno je projektno rješenje sustava klimatizacije operacijskog bloka kliničke bolnice smještene na području grada Zagreba. U sklopu bolnice nalaze se četiri operacijske dvorane s pratećim sadržajima.

Kod izbora klimatizacijskog postrojenja postavljeni su posebni higijenski uvjeti. U posebne zahtjeve spadaju:

- održavanje posebne klime u prostorijama
- smanjenje koncentracije mikroorganizama i prašine
- odstranjivanje isparenih anestetika te zadržanog mirisa u prostoriji

Potrebnu količinu kondicioniranog zraka za klimatizaciju operacijskog odjeljenja osigurava niskotlačno klimatizacijsko postrojenje higijenske izvedbe. Rješenje obuhvaća kompletan termodinamički i hidraulički proračun, odabir opreme za pouzdano funkcioniranje sustava te grafičke prikaze projektnog rješenja strojarnice termotehničkog postrojenja klimatizacije. Grafičkim prikazom riješena je shema spajanja i centralni nadzorni sustav automatske regulacije.

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	1
<b>1.1. Specifičnosti klimatizacije operacijskih dvorana</b>	1
1.1.1. Čisti prostor	2
1.1.2. Čestice prenosive zrakom	2
1.1.3. Kirurške infekcije	3
1.1.4. Kontaktno zagađivanje	3
1.1.5. Utjecaj plina za anesteziju	4
<b>1.2. Principi klimatizacije operacijskih dvorana</b>	4
1.2.1. Klasifikacija prostora	5
1.2.2. Podjela operacijskih dvorana prema namjeni	7
1.2.3. Osnovni principi razdiobe zraka u operacijskim dvoranama	8
<b>2. ANALIZA SUSTAVA KLIMATIZACIJE OPERACIJSKIH DVORANA</b>	10
<b>2.1. Klima uređaji (komore)</b>	10
2.1.1. Tlačni i odsisni ventilatori	11
2.1.2. Motorne i ručne žaluzine	12
2.1.3. Grijači i hladnjaci	12
2.1.4. Rekuperator	13
2.1.5. Prigušivač	14
2.1.6. Ovlaživač	14
<b>2.2. Dovod vanjskog i izbacivanje istrošenog zraka</b>	15
<b>2.3. Razvođenje zraka</b>	15
<b>2.4. Pročišćavanje zraka</b>	16
<b>2.5. Tehnika za izuzetno čiste prostorije</b>	16
<b>2.6. Održavanje tlaka u operacijskim dvoranama</b>	17
2.6.1. Regulator sobnog tlaka s direktnim djelovanjem na zaklopku	18
2.6.2. Regulator sobnog tlaka koji djeluje na dodatni rasteretni uređaj	19
2.6.3. Kaskadno rješenje regulacije tlaka	19
<b>2.7. Izolacija</b>	20

2.7.1. Toplinska izolacija	20
2.7.2. Izolacija od buke i vibracija	21
2.7.3. Izolacija cjevovoda	21
<b>2.8. Održavanje postrojenja klimatizacije operacijskih dvorana</b>	21
<b>2.9. Puštanje u pogon</b>	22
<b>3. ANALIZA PRIMJENE SUSTAVA POVRATA ENERGIJE IZ ISTROŠENOG ZRAKA</b>	23
<b>3.1. Povrat topline miješanjem svježeg i dijela otpadnog zraka</b>	24
<b>3.2. Povrat osjetne topline iz otpadnog zraka</b>	
– <i>rekuperatori topline</i>	24
3.2.1. Sustavi cirkulacije vode	24
3.2.2. Tople cijevi	26
3.2.3. Pločasti izmjenjivači topline	27
<b>3.3. Povrat osjetne i latentne topline iz otpadnog zraka</b>	
– <i>regeneratori topline</i>	27
3.3.1. Sorpcijski rotacijski regenerator	28
3.3.2. Kondenzacijski rotacijski regenerator	29
<b>4. TEHNIČKI OPIS</b>	31
<b>4.1. Uvod</b>	31
<b>4.2. Tehnički opis</b>	32
4.2.1. Rashladna stanica	34
4.2.2. Toplinska stanica	35
4.2.3. Automatska regulacija	36
<b>5. TERMODINAMIČKI PRORAČUN</b>	37
<b>5.1. Stanje vanjskog zraka</b>	37
<b>5.2. Stanje zraka u operacijskim dvoranama i pratećim prostorijama</b>	37
5.2.1. Proračun latentne topline	38
5.2.2. Proračun osjetne topline	39
<b>5.3. Potrebna količina kondicioniranog zraka</b>	40

5.3.1. Proračun potrebne količine kondicioniranog zraka	40
5.3.2. Provjera potrebne količine kondicioniranog zraka	41
<b>5.4. Proračun točke ubacivanja</b>	<b>42</b>
5.4.1. Operacijska dvorana	42
5.4.2. Prateće prostorije	42
<b>5.5. h-x dijagrami pripreme zraka za operacijske dvorane</b>	<b>43</b>
5.5.1. h-x dijagram za zimsko razdoblje	43
5.5.2. h-x dijagram za ljetno razdoblje	45
<b>5.6. h-x dijagrami pripreme zraka za prateće prostorije</b>	<b>47</b>
5.5.1. h-x dijagram za zimsko razdoblje	47
5.5.2. h-x dijagram za ljetno razdoblje	49
<b>6. KLIMA KOMORE</b>	<b>51</b>
<b>6.1. Odabir klima komora</b>	<b>51</b>
<b>6.2. Odabir i tehnička specifikacija elemenata klima komora</b>	<b>53</b>
6.2.1. Odsisna strana	53
6.2.2. Tlačna strana	62
<b>6.3. Apsolutni filter</b>	<b>79</b>
<b>7. ODABIR KOTLA</b>	<b>81</b>
<b>8. ODABIR RASHLADNOG AGREGATA</b>	<b>82</b>
<b>9. HIDRAULIČKI PRORAČUN</b>	<b>84</b>
<b>9.1. Proračun kruga grijača klima komore pratećih prostorija</b>	<b>84</b>
<b>9.2. Proračun kruga grijača klima komore operacijskih dvorana</b>	<b>86</b>
<b>9.3. Proračun kruga hladnjaka klima komore pratećih prostorija</b>	<b>87</b>
<b>9.4. Proračun kruga hladnjaka klima komore operacijskih dvorana</b>	<b>89</b>
<b>9.5. Proračun toplinskog kruga 80/60 °C</b>	<b>90</b>
<b>9.6. Proračun hladnog kruga 12/6 °C</b>	<b>92</b>
<b>10. ODABIR OSTALE OPREME</b>	<b>94</b>
<b>10.1. Ekspanzijska posuda toplog kruga 80/60 °C</b>	<b>94</b>

<b>10.2. Ekspanzijska posuda hladnog kruga 12/6 °C</b>	95
<b>10.3. Odabir troputnih elektromotornih ventila za kotlove</b>	96
<b>10.4. Odabir crpki</b>	97
10.4.1. Crpka grijača klima komore pratećih prostorija	97
10.4.2. Crpka grijača klima komore operacijskih dvorana	97
10.4.3. Crpka hladnjaka klima komore pratećih prostorija	98
10.4.4. Crpke hladnjaka klima komore operacijskih dvorana	98
10.4.5. Crpka toplog kruga 80/60 °C	98
10.4.6. Crpka hladnog kruga 12/6 °C	98
<b>10.5. Odabir razdjelnika i sabirnika</b>	99
10.5.1. Razdjelnik i sabirnik toplog kruga 80/60 °C	99
10.5.2. Razdjelnik i sabirnik hladnog kruga 12/6 °C	100
<b>10.6. Ventilacija kotlovnice</b>	101
<b>11. ZAKLJUČAK</b>	102
<b>12. LITERATURA</b>	104
<b>13. PRILOZI</b>	105

**POPIS SLIKA**

<b>Slika 1.</b> <i>Vrećasti filter</i>	6
<b>Slika 2.</b> <i>HEPA filter</i>	6
<b>Slika 3.</b> <i>Zidni distributer zraka (indukcijsko strujanje zraka)</i>	8
<b>Slika 4.</b> <i>Istrujavanje iz perforirane ploče (potisno strujanje)</i>	8
<b>Slika 5.</b> <i>Stropni centralni distributer zraka (indukcijsko strujanje)</i>	8
<b>Slika 6.</b> <i>Istrujavanje iz perforirane ploče s linijskim odvajanjem (potisno strujanje)</i>	8
<b>Slika 7.</b> <i>Katna izvedba klima komore</i>	11
<b>Slika 8.</b> <i>Skica klima komore</i>	11
<b>Slika 9.</b> <i>Ventilator sa kućištem</i>	11
<b>Slika 10.</b> <i>Centrifugalni sa unatrag zakrivljenim lopaticama</i>	11
<b>Slika 11.</b> <i>Žaluzine</i>	12
<b>Slika 12.</b> <i>Izmjenjivači topline (grijači i hladnjaci)</i>	13
<b>Slika 13.</b> <i>Pločasti rekuperator</i>	13
<b>Slika 14.</b> <i>Prigušivači zvuka</i>	14
<b>Slika 15.</b> <i>Parni ovlaživači</i>	15
<b>Slika 16.</b> <i>Horizontalno razvođenje zraka</i>	17
<b>Slika 17.</b> <i>Vertikalno razvođenje zraka</i>	17
<b>Slika 18.</b> <i>Regulator sobnog tlaka koji u sprezi sa osjetnikom položaja vrata zaustavlja pogon zaklopke</i>	18
<b>Slika 19.</b> <i>Regulacija sobnog tlaka s dodatnim rasterećenjem ("bypass")</i>	19
<b>Slika 20.</b> <i>Regulacija sobnog tlaka s regulatorom volumena i tlaka u kaskadnoj vezi</i>	20
<b>Slika 21.</b> <i>Načini rekuperacije i regeneracije topline</i>	23
<b>Slika 22.</b> <i>Miješanje povratnog i vanjskog zraka</i>	24
<b>Slika 23.</b> <i>Klima komora sa rekuperatorom s posrednim medijem (GEA ECOFLOW)</i>	25
<b>Slika 24.</b> <i>Prikaz procesa u h-x dijagramu, povrat topline rekuperatorom s posrednim medijem</i>	25
<b>Slika 25.</b> <i>Klima komora sa rekuperatorom sa toplim cijevima (GEA ECOSTAT)</i>	26
<b>Slika 26.</b> <i>Klima komora sa pločastim rekuperatorom (GEA ECOPLAT)</i>	27

<b>Slika 27.</b> <i>Klima komora sa rotacijskim regeneratorskom (GEA ECOROT)</i>	28
<b>Slika 28.</b> <i>Prikaz procesa u h-x dijagramu, povrat topline sorpcijskim rotacijskim regeneratorskom –zimsko razdoblje</i>	29
<b>Slika 29.</b> <i>Prikaz procesa u h-x dijagramu, povrat topline sorpcijskim rotacijskim regeneratorskom – ljetno razdoblje</i>	29
<b>Slika 30.</b> <i>Rashladni agregati</i>	34
<b>Slika 31.</b> <i>Kotlovi toplinske stanice</i>	35
<b>Slika 32.</b> <i>Shema spajanja elemenata za kondicioniranje zraka</i>	43
<b>Slika 33.</b> <i>Proces pripreme zraka za operacijske dvorane u h-x dijagramu u ZIMSKOM RAZDOBLJU</i>	44
<b>Slika 34.</b> <i>Proces pripreme zraka za operacijske dvorane u h-x dijagramu u LJETNOM RAZDOBLJU</i>	46
<b>Slika 35.</b> <i>Shema spajanja elemenata za kondicioniranje zraka</i>	47
<b>Slika 36.</b> <i>Proces pripreme zraka za prateće prostorije u h-x dijagramu u ZIMSKOM RAZDOBLJU</i>	48
<b>Slika 37.</b> <i>Proces pripreme zraka za prateće prostorije u h-x dijagramu u LJETNOM RAZDOBLJU</i>	50
<b>Slika 38.</b> <i>Klima komora GEA CAIRplus SX</i>	51
<b>Slika 39.</b> <i>Raspored elemenata u klima komori GEA CAIRplus SX 160.160</i>	53
<b>Slika 40.</b> <i>Ugradnja HEPA filtera u perforirani strop</i>	80
<b>Slika 41.</b> <i>Ekspanzijska posuda elko-flex</i>	95
<b>Slika 42.</b> <i>Pumpa IMP EGHN</i>	99
<b>Slika 43.</b> <i>Pumpa IMP CL</i>	99
<b>Slika 44.</b> <i>Pumpa IMP NMT</i>	99
<b>Slika 45.</b> <i>Razdjelnik/sabirnik u jednoj cijevi tvrtke MAGRA</i>	100



**POPIS TABLICA**

<b>Tablica 1.</b> <i>Vrijednosti točaka stanja zraka za operacijske dvorane u zimskom razdoblju</i>	43
<b>Tablica 2.</b> <i>Vrijednosti točaka stanja zraka za operacijske dvorane u ljetnom razdoblju</i>	45
<b>Tablica 3.</b> <i>Vrijednosti točaka stanja zraka za prateće prostorije u zimskom razdoblju</i>	47
<b>Tablica 4.</b> <i>Vrijednosti točaka stanja zraka za prateće prostorije u ljetnom razdoblju</i>	49
<b>Tablica 5.</b> <i>Spektar oktava prigušivača buke</i>	55
<b>Tablica 6.</b> <i>Spektar oktava zvučne snage na odsisnom ventilatoru:</i>	56
<b>Tablica 7.</b> <i>Spektar oktava zvučne snage na motoru odsisnog ventilatora</i>	57
<b>Tablica 8.</b> <i>Spektar oktava zvučne snage na tlačnom ventilatoru</i>	73
<b>Tablica 9.</b> <i>Spektar oktava zvučne snage na motoru tlačnog ventilatora</i>	74
<b>Tablica 10.</b> <i>Spektar oktava prigušivača buke</i>	77
<b>Tablica 11.</b> <i>Lokalni otpori kruga grijača klima komore pratećih prostorija</i>	84
<b>Tablica 12.</b> <i>Lokalni otpori kruga grijača klima komore operacijskih dvorana</i>	86
<b>Tablica 13.</b> <i>Lokalni otpori kruga hladnjaka klima komore pratećih prostorija</i>	87
<b>Tablica 14.</b> <i>Lokalni otpori kruga hladnjaka klima komore operacijskih dvorana</i>	89
<b>Tablica 15.</b> <i>Lokalni otpori toplinskog kruga 80/60 °C</i>	91
<b>Tablica 16.</b> <i>Lokalni otpori hladnog kruga 12/6 °C</i>	92

## POPIS OZNAKA

$\vartheta_{vz}$	°C	- vanjska temperatura zraka zimi
$\varphi_{vz}$	%	- relativna vlažnost vanjskog zraka ljeti
$\vartheta_{vlj}$	°C	- vanjska temperatura zraka ljeti
$\varphi_{vlj}$	%	- relativna vlažnost vanjskog zraka ljeti
$\vartheta_{odd}$	°C	- donja temperatura zraka operacijske dvorane
$\vartheta_{god}$	°C	- gornja temperatura zraka operacijske dvorane
$\varphi_{od}$	%	- relativna vlažnost zraka operacijske dvorane
$\vartheta_{TRZ}$	°C	- transmisijska razlika temperature zimi
$\vartheta_{TRLJ}$	°C	- transmisijska razlika temperature ljeti
$\vartheta_{pp}$	°C	- temperatura zraka pratećih prostorija
$\varphi_{od}$	%	- relativna vlažnost zraka sporednih prostorija
$W_{22}$	W	- odavanje latentne topline čovjeka kod temperature zraka 22 °C
$W_{l22}$	W	- odavanje latentne topline ljudi unutar operacijske dvorane
$W_{pp}$	W	- odavanje latentne topline ljudi unutar pratećih prostorija
$V_{od}$	m <sup>3</sup> /h	- količina kondicioniranog uzduha koji se ubacuje u op. dvorane
$V_{pp}$	m <sup>3</sup> /h	- količina kondicioniranog uzduha koji se ubacuje u prat. prostorije
$x_{22od}$	g/kg	- sadržaj vlage koji se odvodi iz operacijskih dvorana
$x_{sp}$	g/kg	- sadržaj vlage koji se odvodi iz sporednih prostorija
$\xi$		- koeficijent lokalnog otpora
$l_1$	m	- duljina dionice 1
$l_2$	m	- duljina dionice 2
$V$	m <sup>3</sup> /h	- volumni protok vode
$d_u$	mm	- unutarnji promjer cijevi
$w_v$	m/s	- brzina strujanja vode u cijevi
$R$	Pa/m	- prosječni jedinični pad tlaka
$z_1$	Pa	- gubitak tlaka uslijed lokalnih otpora za dionicu 1
$z_2$	Pa	- gubitak tlaka uslijed lokalnih otpora za dionicu 2
$\lambda_1$		- koeficijent trenja za dionicu 1
$\lambda_2$		- koeficijent trenja za dionicu 2

$\rho_{80}$	kg/m <sup>3</sup>	- gustoća vode za temperaturu vode 80 °C
$\rho_{60}$	kg/m <sup>3</sup>	- gustoća vode za temperaturu vode 60 °C
$\Delta p_1$	kPa	- pad tlaka za dionicu 1
$\Delta p_2$	kPa	- pad tlaka za dionicu 2
$\Delta p_v$	kPa	- pad tlaka na regulacijskom ventilu
$\Delta p$	kPa	- ukupni pad tlaka
$\Delta p_g$	kPa	- pad tlaka na grijaču
$\rho_{12}$	kg/m <sup>3</sup>	- gustoća vode za temperaturu vode 12 °C
$\rho_6$	kg/m <sup>3</sup>	- gustoća vode za temperaturu vode 6 °C
$\Delta p_h$	kPa	- pad tlaka na hladnjaku
$\Delta p_k$	kPa	- pad tlaka kotlu
$\Delta p_{ra}$	kPa	- pad tlaka na rashladnom agregatu
$V_a$	l	- količina vode u aparatima
$\rho_{10}$	kg/m <sup>3</sup>	- gustoća vode za temperaturu vode 10 °C
$G$	kg	- masa vode u instalaciji
$\Delta V$	l	- promjena volumena u instalaciji
$p_{min}$	bar	- minimalni pritisak u instalaciji
$p_{max}$	bar	- maksimalni pritisak u instalaciji
$V_e$	l	- volumen ekspanzijske posude
$l_{50}$	m	- ukupna duljina cijevi DN50
$l_{100}$	m	- ukupna duljina cijevi DN100
$V_{50}$	l/m	- količina vode po metru cijevi DN50
$V_{100}$	l/m	- količina vode po metru cijevi DN100

## **IZJAVA**

Ja, Ivan Robić, izjavljujem da sam ovaj diplomski rad napravio samostalno koristeći navedenu literaturu i stečeno znanje tijekom studiranja na Fakultetu Strojarsva i Brodogradnje, sveučilišta u zagrebu.

U toku izrade diplomskog rada stručnu pomoć primio sam od svog mentora Doc. dr. sc. Igora Balena na kojoj sam mu iskreno zahvalan. Pomoć pri odabiru elemenata klima komore dobio sam u tvrtci GEA klima rashladna tehnika d.o.o., Vukovarska 274, Zagreb kod gospodina Igora Regetaša.

Ovom prilikom se zahvaljujem navedenim osobama na pruženoj pomoći tijekom izrade diplomskog rada.

Također jedno veliko hvala mojem ocu Ivici i majci Boženi na potpori, strpljenju i razumjevanju tijekom godina studiranja.

Zagreb, 02. svibanj 2007.

---

(Ivan Robić)

## 1. UVOD

Ovaj diplomski rad obuhvaća analizu projektnog rješenja termotehničkog postrojenja klimatizacije operacijskog bloka. Zadaća takvog postrojenja je priprema zraka prema normama propisanim za takav tip građevine [1], [2]. Kod izbora klimatizacijskog postrojenja postavljeni su posebni higijenski uvjeti za čistoću zraka. U higijenske uvjete spadaju [3]:

- održavanje posebne klime u prostorijama (temperatura, vlažnost) [1], [2]
- smanjenje koncentracije mikroorganizama i prašine
- odstranjivanje isparenih anestetika, mirisa i drugog zraka u prostoriji

Potrebnu količinu kondicioniranog zraka za klimatizaciju operacijskog bloka osigurava niskotlačno klimatizacijsko postrojenje higijenske izvedbe što uključuje filtriranje zraka, povrat topline iz otpadnog zraka, održavanje pretlaka i potlaka pojedinih prostorija te izvedba nekih dijelova klima komore.

Prilikom izrade diplomskog rada korišten je "L-plus" software tvrtke GEA za izbor elemenata klima komore i rashladnih agregata. Za izbor crpki korišten je software tvrtke IMP pumps. Slike dijagrama napravljene su sa "Refrigeration utilities v.1.0". Za izradu svih priloženih tehničkih crteža je korišten "AutoCAD 2006".

### **1.1. Specifičnosti klimatizacije operacijskih dvorana**

Operacijske dvorane sa pratećim prostorijama – tzv. operacijski blok, spadaju u grupu prostora sa najzahtjevnijim uvjetima. Prema vrsti operacijskog zahvata, operacijske dvorane mogu biti "normalne" tj. operacijske dvorane sa visokim zahtjevima sterilnosti zraka te one sa posebno visokim zahtjevima tzv. "zahtjevne".

Operacijske dvorane mogu biti :

- septične - operacijske dvorane za hitne intervencije
- aseptične - operacijske dvorane sa zahtjevima sterilnosti u ovisnosti od vrste operacijskog zahvata

### 1.1.1. Čisti prostor

Pri projektiranju, izgradnji i održavanju operacijskih i drugih prostorija uvodi se pojam tj. koncept bijelih ili čistih soba čija je glavna uloga održavanje sterilnosti prostora u cilju sprečavanja postoperativnih infekcija. Bijela soba ili čisti prostor je zatvoreni prostor specijalne konstrukcije u kojem se reguliraju sljedeći parametri : temperatura, relativna vlažnost, tlak, osvjetljenje, način strujanja zraka i njegova čistoća. Prostorije ovog tipa se nalaze, osim u bolničkim centrima, u farmaceutskoj industriji, u tvrtkama za proizvodnju magnetofonskih traka, optičkih medija, magnetskih kompjutorskih medija, u vojnoj industriji te u raznim laboratorijima.

Dizajn čistih prostora i čistih soba obuhvaća mnogo više od tradicionalnog kontroliranja temperature i vlažnosti. U dizajniranju čistih soba, drugi faktori uključuju kontrolu kontaminacije česticama i mikrobima, kontrolu buke, vibracija, aspekte industrijskog inženjeringa i projekt proizvodnje opreme.

Učinak čiste sobe se procjenjuje kvantitetom kontrole koncentracije i disperzije čestica, temperature, vlažnosti, vibracija, buke. Svrha dobrog dizajna čiste sobe je kontrola ovih parametara uz zadržavanje prihvatljivih troškova instaliranja i pogona.

Bolničke operacijske sobe svrstavaju se u čiste sobe sa primarnom funkcijom da ograniče kontaminaciju česticama, prije nego količinu prisutnih čestica. Čiste sobe se koriste u izolaciji pacijenata i kirurgiji gdje je prisutan rizik od infekcije.

### 1.1.2. Čestice prenosive zrakom

Čestice prenosive zrakom se javljaju u prirodi kao bakterije i razni živi i mrtvi organizmi, prašina koju raznosi vjetar itd. Uopće, izvori čestica što se tiče čistih prostora mogu se podijeliti u dvije kategorije, vanjski i unutarnji:

- Vanjski izvori su one čestice koje ulaze u čisti prostor iz nekog izvora izvana, obično infiltracijom kroz vrata i prozore. Kontrola vanjskih izvora čestica očituje se prvenstveno kroz filtraciju zraka, hermetizaciju i zaptivanje.

- Unutarnji izvori su one kontaminirane čestice koje potiču od ljudi u čistom prostoru. U slučaju operacijskih dvorana to se odnosi na osoblje i pacijente u dvorani tijekom operacije. Osoblje može proizvesti i do nekoliko miliona čestica u minuti u

čistoj sobi. Koncentracija čestica unutar čiste sobe može se koristiti za određivanje klase iste, ali najčešće je stvarno taloženje čestica od veće važnosti.

Prema dosadašnjim iskustvima bakteriologa, do infekcije najčešće dolazi zbog nekoliko razloga:

- ako pacijent već ima klice na sebi, odnosno na koži, u probavnom traktu ili dišnim putevima
- ako osoblje inficira pacijenta vlastitom infekcijom kože
- ako se zaraza prenosi zrakom, a klice uglavnom potiču od osoblja
- ako su instrumenti koji se koriste pri operativnom zahvatu već duže vrijeme stajali u operacijskoj dvorani. Oni tada postaju prenosnici klica

Posebni značaj u sprečavanju infekcija pridaje se smanjenju broja mikroorganizama u zraku, kojih u gradovima sa intenzivnim prometom ima i do koncentracija viših od  $1000/m^3$ , od čega ipak samo mali dio uzrokuje bolesti.

### 1.1.3. Kirurške infekcije

Kirurške infekcije bitno ovise o vrsti kirurškog zahvata koji se vrši i nisu ograničene samo na kiruršku ranu. Najčešća podjela kirurških infekcija prema vrsti kirurškog zahvata:

- posebno čista stanja – nema upala, nema zagađenja, nema otvaranja gastrointestinalnog, žučnog, genitalnog ili respiratornog trakta. Do infekcija dolazi kod 1.2 do 6 % zahvata
- kontaminirana operacija – operacijski zahvati respiratornog i urogenitalnog trakta. Infekcije se javljaju kod 8.3 do 20 % zahvata
- jača kontaminacija – akutne bakterijske gnojne upale, otvorene frakture. Infekcije rana se javljaju u 30 % slučajeva.
- Septične operacije – perforacija crijeva, gnojne rane. Infekcije su neizbježne

### 1.1.4. Kontaktno zagađivanje

Direktno, neposredno kontaktno zagađivanje ima najveći utjecaj na infekciju rane. Nema stroge podjele između kontaktnog i zračnog (aerogenog) zagađivanja.

Kontaktno zagađivanje je definirano kao neposredno, jednostavnim odnosno kontaktnim prijenosom mikroorganizama na rubove rana i u same rane. Zračno (aerogeno) zagađivanje predstavlja transmisiju mikroorganizama posredstvom organskih i anorganskih čestica u zraku.

Zagađivanje može biti i indirektno, kao kapljica iz respiratornog trakta koja poprima oblik kontaktnog zagađivanja, ali sa kratkim putem. Neki autori svrstavaju indirektno zagađivanje pod zračno (aerogeno), zbog putovanja mikroorganizama zrakom od izvora do rane. Da bi se smanjile infekcije, osoblje u operacijskim dvoranama nosi posebnu sterilnu odjeću, obuću i maske kojom se smanjuje rasipanje kapljica iz ustiju i nosa, dok odijelo i kapa smanjuju rasipanje prhuti po ranama.

#### 1.1.5. Utjecaj plina za anesteziju

Glavni plinski zagađivač u operacijskim dvoranama i pratećim prostorijama za anesteziju je  $N_2O$ . Iako je  $N_2O$  teži od zraka, ne može se općenito uzeti u obzir takvo stanje, jer se pri udisanju zagrijava na približno tjelesnu temperaturu uslijed čega mu se mijenja gustoća, te je prilikom oslobađanja u zrak otprilike iste težine kao i zrak.

Istraživanja pokazuju da anestezijski plin ostaje kao oblak oko glave pacijenta i anesteziologa u vrijednostima od oko 400 ppm-a. Gornja granica sigurnog rada ljudi, prema ispitivanjima i izvorima normativa u SAD-u i Velikoj Britaniji, iznosi 30 ppm  $N_2O$ . Konvencionalni klimatizacijski sustavi s 10-15 izmjena zraka nemaju bitnijeg utjecaja na smanjenje koncentracije  $N_2O$ . Dobri rezultati su se pokazali povećanjem broja izmjena zraka u dvorani te postizavanjem i održavanjem sveobuhvatnog efekta *pranja*, kojim se preko glave pacijenta vrši odvođenje zapaljivih mješavina anestezijskih plinova.

