

# Lõppseadmed ja ruumiseadmed

*Risto Kosonen ja Esa Sandberg*

## Raamatu „Sisekliima ja kliimaseadmed“ 9. peatükk

9.1 Ruumiõhu konditsioneerimine

9.2 Õhu suunamis- ja väljatõmbemeetodid

9.3 Õhu suunamis- ja väljatõmbeseadmed

9.4 Muud ruumiseadmed

## Eessõna

Käesoleva materjali näol on tegu MTÜ Eesti Kütte- ja Ventilatsiooniinseneride Ühenduse (EKVÜ) poolt tõlgitud ja välja antud digitaalse juhendmaterjaliga, mis baseerub raamatu „Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät“ 9. peatükil originaalpealkirjaga „Päätelaitteet ja huonelaitteet“. Tulevikus on MTÜ Eesti Kütte- ja Ventilatsiooniinseneride Ühendusel kavas eesti keelde tõlkida ja välja anda teisigi raamatu „Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät“ peatükke.

Tegu on juhendmaterjali esmase avaliku versiooniga, millesse tehakse vastavalt vajadusele jooksvalt parandusi. Kui materjali lugejatel tekib parandusettepanekuid, siis andke sellest palun märku meiliaadressile [ekvy@ekvy.ee](mailto:ekvy@ekvy.ee)

Raamatu tõlkimist ja väljaandmist on lisaks EKVÜ-le toetanud ettevõtte ETS NORD AS.

*Huvitavat lugemist soovides,*

*EKVÜ eestseisus*

## 9.1 Ruumiõhu konditsioneerimine

### Sisekliima eesmärgid õhujaotuse seisukohast

Õhujaotus ruumis on olulise tähtsusega ruumi hubasuse ja siseõhu kvaliteedi seisukohast. Hoone õhujaotuse lahendus on õnnestunud, kui õhujaotus, ventilatsioon ja konditsioneerimine ei ärata ruumis viibijate tähelepanu. Valesti toimiv õhujaotus võib tekitada tuuletõmbust, müra ja kaebusi õhu kvaliteedi suhtes, mis vähendab ruumis viibijate rahulolu ja töövõimet. Erilist tähelepanu tuleb pöörata just bürooruumide õhujaotuse planeerimisele, sest suur jahutusvõimsus ja valesti toimiv õhujaotus suurendavad tuuletõmbuse tekke ohtu.

Projekteerimise lähtekohana tuleb arvestada ruumi eriomadusi ning kavandada konditsioneerimine nii, et saavutatakse valitud sisekliima klass. Suurt tähelepanu tuleb pöörata õhu liikumise kiirusele viibimistsooni eri kohtades. Tuleb arvestada, et ei ole olemas ühte ainuõiget õhujaotuse viisi, mis sobib kõigiks juhtudeks. Ventilatsioonilahenduse

valimisel tuleb kaaluda eri vaatenurki ning valida kõnealusesse ruumi kõige paremini sobiv õhujaotuse süsteem.

Sissepuhke- ja väljatõmbeelementide planeerimisel tuleb tagada ka helitehniliste eesmärkide saavutamine. Seadmed ei või tekitada liigset müra ning need peavad vajaduse korral summutama kanalitest tulevat ventilaatorite ja õhuvoolu müra. Tänapäeval varustatakse lõppelemendid põhiosas tasanduskastidega, mille abil on

võimalik õhuvoolu reguleerida ja voolamist ühtlustada nii, et seadmed töötavad oludes, mille puhul nende tehnilised omadused katsetatud on. Tasanduskastide abil saab ka müra summutada.

Siseõhu konditsioneerimissüsteemi valimise ja planeerimise esimene etapp on otsida välja hoone üldandmed. Planeerimise algfaasis tuleb kindlaks määrata järgmised lähteandmed:

- ruumi sisekliima normväärtused (siseõhu temperatuur, õhu maksimaalne kiirus ja õhu kvaliteet)
- ruumi mõõtmed (laius, pikkus ja kõrgus)
- arhitektuurilised nõuded
- soojuskoormused ja nende asukoht
- õhusaaste allikad ja nende paiknemine
- soojuskaod ning akna ja välisuste konstruktsioonid
- sissepuhke- ja väljatõmbeseadmete paigutamise võimalused
- õhuvoolu võimalikud takistused
- vajalik rõhusuhe ümbritsevate ruumidega
- õhuvooluhulgad kokku.

Ruumi konditsioneerimise põhimõtte valimine on mitmeetapiline protsess, mille käigus määratakse üldandmete alusel:

- konditsioneerimissüsteem, ruumi soojendamine ja jahutamine
- sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad
- õhujaotuse põhimõte

- sissepuhkeõhu temperatuuri ja õhuvooluhukade reguleerimise põhimõte
- sissepuhke- ja väljatõmbeelementide tüüp ja asukoht
- sissepuhke- ja väljatõmbeelementide suurus ja arv

Ruumipõhised sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad määratakse selliselt, et saavutatakse vajalik siseõhu kvaliteet, jahutusvõimsus ja rõhusuhted. Bürooruumides on sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad enamasti sama suured. Sellisel juhul valitakse sissepuhke õhuvooluhulk selle alusel, milline järgnevalt nimetatud teguritest toob kaasa kõige suurema õhuvooluhulga vajaduse:

- valitud sisekliima klass
- vajalik jahutus- või küttevõimsus
- niiskuskooormuste eemaldamine (õhk-vesisüsteemides).

