

VENTILATSIOONI ALUSED

FELIKS ANGELSTOK

Õppevahend on mõeldud kasutamiseks Sisekaitseakadeemia päästeteenistuse eriala rakenduskõrghariduse õppekava järgi õppivatele üliõpilastele samanimelise õppeaine paremaks omandamiseks.

Tuletõrje- ja päästeinsener peab tundma nii kaasaegsete kui ka vanemate hoonete ventilatsioonisüsteeme, sest tuleõnnetusi juhtub mõlemates, teadma normatiivdokumentidega kehtestatud nõudeid ventilatsioonisüsteemidele ja nende tuleohutusele.

Õppevahendi koostamisel on kasutatud Eesti standardeid EVS 839:2003 "Sisekliima" ja EVS 831:2003 "Hoonete ventilatsiooni terminid ja tingmärgid", Eesti projekteerimismorme ja eesti- ning inglisekeelset erialakirjandust, mille loetelu on toodud viimasel leheküljel.

Ainese valikul on enam tähelepanu pälvinud hoonete ja ruumide õhuvahetuse korraldamine ning ventilatsiooniseadmete eksploatatsioon. Uute ventilatsioonisüsteemide projekteerimiseks vajalikke arvutusmeetodeid ja teatmematerjali tuleb erialakirjandusest juurde lugeda.

Õppevahend võib olla kasulik ka teiste kõrgkoolide tehnika- ja ehituserialade üliõpilastele.

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS	4
1.1. Õhu omadused	4
1.2. Niiske õhu olekudiagramm.....	6
1.3. Sisekliima	10
2. KAHJULIKUD ERITISED JA RUUMI NÕUTAV ÕHUVAHETUS..	11
2.1. Ruumi erituv soojus.....	11
2.2. Niiskuseritised ruumi	13
2.3. Gaasi- ja tolmu eritised ruumi	14
3. ÕHUVAHETUS RUUMIDES	17
3.1. Vajaliku õhuvahetuse määramine	17
3.2. Õhuvahetuse korraldamine	18
3.3. Õhu liikumise aerodünaamilised alused.....	19
3.4. Õhujaotus ruumides	20
4. ÕHU TÖÖTLEMINE	22
4.1. Õhu puhastamine.....	22
4.2. Õhu soojendamine ja jahutamine	28
4.3. Õhu niisutamine ja kuivatamine.....	32
4.4. Õhu konditsioneerimine	36
5. VENTILEERIMISVIISID.....	39
5.1. Loomulik ventilatsioon	39
5.2. Mehaaniline ventilatsioon	43
5.3. Õhutorustike arvutus.....	44
5.4. Ventilaatorid	46
6. VENTILATSIOONISÜSTEEMID	50
6.1. Üldventilatsioon	50
6.2. Kohtventilatsioon	56
6.3. Õhkküte.....	58
6.4. Müra vältimine.....	59
6.5. Avariiventilatsioon	60
6.6. Ventilatsioonisüsteemide tuleohutus	61
Kasutatud kirjandus.....	64

1. SISSEJUHATUS

Ventilatsioon (lad k – *ventilatio* – tuulutamine) on reguleeritav õhuvahetus ruumides, mille ülesandeks on tagada inimestele soodne ja seadmetele, hoonetarinditele, materjalidele, saadustele ning tehnoloogilistele protsessidele nõuetele vastav keskkond.

Ventilatsioon sai alguse 18-sajandi esimesel poolel kui tööstuslikes kaevandustes rajati aeratsioonisüsteemid – teadlikult organiseeritud loomulik õhuvahetus.

1.1. Õhu omadused

Õhk on keskkond, kus inimene elab. Küsimusele “kus sa elad?” on kõige loogilisem vastus – “õhus!”. Inimene tarvitab päevas 15 kg õhku, kuid vaid umbes 2 kg toitu. Õhu kvaliteedist sõltuvad inimese tervis, enesetunne ja töövõime.

Õhu kui elukeskkonna omadusi iseloomustatakse järgmiste omadustega.

Keemiline koostis: atmosfäärse õhu normaalne keemiline koostis:

- lämmastik (N) – 75,6% massist,
- hapnik (O₂) – 23,1%,
- süsihappegaas (CO₂) – 0,05%,
- veeaur (H₂O) – 0,05%,
- inertgaasid (He, Ne, Cr jt) – 1,3%.

Füüsikalised omadused: temperatuur, niiskusesisaldus, liikumiskiirus, ionisatsioon.

Kõrvalised osakesed: tolm, mikroorganismid, tööstusettevõtete ja transpordivahendite eraldatavad gaasid ja saaste.

Tiheda inimasustusega aladel ületab CO₂ sisaldus normaalse ja tõuseb järjest. Kui see ületab 0,04%, siis hakkab CO₂ õhus olevat veeauru absorbeerima ja selle tulemusena tekib linnade kohale sudu.

Õhus on rohkesti positiivseid ioone, kuid inimese enesetunde seisukohalt on eriti oluline negatiivsete ionide hulk õhus. Rohkelt on neid äikesejärgses õhus aga ka mererannal ja langevate veejugade – koskede läheduses. Vähe on neid siseruumide õhus, kus elektroonikaseadmed neid hävitavad.

Atmosfäärne õhk kui gaaside segu allub Daltoni ja Clapeyroni seadustele.

Daltoni seadus. Gaasisegu baromeetriline rõhk B moodustub kõikide gaasisegu komponentide osarõhkude p_i summast

$$B = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i.$$

Clapeyroni seaduse kohaselt on igasuguse gaasi ühe massiühiku mahu ja rõhu korrutis konstantne suurus:

$$p_i V_i = R_i T_i,$$

kus p_i – gaasi absoluutrõhk;

V_i – gaasi erimaht, 1 kg gaasi maht m³-tes rõhul p_i ja temperatuuril T_i ;

R_i – gaasikonstant;

T_i – gaasi absoluutne temperatuur K-tes.

Niiske õhk koosneb veeaurust ja kuivast õhust. Tema baromeetriline rõhk

$$B = p_{kõ} + p_v,$$

kus $p_{kõ}$ – kuiva õhu osarõhk;

p_v – veeauru osarõhk.

Õhu suhteline niiskus f on õhu niiskusesisalduse suhe veeauruga küllastunud õhu niiskusesisaldusse väljendatuna kas suhtarvuna või protsendides:

$$j = \frac{x}{x_k} 100\%,$$

kus x – õhu niiskusesisaldus kg/kg;

x_k – küllastunud õhu niiskusesisaldus kg/kg.

Niiskusega küllastunud õhu suhteline niiskus on 100%.

Õhu niiskusesisaldus x on niiske õhus leiduva veeauru massi suhe kuiva õhu massi:

$$x = \frac{m_a}{m_{k\ddot{o}}},$$

kus m_a – õhus leiduva veeauru mass kg,

$m_{k\ddot{o}}$ – kuiva õhu mass kg .

Niiske õhu tihedus r on niiske õhu massi ja mahu suhe:

$$r = \frac{m}{V},$$

kus m – niiske õhu mass, mis koosneb kuiva õhu ja veeauru masside summast kg ;

V – niiske õhu maht m^3 .

Niiske õhu tihedus on võrdeline veeauru ja õhu segu rõhuga ja pöördvõrdeline segu temperatuuriga.

Niiske õhk on kergem kuivast õhust, sest veeauru moolmass ($\mu_a = 18$ g/mol) on väiksem kuiva õhu moolmassist ($\mu_{k\ddot{o}} = 29$ g/mol). Kuiva õhu ja veeauruga küllastunud õhu tihedused sõltuvad temperatuurist.

Entalpia ehk soojussisaldus (SI ühik – J, džaul) on termodünaamilise süsteemi olekufunktsioon h , mida väljendab valem

$$h = U + pV,$$

kus U – süsteemi siseenergia,

p – rõhk,

V – ruumala.

Isobaarilise protsessi korral ($p = \text{const}$) võrdub entalpia juurdekasv süsteemi soojendamiseks kuluva soojushulgaga.

Niiske õhu entalpia (kreeka keeles *enthalpō* – soojendan) kujutab endast 1 kg kuiva õhu soojussisaldust, millele lisandub selles koguses lahustunud veeauru soojasisaldus:

$$h = 1,006t + (2501 + 1,85t)x \cdot 10^{-3},$$

kus h – niiske õhu entalpia kJ/kg ,

t – õhu temperatuur $^{\circ}\text{C}$.

Võrrandi esimene liige on kuiva õhu entalpia

$$h_{k\ddot{o}} = c_{k\ddot{o}}t,$$

kus $c_{k\ddot{o}}$ – kuiva õhu erisoojus (võib võtta võrdseks 1,006 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ temperatuurivahemikus -10...+40 $^{\circ}\text{C}$).

Võrrandi teine liige on veeauru entalpia. Nii ülekuumendatud kui ka küllastunud auru entalpia koosneb vee aurustussoojusest (võrdub 2501 kJ/kg) ja soojushulgast, mis kulub auru soojendamiseks temperatuurilt 0 $^{\circ}\text{C}$ temperatuurini t . Veeauru keskmine erisoojus on võetud võrdseks 1,85 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$.

Niiske õhu entalpia koosneb kahest põhimõtteliselt erinevast soojushulgast – ilmsest ehk tajutavast soojusest ja varjatud soojusest. Tajutav on entalpia see osa ($c_{k\ddot{o}}t$ ja $c_a t$), mille muutusega kaasneb niiske õhu temperatuuri muutus.

Entalpia seda osa, mis sisaldab aurustussoojust (2501 kJ/kg), nimetatakse varjatud- ehk peitsoojuseks. Selle suurus sõltub õhus leiduvast veeauru hulgast, kuid ei sõltu niiske õhu temperatuurist. Varjatud soojus vabaneb ainult õhus leiduva veeauru kondenseerumisel veeks.

1.2. Niiske õhu olekudiagramm

Niiske õhu füüsikalised parameetrid on:

- t – temperatuur,
- h – entalpia,
- x – niiskusesisaldus,
- f – suhteline niiskus,
- p_v – veeauru osarõhk.

Nende parameetrite omavahelist sõltuvust kujutavad niiske õhu olekudiagrammid, nn $h - x$ – diagrammid (joonis 1.1). Niiske õhu olekudiagramm kui ventilatsiooniinseneridele oluline dokument on toodud ka EPN 18.3.1 “Hoonete ventilatsiooni projekteerimine” lisa 10.

$h - x$ – diagrammi kasutatakse õhu termodünaamilisi muutusi käsitlevate protsesside kirjeldamisel ja arvutamisel. $h - x$ – diagrammid koostatakse kindlatele õhu baromeetrilise rõhu väärtustele.

Diagramm konstrueeritakse kaldkoordinaatides, kusjuures kaldenurk h ja x telgede vahel on 45° . Selline nurk võimaldab suurendada diagrammi välja, mis jääb küllastuskõverast $f = 1,0 = 100\%$ ülespoole. Diagrammi horisontaaltelele kantakse õhu niiskusesisalduse x väärtused intervalliga 1g vett 1 kg kuiva õhu kohta.

Ordinaatteljele kantakse niiske õhu entalpia ehk soojasisaldus h väärtused intervalliga 1 kcal 1 kg kuiva õhu kohta. Entalpia väärtused õhu temperatuuridele alla 0°C on “ - “ märgiga ja temperatuuridele üle 0°C “ + “ märgiga $h = \text{const}$ jooned joonestatakse abstsisssteljega kaldu 135° nurga all. $h = \text{const}$ jooned moodustavad vertikaalsete $x = \text{const}$ joontega diagrammil parallelogrammvõrgu. Saadud võrgule kantakse samatemperatuurijooned $t = \text{const}$ ja suhtelise niiskuse f kõverad.

Samatemperatuurijooned (isotermid) $h - x$ – diagrammil on sirged, mis kõrgete temperatuuride piirkonnas ei ole paralleelsed. Isotermi $t = 0$ alguspunkti saame kui $x = 0$, siis $f = 0$ ja ka $h = 0$.

Isotermide lõpp-punktid leitakse õhu suhtelisel niiskusel $f = 100\%$. Ühendades omavahel need erinevate isotermide punktid saame kõvera $f = 100\%$, mida nimetatakse küllastuskõveraks ehk $h - x$ – diagrammi piirkõveraks. Ülalpool seda kõverat on õhk niiskusega küllastamata, allpool aga üleküllastunud nn udu piirkond.

Järgnevalt kantakse diagrammile ülejäänud suhtelise niiskuse f kõverad. Selleks arvutatakse erineva niiskusesisalduse x ja temperatuuri t juures suhtelise niiskuse väärtused.

Diagrammi alumises parempoolses osas on väljendatud õhu niiskusesisalduse x ja veeauru osarõhu p_v vaheline seos.

Teades niiske õhu kahte parameetrit, on võimalik $h - x$ – diagrammi abil määrata niiske õhu ülejäänud parameetrid. Seda saab kasutada mitmete praktiliste ülesannete lahendamiseks. Näiteks olgu vaja leida kahe koguse erinevate parameetritega õhu segu parameetrid. Olgu õhukoguse L_1 parameetrid h_1 ja x_1 ning õhukoguse L_2 parameetrid h_2 ja x_2 . Nende õhukoguste segunemisel saadud õhukoguse $L_s = L_1 + L_2$ entalpia h_s ja niiskusesisaldus x_s on arvutatavad valemitest

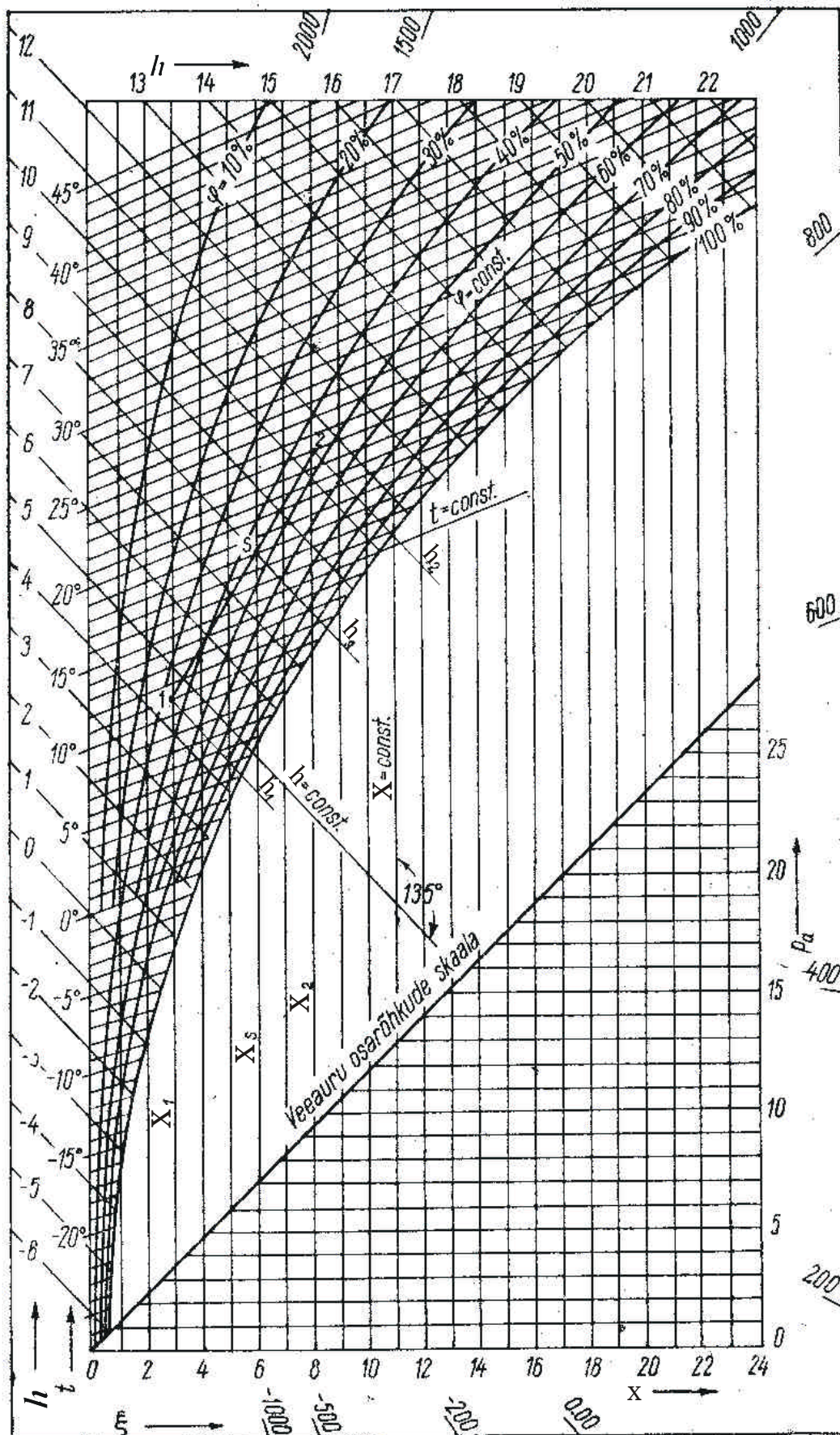
$$x_s(L_1 + L_2) = x_1L_1 + x_2L_2$$

ja

$$h_s(L_1 + L_2) = h_1L_1 + h_2L_2.$$

Nendest valemitest saame

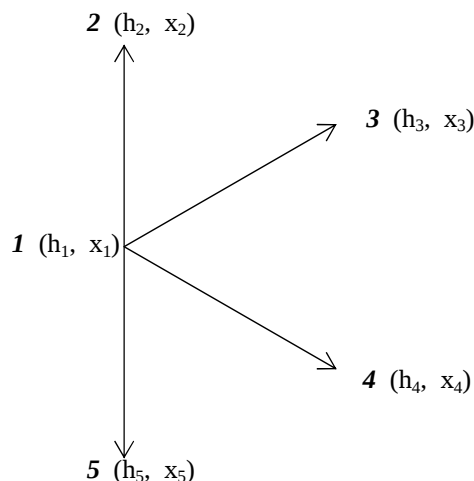
$$\frac{x_2 - x_s}{x_s - x_1} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{h_2 - h_s}{h_s - h_1}.$$



Joonis 1.1. Niiske õhu $h - x$ - diagramm baromeetrilisele rõhule 760 mm Hg = 101,3 kPa: h – kcal/kg , x – g/kg , t – °C , p_a – mmHg

Kui ühendada $h - x$ – diagrammil sirgega punktid, mis kujutavad õhukoguste 1 ja 2 parameetreid, siis segupunkt S jagab sirge lõikudeks, mille pikkused on pöördvõrdelised segatavate õhuhulkadega. Sellest võrrandist on näha, et segupunkti abstsiss x_s jagab lõigu $x_2 x_1$ ja ordinaat h_s lõigu $h_2 h_1$ osadeks, mille pikkused on pöördvõrdelised segatavate õhuhulkadega.

Õhu termodünaamilise oleku muutusi on lihtne kajastada $h - x$ – diagrammil. Niisket õhku võib kuivatada, soojendada, jahutada või niisutada. Igale protsessile vastab diagrammil kindel kiir (joonis 1.2).



Joonis 1.2. Niiske õhu termodünaamilise oleku iseloomulike muutuste kujutamine $h - x$ – diagrammil

Kui niiske õhu algparameetrid on h_1 ja x_1 ning lõpp-parameetrid h_2 ja x_2 , siis suhe

$$\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h}{\Delta x} = x,$$

kus x on niiske õhu töötlemise protsessi nurgategur, mis määrab kindlaks protsessi kiire suuna $h - x$ – diagrammil. Õhu füüsikalise oleku muutused, mis toimuvad ühesuguse nurgateguri x väärtuse juures, on iseloomustatavad ühesuguse soojuse juurdekasvuga ühe neeldunud või eritunud niiskusesihiku kohta. Seega kui töödeldavate õhuhulkade algparameetrid on erinevad, kuid protsesside nurgategurid võrdsed, siis nende õhuhulkade parameetrid muutuvad mööda paralleelseid kiiri. Nurgategurite selline omadus võimaldab $h - x$ – diagrammile kanda mööda perimeetrit ka nurgategurite skaala (joonis 1.1), mis lihtsustab protsessikiirte kandmist diagrammile.

Ventilatsioonis enamkasutatavad õhu termodünaamilise töötlemise protsessid on kujutatud joonisel 1.2.

1. Õhku algparameetritega h_1 ja x_1 soojendatakse püsival niiskusesisaldusel $x_1 = x_2$. Sellise protsessi nurgateguri väärtus on $x = +\infty$, sest

$$x = \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = +\infty.$$

Nurgateguri selline väärtus näitab, et õhu soojendamine kalorifeerides ilma niiskusesisalduse muutuseta on protsess, mida kujutab kiir on vertikaaljoon $x = \text{const}$, mis kulgeb punktist 1 punktini 2 (joonis 1.2).

2. Õhku algparameetritega h_1 ja x_1 soojendatakse ja niisutatakse. Kui õhu lõpp-parameetrid on h_3 ja x_3 , siis vaadeldava protsessi nurgategur on

$$x = \frac{h_3 - h_1}{x_3 - x_1} > 0.$$

Sellise protsessi kiir kulgeb $h - x$ – diagrammil punktist 1 punkti 3 (joonis 1.2).

3. Õhku niisutatakse, kusjuures õhu soojusesisaldus ei muutu $h_1 = h_4 = \text{const}$. Protsessi nurgategur

$$x = \frac{h_4 - h_1}{x_4 - x_1} = 0.$$

Sellist protsessi nimetatakse adiabaatseks ja ta kulgeb mööda kiirt $h = \text{const}$ punktist 1 punktini 4.

4. Õhku jahutatakse püsival niiskusesisaldusel $x_1 = x_5 = \text{const}$. Nagu esimeselgi juhul on protsessi kujutav kiir vertikaaljoon $x = \text{const}$, mis kulgeb punktist 1 punktini 5. Et aga $h_5 < h_1$, siis protsessi nurgategur

$$x = \frac{h_5 - h_1}{x_5 - x_1} = -\infty.$$

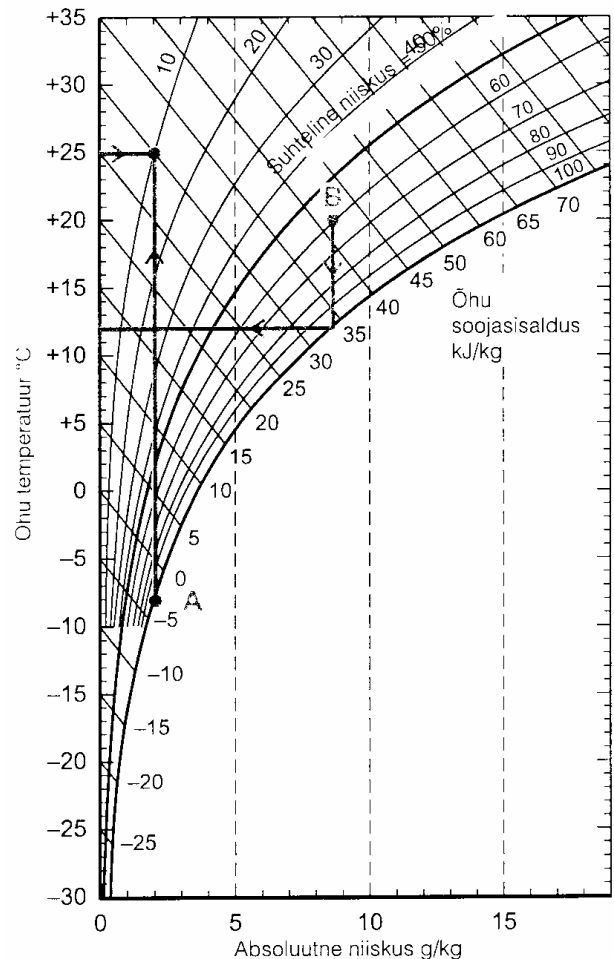
Selline protsess toimub niiske õhu jahutamisel pindjahutis püsival niiskusesisaldusel.

$h - x$ - diagrammi abil on võimalik leida niiske õhu kastepunkti ja märgtermomeetri temperatuure. Kastepunkti temperatuuri leidmiseks tuleb vaadeldavat õhku iseloomustavast punktist liikuda allapoole mööda joont $x = \text{const}$ kuni lõikumiseni küllastuskõveraga $f = 100\%$. Lõikepunkti isotherm näitab kastepunkti temperatuuri t_k .

Märgtermomeetri temperatuur näitab niiske õhu sellist temperatuuri, millel õhk küllastub niiskusega samal soojasisaldusel $h = \text{const}$. Seega saab õhu märgtermomeetri temperatuuri kätte liikudes mööda joont $h = \text{const}$ lõikumiseni küllastuskõveraga $f = 100\%$. Lõikepunkti isotherm näitab kätte märgtermomeetri temperatuuri t_m .

Kui me teame õhu temperatuuri märg- ja kuivtermomeetri järgi, on $h - x$ - diagrammi abil lihtne leida õhu teisi parameetreid. Märgtermomeetri järgi mõõdetud temperatuuri isothermi ja kõvera $f = 100\%$ lõikepunkt näitab kätte vaadeldava õhu entalpia h_A . Joone $h_A = \text{const}$ ja kuivtermomeetri isothermi $t_A = \text{const}$ lõikepunkt näitab kätte punkti A ning siit saab ka õhu ülejäänud parameetrid.

Niiske õhu olekudiagrammi pisut lihtsustatud variant on esitatud Soome inseneride raamatus [2], mille siinkohal reprodutseerime (joonis 1.3).



Joonis 1.3. Õhu suhteline niiskus sõltuvalt absoluutsest niiskusest ja temperatuurist

Selle diagrammi järgi võib määrata õhu niiskust. Kui välisõhku, mille temperatuur on -8°C ja suhteline niiskus 100% (punkt A joonisel 1.3), soojendada niiskust lisamata $+25^\circ\text{C}$ -ni, siis väheneb selle suhteline niiskus 10% -ni. Jooniselt nähtub samuti, et ruumi õhust, mille temperatuur on 20°C ja suhteline niiskus 60% (punkt B joonisel 1.3), kondenseerub vesi pinnale, mille temperatuur on alla 12°C .

1.3. Sisekliima

Inimesed veedavad suurema osa ööpäevast (ca 90%) siseruumides. Seetõttu on siseõhu kvaliteet inimesele isegi olulisem kui välisõhu oma. Halb sisekliima põhjustab haigestumist, vähendab mugavustunnet ja tööviljakust.

Sisekliimaks nimetatakse ruumis valitsevate keemiliste, füüsikaliste jm tingimuste kogumit. Tähtsaimad nendest on ruumi soojusolukord (temperatuur ja tõmbus), õhu niiskus ja puhtus (tolm, keemilised ja bioloogilised mõjurid). Sisekliima avaldab inimesele mõju eelkõige naha, limaskestade ja hingamisteede kaudu, sest need on piiriks inimese ja keskkonna vahel. Inimesed tajuvad sisekliima mõju erinevalt. Iseäranis allergilised inimesed, keda on umbes kolmandik elanikkonnast. Seepärast tuleks ruume ehitada ja hoida nende sisekliima sellisena, et see oleks kõigile vastuvõetav.

Sisekliimat mõjutavate tegurite normväärtused antakse enamasti ette. Eestis kehtib hoonete sisekliima parameetritele standard EVS 839:2003 "Sisekliima". Sellele vastav projekteerimismäärus EPN 12.2 "Sisekliima" sisaldab hoonete sisekliima parameetritele ja tingimustele esitatavaid nõudeid, mis on määratud kasutamiseks elu- ja avalike hoonete projekteerimisel, ekspluateerimisel ja ekspertiiside tegemisel.

Normväärtused tuleb tagada ruumi selles osas, kus inimesed suurema osa ajast viibivad, nn kontroll- ehk viibimistsoonis. Sisekliima hoitakse etteantud piirides pidevalt sõltumata välis- ja sisetingimustest. Paraku pole see alati majanduslikult võimalik ega ka otstarbekas. Normaalingimustes ei tohiks siiski sisekliima parameetrite piirväärtusi ületada.

Ruumi soojusolukord mõjutab inimese organismi väga tugevasti. Soe eraldub kehast peamiselt konveksiooni ja kiirguse teel. Seega mõjutavad inimese soojatunnet ühtviisi nii õhu kui ka pindade temperatuur. Viimast väljendatakse kiirgustemperatuuriga, mis võrdub akende ja seinte pindade kaalutud keskmise temperatuuriga. Konveksiooni intensiivsus sõltub õhu liikumise kiirusest ja temperatuurist. Kiirguse ja konveksiooni koosmõju väljendatakse ventilatsioonitehnikas mõistega operatiivne temperatuur t_{op} , mis on ruumi sisetemperatuuri t_s ja ümbritsevate pindade temperatuuri t_R keskmine

$$t_{op} = \frac{t_s + t_R}{2}.$$

Ruumides, kus on erandlikult suured aknad või muud soojad või külmad pinnad, mis võivad oluliselt mõjutada inimese soojatundlikkust, on vaja arvutada operatiivne temperatuur. See peab jääma õhu normitud temperatuuri piiridesse.

Inimese soojusliku mugavuse määramisel arvestatakse operatiivset temperatuuri, õhu suhtelist niiskust, õhu liikumiskiirust, inimese aktiivsust ja riietuse soojapidavust. Soojusliku mugavuse järgi jaotatakse ruumid kolme klassi – A, B ja C klassi. Kõige vähem on rahulolematuid inimesi A klassi ruumis – alla 6%, B klassi ruumis alla 10% ja C klassi ruumis alla 15%.

Erinevat tüüpi hoonete ja ruumide sisekliima parameetrite (temperatuur, õhu suurim liikumiskiirus, vajalik õhuvahetus) normväärtused on toodud EPN 12.2 "Sisekliima" (vt tabel 1.1).

Ruumi siseõhu temperatuur ja niiskusesisaldus peaksid jääma talvel piiridesse + 22°C ja 25 – 45% ning suvel piiridesse + 24,5°C ja 30 – 70%.

Siseõhk ei tohi sisaldada kahjulikus koguses gaasilises või hõljuvas olekus lisandeid või mikroorganisme. Kahjulike ainete piirsisaldus ruumide siseõhus on toodud käesolevas õppevahendis tabelis 2.5.

Tabel 1.1. Sisekliima parameetrite normväärtused

Erinevat tüüpi hoonete (ruumide) sisekliimat mõjutavate tegurite normväärtused								
Hoone (ruumi) tüüp	m ² inimese kohta	Soojusliku mugavuse klass	Ruumiõhu temperatuur °C		Õhu suurim liikumiskiirus m/s		Vajalik õhuvahetus	
			Suvel	Talvel	Suvel	Talvel	l/s (inimese kohta)	l/s (põranda m ² kohta)
Elamu	10,0	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	10	1,0
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	7	0,7
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	5	0,5
Büroo	10,0	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	20	2,0
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	14	1,4
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	8	0,8
Maaligalerii	14,0	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	24	1,7
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	17	1,2
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	10	0,7
Konverentsiruum	2,0	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	12	6,0
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	9	4,3
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	5	2,4
Auditoorium	0,7	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	11	16,0
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	7	11,0
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	4	6,4
Kohvik, restoran	1,4	A	23,5 ± 0,5	20,0 ± 1,0	0,16	0,13	11	8,0
		B	23,5 ± 1,5	20,0 ± 2,5	0,20	0,16	8	5,7
		C	23,5 ± 2,5	20,0 ± 3,5	0,24	0,19	5	3,2
Kauplused	6,7	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13	24	3,5
		B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15	17	2,5
		C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18	9	1,4

2. KAHJULIKUD ERITISED JA RUUMI NÕUTAV ÕHUVAHETUS

Kahjulike eritiste hulk ja liik ruumides sõltub seal viibivate inimeste hulgast ja seal toimuvatest tehnoloogilistest protsessidest. Peamised kahjulikud eritised ruumides on süsihappegaas ja muud kahjulikud gaasid, liigniiskus, liigsoojus, tolm jm.

2.1. Ruumi erituv soojus

Õhutemperatuur ruumis peab olema lähedane füsioloogiliselt optimaalsele ja looma inimesele hubase soojatunde ning tagama tervise ja teovõime. Soojus levib ruumi lisaks küttekahadele veel kuumadelt seadmetelt ja materjalidelt, inimestelt, päikesekiirgusest, elektriseadmetelt.

Inimeselt ruumi erituv soojushulk (kcal/h) sõltub töö intensiivsusest (vt tabel 2.1) ja ruumi õhutemperatuurist. Kui ruumi maht ühe inimese kohta on üle 50 m³, siis soojuseritust inimestelt pole vaja arvestada ventilatsiooni projekteerimisel.

Tabel 2.1. Inimese keskmine soojuseritus temperatuuril 18...20°C kcal/h

Tegevus temp-l 18...20°C	Ilmne soojus	Varjatud soojus
Raske töö	150	150
Keskmise raskusega töö	125	100
Kerge töö	100	50
Vaimne töö	90	35
Puhkeseisund	80	20

Päikesekiirgus soojendab ruumi läbi akende ja piirdekonstruktsioonide. Seda tuleb arvestada välisõhu temperatuuridel üle +10°C. Eesti kliimas on päikesekiirguse mõju ruumide sisetemperatuurile väike ja lühiajaline, kuid ventilatsioonisüsteemide projekteerimisel siiski arvesse võetav.

Klaaspindade kaudu ruumi tungiv soojushulk arvutatakse lähtuvalt pinna suuruselt ja iseloomust. Läbi akna ruumi tungiv soojus päikesekiirgusest olenevalt ilmakaarest ja geograafilisest laiuselt on toodud tabelis 2.2. Läbi põhjapoolsete akende tulevat soojust Eesti kliima tingimustes ei arvestata.

Tabel 2.2. Läbi akna ruumi tungiv soojus päikesekiirgusest olenevalt ilmakaarest ja geograafilisest laiuselt kcal/(m² h)

Akna liik	Lõuna		Kagu ja edel	Ida ja lää	Ülejäänud
	45...55°	65°	55...65°	55...65°	
Puitraamidega kahekordne aken	125	145	125	145	60
Sama metallraamidega	160	180	160	180	80
Metallraamidega pakett	160	170	170	180	80
Puitraamidega pakett	145	150	150	160	70

Päikesekiirguse mõju akendele võib vähendada kasutades toonitud klaase, selektiivkihiga kaetud klaaspakette, kilesid, päikesevarjusid, ribakardinaid, kardinaid jm.