### **1.2. Principi klimatizacije operacijskih dvorana**

Kako je navedeno u prethodnom poglavlju postoji niz specifičnosti i posebnih zahtjeva kod projektiranja klimatizacije operacijskih dvorana. Glavni zadaci klimatizacijskih postrojenja su da [3]:

- koncentracija prašine i mikroorganizama bude što manja
- se odstrane pare anestetika i eksplozivne smjese
- olakšaju rad kirurga i osoblja



Specifični zahtjevi kod klimatizacije operacijskih dvorana normirani su propisima (DIN 1946, dio 4) [1] u zavisnosti o namjeni prostora, u ovom slučaju operacijskih dvorana, geometrije prostora, utjecaja bakterioloških izvora te održavanju tlaka u zavisnosti od okoline i okolnih prostora. Posebnu pažnju treba posvetiti unutarnjim izvorima topline, rasporedu medicinskih uređaja, zagađenju anesteziološkim plinovima, isparavanju dezinfekcionih sredstava te ostalim izvorima zagađenja prostora.

Prema postavljenim zahtjevima postavlja se toplinska i količinska bilanca kondicioniranog zraka, vodeći računa o zahtjevu održavanja normama (DIN 1946, dio 2) [2] propisanih parametara: razlike temperatura ubacivanog zraka i zraka u prostoriji, brzine strujanja zraka u prostoriji i u zoni boravka te održavanja relativne vlage, sa svrhom smanjenja utjecaja statičkog elektriciteta na stvaranje prašine i mikroorganizama koji utječu na mikro higijenu prostora. U normalnim operacijskim dvoranama teži se smanjenju koncentracije na oko 35-70 mikroorganizama/m<sup>3</sup>.

Pored navedenih čimbenika ne zanemariv je zahtjev za održavanjem ravnoteže tlaka u odnosu na ostale prostorije i okoliš. Također je ne zanemariv visoki zahtjev održavanja razine buke koja ne bi smjela prelaziti 40 dB.

#### 1.2.1. Klasifikacija prostora

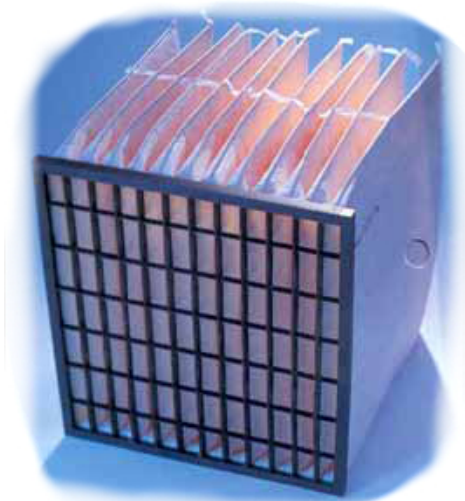
Različitost namjene bolničkih prostora uvjetuje njihovu klasifikaciju :

- prostori s posebno visokim zahtjevima čistoće zraka - KLASA I
- prostori s uobičajenim zahtjevima čistoće – KLASA II

Za prostore klase I potrebno je filtrirati zrak u tri stupnja [3]:

- I stupanj filtriranja G4 - H5
- II stupanj filtriranja H7 - H9
- III stupanj filtriranja (apsolutni filter) HEPA H13-H14

Kod prostora klase II su prva dva stupnja filtriranja jednaka dok je treći stupanj opcionalan.



Slika 1. Vrećasti filter



Slika 2. HEPA filter

Bitno je upozoriti pri donošenju odluke rješenja na položaj otvora za usis vanjskog zraka i klasu I stupnja filtra koji je u funkciji tog položaja. I stupanj filtra treba biti na mjestu usisavanja vanjskog zraka sa zaklopkom koja dobro brtvi. Usis se postavlja što više iznad zemlje, daleko od zemlje, travnjaka i otvora za otpadni zrak tj. na mjestu s minimalnim izvorima zagađenja uzimajući u obzir ružu vjetrova i orijentaciju objekta. II stupanj filtra je smješten u klima komori kao posljednji element sustava tj. na početku kanalnog razvoda zraka po objektu, kako bi se održala čistoća kanalske mreže. III stupanj filtra je potrebno smjestiti neposredno uz otvor dovoda zraka ili ispred mjesta istrujavanja zraka u dvoranu po mogućnosti da je prilaz filtru moguć izvan operacijske dvorane.

Mikro higijena prostora uvjetuje normiranu količinu kondicioniranog zraka po operacijskom mjestu. Za operacijske dvorane normirana količina zraka po operacijskom mjestu iznosi  $V_n=2400 \text{ m}^3/\text{h}$  [1]. U svrhu gospodarenja energijom dozvoljeno je koristiti recirkulacijski zrak, odnosno sustav povrata energije, ali pri tom je potrebno obratiti pažnju na ograničenje koje proizlazi iz koncentracije anestezioloških plinova. Recirkulacijski zrak se mora provesti preko sva tri već navedena stupnja filtra. Posebno treba naglasiti odvajanje sustava kondicioniranja operacijskih dvorana sa pripadajućim tehnološkim sadržajima od ostalih sustava kondicioniranja u kliničkim centrima (npr. kliničkih tehnoloških prostora, komunikacijskih koridora, kao i drugih kliničkih prostora).

Operacijske dvorane spadaju u čiste bolničke prostorije i njihovi sustavi klimatizacije ne smiju se vezati na centralne sustave klimatizacije kliničkog centra. Sustavi klimatizacije operacijskih dvorana zahtjevaju potpunu autonomnost u procesu pripreme zraka.

### 1.2.2. Podjela operacijskih dvorana prema namjeni

Operacijske se dvorane prema namjeni dijele na dvije osnovne skupine :

- tip A – dvorane s posebno visokim zahtjevima za čistoću (transplantacije organa, operacije srca, transplantacije koštane srži, ortopedske operacije) s relativnom koncentracijom klica  $\varepsilon_{\text{sdozv}} \leq \frac{2}{3}$

- tip B - dvorane s visokim zahtjevima za čistoću zraka (za sve ostale operacijske zahvate) s koncentracijom klica  $\varepsilon_{\text{sdozv}} = 1$

Gdje je  $\varepsilon_{\text{sdozv}}$  relativna koncentracija klica u zaštićenom području kao funkcija više varijabli i određuje se izrazom:

$$\varepsilon_s = \frac{\bar{k}_s}{\bar{k}'_R} = \mu_s \frac{\bar{k}_R}{\bar{k}'_R} = \mu_s \frac{\dot{V}'_{zu}}{\dot{V}_{zu}} \quad \text{gdje su :}$$

$$\mu_s = \frac{\bar{k}_s}{\bar{k}_R} \quad \text{stupanj onečišćenja u zaštićenom području}$$

$\bar{k}_R$  - srednja koncentracija klica u sali pri  $\dot{V}_{zu}$

$\bar{k}'_R$  - srednja koncentracija klica u sali pri  $\dot{V}'_{zu}$

$\bar{k}_s$  - srednja koncentracija klica u zaštićenom području

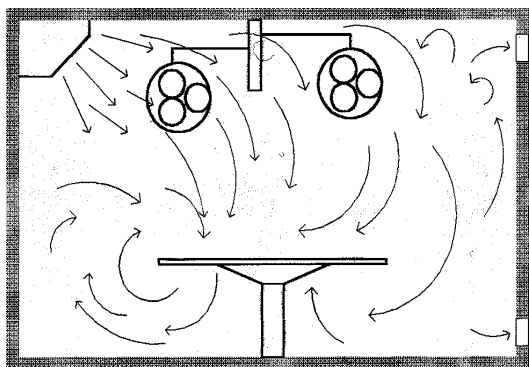
$\dot{V}'_{zu}$  - normirana količina kondicioniranog zraka (2400 m<sup>3</sup>/h)

$\dot{V}_{zu}$  - stvarna količina kondicioniranog zraka

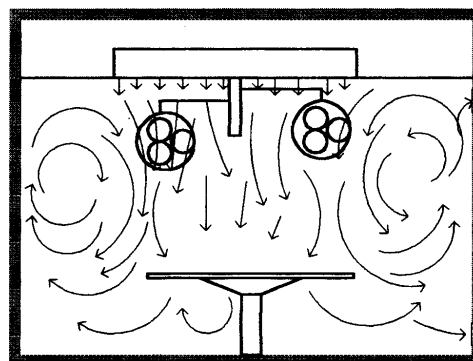
### 1.2.3. Osnovni principi razdiobe zraka u operacijskim dvoranama

Za dvorane tipa A razdiobu zraka potrebno je rješavati tako da se u zoni operacijskog mjesta osigura maksimalna količina vanjskog kondicioniranog zraka, s minimalnim stupnjem indukcije okolnog zraka. Ovaj zahtjev postiže se principom potisnutog strujanja zraka. Za dvorane tipa B primjenjuje se razdioba zraka kao za tip A ili razdioba zraka sa većim dozvoljenim stupnjem indukcije okolnog zraka (miješajuće strujanje zraka – turbulentno).

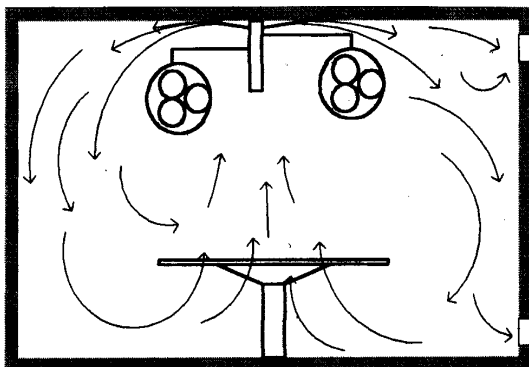
Da bi se osigurali navedeni principui strujanja, prilikom izbora rješenja razdiobe zraka treba obratiti pažnju na raspored tehnološke opreme, raspored toplinskih izvora uzimajući u obzir fizičke zapreke spomenutim principima strujanja zraka. U radu se navode karakteristični primjeri razdiobe zraka operacijskih dvorana u svrhu zadovoljavanja navedenih kriterija.



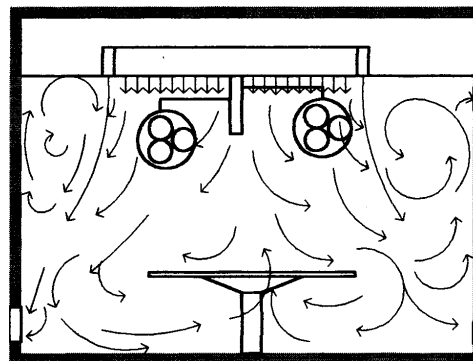
**Slika 3.** Zidni distributer zraka (indukcijsko strujanje zraka)



**Slika 4.** Istrujavanje iz perforirane ploče (potisno strujanje)



**Slika 5.** Stropni centralni distributer zraka (indukcijsko strujanje)



**Slika 6.** Istrujavanje iz perforirane ploče s linijskim odvajanjem (potisno strujanje)

Razvod zraka izvodi se tipskim ventilacijskim kanalima okruglog i pravokutnog presjeka. Kanali se unutar zdravstvenih prostora ugrađuju u spušten strop i toplinski se izoliraju. Vertikalni razvodi riješeni su u za to ostavljenim građevinskim koridorima. Unutar takvih koridora kanali (tlačni i odsisni) su toplinski izolirani. Oni, osim toga, moraju biti što je moguće kraći, neprozračni, dostupni čišćenju i dezinficiranju. U vodovima za dovođenje i odvođenje zraka potrebno je predvidjeti automatske neprozirne zaklopke koje se pri prekidu rada klimatizacijskog postrojenja zatvaraju i tako sprečavaju povratno strujanje i prenošenje mikroorganizama.

Strujanje zraka u prostorima riješeno je na taj način da se pripremljeni zrak ubacuje u prostore sa većom zahtjevnosću čistoće, a odsisava preko prostora sa manjom zahtjevnosću za čistoćom ili izvorom nečistoća (npr. sanitarni). Prestrujavanje zraka omogućeno je preko prestrujnih rešetki ugrađenih pri dnu vrata. Na prijelazu kanala iz jedne protupožarne zone u drugu ugrađuju se protupožarne rešetke (zaklopke).

Ubacivanje zraka vrši se sa stropa pomoću anemostata koji se mogu demontirati. Anemostati, u koje je ugrađen apsolutni filter i stropna jedinica u operacijskim dvoranama, imaju ugrađen sustav detekcije zaprljanosti filtera koji neprestano na komandnoj ploči operacijskog bloka signalizira njegovu zaprljanost. Paralelno se signal vodi i do komandne sobe centralnog nadzora. Ovo se izvodi kako bi se na vrijeme moglo reagirati i spriječiti kritična zaprljanost apsolutnog filtera. Otpadni zrak se odsisava iznad poda, a jednim dijelom (do 25%) ispod stropa.

Kondenzaciju vodene pare ili stvaranje vlažnih površina treba spriječiti, jer utječe povoljno na razmnožavanje eventualno postojećih mikroorganizama. Hladnjak zraka, kod koga su neizbježive vlažne površine, mora se posebno često kontrolirati.

## 2. ANALIZA SUSTAVA KLIMATIZACIJE OPERACIJSKIH DVORANA



Ovo poglavlje odnosi se na izvedbu klima komora i njihovih dijelova. Razmatran je način dovoda vanjskog zraka u klima komore i izbacivanje istrošenog zraka u okolinu, protok zraka, razvođenje zraka unutar operacijskih dvorana kao i pročišćavanje zraka. Spomenuta je tehnika pročišćavanja i razvođenja zraka za izuzetno čiste prostorije. U okviru ovog poglavlja nalazi se i osvrt na održavanje potrebnog tlaka u prostorijama. Na kraju poglavlja spomenuta je izolacija i održavanje klimatizacijskog postrojenja.

### 2.1. Klima uređaji (komore)

Klima uređaji (komore) za operacijske dvorane se u principu ne razlikuju od drugih uređaja, ali moraju zadovoljavati posebne zahtjeve. U te posebne zahtjeve uređaja spadaju pored održavanja uobičajenih parametara (temperatura, vlaga itd.) i znatno smanjivanje koncentracije mikroorganizama i prašine, zatim plinova nastalih isparavanjem anestetika te raznih mirisa i drugog u zraku prostorije. Temperatura zraka u operacijskoj dvorani kreće se od 22 do 24 °C, a vlažnost zraka od 50 do 60 % [1]. Nivo buke propisuje NC kriterij i ona ne bi trebala za operacijske dvorane prelaziti 40 dB.

Elementi klima uređaja (komore) moraju biti higijenske izvedbe koji se mogu demontirati. Termin "higijenska izvedba" se odnosi na velike zahtjeve u pogledu čišćenja, održavanja i zapitvenosti elemenata. Klima uređaj sadrži uobičajene sastavne dijelove kao što su ventilator, filter, ovlaživač, hladnjak i dogrijač, pri čemu je važno da je na prvom mjestu postavljen ventilator za ubacivanje zraka kako bi se uređaj držao pod pretlakom.



Slika 7. Katna izvedba klima komore



Slika 8. Skica klima komore

Ovlaživanje treba vršiti parom, a ne raspršivačem vode, jer isti pospješuje širenje mikroorganizama pri čemu postoji opasnost od infekcije.

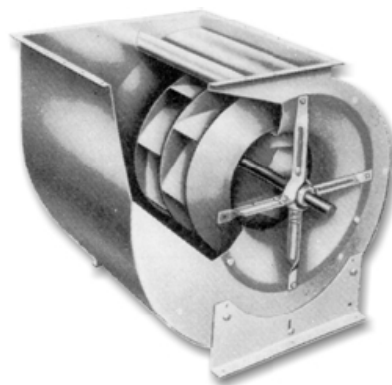
#### 2.1.1. Tlačni i odsisni ventilatori

Tlačni i odsisni ventilatori trebaju biti izvedeni u kućištu iz pocinčanog lima s okvirima iz aluminijskog profila. S unutarnje strane kućište treba biti obloženo oblogom iz tvrdo prešane mineralne vune i s unutrašnje strane zaštićeno pocinčanim limom. Ovako izvedeni ventilatori trebaju u odnosu na namjenu objekta imati prigušenje 18-20 dB kod 125 Hz. Rotacijsko kolo ventilatora treba biti dobro izbalansirano kako bi se izbjeglo njegovo vibriranje. Elektromotor treba biti postavljen na elastično postolje da se ne prenose njegove vibracije na kućište ventilatora.

Prije isporuke tlačnih i odsisnih ventilatora u odnosu na namjenu objekta, iste treba ispitati i dobro izbalansirati sve rotirajuće elemente. Atesti se dostavljaju naručitelju.



Slika 9. Ventilator sa kućištem



Slika 10. Centrifugalni sa unatrag zakrivljenim lopaticama

### 2.1.2. Motorne i ručne žaluzine

Motorne regulacijske žaluzine postavljene su u zajedničkom okviru na ulazu vanjskog zraka u klima komoru ili na tlačnoj strani odsisnog ventilatora. Motorne žaluzine povezane su u strujnom krugu s tlačnim i odsisnim ventilatorom, tako da se u tijeku rada sustava otvorene, a po prestanku zatvorene. Motorne regulacijske žaluzine moraju biti higijenske izvedbe, tj. s dva puta bijelo lakiranim ravnim plohamama.

Ručne regulacijske žaluzine imaju svrhu da se kod puštanja u pogon preko istih regulira količina ukupnog ulaznog ili izlaznog zraka i da se pomoću istih može regulirati količina zraka u odnosu na stupanj zaprljanosti filtra, kod sustava koji nemaju regulator konstantnog protoka. Ugrađene motorne žaluzine ne smiju propuštati više od 5% količine zraka od nazivne količine tog sustava ako je razlika pritiska ispred i iza rešetke  $p = 500 \text{ Pa}$ .



Slika 11. Žaluzine

### 2.1.3. Grijači i hladnjaci

Grijače zraka treba tako ugraditi u sustav da budu pristupačni čišćenju i dezinfekciji. Ovo se postiže glatkim površinama (naročito na mjestu spoja lamela i cijevi), širokim razmakom lamela (minimum 3.00 mm), malim nastrojnim brzinama od 2 do 3 m/s s obzirom na čeonu presjek, odvajačem kapljica te s filtrom kvalitete G4 ili F5. Grijači



zraka ugrađeni u klima sustavu moraju biti izrađeni od bakrenih cijevi i s vanjske strane obloženi aluminijskim lamelama. Dimenzije grijača odgovaraju veličini klima komore, a širina ovisi o potrebnom toplinskom učinku.



**Slika 12.** *Izmjenjivači topline (grijači i hladnjaci)*

#### 2.1.4. Rekuperator

Rekuperator je detaljno obrađen u poglavlju 3.2.3.

Pločasti rekuperator se ugrađuje u klima komoru nakon drugog stupnja filtriranja vanjskog zraka a prije ovlaživačke sekcije kako bi se što više iskoristila toplina povratno zraka. Glavna je razlika u odnosu na regeneratore je izmjena samo osjetne topline a ne i latentne. To je pri klimatizaciji opercijskih dvorana vrlo važno zbog visokih higijenskih zahtjeva te se tako sprječava mogućnost pojave bakterija i mikroorganizama.



**Slika 13.** *Pločasti rekuperator*

### 2.1.5. Prigušivač

Prigušivači zvuka se izrađuju u raznim oblicima. U principu se sastoje od kućišta od čeličnog lima sa apsorpcijskim zidovima (kulisama) sa unutrašnje strane od poroznih materijala, naročito od staklene ili mineralne vune, koji apsorpcijom smanjuju zvučnu energiju. Apsorpcija se povećava sa frekvencijom i sa debljinom kulisa. Osnovno područje prigušivanja nalazi se najčešće od 1000 do 2000 Hz.



Slika 14. Prigušivači zvuka

### 2.1.6. Ovlaživač

Za ovlaživanje zraka u zimskom razdoblju koriste se uređaji za ovlaživanje parom. U tome procesu para se direktno upuhuje u zračni kanal. Pri tome je važno da je para suha da ne bi došlo do stvaranja kapljica. Čista para je bez mirisa. Proizvodnja pare se vrši pomoću elektroda, električnih grijača ili parnih kotlova niskog pritiska. Ovlaživanje parom je energetski nepovoljnije od ovlaživanja vodom ali je zato više higijenski jer svako vlažno mjesto u kanalu je leglo klica.



Slika 15. Parni ovlaživači

## **2.2. Dovod vanjskog i izbacivanje istrošenog zraka**

Usisavanje vanjskog zraka treba biti što više iznad zemlje. Usisni otvor se mora nalaziti najmanje tri metra iznad zemlje, a nikako ne blizu podrumskih grla, iznad travnjaka ili blizu otvora za otpadni zrak. Otpadni zrak po mogućnosti treba se izvesti iznad krova. Visinu, položaj kao i izvedbu otvora za otpadni zrak treba odrediti tako da se i kod ograničene količine izbjegne opterećivanje okoline ili same zgrade i da se kod utjecaja vjetra osigura odvod otpadnog zraka. Usisni otvor ne smije biti pristupačan neovlaštenim osobama. Eventualno predvidjeti po jedan rezervni motor za ventilatore.

## **2.3. Razvođenje zraka**

Pokretanje mikroorganizama se treba spriječiti odgovarajućim razvodom zraka. Razvod zraka izvodi se tipskim ventilacijskim kanalima okruglog i pravokutnog oblika. Kanali se unutar zdravstvenih prostora ugrađuju u spušten strop i toplinski se izoliraju (tlačni kanali).

Vertikalni razvodi riješeni su u za to ostavljenim građevinskim koridorima. Unutar takvih koridora kanali (tlačni i odsisni) su toplinski izolirani. Oni, osim toga, moraju biti što je moguće kraći, neprozračni, dostupni čišćenju i dezinficiranju. U vodovima za dovodjenje i odvođenje zraka potrebno je predvidjeti automatske nepropusne zaklopke koje se pri prekidu rada klimatizacijskog postrojenja zatvaraju i tako sprečavaju povratno strujanje i prenošenje klica (DIN 1946, dio 4).

Strujanje zraka u prostorima riješeno je na taj način da se pripremljeni zrak ubacuje u prostore sa većim zahtjevom čistoće, a odsisava preko prostora sa manjim zahtjevima za čistoćom ili izvorom nečistoća (npr. sanitarni prostori). Prestrujavanje zraka omogućeno je preko prestrujnih rešetki ugrađenih pri dnu vrata. Na prijelazu kanala iz jedne protupožarne zone u drugu ugrađuju se protupožarne zaklopke.

Ubacivanje zraka vrši se sa stropa pomoću anemostata koji se mogu demontirati. Anemostati, u koje je ugrađen apsolutni filter i stropna jedinica u operacijskim dvoranama, imaju ugrađen sustav detekcije zaprljanosti filtra koji neprestano na

komandnoj ploči operacijskog bloka signalizira njegovu zaprljanost. Paralelno se signal vodi i do komandne sobe centralnog nadzora. Ovo se izvodi kako bi se na vrijeme moglo reagirati i spriječiti kritična zaprljanost apsolutnog filtra. Otpadni zrak se odsisava iznad poda, a jednim dijelom (do 25%) ispod stropa.

Kondenzaciju vodene pare ili stvaranje vlažnih površina treba spriječiti, jer utječe povoljno na razmnožavanje eventualno postojećih mikroorganizama. Hladnjak zraka, kod koga su neizbježive vlažne površine, mora se posebno često kontrolirati.

#### **2.4. Pročišćavanje zraka**

Pročišćavanje zraka detaljno je obrađeno u poglavlju 1.2.1.

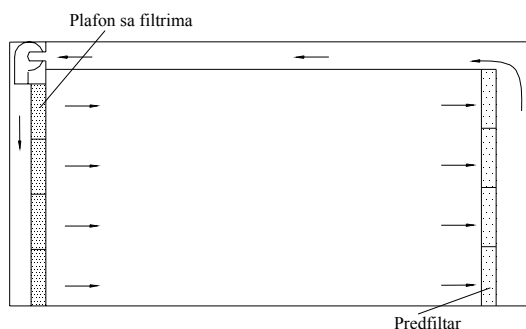
Stupnjevi izdvajanja čestica filtra moraju se održavati kod svih stanja pogona. Kod filterskih materijala, prvog i drugog stupnja filtra, ne smije kod djelovanja vlage doći do pojave raspadanja i bitnijeg bubrenja, niti vlaga smije bitno utjecati na njihov otpor strujanja. Filterski materijal, za treći stupanj filtra mora biti hidrofobičan. Zbog kontrole stanja pogona treba na svaki stupanj filtra namjestiti diferencijalni manometar radi detekcije zaprljanosti filtra. Ovlaživanje filtra pri velikoj vlažnosti (>90%, kapilarna kondenzacija) zraka se mora spriječiti zbog mogućnosti stvaranja legla bakterija i gljivica.

#### **2.5. Tehnika za izuzetno čiste prostorije**

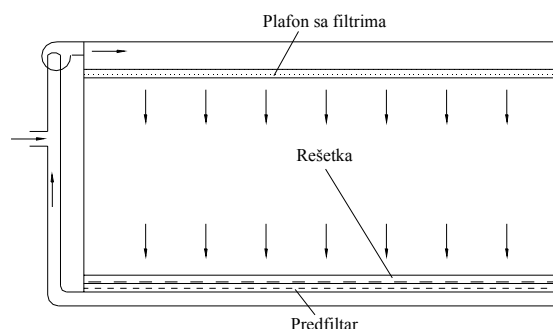
Za teške operacije (operacije kostiju, srca i transplantacije) poželjna je maksimalna čistoća zraka. Zbog toga se operacijske dvorane mogu opremiti uređajima sa takozvanim potisnim strujanjem i filtrima za lebdeće čestice visokog učinka (HEPA-filtar). Pri tome zrak struji u paralelnim putanjama istom brzinom, pri čemu se prašina odmah uhvati i odstrani prije nego što prođe u prostoriju. Brzina zraka iznosi  $0.4\div 0.5$  m/s. Tako se dobije veliki broj izmjena zraka, približno  $400\div 500$  izmjena po satu, pri čemu se ne javljaju smetnje uslijed propuha.

Razvođenje zraka može biti horizontalno i vertikalno. Kod horizontalnog razvođenja zraka jedan cijeli zid izrađen je kao zid sa filtrima. Taj zid sastoji se od nekoliko sastavnih jedinica. Ovdje ne smije postojati izvor prašine u suprotnom smjeru struje.

Vertikalno razvođenje zraka vrši se odozgo prema dolje pomoću stropa sa filtrima. Odsisavanje je na donjem dijelu preko predfiltra.



**Slika 16.** Horizontalno razvođenje zraka



**Slika 17.** Vertikalno razvođenje zraka

Klimatizacijskim postrojenjima za čiste prostorije znatno se smanjuje koncentracija klica. Ovakvi uređaju su jako skupi te se javlja pitanje isplativosti te još uvijek nedostaju iskustva u ovakvom načinu radu.

## **2.6. Održavanje tlaka u operacijskim dvoranama**

Kod kondicioniranja medicinskih prostora održavanjem razine tlaka prostora sprječava se prodor okolnog zraka u prostoriju ili širenje onečišćenog zraka izvan prostorija. Operacijske dvorane potrebno je držati u pretlaku u odnosu na ostale prostorije. Time onemogućujemo nekontrolirani prodor okolnog onečišćenog zraka u te prostorije. Držanjem septičnih prostorija u potlaku (prateće prostorije) onemogućujemo širenje zagađenog zraka u okolne prostore. Razlike pritiska između prostorija mogu se dobiti samo onda kada su vrata zatvorena ili kada se koriste predprostori.

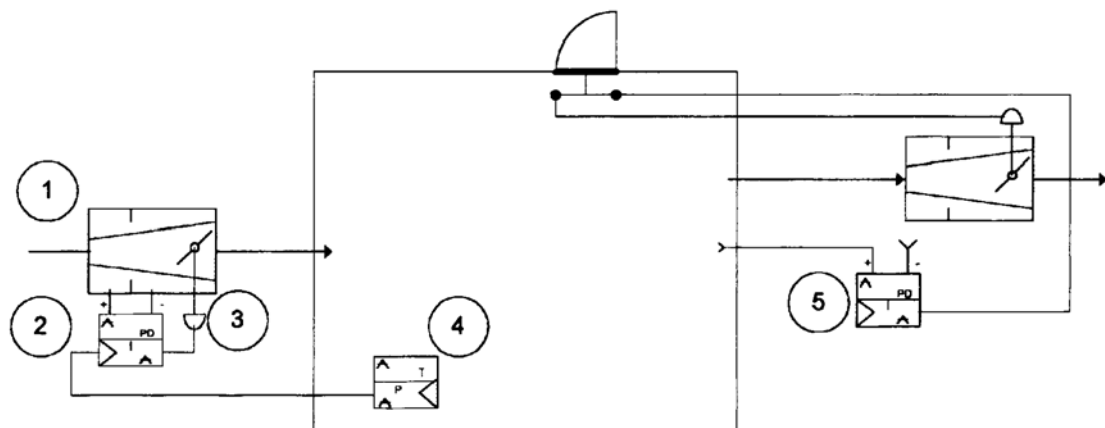
Regulacija tlaka se može provoditi na više načina. Ovdje se navodi nekoliko primjera koji osiguravaju visoki stupanj pouzdanosti. Rezultati mjerenja mikrobiološkog stanja zraka u prostoru primjenom navedenih sustava u praksi potvrđuju zadovoljavanje visoko postavljenih kriterija mikrobiološke čistoće.