Peale selle arvestatakse näiteks puhasruumides ning tööstusobjektidel eraldi kohtaratõmbeseadmete saaste väljatõmbe tõhusust ning ruumi üle- või alarõhku, mille alusel määratakse ruumipõhised sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad. Tööstusobjektidel püütakse sissepuhkeõhuga tihti peale ka ruumi kütta, mistõttu tuleb õhujaotuse toimivust vaadelda lisaks jahutamisele ka soojendamise olukorras.

### Ruumi konditsioneerimise põhimõtted

Ruumi konditsioneerimise põhimõte (ingl *Room Air Conditioning Strategy*) kujutab endast selliste eesmärkide seadmist, mille abil püütakse ruumis saavutada vajalik temperatuuri, saaste ja niiskuse jagunemine (Goodfellow ja Tähti 2001). Põhimõtte valimise lähtekohaks on ruumi sisekliima

eesmärgiks olev tase ning selle puhul võetakse arvesse kõiki jagunemist mõjutavaid koormus- ja häiretegureid ning õhujaotuse, väljatõmbe, soojendamise ja jahutamise meetoditest koosneva terviksisüsteemi mõju. Vajaduse korral valitakse eri koormustingimuste ja väliskliima olude puhul erinev põhimõte. Arvestada tuleb ka, et põhimõtetega seotud eesmäärke saab saavutada mitmesuguste õhujaotuse meetodite ja seadmete abil.

### Joonis 9.1

Läbiva õhuvahetuse puhul püütakse saavutada õhuvoo suunas ühtlaselt muutuv jagunemine, mille puhul juhitakse ruumi õhuvoogusid ühesuunalise väikesel kiirusel sissepuhkeõhuga, mis on mahult piisavalt tugev, et välistada häirivad õhuvood. Läbivat õhuvahetust kasutatakse ruumides, kus õhu kvaliteedile on määratud erinõudeid, näiteks puhasruumides ja operatsioonisaalides. Õhuvahetus on ruumis tavaliselt suur.

Kihistumispõhimõtte puhul püütakse saavutada selline õhu jagunemine, mis tekib ruumiõhu õhuvoogusid juhtivate üleslükkejõudude mõjul. Üleslükkejõudude põhjustavad konvektsioonivood tekitavad temperatuuri ja saaste kihistumise. Sissepuhkeõhu suunamine toimub üldjuhul madalal kiirusel ja väikese alatemperatuuriga viibimistsooni suhtes. Seda põhimõtet kasutatakse ennekõike siis, kui saaste tekib samast allikast, kust soojuskooormus. Enamasti on tavaruumides sellisteks saasteallikateks inimesed, mistõttu kasutatakse sellist süsteemi nt klassiruumides, koosolekuruumides, teatrites jms ruumides. Tööstuses leiab selline põhimõte kasutamist juhul, kui masinad tekitavad saastet ja soojust. Joonisel kujutatud näidet nimetatakse üldiselt ka tõrjuvaks ventilatsiooniks. Selle puhul juhitakse sissepuhkeõhk otse viibimistsooni väikese kiirusega ja õhuvahetus arvutatakse soojusallikatest

tõusva konvektsioonivoo alusel nii, et piirkiht jääks soovitud kõrgusele. Tõrjuva õhuvahetuse puhul segatakse õhku vaid kindla kõrgustasemeni ning sellest tasandist kõrgemal lastakse ruumi temperatuuril ja saastel kihistuda. Kontrollitud alas (enamasti viibimistsoon) soovitakse tingimusi juhtida ja kontrollimata osas soovitakse, et temperatuur, saaste ja niiskus kihistuks. Ruumi õhuvooge juhitakse nii sissepuhkeõhu suunamise kui ka üleslükkejõu abil. Sissepuhkeõhu alatemperatuur võib viibimistsooni suhtes olla üsna suur. Inimeste tekitatav konvektsioonvoog ei ole alati piisav, et tekitada tsooni põhimõttele vastavat kihistumist, kuid valgustus, masinad ja seadmed võivad kihistumise tekitada.

**Joonis 9.1.** Ruumi konditsioneerimise põhimõtted ja nende omadused. Põhimõtteid saab teostada mitmesuguste õhujaotuse meetodite abil. Tüüpilised rakendused on kujutatud kõrgemates ruumides, kuid madalamates ruumides on põhimõtted samasugused, kuigi kihistumise ja tsooni põhimõtte rakendamine on praktikas keerulisem.