Päikesekiirgust läbi vertikaalpiirete (seinte) Eesti kliimas ei arvestata. Läbi horisontaalpiirete (lagede, katuslagede) toimuva soojuslevi arvesse võtmine oleneb piirde konstruktsioonist.

Soojus valgustusest on arvutatav üheaegselt sisselülitatud valgustite võimsuse kaudu.

Elektriseadmetelt erituv soojus on samuti võrdeline nende võimsusega. Olenemata sellest, mis otstarbeks elektrienergiat kasutatakse, muutub ta lõppkokkuvõttes soojuseks.

Kuumadelt pindadelt erituva soojuse arvutamisel võetakse arvesse konvektiivne ja kiirguslik soojusülekanne, pindade suurus ja temperatuur.

Soojuseralduste kahjuliku mõju kõrvaldamiseks nõutav õhuvahetus (m³/h) ruumis on määratav EPN 18.3.1 kohaselt kahel viisil – kas väljatõmmatava õhu ja sissepuhkeõhu soojussalduste (entalpiate) vahe järgi või temperatuuride vahe järgi.

Õhuvahetus soojussalduste vahe järgi arvutatakse nii

$$L = \frac{Q}{h_{vt} - h_s} 1,2e ,$$

kus Q – ruumi eralduv liigsoojus kJ/h ,
 h_{vt} – väljatõmmatava õhu soojussaldus kJ/kg ,
 h_s – sissepuhkeõhu soojussaldus kJ/ kg ,
 e – ventilatsiooni efektiivsuse koefitsient.

Ventilatsiooni efektiivsuse koefitsient on määratud kui

$$e = \frac{C_v - C_s}{C_{vt} - C_s} ,$$

kus C_v – ohtlike ainete kontsentratsioon väljatõmbeõhus mg/m³ ,
 C_s – ohtlike ainete kontsentratsioon sissepuhkeõhus mg/m³ ,
 C_{vt} – ohtlike ainete kontsentratsiooni piirnorm inimeste viibimistsoonis mg/m³.

Ventilatsiooni efektiivsuse koefitsiendi väärtused on piires $e = 0,2 - 1,4$ olenevalt õhujaotussüsteemist (kas segunev või väljatõrjuv ventilatsioon) ning sissepuhkeõhu ja väljatõmmatava õhu temperatuuride vahest (täpsemalt vt EPN 18.3.1 lisa 4).

Õhuvahetus temperatuuride vahe järgi

$$L = \frac{Q}{t_{vt} - t_s} 1,2ce,$$

kus Q – ruumi eralduv liigsoojus kJ/h ,
 t_{vt} – väljatõmmatava õhu temperatuur °C ,
 t_s – sissepuhkeõhu temperatuur °C ,
 c – õhu erisoojus 1 kJ/kg = 0,24 kcal/kg ,
 e – ventilatsiooni efektiivsuse koefitsient.

2.2. Niiskuseritised ruumi

Niiskus satub ruumidesse märgadelt pindadelt, lekkivatest seadmetest, inimestelt, gaasi põletamisest jm. Kui seda on ülearu palju, räägime liigniiskusest.

Õhuniiskus mõjub inimesele, kuigi otsene niiskust tunnetav meel inimesel puudub. Kõrget või madalat suhtelist niiskust tunnetab ta hingamisorganite, naha ja limaskestade kaudu. Õhu niiskusesisaldust saab määrata niiske õhu olekudiagrammi abil. Näiteks, kui välisõhku, mille temperatuur on -8°C ja suhteline niiskus 100%, soojendada niiskust lisamata +25°C-ni, väheneb selle suhteline niiskus 10%-ni. Ruumi õhust, mille temperatuur on +20°C ja suhteline niiskus 60%, kondenseerub vesi pinnale, mille temperatuur on alla +12°C.

Meie kliimas on välisõhu niiskus peaaegu alati kõrge. Suvel on ka siseruumides niiske, kuid talvel on köetavates ruumides suhteline niiskus madal – 10...20%. See soodustab limaskestade kuivamist ja sellega kaasnevaid ärritusilminguid, mis ongi kontoritöötajate poolt enim tunnetatav sisekliima puudus.

Suhteline niiskus mõjutab ka teatud mikroobide kasvu ja levikut. Bakterite ja hallitusseente hulk õhus hakkab tunduvalt suurenema kui suhteline niiskusesisaldus ületab 60 – 70% piiri. Hallituse tekkimise risk on eriti suur, kui ehitise tarindid niiskuvad vee läbijooksu, kondenseerumise jms tagajärjel. Õhu ja konstruktsioonide pikaajaline niiskusesisaldus põhjustab tervisehäireid ja ehitise kahjustusi. Seetõttu tuleb märgades ruumides, eriti saunas ja vannitoas, vältida kestva kõrget niiskusesisaldust ning hoolitseda korraliku kuivatamise ja tuulutamise eest.

Kuigi niisket õhku peetakse väga kuivast õhust meeldivamaks ja tervislikumaks, tuleb siseõhu suhtelise niiskuse suurendamiseks niiskuse lisamise teel suhtuda ettevaatlikult. Õhu veega niisutamisel suureneb mikroobide ja hallitusseente eoste hulk nii vahetult niisutusvee kui ka selle vee kondenseerumise tagajärjel. Seetõttu tuleb ohutumaks lugeda auruniisutit, milles kasutatakse puhast vett.

Niiskuseritus inimestelt (g/h) oleneb siseõhu temperatuurist (vt tabel 2.3) ja inimeste tegevusest.

Tabel 2.3. Inimese poolt eritatav niiskushulk g/h

Tegevus	Siseõhu temperatuur t_s °C				
	15	20	25	30	35
Raske töö	185	240	300	355	415
Keskmise raskusega töö	110	140	185	230	280
Kerge töö	55	75	115	150	200
Puhkeseisund	30	35	60	80	115

Niiskuseritus märjalt pinnalt arvutatakse olenevalt pinna suurusest, vee temperatuurist, veeauru osarõhu ja küllastunud veeauru osarõhu vahest ning õhu liikumiskiirusest.

Niiskuseralduste puhul on ruumi nõutav õhuvahetus (m^3/h) EPN 18.3.1 kohaselt määratav valemiga

$$L = \frac{x}{x_p - x_s} 1,2e,$$

kus x – ruumi eralduv liigniiskus g/h ;

x_p – ruumis lubatav niiskusesisaldus g/kg ; ruumi siseõhu suhteline niiskus peab vastavalt EPN 12.2

“Sisekliima” jääma talvel piiridesse 25 – 45% ja suvel 30 – 70%;

x_s – sissepuhkeõhus olev niiskusesisaldus g/kg ;

e – ventilatsiooni efektiivsuse koefitsient.

2.3. Gaasi- ja tolmuertised ruumi

Gaasieritused inimestelt koosnevad peamiselt süsihappegaasist ja vähesel määral orgaaniliste hapete aaurudest. Tehnoloogiliste protsesside käigus võivad erituda erineva koostisega gaasid ja aurud.

Süsihappegaasi eritus inimeste hingamisest sõltub inimeste töö iseloomust (vt tabel 2.4).

Tabel 2.4. Inimese CO_2 eritus

Töö iseloom	CO_2 eritus g/h	CO_2 eritus l/h
Vaimne töö	45	23
Kerge füüsiline töö	60	30
Raske füüsiline töö	90	45
Liikuvad lapsed	24	12

Kerget tööd tegev keskmine inimene eraldab süsihappegaasi umbes 30 liitrit tunnis. Igal põlemisel (küünlad, sigaretid, gaasipliit jm) eraldub samuti süsihappegaasi. Ruumi õhu kõrge süsihappegaasisisaldus viitab puudulikule ventilatsioonile. Kuna hingamisel ja naha kaudu vabanevate saasteainete kogus on võrdeline süsihappegaasi hulgaga õhus, siis iseloomustab selle kontsentratsioon õhu kvaliteeti üldisemalt. Kahjulikuks loetakse CO_2 sisaldust üle 0,5%. Elamutes on põhiliseks eralduvaks aineks süsihappegaas CO_2 , mille ruumist eemaldamiseks vajalik õhuhulk on arvutatav järgmise valemi abil:

$$L = \frac{ng_0}{C_1 - C_0},$$

kus n – inimeste arv eluruumis,

g_0 – CO_2 eraldumine ühelt inimeselt 12 l/h ;

C_1 – CO_2 rahvusvaheliselt aktsepteeritav lubatav kontsentratsioon eluruumides 1800 mg/m^3 ;

C_0 – CO_2 kontsentratsioon välisõhus:

- maa-asulates 450 mg/m^3 ;

- linnades 630 mg/m^3 .

Kahjulike ainete sisaldus ruumide siseõhus peab olema EPN 12.2 “Sisekliima” kohaselt väiksem tabelis 2.5 esitatud väärtustest. Tabelis toodud andmed kehtivad siis, kui vastava hoonetüübi kohta pole kehtestatud erinevaid sisekliima nõudeid.

Tabel 2.5. Kahjulike ainete piirsisaldus ruumide siseõhus

Aine	Mõõtühik	Soojusliku mugavuse klass		
		A	B	C
Formaldehüüd (HCHO)	mg/m^3	<0,03	<0,05	<0,15
Ammoniaak (NH_3)	mg/m^3	<0,02	<0,03	<0,05
Süsihappegaas (CO_2)	mg/m^3	<1800	<2250	<2700
Vingugaas (CO)	mg/m^3	<2	<5	<8

Osoon (O ₃)	mg/m ³	<0,05	<0,07	<0,1
Tolm	mg/m ³	<0,06	<0,06	<0,06
Orgaanilised ained	mg/m ³	<0,2	<0,3	<0,6

Radoon on raadiumi lagunemisel tekkiv radioaktiivne gaas, mis eraldub maapõue kivimitest. Gaasiline radoon tungib ruumidesse kiviaines olevate pooride ja pragude kaudu. Radoon seguneb siseõhuga ühtlaselt. Radioaktiivse radooni eluiga on lühike. Selle lagunemisel tekivad tahked osakesed ja α -kiirgus. Juhul kui lagunemine toimub kopsudes, võib α -kiirgus kopsu kahjustada, kuna ta on γ -kiirgusest ca 20 korda kahjulikum. Radooni peamiseks allikaks siseruumides on maapinnast infiltreeruv õhk, kivist ehitusmaterjalid ja puurkaevuvesi. Kõrget radoonisisaldust tuleb arvesse võtta eriti Põhja-Eesti väikeelamutes ja maa-alustes ruumides. Sissehingatava õhu kõrge radoonisisaldus suurendab kopsuvähki haigestumise riski. Radoonitõrjeks tuleb pinnasega kokkupuutuvd tarindid teha õhutihedaks. Keldripõranda alla tuleb tekitada alarõhk ventilaatori ja pinnasesse paigaldatud torustiku abil. Ventilatsioonisüsteem peab töötama selliselt, et ruumides ei tekiks alarõhku, mis võimaldaks gaasilise radooni sissepääsu. Ventilatsioon – sissepuhe ja väljatõmme - peavad olema tasakaalustatud. Väljatõmbeõhu koguse suurendamine võib õhu radoonisisaldust koguni suurendada. Elu-, puhke- ja tööruumide õhus peab aasta keskmine radoonisisaldus olema väiksem kui 200 Bq/m³ ja gammakiirgus alla 0,5 μ Sv/h.

Gaasi- või aurueritust tehnoloogilistelt seadmetelt tuleb hinnata igal konkreetsel juhul eraldi, kuid kindlasti oleneb see gaaside iseloomust ja rõhust, temperatuurist, auru eritavate pindade suurusest jm.

Ohtlike gaasiliste ainete puhul on nõutav õhuvahetus (m³/h) EPN 18.3.3 järgi määratav valemiga

$$L = \frac{G}{C_p - C_s} 10^6 e,$$

kus G – eralduv ohtlike ainete kogus mg/h;

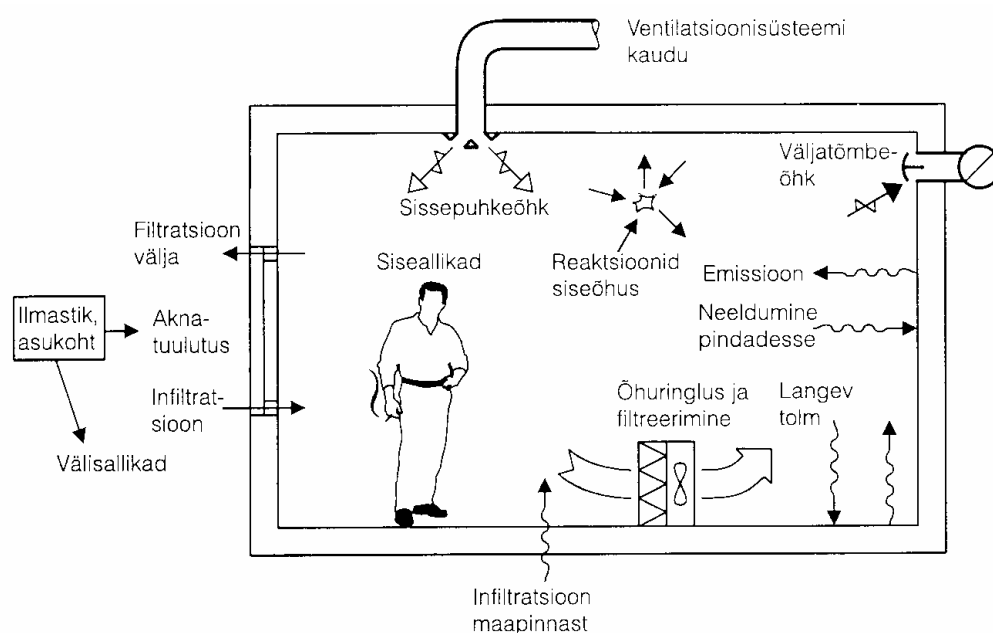
C_p – ohtlike ainete piirkontsentratsioon viibimistsoonis mg/m³;

C_s – vastava paikkonna välisõhus sisalduvate ohtlike ainete piirkontsentratsioon, mis leitakse kohalike mõõtmiste või Tervisekaitseametist saadud andmete alusel mg/m³;

e – ventilatsiooni efektiivsuse koefitsient.

Ventilatsioonisüsteemi tootlikkuseks valitakse punktides 2.1, 2.2 ja 2.3 arvatud õhuhulkadest suurim. Nii kindlustatakse ruumis inimeste viibimistsoonis nõutavad õhukeskkonna parameetrid.

Ruumide siseõhku saastavate ainete pääsu ruumidesse illustreerib joonis 2.1.



Joonis 2.1. Siseõhu saasteallikad

Ehitus- ja viimistlusmaterjalid on paljude saasteainete allikaiks ja neisse võivad imenduda ka teatud saasteained, mis hiljem uuesti õhku sattudes halvendavad õhu kvaliteeti. Näiteks tungib *tubakasuits*, mis sisaldab sadu gaasilises, vedelas, ja tahkes olekus olevaid tervisele ohtlikke saasteaineid, pehmetesse ja kiudmaterjalidesse ning põhjustab hiljem ebameeldiva lõhna. Ka on tehtud kindlaks, et tubakasuitsu sissehingamine (passiivne suitsetamine) soodustab (eriti lastel) kopsuvähi teket. Õhku saab tubakasuitsust puhastada elektri- ja kiudfiltrite abil. Filtrites eraldatakse siiski ainult kübemetena, mitte gaasilises olekus olevad saasteained, mis ärritavad limaskestast samuti nagu kübemedki.

Ruumi õhus hõljuv *tolm* pärineb nii ruumist kui ka väljast tulevast õhust. Sisemised saasteallikad on suitsetamine, lemmikloomad, nahk, riietus, paber, sisetekstiilid, pinnakatteplaadid, lemmikloomad, toiduvalmistamine jm. Pehmed vaipkatted korjavad mustust, mis kuivades ja pulbriks muutudes satub hiljem tolmu õhku.

Välised saasteallikad on liiklus, tööstus, sooja- ja elektritootmine, taimede õietolm jm. Tolm koosneb eri suurusega kübemetest, mis sadestuvad seda aeglasemalt, mida väiksemad nad on. Alla 5 µm läbimõõduga kübemed praktiliselt ei sadene.

Õhu tolmu osade soodustab madal õhu suhteline niiskus, kuna see suurendab paberi- ja tekstiilikiudude eraldumist ning staatilist elektrit. Kõrge suhteline niiskus vähendab õhu tolmu osade ja õhus hõljuvate kübemetest moodustavate suuremaid osakesi, mis langevad pindadele.

Saasteosakeste kahjulikkus tervisele sõltub nende koostisest ja hingamisteedesse kinnitumise kohast. Suured, üle 2 µm kübemed kinnituvad hingamisteede ülaossa. Sellest väiksemad kübemed liiguvad kopsu-sagaraterini, kus mürgained imenduvad kudedesse kergesti.

Asbest on teatud kiudsete silikaatmineraalide kaubanduslik nimetus. Asbestikiud on suure tõmbetugevusega, mittepõlev ja leelisekindel. Kasutatakse tsemendist ja plastist toodete tugevdamiseks, isolatsioonimaterjalina torustike ja katelde soojustamisel, tuletõkkeks, heliisolatsiooniks jm. Asbestimaterjalide purunemisel tekib asbestitolm. Selle kiud on läbimõõduga 0,1 – 0,2 µm ja pikkusega 5 – 20 µm. Hingamisteedesse sattununa jääb kiud sinna püsima ja põhjustab asbestoosi, millest võib kujuneda kopsuvähk. Asbesti ohtlikkuse tõttu on tänapäeval tema kasutamisest täielikult loobutud.

Ehitusmaterjalina kasutatakse paljusid kiudaineid, nagu mineraalvillad, klaasvillad jmt. Neist valmistatakse pikki kiudusid, millest võib kududa lõnga ja kangaid. Ka need kiud pole tervisele ohutud.

Ohtlikuks gaasiks on mittetäielikul põlemisel tekkiv *vingugaas*. Viimane seob sissehingamisel veres hemoglobiini vähendades vere hapnikusidumise võimet. See põhjustab organismis hapnikuvaegust, tekitab peavalu, iiveldust ja muid mürgitusnähtusi. Kuna vingugaas on lõhnata ja värvusetu, siis võib seda mitte märgata enne kui on hilja.

Formaldehüüd on tööstuses laialt kasutatav kemikaal, mis vähesegi sisalduse juures on tervisele kahjulik. Ta eritub puitlaastplaatidest, mitmesugustest kihilistest- ja kattematerjalidest, lakkidest, tekstiilist jm. Erituvad formaldehüüdi kogused sõltuvad õhuniiskusest ja temperatuurist. Siseõhu formaldehüüdisisaldus on kõige kõrgem tavaliselt sügisel kütteperioodi algul, kui siseõhk on niiske. Paljudel materjalidel formaldehüüdi eraldumine aja jooksul väheneb. Formaldehüüdisisaldust siseõhus tuleb hakata mõõtma siis, kui tema lõhn on tuntav.

Õhu kvaliteedi seisukohast on ruumide koristamine ja puhastamine väga olulised. Kahjuks on aga paljud seejuures kasutatavad puhastusained ise saastava toimega.

Saasteained võivad ruumi sattuda välisõhust, inimese enda või ruumi kasutamisega pidevalt seotud tegevusest. Seega pole võimalik saasteallikaid likvideerida, vaid tuleb kasutada ventilatsiooni koos õhu filtreerimisega.

Tähelepanu tuleb pöörata ka ruumi erituvate gaaside, aurude ja tolmu plahvatusohtlikkusele. Ained, mis võivad põhjustada plahvatusohtu on näiteks atsetüleen (võib sattuda ruumi gaaskeevitamisel), vesiinik (akude laadimisel), bensiin (tankimisel), vingugaas (kütuste mittetäielikul põlemisel), metaan (kanalisatsioonist), ammoniaak (külmutusseadmetest, veepuhastusjaamas), lahustid (puhastatud, värvitud, lakitud või muul viisil töödeldud pindadelt) jm. Saasteallikateks võivad olla torustike ja seadmete lekkimised ning nende ühenduste ebatihedused.

Eraldi ohu moodustavad tehnoloogiliste protsesside kaasnähtusena tekkivad tolmut, mis saastavad keskkonda ja võivad saavutada teatud tingimustel plahvatusohtliku kontsentratsiooni. Seda eelkõige suhkru-, tekstiili-, tubaka-, kivisöe- ja mäetööstuses.

Lubatud gaasi kontsentratsioon ruumis on 30% plahvatusohu alumisest piirist.

3. ÕHUVAHETUS RUUMIDES

3.1. Vajaliku õhuvahetuse määramine

Õhuvahetus ruumides peab tagama normdokumentides (näiteks EPN 12.2 Sisekliima) toodud nõuded õhu temperatuurile, niiskusele, gaaside ja muude eritiste kontsentratsioonile. Elu- ja üldkasutatavates hoonetes vajaliku õhuvahetuse määramisel lähtutakse ruumide ventilatsiooni normatiivarvudest (vt tabel 1.1), mis võivad olla väljendatud õhuhulgas l/s inimese või ruumi pinna m² kohta. Ruumi antava värske õhu kogus peab vastama sisekeskkonna ja ventilatsiooni normatiivarvudele, mis üldkasutatavatele ruumidele on määratud EPN 18.3.1 lisas 1, lasteasutuste ruumidele EPN 18.3.3 lisas 6, kooliruumidele EPN 18.3.3 lisas 7.

Tööstushoonetes tuleb juhendada ohtlike ainete piirnormidest töökeskkonnas. Nõutavate õhukeskkonna parameetrite tagamiseks inimeste viibimistsoonis määratakse õhuhulgad arvutuste teel lähtudes ohtlike ainete, liigsoojuse või liigniiskuse eraldumisest ruumis (vt p 2.1, 2.2, 2.3).

Reaalse ekspluatatsiooni tingimustes võib vajaliku õhuvahetuse hulka vähendada vaid ajal kui ruume ei kasutata nende otstarbele vastavalt ja sedagi tingimusel, et see ei kahjusta hoone konstruktsioone ja selles asuvaid tehnoloogilisi seadmeid. Sõltumata inimeste viibimisest ruumides eraldub ehituskonstruktsioonidest ja mööblist pidevalt ohtlikke aineid. Seetõttu tuleb ette näha alaline ventilatsioon 0,2 l/s m², mis takistab saasteainete ja niiskuse kontsentratsiooni tõusu õhus. Inimestest erituvate saasteainete eemaldamiseks vajalik õhuhulk on lisaks 7 l/s inimese kohta.

Ruumides, kus on lubatud suitsetamine, tuleb õhuvahetust suurendada olenevalt ruumis viibivate suitsetajate suhtarvust (tabel 3.1).

Tabel 3.1. Õhuvahetus ruumides, kus on lubatud suitsetamine

Soojusliku mugavuse klass	Õhuvahetuse määr l/s inimese kohta			
	Suitsetajaid ei ole	Suitsetajaid 20%	Suitsetajaid 40%	Suitsetajaid 100%
A	10	20	30	60
B	7	14	21	42
C	4	8	12	24

Õhuvahetuse ruumides toimetab hoone ventilatsioonisüsteem, mis Eestis tuleb rajada kooskõlas EPN 18.3.1 "Hoonete ventilatsiooni projekteerimine". Selles normis käsitletakse ruumides nõutavate õhuparameetrite tagamist vajaliku õhuvahetuse organiseerimisega, arvestades nii sise- kui ka välisõhu arvutuslike parameetritega, maksimaalselt lubatava müratasemega ja tervishoiu- ning ökonoomikanõuetega. Normiga tuleb arvestada ka õhkkütte ja õhu konditsioneerimise kavandamisel.

Vajalikku õhuvahetust võib väljendada ka kordarvuna. Õhuvahetuse kordsus n on kordarv, mis näitab, mitu korda ühes tunnis vahetub õhk ruumis. Vahetuseks vajalik õhuhulk L kuupmeetrites määratakse valemist

$$L = \pm nV,$$

kus V – ventileeritava ruumi maht m³.

Märk "+" näitab ruumi juhivat õhuhulka ja märk "-" väljatõmmatavat õhuhulka.

Näiteks kui eluruumides $n = 0,5$, siis see tähendab, et õhk vahetub ruumis täielikult 2 tunni jooksul.

Ruumides, kus väljatõmme ületab sissepuhke, on siseõhu levimine naaberruumidesse välistatud. Seda on vaja kohtades, kus intensiivselt erituvad ohtlikud ained.

Kui sissepuhe ületab väljatõmbe 10% , siis on välistatud külma õhu sissetungimine läbi ebatiheduste, mis omakorda vähendaks siseõhu soojendamiseks vajalikku soojushulka ja seega küttekulusid.

3.2. Õhuvahetuse korraldamine

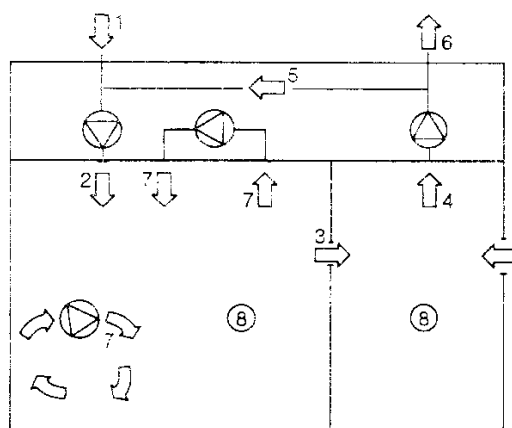
Õhuvahetuse korraldamisel on oluline kus kohast antakse ruumi värsket õhku ja kus kohast eemaldatakse saastunud õhk. Sellest oleneb ruumisviibijate mugavusaste. Üldjuhul soovitatakse väljatõmmet teha järgmiselt:

1. Ruumi ülaosast, kui erituvad õhust kergemad gaasid ja veeaur; või gaasid (sõltumata nende tihedusest) ja palju soojust; või üheaegselt tolmu ja soojust.
2. Üheaegselt nii ruumi üla- kui ka alaosa, kui erituvad õhust raskemad kahjulikud gaasid ja külmal ajal ei eritu oluliselt soojust.
3. Ruumi alaosa, kui ruumi eritub tolmu ilma märkimisväärse soojusteta.

Õhuvahetuses osalevate õhuvoolude nimetused on EPN 18.3.1 kohaselt: välisõhk, sissepuhkeõhk, siirdõhk, väljatõmbeõhk, tagastusõhk, heitõhk, ringlusõhk, ruumiõhk (joonis 3.1).

Õhuvoolude nimetused –

- | | |
|-----------------|---------------|
| 1 välisõhk | 5 tagastusõhk |
| 2 sissepuhkeõhk | 6 heitõhk |
| 3 siirdõhk | 7 ringlusõhk |
| 4 väljatõmbeõhk | 8 ruumiõhk |



Joonis 3.1. Õhuvahetuses osalevate õhuvoolude nimetused

Sissepuhkeõhk on ruumi juhitud õhk. Siirdõhk on ühest ruumist teise juhitud õhk, mis liigub läbi hoone vaheseintes olevate avade, uste või uste alt. Ringlusõhk on ruumi sees ringles pandud õhk, mis liigub vaid ühe ruumi piires selle kütmiseks või jahutamiseks. Seda on soovitatav peenfiltreerida, näiteks puhastamiseks tubakasuitsust või bakteritest. Väljatõmbeõhk on ruumist eemaldatav õhk. Tagastusõhk on sissepuhkeõhuks tagastuv õhk ja see võib olla üks osa ruumi ventileerimiseks kasutatavast õhust, teine osa peab olema välisõhk. Osa väljatõmbeõhu soojusest kandub niiviisi üle sissepuhkeõhule. Tagastusõhku ei tohi võtta ruumist, mille õhus on ohtlikke aineid, häirivaid lõhnu, haigust tekitavaid baktereid, viiruseid ja seeneosakesi. Heitõhk on hoonest eemaldatav õhk. Filtratsiooniõhk on tuule või temperatuurierinevuste toimel läbi hoone piirete voolav õhk.

Ruumides, kus ohtlike ainete eraldumine toimub kogu ruumi ulatuses, tuleb ette näha kogu ruumi haarav üldventilatsioon. Ruumides, kus ei ole lubatud ohtlike ainete levimine kõrvalruumidesse, tuleb luua alarõhk. Kõrvalruumides tuleb luua ülerõhk, mis kindlustab õhu liikumise puhtama keskkonnaga ruumidest vähempuhtamate poole.

Ruumides lokaalselt erituvate ohtlike ainete, liigsoojuse ja liigniiskuse korral tuleb ette näha kohtäratõmme, mille õhuhulk määratakse nii, et võimalikult suurem osa ohtlike ainete oleks eemaldatav tekkekoha vahetus läheduses, arvestades nende loomuliku liikumise suunda. Vajaliku õhukoguse selleks peab tagama ruumi üldventilatsioon. Kohtventilatsiooni süsteeme, mille väljatõmmatav õhk sisaldab ohtlikke või plahvatusohtlikke aineid, ei ole lubatud ühendada üldventilatsiooni süsteemidega.

3.3. Õhu liikumise aerodünaamilised alused

Erinevalt vedelikest, mida võib pidada praktiliselt kokkusurumatuteks, muutub gaaside ruumala rõhu ja temperatuuri muutudes tunduvalt. Seetõttu tuleb hüdromehaanika seadusi rakendada gaaside kohta ettevaatlikult. Erinevusi tuleb hakata arvestama kui õhu liikumiskiirus saab võrreldavaks helikiirusega. Siis tuleb arvestada gaaside kokkusurutavust, mida me vedelike puhul ei võtnud arvesse.

Ventilatsioonisüsteemides liikuva õhu kohta kehtivad nii vooluhulga pidevuse kui ka Bernoulli'i võrrand. Viimasesse lisandub neljas liige, mis arvestab kõrgus-, piesomeetrilise- ja kiirussurve kõrval ka temperatuurist tingitud rõhku:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + \frac{RT}{g} = \text{const.}$$

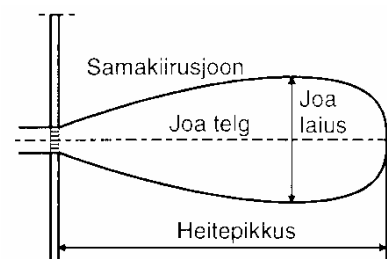
Organiseeritud õhuvahetuse käigus toimub pidev õhuosakeste ümberpaigutumine ruumis, mida mõjutavad ventilatsiooniavade paigutus ja kuju, õhu väljavoolu kiirus ja suund, konvektiivsed õhuvoolud jm. Õhu liikumine muudab kahjulike eritiste kontsentratsiooni ruumis teisel dades soojust, gaase ja tolmu. Ruumis moodustuvad temperatuuri, õhu liikumiskiiruste ja saastekontsentratsioonide väljad, mille mõju töötoonile tuleb arvestada.

Õhu liikumise põhiliseks viisiks on juga, mis on lõplike mõõtmetega õhuvool. Õhujuga kujutatakse sissepuhkeõhu samakiirusjoonena (joonis 3.2). Heitepikkus on kaugus sissepuhkeavast kohani, kus õhu kiirus on langenud valitud piirkiirusele, mis tavaliselt on kas 0,2 või 0,25 m/s. Õhujoa laiuse ja kõrguse määrab sissepuhkeavade konstruktsioon.

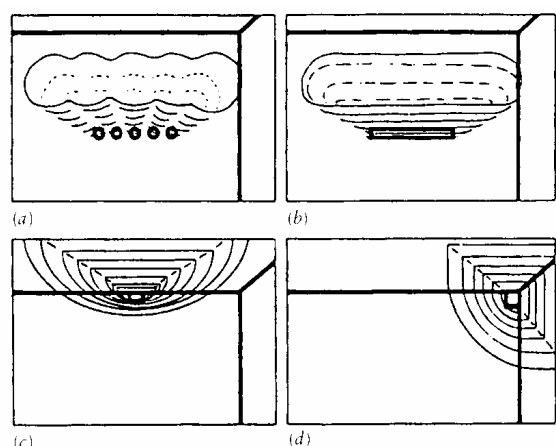
Vabad joad on sellised, mis voolavad lõputute mõõtmetega ruumi ja nende vabaks arenguks puuduvad takistused. Kui ehituskonstruktsioonid või mööbel takistavad joa arengut, on tegemist kitsendatud joaga. Näiteks laega paralleelset sissepuhuvat juga, mida ülalt piirab tasapind, nimetatakse kaetud joaks (joonis 3.3 b ja c). Ümarast avast väljuv juga on kompaktne, kogu ulatuses sümmeetriline koonus tipunurgaga 25° (joonis 3.4 a).

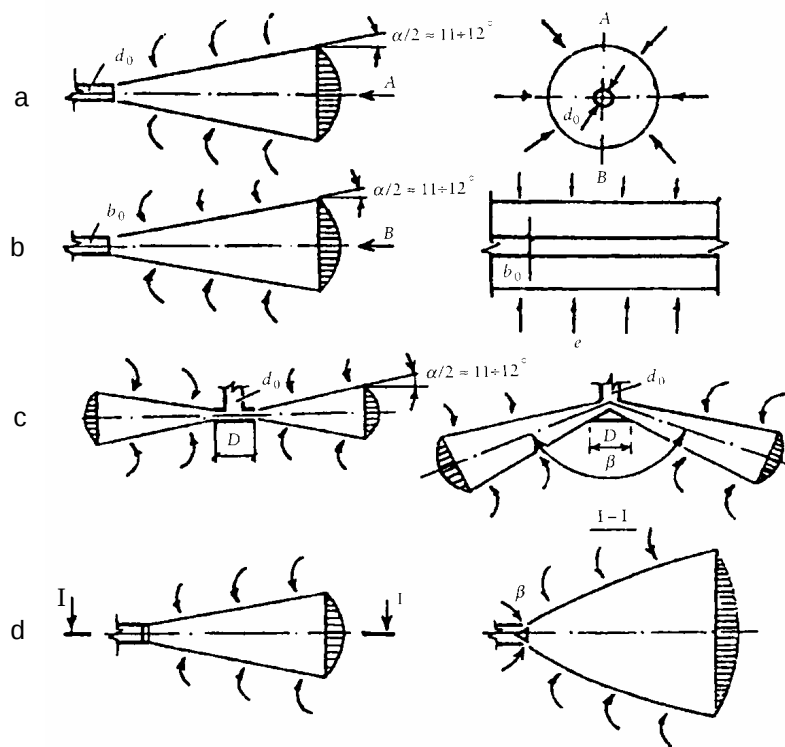
Ristkülikukujulisest avast väljuv õhujuga deformeerub algul elliptiliseks ja alles siis telgsümmeetriliseks ümarjoaks (joonis 3.3 c ja d). Lamedaks joaks nimetatakse pilust (laiuse ja pikkuse suhe üle 20) väljuvat juga (joonised 3.3 b ja 3.4 b). Ka see juga muutub teatud kaugusel telgsümmeetriliseks. Kui ümarast sissepuhkeavast tulevat juga hajutada koonuse või tasapinnaga, siis võib saada, olenevalt koonuse tipunurgast, nii lehvik- kui ka rõngasjoa (joonis 3.4 c) või koonilise joa (joonis 3.4 d).