### 2.6.1. Regulator sobnog tlaka s direktnim djelovanjem na zaklopku

Princip se sastoji u tome da regulacijska zaklopka umjesto s regulatorom protoka radi direktno s regulatorom sobnog tlaka te tako upravlja količinom zraka u skladu sa sobnim tlakom.

Ako se otvore vrata reguliranog prostora, onda regulator sobnog tlaka PI, radi velikog propuštanja postavlja zaklopku u krajnji položaj. Pri zatvaranju vrata, u ovisnosti o brtvljenju i vremenu potrebnom za pogon regulatora, nastaje velika prolazna promjena sobnog tlaka koja može iznositi i više od 100 Pa. To se rješenje može uvjetno primjeniti ukoliko postoje predprostori koji sprečavaju direktno izjednačavanje tlaka sa okolnim prostorima. Navedeno rješenje se može poboljšati sa osjetnikom položaja vrata koji zaustavlja rad regulatora pri otvaranju vrata.

Za varijabilni regulacijski sustav protoka zraka ovo rješenje nije odgovarajuće. Pri duže otvorenim vratima nije moguće pratiti protok zraka koji može biti vođen regulatorom sobne temperature na regulacijskom krugu. Ukoliko se u tom slučaju prekine rad zaklopki zbog kontakta sa vrata, u granične se prostore dobavlja neodgovarajuća količina zraka. Isto tako prilikom zatvaranja vrata na kratko vrijeme u prostoriji nastaju velike promjene sobnog tlaka.

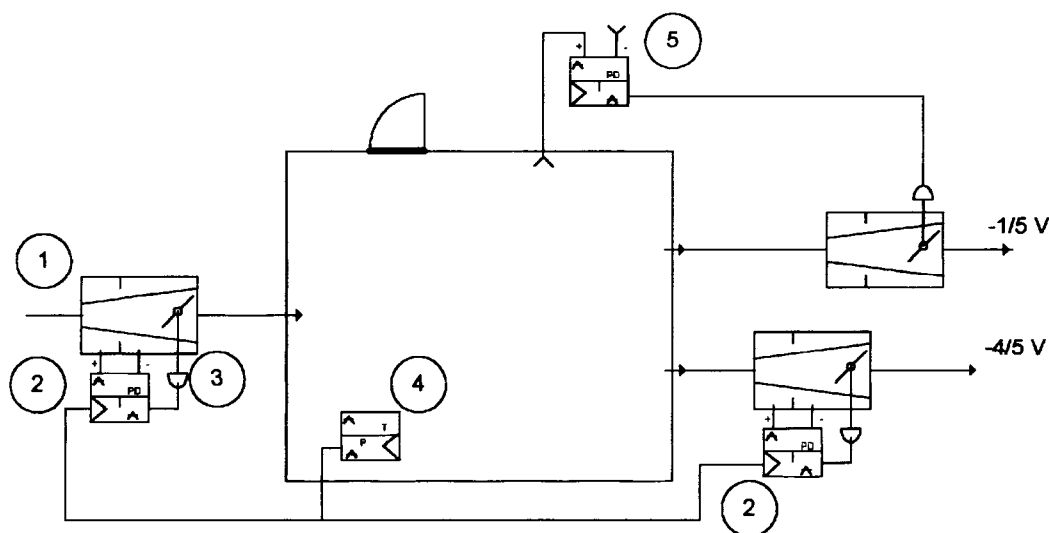


**Slika 18.** Regulator sobnog tlaka koji u sprezi sa osjetnikom položaja vrata zaustavlja pogon zaklopke  
1-regulacijska zaklopka, 2-regulator protoka, 3-pogon zaklopke,  
4-sobni regulator temperature, 5-regulator tlaka

### 2.6.2. Regulator sobnog tlaka koji djeluje na dodatni rasteretni uređaj

Osjetno bolji rezultati dobiveni su dodatnim rasterećenjem ("bypass") koje radi s malom količinom zraka, npr. 10-20% ukupne količine u sprezi s regulatorom sobnog tlaka. Drugi postojeći rasteretni uređaji u prostoriji opremljeni su regulatorima protoka zraka.

Regulator sobnog tlaka reagira i na najmanje promjene protoka zraka i naknadno ih korigira (regulira) posebnim regulacijskim uređajem. Pri otvorenim vratima regulator tlaka vodi pogon zaklopke u krajnji položaj. Međutim, zbog malog udjela protoka zraka u ovom slučaju negativno djelovanje je minimalno i pri zatvaranju vrata ne predstavlja opasnost za nagli porast tlaka u prostoriji.

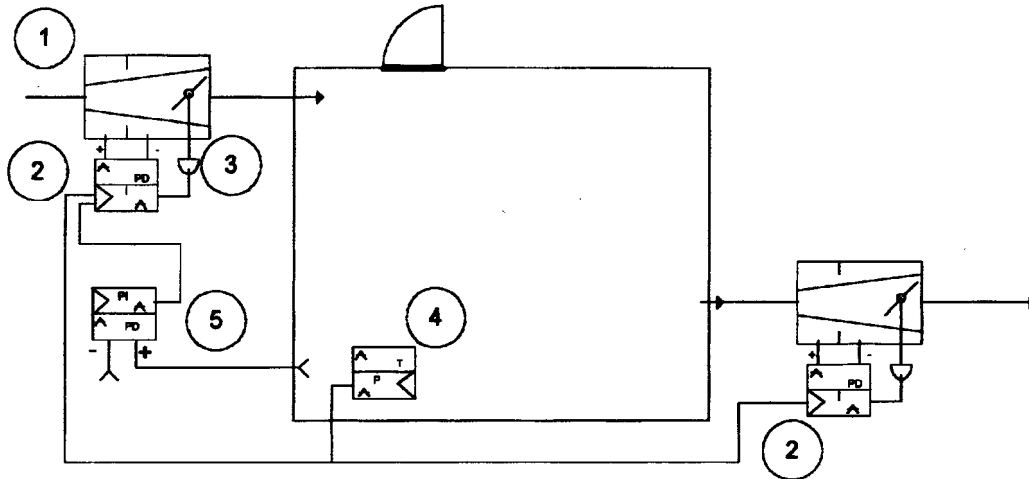


**Slika 19.**Regulacija sobnog tlaka s dodatnim rasterećenjem ("bypass")  
 1-regulacijska zaklopka, 2-regulator protoka, 3-pogon zaklopke,  
 4-sobni regulator temperature, 5-regulator tlaka

### 2.6.3. Kaskadno rješenje regulacije tlaka

Kaskadni princip rješenja regulacije tlaka, odgovara, izuzev posebnog regulacijskog uređaja i njegovog kanalskog sustava, funkcionalno prethodno opisanom rješenju. Na regulator protoka zraka djeluje osjetnik temperature u prostoru koji je u serijskoj vezi sa regulatorom tlaka. Ovaj dodatni regulator može zadanu vrijednost sobne

temperature korigirati za max +/- 10% volumena. Na taj način se uobičajeni VAV uređaj kod čistih ili relativno čistih prostora može dopuniti samo dodatnim regulatorom sobnog tlaka koji je s regulatorom protoka nadograđen u kaskadi.



**Slika 20.** Regulacija sobnog tlaka s regulatorom volumena i tlaka u kaskadnoj vezi  
1-regulacijska zaklopka, 2-regulator volumena, 3-pogon zaklopke,  
4-sobni regulator temperature, 5-regulator tlaka

## 2.7. Izolacija

### 2.7.1. Toplinska izolacija

Izolacija se ne nanosi dok se svi cjevovodi, kanali i oprema ne testiraju, ne odobre i temeljito ne očiste i zaštite. Svi izolacijski radovi predstavljaju instalaciju uredna izgleda s glatkim i jednolikim površinama. Svi izolacijski spojevi se pažljivo smještaju i čvrsto nabijaju. Svi ovojni materijali se nanose uredno, s glatkim površinama i osiguravaju u mjestu. Svi šavovi i spojevi se lociraju tako da budu što neuočljiviji. Izloženi rubovi i krajevi svih izolacija se zavaruju i obrađuju.

Sustav se kompletno pokriva, uključujući ventile, spojnice, te pribor. Pokrivači sakupljača nečistoće i poklopci ventila izrađuju se parcijalno tako da budu pristupačni radi održavanja bez prethodnog oštećivanja izolacije.

Sva ljepila, kit, obloge, trake i bilo koji drugi materijal koji se koristi za brtvljenje nanosi se strogo u skladu s uputama proizvođača u pogledu stope nanosa, metode



nanošenja, komplementarnih granica za nanošenje spomenutih materijala ili u pogledu bilo kojeg drugog uvjeta koji utječe na efikasnost ili trajnost instalacija. Sva izolacija treba biti vatrootporna prema DIN 4102 klasa materijala A1.

### 2.7.2. Izolacija od buke i vibracija

Sva rotirajuća i strojarska oprema te cjevovod, koji je na njih direktno priključen, opremljeni su uređajima za izolaciju od vibriranja da bi se spriječila transmisija vibracija na bilo koji dio zgrade. Osim ondje, gdje su izvjesni tipovi mehaničke opreme specificirani da se dopreme sa vlastitim uređajima za izolaciju vibracija, sva izolacijska oprema je proizvod jednog proizvođača koji je specijaliziran za projektiranje, proizvodnju i instaliranje takve opreme.

Kod odabiranja izolacije posvećuje se potrebna pažnja rezonancijama zgrada, podnim rasponima, podnom otklonu i blizini opreme prema zauzetim prostorima

### 2.7.3. Izolacija cjevovoda

Povratni i polazni glavni vodovi i uzlazne cijevi za hladnu vodu, potrošnu toplu vodu, hladnu vodu i vrelu vodu se pokrivaju toplinskom izolacijom od staklene vune, sintetičkog kaučuka ili sličnim i odabranom izolacijom s tvorničkim nanesenim univerzalnim nezapaljivim omotom. Glavni vodovi za toplu vodu, uzlazne cijevi za toplu vodu unutar građevinskih vertikala i svi vodovi za hladnu vodu izoliraju se 30 mm debelom izolacijom. Sva hladna voda ima zaštitnu parnu branu. Cijevi izložene u strojarnicama imaju izolacijske ovoje od aluminijskog lima.

## **2.8. Održavanje postrojenja klimatizacije operacijskih dvorana**

Održavanje klimatizacijskog postrojenja operacijskih dvorana treba vršiti često i brižljivo. Ovo naročito vrijedi za čišćenje i dezinfekciju komore i kanala, održavanje pritiska kao i promjenu filtera. Za ovlaživače zraka, ukoliko postoje, potrebno je dodavanje kemikalija ili UV-zračenje. Redovito treba vršiti bakteriološko ispitivanje postrojenja i dovedenog zraka, da bi se utvrdilo eventualno postojanje

mikroorganizama. Postrojenja trebaju raditi 24 sata, a u vrijeme kada se ne vrše operacije sa smanjenim protokom. Osoblje za održavanje treba biti temeljito obučeno.

## **2.9. Puštanje u pogon**

Prvo se otvaraju hermetičke zaklopke pomoću elektromotora. Nakon toga slijedi pojedinačno puštanje ventilatora u pogon. Puštanje ventilatora u pogon se vrši pojedinačno da ne bi došlo do strujnih udara u mreži. Iskapčanje se vrši obrnutim redosljedom. Radom grijača i hladnjaka upravlja temperaturni osjetnik koji šalje informaciju o stanju zraka svojoj podstanici koja signal prosljeđuje središnjem nadzornom sustavu. Povratnu informaciju središnji nadzorni sustav šalje u obliku otvaranja i zatvaranja ventila. Središnji nadzorni sustav dobiva informacije o sustavu preko podstanica, a na osnovu primljenih informacija središnji nadzorni sustav daje upravljačke signale za postizanje propisanih uvjeta. Regulacija temperature je moguća iz same operacijske sale.

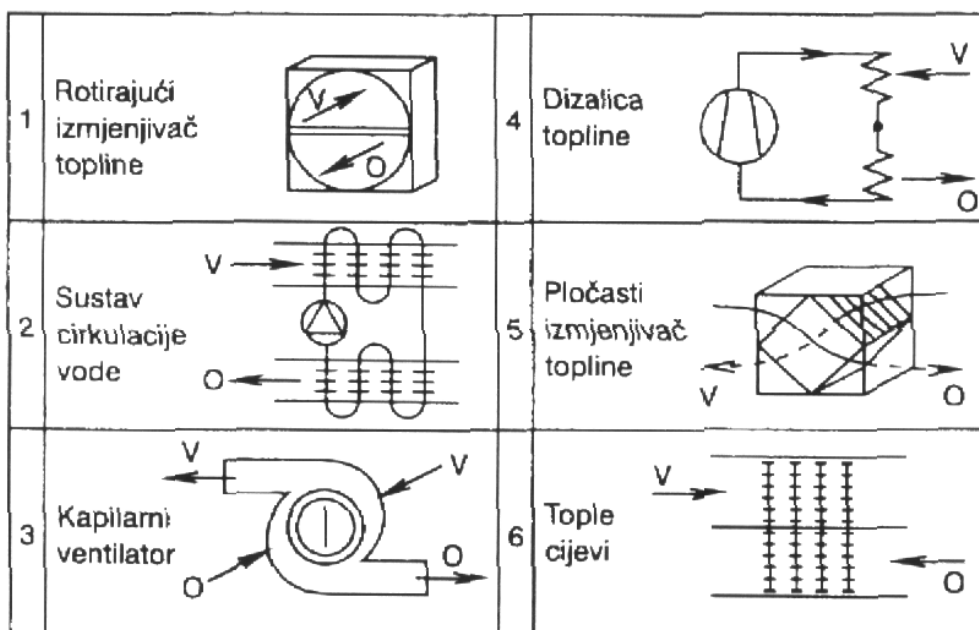
### 3. ANALIZA PRIMJENE SUSTAVA POVRATA ENERGIJE IZ ISTROŠENOG ZRAKA

Svakim se ventilacijskim i klimatizacijskim sustavom dobavlja vanjski zrak za ventilaciju prostorija. Energija potrebna za pripremu tog zraka, odnosno za dovođenje vanjskog zraka na traženo stanje prostorije, gubi se iz sustava s otpadnim zrakom. Međutim, iskorištavanjem energije otpadnog zraka mogu se ostvariti znatne uštede energije. Korištenje topline otpadnog zraka u sustavima ventilacije i klimatizacije je prije svega zahtjev gospodarenja energijom (cijena energije), zahtjev vremena i razvoja tehnike. Korištenje energije otpadnog zraka znatno snižava pogonske troškove sustava, tako da se, ovisno o veličini, dodatni investicijski troškovi amortiziraju već za nekoliko godina. Toplina sadržana u otpadnom zraku ventilacijskih i klimatizacijskih uređaja služi za predgrijavanje, odnosno pothlađivanje vanjskog zraka u procesu pripreme zraka.

Postoje tri osnovna principa povrata topline [5]:

- Povrat topline miješanjem vanjskog i dijela povratnog zraka (samostalno ili u kombinaciji sa regeneratom ili rekuperatom topline
- Povrat osjetne topline iz otpadnog zraka – rekuperatori topline
- Povrat osjetne i latentne topline iz otpadnog zraka – regeneratori topline

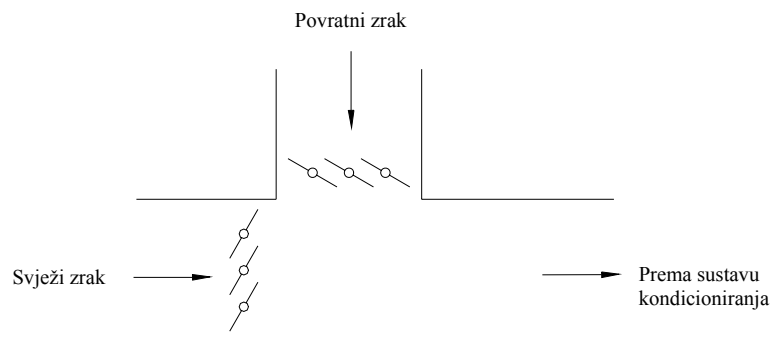
Svaki od tih principa opisan je detaljnije u nastavku ovog poglavlja.



Slika 21. Načini rekuperacije i regeneracije topline

### 3.1. Povrat topline miješanjem vanjskog i dijela otpadnog zraka

Ovaj oblik povrata topline je najčešći, najjednostavniji i najjeftiniji. Količina toplinske energije koja se uštedi na ovaj način ovisi o omjeru miješanja stanja vanjskog i otpadnog zraka, o razlici njihovih temperatura, te o količinama zraka. Kao ograničenje omjera miješanja stoji minimalna količina vanjskog zraka koja je određena higijenskim i tehnološkim uvjetima.



Slika 22. Miješanje povratnog i vanjskog zraka

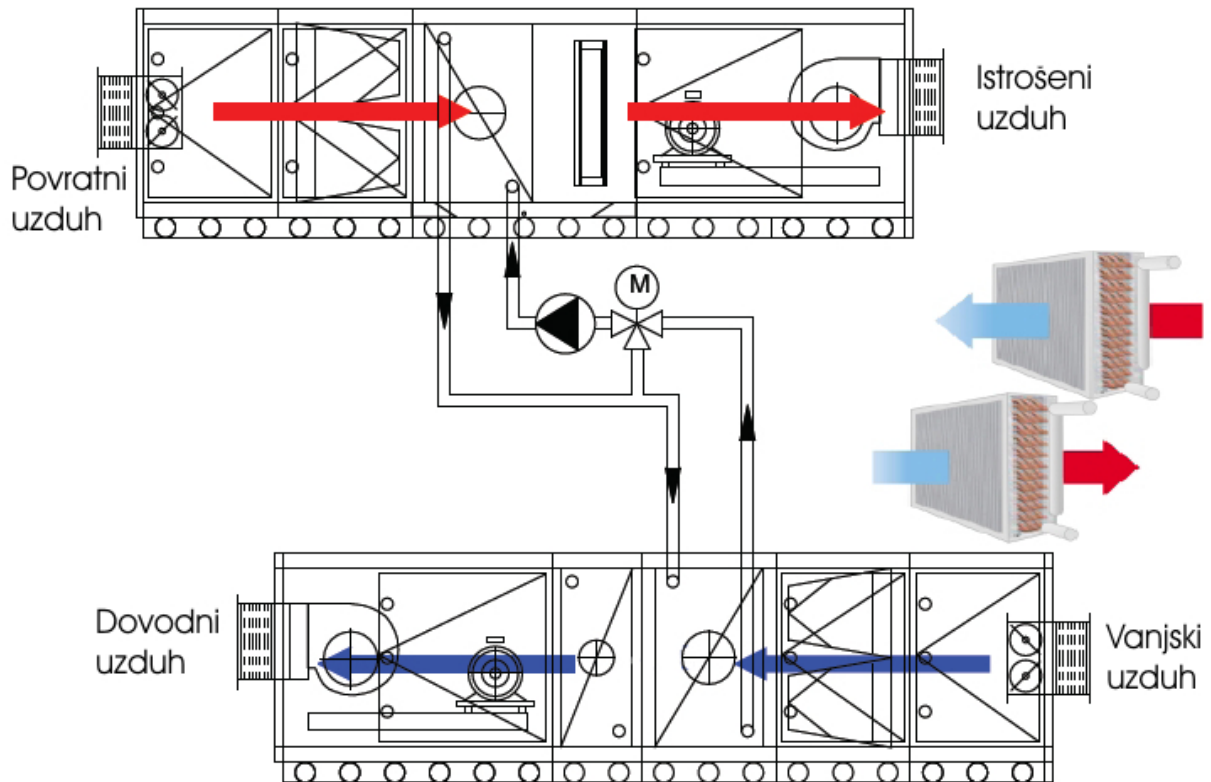
Ovakav način povrata topline je moguće primjeniti u sustavima za kondicioniranje prostora unutar kojih se ne razvijaju agresivni plinovi i pare, odnosno gdje mikrohigijenski uvjeti dozvoljavaju povrat (miješanje zraka).

### 3.2. Povrat osjetne topline iz otpadnog zraka – rekuperatori topline

#### 3.2.1. Sustavi cirkulacije vode

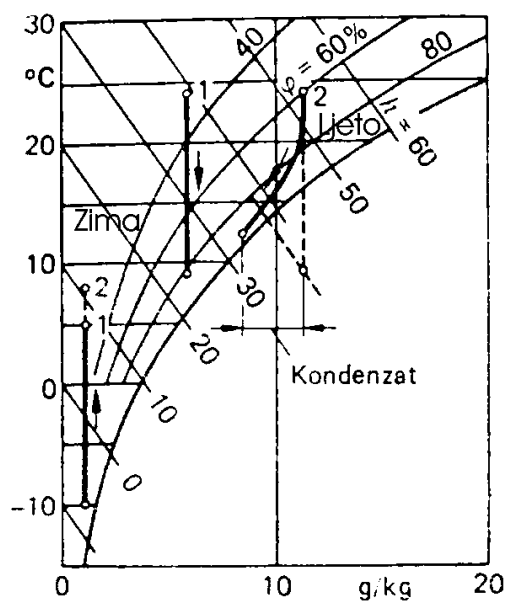
Rekuperatorska jedinica služi za povrat samo osjetne topline iz otpadnog zraka, a sastoji se od dva izmjenjivača topline koji su međusobno povezani u zatvoreni sustav s recirkulacijskom pumpom. Jedan izmjenjivač se nalazi u struji otpadnog zraka, a drugi u struji vanjskog vanjskog zraka. Izmjenjivač u struji otpadnog zraka u zimskom razdoblju djeluje kao hladnjak s izlučivanjem vlage (regenerativni prijenos topline), a izmjenjivač u struji vanjskog zraka djeluje kao rekuperatorski grijač. U ljetnom razdoblju izmjenjivač u struji otpadnog zraka djeluje kao grijač, a izmjenjivač u struji vanjskog zraka djeluje kao hladnjak. Kao posrednik za izmjenu topline koristi se

smjesa etilenglikol-voda. Ta smjesa se koristi radi zaštite sustava od smrzavanja u zimskom razdoblju.



**Slika 23.** Klima komora sa rekuperatorom s posrednim medijem (GEA ECOFLOW)

Ovi izmjenjivači su vrlo pogodni za sustave kondicioniranja zraka u kojima ne smije biti nikakvog kontakta između vanjskog i otpadnog zraka. Loša strana im je relativno mali stupanj povrata topline koji se u praksi kreće oko 40%.



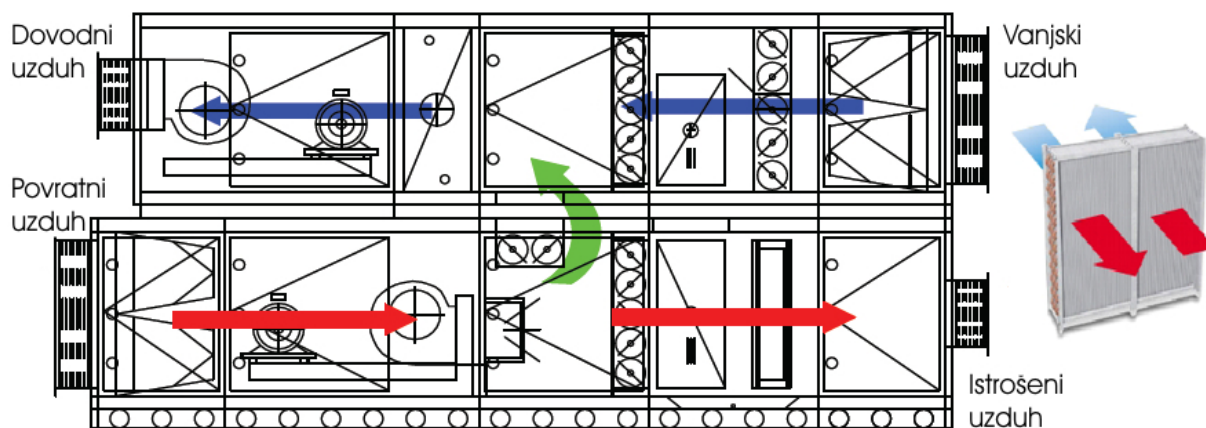
**Slika 24.** Prikaz procesa u h-x dijagramu, povrat topline rekuperatorom s posrednim medijem

### 3.2.2. Tople cijevi

U ovom sustavu se koriste tzv. rebraste cijevi u kojima pri konstantnoj temperaturi dolazi do isparavanja i kondenzacije rashladnog medija (rashladnog sredstva). Uslijed topline otpadnog zraka dolazi do isparavanja rashladnog sredstva u donjem dijelu cijevi, dok u gornjoj polovici nastupa kondenzacija istog uslijed hladnog zimskog zraka koji se pri tom grije. Zbog gravitacije, dobiveni kondenzat ponovo pada u donji dio cijevi.

Osim vertikalne moguća je i horizontalna izvedba. U tom su slučaju cijevi sa unutarnje strane opremljene poroznom oblogom koja ima kapilarno djelovanje, ali ovakvim izvođenjem kapacitet je manji. Svaka pojedina cijev ili svaka pojedina cijevna zmijsa predstavlja samostalnu jedinicu. Više cijevi ili cijevnih zmijsa čini izmjenjivač topline, pri čemu sustav u rednoj vezi radi na različitim temperaturnim nivoima.

Prednosti ovakvih sustava su lako održavanje, nema pokretnih dijelova i ušteda prostora. Koeficijent povrata topline kreće se oko 50% - 60%.

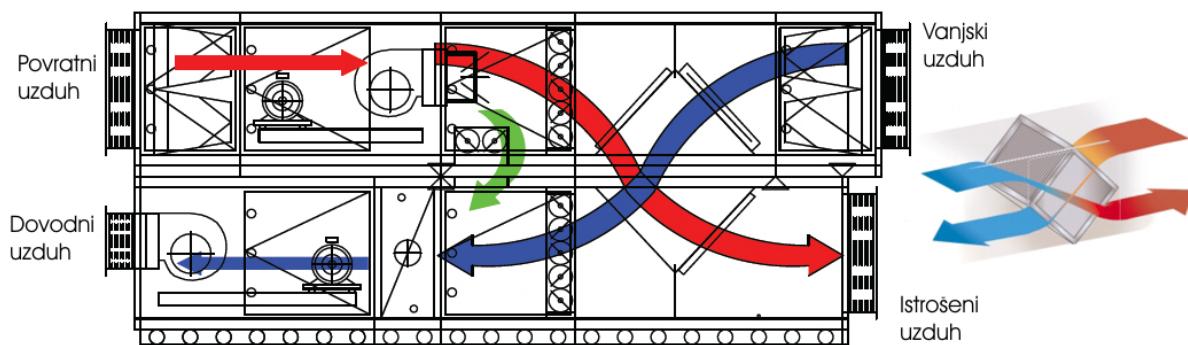


**Slika 25.** Klima komora sa rekuperatorom sa toplim cijevima (GEA ECOSTAT)

### 3.2.3. Pločasti izmjenjivači topline

Kod ovih izmjenjivača topline struje zraka su odvojene pomoću tankih ploča od aluminija ili sintetičkog materijala. Obje struje zraka se vode između ploča sa unakrsnim strujanjem. Ploče se ugrađuju paralelno sa malim razmakom. Razmak između ploča, dimenzije i broj ploča su promjenljive veličine usljed čega su moguće razne kombinacije. Razmak između ploča iznosi 5 - 10 mm, a pad tlaka na strani zraka 100 - 250 Pa. Koeficijent povrata topline se kreće oko 60 - 70%.

Ovisno o vanjskim klimatskim uvjetima moguća je kondenzacija otpadnog zraka zbog hladnih površina ploča, te smrzavanje kondenzata usljed čega se znatno povećava otpor strujanju zraka i postoji mogućnost da dođe do oštećenja. Ova situacija se može izbjeći ugradnjom predgrijača ispred izmjenjivača topline u kanal vanjskog zraka ili miješanjem sa recirkulacijskim zrakom.