KONDISIONEERIMISE PÕHIMÕTE:	LÄBIV	KIHISTUMINE	TSOON	SEGAMINE
<b>EESMÄRK</b>	Sissepuhke õhuvoolu abil luuakse ühesuunaline õhuvoog kogu ventileeritavas ruumis	Kasutab ja toetab Õhu tiheduserinevuste tõttu tekkivat kihistumist ruumis, asendades tõrjutud konvektsioonivoo sissepuhkeõhuga	Kontrollib siseõhu tingimusi valitud võõndis ning lubab soojuse ja saaste kihistumist mujal ruumis.	Loob ventileeritavas ühtlased olud
<b>TEMPERATUURI, NIISKUSE JA SAASTE JAGUNEMINE (JONISED)</b> X-telg: °C, mg/m <sup>3</sup> , g/kg Y-telg: ruumi suurus (nt kõrgus H) T=sisse, P=välja				
<b>KIRJELDUS</b>	Õhuvoogu juhitakse ühesuunalise väikese kiirusega sissepuhkeõhuga, mis on piisavalt tugev tõrjumaks segavaid vooqusid	Ruumi õhuvoogusid juhib üleslükkejõud. Sissepuhkeõhk väikese kiirusega.	Õhuvoogusid juhitakse osaliselt sissepuhkeõhu abil ja osaliselt üleslükkejõu abil.	Õhuvoogusid juhitakse tavaliselt suure kiirusega õhujaotuse abil.
<b>TEOREETILINE SAASTE JA SOOJUSE EEMALDAMISE TÕHUSUS</b>	← ∞ →			
<b>TÜÜPILINE ÜLDVENTILATSIOONI LAHENDUS</b>				

Seguneva ventilatsiooni eesmärk on õhku tõhusalt segada ning hoida soojus- ja saasteolud kogu ruumi ulatuses samad. Seda meetodit kasutatakse enim tavaruumides ning ka tööstuses. Selline põhimõte on hästi rakendatav, kui soojuskoormused on suhteliselt väikesed ja ka saastet tekib vähe. Ruumi õhuvoogusid juhitakse üldjuhul suure kiirusega sissepuhkeõhu abil. Sissepuhkeõhu alatemperatuur võib viibimistsooni suhtes olla üsna suur. Madalates ruumides on see põhimõte tavaline ning kergesti teostatav, kõrgemates ruumides tuleb pöörata erilist tähelepanu õhujaotusele. Õhu segunemine tuleb tagada eriti juhul, kui ruume sissepuhkeõhuga köetakse.

Tuleb arvestada, et koormusolukorrale vastavalt võib õhu suunamise toimivus muutuda: väikeste temperatuuri vahede puhul võib olla, et sissepuhke õhujoad juhivad ruumi õhuvoogusid, kuid maksimaalse jahutusvajaduse puhul juhivad ruumi õhuvoogusid soojuskoormuste konvektiivsed voolud. See tähendab praktikas seda, et projekteeritud lahenduste toimivust tuleks alati lisaks maksimaalse koormuse oludele kontrollida ka sügisel ja kevadel ning erinevate soojuskoormustega. Tüüpiline koormusolukorra tähtsuse näide on klassiruumi õhujaotus, kus ruumi õhuvooluhulgad muutuvad oluliselt sõltuvalt sellest, kas on talv või kevad/sügis või kas klass on õpilasi täis või ainult osaliselt kasutusel (Kosonen ja Mustakallio 2010).

## 9.2 Õhujaotuse- ja väljatõmbemeetodid

### Õhujaotuse meetodid

Õhujaotuse meetodite kohta on erialases kirjanduses mitmeid liigitusi. **Joonisel 9.2** on esitatud neist tavalisemad: 1) suure ja väikese kiirusega õhujaotus ning 2) segunev- ja tõrjuvõhujaotus, millega ühendatakse tihti ka läbiv õhuvahetus. Erinevate õhujaotuse meetodite abil saab teostada erinevaid eespool tutvustatud ruumide konditsioneerimise põhimõtteid. Erinevad õhujaotusseadmed võimaldavad kasutada erinevaid õhusuunamise meetodeid.

Mõisted ja nimetused on seega kasutusel üsna laibiseigi, sest teadlased, projekteerijad ja tootjad kasutavad nimetusi teatud objekti jaoks, milleks üks liigitus sobib teisest paremini.

Selles peatükis kasutatakse hubase konditsioneerimisega hästi sobivat õhujaotamise meetodite liigitust segamis- ja tõrjumismeetoditeks, mille alusel on ka liigitatud ka õhujaotusseadmed.

Nagu juba õhujaotuse meetodite puhul mainiti, saab sissepuhke jugade abil vajaduse korral ruumi õhuvooge juhtida. Väljatõmbe abil ruumi õhuvoogude mõjutamine on palju raskem.

## Joonis 9.2 ÕHU VÄLJATÕMBE MEETODID

### Liigitus 1

**Suure kiirusega õhujaotus.** Sissepuhkeõhk puhutakse ruumi suure kiirusega, ruumi õhk seguneb suuresti õhujoaga. Õhujoad juhivad ruumis toimivaid õhuvoogusid.

**Väikese kiirusega õhujaotus.** Sissepuhkeõhk puhutakse ruumi väikese kiirusega. Ruumi õhuvoogusid juhivad soojuskoormusest tekkivad konvektsioonvood.

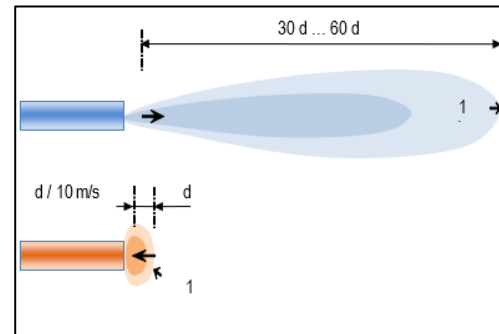
### Liigitus 2

**Segamis õhujaotus.** Sissepuhkeõhk juhitakse ruumi selliselt, et saaste väheneb ja temperatuur ühtlustub.

**Tõrjuv õhujaotus.** Sissepuhkeõhk juhitakse ruumi nii, et saaste ja temperatuurid kihistuvad. Sissepuhkeõhk kompenseerib konvektsioonivoogudega üles tõusvat õhku.