Joonis 3.2. Õhujoa elemendid



Joonis 3.3. Õhujoad ruumi – ümaratest avadest (a), pilust (b), ristkülikukujulistest avadest (c) ja (d)





Joonis 3.4. Õhujoad ja õhu kiiruse epüürid: *a* – kompaktne, *b* – lame, *c* – lehvik ja rõngas, *d* – kooniline

Ventilatsioonijuga, mis suundub õhuga täidetud ruumi, on uputatud juga.

Sõltuvalt õhu liikumise iseloomust võib juga olla kas laminaarne või turbulentne (analoogselt vedelikujoale alates Reynoldsi arvust 4000). Ventilatsioonis on tegemist turbulentsete jugadega, mis võivad oma temperatuurirežiimilt olla kas isotermilised või mitteisotermilised. Isotermiline juga on oma põiklõikes konstantse temperatuuriga. Ventilatsioonitehnikas on 90% jugadest mitteisotermilised.

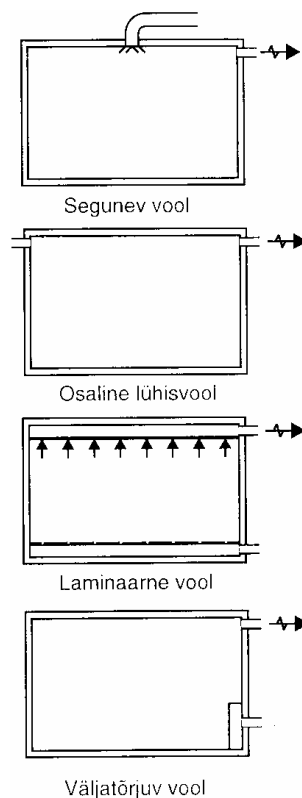
Jugade teooria abil modelleeritakse õhu liikumist ruumis. Lõplike mõõtmetega ruumis formeerivad kiirusvälja 90% ulatuses sissepuhkejoad, mis ongi ruumisviibijate olulisimad mõjutajad.

3.4. Õhujaotus ruumides

Õhujaotuse all mõistetakse sissepuhkeõhu juhtimist ruumi ja heitõhu eemaldamist ruumist. Õhujaotuse hulka kuuluvad sissepuhke- ja väljatõmbeseadmed ning nende poolt tekitatud õhuvoolud ruumis. Õhujaotusel on kogu ventilatsiooni korraldamisel keskne osa, sest vead õhujaotuse korraldamisel võivad nullida ka kuitahes efektiivsete ja kallite ventilatsiooni-seadmete töö.

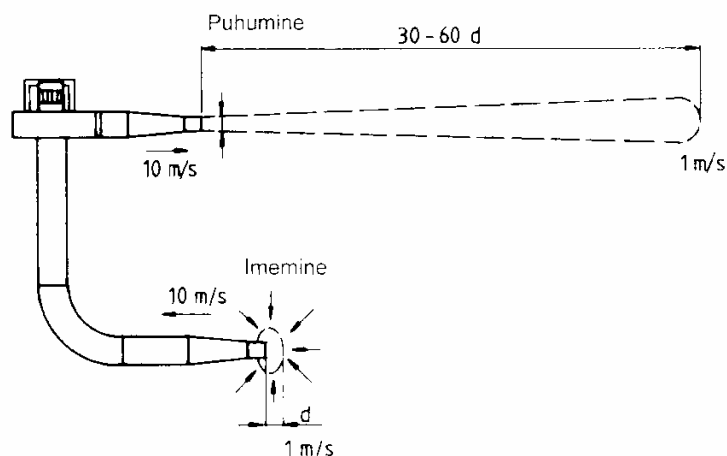
Head õhujaotust iseloomustab see, et õhk inimeste viibimistsoonis vahetub kiiresti, ruumis tekkivaid saasteaineid ei lasta levida samas ruumis ega tungida teistesse ruumidesse, saasteained eemaldatakse ruumist kiiresti, milleks suunatakse õhuvool saasteainete tekkekohast tõmbeseadmetesse.

Õhujaotuse põhimoodused on toodud joonisel 3.5.



Joonis 3.5. Õhujaotuse põhimoodused

Joonis 3.6. Sisepuhke õhujoa ja väljatõmbe mõju



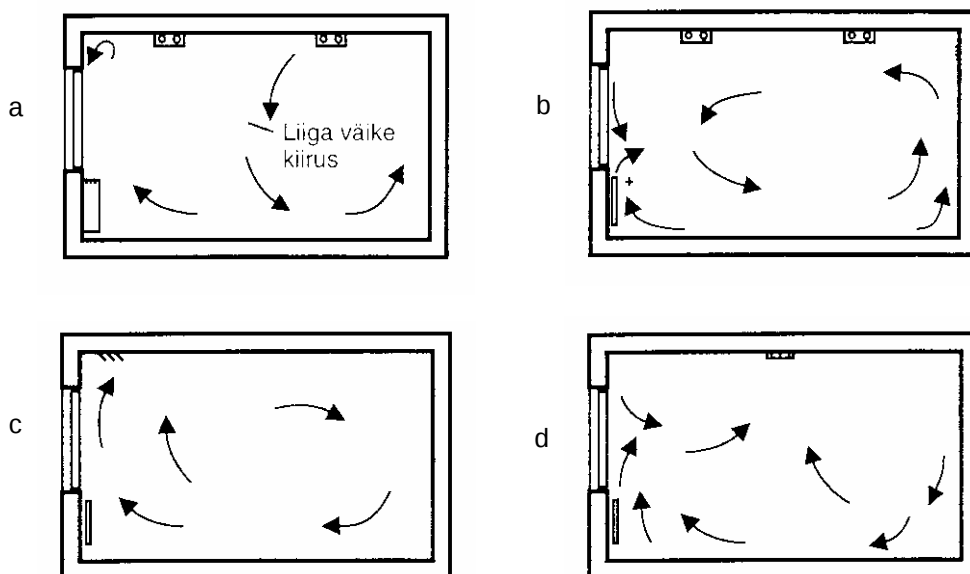
Kõige levinum on segunev õhujootus, kus sisepuhkeõhk kiiresti ja ühtlaselt segatakse ruumi õhuga. Selleks on vaja õhujugasid, mille kiirus vahetult pärast sisepuhkeseadet on suur. Ruumi vooluväli moodustub peamiselt sisepuhkeseadmete toimest. Väljatõmbeseadmete mõju on väike (joonis 3.6). Segunevaid õhuvoole tekib ka temperatuurierinevustest, mis painutavad õhujuga üles- või allapoole. Konveksioonivoole tekitavad näiteks kalorifeerid, aknad, elektriseadmed jm.

Väljatõrjuva õhujootuse puhul tuuakse jahe puhas sisepuhkeõhk inimeste viibimistsooni. Soe saastunud õhk tõuseb üles ja eemaldatakse. Ruumis tekivad vertikaalsuunalised temperatuurierinevused.

Lühisvoolu korral satub osa sisepuhkeõhust otse väljatõmbeseadmetesse. Sellist olukorda peaks vältima. Laminaarset õhujootust kasutatakse õhu puhtuse ja liikumiskiiruse suhtes väga nõudlikes ruumides nagu näiteks operatsioonisaalides. Eeldab väga suuri õhuhulki.

Mõned näited õhujootuse kohta ruumides on toodud joonisel 3.7. Õhu andmine akna alt (joonis 3.7 a) kõrvaldab madalate temperatuuride puhul efektiivselt akna põhjustatud külmavoolu. Õhk tuleks juhtida kaldrestil abil akna suunas. Sel viisil välditakse talvel külma õhu valgumist aknast alla ja suvel saavutatakse õhu tungimine kaugemale ruumi. Õhu kiirus joas peab olema piisav, et õhuvool kataks kogu viibimistsooni. Sellist õhujootust kasutatakse kuni ruumi sügavuseni 6 m. Lühikese joa korral jääks osa ruumist piisava õhuvahetusega.

Andes õhku koridoriseinalt (joonis 3.7 b), võib akna läheduses asuvatel töökohtadel kergesti tekkida tõmbus. Sisepuhkejoea ja akna ning küttekeha konveksioonivoolude koosmõju tekitab kergesti tõmbust keset ruumi. Ruumi jahutamise korral tekitab soe aknapind konveksioonivoolu, mis põrgates vastu sisepuhkejuga, võib pöörata mõlemad voolud alla ja põhjustada sellega tõmbust. Ruumi kütmise korral võib sisepuhkejuga võimendada külma õhuvoogu piki aknapinda ja põhjustada põranda lähedal tõmbust.

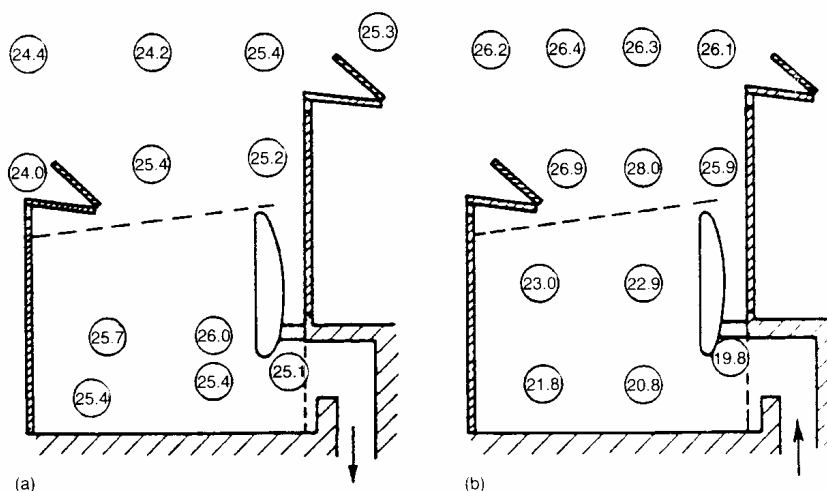


Joonis 3.7. Õhujootus ruumis erinevate sisepuhete korral

Välisseina juurest puhumine (joonis 3.7 c) tekitab ühtlase õhuvoolu kogu ruumis. Selline õhugaotus sobib nii ruumi jahutamiseks kui ka kütmiseks. Joa pikkus peab ulatuma sisseinani, et toimuks õhu piisav segunemine. Aknast tulevat külma voolu välditakse akna alla paigutatud küttekeha või aknakonstruktsiooniga.

Õhu andmist keset ruumi paiknevast õhugaoturist (joonis 3.7 d) sobib kasutada ruumi jahutamiseks. Kütmiseks selline õhu andmine ei sobi kuna põhjustab kergesti õhu kihistumist. Välispiirete juures võivad tekkida tugevad õhuvoolud. Seda meetodit kasutatakse ennekõike suurte ruumide – saalide, restoranide, auditoriumide jm – ventileerimiseks. Mugava sisekliima tagamiseks kasutatakse nendes ruumides ka nn istmepuhet, kus sissepuhkeseadmed on ühitatud mööbli või muude esemetega. Nende abil võib sissepuhke õhuhulka, võrreldes lae sissepuhkega $10 - 15 \text{ m}^3/\text{h}$ inimese kohta, vähendada kuni $7 - 9 \text{ m}^3/\text{h}$, kusjuures õhu kvaliteet hingamistsoonis jääb samaks. Joonisel 3.8 on toodud temperatuurijaotus $^{\circ}\text{C}$ auditoriumi ühe istekoha piires erinevate, ülalt alla (a) ja alt üles (b), õhugaotuste puhul.

Joonis 3.8. Temperatuurijaotus istekoha piires ülalt alla (a) ja alt üles (b) sissepuhke korral



4. ÕHU TÖÖTLEMINE

Ventilatsiooniks kasutatava välisõhu omadused ei vasta sageli ruumidesse juhitava õhu nõuetele. Suurlinnades on õhk tolmu, sisaldades mitmesuguse koostise ja suurusega osakesi. Talvel on välisõhk liialt külm ja väikese niiskusesisaldusega, suvel aga liialt soe ja niiske.

Ka ventilatsioonisüsteemide heitõhk vajab puhastamist. Eriti selliste tööstuste heitõhk, mis on saastatud tolmu, kahjulike gaaside või mürgiste aurudega. Mõnikord tasub heitõhust eraldada kaasahaaratud väärtuslikke materjale.

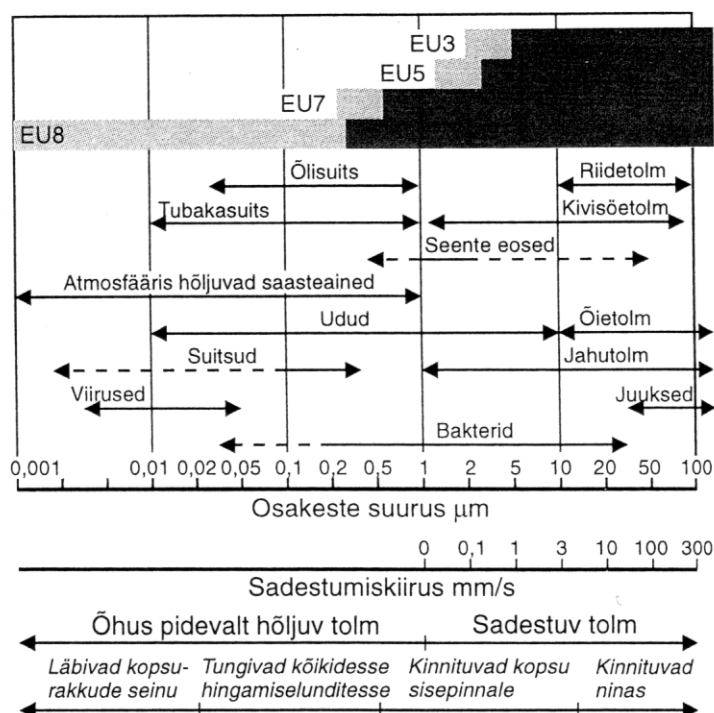
Eristatakse õhu mehaanilist, keemilist ja termodünaamilist töötlemist. Mehaaniline töötlemine kujutab endast tolmu eraldamist nii õhu puhastamise kui ka tolmu kogumise eesmärgil. Keemilise töötlemise eesmärgiks on õhku desinfitseerida ja desodoreerida. Õhu termodünaamilise oleku muutmine tähendab õhu soojendamist või jahutamist ja niisutamist või kuivatamist.

4.1. Õhu puhastamine

Õhu puhastamiseks tolmust mõjutatakse tolmuteri hõõrde-, raskus-, tsentrifugaal- või elektrostaatiliste jõududega. Millist neist jõududest rakendada, sõltub tolmu kontsentratsioonist, koostisest ja terajämedusest.

Saasteosakeste omadusi iseloomustab nende suurus. Sellest sõltub osakeste käitumine nii hingamiselundites kui ka õhupuhastusseadmetes. Tervisele kõige kahjulikumad on alla $2 \mu\text{m}$ suuruselised osakesed. Suuremad osakesed jäävad kinni ülemistes hingamisteedes ega liigu kopsu. Üle $10 \mu\text{m}$ suuruselised osakesed on soodsates tingimustes nähtavad palja silmaga. Nad sadestuvad suhteliselt kiiresti ja neid leidub tavaliselt vaid tekkekoha läheduses. Väiksemad osakesed on nähtavad vaid suures kontsentratsioonis. Näiteks tubakasuits, mille osakeste keskmine suurus on $0,5 \mu\text{m}$, on suures kontsentratsioonis palja silmaga hästi nähtav.

Õhus enamlevinud osakeste suurusest annab ülevaate joonis 4.1. Samal joonisel on näha erinevate osakeste sadestumiskiirus ja filtrite kasutamiskiirkonnad.



Joonis 4.1. Saasteosakeste suurus ja omadused

Nii välisõhk kui ka tagastusõhk tuleb enne ruumidesse juhtimist puhastada tolmu kõrge puhastusastmega filtrites. Filtrid paigaldatakse välisõhu võtmisel süsteemi esimese elemendina ja heitõhu puhastamisel enne soojatagastit. Filtreid katsetatakse nii üldventilatsioonis kui ka õhu konditsioneerimiseseadmetes ühtse meetodika BS6540 järgi vastavalt Euroopa standardile EN779:1993. Filtrid jaotatakse vastavalt puhastusastmele jäme-, peen- ja mikrofiltriteks. Jämefiltrid on EU klassid 1 kuni 4 ja nad suudavad kinni pidada näiteks suuremad õietolmu osakesed. Peenfiltrid EU klassid 5 kuni 9 eraldavad õhust õietolmu täielikult aga ka söetolmu, õliudu, tubakasuitsu jm. Filtrite valimisel saaste iseloomu ja nõutava filtreerimisklassi järgi tuleb juhendada EPN 18.3.1 lisadest 6 ja 7. Välisõhu puhul on nõutav minimaalne filtreerimisklass EU 3 ja sissepuhkeõhu ning tagastusõhu puhul EU 7. Kõrgema klassi filtreid (alates EU 6-st) tuleb kaitsta vajadusel eelfiltriga.

Filtrit läbiva õhuvoolu rõhk langeb, eriti mustunud filtris. Filtrite lubatud rõhukaod leiab tavaliselt tootjafirma juhendmaterjalidest. Nende puudumisel kasutatakse projektis ventilatsioonisüsteemi rõhukao määramisel filtri keskmist arvutuslikku rõhukadu (tabeli viimane rida).

Tabel 4.1. Rõhukadu filtrites

Filtri klass	EU 3	EU 4	EU 5	EU 6	EU 7	EU 8
Algrõhukadu (puhas) Pa	50	50	60	75	80	100
Lõpprõhukadu (vahetus) Pa	180	180	250	280	280	300
Soovitav arvutuslik rõhukadu Pa	100	100	140	150	160	180

Väljatõmbesüsteemide õhk, mis sisaldab suurel hulgal tolmu, tuleb enne atmosfääri juhtimist puhastada tasemini, mis kindlustab, et peale hajumist ei teki maapinna lähedal lubatavast suuremaid ohtlike ainete kontsentratsioone.

Välisõhu puhastamiseks kasutatakse mitmesuguseid riie-, paber-, täidis- ja õlifiltreid. Õhufiltri tavaline paigalduskoht on välisõhu voolus, näiteks konditsioneer esimese elemendina ja heitõhus enne soojatagastit. Sageli piisab, kui juhtida õhk läbi niisutuskambri, kuhu pihustatakse vett. Niisutuskambris kaasneb õhu puhastamisega ka selle niisutamine ja temperatuuri alanemine.

Õhu puhastamise efektiivsust hinnatakse puhastusastmega (puhastusteguriga):

$$h = \frac{a - b}{a} 100\%,$$

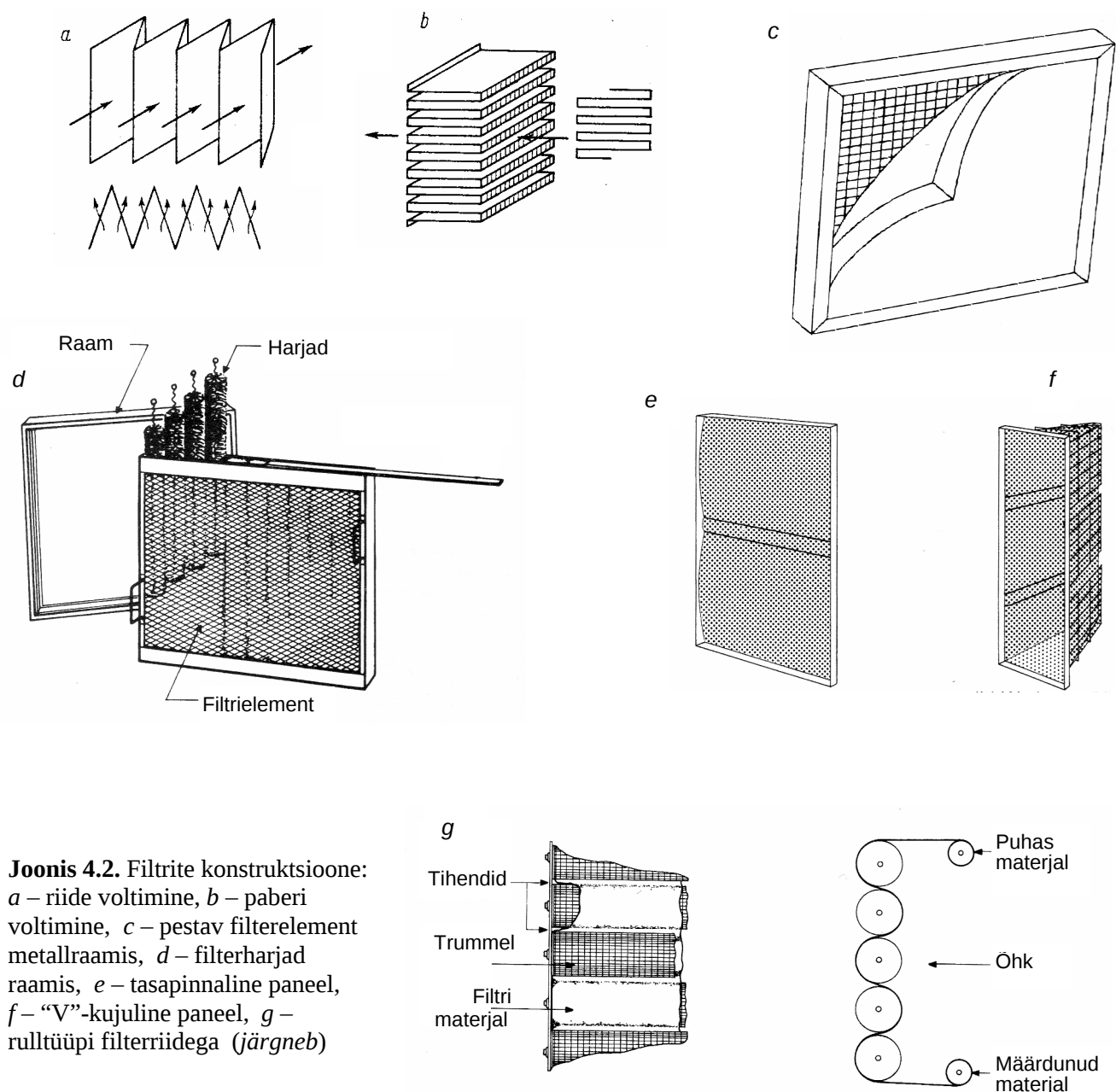
kus a – tolmu kontsentratsioon õhus enne püüdurit mg/m^3 ;
 b – tolmu kontsentratsioon õhus pärast püüdurit mg/m^3 .

Eristatakse väikese (kuni 50 mg/m^3), keskmise (kuni 500 mg/m^3) ja suure (üle 500 mg/m^3) tolmusisaldusega õhku. Kui on vaja saavutada õhu kõrget puhastusastet, siis kasutatakse mitmeastmelist puhastamist.

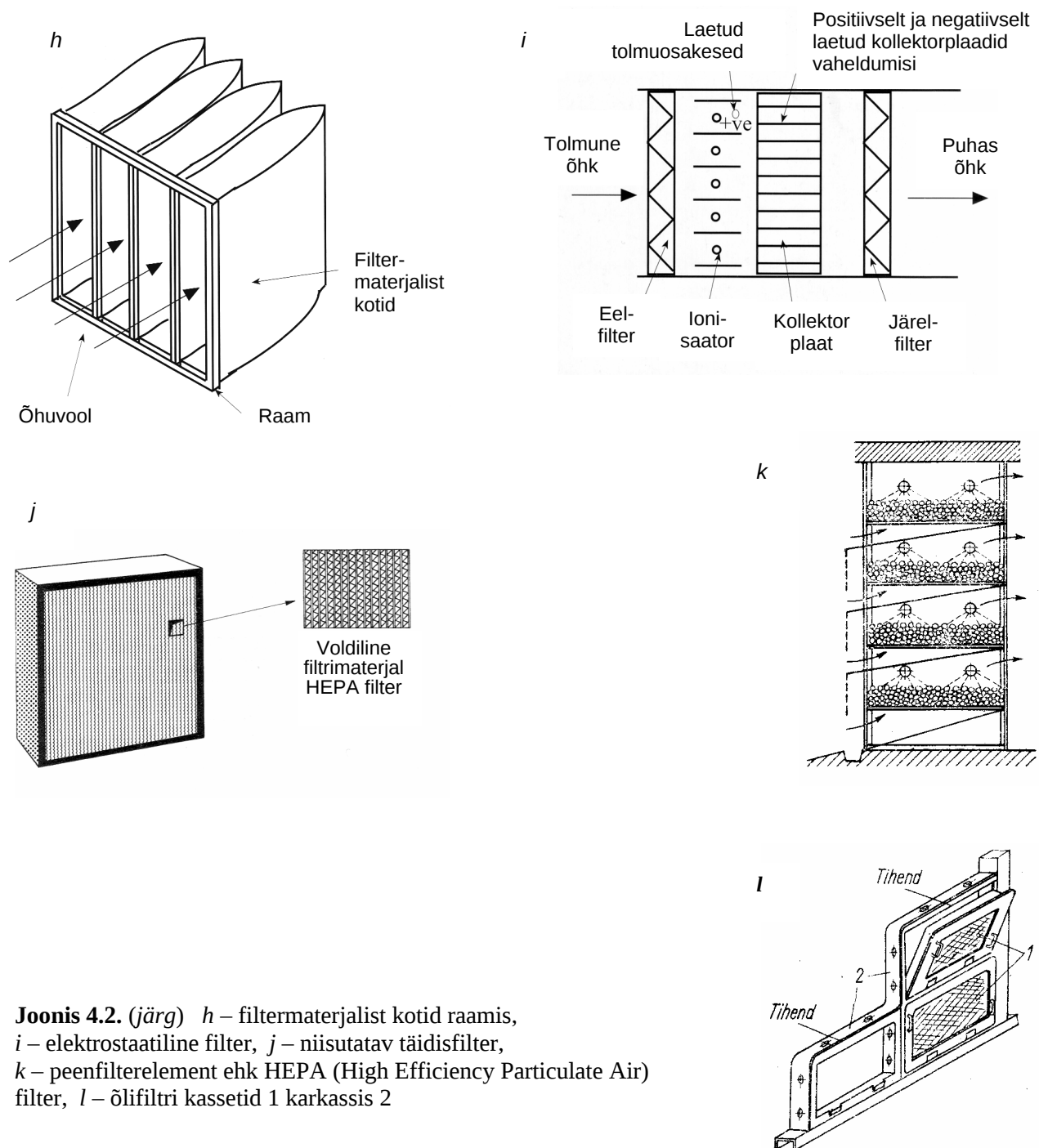
Õhu puhastamiseks kasutatavate filtrite konstruktsioone on toodud joonisel 4.2.

Riidest filtrid. Kui juhtida õhku läbi tiheda riide, siis jääb sinna pidama suur osa õhus sisalduvast tolmust. Mida karvasem on riie, seda suurem on tema puhastusvõime. Riide pooridesse pidama jäänud tolmu vähendab pooride läbimõõtu, suurendades seega filtri puhastusvõimet. Pooride täitumisel tolmuga kasvab filtri takistus ja ka filtreerimisrõhk. Suurenenud rõhu tagajärjel surutakse lõpuks osa tolmu läbi riide ja sellega langeb järsult õhu puhastusaste.

Väikeste filtreerimiskiiruste juures annavad riidest filtrid kõrge õhu puhastusastme. Filtreerimiskiiruse vähendamiseks on vaja suure pindalaga filtrit, mille saamiseks on vaja riidekangast voldida (joonis 4.2 *a*). Filtreerimispinna suurendamiseks valmistatakse filtrimaterjalist kotid. Konditsioneeris õhufilter koostatakse $60 \times 60 \text{ cm}$ moodulitest (joonis 4.2 *h*). Tolmuga saastatud filtrit saab puhastada kas kloppimisega või tolmuimejaga, kuid mõlemad viisid on tülikad.



Joonis 4.2. Filtrite konstruktsioone:
a – riide voltimine, *b* – paberi
 voltimine, *c* – pestav filterelement
 metallraamis, *d* – filterharjad
 raamis, *e* – tasapinnaline paneel,
f – “V”-kujuline paneel, *g* –
 rulltüüpi filterriidega (järgneb)



Joonis 4.2. (järg) *h* – filtermaterjalist kotid raamis, *i* – elektrostaatiline filter, *j* – niisutatav tädisfilter, *k* – peenfilterelement ehk HEPA (High Efficiency Particulate Air) filter, *l* – õlifiltri kassetid 1 karkassis 2

Paberfiltrid. Paberfiltreid ei puhastata. Suurema pinna saamiseks paber volditakse (joonis 4.2 b).

Tädisfiltrid. Tolm jääb pidama tädismaterjali pikkades ja keeruka kujuga poorides. Kuiv tädismaterjal (vatt, poorsed plastid, koks, šlakk, peen killustik jm) paigutatakse kahe poorsest materjalist plaadi või võrgu vahele.

Kasutatakse ka niisutatavaid tädisfiltreid, kus tädismaterjali (keraamika jm) piserdatakse pihustatakse veega (joonis 4.2 j). Tolm pestakse tädiselt veega maha ja seda pole vaja puhastada ega asendada. Niisutatava filtri puuduseks on külmumisoht ja vahel ka mittevajalik filtreerimisega kaasnev õhu niisutamine.

Õlifiltrid. Niisutades filtreerivat materjali mitte veega vaid viskoosse õliga, saab tunduvalt tõsta õhu puhastusastet. Õlifiltritega saavutatakse puhastusaste ? = 90 ... 95% . Õlifiltrite konstruktsioone on mitmeid – perforeeritud teraslehtedest filtrid, kassetfiltrid (joonis 4.2 l) jm. Kassetid on puhastamiseks eemaldatavad.

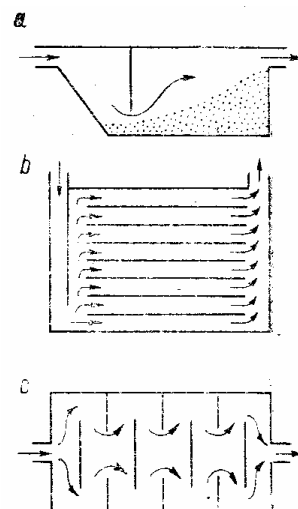
Neid pestakse kuuma soodalahusega. Õlina kasutatakse ilma lõhnata, madala külmumistemperatuuriga õlisid (värtnaõli, parfümeeriaõlid jm).

Elektrostaatiliste jõudude abil võib kinni pidada tolmu. Rida plaste laaduvad hõõrdumise tulemusena staatilise elektrilaenguga ja tõmbavad enda külge tolmu. Toodetakse plastniitidest kangaid, mis on suutelised kinni pidama nii peeneid tolmuosakesi, mida teised filtrid kinni ei pea (joonis 4.2 i).

Heitõhu puhastamine on oluline atmosfäärse õhu puhtuse tagamiseks. Mõnigi kord tagastatakse väljatõmmatavast õhust eraldatud väärtuslikud ained (jahu, kriit, talk, tubakatolm jm) uuesti kasutusse. Osa väljatõmbeõhku saab korduvalt kasutada tagastusõhuna, säästes sellega soojusenergiat välisõhu ettesoojendamiseks.

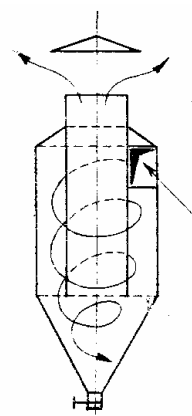
Väljatõmbeõhu puhastamiseks kasutatakse tolmusadestuskambreid, inertstolmupüüduid, tsükloneid, isepuhastuvaid varrukfiltreid, ja elektrifiltreid. Viimastes antakse tolmuosakestele laeng ühelt elektroodilt ja seejärel tõmmatakse see vastasmärgilise laenguga elektroodi külge. Elektrifiltrid on õigustatud suurte õhuhulkade korral. Nad vajavad suuri kapitaalmahutusi ja elektrienergiat 0,2 kW 1000 m³/h puhastatava õhu kohta.

*Sadestuskambri*d on sellised tolmueraldid, kus õhukiiruse järsu vähenemise tulemusena sadestuvad tolmuosakesed raskusjõu toimele kambri põhja. Sadestuskambri põiklõige peab olema küllalt suur (joonis 4.3. a), et vähendada õhu kiirust alla 0,5 m/s. Konstruksioonilt kompaktsemad on riiulkambri (joonis 4.3. b) ja labürintkambri (joonis 4.3. c), mille puhastusaste ulatub ? = 70 ... 85%. Sadestuskambreid kasutatakse tavaliselt esimese astme puhastina jämedate tolmufraktsioonide kinnipidamiseks.



Joonis 4.3. Tolmusadestuskambri: a – tavaline, b – riiulkamber, c – labürintkamber

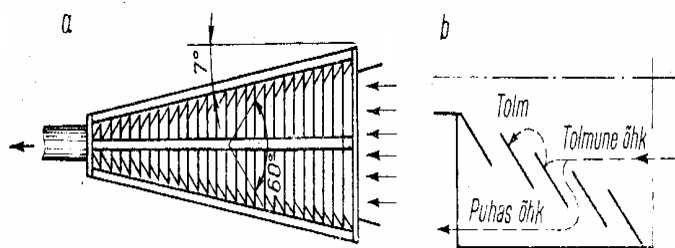
Tsüklonid on tsentrifugaaljõudude toimele töötavad tolmueraldid (joonis 4.4). Õhk suunatakse silindrilisse tsüklonisse mööda puutujat ja ta liigub tsükloni rõngaskorpuses spiraalselt. Tsentrifugaaljõudude toimele surutakse tolmuosakesed vastu tsükloni välisseina, kus nad hõõrdumise tõttu aeglustavad oma liikumist ja sadestuvad tsükloni põhja. Puhastatud õhk eemaldatakse tsüklonist sisetoru kaudu ja juhitakse atmosfääri. Kooniline plekist katus tsükloni kohal kaitseb ava tuule sissepuhumise eest. Mida väiksem on tsükloni läbimõõt, seda väiksemaid tolmuosakesi ta suudab sadestada ja seda suurem on saavutatav õhu puhastusaste. Seetõttu kasutatakse sageli ühe suure tsükloni asemel väikestest (läbimõõduga 40 ... 250 mm) tsüklonitest koosnevaid patareisid, mida nimetatakse multitsükloniteks. Kasutatakse ka niisutatavaid tsükloneid, kus puhastusastme suurendamiseks pritsitakse seintele vett, mille külge tolm paremini kleepub.