Slika 26. Klima komora sa pločastim rekuperatorom (GEA ECOPLAT)

### 3.3. Povrat osjetne i latentne topline iz otpadnog zraka – regeneratori topline

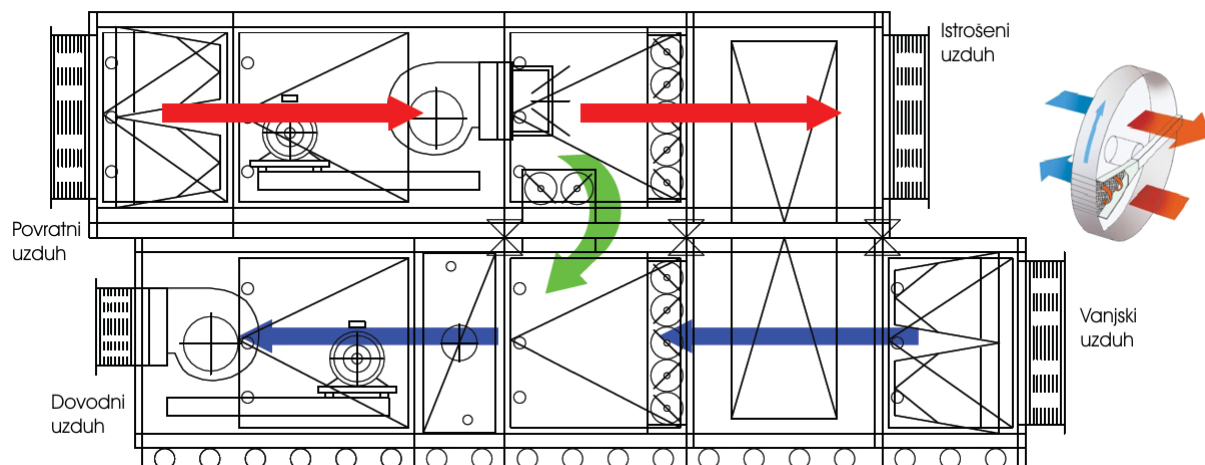
Povratom osjetne i latentne topline vršimo povrat energije (toplinska energija) i tvari (vlaga) iz otpadnog zraka. Po načelu rada dijele se na:

- sorpcijske regeneratore
- kondenzacijske regeneratore

### 3.3.1. Sorpcijski rotacijski regenererator

Postoje izvedbe rotacijskih regeneratora topline omogućuju izmjenu osjetne i latentne topline iz otpadnog zraka i regeneratora koji omogućuju povrat samo osjetne topline iz otpadnog zraka.

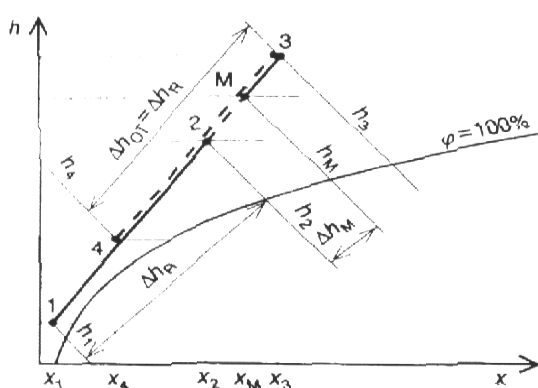
Regenererator se sastoji od kućišta, rotora i pogona rotora. Rotor je na strani ulaza vanjskog zraka podijeljen na tri dijela A',B',C', te na strani izlaza vanjskog zraka također na tri dijela A,B,C. Kroz dio A' i A struji vanjski zrak, a kroz dio B' i B otpadni zrak i to protustrujno u odnosu na struju vanjskog zraka. Dio C je s ulazne strane pregradom po promjeru podijeljen na dva jednaka dijela, a s izlazne strane ima zatvoreni kanal presjeka u obliku slova "U". U donju polovicu slova "U" struji vanjski zrak, skreće za 180°, ulazi u cijevčice saća ispunjene otpadnim zrakom te istiskuje otpadni zrak u struju otpadnog zraka. Glavna struja otpadnog zraka svojim usisnim djelovanjem poboljšava odvođenje otpadnog zraka tako da otpadni zrak ne ulazi u struju vanjskog zraka. Rotor je ispunjen sačasto izrađenim materijalom koji je higroskopian. Zbog svoje higroskopsnosti taj materijal navlači vlagu na sebe.



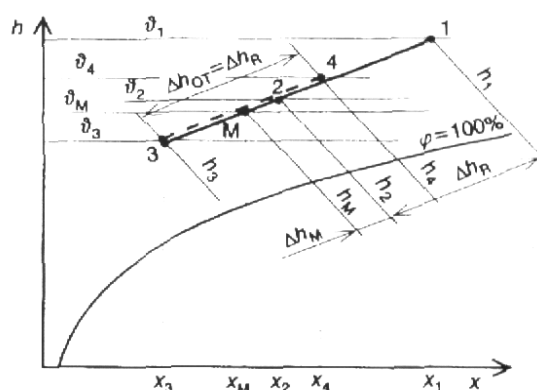
**Slika 27.** Klima komora sa rotacijskim regenereratorom (GEA ECOROT)



Ako, na primjer, u zimskom razdoblju struji otpadni zrak kroz presjek kanala dijela B, predaje toplinu i vlagu higroskopnoj ispuni rotora ta kroz B' odlazi u atmosferu. Pri tome se odvija proces prijelaza topline i tvari (vlage) koji ovisi o brzini okretanja rotora i brzini strujanja zraka. Laminarno strujanje kroz cjevčice (saća) ispune sprječava taloženje nečistoće na stjenke cjevčica. Vanjski zrak struji kroz presjek A' u suprotnom smjeru, preuzima toplinu i vlagu od ispune rotora i struji dalje u klima-jedinicu.



**Slika 28.** Prikaz procesa u  $h$ - $x$  dijagramu, povrat topline sorpcijskim rotacijskim regeneratorskim – zimsko razdoblje



**Slika 29.** Prikaz procesa u  $h$ - $x$  dijagramu, povrat topline sorpcijskim rotacijskim regeneratorskim – ljetno razdoblje

Maksimalni koeficijent iskorištenja se kreće oko 70% - 90%. Zbog svoje bakteriološke zaštićenosti primjenjuje se i u sustavima kondicioniranja prostora sa visokim higijenskim uvjetima. Važna preporuka je da se ovi izmjenjivači topline pri ugradnji u prostore sa visokim higijenskim uvjetima trebaju redovito kontrolirati.

### 3.3.2. Kondenzacijski rotacijski regeneratorski

Kondenzacijski rotacijski regeneratorski se konstrukcijski ne razlikuje od konstrukcije rotacijskog regeneratorski topline. Razlika je u tome što se na ovom sustavu povrat topline ne zasniva na sorpcijskom učinku, jer su površine izmjenjivača drukčije građe i strukture. Na metalnim lamelnim izmjenjivačkim površinama dolazi do kondenzacije vlage iz otpadnog zraka koje se prirodno slijeva niz površinu, a izmjena topline nastaje poradi razlika temperature.

Kondenzacijski rotacijski regeneratori primjenjuju se za povrat osjetne topline, a djelomično i latentne topline. Preuzimanje latentne topline je od sekundarnog značenja. U praksi se kondenzacijski regeneratori topline upotrebljavaju tamo gdje nije bitan povrat vlage. Stoga se primjenjuju u ventilacijskim postrojenjima bez ovlaživanja i hlađenja.

## 4. TEHNIČKI OPIS POSTROJENJA

### 4.1. Uvod

Idealan način klimatizacije operacijskih dvorana s medicinskog i bakteriološkog stanovišta bio bi da svaka operacijska dvorana ima svoj klima agregat sa svim potrebnim uređajima za pripremu kondicioniranog zraka. Nema zajedničkog odvodnog kanala, tako da je kontaminacija iz drugih operacijskih dvorana nemoguća. Međutim, ovo je rješenje investicijski najskuplje.

Kada je potrebno održavati različita stanja u prostorijama koje napaja jedan centralni agregat, tada se uvodi i sekundarna priprema zraka. Sekundarni uređaji mogu se lakše od centralnog uređaja postaviti u blizini operacijske dvorane. Na taj način su kanali od sekundarnog uređaja kraći i lakše se održavaju.

U istrujne anemostate prostorija ugrađuju se filtri. Filtar klase H9 ugrađuje se u istrujne anemostate pratećih prostorija dok u odjelu operacijskih dvorana istrujni anemostati imaju ugrađen apsolutni filter klase H13.

Kod ovog sustava centralna je regulacija vlažnosti i operacijskih dvorana i pomoćnih prostorija, dok je regulacija temperature lokalna (po pojedinim sekundarnim jedinicama). Također postoji mogućnost izvedbe klima postrojenja i s lokalnom regulacijom vlažnosti po pojedinim sekundarnim jedinicama.

Ako je potrebna autonomnost svakog pojedinog sustava operacijske dvorane, moguć je pogon i s recirkulacijskim zrakom. Koriste se mali sekundarni sustavi posebno za svaku dvoranu, a koji se uključuju i rade po potrebi. Za stanje mirovanja i za sve pomoćne prostorije se predvidi poseban centralni sustav (primarni) s vanjskim zrakom s otprilike 8 - 10 izmjena zraka na sat.

Ovim konkretnim projektnim zadatkom obrađen je sustav pripreme dva različita stanja zraka pomoću dvije klima komore; jedna za klimatizaciju operacijskih dvorana a druga za klimatizaciju pratećih prostorija.

## 4.2. Tehnički opis

Projektno rješenje strojarnice klimatizacijskog postrojenja izrađeno je tako da zadovoljava postavljene zahtjeve. Zahtjevi su sadržani u klimatizaciji operacijskih odjela bolnice u sklopu kojeg se nalazi četiri operacijske dvorane s pratećim prostorijama. Bolnica je smještena na području grada Zagreba. Operacijske dvorane dimenzija 8x6x4 m (dšv) su centralno smještene u odnosu na ostale prostorije.

Strojarnica klimatizacijskog postrojenja smještena je na vrhu bolnice. U okviru strojarnice postoje dvije klima komore. Jedna klima komora opskrbljuje kondicioniranim zrakom operacijske dvorane, a druga opskrbljuje prateće prostorije u okviru operacijskog bloka. Klima komore su higijenske izvedbe GEA CAIRplus SX 160.160. Obje klima komore kondicioniraju po 17710 m<sup>3</sup>/h zraka. Brzina zraka u klima komorama otprilike iznosi oko 1.92 m/s što omogućuje bešuman rad.

Kod termodinamičkog proračuna uzeta je vrijednost temperature operacijskih dvorana i pratećih prostorija od 22°C. U pogledu relativne vlažnosti i sadržaja vlage u zraku operacijske dvorane vodilo se računa da se relativna vlažnost kreće u granicama 30÷65%, a sadržaj vlage ne bi smio preći vrijednost od 11.5 g/kg [1], [2], tako da je odabrana vrijednost relativne vlažnosti od 50% što pri uzetoj vrijednosti temperature od 22 °C iznosi 8 g/kg apsolutne vlažnosti [4].

Klima komore operacijskih dvorana i pratećih prostorija sadrže uobičajene sastavne elemente: ventilator, grijač, hladnjak, filtre, pločasti rekuperator, parni ovlaživač, prigušivač, žaluzine, sakupljače kapljica itd.

Odsisni i tlačni ventilator postavljeni su tako da drže pretlak u kondicioniranim prostorijama. Ventilator, kao i cijelo klima postrojenje operacijskog odjeljenja stalno je u pogonu, zbog opasnosti povrata zraka iz nečistih zona u čiste, te tako zagađenja čistih prostora i kanala. Zbog toga se upravlja centralnim nadzornim sustavom iz strojarnice. U operacijskim dvoranama postoje prekidači za prebacivanje s punog na polovični rad klima agregata i obrnuto. Zbog smanjenja troškova, postrojenje radi punom snagom samo kad su dvorane u uporabi. Ostalo vrijeme radi s polovinom snage. Ove postavke su odredile izbor dvo brzinskog ventilatora za rješenje ovog

konstrukcijskog zadatka. Ventilatori su radijalni za unatrag zakrivljenim lopaticama. Snaga odsisnog ventilatora iznosi 5.4 kW dok tlačni ima snagu od 8.3 kW.

Izmjenjivači topline u klima komorama su izrađeni od bakrenih cijevi i s vanjske strane obloženi aluminijskim lamelama. Hladnjaci u ljetnom režimu rada hlade vanjski zrak ali ga i odvlažuju. Senzibilna snaga im je 83.2 kW a rezerva snage iznosi 23%. Grijači su različiti za operacijske dvorane i prateće prostorije tako da grijač klima komore operacijskih dvorana ima snagu od 92.1 kW sa rezervom od 58% dok grijač pratećih prostorija razvija snagu od 107 kW sa rezervom 36%.

Za ovlaživanje zraka koristi se elektroparni ovlaživači GEA HygroMatik Hy60 i Hy90 kako bi se izbjegla mogućnost stvaranja klica i mikroorganizama kao što je slučaj kod vodenih ovlaživača. Potrebna količina pare iznosi 141.3 kg/h pa je s toga odabran sustav koji pokriva taj zahtjev a njegov maksimum iznosi 150 kg/h suhozasićene pare.

Za izdvajanje svih vrsta nečistoća u formi čestica, uključujući i mikroorganizme, služe tri stupnja filtra: filter za grube čestice H5, filter za fine čestice H9 i apsolutni filter H13. Apsolutni filter smješten je u perforiranom stropu operacijske dvorane. Ta stropna jedinica mora imati ugrađen detekcijski sustav zaprljanosti filtra. Od tog sustava signal vodi do komandne ploče operacijskog bloka, te paralelni signal do centralnog nadzornog sustava. Sve u svrhu da bi se moglo na vrijeme reagirati i spriječiti kritičnu zaprljanost apsolutnog filtra. U istrujnom kanalu klima komora smješten je grubi filter G4.

Povrat energije iz istrošenog zraka vrši se pomoću pločastog rekuperatora smještenog u klima komorama. Njegova primjena znatno smanjuje pogonske troškove zagrijavanja i hlađenja zraka. Koristi se aluminijski rekuperator tvrtke Heatex AB, Sweden, sa "bypass-om". Učinkovitost mu se kreće oko 70% a snaga je 175 kW.

Klima postrojenje priključeno je na posebni izvor energije. Taj izvor energije koristi se ukoliko dođe do nestanka električne energije.

#### 4.2.1. Rashladna stanica

Rashladna stanica smještena je neposredno uz strojarnicu. U njoj se nalaze dva rashladna agregata GEA-DAIKIN koji pripremaju  $53.6 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $2 \times 26.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ) vode temperature  $12/6^\circ\text{C}$ . Maksimalni rashladni učin jednog rashladnog agregata iznosi  $221.1 \text{ kW}$  tj. ukupno  $442.2 \text{ kW}$ . Voda temperature  $12^\circ\text{C}$  iz sabirnika transportira se u isparivače rashladnog agregata gdje se hladi na  $6^\circ\text{C}$  isparavanjem freona R134a, a nakon toga odlazi u razdjelnik. Iz razdjelnika se ohlađena voda transportira prema hladnjacima klima komora. Potrebni rashladni učin iznosi  $373 \text{ kW}$  ( $2 \times 186.5 \text{ kW}$ ) Ispareni freon odvodi se do kondenzatorskih jedinica koje se nalaze na krovu rashladne stanice. Kondenzatori su hlađeni zrakom.

Na svakom vodu od razdjelnika do hladnjaka klima komora predviđene su po dvije crpke IMP CL 1002-4 maksimalne snage  $3000 \text{ W}$ . Jedna od te dvije crpke je rezervna. Za kompenzaciju toplinskih dilatacija u cirkulacijskom krugu hlađene vode predviđena je membranska ekspanzijska posuda EDER Elko-Flex N volumena  $80 \text{ L}$ . Razdjelnik - sabirnik hladnog kruga je tvrtke MAGRA izvedbe u jednoj cjevi tip Conti 120/30.

Cjevi rashladne stanice su nazivne dimenzije DN100 a pumpe su IMP NMT-80. Sva armatura i cjevovod hlađene vode  $12/6^\circ\text{C}$  u rashladnoj stanici izoliraju se radi smanjenja toplinskih gubitaka i sprečavanja rošenja. Za izoliranje armature i cjevovoda koristi se armaflex izolacija.



Slika 30. Rashladni agregati

#### 4.2.2. Toplinska stanica

Toplinska stanica također se nalazi u sklopu strojarnice. Voda 80/60°C koju koriste grijači zraka klima komora priprema se u dva spojena plinska kotla VESSMANN Vitogas 100. Kotlovi ukupne snage 216 kW pripremaju 8.7 m<sup>3</sup>/h vode temperature 80°C koja putuje prema razdjelniku. Iz razdjelnika zagrijana voda se raspodjeljuje na grijače klima komora. Grijač klima komore operacijskih dvorana ima ogrijevni učin od 92.1 kW a za pratećih prostorija 104 kW, što znači da je ukupan potreban ogrijevni učin od 195 kW.

Na svakom vodu od razdjelnika do grijača klima komora predviđene su po dvije crpke IMP EGHN-L 502A maksimalne snage 1180W. Jedna od te dvije crpke je rezervna. Za kompenzaciju toplinskih dilatacija u cirkulacijskom krugu tople vode predviđena je membranska ekspanzijska posuda EDER Eiko-Flex N volumena 100L. Razdjelnik - sabirnik toplog kruga je tvrtke MAGRA izvedbe u jednoj cjevi tip WG02 60/30.

Cjevi toplinske stanice su nazivne dimenzije DN50 a pumpe su IMP NMT-50. Sva armatura i cjevovod tople vode kao i vrele vode izoliraju se radi smanjenja toplinskih gubitaka. Za izoliranje armature i cjevovoda koristi armaflex izolacija.



**Slika 31.** *Kotlovi toplinske stanice*

#### 4.2.3. Automatska regulacija

Predviđen je centralni nadzorni sustav (CNS). On se koristi za održavanje konstantne temperature i vlažnosti zraka u operacijskim dvoranama i pratećim prostorijama preko cijele godine.

Puštanjem uređaja u pogon prvo se otvaraju žaluzine preko elektromotornog pogona, a sa zateznim vremenom se upuštaju tlačni i odsisni ventilator. Pojedinačnim upuštanjem ventilatora se izbjegavaju strujni udari u mreži. Obrnutim redoslijedom se uređaj ispušta iz pogona. Rad ventilatora nadzire se diferencijalnim presostatima.

U klima komori i istrujnim anemostatima prostorija nalaze se filtri koji zadržavaju čestice prašine i nečistoće i time osiguravaju čistoću kondicioniranog uzduha. Vremenom se filtri onečiste i postaju sve nepropusniji. To dovodi do opterećenja ventilatora i poremećaja sustava u količinskoj i toplinskoj bilanci sustava. Da bi se na vrijeme signalizirala nedovoljna propusnost filtara koriste se diferencijalni presostati koji nakon određenog stupnja začepljenosti uzrokuje alarm na kontroleru koji ostaje sve do otklanjanja uzroka alarma.

Učinkom grijača i hladnjaka upravlja kanalni temperaturni osjetnik koji je povezan sa CNS. Regulator CNS-a regulira troputni regulacijski ventil grijača ili hladnjaka dok se ne dobije željeno stanje zraka. Iza predgrijača klima komora nalazi se protusmrzavajući termostat. Zadaća tog termostata je da signalizira pre nisku temperaturu zraka na predgrijaču. Regulator na pojavu alarma od tog termostata aktivira podprograme koji osiguravaju zaštitu grijača od smrzavanja. Učinom elektroparnog ovlaživača upravlja kanalni osjetnik vlage. On se nalazi iza komore sa parnom sapnicom.

Treba napomenuti da su svi regulatori upravljani zajedničkim centralnim nadzornim sustavom. On brine i o automatskom prebacivanju procesa iz zimskog na ljetno razdoblje.



## 5. TERMODINAMIČKI PRORAČUN

### 5.1. Stanje vanjskog zraka

Projektne veličine temperature i relativne vlažnosti za grad Zagreb potrebne za proračun [6]:

ZIMSKO RAZDOBLJE: - vanjska projektna temperatura:  $\vartheta_{vz} = -15\text{ °C}$   
- relativna vlažnost:  $\varphi_{vz} = 85\%$

LJETNO RAZDOBLJE: - temperatura:  $\vartheta_{vz} = 32\text{ °C}$   
- vlažnost:  $\varphi_{vz} = 50\%$

### 5.2. Stanje zraka u operacijskim dvoranama i pratećim prostorijama

Temperatura zraka u operacijskoj dvorani [1] se kreće u granicama od 20÷25°C. Gornja granica za vlažnost zraka iznosi 60%, a donja granica 50%. Sadržaj vlage u zraku ne bi smio preći granicu od 11.5 g/kg. Za potrebe termodinamičkog proračuna odabrana je temperatura od 22°C i relativna vlažnost u iznosu od 50%. Stanje tokom cijele godine ostaje jednako.

Transmisijska razlika temperatura za operacijske dvorane u zimskom razdoblju kreće se u granicama 5÷15°C, a u ljetnom razdoblju 3÷5°C [7].

Odabrano stanje zraka u operacijskom bloku:

- temperatura:  $\vartheta_{pp} = 22\text{ °C}$   
- relativna vlažnost:  $\varphi_{pp} = 50\%$

### 5.2.1. Proračun latentne topline

Za približan proračun latentnih izvora (tj. izvori vlage) unutar operacijskog bloka pretpostavljeno je da se za vrijeme operacije unutar operacijske sale mogu nalaziti

sljedeće osobe:

- dva do tri kirurga
- jedan anesteziolog i jedan anesteziološki tehničar
- dvije instrumentarke
- jedan pomoćni radnik
- pacijent

U okviru sporednih prostorija, osim navedenih osoba, nalaze se:

- medicinske sestre (jedna medicinska sestra po pacijentu)
- pacijenti

Za odavanje latentne topline ljudi odabrane su sljedeće vrijednosti [3] :

- kod temperature zraka  $22^{\circ}\text{C}$  :  $W_{22} = 33 \text{ W/osobi}$

#### Operacijske dvorane:

Prema gore navedenim podacima unutar operacijske sale nalazi se devet osoba.

Odavanje latentne topline pri temperaturi zraka od  $22^{\circ}\text{C}$  iznosi:

$$W_{od} = W_{22} \cdot 9 = 33 \cdot 9 = 297W$$

#### Prateće prostorije:

Pretpostavimo da se unutar operacijskog bloka nalazi 6 pacijenata. Na tih 6 pacijenata dolazi 6 medicinskih sestara. Ako tim ljudima pribrojimo i osoblje iz 4 operacijske sale (u prosjeku 7.5 osoba), tada se unutar sporednih prostorija kreće otprilike 42 osobe. Odabrana temperatura sporednih prostorija iznosi  $22^{\circ}\text{C}$ , pa prema tome odavanje latentne topline unutar sporednih prostorija iznosi:

$$W_{pp} = W_{22} \cdot 42 = 33 \cdot 42 = 1386W$$

### 5.2.2. Proračun osjetne topline

Zadatak nam nameće zahtjeve za klimatizacijom operacijskog djela bolnice koji se sastoji od četiri operacijske dvorane s pratećim sadržajima tj. prostorijama koje su grupirane u jednom bloku građevine.

Pod prateće prostorije spadaju: prostorija za pranje i pripremu, prostorija za sterilizaciju, sanitarne prostorije, spremište sterilnog materijala, spremište alata, soba za boravak i odmor osoblja te hodnici.

Za proračun transmisijske razlike temperatura potrebni su nam podaci o toplinskom opterećenju prostorija. Procjenjeni dobici topline za ljetno razdoblje iznose  $30\text{W/m}^3$  a za zimsko  $40\text{W/m}^3$ .

#### Operacijske dvorane:

Poznati podaci:

- površina jedne operacijske dvorane:  $A_{od} = 48 \text{ m}^2$
- visina dvorane:  $h = 4 \text{ m}$
- volumen operacijske dvorane:  $V_{od} = A_{od} \cdot h = 192 \text{ m}^3$
- dobici topline:  $\varnothing_{lj} = 30\text{W/m}^3$ ;  $\varnothing_z = 40\text{W/m}^3$

Transmisijska topline:  $Q_{odlj} = \theta_{lj} (4 \cdot V_{od}) = 30 \cdot (4 \cdot 192) = 23040\text{W}$

$$Q_{odz} = \theta_z (4 \cdot V_{od}) = 40 \cdot (4 \cdot 192) = 30720\text{W}$$

#### Prateće prostorije:

Poznati podaci:

- površina pratećih prostorija:  $A_{pp} = A_{od} \cdot 1.5 = (4 \cdot 48) \cdot 1.5 = 288 \text{ m}^2$
- visina prostorija:  $h = 4 \text{ m}$
- volumen prostorija:  $V_{pp} = A_{pp} \cdot h = 1152 \text{ m}^3$
- dobici topline:  $\varnothing_{lj} = 30\text{W/m}^3$ ;  $\varnothing_z = 40\text{W/m}^3$

Transmisijska topline:  $Q_{pplj} = \theta_{lj} \cdot V_{pp} = 30 \cdot 1152 = 34560\text{W}$

$$Q_{ppz} = \theta_z \cdot V_{pp} = 40 \cdot 1152 = 46080\text{W}$$

### 5.3. Potrebna količina kondicioniranog zraka

#### 5.3.1. Proračun potrebne količine kondicioniranog zraka

##### Operacijske dvorane:

Odabrana transmisijska razlika temperature za ljetno razdoblje:  $\Delta \vartheta_{tr lj} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q_{odlj} = V_1 \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta \vartheta_{tr lj}$$

gdje je: - volumen zraka za operacijske dvorane  $V_1$

- gustoća zraka pri  $22^\circ\text{C}$   $\rho = 1.157 \text{ kg/m}^3$  [4]

- specifični toplinski kapacitet zraka  $c_p = 1.012 \text{ kJ/kgK}$  [4]

$$V_1 = \frac{3.6 \cdot Q_{odlj}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta \vartheta_{tr lj}} = \frac{3.6 \cdot 23040}{1.157 \cdot 1.012 \cdot 4} = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$$

Iz izračunate vrijednosti količine ubacivanog zraka dobijemo transmisijsku razliku temperature za zimsko razdoblje:

$$Q_{odz} = V_1 \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta \vartheta_{tr z}$$

$$\Delta \vartheta_{tr z} = \frac{3.6 \cdot Q_{odz}}{\rho \cdot c_p \cdot V_1} = \frac{3.6 \cdot 30720}{1.157 \cdot 1.012 \cdot 17710} = 5.5^\circ\text{C}$$

##### Prateće prostorije:

Odabrana transmisijska razlika temperature za ljetno razdoblje:  $\Delta \vartheta_{tr lj} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q_{pplj} = V_2 \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta \vartheta_{tr lj}$$

gdje je: - volumen zraka za prateće prostorije  $V_2$

- gustoća zraka pri  $22^\circ\text{C}$   $\rho = 1.157 \text{ kg/m}^3$

- specifični toplinski kapacitet zraka  $c_p = 1.012 \text{ kJ/kgK}$

$$V_2 = \frac{3.6 \cdot Q_{pplj}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta \vartheta_{trlj}} = \frac{3.6 \cdot 34560}{1.157 \cdot 1.012 \cdot 6} = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$$

Iz izračunate vrijednosti količine ubacivanog zraka dobijemo transmisijsku razliku temperature za zimsko razdoblje:

$$Q_{ppz} = V_2 \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta \vartheta_{trz}$$

$$\Delta \vartheta_{trz} = \frac{3.6 \cdot Q_{ppz}}{\rho \cdot c_p \cdot V_2} = \frac{3.6 \cdot 46080}{1.157 \cdot 1.012 \cdot 17710} = 8^\circ\text{C}$$

### 5.3.2. Provjera potrebne količine kondicioniranog zraka

Zbog posebnih zahtjeva za klimatizacijom operacijskih dvorana određen je minimalan broj izmjena zraka po satu [3]:

- za operacijske dvorane: 20
- za prateće prostorije: 15

#### Operacijske dvorane

- ukupni volumen operacijskih dvorana:  $V_{od} = 4 \cdot A_{od} \cdot h = 768 \text{ m}^3$   
 - minimalan broj izmjena zraka po satu:  $n_{od} = 20 \text{ h}^{-1}$

Volumen zraka potrebnog za klimatiziranje četiri operacijske dvorane  $V_{1'}$ :

$$V_{1'} = V_{od} \cdot n_{od} = 768 \cdot 20 = 15360 \text{ m}^3/\text{h}$$

Što znači da je  $V_{1'} < V_1$ , tj. minimalni uvijet zadovoljava.