**Läbiv õhujaotus.** Suur sissepuhkeõhu hulk puhutakse madalal kiirusel kogu ruumi ristlõike ulatuses.

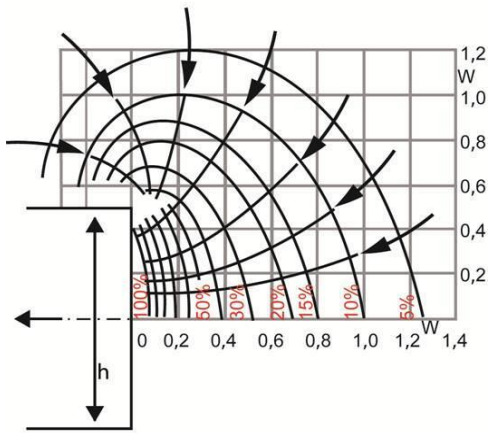
**Joonisel 9.3** on esitatud sissepuhke õhujoa ja väljatõmbe ava mõju erinevus. Kui õhk puhutakse õhuavast või imetakse õhuavasse, mille läbimõõt on  $d$ , kiirusega  $10 \text{ m/s}$ , on sissepuhkeõhu kiirus langenud kiirusele  $1 \text{ m/s}$  kaugusel  $30 \text{ d} \dots 50 \text{ d}$ , kuid väljatõmbekiirus väheneb kiirusele  $1 \text{ m/s}$  juba august  $1 \text{ d}$  kaugusel.



**Joonis 9.3** Sissepuhke õhujoa ja väljatõmbe „imemise“ mõju erinevus ruumi õhuvoogudele.



**Joonisel 9.4** on näidatud õhu kiirusprofiil väljatõmbeseadme lähivööndis (Hanel 1996).



**Joonis 9.4.** Õhu kiirus väljatõmbeava lähivööndis.  $W$  on kauguse ja väljatõmbe ava mõõdu  $h$  suhe.

Väljatõmbe otsikute paigutamise üldpõhimõtted on järgmised:

1. Saaste tekkekohast püütakse see suunata kohtäratõmbesse, et saaste ei leviks mujale ruumi. Üldjuhul seondub sellega ka soojuskoormuse eemaldamine. Tavalisemad kohtäratõmbeseadmed on nii elamu- kui ka profiköökidest pliidikubud, laborite tõmbekapid, puidujäätmete eemaldamine tööpinkidelt ning keevitusgaaside äratõmbeseadmed.
2. Ruumi õhu väljatõmbeotsikud paigutatakse reeglina lae lähedale, sest soojus ja niiskus tõusevad koos saastega konvektsioonivoo tõttu üles.
3. Kui ruumidesse eraldub õhust raskemaid gaase, tuleb väljatõmbeavad ette näha ka põranda lähedale.
4. Ruumi õhu väljatõmbeotsikud püütakse paigutada peamiselt sinna, kus tekib kõige enam

saastet, et õhk liiguks puhtamast saastatuma poole. Nii näiteks on väljatõmme suurem lihaleti kohal või vaibaosakonnas. Sama põhimõtte leiab kasutamist korterites, kus äratõmme on koondatud WC-sse, sauna, garderoobi ja kööki.

5. Väljatõmbeotsikuid ei ole üldjuhul arvuliselt vaja nii palju nagu õhujaoatajaid. Selle põhjuseks on asjaolu, et segunemispõhimõtte puhul on temperatuurid ja saastesisaldus suhteliselt ühtlane ning kihistumise ja tsoonipõhimõtte puhul liigub ruumi ülaosas õhk alati väljatõmbeseadmete suunas, kui ei ole segavaid õhuvoolusid.

### Õhu suunamise ja väljatõmbe tõhusus

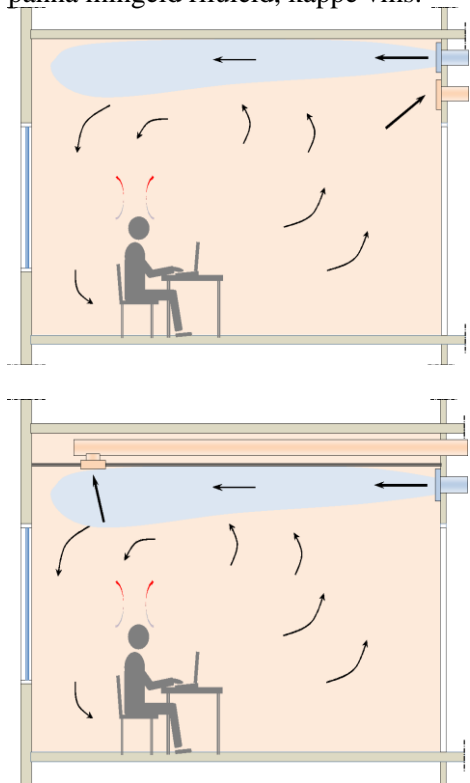
Õhu suunamise ja väljatõmbe tõhusust mõõdetakse ja hinnatakse järgnevalt nimetatud indeksite abil (Mundt et al. 2004):