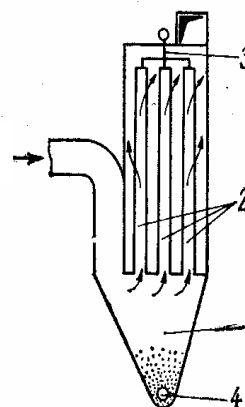
Joonis 4.4. Tsüklon

Inertstolmupüüdurid valmistatakse järjest väheneva läbimõõduga koonilistest rõngastest (joonis 4.5). Tolm, põrkudes vastu rõngaste kaldpinda, suundub tolmueraldi keskmesse paigaldatud tolmu kogurisse. Puhastatud õhk väljub rõngaste pilude vahelt. Raskete tolmuosakeste puhul saavutatakse 90 ... 95% puhastusaste. Inertstolmupüüdur võib töötada nii ventilaatori survepoolel kui ka imipoolel. Sageli kasutatakse tolmu püüduid ühendatuna järjestikku tsüklonitega.

Joonis 4.5. Inertstolmupüüdur: *a* – üldvaade, *b* – tolmu eraldamise skeem



Varrukfiltreid kasutatakse tavaliselt väärtsuliku tolmu püüdmiseks. Tolmune õhk imetakse õhutorust punkrisse, mille kohal asub kapp riidest varrukataoliste silindriliste kottidega (joonis 4.6). Kotid on ülemist otsa pidi kinnitatud mehaanilise raputusseadme külge, mis raputab aeg-ajalt kottidest nendesse kogunenud tolmu välja. Varrukfiltrites on saavutatav õhu puhastusaste kuni 99%.



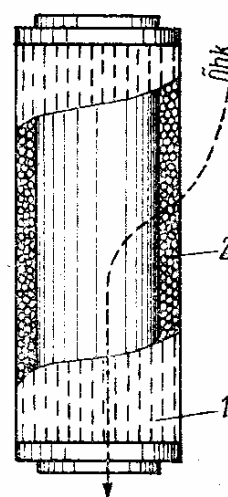
Joonis 4.6. Varrukfilter: 1 – tolmpunker, 2 – varrukad, 3 – raputusseade, 4 – luuk tolmu eemaldamiseks

Tolmupüüduritena on kasutusel ka vahtpesurid, milles õhku pestakse suure aktiivse pesemispinna saamiseks vahutava veega. Ultraheli toimel töötavad õhupuhastid liidavad väga peened tolmuosakesed suuremateks, mille kinnipüüdmise õhust teiste filtritega ei valmista raskusi.

Õhu desodoreerimine ja desinfitseerimine

Ebameeldivate lõhnade eemaldamiseks ja õhu desinfitseerimiseks kasutatakse osooni. Kahjuks ületavad lõhnade eemaldamiseks vajalikud osooni kogused sageli osooni lubatava kontsentratsiooni õhus.

Praktikas kasutatakse õhu desodoreerimiseks laialdaselt aktiivsöefiltreid (joonis 4.7).



Joonis 4.7. Aktiivsöefiltri padrun: 1 – filtri perforieeritud plekist korpus, 2 – aktiivsüsi

Kahjulike gaaside ja aurude eemaldamiseks õhust kasutatakse mitmesuguste neutraliseerivate keemiliste ühenditega immutatud filtreid.

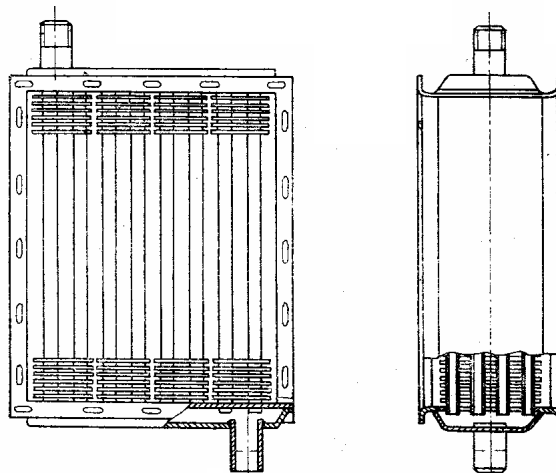
Õhu desinfitseerimiseks on kasutusel õlifiltrid, kus õli hulka on segatud bakteritsiidse toimega aineid. Kui heitõhk sisaldab haigustekitavaid baktereid, siis peab sellist õhku enne atmosfääri juhtimist kuumutama temperatuurini 250 ... 300°C. Selleks kasutatakse spetsiaalseid elektrisoojendeid.

4.2. Õhu soojendamine ja jahutamine

Talvel on ventilatsiooniks võetava välisõhu temperatuur tunduvalt madalam siseõhu temperatuurist ja teda tuleb enne ruumi juhtimist soojendada. Seadmeid õhu soojendamiseks nimetatakse *kalorifeerideks*.

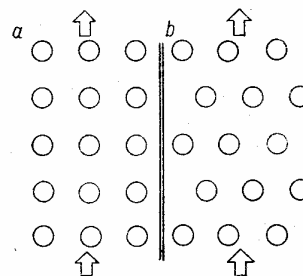
Soojuskandjana kasutatakse kalorifeerides suitsugaase, auru, vett, gaasi ja elektrit. Kalorifeeri materjaliks on peamiselt teras, harvemini malm, vask või alumiinium.

Plaat-ribikalorifeer koosneb kahest jaotuskarbist, mis on ühendatud ribitorudega (joonis 4.8). Jaotuskarpide abil jaotatakse soojuskandja võrdselt soojendustorude vahel. Ühte karpi antakse kuum soojuskandja ja teisest eemaldatakse jahtunud soojuskandja.



Joonis. 4.8. Plaatkalorifeer

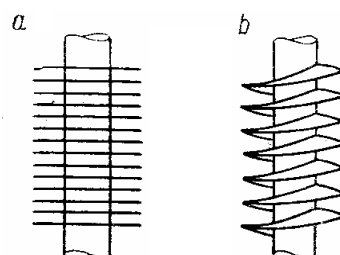
Ribitorud võivad kalorifeeris paikneda kas koridoridena või malekorras (joonis 4.9). Ribiplaadid on kas ümmargused või kandilised (joonis 4.10 a). Kasutatakse ka spiraalselt pealekeritud ribistust (joonis 4.10 b).



Joonis 4.9. Torude paiknemine kalorifeeri põiklõikes:

a – koridoridena, *b* – malekorras

Soojuskandjaks on enamasti vesi või aur. Sõltuvalt tüübist paigaldatakse kalorifeerid kas horisontaalselt või vertikaalselt. Oluline on, et kalorifeeridest saaks eemaldada õhku ja vajaduse korral veest tühjendada.



Joonis 4.10. Kalorifeeritorude ribistus: *a* – plaatribistus,

b - spiraalribistus

Ventilatsiooniseadmete projekteerimisel valitakse toodetavatest kalorifeeridest sobiv antud õhuhulga soojendamiseks nõutava temperatuurini. Erinevalt küttekehadest ei kaasne kalorifeeri küttepinna suurendamisega alati antud õhuhulga soojenemine kõrgema temperatuurini, sest suurema küttepinnaga kalorifeeris on õhu liikumiskiirus väiksem. Õhu liikumiskiiruse vähenemisega kaasneb aga soojusülekanne halvenemine.

Suurte õhuhulkade soojendamiseks võib vaja olla mitut kalorifeeri. Neid võib paigaldada õhu suhtes paralleelselt või järjestikku. Soojuskandjaga võivad kalorifeerid samuti olla ühendatud paralleelselt või järjestikku. Kui soojuskandjaks on vesi, siis on soovitatav kalorifeerid ühendada vee suhtes järjestikku, sest sel viisil saab suurendada vee liikumiskiirust ja nii parandada soojusülekanne. Auruga kalorifeerid ühendatakse soojuskandjaga alati paralleelselt.

Kalorifeeri vajaliku soojatootlikkuse saab määrata valemist

$$Q = Lc_{\delta}(t_s - t_v),$$

kus Q – kalorifeeri soojatootlikkus kcal/h ;

L – ventilatsiooniõhu hulk kg/h ;

c_{δ} – õhu erisoojus (arvutustes võetakse $c_{\delta} = 0,24$ kcal/kg °C) ;

t_s ja t_v – sise- ja välisõhu arvutuslikud temperatuurid °C .

Kalorifeeride vajalik küttepind arvutatakse valemist

$$A = \frac{aQ}{k\Delta t_k},$$

kus A – kalorifeeride vajalik küttepind m² ;

a – varutegur ;

k – kalorifeeri soojuseriülekanne kcal/(m² h °C) ;

Δt_k – soojuskandja ja soojendatava õhu keskmiste temperatuuride erinevus

$$\Delta t_k = \frac{t_a + t_t}{2} - \frac{t_s + t_v}{2},$$

kus t_a ja t_t – juurde- ja tagasivoolava soojuskandja temperatuurid.

Kalorifeerides õhu poolt saadud soojushulk on võrdne soojuskandja poolt äraantud soojushulgaga.

Kalorifeeri soojuseriläbikanne ja rõhukadu õhu voolamisel läbi kalorifeeri on arvutatavad, kuid küllaldase täpsusega määratavad ka kalorifeeride katsetamise käigus saadud graafikutest.

Ventilatsiooni sissepuhkesüsteemidele paigaldatud kalorifeere on suvisel ajal võimalik kasutada ventilatsiooniõhu jahutamiseks. Võrguvee temperatuur suvel on tavaliselt 10 ... 12°C, puurkaevuveel koguni 8 ... 10°C. Erinevalt õhu soojendamisest, kui soojendatava õhu ja soojendava vee temperatuuride erinevus on 75 ... 80°C, on õhu jahutamisel suvel temperatuuride erinevus kõigest 15 ... 17°C. Seetõttu suudavad talviseks õhu soojendamiseks valitud kalorifeerid suvel jahutada õhku kõigest 1 ... 3°C võrra.

Õhu paremaks jahutamiseks on kasutusel pindjahutid, mille konstruktsioon on sarnane kalorifeeride konstruktsiooniga. Pindjahutites läbib külmakandja toruridasid järjestikku, millega suureneb soojusülekanne intensiivsus.

Külmakandjana võib pindjahutites kasutada külma vett, mille temperatuuri ei tohi külmumise vältimiseks alandada allapoole +3°C . Kui vee asemel kasutada soolalahuseid (NaCl, CaCl₂, MgCl₂), võib külmakandja temperatuuri alandada kuni -10°C . Liiga madala temperatuuriga külmakandja põhjustab õhust vee kondenseerumist soojusvahetuspindadele ja need kattuvad härmatisega. Paksult härmatunud soojusvahetuspindade soojusülekanne halveneb ja pindjahuti ei täida oma ülesannet.

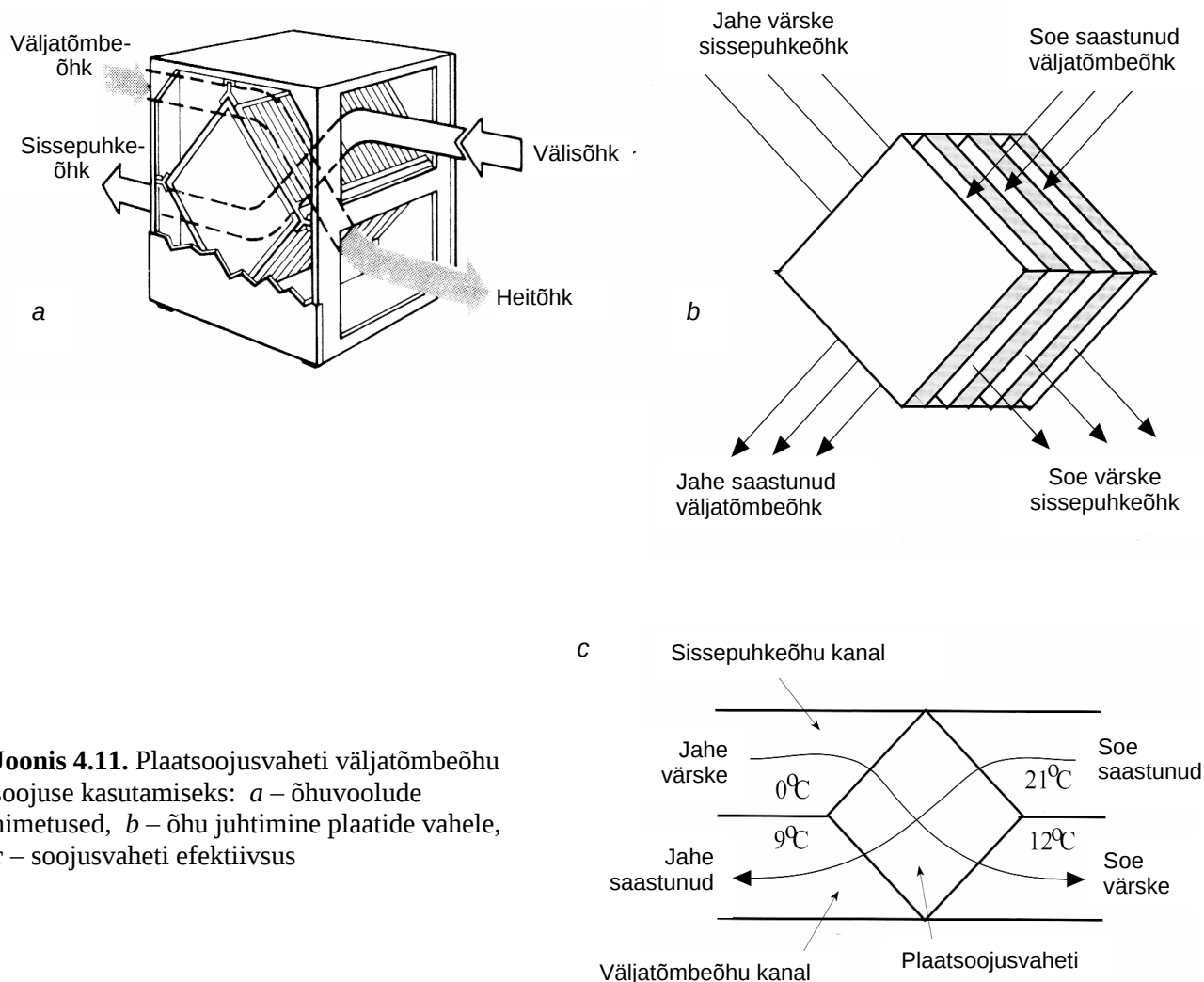
Läbi pindjahuti võib juhtida ka külmutusgaasi, näiteks freooni, mis jahutis aurustub. Seejuures täidab pindjahuti külmutusmasina aurusti otstarvet. Pindjahuti pinnatemperatuur jääb sellisel juhul konstantseks ja võrdub külmutusagensi aurumistemperatuuriga.

Pindjahutite toiteks kasutatavat jahutusvett võib jahutada kas külmutusmasinas või siis jää abil. Kui pindjahuti pinnatemperatuur on madalam õhu kastepunkti temperatuurist, siis kaasneb õhu jahutamisega vee kondenseerumine pindjahuti soojusvahetuspinnale. Selleks, et kondenseerunud vesi saaks jahuti ribidelt takistamatult alla voolata, on otstarbekas pindjahutid paigaldada nii, et ribid jääksid vertikaalpinda. Tekkinud kondensaadi kogumiseks paigaldatakse jahuti alla põhjavann, millesse kogunenud kondensaati juhitakse kanalisatsiooni.

Kasutatakse ka niisutatavaid õhu pindjahuteid. Niisutamine aitab intensiivistada soojusvahetusprotsessi ja jahuti töötab ka tolmupüüdurina..

Kaasaegsetes ventilatsioonisüsteemides kasutatakse sissepuhkeõhu esmaseks soojendamiseks tagastusõhus sisalduvat soojust. Selleks juhitakse sissepuhke- ja väljatõmbeõhk soojusvahetisse, millel on kas plaadi või ratta kuju.

Plaatsoojusvahetit kasutatakse kui väljatõmbe- ja sissepuhketorustik kulgevad kõrvuti. Õhuvoolud juhitakse kuubikujulisse õhukestest metall- või plastplaatidest koostatud soojusvahetisse nii nagu näha joonisel 4.11 *a*. Õhuvoolud seejuures ei segune vaid jäävad teineteisest lahutatuks (joonis 4.11 *b*). Soe väljatõmbeõhk soojendab plaate ühelt küljelt ja need annavad oma soojust edasi külmale sissepuhkeõhule, mis liigub plaatide teisel küljel. Saavutatav efekt on märkimisväärne nagu näha joonisel 4.11 *c*.

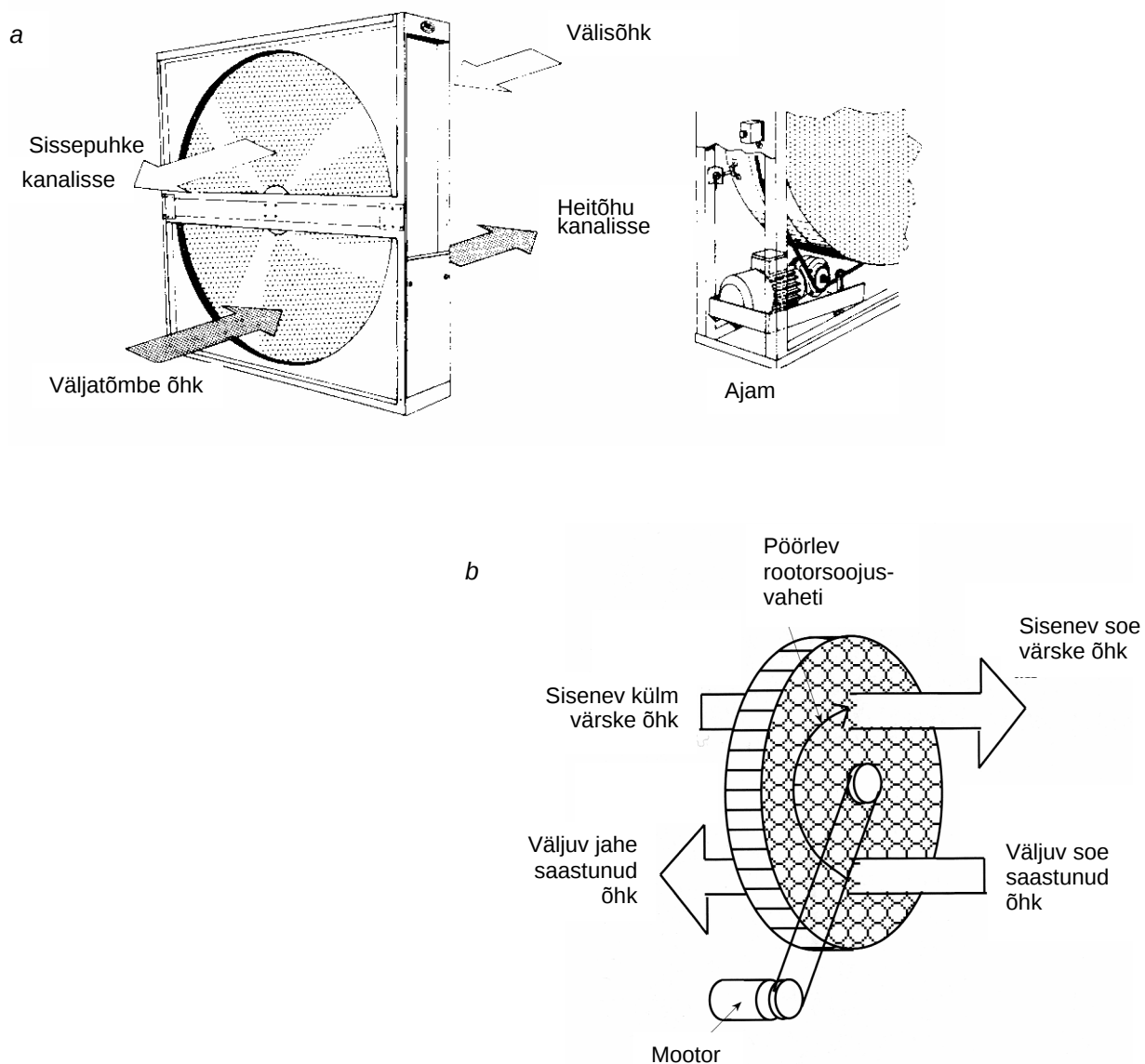


Joonis 4.11. Plaatsoojusvaheti väljatõmbeõhu soojust kasutamiseks: *a* – õhuvoolude nimetused, *b* – õhu juhtimine plaatide vahele, *c* – soojusvaheti efektiivsus

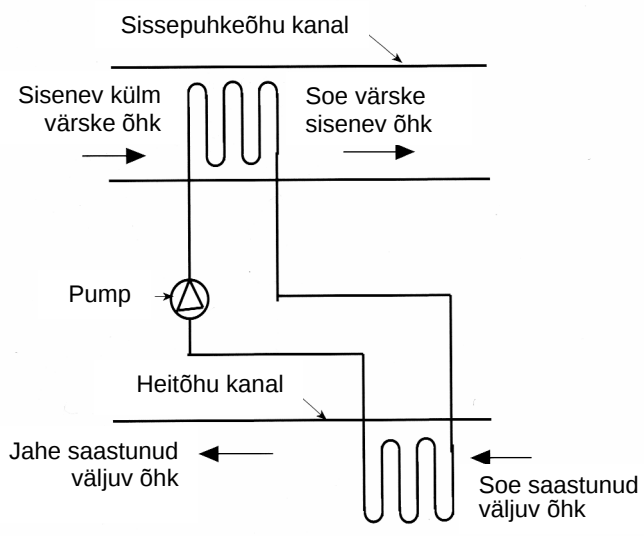
Plaatsoojusvaheti eeliseks on liikuvate osade puudumine, õhuvoolude täielik eraldatus, ei vaja energiat. Ventilaatorit on vaja vaid suurte rõhukadude ületamiseks.

Roorsoojusvaheti on kärjetaoline torukestest koosnev ratas ehk rootor, millest õhk võib läbi voolata (joonis 4.12 *a*). Roor asub risti sissepuhke- ja väljatõmbetorustiku vahel nii, et sissepuhketorustikust tulev õhk läbib rootori ülemist poolt ja õhk väljatõmbetorustikust ratta alumist poolt (joonis 4.12 *b*). Väljuv õhk läbides rootorit soojendab seda. Et rootor pöörleb aeglaselt (vt ajam joonisel 4.12), siis satub rootori soe pool siseneva õhu teele andes oma soojust sellele ära. Roor vajab elektrienergiat ajami käitamiseks. Õhuvoolud ei ole võimalik teineteisest täielikult eristada, mistõttu ei sobi rootorsoojusvaheti kasutamiseks näiteks haiglate operatsioonisaalide ventilatsioonisüsteemides.

Kui sissepuhketorustik ja väljatõmbetorustik asetsevad teineteisest eemal, siis tuleb tagastusõhus sisalduva soojust ära kasutamiseks kasutada vahesoojuskandjat. Selleks tuleb väljatõmbetorustikku paigaldada kalorifeer, mille spiraalses ribistatud torus olevat soojuskandjat soojendab väljuv õhk. Soojuskandja pumbatakse seejärel kalorifeeri sissepuhketorustikus asuvasse ossa, kus ta soojendab sisenevat õhku (vt joonis 4.13). Sellise süsteemi kasutamise otstarbekuse üle otsustab majanduslik arvutus.



Joonis 4.12. Rotorsoojusvaheti tagastusõhu soojuse kasutamiseks: *a* – konstruktsioon, *b* – põhimõtteskeem



Joonis 4.13. Tagastusõhu soojuse ärakasutamine kalorifeeris

4.3. Õhu niisutamine ja kuivatamine

Ruumides, kus viibivad inimesed, tuleb tagada õhu suhteline niiskus piirides $f = 40 \dots 60\%$. Mõned tehnoloogilised protsessid nõuavad õhu suhtelise niiskuse tagamist täpsusega $1 \dots 2\%$.

Talvel, madalatel välistemperatuuridel on õhust praktiliselt kogu niiskus välja sadenenud. Soojendamisel võib sellise õhu suhteline niiskus langeda $5 \dots 10\%$ -ni, mis tekitab ruumis viibijatele ebameeldiva enesetunde.

Suvel, kuumade ilmadega võib välisõhk olla temperatuuriga $25 \dots 30^\circ\text{C}$ ja suhtelise niiskusega $60 \dots 70\%$. Kui jahutada sellist õhku pindjahutites temperatuurini $20 \dots 22^\circ\text{C}$, kasvab õhu suhteline niiskus $90 \dots 100\%$ -ni, mis on samuti lubamatu.

Seega tuleb vajalike parameetritega ventilatsiooniõhu saamiseks talvel välisõhku niisutada ja suvel kuivatada.

Nii niisutamine kui ka kuivatamine on saavutatavad õhu ja vee kontakti tulemusena. Õhu ja vee kokkupuutel toimuva protsessi suund oleneb vee temperatuurist. Õhku võib niisutada veega, mille temperatuur on kõrgem õhu temperatuurist kuivtermomeetri järgi. Niisutusvesi aurustub õhku ise seejuures jahtudes. Et vee temperatuur on esialgu kõrgem õhu temperatuurist, siis kaasneb õhu niisutamisele ka ilmne soojusvahetus suunaga veelt õhule. Selle tulemusena võib õhu temperatuur tõusta. Õhu entalpia kasvab seejuures nii ilmse kui ka varjatud (veeauruga ülekantud) ehk peitsoojuse arvel.

Kui niisutusvee temperatuur on võrdne õhu temperatuuriga, siis õhu niisutamisega kaasneb varjatud soojusvahetus veelt õhule. Ilmne soojusvahetus seejuures puudub, õhu temperatuur ei muutu, kuid entalpia suureneb varjatud soojuse arvel.

Kirjeldatud kaks protsessi on teoreetilist laadi ja neid kasutatakse õhu niisutamiseks harva. Põhjuseks on vajadus anda veele pidevalt juurde soojust, et selle temperatuur aurumise tagajärjel ei alaneks. Kuna suure kontaktipinnaga veemassi temperatuuri on raske reguleerida, siis ventilatsioonitehnikas neid protsesse ei kasutata.

Niisutusvesi, mille temperatuur on madalam õhu temperatuurist kuivtermomeetri järgi, kuid võrdub õhu temperatuuriga märgtermomeetri järgi, alandab õhu temperatuuri ilmse soojusvahetuse toimet. Seejuures niisutusvee temperatuur, vaatamata õhu temperatuuri alanemisele, jääb konstantseks ja võrdseks õhu temperatuuriga märgtermomeetri järgi. Põhjuseks on kogu õhult üleantud ilmne soojuse kulutamine vee aurustamiseks. Kogu õhult saadud ilmne soojus antakse varjatud soojusena õhule tagasi. Toimuva protsessi tagajärjel õhu temperatuur alaneb ja niiskussisaldus kasvab. Õhu entalpia seejuures ei muutu, sest ilmne soojus muutub varjatud soojuseks ja õhu kogusoojussisaldus jääb samaks. Sellist õhu töötlemist nimetatakse adiabaatseks. Protsess kulgeb $h - x$ -diagrammil mööda joont $h = \text{const}$, nurgateguriga $\varphi = 0$.

Adiabaatset protsessi kasutatakse sageli õhu niisutamiseks talvel. Algul soojendatakse välisõhku temperatuurini, mis on kõrgem vajalikust siseõhu temperatuurist. Seejärel juhitakse see õhk läbi niisutuskambri, kus seda töödeldakse veega, mille temperatuur võrdub õhu temperatuuriga märgtemperatuuri järgi. Töötlemise tulemusena õhu temperatuur alaneb ja niiskussisaldus kasvab.

Adiabaatset õhu niisutamist kasutatakse laialdaselt õhu temperatuuri alandamiseks suvel kuiva ja kuumaga kliimaga aladel. Mida madalam on välisõhu niiskussisaldus, seda rohkem saab adiabaatse protsessi abil alandada õhu temperatuuri. Protsess kulgeb mööda joont $h = \text{const}$ ja protsessi teoreetiline lõpp saabub õhu küllastumisel niiskusega, seega joonel $f = 100\%$.

Siit tuleneb, et adiabaatselt töödeldud õhku saab juhtida vaid ruumidesse, kus võivad esineda küll olulised soojuseritused, kuid praktiliselt puuduvad niiskuseritused.

Eesti tingimustes ei ole suvel välisõhu temperatuuri alandamiseks adiabaatseks protsessi võimalik kasutada. Põhjuseks on õhu suur niiskussisaldus, mis ei võimalda adiabaatse niisutamisega olulist efekti saavutada.

Kui niisutusvee temperatuur on madalam õhu temperatuurist märgtermomeetri järgi, kuid kõrgem õhu kastepunkti temperatuurist, siis hakkab niisutamisel õhu temperatuur alanema. Vesi hakkab aurustuma ja õhu niiskussisaldus tõuseb. Õhu entalpia hakkab vähenema. See on seletatav sellega, et varjatud soojushulk, mis antakse veeauru näol, on väiksem ilmsest soojushulgast, mida vesi saab õhult. Protsessi käigus tuleb vett temperatuuri tõusu vältimiseks jahutada.

Kui niisutusvee temperatuur võrdub õhu kastepunkti temperatuuriga, siis jahtub veega küllastmata õhk ilmse soojusvahetuse tagajärjel. Protsess on analoogiline õhu jahutamisel pindjahutis ja kulgeb mööda joont $d = \text{const}$ nurgateguriga $\gamma = -8$. Vesi ei aurustu, sest veeauru osarõhk õhus on võrdne veeauru osarõhuga vedeliku pinnal.

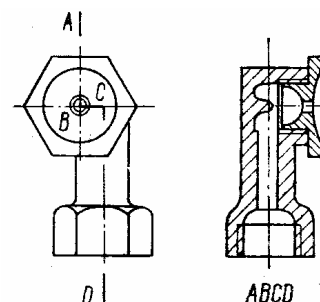
Kui niisutusvee temperatuur on madalam õhu kastepunkti temperatuurist, siis toimub õhu jahutamine ja kuivatamine. Jaheda veega kokku puutudes õhk jahtub ja tema suhteline niiskus suureneb 100% -ni. Edasisel jahtumisel hakkab osa niiskust õhust vette välja sadenema. Samasugune õhu kuivatamine toimub ka pindjahutites, mille pinnatemperatuur on madalam õhu kastepunkti temperatuurist. Sellist õhu jahutamist ja kuivatamist kasutatakse suvel õhu töötlemisel kliimaseadmetes.

Enamlevinud õhuniisutid on niisutuskambrid, kus jahutusvesi pihustatakse piiskadeks, millest juhitakse läbi niisutatav õhk. Õhu töötlemisrežiim niisutuskambris sõltub:

- vee pihustuspeensusest,
- pihustiridade arvust kambris ja pihustite arvust reas,
- õhu liikumiskiirusest niisutuskambris,
- õhu ja vee kokkupuute kestusest,
- õhu ja vee liikumissuundadest.

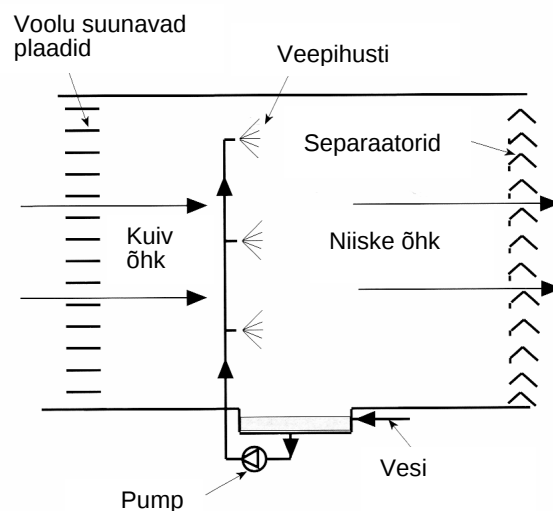
Õhu kiirus niisutuskambris ei tohi üldjuhul ületada 3,5 m/s, et vältida niisutusvee piiskade kandumist niisutuskambrist välja. Kiirust ei valita ka alla 1,8 m/s, et mitte liigselt suurendada niisutuskambri mõõtmeid.

Niisutuskambrites kasutatakse tavaliselt nii peen- kui ka jämepehustuseks tangentsiaalpihusteid (joonis 4.14). Vesi, sattudes pihustisse mööda puutujat, hakkab pihustikambris pöörlema tsentrifugaaljõudude toimele ja väljub pihustiavast veekilest koonusena. Pihusti avast eemaldudes koonus laieneb, kile muutub õhemaks ja laguneb lõpuks mitmesuguse läbimõõduga piiskadeks. Pihusti tootlikkus on 100 ... 800 kg/h ja vajalik veesurve enne pihustit 0,1 ... 0,4 MPa. Õhu adiabaatsel töötlemisel kasutatakse peenpihusteid, õhu kuivatamisel ja jahutamisel jämepehusteid.



Joonis 4.14. Veepihusti

Tööstuslikes niisutuskambrites kasutatav nn õhupesuri niisutusskeem on toodud joonisel 4.15. Lisaks kuiva õhu niisutamisele pestakse õhust välja teatud kogus tolmu ja lõhnu. Kuiv õhk juhitakse suunamisplaatide (ühtlustavad õhu kiiruse) abil pihustitele, millest eralduvad veepiisad aurustuvad. Niiske õhk läbib oma teel veel separaatorid, mille abil välditakse vee sattumist ventilatsioonisüsteemi.