Broj izmjena ukupnog volumena zraka:  $n_{od} = \frac{V_{1'}}{V_{od}} = \frac{17710}{768} = 23 \text{ izmjena/h}$

#### Prateće prostorije

- ukupni volumen pratećih prostorija:  $V_{pp} = A_{pp} \cdot h = 288 \cdot 4 = 1152 \text{ m}^3$   
 - minimalan broj izmjena zraka po satu:  $n_{pp} = 15 \text{ h}^{-1}$

Volumen zraka potrebnog za klimatiziranje pratećih prostorija  $V_2$ :

$$V_2' = V_{pp} \cdot n_{pp} = 1152 \cdot 15 = 17280 \text{ m}^3/\text{h}$$

Što znači da je  $V_2' < V_2$ , tj. minimalni uvjet zadovoljava.

Broj izmjena ukupnog volumena zraka:

$$n_{pp} = \frac{V_2}{V_{pp}} = \frac{17710}{1152} = 15.4 \text{ izmjena/h}$$

#### 5.4. Proračun točke ubacivanja

##### 5.4.1. Operacijska dvorana:

Zbog nepoznavanja točnog stanja unutar operacijskih dvorana pretpostavljen je 30% veći izvor latentnog opterećenja od ranije izračunatog:

Količina vlage koja se odvodi iz četiri operacijske dvorane za temperaturu 22°C iznosi:

$$\Delta x_{22od} = \frac{1.3 \cdot W_{od} \cdot 4}{r \cdot \rho \cdot V_1} = \frac{1.3 \cdot 297 \cdot 4}{694.45 \cdot 1.17 \cdot 17710} \cdot 1000 = 0.107 \text{ g/kg}$$

gdje su:  $r = 694.45 \text{ Wh/kg}$  - toplina isparavanja vode [8]

$\rho_{22} = 1.17 \text{ kg/m}^3$  - gustoća zraka kod 22 °C [4]

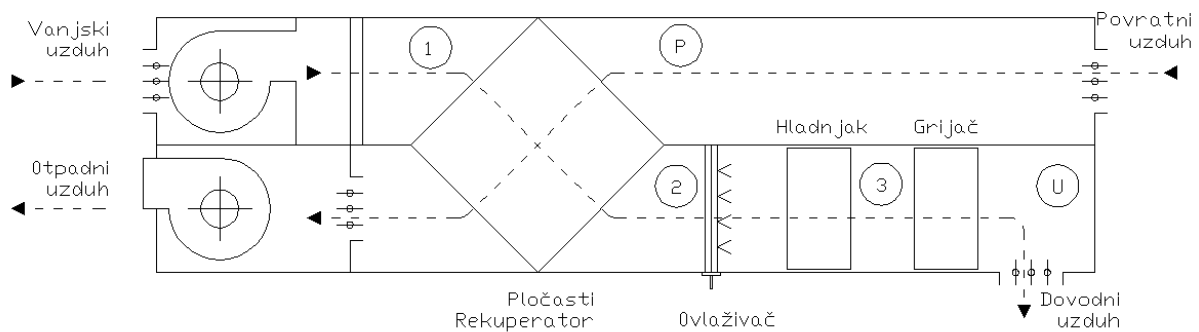
##### 5.4.2. Prateće prostorije:

Količina vlage koja se odvodi iz pratećih prostorija za temperaturu zraka od 22°C iznosi:

$$\Delta x_{pp} = \frac{1.3 \cdot W_{pp}}{r \cdot \rho \cdot V_2} = \frac{1.3 \cdot 1386}{694.45 \cdot 1.17 \cdot 17710} \cdot 1000 = 0.125 \text{ g/kg}$$

Za operacijske dvorane i prateće prostorije sadržaj vlage u točki ubacivanja biti će za 0.3 g/kg manji od sadržaja vlage u prostoriji. Takvim odabirom osiguravamo, ukoliko dođe do neke veće promjene latentnog opterećenja unutar prostorija, da se sadržaj vlage i relativna vlažnost zraka održe u granicama propisanog.

### 5.5. h-x dijagrami pripreme zraka za operacijske dvorane



Slika 32. Shema spajanja elemenata za kondicioniranje uzduha

#### 5.5.1. h-x dijagram za zimsko razdoblje

Odabran je pločasti rekuperator tvrtke GEA

Stupanj korisnosti rekuperatora GEA ECOPLAT (katalog)  $\eta_r = 0.7$

$$\eta_r = \frac{g_2 - g_1}{g_p - g_1} = \frac{g_p - g_4}{g_p - g_1} - \text{stupanj rekuperacije po VDI 2071}$$

1 - stanje vanjskog zraka

2 - stanje zraka na izlazu iz rekuperatora

3 - stanje zraka na ulazu u grijač

U - stanje ubacivanog zraka u prostorije

P - stanje zraka u prostoriji

$$g_2 = g_1 + \eta_r (g_p - g_1) = -15 + 0.7 (22 - (-15)) = 11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

	1	2	3	U	P
x [g/kg]	0.88	0.88	8	8	8.3
h [kJ/kg]	-12.9	13.2	32.2	48.1	43.1
θ [°C]	-15	11	12	27.5	22
φ [%]	85	11	91.7	35	50

Tablica 1. Vrijednosti točaka stanja zraka za operacijske dvorane u zimskom razdoblju

Izračunati učin grijača:

$$Q_g = \frac{V_1 \cdot \rho_z \cdot \Delta h}{3600} = \frac{17710 \cdot 1.164 \cdot 15.9}{3600} = 91 \text{ kW}$$

- volumni protok zraka:  $V_1 = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$

- gustoća zraka  $\varrho = \frac{\vartheta_3 + \vartheta_U}{2} = \frac{12 + 27.5}{2} = 19.75 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_z = 1.164 \text{ kg/m}^3$

- razlika entalpija  $\Delta h = h_U - h_3 = 48.1 - 32.2 = 15.9 \text{ kJ/kg}$

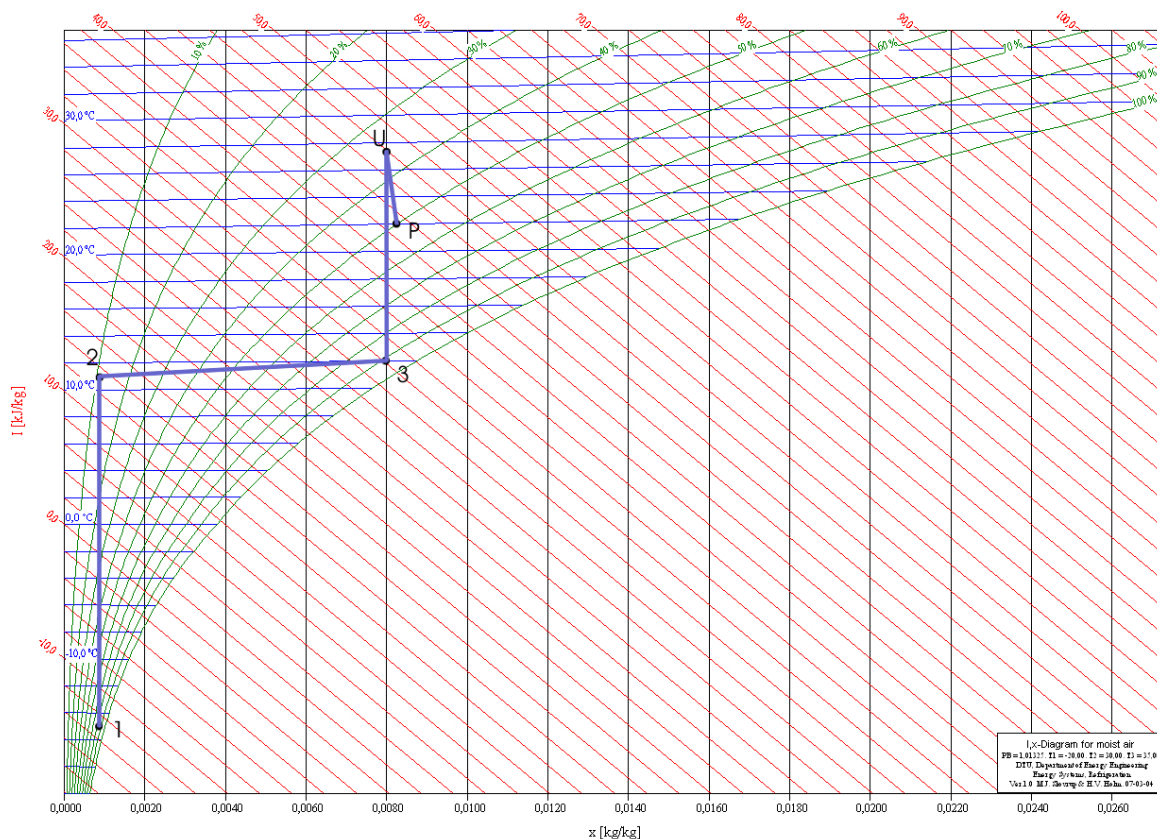
Izračunati učin ovlaživača:

$$D = V_1 \cdot \rho \cdot \Delta x = 17710 \cdot 1.2 \cdot 7.12 = 151314 \text{ g/h} = 151.3 \text{ kg/h}$$

- volumni protok zraka:  $V_1 = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$

- gustoća zraka za  $\vartheta_2 = 11 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_z = 1.2 \text{ kg/m}^3$

- sadržaj vlage  $\Delta x = x_3 - x_2 = 8 - 0.88 = 7.12 \text{ g/kg}$



Slika 33. Proces pripreme zraka za operacijske dvarane u h-x dijagramu u ZIMSKM RAZDOBLJU



## 5.5.2. h-x dijagram za ljetno razdoblje

Stupanj korisnosti rekuperatora GEA ECOPLAT  $\eta_r = 0.7$

$$\eta_r = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\vartheta_p - \vartheta_1} = \frac{\vartheta_p - \vartheta_4}{\vartheta_p - \vartheta_1} \text{ - stupanj rekuperacije po VDI 2071}$$

1 - stanje vanjskog zraka

2 - stanje zraka na izlazu iz rekuperatora

3 - stanje zraka nakon hladnjaka

U - stanje ubacivanog zraka u prostorije

P - stanje zraka u prostoriji

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 + \eta_r (\vartheta_p - \vartheta_1) = 32 + 0.7 (22 - 32) = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

	1	2	3	U	P
x [g/kg]	15.2	15.2	8	8	8.3
h [kJ/kg]	70.9	63.6	31.2	38.4	43.1
$\vartheta$ [°C]	32	25	11	18	22
$\varphi$ [%]	50	75	98	62	50

**Tablica 2.** Vrijednosti točaka stanja zraka za operacijske dvorane u ljetnom razdoblju

Izračunati učin grijača:

$$Q_g = \frac{V_1 \cdot \rho_z \cdot \Delta h}{3600} = \frac{17710 \cdot 1.19 \cdot 7.2}{3600} = 42.1 \text{ kW}$$

- volumni protok zraka:  $V_1 = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$

- gustoća zraka:  $\vartheta_s = \frac{\vartheta_3 + \vartheta_U}{2} = \frac{11 + 18}{2} = 14.5 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_s = 1.19 \text{ kg/m}^3$

- razlika entalpija:  $\Delta h = h_U - h_3 = 38.4 - 31.2 = 7.2 \text{ kJ/kg}$

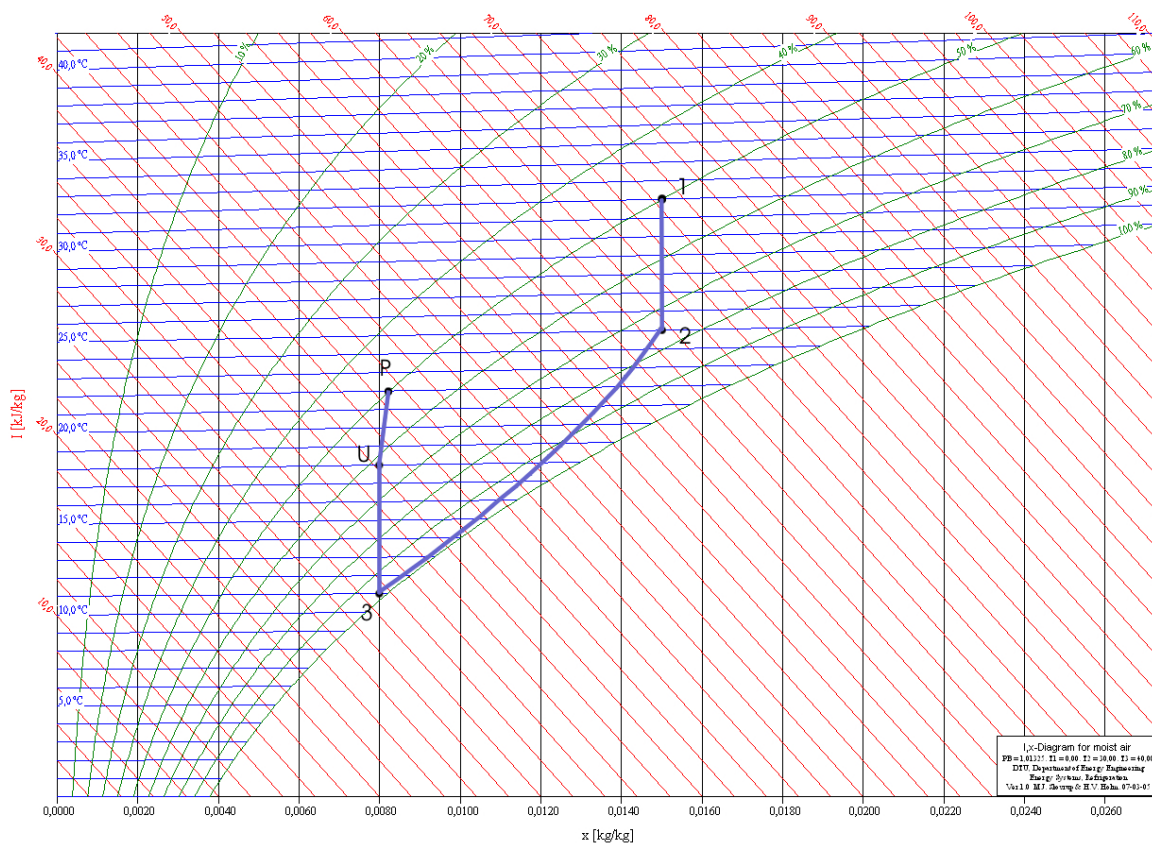
Izračunati učin hladnjaka:

$$Q_h = \frac{V_1 \cdot \rho_z \cdot \Delta h}{3600} = \frac{17710 \cdot 1.17 \cdot 32.4}{3600} = 186.5 \text{ kW}$$

- volumni protok zraka:  $V_1 = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$

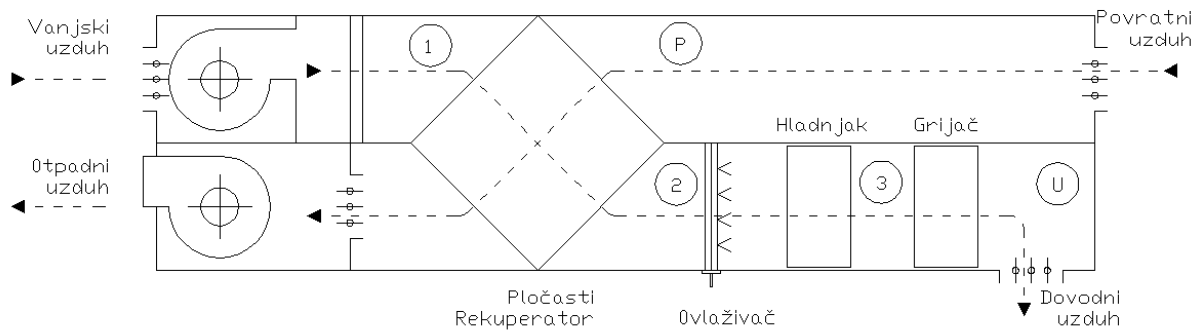
- gustoća zraka:  $\rho_s = \frac{\rho_2 + \rho_3}{2} = \frac{25 + 11}{2} = 18 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_s = 1.17 \text{ kg/m}^3$

- razlika entalpija:  $\Delta h = h_2 - h_3 = 63.6 - 31.2 = 32.4 \text{ kJ/kg}$



Slika 34. Proces pripreme zraka za operacijske dvarane u h-x dijagramu u LJETNOM RAZDOBLJU

### 5.6. h-x dijagrami pripreme zraka za prateće prostorije



Slika 35. Shema spajanja elemenata za kondicioniranje zraka

#### 5.5.1. h-x dijagram za zimsko razdoblje

Odabran je pločasti rekuperator tvrtke GEA

Stupanj korisnosti rekuperatora GEA ECOPLAT (katalog)  $\eta_r = 0.7$

$$\eta_r = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\vartheta_p - \vartheta_1} = \frac{\vartheta_p - \vartheta_4}{\vartheta_p - \vartheta_1} \text{ - stupanj rekuperacije po VDI 2071}$$

1 - stanje vanjskog zraka

2 - stanje zraka na izlazu iz rekuperatora

3 - stanje zraka na ulazu u grijač

U - stanje ubacivanog zraka u prostorije

P - stanje zraka u prostoriji

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 + \eta_r (\vartheta_p - \vartheta_1) = -15 + 0.7 (22 - (-15)) = 11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

	1	2	3	U	P
x [g/kg]	0.88	0.88	8	8	8.3
h [kJ/kg]	-12.9	13.2	32.2	50.4	43.1
$\vartheta$ [°C]	-15	11	12	30	22
$\varphi$ [%]	85	11	91.7	30	50

Tablica 3. Vrijednosti točaka stanja zraka za prateće prostorije u zimskom razdoblju

Izračunati učin grijača:

$$Q_g = \frac{V_2 \cdot \rho_z \cdot \Delta h}{3600} = \frac{17710 \cdot 1.160 \cdot 18.2}{3600} = 103.9 \text{ kW}$$

- volumni protok zraka:  $V_2 = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$

- gustoća zraka  $\rho = \frac{\vartheta_3 + \vartheta_U}{2} = \frac{12 + 30}{2} = 21 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_z = 1.160 \text{ kg/m}^3$

- razlika entalpija  $\Delta h = h_U - h_3 = 50.4 - 32.2 = 18.2 \text{ kJ/kg}$

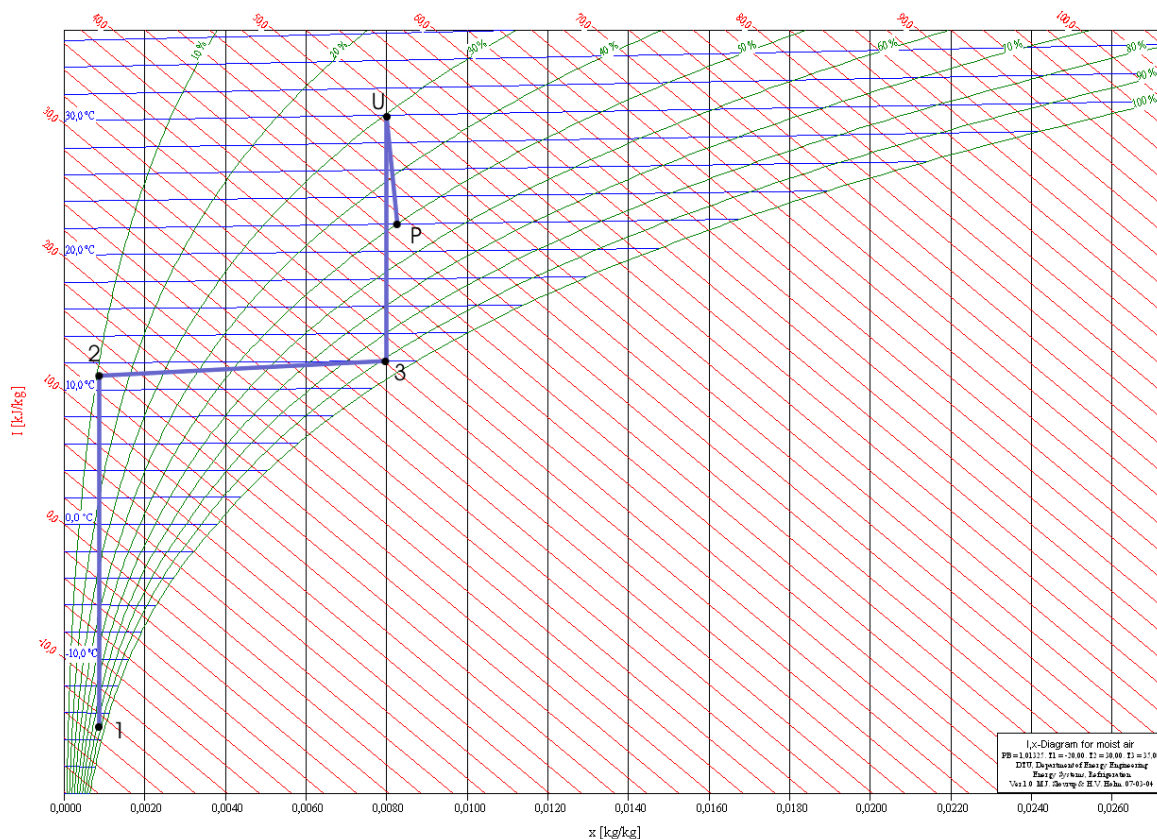
Izračunati učin ovlaživača:

$$D = V_2 \cdot \rho \cdot \Delta x = 17710 \cdot 1.2 \cdot 7.12 = 151314 \text{ g/h} = 151.3 \text{ kg/h}$$

- volumni protok zraka:  $V_1 = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$

- gustoća zraka za  $\vartheta_2 = 11 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_z = 1.2 \text{ kg/m}^3$

- sadržaj vlage  $\Delta x = x_3 - x_2 = 8 - 0.88 = 7.12 \text{ g/kg}$



Slika 36. Proces pripreme zraka za prateće prostorije u h-x dijagramu u ZIMSKOM RAZDOBLJU

## 5.5.2. h-x dijagram za ljetno razdoblje

Stupanj korisnosti rekuperatora GEA ECOPLAT  $\eta_r = 0.7$

$$\eta_r = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\vartheta_p - \vartheta_1} = \frac{\vartheta_p - \vartheta_4}{\vartheta_p - \vartheta_1} \text{ - stupanj rekuperacije po VDI 2071}$$

1 - stanje vanjskog zraka

2 - stanje zraka na izlazu iz rekuperatora

3 - stanje zraka nakon hladnjaka

U - stanje ubacivanog zraka u prostorije

P - stanje zraka u prostoriji

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 + \eta_r (\vartheta_p - \vartheta_1) = 32 + 0.7 (22 - 32) = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

	1	2	3	U	P
x [g/kg]	15.2	15.2	8	8	8.3
h [kJ/kg]	70.9	63.6	31.2	36.2	43.1
$\vartheta$ [°C]	32	25	11	16	22
$\varphi$ [%]	50	75	98	70	50

**Tablica 4.** Vrijednosti točaka stanja zraka za prateće prostorije u ljetnom razdoblju

Izračunati učin grijača:

$$Q_g = \frac{V_2 \cdot \rho_z \cdot \Delta h}{3600} = \frac{17710 \cdot 1.191 \cdot 5}{3600} = 29.3 \text{ kW}$$

- volumni protok zraka:  $V_2 = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$

- gustoća zraka:  $\vartheta_s = \frac{\vartheta_3 + \vartheta_U}{2} = \frac{11 + 16}{2} = 13.5 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_s = 1.191 \text{ kg/m}^3$

- razlika entalpija:  $\Delta h = h_U - h_3 = 36.2 - 31.2 = 5 \text{ kJ/kg}$

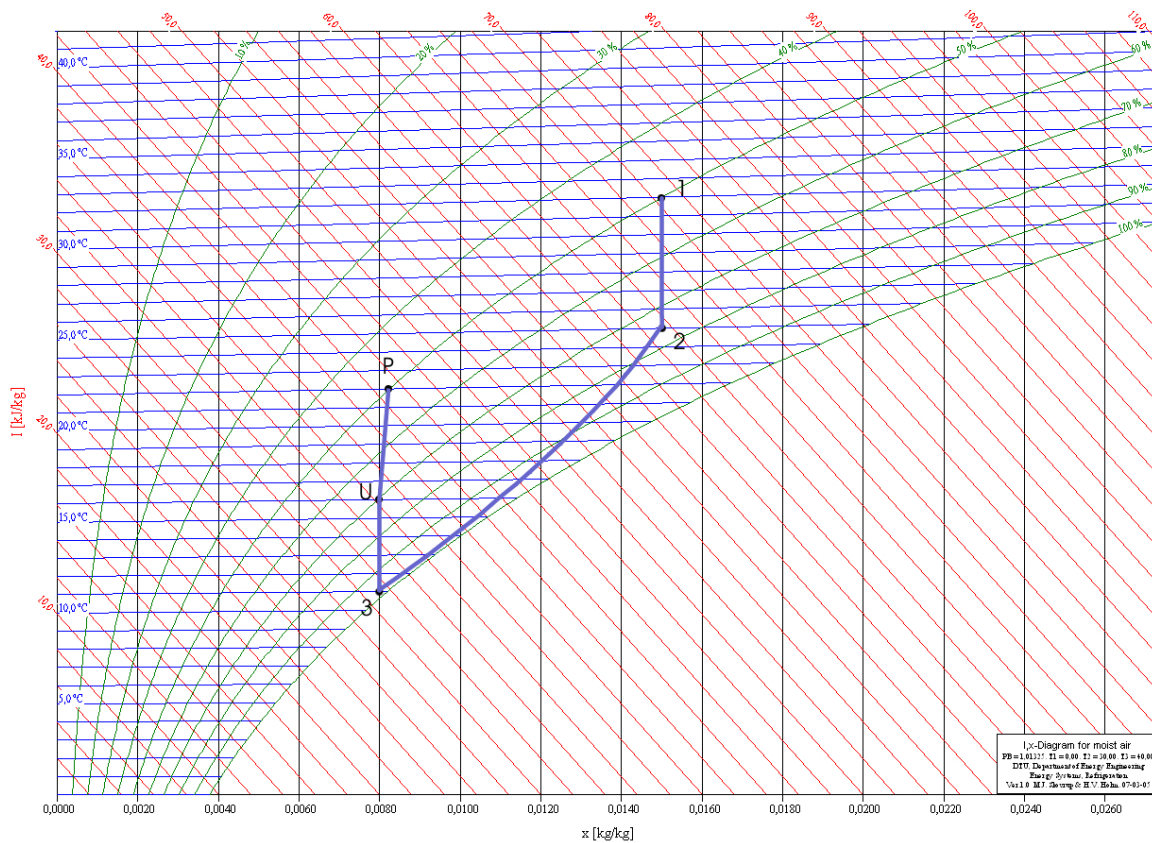
Izračunati učin hladnjaka:

$$Q_h = \frac{V_2 \cdot \rho_z \cdot \Delta h}{3600} = \frac{17710 \cdot 1.17 \cdot 32.4}{3600} = 186.5 \text{ kW}$$

- volumni protok zraka:  $V_1 = 17710 \text{ m}^3/\text{h}$

- gustoća zraka:  $\rho_s = \frac{\rho_2 + \rho_3}{2} = \frac{25 + 11}{2} = 18 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_s = 1.17 \text{ kg/m}^3$

- razlika entalpija:  $\Delta h = h_2 - h_3 = 63.6 - 31.2 = 32.4 \text{ kJ/kg}$



Slika 37. Proces pripreme zraka za prateće prostorije u h-x dijagramu u LJETNOM RAZDOBLJU

## 6. KLIMA KOMORE

### 6.1. Odabir klima komora

Za ovaj sustav klimatizacije prema termodinamičkom proračunu odabrane su dvije klima komore u kojima se vrši priprema zraka. Jedna klima komora vrši propremu za ubacivanje u operacijske dvorane a druga u prateće prostorije. Komore su gotovo identične. Istih su dimenzija i sastoje se od istih elemenata osim grijača. Zbog toga u daljnjem tekstu neće posebno poglavlje za svaku nego će se posebno naznačiti odabir grijača za klima komoru operacijskih dvorana a posebno za prateće prostorije. Klima komore su odabrane uz pomoć stručnjaka iz GEA-e [11]:

#### GEA CAIRplus SX 160.160



Slika 38. Klima komora GEA CAIRplus SX

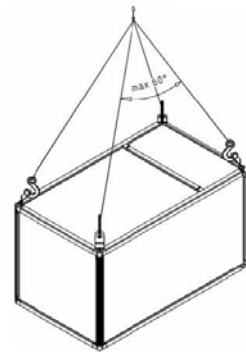
*Izvedba kućišta:* - uređaj u higijenskoj izvedbi.