- Kohtäratõmbe haaramisaste  $\alpha$  [–, %] näitab, kui palju nt keevitamiskoha saastest kohtäratõmbesse jõuab.
- Ventilatsiooni efektiivsustegur  $\epsilon_a$  [%] näitab sissepuhkeõhu toomise tõhusust vaadeldavas punktis. Lähiva õhujaoatuse korral on see 100% ja ideaalse segamispõhimõtte puhul 50%. Selline lähenemine näitab ära ka nn lühisvood, mis tekivad, kui osa sissepuhkeõhu voost liigub otse väljatõmbeseadmetesse ilma viibimistsooni läbimata (**joonised 9.5 ja 9.6**). Sellisel juhul on efektiivsus alla 50%.
- Soojuse eemaldamise tõhusus  $\epsilon_T$  [–] ja saaste eemaldamise tõhusus  $\epsilon_C$  [–] näitavad, kui hästi on teostatud soojuse ja saaste kihistumine ning sellega tagatud viibimistsoonile väljatõmbeõhust jahedam ja puhtam õhk.

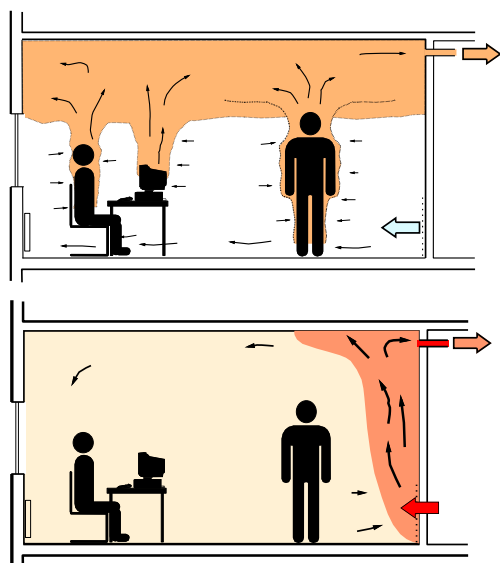
Kohtäratõmbe haaramisastet ja ventilatsiooni efektiivsustegurit on täpsemalt käsitletud raamatu osas 2. Soojuse ja saaste eemaldamise tõhususe määralused on toodud raamatu osas 4.2, kus on esitatud ka arvutamise näiteid.

### Õhu suunamisega seonduvad koostöövaldkonnad

Ruumide õhujaotus kavandamisel peavad koostööd tegema mitme eriala projekteerijad. Arhitekti ja sisearhitektiga tuleb täpsustada ruumi üldplaani, sisekujunduse, ripplae ja välimusega seotud asjaolusid. Põranda lähedalt puhuvate väikese kiirusega seadmete ette ei või hiljem panna mingeid riiuleid, kappe vms.



**Joonis 9.5.** Seguneva õhujaotuse puhul on kontsentratsioon sama kõikjal ruumis. Lühisvoog vähendab ventilatsiooni kasutegurit. Alumisel joonisel läheb osa sissepuhkeõhku otse väljatõmbesse.



**Joonis 9.6.** Tõrjuv õhujaotus tekitab ruumis temperatuuri ja kontsentratsiooni erinevusi. Lühisvoog vähendab ventilatsiooni kasutegurit. Alumisel joonisel läheb soe sissepuhkeõhk põhiosas otse väljatõmbesse. (Skistad et al. 2003)

Ehituskonstruktoriga tuleb kontrollida postide ja talade mõju sissepuhke jugadele ja seadmete ühenduskanalitele. Takistused sissepuhke jugade ees võivad tihtipeale suunata õhu otse viibimistsooni ja põhjustada tuuletõmmet. Elektrisüsteemi projekteerijaga tuleb arutada valgustite asukohta, sest needki võivad õhuvoolu takistada. Peale selle tuleb eraldi vaadelda integreeritud lahendusi, kui lõppseadmed võivad sisaldada valgusteid, pistikupesasid jms.

### 9.3 Õhu jaotamis- ja väljatõmbeseadmed

Seguneventilatsiooni puhul on õhujaotuse eesmärk segada ruumi õhku tõhusalt välisõhuga ning viia selle abil ruumi õhusaaste soovitud tasemele. Teine eesmärk on tuua ruumi vajalik õhukogus, mis tagab nõutava jahutuse. Eesmärk on

sissepuhkeõhk tuua ruumi ilma tuuletõmbuse tekketa.

Õhujaotuse võib korraldada kas suure- või väikesemahulise õhuvoona. Suure õhuvooluhulgaga sissepuhkeadmed juhivad ruumis õhu liikumist ja tagavad õhu segunemise. Seevastu väikese õhuvooluhulgaga sissepuhkeadmed ruumi õhuvoogusid suunata ei suuda. Sellistel juhtudel juhivad õhuvoogusid soojuskoormuse konvektsioonvood. **Joonisel 9.7** on näidatud segamisventilatsiooni peamised joatüübid.