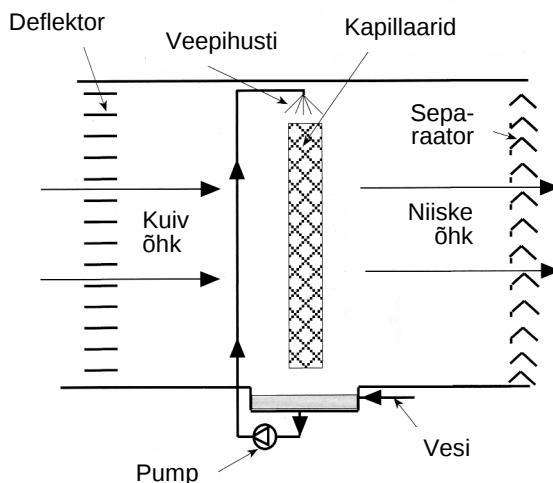
Joonis 4.15. Õhupesuri skeem

Väiksemad niisutuskambrid valmistatakse tavaliselt metallist, suuremad betoonist, mis on seest vooderdatud keraamiliste plaatidega. Kambritel on vee juurde- ja äravoolutorud, pumbad, filtrid, alusvannid, sisse- ja väljavoolu separaatorid. Pihustid paigaldatakse niisutuskambrisse selliselt, et nende pihustusjoad kataksid kogu kambri põiklõike. Niisutuskambri alusvann tehakse mahuga 2% pihustite tunnitootlikkusest.

Niisutuskambrid töötavad sageli täielikul (adiabaatne protsess) või osalisel vee retsirkulatsioonil. Sellisel juhul satub õhust vette mitmesuguseid tolmuosakesi. Et vältida pihustite ummistumist, on vaja niisutusvett filtreerida. Kui õhk sisaldab vähe tolmu, siis piisab retsirkulatsioonivee puhastamiseks võrkfiltrist. Kui tolmu on palju (näiteks tekstiilitööstuses), siis kasutatakse koks- või killustiktäitega täidisfiltrid. Aurustunud vee asemele lisatakse alusvanni täiendavat vett.

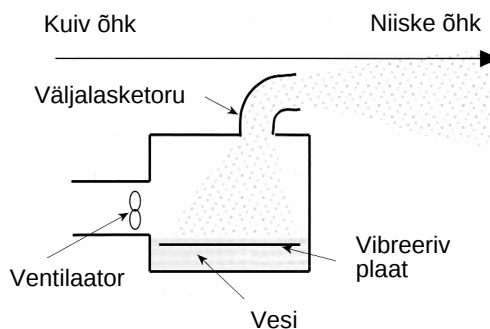
Niisutusseadmete arvutus on komplitseeritud ja parameetrite rohkuse tõttu sageli ka ebatäpne. Praktikas kasutatakse tüüpniisutuskambreid, millele arvutusega valitakse sobiv pihustitüüp ja pihustite arv. Arvutada tuleb ka niisutusvee parameetrid ja kogus.

Kapillaarniisutis pihustatakse vesi maatriksstruktuuriga metallile, klaasile või plastikule. Selle kapillaaravade tõttu on õhu ja vee kokkupuutepind suurem ning niisutusefekt suurem (joonis 4.16).



Joonis 4.16. Kapillaarniisuti

Ultraheli niisutis (joonis 4.17) pannakse vette asetatud keraamiline plaat võnkuma ultraheli sagedusega (üle 20 kHz) kasutades piezoelektrilist efekti. Saadakse väga väikesed veepiisad, mis kergesti aurustuvad. Ventilaator puhub need piisad õhuvoolu.



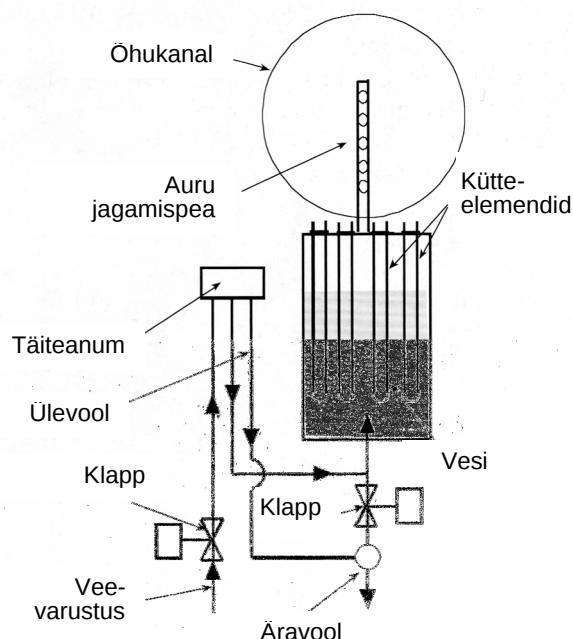
Joonis 4.17. Ultraheli niisuti

Õhku võib niisutada juhtides veeauru vahetult niisutatavasse õhku. Sellega kaasneb ebaoluline õhu temperatuuri tõus. Kui kasutada õhu niisutamiseks ülekuumendatud auru, võib oluliselt tõsta õhu temperatuuri. Auru kasutatakse õhu vahetuks niisutamiseks aga harva, sest sellega kaasneb spetsiifiline lõhn. Auru võib kasutada õhu niisutamiseks tekstiilitööstuse lao- ja abiruumides.

Õhu niisutamiseks ja temperatuuri alandamiseks võib kasutada ka ülekuumendatud vett temperatuuriga üle 100°C. Jahutusefekt saavutatakse õhku pihustatud ülekuumendatud vee kiirel aurumisel. Aurustamiseks kulutatud soojushulk on tunduvalt suurem kui ülekuumendatud vee soojussisaldus, seetõttu võetakse aurumiseks puudujääv soojus töödeldavalt õhult, mille tagajärjel viimase temperatuur alaneb. Töödeldava õhu niiskussisaldus kasvab. Suureneb ka õhu entalpia, peamiselt varjatud soojuse arvel.

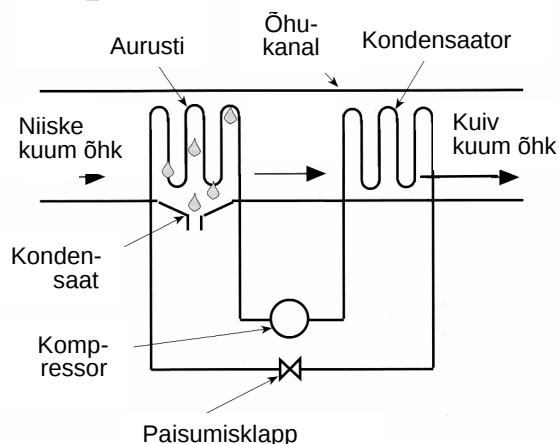
Veeauru õhuniisutid erinevad vee kuumutusviisi poolest. Selleks kasutatakse gaasileeki või elektrivoolu. Joonisel 4.18 toodud skeemi kohaselt kuumutatakse vett nagu boileris ja eralduv aur juhitakse õhutorustikku.

Joonis 4.18. Veeauru kasutav niisuti



Mõnedes ruumides, näiteks basseinides ja veekeskustes, võib siseõhk olla üleauru niiske, mistõttu vajab kuivatamist. Niiske õhk sisaldab silmale nähtamatut veeauru. Viimane muutub nähtavaks kui ta kondenseerub veeks. Selleks tuleb niisket õhku jahutada allapoole kastepunkti. Niiske soe õhk juhitakse läbi külma jahutusspiraali (joonis 4.19), mille temperatuur on alla kastepunkti. Osa õhus olevast veeaurust kondenseerub ja tekkinud vesi juhitakse ära ning võib minna taaskasutusse.

Joonis 4.19. Õhukuivati



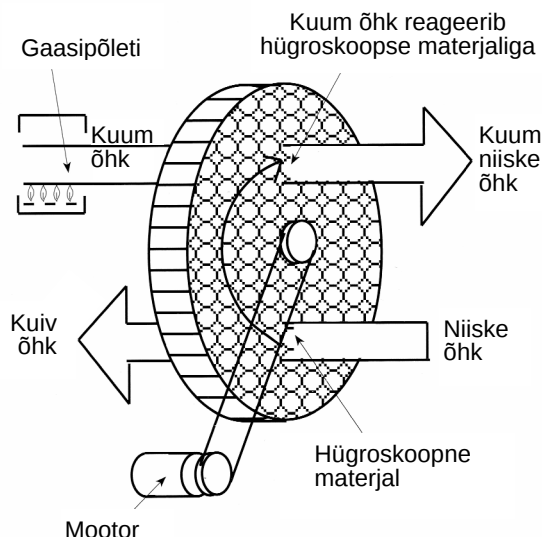
Jahtunud kuiv õhk võib olla ruumi juhtimiseks liiga külm ja vajab seetõttu soojendamist. Õhu soojendusspiraali pannakse samuti õhutorustikku, nagu ka eelmainitud jahutusspiraali. Seejuures võib soojendamiseks kasutada jahutusspiraali eraldunud soojust nagu soojuspumbas.

Õhu kuivatamiseks võib kasutada keemiliste sorbentide abi. Sorbendid on tahked, pooltahked või vedelad ained, mis on võimelised neelama õhus sisalduvat vett. Tahked sorbendid on silikageel (SiO_2), alumogeel jm. Pooltahked sorbendid (kaltsium- ja liitiumkloriid) lähevad vee neeldumise tagajärjel üle vedelasse olekusse. Vedelad sorbendid on pooltahkete sorbentide vesilahused.

Neelates õhust vett, soojenevad sorbendid vabaneva aurustussoojuse arvel. Soojenenud sorbent võib ilmse soojusvahetuse tulemusena tõsta õhu temperatuuri. Läbitöötanud sorbente regenereeritakse kuumutamise kõrgetel temperatuuridel.

Keemilisi sorbente, näiteks silikageeli kasutava seadme põhimõtteline konstruktiivne lahendus on analoogne eelkirjeldatud rootoroojusvahetile ja esitatud joonisel 4.20. Kärjetaoline torukestest valmistatud aeglaselt pöörleva ratta ehk rootori materjal on hügrokoopne, kaetud silikageeliga. Niiske soe õhk läbides rootori

alumisel küljel olevad torukesed annab osa veeaurust ära silikageelile ja muutub kuivemaks. Silikageeli regenereerimiseks juhitakse rootori ülemisel küljel temast läbi sooja õhku, mis kuivatab torukeste pinnal oleva silikageeli.



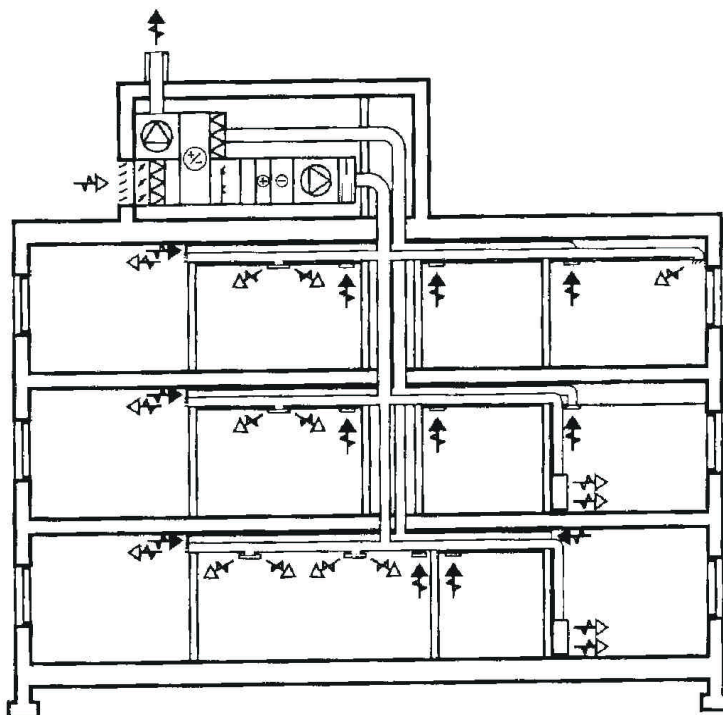
Joonis 4.20. Rootorõhukuivati

4.4. Õhu konditsioneerimine

Õhu konditsioneerimine on suletud ruumis inimeste elutegevuseks, tehnoloogiaprotsesside toimumiseks või seadmete tööks soodsaimate õhuparameetrite tekitamine ja automaatne hoidmine. Selleks reguleeritakse õhu temperatuuri, niiskusesisaldust, sissepuhet, väljatõmmet ja puhtust. Kui mõnda neist parameetritest (v.a sissepuhe ja väljatõmme) ei reguleerita, siis on tegemist osalise õhu konditsioneerimisega.

Õhu konditsioneerimise süsteemi (joonis 4.21) kuuluvad konditsioneer, õhukanalid ja ruumide õhujaoetusseadmed ning õhu parameetrite automaatse reguleerimise seadmed.

Süsteemi võetav välisõhk peab olema võimalikult puhas. Välisõhuava ei tohi olla saasteallikate (liiklusmagistraalide, korstnate, kanalisatsiooni õhutussavade jm) ja heitõhuavade läheduses.



Joonis 4.21. Õhu konditsioneerimise süsteemi koostisosad

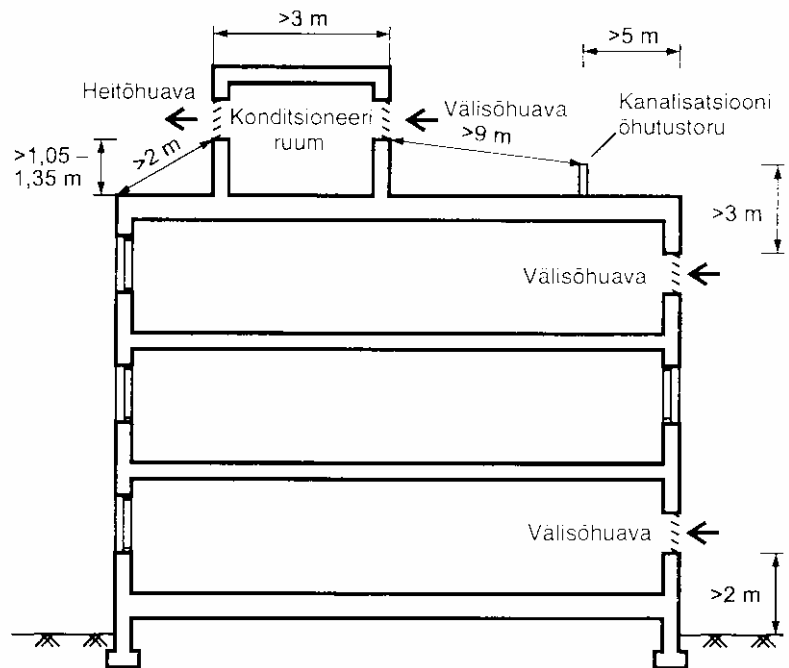
Süsteemi olulisimaks osaks on konditsioneer.

Konditsioneerid peavad täitma järgmisi ülesandeid: puhastama õhku tolmust, soojendama õhku, jahutama õhku, niisutama õhku, kuivatama õhku, kõrvaldama õhust ebesoovitavad lõhnad (desodoreerima), andma õhule sobivad lõhnad (odoreerima), ioniseerima õhku.

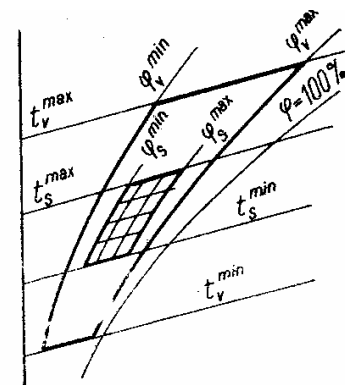
Kui neist ülesannetest on täidetud esimesed viis, on tegemist täieliku konditsioneerimisega.

Õhku on vaja konditsioneerida siis kui vajalikke sisekliima parameetreid pole võimalik saavutada muude vahendite (kütte ja ventilatsiooni) abil. Reeglina vajavad konditsioneeritud õhku üldkasutatavad hooned – bürood, kontorid, teatrid, kinod, hotellid, restoranid, haiglad jm.

Joonis 4.22. Välisõhu- ja heitõhuavade minimaalsed vahekaugused



Püsivad õhu parameetrid tuleb ruumides tagada vaatamata muutlikele välisõhu omadustele ja muutuvatele soojus- ja niiskuseritustele ruumides enestes. Konditsioneerid arvutatakse mingile tõenäoisele väliskliimale, kusjuures nii suvel kui ka talvel võivad lühiajaliselt esineda sellised välisõhu parameetrid, mille puhul seade ei ole võimeline tagama täielikult ruumides nõutavaid parameetreid. Ajavahemikku, mil seade ei taga nõutavat sisekliimat nimetatakse režiimiväliseks perioodiks. Tavaliselt kantakse $h - x$ - diagrammile piirkond, mille ulatuses välisõhu parameetrid võivad muutuda (joonis 4.23). Samasse kantakse ka siseõhu parameetrite lubatavate kõikumiste piirkond.



Joonis 4.23. Välis- ja sisekliima parameetrid $h - x$ - diagrammil

Õhu konditsioneerimine võib olla lahendatud kas tsentraalse või kohtsüsteemina. Tsentraalsel konditsioneerimisel toimub õhu puhastamine, soojendamine, jahutamine, niisutamine ja kuivatamine ühes agregaadis. Seal töödeldud õhk antakse mööda õhutorustikku erinevatesse ruumidesse.

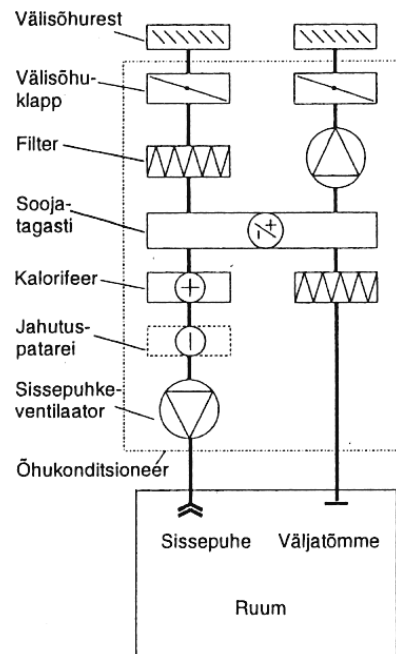
Kohtkonditsioneerid paigaldatakse vahetult teenindavatesse ruumidesse.

Eristatakse autonoomseid (sisseehitatud külmuti ja elektriõhusoojendiga, vt joonis 4.24) ja mitteautonoomseid (saavad külma ja sooja välisallikatest) konditsioneerimissüsteeme. Kasutatakse ka kombineeritud süsteeme, kus välisõhu esialgne töötlemine toimub tsentraalses konditsioneeris. Täiendavalt paigaldatakse igasse ruumi veel õhu järeltöötlemisseadmed, mis täpsustavad sisepuhkeõhu omadusi vastavalt selle ruumi vajadustele.

Tüüpiline tsentraalne konditsioneer töötab alljärgnevalt. Välisõhk haaratakse konditsioneeris läbi resti ja puhastatakse kõigepealt filtris. Pärast filtrit soojendatakse talvisel ajal välisõhku esimese astme kalorifeeris. Suvisel ajal lülitatakse see kalorifeer välja. Kalorifeerist tulev õhk jaotatakse sissevoolu separaatori abil ühtlaselt niisutuskambri ristlõikes.

Niisutuskambris toimub õhu adiabaatne niisutamine pumpade abil pihustitesse juhitava veega. Niisutusvesi võetakse niisutuskambri alusvannist, kuhu aurustunud vee kompenseerimiseks antakse kuulkraani avamisega lisavett. Niisutuskambrist väljumisel läbib õhk väljavoolu separaatori, kus püütakse kinni kaasahaaratud veepiisad. Edasi läbib õhk teise astme kalorifeeri, kus kompenseeritakse õhule see ilmne soojushulk, mis

kulus niisutuskambris adiabaatseks niiskuse aurustamiseks. Pärast teise astme kalorifeeri juhitakse töödeldud õhk ventilaatori abil ruumidesse.

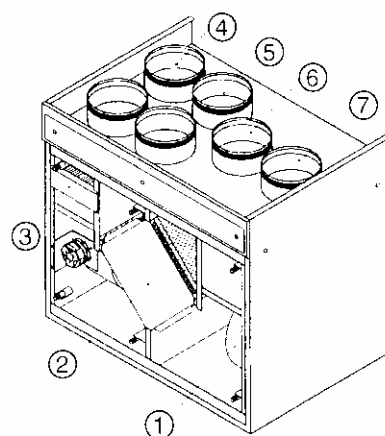


Joonis 4.24. Õhukonditsioneeride skeem

Suvel toimub niisutuskambris õhu jahutamine ja kuivatamine veega, mille temperatuur on madalam õhu kastepunkti temperatuurist. Pihustitesse juhitakse vett, mida on eelnevalt jahutatud külmutusseadmetes. Niisutusvee temperatuuri reguleeritakse. Niisutuskambrist väljunud õhku on vaja soojendada ruumi sissepuhumiseks sobiva temperatuurini. Seda tehakse kas teise astme kalorifeeris või niisutamata sooja välisõhuga vastavas vahekorras segamise teel. Segamiseks möödavoolukanalist võetava välisõhu hulka reguleeritakse klapi abil.

Konditsioneeride tööd juhib automaatika, mis kasutab anduritega termostaate ja täiturmehhanismidena mitmesuguseid mehaanilisi klappe ja ventiile. Lihtsaimal reguleerimisel muudetakse vaid ruumidesse antava õhu hulka jättes muutmata selle parameetreid. Täiuslikumal reguleerimisel muudetakse ruumi antava õhu parameetreid. Kombineeritud reguleerimisel muudetakse nii õhu parameetreid kui ka kogust.

Konditsioneeride turustatakse tehases valmistatud moodulmõõtmeliste elementidena, millest on lihtne koostada vajalikke osi sisaldav konditsioneer. Väiksemad seadmed tulevad juba tehastest valmis koostudena (joonis 4.25).



Joonis 4.25. Tehases komplekteeritud konditsioneer: 1 – ventilaator, 2 – soojustagasti, 3 – filter, 4-7 – toruliitmikud

5. VENTILEERIMISVIISID

5.1. Loomulik ventilatsioon

Loomulik ventilatsioon on ventileerimisviis, kus õhuvahetus toimub õhu tiheduse vahe ja /või tuule toimele tekkinud rõhkude vahe tõttu. Loomulik ventilatsioon toimub läbi lekkekohtade (infiltratsioon) ja avade (ventilatsioon) ehitises ilma õhu sundliikumise komponentideta. Selle variandid on õhutamine, tuulutamine, šahtventilatsioon ja põikiventilatsioon. Õhutamine ja tuulutamine toimuvad läbi avatud akende või uste. Šahtventilatsioon toimub vertikaalselt või 45° all monteeritud kanali kaudu. Põikiventilatsioonil toimub õhu liikumine peamiselt tuule surve mõjul ehitise fassaadidele ja kus korstna efekt ehitises on vähetähtis.

Arvutustes lähtutakse õhu tiheduse vahest sisetemperatuuril ja välistemperatuuri +5°C juures. Tuule mõjul toimiva loomuliku ventilatsiooni korral tuleb arvestada tuule tegeliku keskmise kiirusega antud paikkonnas. Kui need andmed puuduvad, siis võib võtta arvutuslikuks tuule kiiruseks 3 m/s . Ilmastikutingimuste muutudes muutuvad ka ventileeritavad õhuhulgad.

Tööstusruumides, kus esineb liigsoojust, on soovitatav kasutada loomulikku õhuvahetust katuseakende või -avade kaudu.

Õhuvahetus 0,5 kuni 1 kord tunnis on saavutatav ilma mehaanilise ventilatsioonita. See on loomulik ventilatsioon, mida rakendatakse elamute, üldkasutatavate hoonete, tööstuse olmeruumide jm õhutamiseks. Mehaanilise väljatõmbe puhul elu- ja üldkasutatavates hoonetes võidakse kasutada sissepuhkeõhu andmist loomulikul teel läbi reguleeritavate sissepuhkerestide või -klappide. 5

Loomuliku ventilatsiooni süsteem koosneb õhukanalite võrgust, mille abil ventileeritavad ruumid on ühendatud välisõhuga. Nende kaudu eemaldatakse ruumidest saastunud õhk.

Õhukanalitena on eelistatud ümarpõiklõikega lehtterasest õhukanalid. Kandilise põiklõikega lehtterasest õhukanaleid kasutatakse juhul, kui seda nõuavad konstruktiivsed tingimused: ruumi piiratud kõrgus, talade vahelt läbimine jm.

Värske välisõhk tungib ruumidesse läbi hoone piirete ebatiheduste, avatud akende ja uste. Selline vähestes kogustes välisõhu sissevalgumine võimaldab loobuda välisõhu ette soojendamisest ja ta saavutab siseõhule vajaliku temperatuuri hoone küttesüsteemi soojuse arvel.

Loomuliku ventilatsiooni intensiivsus on reguleeritav ruumi hermeetilisuse reguleerimisega. Mida tihedamad on piirded ja mida paremini on tihendatud ukсед ja aknad, seda väiksemaks jääb õhuvahetus. Väljatõmbekanalite kaudu saab ruumist lahkuda ainult selline õhukogus, mis samaaegselt asendub läbi ebatiheduste.

Loomuliku ventilatsiooni väljatõmbekanalites liigub õhk raskusjõu toimele. Kuna ruumide sisetemperatuur on peaaegu alati kõrgem välistemperatuurist, siis liigub kergem siseõhk mööda ventilatsioonikanaleid ülespoole asendudes altpoolt tuleva raskema välisõhuga. Rõhk, mis tekib sooja ja külma õhu eriraskuste erinevusest, on avaldatav kui

$$p_g = h(g_v - g_s),$$

kus p_g – rõhk raskusjõust Pa ;

h – sooja siseõhu vertikaalsamba kõrgus, so kanali kõrgus väljatõmbe resti keskmest kuni kanali servani katusel m ;

ρ_v – välisõhu eriraskus N/m³ ;

ρ_s – siseõhu eriraskus N/m³ .

Valemist nähtub, et mida kõrgem on õhusammas, seda suurem on tekkiv rõhk p_g . Seega on korrusmajades alumistel korrustel loomuliku ventilatsiooni tegev rõhk suurem kui ülemistel korrustel. Sise- ja välisõhu eriraskuste vahe on seda suurem, mida raskem on välisõhk. Õhu tihedus ρ (kg/m³) sõltuvalt temperatuurist on toodud tabelis 5.1.

Tabel 5.1. Õhu tiheduse sõltuvus temperatuurist

Õhu temp t °C	Kuiva õhu tihedus	Veeauruga küllastunud õhu tihedus	Õhu temp t °C	Kuiva õhu tihedus	Veeauruga küllastunud õhu tihedus
-20	1,396	1,395	8	1,256	1,251
-18	1,385	1,384	10	1,248	1,242
-16	1,374	1,373	12	1,239	1,232
-14	1,363	1,362	14	1,230	1,223
-12	1,353	1,352	16	1,222	1,214
-10	1,342	1,342	18	1,213	1,204
-8	1,332	1,331	20	1,205	1,195
-6	1,322	1,320	22	1,197	1,185
-4	1,312	1,310	24	1,189	1,176
-2	1,303	1,301	26	1,181	1,166
0	1,293	1,290	28	1,173	1,156
2	1,284	1,281	30	1,165	1,146
4	1,275	1,271	32	1,157	1,136
6	1,265	1,261	34	1,150	1,126

Talvel suurenevad välisõhu tihedus ja eriraskus (vt tabel 5.1) ning seega tõuseb ka loomuliku ventilatsiooni rõhk. Liiga intensiivset õhuvahetust talvel piiravad inimesed ise, tihendades aknaid ja uksi ning hoides neid suletuna. Suvel seevastu, kui sise- ja välisõhu eriraskuste vahe on väiksem, soodustatakse õhuvahetust akende lahti hoidmisega.

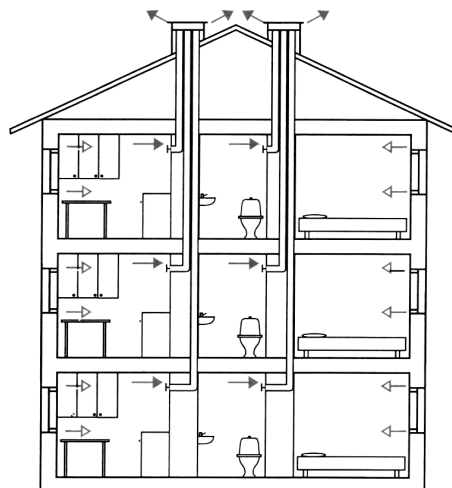
Arvestama peab ka seda, et mida madalamal hoones asub ventileeritav ruum, seda pikemad on katusele avanevad õhukanalid ja seda suurem on nende kanalite takistus õhuvoolule. Seega suuremast kõrguse erinevusest tingitud suurem rõhk kulutatakse suurema kanalitakistuse ületamiseks.

Loomuliku ventilatsiooni tegevusraadius on väike – üldjuhul mitte üle 8 meetri.

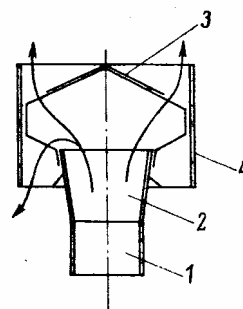
Ühtsesse süsteemi ei soovitata ühendada erineva otstarbega ruumide ventilatsiooni. Nii ei ole omavahel ühendatud samas hoones asuvate eluruumide ja kaubandusettevõtete õhutussüsteemid. Ka peab sanitaarsõlmi ja kööke ventileerima eraldi süsteemidega. Seejuures väljatõmbe intensiivsus köögist peab katma kogu korteri õhutusvajaduse (joonis 5.1).

Õhukanalid on paigaldatud kõrvuti kaminatega, ahjude või pliitide suitsulõõridega, milles liikuva kuumad suitsugaasid soojendavad ka naabruses asuvaid õhukanaleid parandades sellega oluliselt viimaste tõmbeomadusi. Kütmata ruumides on vaja õhukanalid soojustada, et vältida nendes veeauru kondensatsiooni.

Vanemates elamutes, millel on üle 5 korruse, võivad ventilatsioonikanalid olla ühendatud ühtsesse kogumiskanalisse kuigi seda ei peeta soovitavaks. Seejuures ülemise kahe korruse õhutussüsteemid ei ole omavahel ühendatud.

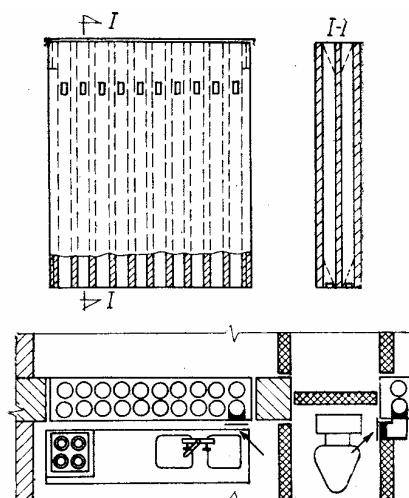
**Joonis 5.1.** Mitmekorruselise hoone loomuliku ventilatsiooni skeem

Väljatõmbešahtide avadele võivad olla asetatud varikatted või deflektorid. Deflektorid on lõpuseadmed, mis on ette nähtud paigaldada loomuliku väljatõmbe kanali tippu. Nende ülesandeks on tekitada negatiivne rõhk ja takistada tuule sissepuhumist väljatõmbešahti ning vihma ning lume sissesadamist. Tugeva tuule puhul võib šaht nagu korstengi hakata tööle vastupidises suunas. Lihtsaim varikate on koonusekujuline plekist varje väljatõmbeava kohal, kuid ta võib sisaldada ka liikuvaid osi. Efektivsem on deflektor (joonis 5.2), mis võimaldab kasutada tuule kineetilist energiat väljatõmbe soodustamiseks.



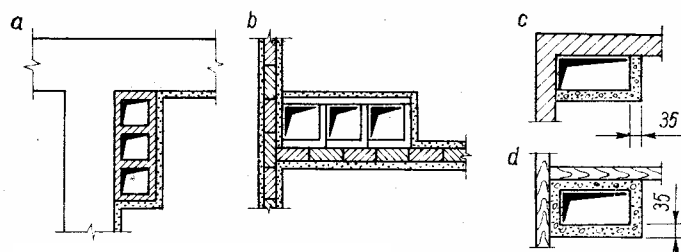
Joonis 5.2. Deflektor: 1 – väljatõmbešaht, 2 – difuuser, 3 – vihmakaitse, 4 - väliskere

Mitmekorruselistes monteeritavates paneelilamutes on kasutatud õhukanaliteks betoonist ventilatsioonipaneelide silindrilisi avasid (joonis 5.3). Paneelide montaažil kogu hoone kõrguses peab olema tagatud erinevate paneelide avade kokkulangevus ja ühenduskohtade hermeetilisus. Horisontaalsete kogumiskanalitena on kasutatud raudbetoonist vahelaepaneelide õõnsusi.



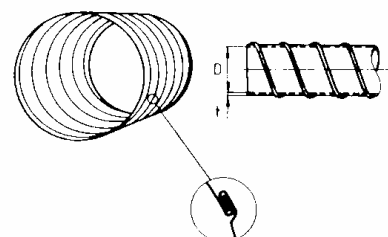
Joonis 5.3. Monteeritavates hoonetes kasutatavad ventilatsioonipaneelid

Tellishoonetes on õhukanalite vähim ristlõige 0,5x0,5 kivi ehk 140x140 mm, kuid kaminaga ruumidel on täiskivi ristlõige 270x270 mm (joonis 5.4).



Joonis 5.4. Ventilatsioonikanalid kiviseinte (a ja c) ja puitseinte (b ja d) ääres

Kaasaegsetes hoonetes on ehitusmaterjalidest õhukanalid asendatud peamiselt metallkanalitega (joonis 5.5). Need on hermeetilised, kergemini paigaldatavad ja odavamad. Kõige enam kasutatakse tšingitud plekist ümarristlõikega standardiseeritud mõõtmetega kanaleid. Nende ristlõikepinnad moodustavad rea teguriga 1,6 ja standardsed läbimõõdud on 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 ja 1250 mm.