*Karakteristike materijala:*

- Unutarnja stijenka: plemeniti čelik V2A 1.4301 debljine 1 mm
- Vanjska stijenka: prevučen, boja RAL 9002, sivo-bijela
- Ugrađeni elementi: sedimentno pocinčani čelični lim
- okvirni profili od Aluminija AlMgSi 0.5
- debljina zidova kućišta 50mm
- koeficijent prolaza topline panela  $K = 0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

- izmjereno prigušenje  $R_w = 44$  dB (DIN 52210 T4, Ö-NORM S5103)
- uređaj u higijenskoj izvedbi sa potvrdom TÜV Essen, Hygieneinstitut Gelsenkirchen und Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
- dvostjena panelna konstrukcija sa unutarnjim okomitim nosačima koji su prekriveni panelima
- mali prolaz buke, bez toplinskih mostova
- glatka unutarnja strana, bez izbočina na okvirima
- okvir po dužini ugrađen sa vanjske strane u podu kućišta i krovnim panelima
- vrata za posluživanje sa graničnikom izvan struje zraka
- od visine 1500mm sa ručicom za otvaranje iznutra
- vrata na tlačnoj strani sa sigurnosnim držačem
- spojnice za vrata na vanjskoj strani podesive horizontalno i vertikalno
- gumene brtve za pretlak i podtlak u EPDM kvaliteti
- strane posluživanja dostupne po cijeloj površini preko demontirajućih panela i priključaka
- paneli i vrata rastavljivi za ekološko recikliranje
- debljina lima unutra/izvana 1,0 mm
- izolacija kamenom vunom, nezapaljiva, stupanj zaštite od požara A1 (DIN 4102, O-NORM B3800), bez CFC, bez primjene ljepila u proizvodnji

- Transport:*
- transportnom konstrukcijom (pribor) kroz otvore u temeljnom okviru
  - bazni noseći okvir visine 80 mm
  - nogice presvučene RAL9002, visine 240 mm, max. 250kg/nogici,



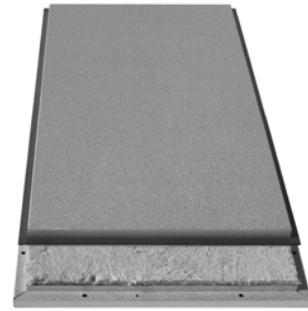
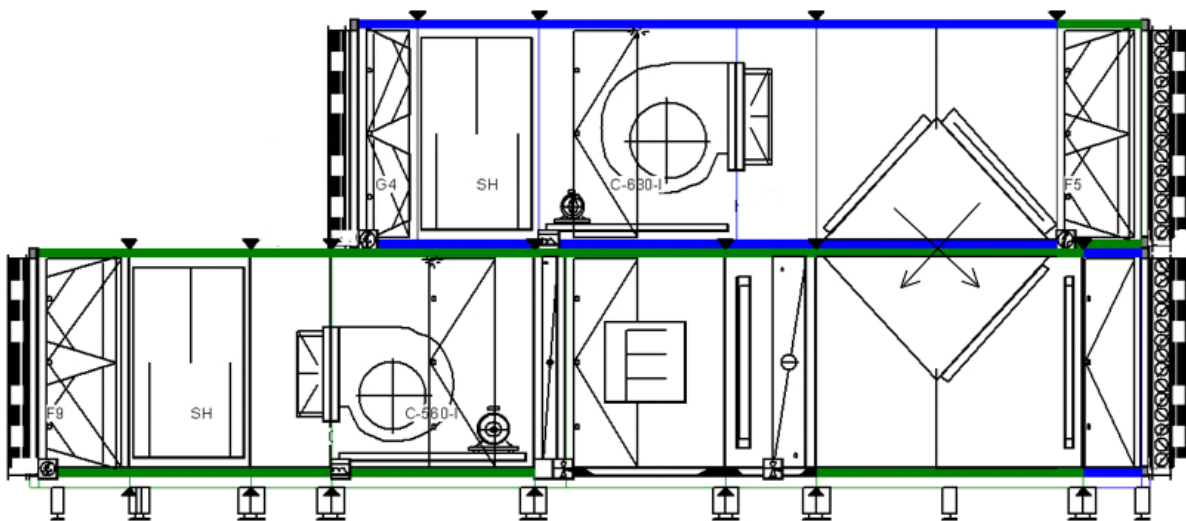
*Izvedba prema CEN-Norm/EN 1886:*

- mehanička stabilnost 1A
- propuštanje kućišta B
- propuštanje mimo filtera F9
- termička izolacija T2
- faktor toplinskog mosta TB2



**Karakteristike panela i vratiju:**

- koeficijent prolaza topline kroz panel  $k=0,57$  W/m<sup>2</sup>K
- izmjereno prigušenje buke  $R_w=44$  Db (DIN 52210 T4)

**6.2. Odabir i tehnička specifikacija elemenata klima komora**

**Slika 39.** Raspored elementata u klima komori GEA CAIRplus SX 160.160

**6.2.1. Odsisna strana****Fleksibilni priključak**

- fleksibilni PVC-EVS-80Se priključak
- nepropustan i otporan na trganje
- stupanj protupožarne zaštite A2 prema DIN 4102
- izjednačenje potencijala prema EN 602040-1
- klasifikacija materijala prema EN 13501-1
- temperaturno područje rada od -20°C do +80°C

**Kanalni priključak u higijenskoj izvedbi**

- priključak zvučno izoliran sa priključnim profilom sa četiri rupe, vijčani spoj
- bez čvrstog metalnog spoja između uređaja i kanalnog priključka
- izjednačenje potencijala prema DIN 60204-1

**Vrećasti filter**

- kvaliteta filtracije G4 u skladu sa EN 779
- materijal filtra: sintetička vlakna
- termički otporan do 80°C
- ćelije filtera pričvršćene u ugradni okvir preko opruga i brtvene trake
- okvir filtera zabrtvljen prema kućištu
- standardni podni panel pokriven folijom

**Filter:**

klasa filtra		G4	veličina filtera 1	kom/mm	4/592 x 592
djelovanje Em	%	0	veličina filtera 2	kom/mm	2/592 x 287
izdvajanje Am	%	90	veličina filtera 3	kom/mm	1/287 x 287
materijal filtra		sintetička vlakna	veličina filtera 4	kom/mm	2/287 x 592
površina filtera	m <sup>2</sup>	11.3	poč. pad tlaka	Pa	19
duljina filtera	mm	360	krajnji pad tlaka	Pa	200
maks.doz.temp.	°C	80	dim. pad tlaka	Pa	110
maks.doz.vlažnost	%	100			

**Kontrolni prozor 250 mm**

- dvostjeni plexi prozor
- ugrađen u poslužnim vratima

**Unutrašnje osvjetljenje IP 55 - vanjski prekidač IP 66**

- ugrađena svjetiljka otporna na vlagu - 40W 230V
- razvodna kutija i sklopka montirani izvana
- ožičenje uključeno

*Prigušivač buke*

- higijenska izvedba
- načelo apsorbirajuće komore
- kulise iz apsorberajućeg materijala koji ne upija vlagu, gornji materijal od staklene svile, otporan na habanje do 20 m/s
- stupanj požarne otpornosti A2 prema DIN 4102
- rezonantni limovi i kulise iz pocinčanog čeličnog lima
- sa držačima razmaka za izvlačenje prigušnih kulisa sa strane

## Prigušivač:

Tablica 5. Spektar oktava prigušivača buke

duljina kulise	mm	1830
broj kulisa	-	5
širina kulise	mm	200
protok zraka	m <sup>3</sup> /h	17710
protok zraka	m <sup>3</sup> /s	4.919
pad tlaka	Pa	30
širina razmaka	mm	105
brzina u procjepu	m/s	8.0

Frekvencija Hz	Unešeno prigušenje dB	Buka strujanja dB
63 Hz	4	47
125 Hz	9	42
250 Hz	19	38
500 Hz	20	34
1000 Hz	23	31
2000 Hz	16	28
4000 Hz	13	25
8000 Hz	13	22

*Diferencijalni presostat filtra*

- za nadzor filtera
- mjerno područje 40 do 400 Pa
- sa crijevima za povezivanje
- montiran

*Jedinica ventilatora - odsisni zrak*

- Comefri T-HLZ 180/1400 serija
- radijalni ventilator sa spiralnim kućištem
- sa unatrag savijenim lopaticama, zavareno
- usis sa dvije strane, pocinčano spiralno kućište

- 8 lopatica, remenski prijenos sa zatezačem
- spoj ispuha ventilatora i kućišta sa elastičnim priključnim nastavkom sa posebnim priključenjem
- ventilator i motor na zajedničkoj konstrukciji
- jedinica u ležištu prigušivača vibracija opterećenih na tlak
- cjelokupni agregat može se izvaditi ili demontirati
- izjednačenje potencijala između agregata i kućišta
- odvojna stranica sa ventilatorskim otvorom

ventilator:

**Tablica 6.** *Spektar oktava zvučne snage na odsisnom ventilatoru*

tip ventilatora		THLZ630-HRC
oblik lopatica		unatrag savijen
broj lopatica	kom	8
protok zraka	m <sup>3</sup> /h	17710
protok zraka	m <sup>3</sup> /s	4.919
usporedni tlak	bar	1.013
polazna temp.	°C	20
ekst. tlak	Pa	400
otpor uređaja	Pa	374
dp vent.komore	Pa	108
din.tlak	Pa	35
ukupni tlak	Pa	865
statički tlak	Pa	830
broj okretaja	1/min	1261
stupanj djelovanja	%	78.9
snaga na osovini	kW	5.39
moment tromosti	kg m <sup>2</sup>	4.800
maks. broj okretaja	1/min	1550
max snaga osovini	kW	12.5
zvučna snaga	dB	101
zvučna snaga (A)	dB(A)	93

Frekv. Hz	usisna strana dB/dB(A)	tlačna strana dB/dB(A)
63 Hz	88/ 62	97/ 71
125 Hz	88/ 72	93/ 77
250 Hz	90/ 81	91/ 82
500 Hz	87/ 84	88/ 85
1000 Hz	84/ 84	85/ 85
2000 Hz	78/ 79	79/ 80
4000 Hz	74/ 75	75/ 76
8000 Hz	69/ 68	70/ 69
<b>ukupno</b>	<b>95/ 89</b>	<b>100/ 90</b>

## Motor:

nazivna snaga	kW	2.5	7.5
nazivni br.okretaja	1/min	980	1455
polovi	-	6	4
vrsta namota	odijeljeni namoti		
napon/frekvencija	V/Hz	3x400/50	
nazivna struja	A	6.4	15.1
zaletna struja	A	35.80	101
vrijeme zaleta	s	4.2	2.0
max. zalet. vrijeme	s	12	7
faktor servisa	1.1		
moment tromosti	kg m <sup>2</sup>	0.024	
zaletni moment	Nm	46.4	132
prekretni moment	Nm	46.4	132
nazivni moment	Nm	24	47
stupanj zaštite	IP 55		
Iso-klasa	F		
izvedba	B3		
veličina	160M		
zaštita namota	PTC Termistor		
težina	kg	77	

## Pogon:

tip remena	SPA	
duljina remena	mm	2032
broj utora	-	2
razmak osovina	mm	794
osovina ventilatora	mm	40
remenica vent.	mm	150
stezaljke vent.	2012	
osovina motora	mm	38
remenica motora	mm	132
stezaljka motora	2012	
stvarni br. okretaja	1/min	1280

Frekvencija Hz	usisna strana dB/dB(A)	tlačna strana dB/dB(A)	na kućištu dB/dB(A)
63 Hz	83/ 57	95/ 69	82/ 56
125 Hz	78/ 62	90/ 74	78/ 62
250 Hz	70/ 61	87/ 78	64/ 55
500 Hz	66/ 63	83/ 80	59/ 56
1000 Hz	59/ 59	79/ 79	54/ 54
2000 Hz	59/ 60	72/ 73	48/ 49
4000 Hz	58/ 59	67/ 68	41/ 42
8000 Hz	53/ 52	62/ 61	30/ 29
<b>ukupno</b>	<b>84/ 69</b>	<b>97/ 85</b>	<b>84/ 65</b>

Tablica 7. Spektar oktava zvučne snage na motoru odsisnog ventilatora

*Kontrolni prozor 250 mm*

- dvostjeni plexi prozor
- ugrađen u poslužnim vratima

*Unutrašnje osvjetljenje IP 55 - vanjski prekidač IP 66*

- ugrađena svjetiljka otporna na vlagu - 40W 230V
- razvodna kutija i sklopka montirani izvana
- ožičenje uključeno

*Zaštita klinastog remena*

- odgovara DIN 241671 i DIN 31001 dio T1
- konstrukcija od žičane mreže praškasto presvučena (RAL 6025) sa otvorom za mjerenje broja okretaja
- zatvorena sa svih strana i otvara se sa gornje strane

*Diferencijalni preostat ventilatora*

- za kontrolu remena
- mjerno područje 20 do 200 Pa
- sa spojnim crijevima
- montiran

*Pretvarač tlaka 0-2500Pa*

- pretvarač tlaka za zrak i neagresivne plinove, 0 do 60°C
- sklop za mjerenje brzine
- predviđen za spoj na PID-regulator FI ili DDC
- analogni izlaz 0...10 V ( $R_1 > 5k\Omega$ )
- napajanje 24 V= (+20%..-15%)
- stupanj zaštite IP54

*Frekventni pretvarač*

- montiran izvana
- za kontinuiranu regulaciju broja okretaja motora, sa prema ventilatoru prilagođenom momentu
- pretvarač u izmjenjivačkoj tehnici, moguće 100% opterećenje motora

- napajanje 3x380/400/415V 50Hz
- vrsta zaštite IP54
- podešavanje ograničenja broja okretaja
- podešavanje ograničenja struje
- elektronski nadzor motora i korištenje hladnog vodiča
- podešavanje ubrzanja i zateznog vremena
- frekventno područje do 120Hz
- 4 ograničenja za frekvencije
- priključak RS 485
- 3 analogni ulaz zadana vrijednost
- 1 analogni ulaz stvarna vrijednost
- 8 programibilnih digitalnih ulaza
- 2 programibilna relejna izlaza
- 2 programibilna analogna izlaza
- smetnja prema VDE 0875 N
- integrirani PID-regulator
- alfanumerički displej za prikaz i programiranje
- prikaz i pozivanje zadane-, stvarne- vrijednosti, frekvencije, struje, napona, okretnog momenta, snage i zaštite
- montaža pretvarača na kućište izvana
- ožičenje motora (napajanje, zaštita)
- oklopljeni kabel do pretvarača
- parametriranje pretvarača kod primjene u DDC-regulaciji (0-10V signal)
- Napomena: upravljački vodovi moraju biti oklopljeni

### *Reparaturna sklopka*

- ugrađena i ožičena sa oklopljenim kabelima do motora
- za FI operacije, za 1-stupanjske motore do 15.5 A
- serijski opremljen sa 1 upravljačkim kontaktom (1S) i 2-ZLT-kontakta (1Z+1O)
- plastično kućište, vrsta zaštite IP 55
- može se zaključati lokotom

### *Osjetnik protoka*

- princip drugog korjena i linearni izlaz sa digitalnim prikazom
- senzor na ventilatoru, signal 0 - 10 V
- proporcionalan protoku zraka iz ventilatora ili povećanju pritiska
- digitalni prikaz omogućuje da protok bude direktno očitano
- napajanje 24V AC

### *Komora difuzora*

- za optimalnu distribuciju zračnog strujanja

### *Difuzor*

- izvedba sa odbojnim pločama

### *Povrat topline ECOPLAT*

- postavljen u SX jedinicu
- standardni pločasti izmjenjivač sa "bypassom"
- model: Heatex H1500/7.5/E
- katna izvedba
- okvir 90° Al profil, 20 mm
- izmjenjivačke ploče sa profiliranom površinom
- kućište sa obostranim dijelovima za održavanje i poslužnim vratima
- kućište od nehrđajućeg čelika 1.4301, oblikovano za potpuno odstranjivanje kondenzata
- svježi i povratni zrak vođeni su odvojeno zbog sprječavanja mješanja

povrat topline	%	0.71
kondenzat	l/h	82.4
temp. kondenzata	°C	11.1
senzibilna snaga	kW	175



**Struja zraka:**

		Svježi zrak	Povratni zrak
protok zraka	m <sup>3</sup> /h	17710	17710
protok zraka	m <sup>3</sup> /s	4.919	4.919
nastrujna brzina	m/s	2.47	2.47
nastrujna površina	m <sup>2</sup>	2.4	2.4
pad tlaka	Pa	270	227
temp. ulaz	°C	-15.0	22.0
vlaga ulaz	%	85	50
aps.vlažnost - ulaz	g/kg	0.88	8.3
temp. izlaz	°C	11.1	1.7
vlaga izlaz	%	12.3	100
aps.vlažnost- izlaz	g/kg	0.88	4.3

**Odvajač kapljica TA1:**

- za brzinu struje zraka  $v < 3,6$  m/s
- za horizontalno nastrujani hladnjak
- lamele iz polipropilena(PPTV) otporne do temperature od 85°C
- lamele pričvršćene vijcima u okvir od AlMg<sub>3</sub>
- izvlačiv nezavisno od izmjenjivača
- pad tlaka 25 Pa

**Sakupljač kondenzata**

- pad prema jednoj točki, unutrašnji panel od pocinčanog čelika 1.4301
- sifon sa polipropilenskom izvedbom za zaštitu od smrzavanja

**Prazna komora sa vratima**

- duljine 440 mm

**Kontrolni prozor 250 mm**

- dvostjeni plexi prozor
- ugrađen u poslužnim vratima

**Unutrašnje osvjtljenje IP 55 - vanjski prekidač IP 66**

- ugrađena svjetiljka otporna na vlagu - 40W 230V
- razvodna kutija i sklopka montirani izvvana
- ožičenje uključeno

### *Žaluzina*

- plemeniti čelik 1.4301 standarde mimosmjerne
- povoljno profilirane, protuhodne
- okvir i lopatice žaluzije iz plemenitog čelika br.1.4301
- pogon preko zupčanika iz antistatičke plastike PA6 ugrađenih sa objiju strana
- samopodmazujući polyamidni ležajevi
- pad tlaka: 2 Pa

### *Fleksibilni priključak*

- fleksibilni PVC-EVS-80Se priključak
- nepropustan i otporan na trganje
- stupanj protupožarne zaštite A2 prema DIN 4102
- izjednačenje potencijala prema EN 602040-1
- klasifikacija materijala prema EN 13501-1
- temperaturno područje rada od -20°C do +80°C

### *Vanjska rešetka*

- ugrađena na vanjski zid
- rešetka sa protuptičjom zaštitom

### 6.2.2. Tlačna strana

### *Vanjska rešetka*

- ugrađena na vanjski zid
- protukišna rešetka sa protuptičjom zaštitom

### *Fleksibilni priključak*

- fleksibilni PVC-EVS-80Se priključak
- nepropustan i otporan na trganje
- stupanj protupožarne zaštite A2 prema DIN 4102
- izjednačenje potencijala prema EN 602040-1
- klasifikacija materijala prema EN 13501-1
- temperaturno područje rada od -20°C do +80°C

### *Žaluzina*

- eksterna, montirana na komoru izvana
- plemeniti čelik 1.4301 standarde mimosmjerne
- aerodinamičke žaluzije i okvir, protuhodne
- okvir i lopatice žaluzije iz plemenitog čelika br.1.4301
- pogon preko zupčanika iz antistatičke plastike PA6 ugrađenih sa obje strane
- samopodmazujući polyamidni ležajevi
- pad tlaka: 2 Pa

### *Kanalni priključak u higijenskoj izvedbi*

- priključak zvučno izoliran sa priključnim profilom sa četiri rupe, vijčani spoj
- bez čvrstog metalnog spoja između uređaja i kanalnog priključka
- izjednačenje potencijala prema DIN 60204-1

### *Servomotor zaklopki*

- montiran
- sinhroni pogon 230 V, s krajnjim sklopkama
- Otv.-Zat. pogon
- vrijeme podešavanja 60 do 150 sec, sila podešavanja 15 Nm
- vrsta zaštite IP54

### *Vrećasti filter*

- kvaliteta filtracije F5 u skladu sa EN 779
- materijal filtra: vuna od mikro staklenih vlakana
- termički otporan do 80°C
- ćelije filtera pričvršćene u ugradni okvir preko opruga i brtvene trake
- okvir filtera zabrtvljen prema kućištu
- standardni podni panel pokriven folijom

Filtar:

klasa filtra		F5
djelovanje Em	%	50
izdvajanje Am	%	96
materijal filtra		sintetska vlakna
površina filtera	m <sup>2</sup>	25
duljina filtera	mm	534
maks.doz.temp.	°C	80
maks.doz.vlažnost	%	100
veličina filtera 1	kom/mm	4 / 592 x 592
veličina filtera 2	kom/mm	2 / 592 x 287
veličina filtera 3	kom/mm	1 / 287 x 287
veličina filtera 4	kom/mm	2 / 287 x 592
poč. pad tlaka	Pa	40
krajnji pad tlaka	Pa	200
dim. pad tlaka	Pa	120

*Kontrolni prozor 250 mm*

- dvostjeni plexi prozor
- ugrađen u poslužnim vratima

*Unutrašnje osvjetljenje IP 55 - vanjski prekidač IP 66*

- ugrađena svjetiljka otporna na vlagu - 40W 230V
- razvodna kutija i sklopka montirani izvana
- ožičenje uključeno

*Diferencijalni presostat filtra*

- za nadzor filtera
- mjerno područje 40 do 400 Pa
- sa crijevima za povezivanje
- montiran



Zrak:

protok zraka	m <sup>3</sup> /h	17710
protok zraka	m <sup>3</sup> /s	4.919
nastrujna brzina	m/s	2.36
pad tlaka	Pa	188
temp. ulaz	°C	25
rela.vlažnost-ulaz	%	75
aps.vlažnost-ulaz	g/kg	15.2
temp. izlaz	°C	11
rela.vlažnost-izlaz	%	99
aps.vlažnost-izlaz	g/kg	8
kondenzat	kg/h	145.2
ukupna snaga	kW	186.9
senzibilna snaga	kW	83.2

Voda:

udio glikola	%	0
temp. ulaz	°C	6.0
temp. izlaz	°C	12.0
protok medija	m <sup>3</sup> /h	26.8
brzina strujanja	m/s	1.44
pad tlaka	kPa	48
maks. doz. tlak	bar	16.0
maks. doz. temp	°C	110

*Troputni ventil*

- DN 2", PN 16, Kvs 40
- maks. dif. tlak 0.5 bar
- u kompletu sa obosmjernim servomotorom 24 V
- crveni ljev, sa vanjskim navojem i spojnicom
- za vodu do 130°C

*Odvajač kapljica TA1:*

- za brzinu struje zraka  $v < 3,6$  m/s
- za horizontalno nastrujani hladnjak
- lamele iz polipropilena(PPTV) otporne do temperature od 85°C
- lamele pričvršćene vijcima u okvir od AlMg<sub>3</sub>
- izvlačiv nezavisno od izmjenjivača
- pad tlaka 25 Pa

### *Sakupljač kondenzata*

- pad prema jednoj točki, unutrašnji panel od pocinčanog čelika 1.4301
- sifon sa polipropilenskom izvedbom za zaštitu od smrzavanja

### *Jedinica za ovlaživač zraka*

- za ugradnju parnih sapnica

### *Elektroparni ovlaživač zraka*

- modeli: Hy60 + Hy90
- za proizvodnju čiste, bezmineralne pare
- kućište ormara iz pocinčanog čeličnog lima, sa sigurnosnom bravicom, tijelo u biserno bijeloj boji RAL 1013
- parni i elektro dio odvojeni
- parni cilindar iz plastike, ponovo upotrebljiv
- izmjenjive elektrode velike površine iz plemenitog čelika
- pumpa za odmuljivanje sa termičkom zaštitom za razrjeđivanje koncentracije vode u cilindru i odvođenje granulata koji stvara tvrdoću
- ulazni magnetni ventil za vodu, servo upravljani za tlak od 1-10 bar, sa finim filterom i ograničivačem količine
- priključni vijčani spoj za cijev promjera 20 mm za direktno spajanje na sve vodovodne priključke
- elektroda-osjetnik za ograničavanje potpunog punjenje ili signaliziranje promjene elektroda ili čišćenje cilindra
- mehanička zaštita od prelijevanja sa slobodnim ispustom
- elektro dio sa priključnim stezaljkama, upravljačkom sklopkom, upravljačkim osiguračem, glavnom zaštitom i upravljačkim transformatorom
- mikroprocesorsko upravljanje tip EM sa LCD-prikazom

Ovlaživač:

tip		Hy60	Hy90
maks. snaga	kW	2 x 22.5	2 x 33.8
napon grijanja	V/Hz	3 x 400/50	3 x 400/50
upravljački napon	V/Hz	1 x 230/50	1 x 230/50
ulazni reg. signal	V	2-10	2-10
širina	mm	927	1060
dubina	mm	336	404
visina	mm	707	785
radna težina	kg	101	162
parna sapnica	mm	2 x 40	4 x 40
kond. crijevo	mm	2 x 12	4 x 12

Zrak:

protok zraka	m <sup>3</sup> /h	17710
protok zraka	m <sup>3</sup> /s	4.919
nastrujna brzina	m/s	1.9
temp. ulaz	°C	11
vlaga ulaz	%	11
aps.vlažnost - ulaz	g/kg	0.88
temp. izlaz	°C	12
vlaga izlaz	%	91.7
aps.vlažnost - izlaz	g/kg	8

#### *Sakupljač kondenzata*

- pad prema jednoj točki, unutrašnji panel od pocinčanog čelika 1.4301
- sifon sa polipropilenskom izvedbom za zaštitu od smrzavanja

#### *Kontrolni prozor 250 mm*

- dvostjeni plexi prozor
- ugrađen u poslužnim vratima

#### *Unutrašnje osvjetljenje IP 55 - vanjski prekidač IP 66*

- ugrađena svjetiljka otporna na vlagu - 40W 230V
- razvodna kutija i sklopka montirani izvana
- ožičenje uključeno





Zrak:

protok zraka	m <sup>3</sup> /h	17710
protok zraka	m <sup>3</sup> /s	4.919
nastrujna brzina	m/s	2.36
pad tlaka	Pa	21
temp. ulaz	°C	12
rela.vlažnost-ulaz	%	91.7
aps.vlažnost-ulaz	g/kg	8
temp. izlaz	°C	27.5
rela.vlažnost-izlaz	%	35
aps.vlažnost-izlaz	g/kg	8
ukupna snaga	kW	92.1

Voda:

udio glikola	%	0
temp. ulaz	°C	80
temp. izlaz	°C	60
protok medija	m <sup>3</sup> /h	4
brzina strujanja	m/s	0.44
pad tlaka	kPa	1.6
maks. doz. tlak	bar	16.0
maks. doz. temp	°C	110

*Jedinica grijača klima komore pratećih prostorija* :

- komora sa lamelnim izmjenjivačem topline
- za pumpnu toplu vodu PTV

Izmjenjivač topline: - za medij vodu ili mješavinu

- lamele od aluminija sa međusobnim razmakom od 2.1mm
- okvir izmjenjivača topline iz pocinčanog čelika
- cijevi i sakupljač iz bakra
- profilirane visokoučinske aluminijske lamele
- izmjenjivač topline sa cijevnim priključcima izvan kućišta zajedno sa odzračnim i ispusnim ventilom
- čelični priključci sa vanjskim navojem na komori izvana

Granične vrijednosti medija: - max. tlak 16 bar  
- max. temp. 110°C

Izmjenjivač topline:

Materijal		aluminij
sistem orebrenih cijevi		SD211/136
broj redova	-	1
broj prolaza	-	2
razmak lamela	mm	2.1
orebrena visina	mm	1444
orebrena duljina	mm	1444
priključci		izvana
priključci	DN	1 x 50
zapremina	l	10
težina prazne	kg	45

Zrak:

protok zraka	m <sup>3</sup> /h	17710
protok zraka	m <sup>3</sup> /s	4.919
nastrujna brzina	m/s	2.36
pad tlaka	Pa	21
temp. ulaz	°C	12
rela.vlažnost-ulaz	%	91.7
aps.vlažnost-ulaz	g/kg	8
temp. izlaz	°C	30
rela.vlažnost-izlaz	%	30.4
aps.vlažnost-izlaz	g/kg	8
ukupna snaga	kW	107.0