Sissepuhkeadmed võib jagada nelja klassi, mis on kirjeldatud standardis EVS-EN 12238 (2001):

**I klass:** sissepuhkeadmed, mille juga on vaba (3-mõõtmeline juga).

- suudmikud
- restid
- allapoole puhuvad hajutid

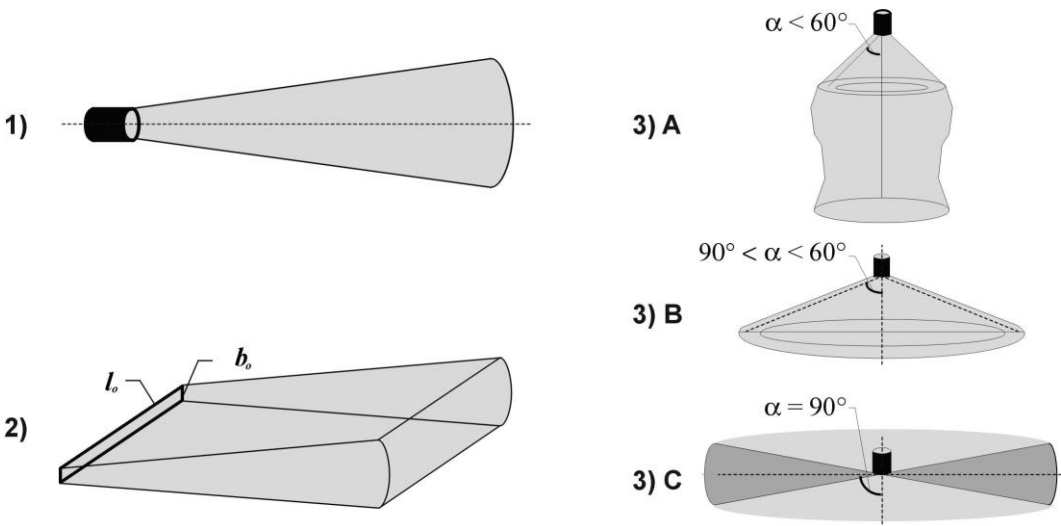
**II klass.** Sissepuhkeadmed, mille juga on radiaalne kas vaba joana või pinnale liibuvana.

- laeõhujaotajad

**III klass.** Sissepuhkeadmed, mille juga on 2-mõõtmeline.

- piluhajutid
- kahte suunda puhuvad jahutuspalgid

**IV klass.** Väikese kiirusega seadmed.



**Joonis 9.7.** Erinevad joa tüübid 1) telgsümmeetriline juga, 2) tasapinnaline juga ( $l_0/b_0 > 5$ ) 3) koonilised joad (3 A kompaktne juga, 3B mittekompaktne juga ja 3C lehvikjuga).

Teine variant on liigitada seadmeid konstruktsiooni ja õhuvooluhulga alusel, vrd punktiga 9.2 Väikese ja suure kiirusega õhujaoetusmeetodid.

#### 1. Suur õhuvooluhulk

- perforeeritud laehajutid
- koonushajutid
- suudmikõhujaoatajad
- sissepuhkeplafoonid
- piluõhujaoatajad
- keerisvooluhajutid
- mitme suudmikuga hajutid
- restid
- suudmikkanalid.

#### 2. Väike õhuvooluhulk

- horisontaalselt puhuvad madala kiirusega seadmed
- tekstiilkanalid
- suudmik- ja perfokanalid
- põrandaõhujaoatajad
- õhujaoetuslagi.

Sissepuhke- ja väljatõmbeseadmete valimist ja arvutamist selgitatakse täpsemalt osas 2.

Sissepuhke- ja väljatõmbeelemendid varustatakse põhiosas tasanduskastidega, mille abil on võimalik õhuvoolu reguleerida ja voolamist ühtlustada nii, et seadmed töötavad oludes, mille puhul nende tehnilised omadused mõõdetud on. Tasanduskastid võimaldavad ka summutada müra ning sissepuhkeelementidega koos reguleerida õhujoa kuju rõhukaost sõltumata. **Joonisel 9.8** on kujutatud tüüpiline restiga seotav tasanduskast.

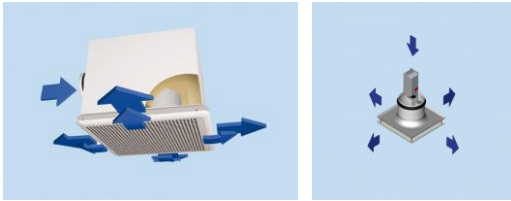


**Joonis 9.8.** Resti tasanduskast, mis sisaldab reguleerimis- ja mõõteosa ning mürasummutust.

### Sissepuhkeelemendid

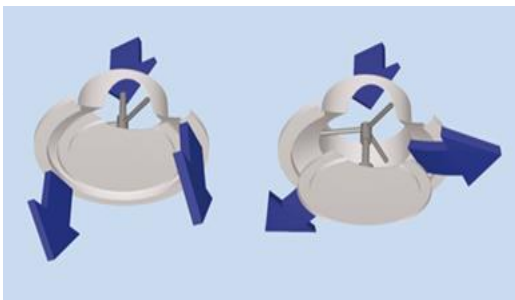
Perforeeritud laehajuteid on nii ümmargusi kui ka nelinurkseid. Hajuti saab paigaldada laepinnale või vabasse ruumi. Hajutit kasutatakse juhul, kui soovetakse head segunemist ja lühikest joakuju. Otsapinna moodustab perforeeritud plaat, millest osa on kinni kaetud, et vältida õhu otse liikumist. Sissepuhkeelemendi tüübist sõltuvalt juhitakse osa või kogu sissepuhkeõhk perforeeritud pinnalt ruumi õhku. Õhujoa kuju saab elemendi sees asuvate juhtplaatide abil vajadusel reguleerida 1–4 suunas. **Joonisel 9.9** on toodud perforeeritud sissepuhkehajutite näiteid.