Joonis 5.5. Plekist spiraalõmblusega õhukanal

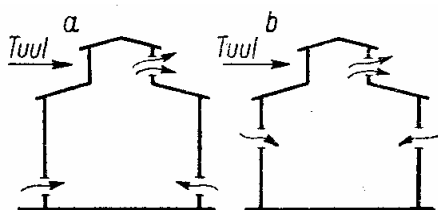
Kanalite paigaldamiseks reserveeritud ruum peab olema suurem kui kanali välisläbimõõt, sest muidu ei ole kanalit võimalik paigaldada ja puhastada. Sisepuhkekanalid on sageli soojustatud, mistõttu need vajavad veelgi rohkem ruumi.

Kanalid peavad olema õhutihedad, sest lekked põhjustavad müra ja saasteainete levimist ruumi ning konditsioneeride ja ventilaatorite võimsuse ülemäära suurendamist. Kanalid tuleb riputada ja toetada tugevalt, et vältida nende allalangemist hooldus- ja puhastustööde käigus. Sisepuhkekanalite puhastamine tagab kvaliteetse sisepuhkeõhu ja väljatõmbekanalite puhastamine vähendab tuleohtu. Õhukanalitele tuleb puhastusluuke paigaldada nii tihedalt (umbes iga 8 m tagant), et oleks võimalik kõiki kanaliosi puhastada.

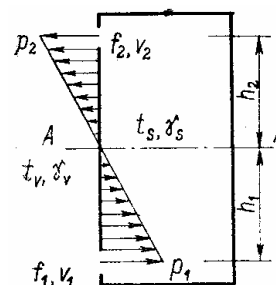
Aeratsioon

Aeratsioon kujutab endast juhitud ruumide õhutamist reguleeritavate avade abil, mis paiknevad ruumi ülemises ja alumises osas. Kasutatakse tööstushoonetes, milles erituvat liigsoojust saab kasutada ruumide intensiivseks õhutamiseks suurte õhukogustega.

Sise- ja välisõhu temperatuuride ja eriraskuste vahe põhjustab sooja siseõhu väljumist hoone ülemisest avast ning külma välisõhu sisenemist alumisest avast (joonis 5.6). Tekkivad rõhud, mille epüür hoone kõrguses sihis on kujutatud joonisel 5.7, p_1 ja p_2 kulutatakse takistuste ületamiseks õhu voolamisel läbi avade.



Joonis 5.6. Ühelöövilise tööstushoone aeratsiooniskeemid: a – suvel, b – talvel

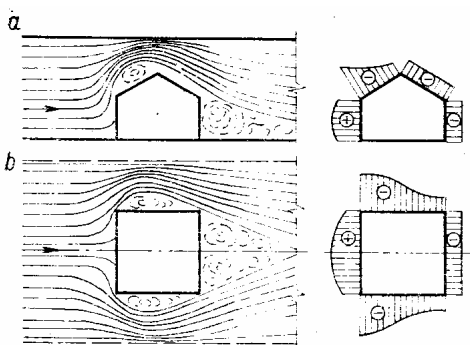


Joonis 5.7. Õhurõhu epüür hoone kõrguses

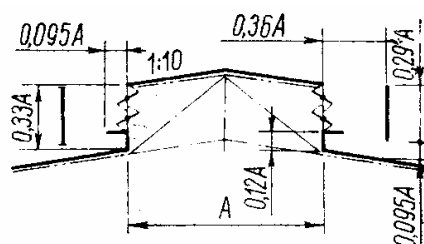
Et õhubilanss hoones peab jääma püsivaks, siis on ruumist väljuv õhukogus võrdne ruumi siseneva kogusega. Rõhuepüüri nulltasand jagab ruumi alumise ja ülemise õhutusava vahelise kauguse pöördvõrdeliselt avade pindalade ruutudega. Kui avad on ühesuurused, siis on nulltasand keskel nende vahel. Lisaks raskusjõule mõjutab õhuvahetust ka tuul. Ilmastiku käes oleva hoone piiretele mõjuvad tuulest põhjustatud jaotatud koormused (joonis 5.8).

Õhu sisepuhkeavad paiknevad hoone tuulepealsel küljel ja nad avatakse soojal aastaajal alaosas ning külmal aastaajal ülaosas, et mitte suunata külma õhu juga vahetult inimestele. Saastunud õhk eemaldatakse hoone ülaosast tuulealusel küljel olevate avade kaudu. Hoone mõlema külje avadest saab saastunud õhku eemaldada vaid juhul, kui õhutusavad on varustatud tuulekaitsetega – nn laternatega. (joonis 5.9).

Tööstushoonetes kasutatakse aeratsiooni enamasti koos sundventilatsiooniga.



Joonis 5.8. Tuule mõju rõhuepüürid hoone ümber: a – lõikes, b – plaanis



Joonis 5.9. Tuulekindel aeratsioonilatern

5.2. Mehaaniline ventilatsioon

Ruumides, kus õhuvahetuse kordsus on üle ühe, ei taga loomulik ventilatsioon nõutavat õhuvahetust ja vaja on rakendada täiendavat mehaanilist sundventileerimist. Mehaaniline ventilatsioon teostatakse õhu sundliikumise komponentide abil. Tavaline ruumi mehaaniline ventilatsioon koosneb sissepuhkesüsteemist ja väljatõmbesüsteemist. Erandjuhtudel on mehaaniline ventilatsioon võimalik ka ainult ühe süsteemiga. Ainult sissepuhkesüsteemi korral peavad olema ette nähtud avad, mille kaudu saastatud õhk saaks ruumist lahkuda. Väljatõmbesüsteemi olemasolul tuleb tagada õhu juurdevool ventileeritavasse ruumi. Kui need nõuded jäävad täitmata, siis võib sündsissepuhke või -väljatõmbega ruum sattuda ventilaatori poolt loodava ülerõhu või vaakumi alla, ilma et toimuks vajalikku õhuvahetust.

Sissepuhkesüsteemid koosnevad üldjuhul õhuhaardest, filtritest, õhu soojendusseadmetest ja niisutusseadmetest, ventilaatorist, õhu jaotustorustikust, jaotusseadmetest, reguleerimisadmetest, mürasummutitest. Enamik nendest seadmetest paigutatakse ventilatsioonikambrisse, mis asub hoone esimesel või keldrikorrusel.

Väljatõmbesüsteemid koosnevad ventilaatorist, õhutorustikust, õhupuhastusseadmetest, mürasummutitest, väljapuhkeavadest. Väljatõmbesüsteemi kambrid on paigaldatud tavaliselt hoone katusele, pööningule või ülemisele korrusele.

Ventilatsioonikambreid ei ole lubatud paigaldada vahetult madalat mürataset nõudvate ruumide (eluruumide, klasside, auditooriumide, vaatesaalide, haiglapalatiite jm) alla, peale ega kõrvale.

Õhuhaardeavad on paigutatud nii, et hoonesse sisenev õhk tuleks atmosfääri kõige vähem saastunud tsoonist. Sinna ei tohi sattuda heitõhku ega hoonest väljuvaid kahjulikke või ebameeldiva lõhnaga gaase. Välisõhu haardeava kõrgus maapinnast on üldjuhul vähemalt 2 m. Kui õhku võetakse haljasalalt, eemal tänavast, siis võib ava paikneda ka 1 m kõrgusel. Õhuhaardeavad paigutatakse või kaitstakse nii, et sissejuhitav välisõhk ei oleks suvel päikesest liigselt soojendatud.

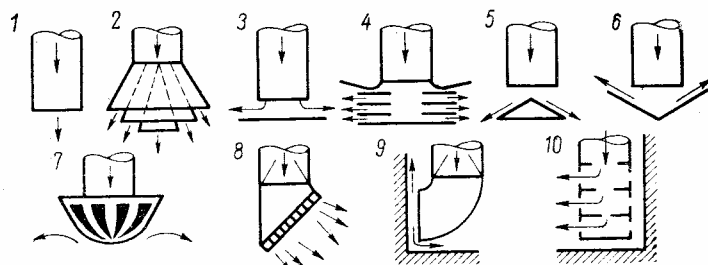
Väljapuhkeavad asuvad kõrgemal haardeavadest. Juhul kui nii haare kui ka väljapuhe asuvad katusel, siis peab väljapuhe olema 2,5 m kõrgemal haardest.

Sundventilatsiooniga ruumides on oluline õigesti valida ja paigutada õhu sissepuhke- ja väljatõmbeavad. Reeglid on siin järgmised:

- sissepuhke- ja väljatõmbeavade aerodünaamiline takistus peaks olema minimaalne;
- peab olema võimalik reguleerida õhuhulkasid;
- sissepuhkeavad peavad välistama õhu puhumise ruumis viibivatele inimestele kiirusega, mis ületab ehitusnormides toodud väärtusi;
- ventilatsiooniavad tuleb sobitada interjööri;
- ventilatsiooniavad tuleb paigaldada nii, et nad ei oleks varjatavad ruumi sisseseadega.

Ventilatsioonisüsteemide konstrueerimisel on oluline õhu kiiruse vähendamine sissepuhkeavadest. Et torustikes liigub õhk suure kiirusega – 5...8 m/s, siis tuleb avad teha tunduvalt suurema pindalaga kui torud. Õhutoru peab laienema ava suunas sujuvalt, et ei toimuks joa lahtirebimist toru seinast.

Kui ühe ava kaudu antakse ruumi palju õhku, siis tuleb õhku hajutada, milleks kasutatakse õhujaotureid (joonis 5.10).



Joonis 5.10. Õhujaotureid tüüpilisi konstruktsioone

Sissepuhkeavadest kiirusega 0,3 ... 0,75 m/s väljuv õhk ei põhjusta ruumis viibijatel ebameeldivat tunnet. Kui õhk juhitakse ruumi ülaossa, siis võib lubada sissepuhumiskiirusi 0,5 ... 3,0 m/s. Väljatõmbeavadest lubatakse suuremaid kiirusi – 1...3 m/s, sest väljatõmbeava läheduses ei teki kontsentreeritud juga.

5.3. Õhutorustike arvutus

Ventilatsioonitorustike arvutus on analoogne veetorustike arvutusega, kuna nii vedelike kui ka gaaside tasakaalu ja liikumist käsitleb üks ja sama teadus - hüdro-aeromehaanika.

$$\Delta p = l \frac{lv^2}{2d} r,$$

Rõhukadu Δp õhu hõõrdumisest liikumisel torustikus on arvutatav Darcy valemiga

kus λ – Darcy takistustegur,

l – torulõigu pikkus,

d – toru läbimõõt,

v – õhu kiirus,

ρ – õhu tihedus.

Takistustegur λ oleneb õhutorustiku sisepinna karedusest ja läbimõõdust ning gaasi Reynoldsi arvust.

Terasplekist õhukanalite sisepinna absoluutne karedus võetakse 0,1 mm, betoonist – 1,5 mm, tellisest – 5 ... 10 mm, krohvitud – 3 ... 6 mm.

Rõhukaod kohttakistustes, nagu õhutoru käänakud, sisse- ja väljavooluavad, hargnemised jm, on arvutatavad Weisbachi valemiga ja nende väärtusi tüüpkonstruktsioonidele võib leida käsiraamatutest

$$\Delta p = z \frac{v^2}{2g},$$

kus ξ – kohttakistustegur,

v – õhu kiirus,

g – raskuskiirendus.

Mehaanilise ventilatsiooni õhutorustike arvutamisel joonistatakse kõigepealt välja torustiku skeem. See jaotatakse lõikudeks, mille ulatuses vooluhulk on konstantne. Teisaldatavad õhuhulgad määratakse arvutuste teel lähtudes ruumide ventilatsiooni normatiivarvudest ja ohtlike ainete, liigsoojuse või liigniiskuse eraldumisest ruumis.

Arvutusi alustatakse kaugemast punktist ja liigutakse ventilaatori suunas. Lähtudes ökonoomsetest õhu liikumiskiirustest arvutatakse torustiku esialgne ristlõige ja valitakse tootmisnomenklatuurist lähim tüüp. Määratakse tegelikule ristlõikele vastavad rõhukaod. Lisatakse rõhukaod ventilatsiooniseadmetes nende passiandmete alusel ja saadakse summaarne rõhukadu. Ventilaatori arendatav dünaamiline rõhk peaks seda ületama.

Õhutorustike praktilisteks arvutusteks kasutatakse nomogrammi (vt EPN 18.3.1, lisa 9), mis on konstrueeritud ümmarguse ristlõikega siledatele õhutorudele (joonis 5.11).

See nomogramm on kasutatav ka ristkülikukujulise põiklõikega õhukanalite arvutamiseks. Selleks tuleb eelnevalt määrata ristkülikukujulise põiklõikega kanaliga ekvivalentse ümmarguse ristlõikega kanali läbimõõt:

$$D_e = \frac{2ab}{a+b},$$

kus D_e – ristkülikukujulise kanali ekvivalentne läbimõõt;

a ja b – ristkülikukujulise ristlõikega kanali külgede pikkused.

Õhutorustiku kohttakistustegurite väärtused ning erinevast materjalidest õhutorustike ja –kanalite hõõrde-rõhukaotegurid tuuakse ära käsiraamatutes.

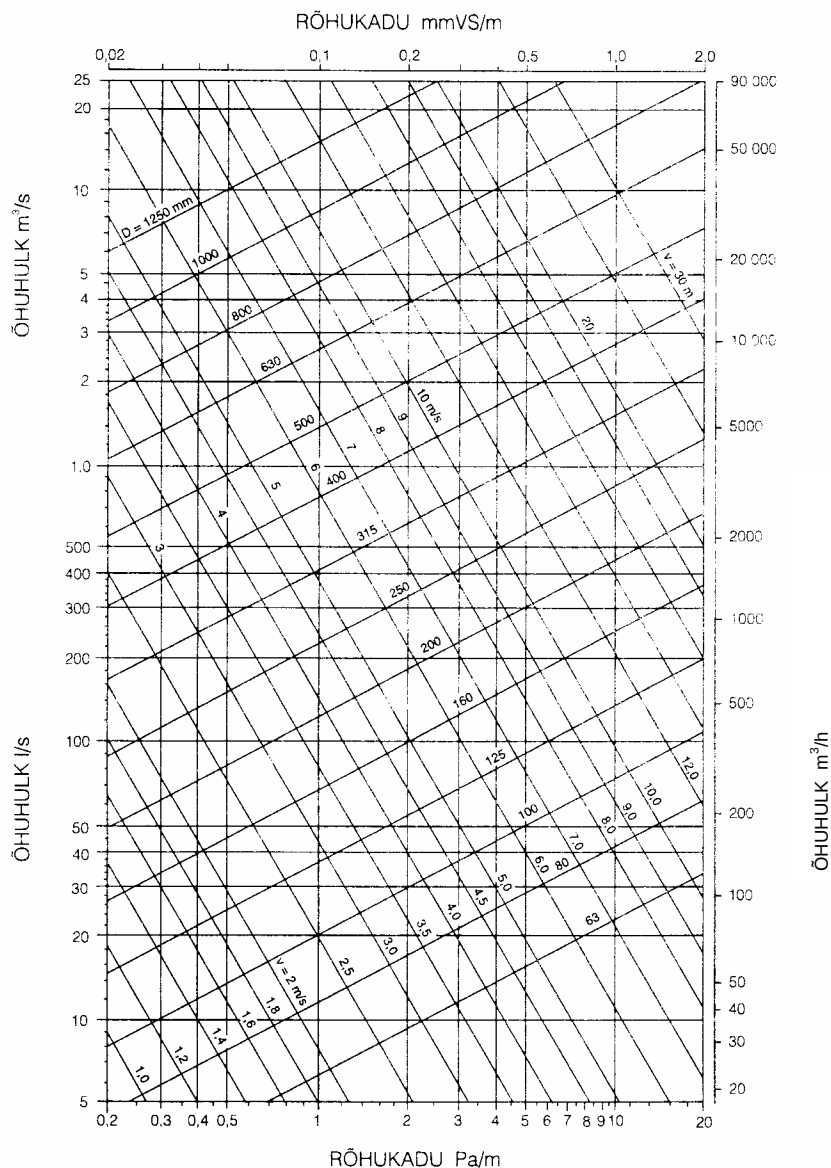
Loomuliku ventilatsiooni vertikaalse väljatõmbekanalini minimaalse vajaliku ristlõikepinna võib määrata valemist

$$A = \frac{L}{3600v},$$

kus A – kanali ristlõikepind m^2 ;
 L – õhuvahetus m^3/h ;
 v – õhu keskmine kiirus vertikaalses õhukanalis m/s .

Toodud valem on kasutatav ka väljatõmbe- ja sissepuhkeavade vajaliku pinna arvutamisel. Seejuures tuleb kasutada parandustegurit 1,3 ... 1,5, mis arvestab, et ventilatsiooniresti elavlõikepind on täisava pinnast väiksem.

Õhu keskmised kiirused loomuliku ventilatsiooni süsteemides võetakse 0,5 ... 1,5 m/s .



Joonis 5.11. Ümarpõiklõikega õhukanalite arvutusnomogramm

Õhu kiirused õhukanalites on ehitusnormidega piiratud. EPN 18.3.1 ei soovita tabelis 5.2 toodud õhu kiirusi m/s õhukanalites ületada, et müra tase ei ületaks lubatud nivood. Vajadusel tuleb õhukanalid isoleerida müra vähendamiseks, tuleohutuse tagamiseks, soojuskadude ja kondensaadi tekke vältimiseks.

Tabel 5.2. Suurimad lubatud õhukiirused õhukanalites m/s

Kanali tüüp	Elamud	Üldkasutatavad hooned	Tööstushooned
Ühiskanal	4,5	5	10
Harukanal	3,5	4	7
Ühenduskanal	2,5	3	4

Sundventilatsiooni süsteemide arvutamisel tuleb tavaliselt lahendada üks kahest ülesandest:

- etteantud õhuhulkade transpordiks tuleb valida sobivad torude ristlõiked ja arvutada tekkivad rõhukaod;
- teades olemasoleva torustiku mõõtmeid, tuleb valida ventilaator, mis suudaks teiselaldada süsteemis vajaliku koguse õhku vajalikule kaugusele lubatud rõhukao juures.

Elamutes ja üldkasutatavates hoonetes valitakse õhutorustiku selline asukoht ja mõõtmed, mis sobivad kõige enam antud ruumi ehituse, otstarbe ja sisekujundusega. Seejuures ei tohi muidugi ületada lubatud õhukiirusi. Edasi määratakse rõhukadu õhutorustikus lähtudes arvutuslikest õhuhulkadest.

Tööstushoonetes valitakse õhutorude läbimõõdud soodsaimate õhukiiruste järgi. Pärast õhutorustiku skeemi väljajoonestamist määratakse kõige pikema haru kaudu õhu transportimiseks vajalik rõhk. Edasi arvutatakse rõhukaod kõigis harudes. Iga haru rõhukadu peab võrduma ühiskanali rõhuga hargnemiskohtades. Lubatav hälve on 10%. Sellise täpsuse saavutamiseks võib kasutada harule paigaldatud siibrit, mille takistuse reguleerimisega on võimalik haru takistust suurendada.

Kui õhk väljub õhutorust või imetakse sellesse külgavade kaudu, siis selliseid avasid võib arvutustes käsitada kui harutorusid, mille pikkus võrdub nulliga. Sellistes harudes puuduvad rõhukaod hõõrdele. Jäävad vaid koht rõhukaod väljavoolutakistustele.

Et tagada õhu ühtlast väljavoolu õhutoru külgpilust, peab õhutoru olema konstrueeritud nii, et toru pikkusel staatilise rõhu muutusele kaasneks samaväärne dünaamilise rõhu muutus. See on saavutatav ainult muutuva ristlõikega torudes.

Olles arvutanud ventilatsiooni õhutorustiku, tuleb valida takistuse ja õhuhulga järgi sobiv ventilaator.

Mehaanilise ventilatsiooni süsteemides arendavad ventilaatorid rõhkusid, mis on tunduvalt suuremad rõhkudest loomuliku ventilatsiooni süsteemides. See võimaldab transportida õhku suurematel kiirustel, vähendades seega oluliselt õhutorude ristlõiget. Ühiskanaliites liigub õhk kiirusega 7 ... 12 m/s, harudes 5 ... 8 m/s, õhuhaarde- ja väljundkanaliites 4 ... 6 m/s.

Kohttakistuste mõju sundventilatsiooni süsteemi õhutorustikes on märgatavalt suurem kui loomuliku ventilatsiooni õhutorustikes, sest esimestes on õhu liikumiskiirus tunduvalt suurem. Kohttakistuste vastastikuse mõju vältimiseks peab õhu vool torus või kanalis pärast iga kohttakistuse läbimist stabiliseeruma. Selleks on vajalik teatud pikkusega sirge lõik. Kui see puudub, siis eelnev takistus võib suurendada või vähendada järgneva takistuse takistustegurit. Teoreetiliselt ei ole võimalik määrata üksikute takistuste mõju. Seda on võimalik teha vaid katseliselt.

5.4. Ventilaatorid

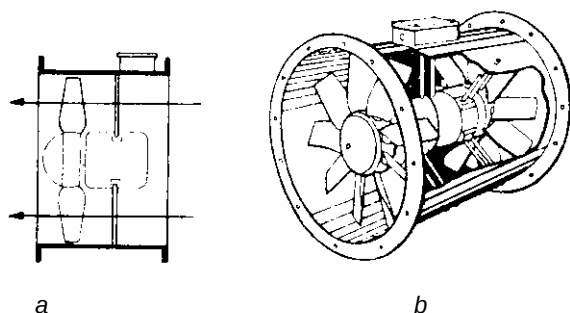
Õhku teisaldatakse mehaanilistes ventilatsioonisüsteemides ventilaatorite abil. Ventilaator on pöörlev masin, mis kasutab mehaanilist energiat õhu või muu gaasi pideva voolu tekitamiseks ühe või enama labadega tiiviku abil. Ventilaatoreid kasutatakse õhu liigutamiseks ühes ruumis (ringlusventilaator), õhu juhtimiseks ühest vabast ruumist teise (ümberjaotuse ventilaator) või kanalis (kanaliventilaator), õhujoa tekitamiseks (joaventilaator). Vastavalt ülesandele eristatakse ka ventilaatori paigaldamise viise:

- tüüp A – vaba sisend, vaba väljund;
- tüüp B – vaba sisend, väljund kanalis;
- tüüp C – sisend kanalist, vaba väljund;
- tüüp D – sisend kanalist, väljund kanalis.

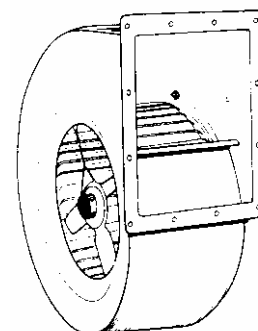
Tööpõhimõtte järgi liigitatakse ventilaatorid kahte gruppi: telg- ehk aksiaalventilaatorid ja tsentrifugaal- ehk radiaalventilaatorid.

Telg- ehk aksiaalventilaatorisse siseneb ja väljub õhk tiiviku suhtes aksiaalselt – piki tiiviku pöörlemistelge (joonis 5.12). Need ventilaatorid kujutavad endast silindrilisse kerosse paigaldatud tiivikut. Nad võivad transportida suuri õhuhulkasid suhteliselt väikestel rõhkudel (300 ... 700 Pa). Ventilaatori tähistes olev number näitab tavaliselt töörratta läbimõõtu. Väiksemate ventilaatorite töörratas kinnitatakse vahetult elektrimootori völliile. Suuremad ventilaatorid ühendatakse elektrimootoriga kiilrihmülekanade abil.

Vastavalt õhu voolamisteele tiiviku suhtes eristatakse veel mitut ventilaatoritüüpi. Vastupöörlemisega ventilaatoris on kaks järjestikku paigaldatud tiivikut, mis pöörlevad eri suunas (joonis 5.12 b). Reverseeritav aksiaalventilaator on spetsiaalselt konstrueeritud mõlemas suunas pöörlemiseks. Propeller-ventilaatori tiivik on väikese arvu ühtlase paksusega laiade labadega, mis on ettenähtud töötamiseks avas.

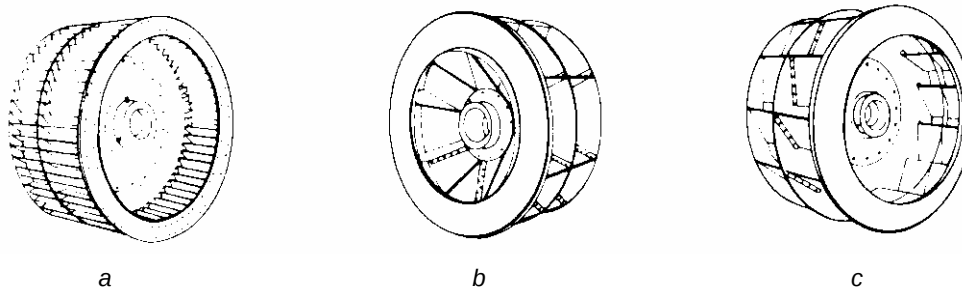


Joonis 5.12. Telg- ehk aksiaalventilaator: a – üheastmeline, b – kaheastmeline vastupöörlemisega



Joonis 5.13. Tsentrifugaal- ehk radiaalventilaator

Tsentrifugaal- ehk radiaalventilaatorisse siseneb õhk tiiviku aksiaalsuunas ja väljub radiaalsuunas (joonis 5.13). Need ventilaatorid koosnevad teokujulisest kerest, mille sees pöörleb tiivik ehk tööratas. Õhk imetakse ventilaatorisse külgavast ja paisatakse välja tsentrifugaaljõudude mõjul puutuja suunas läbi väljumisava. Tiivikud jagunevad järgmiselt: tagasipööratud või kaldasetusega, radiaalsed või ettepoõratud, sõltuvalt sellest, kas laba välispidine suund äärel on pöörlemissuuna suhtes tahapoole, radiaalne või ettepoole (joonis 5.14). Väiksemad tiivikud kinnitatakse vahetult elektrimootori võllile, suuremad saavad pöörlemise kiilrihmülekande abil.



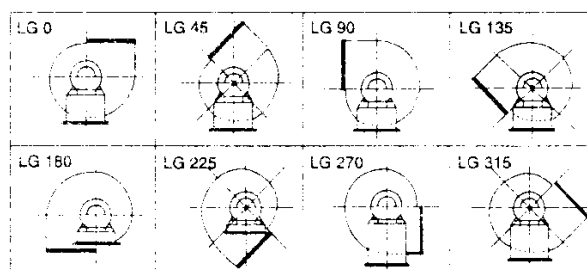
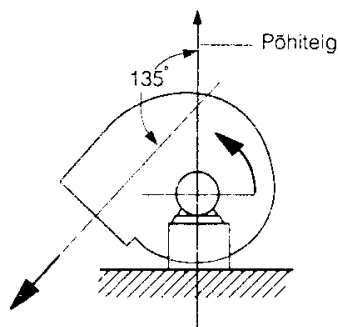
Joonis 5.14. Tsentrifugaalventilaatori tiivikute labad: a – ettepoõratud, b – radiaalsed, c – tagasipöõratud

Tsentrifugaalventilaatoreid eristatakse nende poolt arendatava rõhu järgi. Madalrõhuventilaatorid annavad rõhku kuni 1000 Pa, keskrõhuventilaatorid 1000 ... 3000 Pa ja kõrgrõhuventilaatorid 3000 ... 15000 Pa. Rõhku üle 15 kPa arendavad kompressorid.

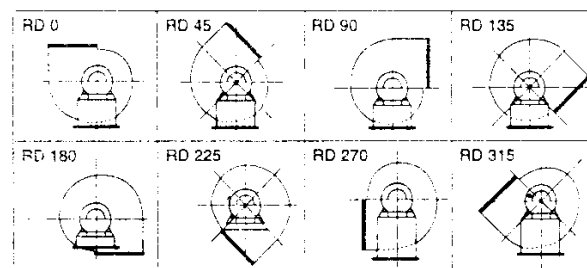
Eristatakse päri- ja vastupäeva, ehk mootori poolt vaadatuna paremale ja vasakule pöörlevaid ventilaatoreid. EUROVENT'i tähistuses (joonis 5.15) märgitakse pöörlemissuund, RD – parempoolse (päripäeva) pöörlemisega või LG – vasakpoolse (vastupäeva) pöörlemisega, ja nurk õhu puhumissuuna ja püsttelje vaheline nurk.

Tsentrifugaalventilaatoreid liigitatakse ka otstarbe järgi. Üldotstarbelised ventilaatorid on ette nähtud töötamiseks õhutemperatuuril kuni 180°C ja õhu tolmusisaldusega alla 150 mg/m³. Tolmuse õhu transpordiks kasutatakse spetsiaalseid tolmuventilaatoreid, mille tiivik on väikese arvu labadega. Plahvatus- ja tuleohtlike lisanditega õhu teisaldamiseks kasutatakse plahvatuskindlaid ventilaatoreid, mille tiivik on juhuslike sädemete tekkimise vältimiseks valmistatud värvilisest metallist või plastist. Loomulikult peab plahvatuskindel olema ka tiiviku ajamina kasutatav elektrimootor.

Näide
LG 135



Vasakpoolse (vastupäeva) pöörlemisega ventilaatorid

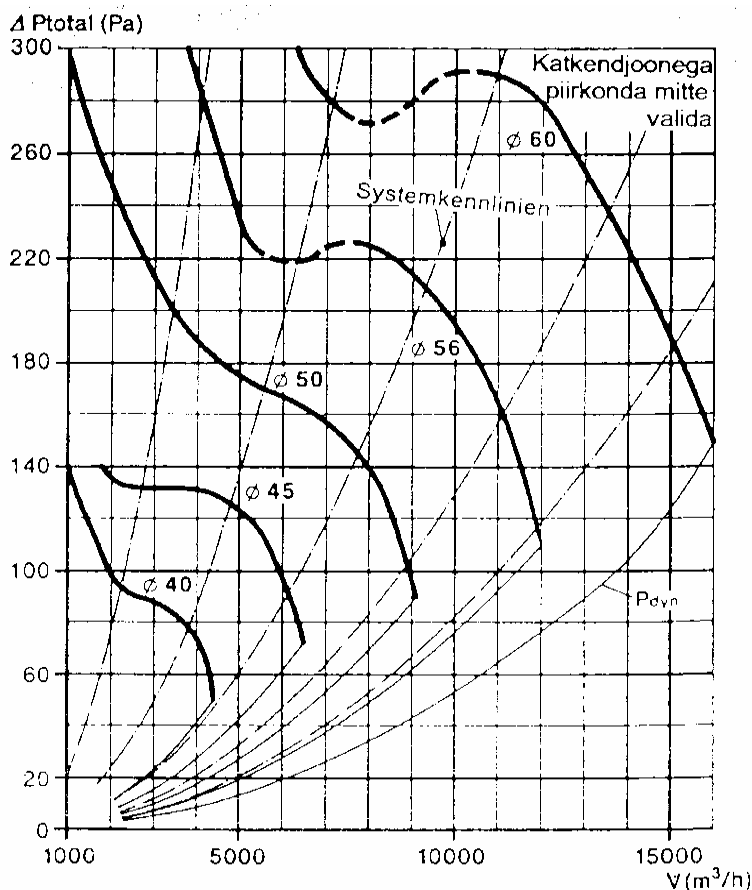


Parempoolse (päripäeva) pöörlemisega ventilaatorid

Joonis 5.15. Tsentrifugaalventilaatorite asendi tähistus

Katuseventilaatorid paigaldatakse katuslaega hoonete katustele. Nad töötavad väljatõmbele ja võivad olla nii aksiaal- kui ka tsentrifugaalventilaatorid. Viimane erineb tavalisest selle poolest, et tal ei ole spiraalset keret ega ka difuuserit õhu väljapaiskamiseks. Õhk väljub mööda kogu tiiviku perimeetrit. Käivitav elektrimootor on ilmastikumõjude eest kaitstud.

Ventilaatoreid valitakse nomogrammide või tabelite abil, mis on koostatud antud ventilaatoritüübi aerodünaamiliste katsetuste tulemusena. Ventilaatori tunnusjoonel ehk karakteristikul on omavahel seotud ventilaatori tootlikkus V , arendatav rõhk P , pöörlemisagedus, kasutegur ja tiiviku joonkiirus (joonis 5.16). Teades vajalikku tootlikkust ja õhutorude takistust, saab nomogrammilt valida ventilaatori tüübi ning leida vajaliku pöörete arvu, kasuteguri jm. Ventilaatorid tuleb valida nii, et nad kindlustaksid nõutud õhuhulga antud ventilatsioonisüsteemi takistuse juures, arvestades ka õhufiltrite mustumisega (joonis 5.17).



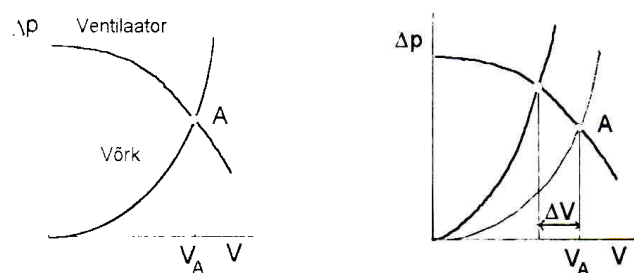
Joonis 5.16. Ventilaatori DZR 30/2A (firma MAICO) tunnusjoon

Ventilaatori tööpunkt tema karakteristikul on soovitatav valida selline, et kasutegur antud punktis oleks vähemalt 90% maksimaalse kasuteguri väärtusest. Kahe ventilaatori koostöötamisel (paralleelselt või järjestikku) tuleb arvestada nende ventilaatorite karakteristikute sobivust.

Tsentrifugaalventilaatorid on ette nähtud suhteliselt suure süsteemitakistuse ületamiseks. Kui ventilaator käivitatakse ilma ventilatsioonisüsteemiga ühendamata, siis põleb ventilaatori mootor sageli läbi. Põhjuseks on asjaolu, et ilma takistusega töötav tsentrifugaalventilaator saab tiivikule korraga liialt suure õhuhulga, mis põhjustab mootori ülekoormuse. Kui ventilatsioonisüsteemi takistus on antud ventilaatori jaoks liiga väike, siis tuleb mootori ülekoormuse vältimiseks suurendada süsteemi takistust siibri sulgemisega seni, kuni mootor hakkab tööle nimivoolul.

Ventilaatorite võimalik vibratsioon ei tohi üle kanduda ehituskonstruktsioonidele. Seetõttu peab ventilaator olema paigaldatud vibroisoleerivale alusele ja ühendatud õhutorustikega elastsete vahetükkide abil. Ventilaatorist põhjustatud müra ei tohi ruumides ületada lubatud taset. Vajaduse korral rakendatakse mürasummutusmeetmeid (joonis 6.17).