Voda:

udio glikola	%	0
temp. ulaz	°C	80
temp. izlaz	°C	60
protok medija	m <sup>3</sup> /h	4.7
brzina strujanja	m/s	0.51
pad tlaka	kPa	2.2
maks. doz. tlak	bar	16.0
maks. doz. temp	°C	110

*Kontrolni prozor 250 mm*

- dvostjeni plexi prozor
- ugrađen u poslužnim vratima

*Unutrašnje osvjetljenje IP 55 - vanjski prekidač IP 66*

- ugrađena svjetiljka otporna na vlagu - 40W 230V
- razvodna kutija i sklopka montirani izvana
- ožičenje uključeno

*Protusmrzavajući termostat:*

- područje podešavanja -5 do +15 oC
- zaključni vijak
- kapilarni osjetnik i preklopni kontakt
- montiran

*Troputni ventil*

- DN 1 1/2", PN 16, Kvs 25
- maks. dif. tlak 1.0 bar
- u kompletu sa obosmjernim servomotorom 24 V
- crveni ljev, sa vanjskim navojem i spojnicom
- za vodu do 130°C

*Jedinica ventilatora - tlačni zrak*

- Comefri T-HLZ 180/1400 serija
- radijalni ventilator sa spiralnim kućištem
- sa unatrag savijenim lopaticama, zavareno
- usis sa dvije strane, pocinčano spiralno kućište
- 8 lopatica, remenski prijenos sa zatezačem
- stupanj izolacije F
- spoj ispuha ventilatora i kućišta sa elastičnim priključnim nastavkom sa posebnim priključenjem
- ventilator i motor na zajedničkoj konstrukciji
- jedinica u ležištu prigušivača vibracija opterećenih na tlak
- cjelokupni agregat može se izvaditi ili demontirati
- izjednačenje potencijala između agregata i kućišta
- vrata za opsluživanje
- odvojna stranica sa ventilatorskim otvorom

ventilator:

tip ventilatora		THLZ560-HRC
oblik lopatica		unatrag savijen
broj lopatica	kom	8
protok zraka	m <sup>3</sup> /h	17710
protok zraka	m <sup>3</sup> /s	4.919
usporedni tlak	bar	1.013
polazna temp.	°C	20
ekst. tlak	Pa	400
otpor uređaja	Pa	809
dp vent.komore	Pa	172
din.tlak	Pa	56
ukupni tlak	Pa	1343
statički tlak	Pa	1287
broj okretaja	1/min	1762
stupanj djelovanja	%	79.2
snaga na osovini	kW	8.34
moment tromosti	kg m <sup>2</sup>	0.054
maks. broj okretaja	1/min	2000
max snaga osovini	kW	9.59
zvučna snaga	dB	108
zvučna snaga (A)	dB(A)	100

Tablica 8. Spektar oktava zvučne snage na tlačnom ventilatoru

Frekv. Hz	usisna strana dB/dB(A)	tlačna strana dB/dB(A)
63 Hz	96/ 70	104/ 78
125 Hz	95/ 79	98/ 82
250 Hz	96/ 87	97/ 88
500 Hz	94/ 91	95/ 92
1000 Hz	91/ 91	92/ 92
2000 Hz	87/ 88	88/ 89
4000 Hz	82/ 83	83/ 84
8000 Hz	75/ 74	76/ 75
<b>ukupno</b>	<b>102/ 96</b>	<b>106/ 97</b>

## Motor:

nazivna snaga	kW	3.7	12
nazivni br.okretaja	1/min	980	1470
polovi	-	6	4
vrsta namota	odijeljeni namoti		
napon/frekvencija	V/Hz	3x400/50	
nazivna struja	A	9.3	23.3
zaletna struja	A	53.00	189.00
vrijeme zaleta	s	1.7	3.2
max. zalet. vrijeme	s	6	10
faktor servisa	1.1		
moment tromosti	kg m <sup>2</sup>	0.054	
zaletni moment	Nm	68.4	187.0
prekretni moment	Nm	93	222
nazivni moment	Nm	55	106
stupanj zaštite	IP 55		
Iso-klasa	F		
izvedba	B3		
veličina	160L		
zaštita namota	PTC Termistor		
težina	kg	93	

## Pogon:

tip remena	SPA	
duljina remena	mm	1982
broj utora	-	3
razmak osovina	mm	747
osovina ventilatora	mm	40
remenica vent.	mm	140
stezaljke vent.	2517	
osovina motora	mm	42
remenica motora	mm	170
stezaljka motora	2517	
stvarni br. okretaja	1/min	1785

Frekvencija Hz	usisna strana dB/dB(A)	tlačna strana dB/dB(A)	na kućištu dB/dB(A)
63 Hz	94/ 68	98/ 72	89/ 63
125 Hz	89/ 73	86/ 70	83/ 67
250 Hz	86/ 77	73/ 64	70/ 61
500 Hz	81/ 78	67/ 64	66/ 63
1000 Hz	75/ 75	58/ 58	61/ 61
2000 Hz	75/ 76	60/ 61	57/ 58
4000 Hz	71/ 72	59/ 60	49/ 50
8000 Hz	63/ 62	51/ 50	36/ 35
<b>ukupno</b>	<b>96 / 84</b>	<b>98 / 75</b>	<b>90 / 71</b>

Tablica 9. Spektar oktava zvučne snage na motoru tlačnog ventilatora

### *Zaštita klinastog remena*

- odgovara DIN 241671 i DIN 31001 dio T1
- konstrukcija od žičane mreže praškasto presvučena (RAL 6025) sa otvorom za mjerenje broja okretaja
- zatvorena sa svih strana i otvara se sa gornje strane

### *Diferencijalni preostat ventilatora*

- za kontrolu remena
- mjerno područje 20 do 200 Pa
- sa spojnim crijevima
- montiran

### *Pretvarač tlaka 0-2500Pa*

- pretvarač tlaka za zrak i neagresivne plinove, 0 do 60°C
- sklop za mjerenje brzine
- predviđen za spoj na PID-regulator FI ili DDC
- analogni izlaz 0...10 V ( $R_1 > 5k\Omega$ )
- napajanje 24 V= (+20%..-15%)
- stupanj zaštite IP54

### *Frekventni pretvarač*

- montiran izvana
- za kontinuiranu regulaciju broja okretaja motora, sa prema ventilatoru prilagođenom momentu
- pretvarač u izmjenjivačkoj tehnici, moguće 100% opterećenje motora
- napajanje 3x380/400/415V 50Hz
- vrsta zaštite IP54
- podešavanje ograničenja broja okretaja
- podešavanje ograničenja struje
- elektronski nadzor motora i korištenje hladnog vodiča
- podešavanje ubrzanja i zateznog vremena
- frekventno područje do 120Hz
- 4 ograničenja za frekvencije
- priključak RS 485

- 3 analogni ulaz zadana vrijednost
- 1 analogni ulaz stvarna vrijednost
- 8 programibilnih digitalnih ulaza
- 2 programibilna relejna izlaza
- 2 programibilna analogna izlaza
- smetnja prema VDE 0875 N
- integrirani PID-regulator
- alfanumerički displej za prikaz i programiranje
- prikaz i pozivanje zadane-, stvarne- vrijednosti, frekvencije, struje, napona, okretnog momenta, snage i zaštite
- montaža pretvarača na kućište izvana
- ožičenje motora (napajanje, zaštita)
- oklopljeni kabel do pretvarača
- parametriranje pretvarača kod primjene u DDC-regulaciji (0-10V signal)
- Napomena: upravljački vodovi moraju biti oklopljeni

#### *Reparaturna sklopka*

- ugrađena i ožičena sa oklopljenim kabelima do motora
- za FI operacije, za 1-stupanjske motore do 37.0 A
- serijski opremljen sa 1 upravljačkim kontaktom (1S) i 2-ZLT-kontakta (1Z+1O)
- plastično kućište, vrsta zaštite IP 55
- može se zaključati lokotom

#### *Osjetnik protoka*

- princip drugog korjena i linearni izlaz sa digitalnim prikazom
- senzor na ventilatoru, signal 0 - 10 V
- proporcionalan protoku zraka iz ventilatora ili povećanju pritiska
- digitalni prikaz omogućuje da protok bude direktno očitano
- napajanje 24V AC

#### *Komora difuzora*

- za optimalnu distribuciju zračnog strujanja



**Difuzor**

- izvedba sa odbojnim pločama

**Prigušivač buke**

- higijenska izvedba
- načelo apsorbacione komore
- kulise iz apsorbirajućeg materijala koji ne upija vlagu, gornji materijal od staklene svile, otporan na habanje do 20 m/s
- stupanj požarne otpornosti A2 prema DIN 4102
- rezonantni limovi i kulise iz pocinčanog čeličnog lima
- sa držačima razmaka za izvlačenje prigušnih kulisa sa strane

Prigušivač:

**Tablica 10. Spektar oktava prigušivača buke**

duljina kulise	mm	1830
broj kulisa	-	5
širina kulise	mm	200
protok zraka	m <sup>3</sup> /h	17710
protok zraka	m <sup>3</sup> /s	4.919
pad tlaka	Pa	30
širina razmaka	mm	105
brzina u procjepu	m/s	8.0

Frekvencija Hz	Unešeno prigušenje dB	Buka strujanja dB
63 Hz	4	47
125 Hz	9	42
250 Hz	19	38
500 Hz	20	34
1000 Hz	23	31
2000 Hz	16	28
4000 Hz	13	25
8000 Hz	13	22

**Vrećasti filter**

- kvaliteta filtracije F9 u skladu sa EN 779
- materijal filtra: mikro staklena vlakna
- termički otporan do 80°C
- ćelije filtera pričvršćene u ugradni okvir preko opruga i brtvene trake
- okvir filtera zabrtvljen prema kućištu
- standardni podni panel pokriven folijom

Filtar:

klasa filtra		F9
djelovanje Em	%	95
izdvajanje Am	%	99.8
materijal filtra		staklena vlakna
površina filtera	m <sup>2</sup>	36.70
duljina filtera	mm	600
maks.doz.temp.	°C	80
maks.doz.vlažnost	%	100
veličina filtera 1	kom/mm	4 / 592 x 592
veličina filtera 2	kom/mm	2 / 592 x 287
veličina filtera 3	kom/mm	1 / 287 x 287
veličina filtera 4	kom/mm	2 / 287 x 592
poč. pad tlaka	Pa	127
krajnji pad tlaka	Pa	3020
dim. pad tlaka	Pa	214

**Kontrolni prozor 250 mm**

- dvostjeni plexi prozor
- ugrađen u poslužnim vratima

**Unutrašnje osvjetljenje IP 55 - vanjski prekidač IP 66**

- ugrađena svjetiljka otporna na vlagu - 40W 230V
- razvodna kutija i sklopka montirani izvvana
- ožičenje uključeno

**Diferencijalni presostat filtra**

- za nadzor filtera
- mjerno područje 40 do 400 Pa
- sa crijevima za povezivanje

**Kanalni priključak u higijenskoj izvedbi**

- priključak zvučno izoliran sa priključnim profilom sa četiri rupe, vijčani spoj
- bez čvrstog metalnog spoja između uređaja i kanalnog priključka
- izjednačenje potencijala prema DIN 60204-1

### *Fleksibilni priključak*

- fleksibilni PVC-EVS-80Se priključak
- nepropustan i otporan na trganje
- stupanj protupožarne zaštite A2 prema DIN 4102
- izjednačenje potencijala prema EN 602040-1
- klasifikacija materijala prema EN 13501-1
- temperaturno područje rada od -20°C do +80°C

### **6.3. Apsolutni filter**

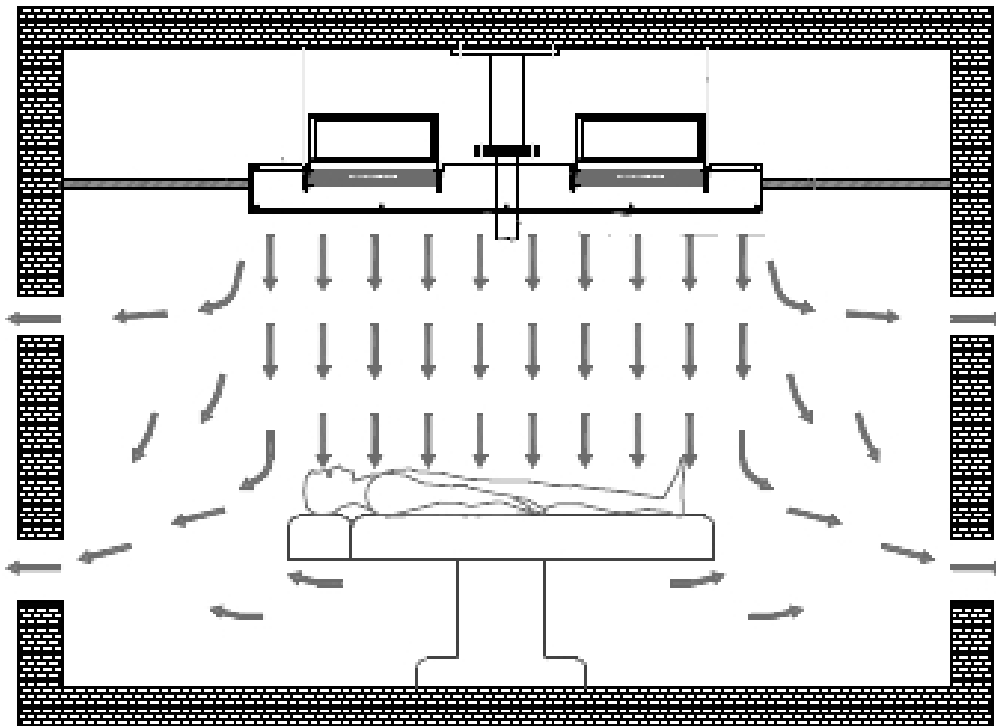
Iako HEPA filter nije sastavni dio klima komore nego se montira u klimatizacijske prostore on se također odabire. Ubacivanje zraka u operacijsku dvoranu vršimo preko istrujnog perforiranog stropnog elementa postavljenog u spuštenom stropu. Istrujni perforirani strop namjenjen je za dovod filtriranog zraka u naročito čiste prostorije, a pogotovo u operacijske dvorane, gdje se traži velik broj izmjena zraka, te minimalna brzina strujanja zraka i indukcija. Zrak istrujava kroz perforirane kazete, cijelom površinom ispod stropa i sprječava prodor sekundarnog zraka u zonu operacije. Na taj je način moguće održati visoku razinu čistoće u prostoru. Ugrađeni filteri za lebdeće čestice su prema normi EN779 opremljeni i detektorima protiv zaprljanosti. Klasa apsolutnog filtera je H13 sa efikasnošću >95%

Potreban volumen zraka u pojednoj operacijskoj dvorani iznosi 4430 m<sup>3</sup>/h pa je na temelju tog podatka uz pomoć stručnjaka odabran sljedeći apsolutni filter:

- tip perforiranog stropa: SIP - 2418
- dimenzije stropa: 2400 x 1800 x 450
- dimenzije za priključni kanal: 540 x 180 (2kom)
- istrujna kazeta od nerđajućeg čelika
- izvedba sa zrakotjesnim zaklopkama
- proizvod "KLIMAOPREMA" Samobor

Filtar:

Dimenzije filterskog uloška:	mm	1525 x 610 x 69
Ukupna količina zraka	m <sup>3</sup> /h	4430
Prosječna brzina zraka u radnom prostoru	m/s	0,28
Početni pad tlaka na filt. ulošcima	Pa	200
Preporučivi konačni pad tlaka na filteru	Pa	500
Pad tlaka u kućištu	Pa	20



Slika 40. Ugradnja HEPA filtera u perforirani strop

## 7. ODABIR KOTLA

Poznati podaci:

- učin grijača za operacijske dvorane:  $Q_{OD} = 91 \text{ kW}$
- učin grijača za prateće prostorije:  $Q_{PP} = 104 \text{ kW}$
- potrebni rashladni učin  $Q_{uk} = Q_{OD} + Q_{PP} = 91 + 104 = 195 \text{ kW}$

Odabrani kotao [12]:

- proizvođač: VIESSMAN
- model: Vitogas 100
- tip: GS1A
- komada: 2

Kotao:

- ukupni učin: 216 kW
- dimenzije: 1097 × 2860 × 1848 mm
- ukupna masa: 1066 kg
- grijača površina: 18.56 m<sup>2</sup>

Plin:

- medij: zemni plin
- priključni tlak plina: 20 mbar
- max dozvoljeni tlak: 25 mbar
- priključak: 1"

Voda:

- volumen kotlovske vode: 107.2 l
- dozvoljen pogonski pretlak: 3 bar
- protočni volumen: 8.7 m<sup>3</sup>/h
- temperature: 80 / 60 °C
- priključci: 2"

Dimni plinovi:

- temperatura: 111 °C
- protočna masa: 524 kg/h
- udio CO<sub>2</sub>: 6.6 %
- priključci: 225 mm

## 8. ODABIR RASHLADNOG AGREGATA

Poznati podaci:

- učin jednog hladnjaka  $Q_h = 186.5 \text{ kW}$
- broj hladnjaka  $n = 2$
- potrebni rashladni učin  $Q_{uk} = Q_h \cdot n = 186.5 \cdot 2 = 373 \text{ kW}$

Uz pomoć stručnjaka iz tvrtke GEA, odabrana su dva rashladna agregata pri čemu svaki pokriva približno 60% učina tako da je osiguran kontinuiran rad u slučaju havarije jednog od dva agregata:

Odabrani rashladni agregat [13]:

- proizvođač: GEA – DAIKIN EUROPE NV
- tip: GLWC 0951 BA2
- rashladni učin:  $Q_o = 221.1 \text{ kW}$
- komada: 2

Kućište:

- materijal: galvanizirane čelične ploče
- boja: slonovačno bijela RAL 7032
- dimenzije:  $D \times \check{S} \times V = 3200 \times 1000 \times 1500 \text{ mm}$
- ukupna masa rashladnog agregata: 1350 kg

Kompresor:

- proizvođač: Bitzer
- broj cilindara: 8
- brzina: 1450 rpm
- vrsta ulja: Suniso 3 G
- volumen ulja: 8 l

Isparivač:

- minimalni protok vode:  $17.6 \text{ m}^3/\text{h}$
- maksimalni protok vode:  $81.7 \text{ m}^3/\text{h}$
- volumen vode: 74 l
- izolacioni materijal: polietilenska pjena
- pad tlaka na isparivaču: 39.6 kPa

Rashladni krug:   - broj obilazaka:           1  
                  - rashladna kontrola:       termo-eksp. ventil  
                  - rashladni medij:           R134a

Kondenzator:   - za svaki rashladni agregat se odabire po 1 kondenzator  
                  - minimalni protok vode:   14.4 m<sup>3</sup>/h  
                  - maksimalni protok vode: 61.3 m<sup>3</sup>/h  
                  - volumen vode:               28 l  
                  - kondenzatori su hlađeni zrakom pomoću ventilatora.  
                  - temperatura kondenzacije je  $\vartheta_k = 45^\circ\text{C}$ .  
                  - 4 ventilatora tipa FE 901 – SDS.6N.6

## 9. HIDRAULIČKI PRORAČUN

Podaci potrebni za proračun kao i formule preuzeti su iz [4], [6], [9] i [10].

### 9.1. Proračun kruga grijača klima komore pratećih prostorija

Kod proračuna grijača i hladnjaka klima komora u dionicu 1 ulazi cjevovod od razdjelnika do grijača ili hladnjaka klima komora tj. polazni vod, a u dionicu 2 ulazi povratni cjevovod od izmjenjivača topline prema sabirniku.

- temperatura polaznog voda  $\vartheta_{pol} = 80^{\circ}C$

- temperatura povratnog voda  $\vartheta_{pov} = 60^{\circ}C$

Gustoća vode: - za 80°C:  $\rho_{80}=972 \text{ kg/m}^3$

- za 60°C:  $\rho_{60}=983 \text{ kg/m}^3$

Prema [3] se brzine strujanja kod toplovodnih cjevovoda kreću između:

$$w = 0,5 \leftrightarrow 1,5 \frac{m}{s}$$

Pretpostavka lokalnih otpora:

Dionica	Mjesto lokalnog otpora	$\xi$
1	1 razdjelnik	0.5
	2 prolazna ventila	5
	1 protupovratni ventil	6
	4 koljena	1
	1 račve - suprotne	3
	2 račva – prolaz	0.5
	Ukupno:	24.5
2	4 koljena	1
	1 prolazni ventil	5
	1 sabirnik	1
	Ukupno:	10

Tablica 11. Lokalni otpori kruga grijača klima komore pratećih prostorija

- toplinski kapacitet kojeg je potrebno prenijeti

$$Q_{g1} = 107 \text{ kW}$$



- vodena vrijednost

$$mc_p = \frac{Q_{g1}}{g_{pol} - g_{pov}} = \frac{107000}{80 - 60} = 5350 \frac{W}{^{\circ}C}$$

- odabran je otvor cijevi DN50

Za otvor cijevi DN50 i  $mc_p = 5350 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$  iz tablice 2 podloga iz kolegija "Grijanje":

unutarnji promjer cijevi	$d_u = 57 \text{ mm}$
brzina strujanja vode kroz cijev	$w_v = 0,52 \text{ m/s}$
prosječni jedinični pad tlaka	$R = 52 \text{ Pa/m}$

- volumni protok vode kroz cijev

$$q_v = \frac{d_u^2 \pi}{4} w_v = \frac{0,057^2 \pi}{4} \cdot 0,52 = 1,327 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 4,77 \frac{m^3}{h}$$

-gubitak tlaka uslijed lokalnih otpora na dionicama 1 i 2:

$$z_1 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_1 \cdot w^2 = \frac{972}{2} \cdot 24,5 \cdot 0,52^2 = 3219,65 \text{ Pa}$$

$$z_2 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_2 \cdot w^2 = \frac{983}{2} \cdot 10 \cdot 0,52^2 = 1329,02 \text{ Pa}$$

DIONICA	Q(kW)	L(m)	D(mm)	w(m/s)	R(Pa/m)	LR(Pa)	$\sum \xi$	Z(Pa)	LR+Z
1	107	16	50	0.52	52	832	24,5	3219.65	4051.65
2	107	14.5	50	0.52	52	754	10	1329.02	2083.02

Pad tlaka na grijaču:  $\Delta p_g = 1.6 \text{ kPa}$

Ukupni pad tlaka:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_g = 4.05 + 2.08 + 1.60 = 7.73 \text{ kPa}$$

## 9.2. Proračun kruga grijača klima komore operacijskih dvorana

- temperatura polaznog voda  $\vartheta_{pol} = 80^{\circ}C$

- temperatura povratnog voda  $\vartheta_{pov} = 60^{\circ}C$

Gustoća vode: - za  $80^{\circ}C$ :  $\rho_{80} = 972 \text{ kg/m}^3$

- za  $60^{\circ}C$ :  $\rho_{60} = 983 \text{ kg/m}^3$

Pretpostavka lokalnih otpora:

Dionica	Mjesto lokalnog otpora	$\xi$
1	1 razdjelnik	0.5
	2 prolazna ventila	5
	1 protupovratni ventil	6
	4 koljena	1
	1 račve - suprotne	3
	2 račva – prolaz	0.5
	Ukupno:	24.5
2	4 koljena	1
	1 prolazni ventil	5
	1 sabirnik	1
	Ukupno:	10

Tablica 12. Lokalni otpori kruga grijača klima komore operacijskih dvorana

- toplinski kapacitet kojeg je potrebno prenijeti

$$Q_{g2} = 92.1 \text{ kW}$$

- vodena vrijednost

$$mc_p = \frac{Q_{g2}}{\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov}} = \frac{92100}{80 - 60} = 4605 \frac{W}{^{\circ}C}$$

- odabran je otvor cijevi DN50

Za otvor cijevi DN50 i  $mc_p = 4605 \text{ W/}^{\circ}C$  iz tablice 2 podloga iz kolegija "Grijanje":

unutarnji promjer cijevi  $d_u = 51.5 \text{ mm}$

brzina strujanja vode kroz cijev  $w_v = 0.55 \text{ m/s}$

prosječni jedinični pad tlaka  $R = 64 \text{ Pa/m}$

- volumni protok vode kroz cijev

$$q_v = \frac{d_u^2 \pi}{4} w_v = \frac{0,0515^2 \pi}{4} \cdot 0,55 = 1,146 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 4,12 \frac{m^3}{h}$$

-gubitak tlaka uslijed lokalnih otpora na dionicama 1 i 2:

$$z_1 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_1 \cdot w^2 = \frac{972}{2} \cdot 24,5 \cdot 0,55^2 = 3601,86 Pa$$

$$z_2 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_2 \cdot w^2 = \frac{983}{2} \cdot 10 \cdot 0,52^2 = 1486,79 Pa$$

DIONICA	Q(kW)	L(m)	D(mm)	w(m/s)	R(Pa/m)	LR(Pa)	$\sum \xi$	Z(Pa)	LR+Z
1	107	12.5	50	0.55	64	800	24,5	3601.86	4401.86
2	107	11	50	0.55	64	704	10	1486.79	2190.79

Pad tlaka na grijaču:  $\Delta p_g = 1.6 \text{ kPa}$

Ukupni pad tlaka:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_g = 4.40 + 2.19 + 1.60 = 8.19 \text{ kPa}$$

### 9.3. Proračun kruga hladnjaka klima komore pratećih prostorija

- temperatura polaznog voda  $\vartheta_{pol} = 6^\circ C$

- temperatura povratnog voda  $\vartheta_{pov} = 12^\circ C$

Gustoća vode: - za  $6^\circ C$ :  $\rho_6 = 999.9 \text{ kg/m}^3$

- za  $12^\circ C$ :  $\rho_{12} = 999.5 \text{ kg/m}^3$

Dionica	Mjesto lokalnog otpora	$\xi$
1	1 razdjelnik	0.5
	2 prolazna ventila	5
	1 protupovratni ventil	6
	4 koljena	1
	2 račva – prolaz	0.5
	Ukupno:	21.5
2	4 koljena	1
	1 prolazni ventil	5
	1 sabirnik	1
	Ukupno:	10

Tablica 13. Lokalni otpori kruga hladnjaka klima komore pratećih prostorija

- toplinski kapacitet kojeg je potrebno prenijeti

$$Q_{h1} = 186.9 \text{ kW}$$

- vodena vrijednost

$$mc_p = \frac{Q_{h1}}{g_{pov} - g_{pol}} = \frac{186900}{12 - 6} = 31150 \frac{W}{^{\circ}C}$$

- odabran je otvor cijevi DN100

Za otvor cijevi DN100 i  $mc_p = 31150 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$  iz tablice 2 podloga iz kolegija "Grijanje":

unutarnji promjer cijevi  $d_u = 100.5 \text{ mm}$

brzina strujanja vode kroz cijev  $w_v = 0.97 \text{ m/s}$

prosječni jedinični pad tlaka  $R = 84 \text{ Pa/m}$

- volumni protok vode kroz cijev

$$q_v = \frac{d_u^2 \pi}{4} w_v = \frac{0,1005^2 \pi}{4} \cdot 0,97 = 7,695 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 27,7 \frac{m^3}{h}$$

-gubitak tlaka uslijed lokalnih otpora na dionicama 1 i 2:

$$z_1 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_1 \cdot w^2 = \frac{999,9}{2} \cdot 21,5 \cdot 0,97^2 = 10113,66 \text{ Pa}$$

$$z_2 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_2 \cdot w^2 = \frac{999,5}{2} \cdot 10 \cdot 0,97^2 = 4702,15 \text{ Pa}$$

DIONICA	Q(kW)	L(m)	D(mm)	w(m/s)	R(Pa/m)	LR(Pa)	$\sum \xi$	Z(Pa)	LR+Z
1	186.9	16	100	0.97	84	1344	21,5	10113.66	11457.66
2	186.9	14.5	100	0.97	84	1218	10	4702.15	5920.15

Pad tlaka na hladnjaku:  $\Delta p_h = 48 \text{ kPa}$

Ukupni pad tlaka:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_h = 11.46 + 5.92 + 48 = 65.38 \text{ kPa}$$

#### 9.4. Proračun kruga hladnjaka klima komore operacijskih dvorana

- temperatura polaznog voda  $\vartheta_{pol} = 6^{\circ}C$

- temperatura povratnog voda  $\vartheta_{pov} = 12^{\circ}C$

Gustoća vode: - za 6°C:  $\rho_6 = 999.9 \text{ kg/m}^3$

- za 12°C:  $\rho_{12} = 999.5 \text{ kg/m}^3$

Pretpostavka lokalnih otpora:

Dionica	Mjesto lokalnog otpora	$\xi$
1	1 razdjelnik	0.5
	2 prolazna ventila	5
	1 protupovratni ventil	6
	4 koljena	1
	2 račva – prolaz	0.5
	Ukupno:	21.5
2	4 koljena	1
	1 prolazni ventil	5
	1 sabirnik	1
	Ukupno:	10

Tablica 14. Lokalni otpori kruga hladnjaka klima komore operacijskih dvorana

- toplinski kapacitet kojeg je potrebno prenijeti

$$Q_{h1} = 186.9 \text{ kW}$$

- vodena vrijednost

$$mc_p = \frac{Q_{h1}}{\vartheta_{pov} - \vartheta_{pol}} = \frac{186900}{12 - 6} = 31150 \frac{W}{^{\circ}C}$$

- odabran je otvor cijevi DN100

Za otvor cijevi DN100 i  $mc_p = 31150 \text{ W/}^{\circ}C$  iz tablice 2 podloga iz kolegija "Grijanje":

unutarnji promjer cijevi  $d_u = 100.5 \text{ mm}$

brzina strujanja vode kroz cijev  $w_v = 0.97 \text{ m/s}$

prosječni jedinični pad tlaka  $R = 84 \text{ Pa/m}$

- volumni protok vode kroz cijev

$$q_v = \frac{d_u^2 \pi}{4} w_v = \frac{0,1005^2 \pi}{4} \cdot 0,97 = 7,695 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 27,7 \frac{m^3}{h}$$

-gubitak tlaka uslijed lokalnih otpora na dionicama 1 i 2:

$$z_1 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_1 \cdot w^2 = \frac{999,9}{2} \cdot 21,5 \cdot 0,97^2 = 10113,66 Pa$$

$$z_2 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_2 \cdot w^2 = \frac{999,5}{2} \cdot 10 \cdot 0,97^2 = 4702,15 Pa$$

DIONICA	Q(kW)	L(m)	D(mm)	w(m/s)	R(Pa/m)	LR(Pa)	$\sum \xi$	Z(Pa)	LR+Z
1	186.9	12.5	100	0.97	84	1050	21,5	10113.66	11163.66
2	186.9	11	100	0.97	84	924	10	4702.15	5626.15

Pad tlaka na hladnjaku:  $\Delta p_h = 48 \text{ kPa}$

Ukupni pad tlaka:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_h = 11.16 + 5.62 + 48 = 64.78 kPa$$

### 9.5. Proračun toplinskog kruga 80/60 °C

Kod proračuna toplog i rashladnog kruga u dionicu 1 ulazi cjevovod od sabirnika prema pojedinom aparatu (kotao ili rashladni agregat) tj. povratni vod, a u dionicu 2 ulazi polazni cjevovod od aparata prema razdjelniku.