Tuleb märkida, et vajaduspõhise ventilatsiooni puhul on oluline kontrollida joa pikkust. Erinevate õhuvooluhulkade puhul peab õhu algkiirus olema piisav, et juga püsiks laes ja oleks välditud õhuvoolu kontrollimata liikumine viibimistsooni. VAV-hajuti puhul on sissepuhkeelemendiga integreeritud tööseade, mis reguleerib sissepuhkepilu õhuvooluhulga alusel selliselt, et õhujoa algkiirus jääb erinevate õhuhulkade puhul samaks.

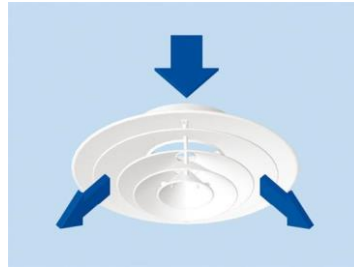


**Joonis 9.9.** tasanduskastiga varustatud perforeeritud sissepuhkehajuti. Kõrval VAV-hajuti, mille joa pikkus jääb erinevate õhuvoolu hulkade puhul samaks.

Ketashajutid on ühe piluga hajutid. Õhujuga on tasapinnaline (360°). Teatud mudelite puhul saab joa kuju muuta katteplaadi või reguleeritava ketta abil. Ühepilulistele hajutitele on iseloomulik väike induksioon ja suur heitejoa pikkus. Seetõttu ei saa ketashajutite puhul kasutada väga madala temperatuuriga õhku. Ketast reguleerides saab teatud mudelitel joa kuju muuta horisontaalsest vertikaalseks. **Joonisel 9.10** on toodud ketashajuti näide.

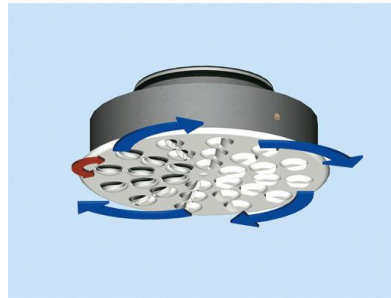


Koonushajuti koosneb üksteise sees paiknevatest koonustest. Mitmepilulisi hajuteid on nii ümaraid kui ka kandilisi. Heitepikkus on lühike. Sissepuhkeõhk seguneb ruumi õhuga tõhusalt, mistõttu võib ilma tuuletõmbust tekitamata juhtida ruumi suuri jahutuskoormusi. Koonushajutid saab paigaldada nii vabalt kui ka pindpaigaldusena. Eri mudelitel saab joa kuju manuaalselt või automaatselt horisontaalsest vertikaalseks reguleerida. **Joonisel 9.11** on toodud koonushajuti näide.



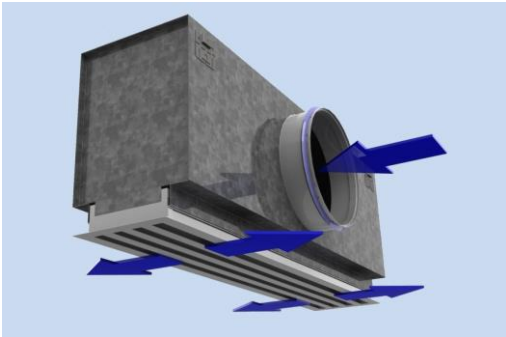
**Joonis 9.11.** Koonushajuti.

Paljude suudmikega hajuti abil saab kasutusfaasis reguleerida sissepuhkejuga ruumi õhku nii, et sissepuhkeelemendi rõhukadu või müratase muutuvad. Seda saab teha pöörates käega hajuti alusplaadile paigaldatud suudmikke. Joa saab suunata ühest kuni nelja suunani. Paljude suudmikega hajuteid on nii ümmargusi kui ka kandilisi. **Joonisel 9.12** on toodud paljude suudmikega hajuti näide.



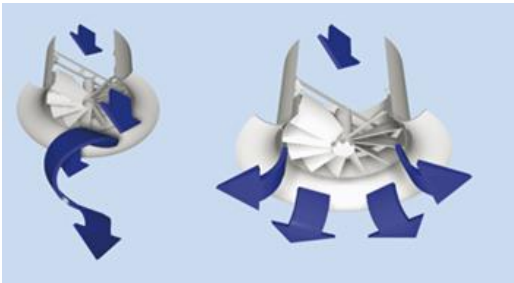
**Joonis 9.12.** Paljude suudmikega hajuti.

Piluhajutite puhul puhutakse õhk ruumi ühest või mitmest kitsast pilust. Juhtrestri abil saab eri mudelitel suunata õhku nt kas piki lage või otse alla. Juhtlabade abil saab õhujuga suunata ühes või kahes suunas. Piluõhujaoatajat saab paigaldada pideva lindina kogu seina või lae pikkuses. Aktiivjahutuspalgi õhusuunamise põhimõte on sarnane piluhajutitega. Ka nende puhul suunatakse sissepuhkeõhk ruumi enamasti palgi mõlemal poolel asuvatest piludest. **Joonisel 9.13** on toodud piluhajuti näide.