Joonis 5.17. Ventilaatori tööpunkti määramine



Kui on vaja muuta süsteemi õhuhulka, siis peab olema võimalus reguleerida ventilaatori õhutootlikkust. Üks võimalus selleks on ventilaatori tiiviku pöörlemiskiiruse muutmine kas pideva või astmeliselt reguleeritava kiirusega mootoriga, libistussiduriga või käigukastiga. Teine võimalus on sisendil või väljundil oleva siibri abil, luues süsteemis täiendava ja muudetava takistuse. Kolmas – ventilaatori imipoolle monteeritud juhtimislabade abil võib juhtida keerist ventilaatori sisendusel ja sellega ka ventilaatori tootlikkust.

Mõnede aksiaalventilaatorite tootlikkust võib reguleerida tiiviku labade kaldenurga muutmisega. Tiiviku labade kallet võib muuta sel ajal kui tiivik pöörleb, pöörates ühe operatsiooniga kõiki labasid üheaegselt. Kui tiiviku laba nurka võib muuta ainult seisva tiiviku puhul, siis nimetatakse seda juhtimisviisi seatavaks kaldeks.

Ventilaatori rõhk on tema väljundis ja sisendis olevate kogurõhkude vahe, mis on jagatav kolmeks komponendiks.

Staatiline rõhk iseloomustab õhu (gaasi) kokkusurutuse astet. Staatilist rõhku võib vaadelda kui gaaside kokkusurumise potentsiaalset energiat, mis on arvuliselt võrdne tööga, mille sooritab 1 m³ gaasi paisumisel. Staatiline rõhk võib olla absoluutne rõhk juhul, kui nullpunktiks võetakse absoluutne vaakum, ja suhteline, kui nullrõhuks loetakse atmosfäärset rõhku. Viimasel juhul võib staatiline rõhk olla nii positiivne kui ka negatiivne. Ventilaatori imipoolel on ta positiivne, survepoolel negatiivne. Ülerõhk on see, mis ületab meid ümbritseva atmosfääri rõhku.

Dünaamiline rõhk kujutab endast 1 m³ õhu kineetilist energiat ja on alati positiivne:

$$p_d = \frac{v^2 \rho}{2},$$

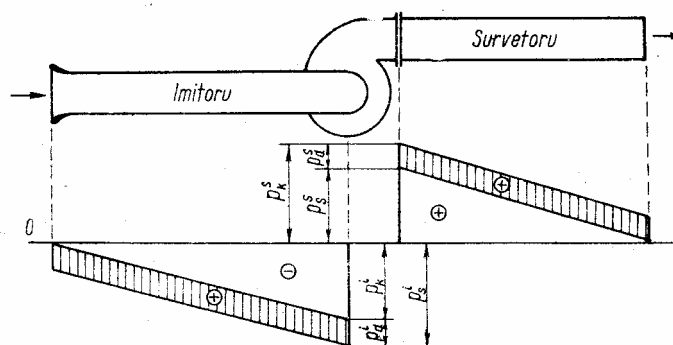
kus p_d - dünaamiline rõhk,
 v – õhu liikumiskiirus,
 ρ – õhu eriraskus,
 g – raskuskiirendus.

Kogurõhk on õhu staatilise ja dünaamilise rõhu algebraline summa ja näitab 1 m³ gaasi koguenergiat. Kogurõhk võib olla samuti kas absoluutne või suhteline olenevalt sellest, kas lugemine toimub absoluutsest vaakumist või atmosfäärsest rõhust. Ventilatsioonitehnikas opereeritakse rõhkude suhteliste väärtustega.

Lihtsaim sundventilatsiooni süsteem (joonis 5.18) koosneb imi- ja survetorust ning nende vahel paiknevast ventilaatorist. Kui ventilaator seisab, siis on staatiline rõhk kogu toru pikkuses võrdne atmosfäärse rõhuga

ehk suhteline staatiline rõhk võrdub nulliga. Kuna õhk seisab paigal, siis on ka dünaamiline rõhk võrdne nulliga (kiirus võrdub nulliga). Järelikult on kogurõhk, kui nende summa, samuti null.

Joonis 5.18. Rõhuepüür lihtsaimas ventilatsioonisüsteemis: p_d - dünaamiline rõhk, p_s - staatiline rõhk, p_k - kogurõhk



Kui ventilaator käivitatakse, hakkab õhk liikuma kiirusega v ületades seejuures toru aerodünaamilist takistust. Selleks, et õhk hakkaks torus liikuma, peab staatiline rõhk imiavas olema väiksem atmosfäärsest rõhust. Kuna imiava vahetus läheduses puuduvad veel rõhukaod hõõrdele, siis on staatiline rõhk imiavas suuruselt võrdne dünaamilise rõhuga, kuid vastupidise märgiga.

Et õhu kiirus kogu toru pikkusel on konstantne (ei muutu õhuhulk ega ka toru läbimõõt), siis on konstantne ka dünaamiline rõhk. Siit tuleneb, et toru aerodünaamilise takistuse ületamiseks võib kulutada vaid staatilist rõhku.

Ventilaatori imiavas torus kehtib võrrand:

$$p_s^i = -(p_d + R^i),$$

kus p_s^i – staatiline rõhk ventilaatori imipoolel;
 p_d – dünaamiline rõhk ventilaatori imipoolel;
 R^i – imitoru aerodünaamiline takistus.

Ventilaatori survetorus kehtib võrrand:

$$p_s^s = R^s,$$

kus p_s^s – staatiline rõhk ventilaatori survepoolel;
 R^s – survetoru aerodünaamiline takistus.

Õhu väljavooluavas võrdub staatiline rõhk nulliga, sest kogu rõhuvaru on kulutatud hõõrdele survetorus.

Joonisel 5.18 on graafiliselt kujutatud ka staatilise, dünaamilise ja kogurõhu epüürid ventilatsioonisüsteemis.

6. VENTILATSIOONISÜSTEEMID

6.1. Üldventilatsioon

Üldventilatsiooni kasutatakse ruumides, kus ei eritu palju soojust, niiskust ja kahjulikke aineid või kus nad on ühtlaselt hajutatud üle kogu ruumi. Reeglina on üldventilatsioon kasutusel ruumides, kus viibivad inimesed ja kus ei toimu tehnoloogilisi protsesse. Need on näiteks elamud, hotellid, haridusasutused, lasteasutused, haiglad, bürood, kinod, teatrid, spordiasutused jm.

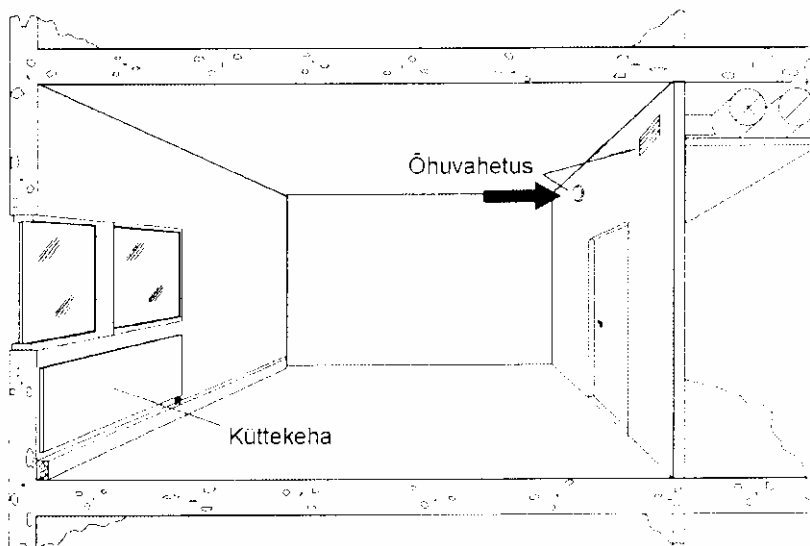
Tööstushoonetes kasutatakse üldventilatsiooni selle suhtelise kalliduse tõttu harvem. Enamasti kasutatakse kohtäratõmmet ja selle poolt ruumist eemaldatav õhk kompenseeritakse sissepuhkesüsteemiga. Üldväljatõmmet tööstushoonetes kasutatakse avariiventilatsiooni süsteemides.

Ventilatsioonisüsteemi valik on mitmetahuline protsess, milles arvestatakse:

- ruumide otstarbega;
- töö iseloomuga (ööpäevaringne, tööpäevane, osalise tööajaga, hooajaline, ajutine jne);
- vajaliku jahutusvõimsuse kõikumisega tööpäeva jooksul (kas konstantne või muutuv, kui suurtes piirides muutuv);
- väliskeskkonna puhtusega objekti tsoonis;
- majandusliku kalkulatsiooniga (ehitusmaksumus, soojusenergia hind);
- hoolduskuludega;
- taotletava mugavusastmega jm.

Valida on laias laastus **kolme** võimaluse vahel.

Konstantse õhuhulgaga – CAV (*constant air volume*) süsteemides ruumidesse antavaid õhuhulki ei muudeta. Seepärast on kasutatav ruumides, kus soojuskoormused on ajaliselt muutumatud. Need süsteemid rahuldavad kõige üldisemaid ventilatsioonisüsteemidele esitatavaid nõudeid (joonis 6.1). Neid on soovitatav kasutada siis, kui soojuskoormused ruumides ($10 \dots 50 \text{ W/m}^2$) ja ventileeritavad õhuhulgad ($1 \dots 3 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$) on väikesed ja ajaliselt muutumatud. Sobivateks kasutuskohtadeks on arhiivid, kontoriruumid, koridorid jm.



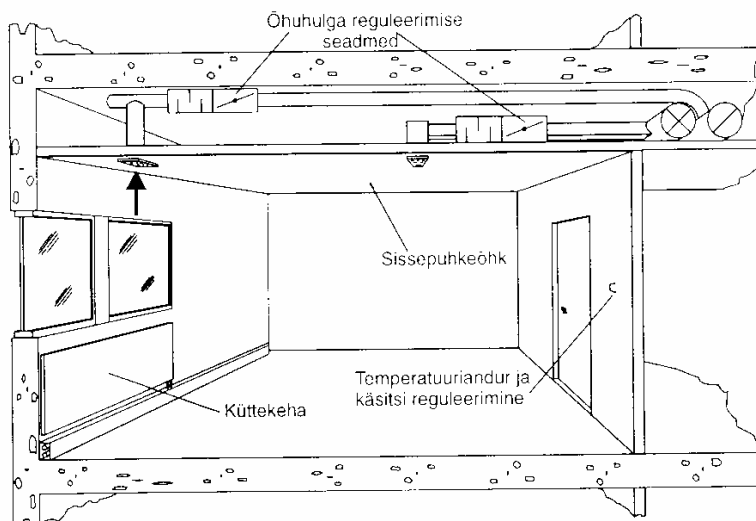
Joonis 6.1. Konstantse õhuhulga süsteem

Muutuva õhuhulgaga – VAV (*variable air volume*) süsteemid on kasutatavad seal, kus ruumide soojuskoormused on ajaliselt muutuvad ja ruumidesse antavaid õhuhulki vastavalt kas suurendatakse või vähendada. Need süsteemid rahuldavad ventilatsioonile esitatavaid nõudeid ka üksikute ruumide kaupa (joonis 6.2). Neid on soovitatav kasutada siis, kui soojuskoormused ruumides ($40 \dots 80 \text{ W/m}^2$) ja ventileeritavad õhuhulgad ($3 \dots 6 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$) on suuremad ja ajaliselt muutuvad. Sobivateks kasutuskohtadeks on bürood, nõupidamiste ruumid, kauplusehooned jm.

Ruumi sissepuhkeõhu hulga muutmiseks kasutatakse reguleerseadet, mille koosseisu kuulub peale regulaatori enda ka mürasummuti. Kanalid kuni ruumi reguleerseadmeni võivad olla kõrgrõhulised ja pärast seadet madalarõhulised. Üks seade võib teenindada mitut ruumi. Seadmed paigaldatakse kahekordse lae vahele, kust toimub ka sissepuhe. Ruumidesse on harilikult paigaldatud ka keskküttevõrku liidetud küttekehad.

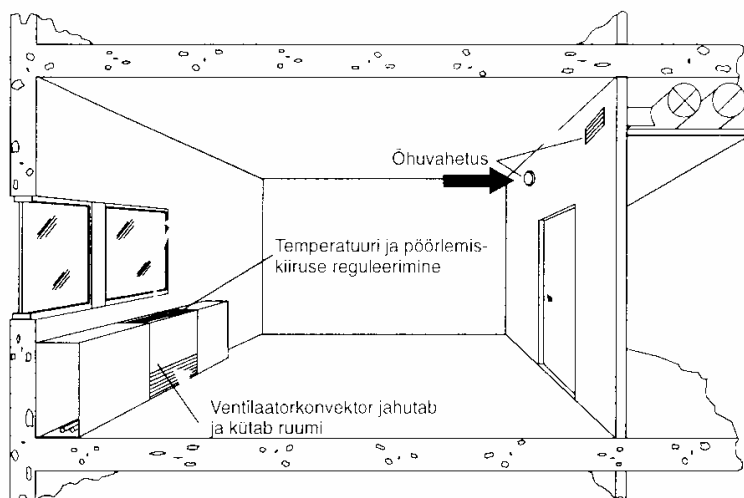
Nii konstantse kui ka muutuva õhuhulgaga süsteemid on tavaliselt õhksüsteemid. Seevastu ventilaator-konvektor ja jahutustaladega süsteemid on õhk-veesüsteemid.

Joonis 6.2. Muutuva õhuhulgaga süsteem



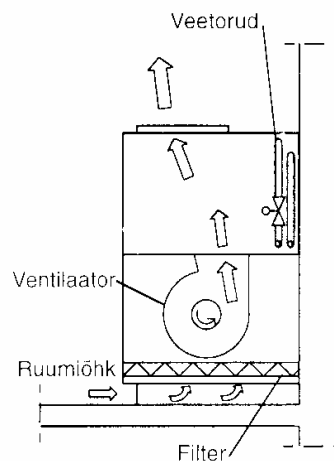
Ventilaator-konvektor (*fan-coil*) ja *jahutustaladega* süsteemid rahuldavad ventilatsioonile esitatavaid nõudmisi üksikute ruumide kaupa. Fan-coil on ventilatsiooniagregaat, mis koosneb ventilaatorist koos kalorifeeri või jahutuspatareiga (joonis 6.3). Neid on soovitatav kasutada suuremate soojuskoormuste ($50 \dots 80 \text{ W/m}^2$ Fan-coil, $50 \dots 120 \text{ W/m}^2$ jahutustalad) ja väikeste õhuhulkade ($1 \dots 4 \text{ l/(s·m}^2\text{)}$) korral. Ventilaator-konvektorsüsteemi puhul saab kasutaja ise reguleerida konvektori võimsust (joonis 6.4). Kasutuskohtadeks ruumid, kus on palju kontoritehnikat, samuti aulad, pangasaalid, kauplused jm.

Joonis 6.3. Ventilaator-konvektorsüsteem

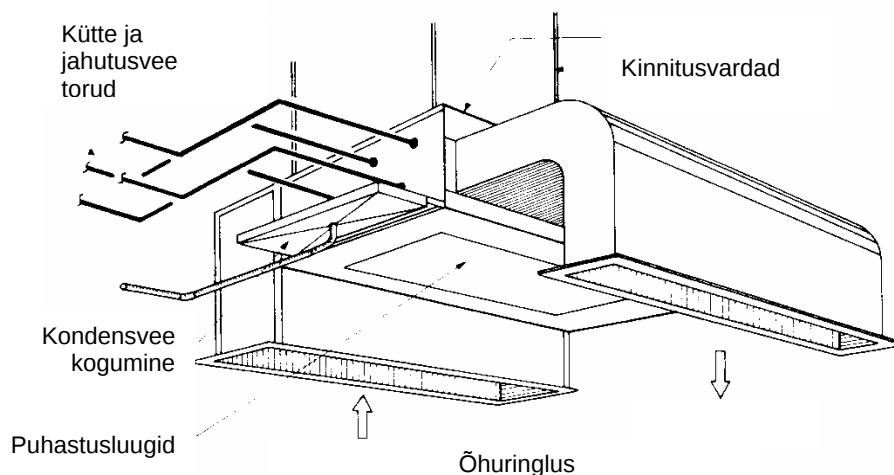


Ventilaator-konvektorsüsteemi puhul jahutatakse ja mõnikord ka kütakse ruumi ventilaatorkonvektori abil. Kütte- ja jahutusvesi tuuakse ventilaatorkonvektoris teras- või plasttorudega. Ventilaatorkonvektor paigaldatakse harilikult aknaalusesse kappi (joonis 6.4), topeltlae vahele või suurtes ruumides lae alla (joonis 6.5).

Joonis 6.4. Ventilaator-konvektor

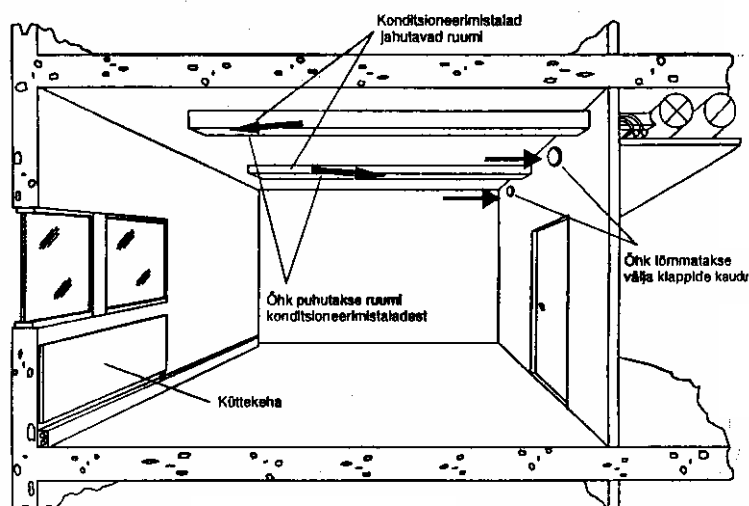


Joonis 6.5. Lae alla riputatav ventilaator-konvektor



Jahutuslae süsteemi puhul jahutatakse ruumi lakke paigaldatud jahutustalade või plaatide abil (joonis 6.6). Soojavahetus toimub peamiselt loomuliku konvektsiooni ja kiirguse teel. Ruumi kütetakse küttekehadega. Temperatuuri reguleeritakse termostaadi abil. Sisepuhkeõhk tuuakse ruumi kas eraldi või jahutustala kaudu. Õhu hulk arvutatakse vastavalt ventilatsioonivajadusele, mitte aga jahutusvõimsuse järgi, mistõttu tõmbuse tekkimise oht on väiksem kui üksnes õhkjahutust kasutavas süsteemis.

Joonis 6.6. Jahutuslae süsteem



Õhukanalid ja jahutusveetorud paigaldatakse koridori lakke. Jahutustalad arvestatakse mitte kondenseeruvatena, mistõttu nad eeldavad sisepuhkeõhu jahutamist (kuivatamist). Ruum ei tohi olla niiske. Talad on niisama pikad kui ruum ja nad paigaldatakse enne vaheseinte ehitamist.

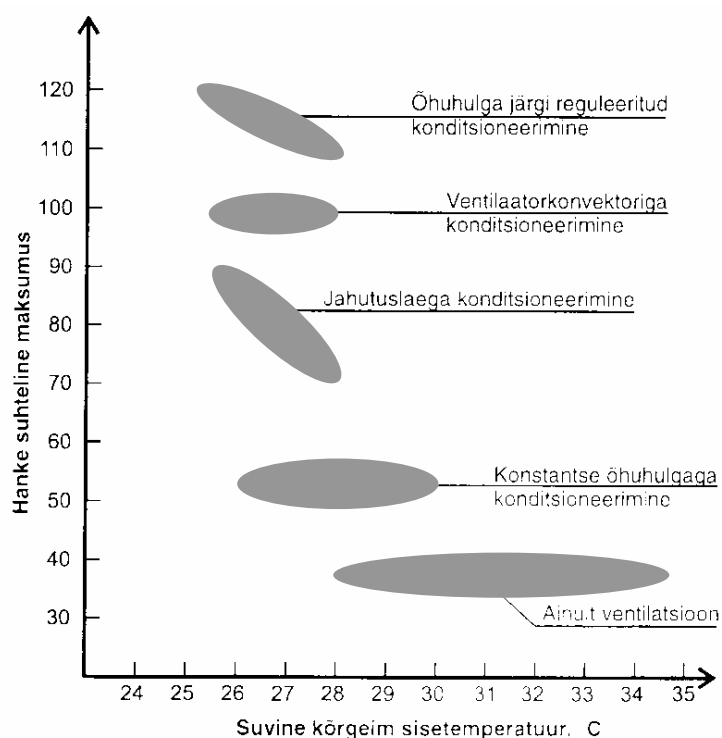
Elamute ventilatsioon võib olla nii mehaaniline kui ka loomulik. Enamlevinud ventilatsioonisüsteemid on:

- loomulik väljatõmbeventilatsioon;
- loomulik väljatõmme, mida on tugevdatud plidiventilaatoriga;
- sundväljatõmbeventilatsioon;
- sundväljatõmme koos pliidikummiga;
- sisepuhke ja väljatõmbe sundventilatsioon, mis on varustatud soojatagastiga;
- õhkküttega ühendatud ventilatsioonisüsteem.

Pliidikumm on kate pliidi või muu köögiseadme kohal liigsoojuse, kõrbesuitsu ja aurude eemaldamiseks.

Erinevate ventilatsioonisüsteemide suhtelisest maksumusest annab ülevaate joonis 6.7.

Joonis 6.7. Ventilatsioonisüsteemide suhtelised maksumused



Loomulik ventilatsioon on elamutes üldlevinud. Sundväljatõmbeventilatsioon on üldlevinud korruselamutes, ridaelamutes ja osalt ka väikemajades. Uutes korruselamutes kasutatakse üha rohkem mehaanilist sissepuhke-väljatõmbe-ventilatsiooni koos väljatõmbeõhu soojustagastusega. Mehaaniline väljatõmme tuleb ette näha WC-st, vannitoast, köögist, garderoobist. Sissepuhkeõhk antakse eelsoojendatuna eluruumidesse, kust see siirdõhuna suundub väljatõmbesse.

Loomuliku sissepuhke puhul antakse välisõhk läbi välispiiretesse jäetud reguleeritavate, filtritega varustatud avade eluruumidesse. Seejuures lisatakse ventilatsiooniõhu soojendamiseks vajalik soojuskulu eluruumide küttekoormusele. Nii on võimalik jaotada õhku ühtlasemalt eri ruumide vahel.

Ühepereelamutes on soovitatav kasutada tsentraalseid sissepuhke-väljatõmbe agregate, mis on varustatud soojustagastusseadmetega. Tsentraalseade on mõeldud ruumide grupi või ühe suuremahulise ruumi teenindamiseks. Komplekti kuulub ventilaator, mis on liidetud üheks tervikuks teiste õhutöötlemise elementidega – filter, kalorifeer, soojustagasti, sulg- ja reguleerimisklapid, mürasummutid, kattekest jm.

Korterelamutes võib ventilatsiooni lahendada kas ühe korteri kaupa analoogselt ühepereelamuga või kogu elamut teenindava tsentraalseadme abil.

Õhu liikumise (siirdõhu) suunamiseks eluruumidest WC-sse, vannituppa, kööki ja garderoobi tuleb jätta nimetatud ruumide uste alla pilud vajaliku siirdõhuvoolu kindlustamiseks. Äratõmme köögipliidilt teostatakse läbi rasvafiltri omaette ventilaatoriga.

Ruumides asuvatele kaminale tuleb tagada vajalik põlemisõhuhulk. Selleks tuuakse kamina juurde omaette välisõhukanal, millel on soojustatud sulgklapp. Kaminaga ruum ei tohi jääda alarõhu alla.

Kui ruumis eritub palju soojust ja niiskust, siis on soovitatav saastatud õhk eemaldada ruumi ülaosast ja värsket õhku anda ruumi alaossa.

Ruumides, kus viibib korraga palju inimesi (auditooriumid, kinod, teatrid jm) määravad õhuvahetuse soojus- ja niiskuseritused ning hapnikuvajadus. Soe ja niiske õhk kui kergem liigub ülespoole. Seega oleks loogiline ruumi ventileerimisskeem alt üles. Sellele skeemile räägib vastu asjaolu, et ruumi alumisse ossa inimeste vahetusse lähedusse, on raske juhtida suure koguses värsket jahedamat õhku nii, et ruumis viibijad ei tunneks ebameeldivat õhu liikumist. Selle vältimiseks ei tohi seinte alumisest osast puhuda õhku sisse kiirusega üle 0,5 m/s. Põrandas paiknevatest avadest ei soovitata ruumi õhku anda, sest sinna settib ventilatsiooni mittetöötamisel tolm, mis paiskub ventilaatori käivitamisel õhku.

Parem lahendus on värsket õhu juhtimine ruumi seinte ülemises osas olevate avade kaudu. Seejuures tuleb jälgida, et sissepuhutava õhujoo ette ei satuks ehitustarindeid (sambaid, piilareid jm), mis võivad kallutada sissepuhkejoa ebasoovitavas suunas.

Õhu sissepuhkeavade ette ei ole soovitatav panna reste, vaid kasutada selleks õhujoa jaotureid (joonis 5.10).

Üks paremaid lahendusi ruumi üldventilatsiooniks on värske õhu juhtimine ruumi aknalaua piirkonnas suunaga alt üles. Sel juhul saavutatakse soodsaim õhu liikumine ruumis ja ruumis viibijatele on mugavused tagatud.

Kõik õhu sissepuhkeavad peaksid olema reguleeritavad, sest harilikult ei õnnestu arvutustega ventileerimiseks vajalikke õhuhulki piisavalt täpselt määrata.

Õhu väljatõmbeavade paigutus ruumis on väiksema tähtsusega, sest imemisjuga on väga väikeseulatuses (ava läbimõõt). Et suurem osa eritisi on ruumiõhust kergemad, siis asetsevad väljatõmbeavad ruumi ülaosas. Väljatõmbeavad kaetakse kas tavaliste või reguleeritavate restidega.

Kui lahendada üldventilatsiooni piki ruumi perimeetrit või diagonaali suunatud värske õhu jugade abil, siis on vaja teha õhujugade detailne arvutus. See põhineb väga komplitseeritud jugade teoorial ja peab arvestama ruumi kuju, mõõtmeid, küttesüsteemi jm.

Ruumides, kus eritub palju soojust, niiskust või lõhnasid (köögid, vannitoad, sanitaarsõlmed), tuleb teha intensiivset väljatõmmet, kusjuures väljatõmbeavad tuleb paigaldada saastuskoldele võimalikult lähedale.

Kui anda õhku ruumidesse ülalt, siis võib sissepuhutava õhu temperatuuri alandada, sest alla liikudes seguneb ta ruumiõhuga ja soojeneb. Ruumi alaossa juhitud värske õhk peab aga olema soojendatud ruumiõhu temperatuurini, et ruumis viibijatel ei hakkaks jahe. Mida madalam on sissepuhutava õhu temperatuur, seda rohkem assimileerib ta soojust. Seega tuleb ülaltpuhumise üldventilatsioon odavam.

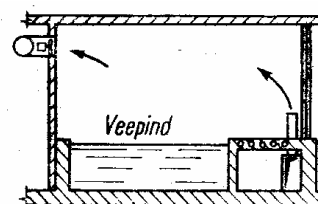
Ruumides, kus on vajalik eriti intensiivne õhuvahetus, on otstarbekas teha perforatsioonid laed, mille kaudu värske õhk juhitakse ühtlaselt ruumi. Laevades ühtlase kiiruse saavutamiseks peab perforatsioonid lae kohal asuma avar ruum, kus õhu liikumiskiirus on väike. See piirab perforatsioonid lae kasutamist.

Ruumide õhutamise põhimõtteskeemid on mitmeid. Millist skeemi igal konkreetsel juhul kasutada, sõltub ruumi otstarbest, eritiste iseloomust, kasutatavast küttesüsteemist jm.

Vaatesaalide õhutamisel juhitakse värske õhk saali kontsentreeritud jugadena tagaseinast lae alt ja rõdu alt. Väljatõmme toimub ekraani- või lavapoolsest küljest ruumi ülemisest osast. Retsirkulatsiooni teostatakse üleval saali keskel. Õhku võib saali juhtida ka laest suunaga lava poole või külgsuundades.

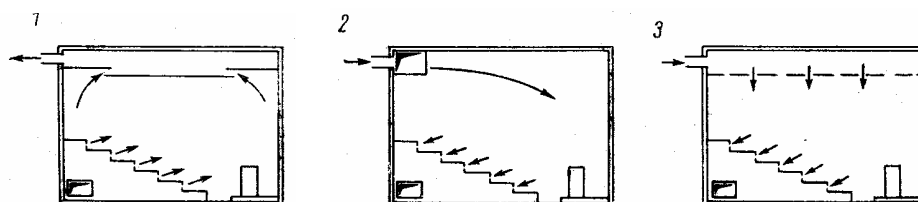
Operatsioonisaalides on soovitatav maksimaalse puhtuse ja tolmu lendlemise vältimiseks juhtida õhku ülalt alla väikese kiirusega kas läbi perforatsioonid lae või õhujaoturite abil laugja joana.

Ujula ventileerimisel antakse õhk ruumi akna eest suunaga alt üles (joonis 6.8). Väljatõmme toimub vastasseinast ruumi ülemisest osast.



Joonis 6.8. Ujula ventileerimine

Auditooriumide ventileerimisel on võimalikud skeemid, kus õhk liigub alt üles 1 (joonis 6.9) või ülalt alla 2 ja 3.



Joonis 6.9. Auditooriumi ventileerimisskeemid

6.2. Kohtventilatsioon

Üldventilatsiooni puhul asendatakse õhku pidevalt kogu ruumis. Tööstushoonetes piisab sageli kui eemaldada saastunud õhk väikeste kogustena vahetult kahjulike ainete tekkimise kohast. Suurtes automatiseeritud tootmishoonetes töötab vähe inimesi. Ventilatsiooniks piisab kui juhtida vajalik värske õhu kogus otse inimeste töökohtadele. Seega võivad kohtventilatsioonisüsteemid olla nii väljatõmbe- kui ka sissepuhkesüsteemid. Otstarbekas kohtventilatsiooni rakendamine võimaldab tunduvalt vähendada töödeldavaid ja transporditavaid õhukoguseid, mis alandab kulutusi ventilatsioonile.

Et takistada soojuse, niiskuse, kahjulike gaaside või aurude levimist ruumis, paigaldatakse tehnoloogiliste seadmete kohale varjed, mille alt imetakse välja saastunud õhk. Õhust kergemad eritised tõusevad ülespoole, raskemad vajuvad alla.

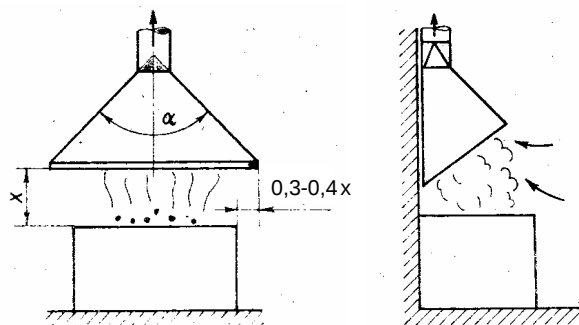
Varje peaks vastama järgmistele nõuetele:

- maksimaalselt takistama tekkiva saaste levimist ruumi;
- mitte takistama tehnoloogiliste protsesside kulgemist ega muutama tehnoloogiat keerulisemaks;
- mitte takistama tehnoloogiliste protsesside jälgimist ja juhtimist;
- varje alt eemaldatav õhuhulk peab olema võimalust mööda minimaalne.

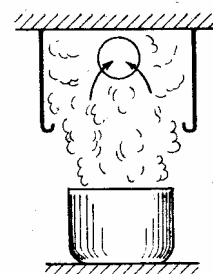
Lihtsaim varje õhust kergema saastaine kinnipüüdmiseks on *tõmbevari* (joonis 6.10). Selleks, et tõmbevarje haaraks kogu seadmest tõusva saastatud õhu, peavad ta mõõtmed plaanis olema suuremad saasteallika mõõtmetest. Tõmbevarje tuleks paigaldada saasteallikale võimalikult lähedale nii, et tööline ei saaks viibida varje all maksimaalse saaste piirkonnas. Samas peab jälgima, et pea ära löömine oleks välistatud.

Tõmbevarje normaalseks tööks peab varjekoonuse nurk olema väiksem kui 60° , siis on õhu kiirus avas ühtlane. Suurt pinda haaravad varjed koostatakse seepärast mitmest 60° nurgaga sektsioonist.

Joonis 6.10. Tõmbevari: a – keset ruumi, b – seina ääres



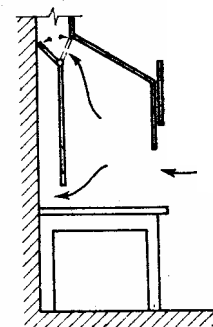
Kui kahjulike eritiste hulk ajas ei ole ühtlane, siis on tõmbevarje asemel otstarbekas kasutada *tõmbekummi* (joonis 6.11). Tõmbekumm kujutab endast mahukat ümberpööratud anumad, mille seest tõmmatakse saaste ära. Tõmbekumm võimaldab arvutada väljatõmbeventilatsiooni mitte maksimaalsele vaid keskmisele saasteaine eritusele, sest tõmbekummi suur maht võimaldab maksimaalse eritumise ajal koguda kummi alla teatud koguse kahjulikke eritisi.



Joonis 6.11. Tõmbekumm

Tõmbevarjete ja -kummide puuduseks on saasteaine võimalik väljapuhumine varje alt horisontaalsete õhuvoolude olemasolu korral.

Kui juurdepääs tehnoloogilistele seadmetele on vajalik vaid ühest küljest, siis võib varjena kasutada *tõmbekappi* (joonis 6.12). Labori tõmbekapist võib väljatõmmet teostada nii alumisest osast (kui saasteaine on õhust raskem) kui ka ülemisest osast (kui saasteaine on õhust kergem). Väljatõmmet saab ümber lülitada spetsiaalse klapi abil.