- temperatura polaznog voda  $\vartheta_{pol} = 80^0 C$

- temperatura povratnog voda  $\vartheta_{pov} = 60^0 C$

Gustoća vode: - za 80°C:  $\rho_{80}=972 \text{ kg/m}^3$

- za 60°C:  $\rho_{60}=983 \text{ kg/m}^3$

Prema [3] se brzine strujanja kod toplovodnih cjevovoda kreću između

$$w = 0,5 \leftrightarrow 1,5 \frac{m}{s}$$

Pretpostavka lokalnih otpora:

Dionica	Mjesto lokalnog otpora	$\xi$
1	1 razdjelnik	0.5
	2 prolazna ventila	5
	1 protupovratni ventil	6
	7 koljena	1
	2 račve - suprotne	3
	Ukupno:	29.5
2	5 koljena	1
	1 prolazni ventil	5
	1 sabirnik	1
	Ukupno:	11

Tablica 15. Lokalni otpori toplinskog kruga 80/60 °C

- toplinski kapacitet kojeg je potrebno prenijeti

$$Q_{k1} = 216 \text{ kW}$$

- vodena vrijednost

$$mc_p = \frac{Q_{k1}}{\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov}} = \frac{216000}{80 - 60} = 10800 \frac{W}{^{\circ}C}$$

- odabran je otvor cijevi DN50

Za otvor cijevi DN50 i  $mc_p = 10800 \text{ W/}^{\circ}C$  iz tablice 2 podloga iz kolegija "Grijanje":

unutarnji promjer cijevi  $d_u = 57 \text{ mm}$

brzina strujanja vode kroz cijev  $w_v = 1 \text{ m/s}$

prosječni jedinični pad tlaka  $R = 200 \text{ Pa/m}$

- volumni protok vode kroz cijev

$$q_v = \frac{d_u^2 \pi}{4} w_v = \frac{0,057^2 \pi}{4} \cdot 1 = 2,552 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 9,18 \frac{m^3}{h}$$

-gubitak tlaka uslijed lokalnih otpora na dionicama 1 i 2:

$$z_1 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_1 \cdot w^2 = \frac{990,2}{2} \cdot 29,5 \cdot 1^2 = 14605,45 Pa$$

$$z_2 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_2 \cdot w^2 = \frac{990,2}{2} \cdot 11 \cdot 1^2 = 5446,10 Pa$$

DIONICA	Q(kW)	L(m)	D(mm)	w(m/s)	R(Pa/m)	LR(Pa)	$\sum \xi$	Z(Pa)	LR+Z
1	216	3	50	1	200	600	29,5	14605,45	15205,45
2	216	3	50	1	200	600	11	5446,10	6046,10

Pad tlaka na kotlu:  $\Delta p_k = 20 \text{ kPa}$

Ukupni pad tlaka:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_k = 15,205 + 6,046 + 20 = 41,251 kPa$$

### 9.6. Proračun hladnog kruga 12/6 °C

- temperatura polaznog voda  $\vartheta_{pol} = 6^\circ C$

- temperatura povratnog voda  $\vartheta_{pov} = 12^\circ C$

Gustoća vode: - za 6°C:  $\rho_6 = 999.9 \text{ kg/m}^3$

- za 12°C:  $\rho_{12} = 999.5 \text{ kg/m}^3$

Pretpostavka lokalnih otpora:

Dionica	Mjesto lokalnog otpora	$\xi$
1	1 razdjelnik	0.5
	2 prolazna ventila	5
	1 protupovratni ventil	6
	6 koljena	1
	2 račve - suprotne	3
	Ukupno:	28.5
2	5 koljena	1
	1 prolazni ventil	5
	1 sabirnik	1
	Ukupno:	11

Tablica 16. Lokalni otpori hladnog kruga 12/6 °C



- toplinski kapacitet kojeg je potrebno prenijeti

$$Q = 221.1 \text{ kW}$$

- vodena vrijednost

$$mc_p = \frac{Q_{k1}}{g_{pov} - g_{pol}} = \frac{221100}{12 - 6} = 36850 \frac{W}{^{\circ}C}$$

- odabran je otvor cijevi DN100

Za otvor cijevi DN100 i  $mc_p = 36850 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$  iz tablice 2 podloga iz kolegija "Grijanje":

unutarnji promjer cijevi  $d_u = 100,5 \text{ mm}$

brzina strujanja vode kroz cijev  $w_v = 1,15 \text{ m/s}$

prosječni jedinični pad tlaka  $R = 115 \text{ Pa/m}$

- volumni protok vode kroz cijev

$$q_v = \frac{d_u^2 \pi}{4} w_v = \frac{0,1005^2 \pi}{4} \cdot 1,15 = 9,123 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 32,84 \frac{m^3}{h}$$

-gubitak tlaka uslijed lokalnih otpora na dionicama 1 i 2:

$$z_1 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_1 \cdot w^2 = \frac{999,9}{2} \cdot 28,5 \cdot 1,15^2 = 18843,74 \text{ Pa}$$

$$z_2 = \frac{\rho}{2} \sum \xi_2 \cdot w^2 = \frac{999,5}{2} \cdot 11 \cdot 1,15^2 = 7270,11 \text{ Pa}$$

DIONICA	Q(kW)	L(m)	D(mm)	w(m/s)	R(Pa/m)	LR(Pa)	$\sum \xi$	Z(Pa)	LR+Z
1	221.1	5	100	1.15	115	575	28,5	18843,74	19418,74
2	221.1	3	100	1.15	115	345	11	7270,11	7615,11

Pad tlaka na rashladnom agregatu:  $\Delta p_{ra} = 39.6 \text{ kPa}$

Ukupni pad tlaka:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_{ra} = 19418,74 + 7615,11 + 39600 = 63,634 \text{ kPa}$$

## 10. ODABIR OSTALE OPREME

U ovom poglavlju naveden je odabir ostale opreme koja je potrebna za rad klima komora. U ostalu opremu ubrojene su ekspanzijske posude, crpke, razdjelnici itd.

### 10.1. Ekspanzijska posuda toplog kruga 80/60 °C

Odabrana je zatvorena ekspanzijska posuda pod tlakom, koja se sastoji od čeličnog kućišta s gumeno membranom koja razdvaja dio ispunjen vodom od dijela ispunjenog plinom. Proračun je proveden prema uputama proizvođača Reflex.

- tlak otvaranja sigurnosnog ventila:  $p_{SV} = 2.5 \text{ bar}$
- razlika radnog tlaka sigurnosnog ventila prema DIN3320:  $\Delta p_{SV} = 0.5 \text{ bar}$
- konačni pretlak na priključku sustava za održavanje pri najvišoj dopuštenoj temperaturi vode:

$$\Delta p_e = p_{SV} - \Delta p_{SV} = 2,5 - 0,5 = 2 \text{ bar}$$

- statički tlak:  $p_{stN} = 1,5 \text{ bar}$
- tlak zasićenja za polaznu temperaturu:  $p_z = 0 \text{ bar}$
- početni tlak:  $p_0 = p_{stN} + p_z = 1,5 \text{ bar}$

- ukupna duljina cijevi DN50:  $l_{50} = 60 \text{ m}$
- količina vode po metru cijevi promjera DN50:  $V_{50} = 2.06 \text{ l/m}$
- količina vode u aparatima:  $V_a = 127 \text{ l}$

- ukupni sadržaj vode u sustavu:  $V_u = 250,6 \text{ L}$
- povećanje obujma vode zbog širenja pri zagrijavanju, gdje je n koeficijent rastezanja i iznosi  $n = 4,34\%$  za temperaturu  $100 \text{ °C}$

$$V_e = n \left( \frac{V_u}{100} \right) = 4,34 \left( \frac{250,6}{100} \right) = 12,4 \text{ l}$$

- zaliha vode:  $V_v = 0,005 \cdot V_u = 0,005 \cdot 250,6 = 1,3 \text{ l}$

$$V_n = (V_e + V_v) \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (12,4 + 1,3) \frac{2 + 1}{2 - 1,5} = 82,2 \text{ l}$$

Odabrana ekspanzijska posuda [14]:

- proizvođač: EDER
- model: elko-flex N
- tip: N100
- volumen: 100 l
- maksimalni tlak: 1 bar
- dimenzije: Ø600 x 420 mm
- priključak: DN20



Slika 41. Eksp. posuda elko-flex

### 10.2. Ekspanzijska posuda hladnog kruga 12/6 °C

Odabrana je zatvorena ekspanzijska posuda pod tlakom, koja se sastoji od čeličnog kućišta s gumeno membranom koja razdvaja dio ispunjen vodom od dijela ispunjenog plinom. Proračun je proveden prema uputama proizvođača Reflex.

- tlak otvaranja sigurnosnog ventila:  $p_{SV} = 2.5 \text{ bar}$
- razlika radnog tlaka sigurnosnog ventila prema DIN3320:  $\Delta p_{SV} = 0.5 \text{ bar}$
- konačni pretlak na priključku sustava za održavanje pri najvišoj dopuštenoj temperaturi vode:

$$\Delta p_e = p_{SV} - \Delta p_{SV} = 2,5 - 0,5 = 2 \text{ bar}$$

- statički tlak:  $p_{stN} = 1,5 \text{ bar}$
- tlak zasićenja za polaznu temperaturu:  $p_z = 0 \text{ bar}$
- početni tlak:  $p_0 = p_{stN} + p_z = 1,5 \text{ bar}$

- ukupna duljina cijevi DN100:  $l_{100} = 64 \text{ m}$
- količina vode po metru cijevi DN100:  $V_{100} = 7.8 \text{ l/m}$
- količina vode u aparatima:  $V_a = 196 \text{ l}$

- ukupni sadržaj vode u sustavu:  $V_u = 695 \text{ L}$

- povećanje obujma vode zbog širenja pri zagrijavanju, gdje je  $n$  koeficijent rastezanja i iznosi  $n = 2,34\%$

$$V_e = n \left( \frac{V_u}{100} \right) = 2,34 \left( \frac{695}{100} \right) = 16,3l$$

- zaliha vode:  $V_v = 0,005 \cdot V_u = 0,005 \cdot 695 = 3,5l$

$$V_n = (V_e + V_v) \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (16,3 + 3,5) \frac{2 + 1}{2,5 - 1,5} = 59,4l$$

Odabrana ekspanzijska posuda [14]:

- proizvođač: EDER
- model: elko-flex N
- tip: N80
- volumen: 80 l
- maksimalni tlak: 1 bar
- dimenzije: Ø600 x 370 mm
- priključak: DN20

### 10.3. Odabir troputnih elektromotornih ventila za kotlove

poznate veličine:    - učin kotla                       $Q = 108 \text{ kW}$   
                               - pad tlaka u krugu                       $\Delta p = 41,251 \text{ kPa}$   
                               - volumni protok vode                       $q_v = 4,59 \text{ m}^3/\text{h}$

- prema preporuci ukupni pad tlaka u krugu je:

$$\Delta p_u = \frac{\Delta p}{0,6} = \frac{41,251}{0,6} = 68,751 \text{ kPa}$$

- pad tlaka na troputnom ventilu je:

$$\Delta p_{trv} = \Delta p_u - \Delta p = 68,751 - 41,251 \cong 27,5 \text{ kPa}$$

Odabrani venti prema [15]:

proizvođač: Danfoss  
tip: VL 3  
narudžbeni broj: 065Z3408  
kvs = 16 DN32 PN6

#### **10.4. Odabir crpki**

Odabir pumpe se vrši prema vrijednosti ukupnog pada tlaka i volumnog protoka [16].

##### *10.4.1. Crpka grijača klima komore pratećih prostorija*

Poznati podaci: - ukupni pad tlaka:  $p = 7.73 \text{ kPa}$   
- volumni protok vode:  $q_v = 4.77 \text{ m}^3/\text{h}$

Odabrana pumpa prema IMP Pumps programu za izbor pumpi:

proizvođač: IMP Pumps d.o.o.  
tip: EGHN-L 502 A  
P = 1180W  $n = 700\text{-}2800 \text{ min}^{-1}$

##### *10.4.2. Crpka grijača klima komore operacijskih dvorana*

Poznati podaci: - ukupni pad tlaka:  $p = 8.19 \text{ kPa}$   
- volumni protok vode:  $q_v = 4.12 \text{ m}^3/\text{h}$

Odabrana pumpa prema IMP Pumps programu za izbor pumpi:

proizvođač: IMP Pumps d.o.o.  
tip: EGHN-L 502 A  
P = 1180W  $n = 700\text{-}2800 \text{ min}^{-1}$

#### 10.4.3. Crpka hladnjaka klima komore pratećih prostorija

Poznati podaci:     - ukupni pad tlaka:            $p = 65.38 \text{ kPa}$   
                          - volumni protok vode:        $q_v = 27.7 \text{ m}^3/\text{h}$

Odabrana pumpa prema IMP Pumps programu za izbor pumpi:

proizvođač:         IMP Pumps d.o.o.  
tip:                 EGHN-L 802 A  
P = 3000W           n = 1500 min<sup>-1</sup>

#### 10.4.4. Crpke hladnjaka klima komore operacijskih dvorana

Poznati podaci:     - ukupni pad tlaka:            $p = 64.78 \text{ kPa}$   
                          - volumni protok vode:        $q_v = 27.7 \text{ m}^3/\text{h}$

Odabrana pumpa prema IMP Pumps programu za izbor pumpi:

proizvođač:         IMP Pumps d.o.o.  
tip:                 EGHN-L 802 A  
P = 3000W           n = 1500 min<sup>-1</sup>

#### 10.4.5. Crpka toplog kruga 80/60 °C

Poznati podaci:     - ukupni pad tlaka:            $p = 41.25 \text{ kPa}$   
                          - volumni protok vode:        $q_v = 9.18 \text{ m}^3/\text{h}$

Odabrana pumpa prema IMP Pumps programu za izbor pumpi:

proizvođač:         IMP Pumps d.o.o.  
tip:                 NMT 50  
P = 520W            n = 500-2800 min<sup>-1</sup>

#### 10.4.6. Crpka hladnog kruga 12/6 °C

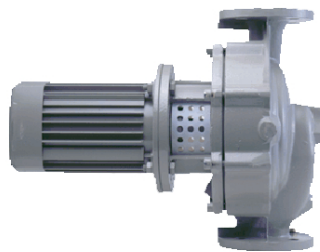
Poznati podaci:      - ukupni pad tlaka:               $p = 63.63 \text{ kPa}$   
                              - volumni protok vode:               $q_v = 32.84 \text{ m}^3/\text{h}$

Odabrana pumpa prema IMP Pumps programu za izbor pumpi:

proizvođač:              IMP Pumps d.o.o.  
 tip:                        NMT 80  
 $P = 1510\text{W}$                $n = 500\text{-}3200 \text{ min}^{-1}$



Slika 42. Pumpa EGHN



Slika 43. Pumpa CL



Slika 44. Pumpa NMT

### 10.5. Odabir razdjelnika i sabirnika

#### 10.5.1. Razdjelnik i sabirnik toplog kruga 80/60 °C

Razdjelnik i sabirnik su dvije jednake cijevi sa otvorima i odgovarajućim spojevima za razvođenje svake grupe pojedinačno. Sa strane im se nalazi otvor za povratni tj. polazni vod. Pretpostavljena brzina unutar cijevi je  $w = 1 \text{ m/s}$

- nominalni protok vode:               $q_{uk} = 8,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

- površina poprečnog presjeka:       $A = \frac{q_{uk}}{w} = \frac{8,7}{1 \cdot 3600} = 0,0024 \text{ m}^2$

- promjer poprečnog presjeka:       $d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0024}{\pi}} = 0,0553 \text{ m} = 55,3 \text{ mm}$

Prema [17] odabran je gotovi razdjelnik/sabirnik u jednoj cijevi

- proizvođač	MAGRA
- tip	WG02 60-30
- poprečni presjek - 2 komore	60/60 mm
- udaljenost priključaka	300 mm
- broj priključaka:	4
- priključne dimenzije	DN50

### 10.5.2. Razdjelnik i sabirnik hladnog kruga 12/6 °C

Razdjelnik i sabirnik su dvije jednake cijevi sa otvorima i odgovarajućim spojevima za razvođenje svake grupe pojedinačno. Sa strane im se nalazi otvor za povratni tj. polazni vod. Pretpostavljena brzina unutar cijevi je  $w = 1 \text{ m/s}$

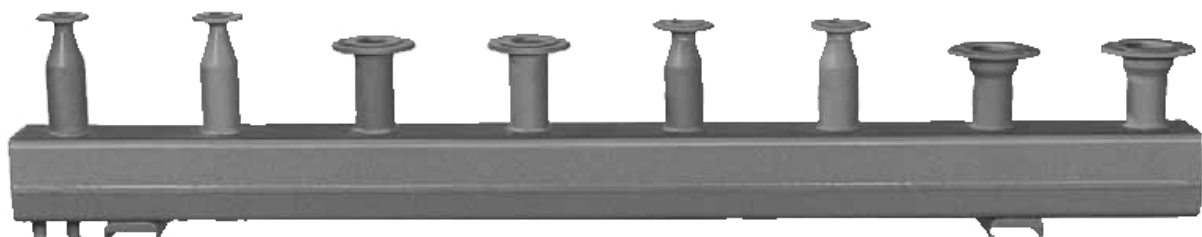
- nominalni protok vode:  $q_{uk} = 53 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

- površina poprečnog presjeka:  $A = \frac{q_{uk}}{w} = \frac{53}{1 \cdot 3600} = 0,0147 \text{ m}^2$

- promjer poprečnog presjeka:  $d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0147}{\pi}} = 0,137 \text{ m} = 137 \text{ mm}$

Prema [17] odabran je gotovi razdjelnik/sabirnik u jednoj cijevi

- proizvođač	MAGRA
- tip	Conti 120-30
- poprečni presjek - 2 komore	120/120 mm
- udaljenost priključaka	300 mm
- broj priključaka:	4
- priključne dimenzije	DN80



Slika 45. Razdjelnik/sabirnik u jednoj cijevi tvrtke MAGRA



## 10.6. Ventilacija kotlovnice

Prema "Pravilniku o tehničkim normativima za projektiranje, gradnju, pogon i održavanje plinskih kotlovnica" (sl. list 10/90) slijedi:

- Minimalna efektivna površina dozračnog otvora za ventilaciju i zraka za izgaranje:

$$A_0 = 5,8 \cdot Q = 5,8 \cdot 216 = 1252,8 \text{ cm}^2$$

Na donjem dijelu ulaznih vratiju, na oba krila, potrebno je ugraditi fiksne žaluzine svaka dimenzija 500x150 mm

- Minimalna efektivna površina odzračnog otvora

$$A_1 = \frac{A_0}{3} = \frac{1252,8}{3} = 417,6 \text{ cm}^2$$

Kao odzračni otvor predviđen je otvor na vanjskom zidu ispod stropa dimenzije 300x100 mm

## 11. ZAKLJUČAK

U okviru ovog diplomskog rada provedena je analiza projektnog rješenja termotehničkog postrojenja klimatizacije operacijskog bloka kliničke bolnice. U okviru operacijskog bloka nalaze se četiri operacijske dvorane s pratećim sadržajem, a bolnica je smještena na području grada Zagreba. Ukupna površina površina koje je potrebno klimatizirati iznosi 480 m<sup>2</sup> a podjeljena je na operacijske dvorane i prateće prostorije u odnosu 1:1.5. Za kondicioniranje zraka koriste se dvije klima komore.

Smještaj kliničke bolnice odredio je vanjske projektne uvjete za zimu i ljeto. Unutarnji projektni uvjeti određeni su prema važećim propisima. Odabrana temperatura zraka u prostorijama iznosi 22°C a relativna vlažnost 50% tokom cijele godine. Prema izračunatim vrijednostima dobitaka topline i transmisijskim razlikama temperature kondicioniranog zraka ubacivanog u prostorije dobivena je njegova potrebna količina. Ona iznosi 17710 m<sup>3</sup>/h i za operacijske dvorane i za prateće prostorije. Na temelju te količine odabrane su dvije identične klima komore higijenske izvedbe GEA CAIRplus SX 160.160. Klima komore se sastoje od filtera, rekuperatora, hladnjaka, grijača, ovlaživača i ventilatora.

Temperatura ubacivanog uzduha u prostorije određena je prema transmisijskoj razlici temperatura koja se kreće u granicama od 3÷9 °C za ljeto i 5÷15 °C za zimu. Izvori osjetne i latentne topline unutar građevine nisu bili poznati. Da bi se mogli procijeniti, uzet je podatak o mogućem broju ljudi koji se kreće u okviru operacijskog odjela te okvirni dobici osjetne topline po m<sup>2</sup> površine. Iz tih podataka su približno određeni toplinski gubici te su uz njihovu pomoć izrađeni h-x dijagrami za zimsko i ljetno razdoblje. Za operacijske dvorane transmisijska razlika temperatura iznosi 4°C za ljetno te 5.5°C za zimsko razdoblje. Kod pratećih prostorija, ona iznosi 6°C ljeti odnosno 8°C zimi.

Zbog specifičnosti kondicioniranja operacijskih dvorana s obzirom na čistoću zraka nije moguće primijeniti bilo koji sustav povrata energije iz istrošenog zraka. Iz navedenog razloga se za povrat topline iz istrošenog zraka koristi pločasti rekuperator GEA ECOPLAT, sa "bypass" zaklopkom, iskoristivosti do 70% jer

njegovim korištenjem ne dolazi do nikakvog doticaja istrošenog sa svježim, ubacivanim zrakom. Toplinski učin rekuperatora je 175 kW a on je takvih dimenzija da svojim volumenom stane u klima komoru te je nije potrebno modificirati.

Izmjenjivači topline (grijači i hladnjaci) su standardnih dimenzija, izvedeni sa bakrenim cjevima i aluminijskim lamelama. Toplinski učin hladnjaka je 186.9 kW a grijača 92.1 kW za operacijske dvorane, odnosno 107 kW za prateće prostorije pošto je temperatura ubacivanog zraka veća. Ovlaživač zraka je smješten pored klima komora. Odabran je elektroparni ovlaživač kako bi se zadovoljili higijenski uvjeti. U mogućnosti je proizvesti 150 kg/h suhozasićene pare za potrebe ovlaživanja zraka.

Ventilatori su radijalni sa unatrag savijenim lopaticama. Snaga tlačnog ventilatora iznosi 8.3 kW pri 1762 o/min a odsisnog 5.4kW pri 1261 o/min. Za optimalnu distribuciju zračnog strujanja po cijelom presjeku klima komora na istrujnu stranu ventilatora ugrađeni su difuzori u izvedbi sa odbojnim pločama.

Zbog visokih kriterija za čistoćom zraka upuhivanog u operacijske dvorane koristi se trostupanjska filtracija. Filtar klase F5 efikasnosti 50% smješten je na samom ulazu vanjskog zraka u klima komoru. Filtar klase F9 efikasnosti 96% nalazi se kao zadnji element klima komore izlaska kondicioniranog zraka iz komore. U istrujnim anemostatima, tj. u perforiranom stropu operacijskih dvorana nalaze se HEPA H13 filtri efikasnosti 99,5%. U odsisnom vodu klima komore se kao prvi element nalazi grubi filtari klase G4.

Toplinska i rashladna stanica se nalaze u sklopu strojarnice. Toplinska stanica se sastoji od dva kotla Viessmann Vitogas 100 ukupnog ogrijevnog učina 216 kW koji pripremaju 8,7 m<sup>3</sup>/h vode temperature 80/60°C. Rashladnu stanicu čine dva rashladna agregata GEA-Daikin GLWC 0951 zajedničkog učina 442.2 kW za hlađenje 53,6 m<sup>3</sup>/h vode sa temperature 12°C na 6°C.

## 12. LITERATURA

- [1] DIN-1946 (1989). Teil 4: Raumluftechnik - Raumluftechnische Anlagen in Krankenhaeusern (VDI-Lueftungsregeln)
- [2] DIN-1946 (1994). Teil 2: Raumluftechnik - Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lueftungsregeln)
- [3] Recknagel/Sprenger. Priručnik za Grijanje i klimatizaciju. IRO građevinska knjiga, Beograd, 1982.
- [4] Toplinske tablice. interno izdanje FSB, Zagreb , 1997.
- [5] Donjerković, P. Osnove i regulacija sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije I dio. Alfa d.d., Zagreb, 1996.
- [6] Donjerković, P. predavanja iz kolegija "Grijanje". Zagreb, FSB.
- [7] Donjerković, P. predavanja iz kolegija "Klimatizacija". Zagreb, FSB.
- [8] Galaso, I. Određivanje toplinskog opterećenja prostorija. Sveučilišna tiskara d.o.o. Zagreb, 1992.
- [9] Kraut, B. Strojarski priručnik. Tehnička knjiga, Zagreb 1988.
- [10] Donjerković, P. Osnove i regulacija sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije II dio. Alfa d.d., Zagreb, 1996.
- [11] L-plus software V.52.14, GEA, 2007.
- [12] Viessmann katalog proizvoda, 2006.
- [13] GEA katalog proizvoda, 2006.
- [14] Eder, J. Tehnički priručnik EDER Elko-Flex 4-V08, 2006.
- [15] Izbornik ventila Danfoss A/S district heating,. Nordbork - Denmark, 2006.
- [16] Program za izbor pumpi IMP PUMPS d.o.o. Slovenia 2003.
- [17] MAGRA katalog proizvoda. MAGRA Maile + Grammer GmbH, Rottenburg. 2007.

### **13. PRILOZI**

Karakteristike i radna točka pumpe grijača A4

Karakteristike i radna točka pumpe hladnjaka A4

Karakteristike i radna točka pumpe toplog kruga 80/60°C A4

Karakteristike i radna točka pumpe hladnog kruga 12/6 °C A4

Shema spajanja i automatske regulacije A1

Tlocrt strojarnice sa presjecima A0