Joonis 6.12. Tõmbekapp

Tõmbevarjetest, -kummidest ja -kappidest väljatõmmatav õhuhulk on arvutatav valemist

$$L_{vt} = 3600Av,$$

kus L_{vt} – väljatõmmatav õhuhulk m^3/h ;

A – tõmbeava pindala m^2 ;

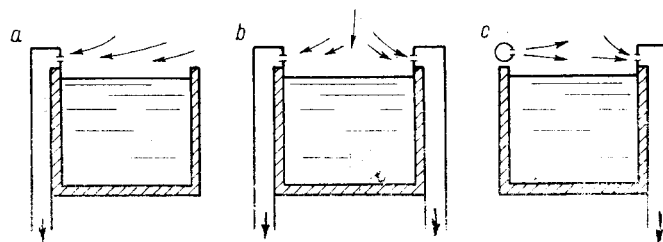
v – õhu kiirus tõmbeavas m/s .

Mittemürgiste eritiste puhul võib õhu kiirus olla piirides 0,15 ... 0,25 m/s . Mürgiste eritiste puhul võetakse kiirus $v = 1,05 \text{ m/s}$, kui äratõmme toimub varje neljast küljest; $v = 0,9 \text{ m/s}$, kui kolmest küljest; $v = 0,75 \text{ m/s}$, kui kahest küljest ja $v = 0,5 \text{ m/s}$ ühepoolse äratõmbe korral. Eriti mürgiste ainete puhul valitakse äratõmbekiirus $v = 1,5 \text{ m/s}$, radioaktiivsete ühendite puhul $v = 2,0 \text{ m/s}$.

Mida väiksemad avad on tõmbevarjetel ja -kappidel, seda väiksem on vajalik ventilaatori tootlikkus. Minimaalne ava varjes peab olema 500 mm kõrge ja 700 mm kõrgem.

Kui saasteallikas on teisaldatav, siis peaks varje ühendamiseks väljatõmbeventilaatoriga kasutama lainesvoolikuid.

Mõnikord ei luba tehnoloogia katta saasteallikat pealt tõmbevarje või -kummiga. Galvaniseerimisvannid, kuhu laaditakse tooteid tõstemehhanismide abil, peavad olema pealtpoolt ligipääsetavad. Pealt avatud vannide korral tõkestatakse saasteaine levikut ääretõmburite abil (joonis 6.13). Ääretõmbur loob aurava vedeliku pinnale sellise õhukiiruste välja, mis takistab aurude levimist ruumi. Siinjuures ei oma olulist osa äratõmmatava õhu kiirus vaid hulk.



Joonis 6.13. Ääretõmburid: *a* – ühepoolse äratõmbega, *b* – kahepoolse äratõmbega, *c* – äratõmbe ja sissepuhumisega

Äratõmbekanalid võivad paikneda kas vanni ühel poolel, kahel vastaspoolel või ringina ümber vanni. Ääretõmburi tõhusust saab suurendada, kui ühelt poolt puhuda ja teiselt poolt ära tõmmata. Sel viisil luuakse vedeliku pinnale blokeeriv õhkkardin. See kardin katkeb toodete vanni laadimise ajal. Seetõttu ei saa puhumist rakendada mürgiste aurude puhul.

Õhuhulgad, mida on vaja eemaldada ääretõmburite abil, arvutatakse tingimusest, et imemiskiirus tõmbepilust kõige kaugemal asuvas vanniosas ei oleks alla 0,2 m/s . Lämmastikhappe ja väävelhappe aurude puhul valitakse kiiruseks 0,25 ... 0,4 m/s . Äratõmmatav õhuhulk on seda väiksem, mida kõrgemale ulatuvad vanni servad üle lahuse pinna ja mida madalam on lahuse temperatuur. Ühepoolse äratõmbe puhul võivad õhuhulgad olla väiksemad kui kahepoolse äratõmbe korral. Keskmiselt on ääretõmburite abil eemaldatav õhuhulk 1500 ... 5000 m^3/h vanni horisontaalprojektsiooni 1 m^2 kohta. Kui äratõmbepilu laius on 50 ... 100 mm, siis on kiirus pilus 11 ... 15 m/s . Kui vannide juures kasutatakse õhu sissepuhumist ühest ja väljatõmmet teisest pilust, siis väljatõmmatav õhuhulk on ligikaudu kuus korda suurem sissepuhutavast õhuhulgast.

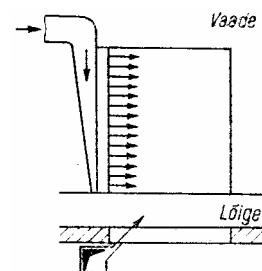
Kohtväljatõmbeventilatsioon on tõhus vahend võitluses tolmuaga. Oluline on, et tolmu tekkimise koht oleks võimalikult hästi kaetud varjega. Varjest peab õhu eemaldama suunas, mis ühtib tolmu loomuliku liikumise suunaga (käia kate). Õhukanalid ja varjed tolmu eemaldamiseks peavad olema piisavalt tihedad, et vältida tarbetut lisaõhu juurdeimemist.

Tolmu eemaldamiseks kasutatavates kohtäratõmbesüsteemides tuleb tolmust õhku transportida mööda õhutorustikke tolmueralditeni. Õhu kiirus torustikes peab olema nii suur, et tolmuosakesed hõljuksid õhuvoolus. Tolmu transportiva õhu kiirus peab olema piisavalt suur tolmuosakeste õhku tõstmiseks õhutoru põhjast süsteemi käivitamisel. Tolmu tavalisel kontsentratsioonil 0,05 ... 0,5 (kg tolmu/ kg õhku) valitakse õhu liikumise kiiruseks 10 ... 20 m/s. Täpsemalt sätestab minimaalsed õhu kiirused õhukanalis tolmu transportil olenevalt tolmu liigist EPN 18.3.1. lisa 8. Torukäänakud peavad olema suure kõverusraadiusega ja kolmikute hargnemisnurgad ei tohi ületada 30°.

Mõnikord on otstarbekas kasutada koht-sissepuhkesüsteeme. Neid nimetatakse sõltuvalt iseloomust kas *õhkdušsideks*, *õhkkardinateks* või *õhkpuhvriteks*.

Õhkdušš kujutab endast inimestele juhitavat õhujuga. Joa jahutav toime seisneb selles, et õhu temperatuur on inimese naha omast madalam ja õhk liigub küllalt kiiresti. Õhkdušše kasutatakse nn kuumades tsehhides, kus töölised puutuvad kokku intensiivselt soojust kiirgavate kuumade metallidega.

Õhkkardinad rajatakse kohtadesse, kus on vaja vältida külma, saastatud või kuuma õhu sissetungimist läbi mitmesuguste avade, uste, väravate (joonis 6.14). Õhkkardinaid moodustav õhuvoolus võib ukseavas olla suunatud alt üles (tööstushoonetes) või külgsuunas ühelt või kahelt poolt. Õhu kiirus ukseavas on 12 ... 16 m/s. Õhkkardinatesse juhitakse 2500 ... 10000 m³/h õhku pilu pikkuse 1 m kohta.



Joonis 6.14. Õhkkardin

Õhkpuhvrid kujutavad endast välisuste vahelistesse tamburitesse väikesel kiirusel juhitavat soojendatud õhku. Kasutatakse üldkasutatavates hoonetes, kus uksi sagedasti avatakse. Õhkpuhvri ülesandeks on soojendada tamburisse tunginud külma välisõhku.

6.3. Õhkküte

Õhkküttesüsteemides kasutatakse soojuskandjana õhku, mis soojendatakse vajaliku temperatuurini ja juhitakse köetavasse ruumi. Nii on küte ja ventilatsioon ühendatud. Sissepuhutava õhu temperatuur on kõrgem ruumiõhu temperatuurist. Ruumis õhuhulgad segunevad, mille tulemusena siseõhule kompenseeritakse soojuskadude katteks kulutatud soojushulk.

Soojuskandjana toimiva ja ringleva õhu tõttu on õhkküttesüsteemil rida omadusi:

- õhkküttesüsteemi abil saab päikesepoolsete ruumide liigsooja suunata varjus olevate ruumide kütmiseks,
- õhkküttesüsteemi saab hõlpsasti lisada õhupuhastuse, jahutuse ja niisutuse,
- kerge on paigaldada soojustagastit,
- õhkküttesüsteemi lekked ei ole nii tülikad kui vesikeskkütte omad,
- õhkküttekaloriferi küttepinda on võimalik kergesti suurendada, mis võimaldaks kasutada madalama temperatuuriga soojuskandjat kui vesikeskkütte radiaatorites.

Eristatakse koht- ja keskõhkkütet. Keskküttesüsteemis soojendatakse õhku kogu hoonele ühises seadmes, millest soe õhk juhitakse mööda jaotuskanaleid köetavasse ruumidesse. Kohtõhkkütte puhul kasutatakse köetavas ruumis ülesseatud õhkkütteagregaati, mis soojendab vahetult ruumis ringlevat siseõhku.

Õhkküttesüsteemis võib soojuskandja liikuda raskusjõudude toimel või ventilaatori jõul. Ventilaatori abil on kergem tagada kalorifeerides vajalikke õhukiirusi.

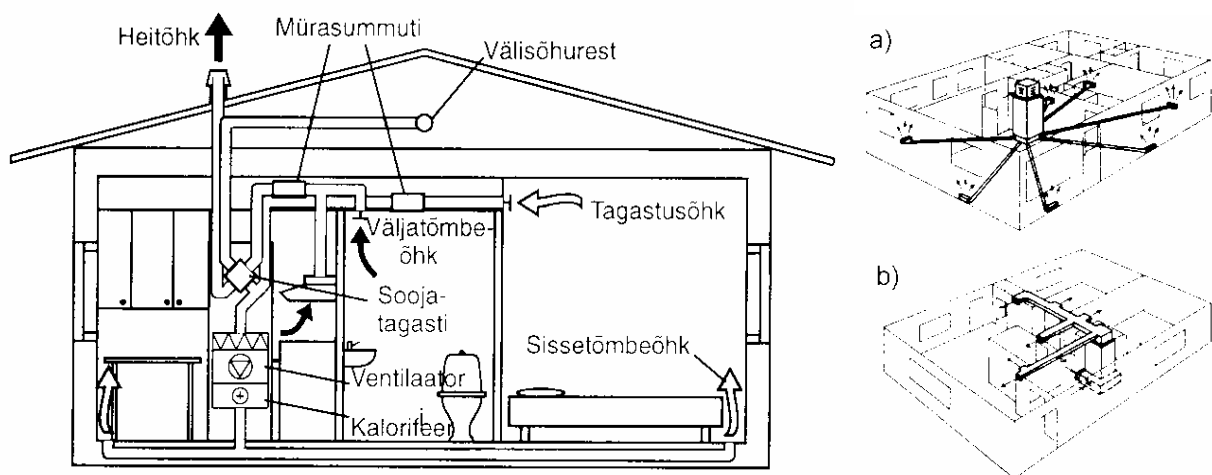
Õhkküttesüsteemid jagunevad ainult küttesüsteemideks ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemideks. Puhtalt õhkküttesüsteemides kasutatakse soojuskandjana ainult ringlusõhku ja selline süsteem ei täida mingilgi määral ruumi õhutamise otstarvet. Sellist süsteemi on võimalik kasutada ruumides, kus puuduvad igasugused kahjulikud eritised.

Kütte- ja ventilatsioonisüsteemides kasutatakse ruumidesse juhtimiseks kas ainult puhast välisõhku või välisõhu ja tagastusõhu segu.

Õhkküteagregaadid sisaldavad kalorifeeri, ventilaatorit, filtrit ja soojustagastit. Nad paigaldatakse köetavates ruumides kas akende alla või seintele. Õhkküte kambrid paiknevad tavaliselt köetava hoone keldris. Maksimaalne lubatav ruumi antava õhu temperatuur on 70°C, kui õhk puhutakse ruumi kõrgemalt kui 3,5 m. Madalama sissepuhke korral ei tohi õhu temperatuur ületada 45°C.

Õhkküte eelisteks võrreldes teiste küteliikidega on küttekehade puudumine metalli kokkuhoid (puuduvad torud, armatuur, küttekehad jm). Õhkküttesüsteemide abil on võimalik ruume kiiresti üles ketta.

Õhkküttesüsteem on seda kallim, mida rohkem kasutatakse soojuskandjana välisõhku. Talvel on välisõhu temperatuur alati madalam siseõhu temperatuurist, mistõttu selle soojendamiseks kulutatakse rohkem soojust kui ringlusõhu soojendamiseks. Õhkkütet on ökonoomne ja mugav kasutada ühepereelamutes (joonis 6.15) ja üksikutes suurtes ruumides. Üldkasutatavate hoonete kütmiseks on õhkküttesüsteem vähesobiv infektsiooni, müra ja lõhnade leviku ning tülrika soojushulga reguleerimise tõttu.



Joonis 6.15. Väikeelamu õhkküttesüsteem soojustagastiga: a) altjaotusega, b) ülaltjaotusega

6.4. Müra vältimine

Ventilatsioonisüsteemi tööga kaasneb sageli häiriv müra. Peamine müraallikas on ventilaator, kuigi õhutorustike kaudu kandub sageli ruumist ruumi ka muu häiriv müra.

Ventilaatori tööga võib kaasneda kahte liiki müra – mehaaniline ja aerodünaamiline. Mehaaniline müra tekib ventilaatori tööratas, mootori ja kere vibratsioonist. Müra tekitavad ventilaatori ja mootori laagrid, ülekanded ja muud liikuvad osad. Aerodünaamiline müra tekib õhukeeriste tõttu ventilaatori labadel, keres, imemis- ja väljavooluavas.

Lubatud müra taseme ventilatsioonist eluruumides ja üldkasutatavates ruumides sätestab EPN 18.3.2 lisa 3. Eluruumides on see 30 ja 40 detsibelli vahel, üldkasutatavates ruumides kuni 45 db.

Ventilaatoris tekkiv müra võib hoones levida mitmel viisil. Kõigepealt levib müra koos õhuga ventilatsioonitorustiku kaudu. Kuna õhu kiirus torustikus on tunduvalt väiksem heli kiirusest, siis levib müra nii ventilaatori surve- kui ka imipoollel.

Teiseks leviku mooduseks on müra kandumine mööda hoone tarindeid. Heli kannavad edasi need tarindid, millele ventilatsiooniseadmed toetuvad. Heaks müra edasikandjaks on õhukanalite seinad, eriti metallist kanalitel. Müra vähendamiseks vooderdatakse metallkanalid seestpoolt müra summutava materjaliga, näiteks mineraalvillaga, mis kiudude eraldumise vältimiseks kaetakse perforeeritud plekiga.

Kolmandaks müra leviku mooduseks on müra tungimine läbi ventilatsioonikambri piirete. Ventilatoris tekkiv aerodünaamiline ja mehaaniline müra levib ventilatsiooniagregaati ümbritseva õhu kaudu kambri piiretele. Läbi nende kandub müra ventilatsioonikambri piirnevatesse ruumidesse.

Ventilatsioonisüsteemides tekkiva müra vähendamiseks piiratakse ventilatori tööratte kiirust. Samuti piiratakse ka õhu liikumiskiirust õhutorustikes. Vähem müra tekitavad suurema labade arvuga ventilatorid.

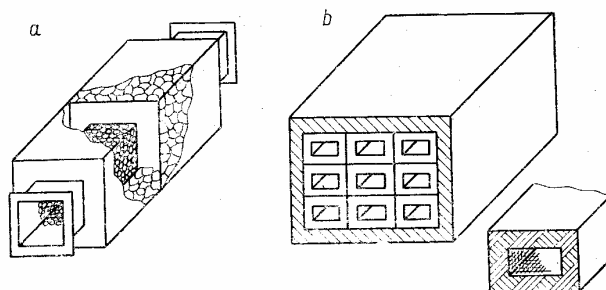
Eelistada tuleb tööratte paiknemist vahetult mootori võllil. Tööratas peab olema korralikult balansseeritud.

Märgatavalt vähem müra (võrreldes veerelaagritega) tekitavad liugelaagritele toetuvad tööratad. Müra on vähem ventilatori tööratte toetamisel kahel pool asetsevate tugevate konsooltoe asemel.

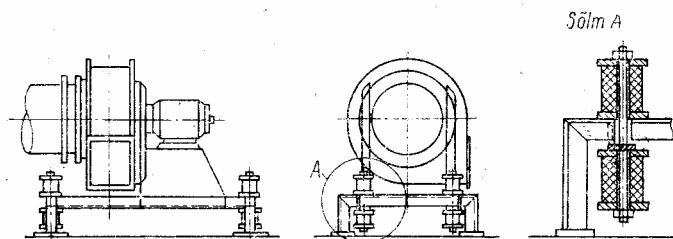
Ventilatsioonisüsteemide projekteerimisel ja ehitamisel rakendatakse müra vähendamiseks järgmisi meetmeid:

- ventilatsioonikambriid projekteeritakse kaugemale neist ruumidest, mille müratase on rangelt reglementeeritud;
- väljatõmbekambriid projekteeritakse abiruumide (trepikojad, koridorid jm) kohale;
- ventilatsioonikambrite seinte sisepinnad kaetakse helineelava materjaliga;
- ventilatsioonikambrite ukseid peavad olema massiivsed (paksus 40 ... 50 mm) ja tihedalt sulguma;
- ventilaatoreid, mootoreid ja õhkkütte-agregaate ei kinnitata vahetult hoone tarindite külge;
- aerodünaamilise müra leviku tõkestamiseks paigaldatakse õhutorudele mürasummutid (joonis 6.16);
- ventilaator ühendatakse õhutoruga elastsest materjalist vahetüki abil;
- ventilaatori ja mootori paigaldamisel kasutatakse vibratsiooni summutavat alust (joonis 6.17);
- mööda metallist õhutorusid leviva müra vähendamiseks kaetakse nad mürasummutava mastiksiga;
- ventilaatori tööratas peab olema hoolikalt balansseeritud;
- maksimaalse müra vähenemise saab kui rajada ventilatsiooniseadmed omaette vundamendile;
- aerodünaamilise müra summutamiseks kasutatakse toru-, kärg-, plaat- ja labürintsummuteid. Heli-neelava materjalina kasutatakse neis tulekindlaid klaaskiust, mineraalvatist vm poorsest materjalist matte – tuletõkkeisolatsiooni.

Joonis 6.16. Mürasummutid: a – torusummuti, b – kärgsummuti



Joonis 6.17. Vibratsiooni summutav ventilaatori alus



6.5. Avariiventilatsioon

Avariiventilatsioon on erandlikel juhtudel ruumi sattunud kahjulike ainete kontsentratsiooni järsu tõusu korral sisselülituv või sisselülitatav ventilatsioon. On vajalik ruumides, kus on võimalik ohtlike ainete kontsentratsiooni järsk tõus, näiteks ülerõhu all olevate tehnoloogiliste anumate või torustike purunemise tagajärjel, kui seadmete dehermetiseerimise tagajärjel paiskub ruumi suur saastekogus. Õhust kergemate

ohtlike ainete puhul tuleb avariiventilatsioon, mis on tegelikult eriti suur mehaaniline väljatõmme, ette näha ruumi ülemisest osast ja õhust raskemate ohtlike ainete puhul ruumi alumisest osast. Õhuhulk tuleb kompenseerida automaatselt avanevate klappide, uste, akende vm kaudu.

Tavaliselt määratakse avariiventilatsiooni suurus vastavate tööstusharu projekteerimismõõnidega. Kui tööstusharu mõõnidega pole määratud teisiti, tuleb avariiventilatsiooniks võtta ruumi 8-kordne õhuvahetus tunnis lisaks põhiventilatsioonile. Avariiventilatsiooni arvutused tehakse silmas pidades evakatsiooniga, mis kuulub inimestel ohutusse tsooni jõudmiseks. Eestis on sellised süsteemid kasutusel külmhoonetes, veepuhastusjaamades, ammoniaagihoidlates.

6.6. Ventilatsioonisüsteemide tuleohutus

Ventilatsioonisüsteemid ei tohi ehitises põhjustada tuleohtu ega võimaldada tule ja suitsu levikut.

Teatavasti on põlengu ajal enamik surmajuhtumeid põhjustatud suitsu ja mürgiste gaaside sissehingamisest.

Ventilatsioonisüsteemi kaudu võivad levida tuli ja suits nii selles tuletõkkesektsioonis, kus tulekahju on alanud, kui ka sellest tuletõkkesektsioonist teise või hoonest väljapoole.

Ventilatsioonisüsteemi tuleohutust mõjutavad nii ehituslik lahendus kui ka puhtus eksploatatsiooniolukorras.

Üldjuhul ei ole ventilatsioonisüsteem ette nähtud tulekahju olukorras tulekustutus- ja päästetöödeks vajalikuks suitsueemalduseks, kuid on selleks teatud osas kasutatav.

Ehitusprojekti tuleohutust käsitleva osa koosseis on määratud eeskirjaga EPN 10.1. Ventilatsiooni kohta kehtivad lisaks sellele veel EPN 10.7. "Ventilatsioonisüsteemide tuleohutus" ja EPN 10.11 "Suitsu eemaldamine hoonest tulekahju korral. Erinõuded ehitiste projekteerimisel", mis konkretiseerivad ventilatsioonisüsteemide tuleohutusnõudeid. Neid dokumente käsitletakse põhjalikult õppeaines "Tuleohutusjärelvalve".

Projekti ventilatsiooniosa peab sisaldama (tekstina või joonistel) tuleohutuse ja selle järelvalve seisukohalt järgmisi olulisi andmeid:

- tule- ja suitsutõkestite tüübid ja asukohad;
- õhukanalite tulepüsivus;
- utiliseerimisseadmete tüübid;
- puhastusluukide asukohad;
- avariilülitusnuppude asukohad;
- professionaalse köögi, nn suurköögi, küpsetusseadmete soojusvõimsus (alla või üle 20 kW).

Suurköök on professionaalselt kasutatava toidlustusettevõtte või asutuse söökla köök, kus toiduvalmistamiseks kasutatavate kuumutusseadmete soojuslik võimsus on üle 20 kW.

Kui ventilatsiooni kohta koostatakse iseseisev projekt, siis peavad seal olema toodud ehitise tulepüsivusklass, tuletõkkesektsioonide kasutusala ja piirid, tuletõkketarindite tulepüsivusklassid.

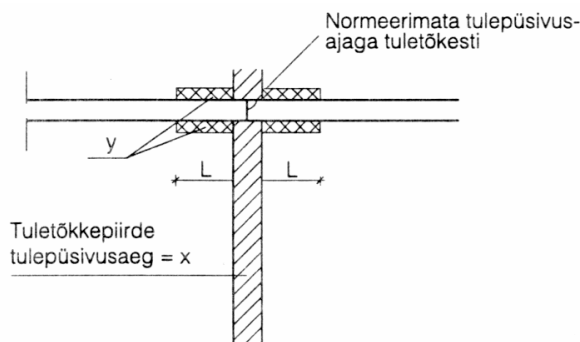
Tule- ja suitsutõkestite ülesandeks on takistada tulekahju ajal tule ja suitsu levimist keskventilatsiooniagregaati ja selle kaudu teistesse tuletõkkesektsioonidesse või otse ühest ruumist teise.

Tuletõkesti on seade või ehitise osa, mille abil tõkestatakse määratud tulepüsivusaja jooksul tule levimist ühest tuletõkkesektsioonist teise. Tuletõkesti võib olla automaatselt suitsu või soojuse mõjul sulguv ja vastata seejuures tuletõkketarindile esitatavatele tulepüsivuse nõuetele.

Tuletõkesti võib olla küll automaatselt sulguv ja tihe ent tuletõkketarindi soojaisolatsiooni nõuetele mittevastav. Sellise tuletõkestiga liituva kanali läbiviik tuletõkketarindist tehakse siiski nii, et see ei nõrgestaks tuletõkkesektsiooni tulepüsivust. Näiteks võib ventilatsioonikanali läbiviigu teha tuletõkkeisolatsiooniga vastavalt joonisele 6.18.

Tuletõkkeisolatsioon on mittepõlevast materjalist vooderdus, mis on kinnitatud ventilatsioonikanalitele, muudele tarinditele ja agregaatidele ning mis pikendab nende tulepüsivusaega.

Joonis 6.18. Normeerimata tuletõkestiga läbiviik



Isolatsiooniga kanaliosa pikkus L valitakse olenevalt ehitise ja kanali tulepüsivusaja nõuetest ja kanali suuruselt (tabel 6.1). Tuletõkestiga kanali tuletõkkeisolatsiooni ei nõuta korterites kui kanali nimisuurus (ümmarguse kanali siseläbimõõt või ristkülikukujulise kanali pikema külje sisemõõt) ei ületa 160 mm.

Tabel 6.1. Isolatsiooniga kanaliosa pikkus olenevalt ehitise ja kanali tulepüsivusajast

Ehitise osa tulepüsivusaja nõue x , min	Kanali tulepüsivusaja nõue y , min	Kanali nimisuurus, mm		
		= 160	161 = 300	> 300
		Isoleeritud kanali pikkus L , m		
15	15	0,5	0,5	0,5
30	15	0,5	0,5	1,0
60	30	1,0	2,0	4,0
120	60	2,0	4,0	4,0
240	120	4,0	4,0	4,0

Tabelis x – tuletõkketarindi tulepüsivusaja nõue;

y – kanali tuletõkkeisolatsiooni tulepüsivusaja nõue (isolatsioon on mittepõlev).

Kui tuletõkesti täidab osaliselt tuletõkketarindile esitatud nõudeid, siis võib kanali tuletõkkeisolatsiooni vastavalt vähendada. Näiteks kui tuletõkkeseina tulepüsivusnõue on 60 minutit ja selle seina kohal kasutatakse klassi EI30 kuuluvat tuletõkestit, siis kanali tulepüsivusnõue on 15 minutit (vt joonis 6.20). Tuletõkesti kinnitatakse tugevasti ja tihedalt kanali või tuletõkketarindi külge nii, et ta püsiks paigal temalt eeldatud tulepüsivusaja.

Suitsutõkesti on ventilatsioonikanalisse paigaldatud seade või ehitise osa, mille abil tulekahju algstaadiumis, enne temperatuuri tõusule reageeriva tuletõkesti tegevusse rakendumist, takistatakse põlemisgaaside ja suitsu levimist ettenähtud aja jooksul ühest tuletõkkesektsioonist või ruumist teise. Suitsutõkesti alarmeerib suitsu tungimisel kaitstavasse ruumi. Suitsutõkestina võib kasutada järgmisi seadmeid või ehitise osi:

- **Drossel**, mille all mõistetakse väljatõmbe- või sissepuhke otsikuid, klappe ja nende ühenduskanaleid.
- **Tõusukanal**, mille all mõistetakse tõusvat sissepuhke- või väljatõmbekanalit. Suitsutõkestina kasutatava tõusukanali vertikaalne tõus peab olema vähemalt 2,5 meetrit.
- **Juhitav tuletõkesti**, mille sulgemine on juhitud vastavasse ruumi paigaldatud suitsuanduriga või objekti automaatse tulekahjusignalisatsiooniga.

Suitsutõkesteid täiendavalt ei vajata kui ruum(id) on kaitstud automaatsete tulekustutusseadmetega või tulekahjusignalisatsiooniga, mis juhib tuletõkesteid ja seiskab ventilaatoreid.

Ventilatsioonikanalitesse ei tohi üldjuhul paigaldada sinna mittekuuluvaid elektriseadmeid või kaableid nende poolt põhjustatava süttimisohu ja suitsu moodustumise ning levimisohu tõttu. Kanalis olevad seadmed ja kaablid suurendavad kanali saastumist ja raskendavad selle puhastamist.

Puhastusluugid tuleb paigutada sulguva tuletõkesti kohale.

Tule ja suitsu leviku tõkestamine tuletõkkesektsiooni piires

Ventilatsioonisüsteem võib osutada tule levitajaks tuletõkkesektsiooni sees siis, kui kanalis olev tolmu ja mustus süttib. Sel juhul võib kanal kuumeneda sel määral, et selle välispind süütab lähedalasuva põleva

materjali. Selle vältimiseks piiratakse põlevate materjalide kasutamist kanalite valmistamisel. Kanalitele tuletokesteseptsiooni sees, mis võivad tavalisest rohkem koguda põlevaid setteid (rasva, värvijääke jm) määratakse kõrgendatud tulepüsivuse ja puhastatavuse nõuded.

Ventilatsioonikanalid tuleb üldjuhul teha mittepõlevatest ehitusmaterjalidest. Sisekanalid võib teha osaliselt või tervenisti põlevatest ehitusmaterjalidest järgides seejuures EPN 10.7 "Ventilatsioonisüsteemide tuleohutus" nõudeid. Põlevatest ehitusmaterjalidest tehtud kanaliosa järel peab kanal olema tuletokesti enne kui kanal läbib tuletokestetarindi.

Ventilatsioonikanali seinte materjali ja paksust valides tuleb tagada, et kanalid taluksid kõiki neile mõjuvaid koormusi, sealhulgas kuumuse ja korrosiooni toimet ning puhastamist. Ristkülikukujulise ja ümmarguse ristlõikega kanalite materjalina kasutatakse teras- ja alumiiniumplekki paksusega vähemalt 0,5 mm.

Köökides ja teistes sellistes ruumides, kus kanalisse koguneb kergestisüttavaid aineid või palju tolmu, tuleb väljatõmbekanalid alati teha mittepõlevatest materjalidest.

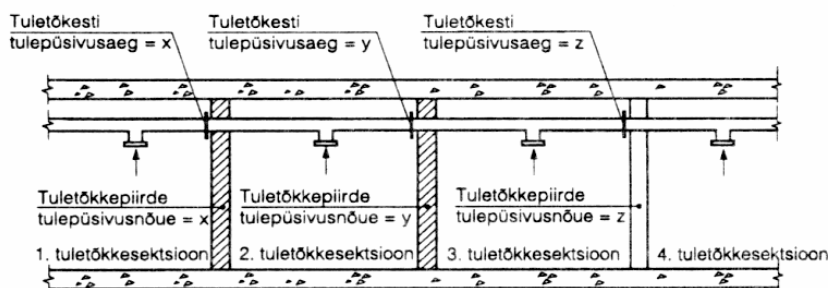
Suurköögi ja lahtise leegiga grilli kohtatõmbeme väljatõmbekanalid tehakse 2 mm paksusest teraslehest. Kooskõlastatult kohaliku päästeasutusega võib seda teatud tingimustel vähendada kuni 1,2 mm-ni. Kanalite isolatsioon, kinnitused ja toetused peavad taluma antud tuletokesteseptsiooni piires tulekahju toimet vähemalt 60 minutit.

Majutusasutustes tuleb ventilatsioonikanalid tuletokesteseptsiooni sees varustada suitsu- või tuletokestetega suitsu leviku tõkestamiseks ühest majutusruumist teise juhul, kui ei ole kasutatud automaatset tulekustutusseadet.

Tule ja suitsu leviku tõkestamine ühest tuletokesteseptsioonist teise

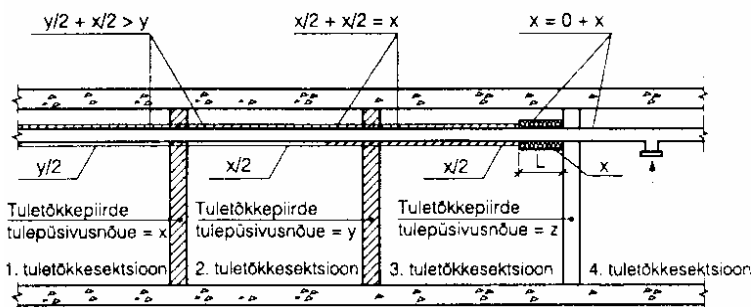
Kui ventilatsioonisüsteem ulatub vähemalt kahe tuletokesteseptsiooni alale, kasutatakse tule ja suitsu leviku tõkestamiseks ühest tuletokesteseptsioonist teise kas tuletokesteid või tuletokestisulatsioonide.

Ventilatsioonikanali läbiminekul tuletokestetarindist varustatakse ta üldjuhul tuletokestiga. Tuletokesti valitakse nii, et see vastab kanaliga läbitava tuletokestetarindi tulepüsivusnõudele (joonis 6.19). Läbiviigukoht tihendatakse ja isoleeritakse mittepõleva materjaliga nii, et läbiviik ei nõrgendaks tarindi tuletokestusvõimet.



Joonis 6.19. Tule leviku tõkestamine ühest tuletokesteseptsioonist teise tuletokestite kasutamise teel ($x > y > z$)

Kui ventilatsioonikanal kulgeb läbi ühe või mitme tuletokesteseptsiooni ilma neisse avanemata, võib tuletokestid asendada kanali tuletokestisulatsiooniga, mille tulepüsivusaeg valitakse nii, et see täidaks tuletokestetarindite tulepüsivuse nõudeid (joonis 6.20).



Joonis 6.20. Tuletokesteseptsiooni mitteavaneva kanali nõutav tulepüsivusaeg juhul, kui ei kasutata tuletokesteid

Puhastusluukide tulepüsisivusklass peab vastama kanali tulepüsisivusklassile.

Tule- ja plahvatusohtliku ruumi (3. tuleohuklass) kohtäratõmbe- ja üldventilatsioonikanalitele tehakse tuletõkkeisolatsioon mittepõleva ehitusmaterjaliga klass EI120.

Ventilatsioonisüsteemi tuleohutuse eest hoolitseb ruumide omanik või valdaja. Nende tuleohutuse järelevalve toimub koos ehitise üldise tuleohutuse järelevalvega.

Kasutatud kirjandus

1. Valeri Tennisberg. 1979. Küte ja ventilatsioon. Kirjastus "Valgus", Tallinn
2. Olli Seppänen, Matti Seppänen. 1998. Hoone sisekliima kujundamine. Kirjastus "Koolibri", Tallinn
3. Raivo Teemets, Jaan Tomson. 1995. Ventilaatorid. TTÜ Elektriainjamite ja Jõuelektroonika Instituut
4. Richard Nicholls. 2002. Heating, Ventilation and Air Conditioning. Interface Publishing, Oldham
5. D. R. Oughton, S. Hodgkinson. 2002. Faber and Kell`s Heating and Air-conditioning of Buildings. Reed Educational and Professional Publishing, Oxford
6. H. B. Awbi. 1998. Ventilation of Buildings. E&FN Spon, London and New York
7. Howard Goodfellow, Esko Tähti. 2001. Industrial Ventilation Design Guidebook. Academic Press, San Diego
8. John H. Klotz, James A. Milke. 1992. Design of Smoke Management Systems. ASHRAE Special Publications, Atlanta