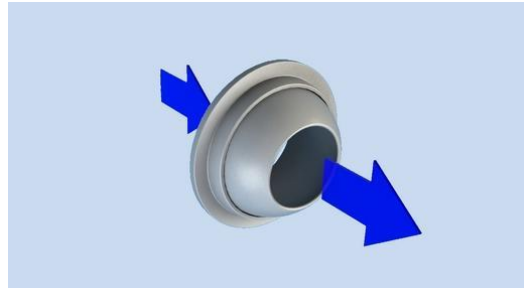
**Joonis 9.13.** Piluhajuti.

Keerisvooluga hajutid võimaldavad saavutada kõige tõhusama sissepuhkeõhu segunemise ruumi õhuga. Hajuti spetsiaalne tiiviku kuju paneb õhu tõhusalt ringlema. Sellise sissepuhkeelementi joa pikkus on väike. Eri mudelitel saab joa kuju horisontaalsest vertikaalseks reguleerida. Reguleerimise saab teha manuaalselt või automaatselt. **Joonisel 9.14** on kujutatud keerisvooluga hajuti, mille joa kuju saab muuta.



**Joonis 9.14.** Keerisvooluga hajuti.

Suudmikhajutajatel on suur algkiirus ja suur joa pikkus. Suudmikke kasutatakse sissepuhkeelementidena mitmesugustes tööstushoonetes, spordihallides jms. Tekkiv juga on pikk ja kitsas. Eri mudelitel saab keskkoonust keerates joa kuju kitsamaks või laiemaks muuta. Teatud õhujaotajatel on võimalik joa kuju automaatselt reguleerida. **Joonisel 9.15** on toodud suudmikhajuti näide.

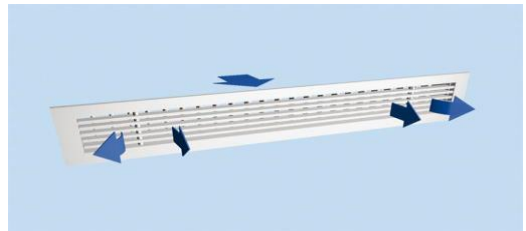


**Joonis 9.15.** Suudmikhajuti.

Sissepuhkereste on neli põhitüüpi:

- Liikumatu ribidega rest, millel on ühes suunas ribad, mis ei võimalda õhujuga muuta.
- Reguleeritavad horisontaalribid, mis võimaldavad muuta joa kuju kõrgussuunas.
- Liikumatu ribidega rest ja reguleeritavad tagaribid, mis võimaldavad reguleerimis külgsuunas.
- Horisontaal- ja vertikaalribide abil reguleeritav rest.

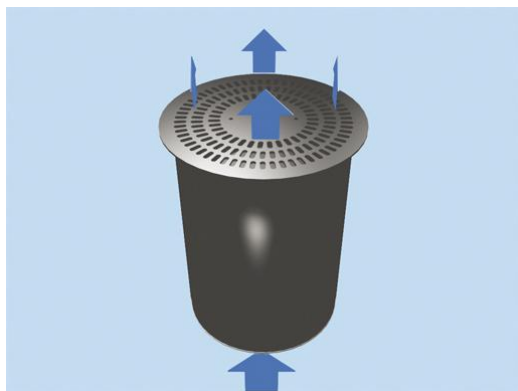
Restide induktsioon on väike ja seetõttu joa pikkus suur. Reguleeritavad tagaribid võimaldavad joa kuju teatud määral laiendada ning selle kaudu katta laiemat viibimistsooni ala ning saada lühem joa pikkus. Reguleeritavate esiribide abil saab juga suunata kõrgussuunas. Reste võib paigaldada seinale, lakke ja põrandale. **Joonisel 9.16** on kujutatud tüüpilise sissepuhkeresti näide.



**Joonis 9.16.** Sissepuhkerest.

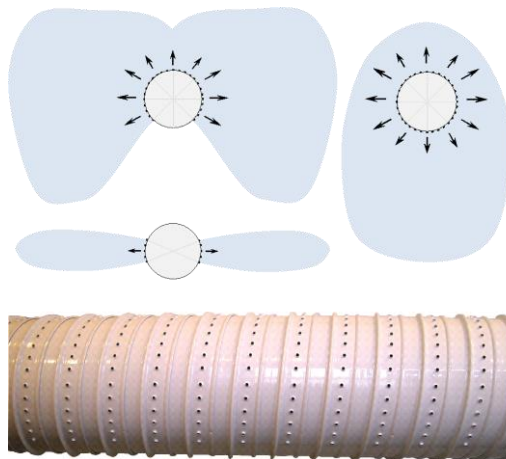
Põrandaõhujaotajaid kasutatakse tõrjuva ventilatsiooni puhul nt kontserdisaalides ja auditoriumites. Põrandasse paigaldatavad

sissepuhkeelemendid on enamasti restid või ümarad õhujaotajad, millest puhutakse õhk otse ülespoole. **Joonisel 9.17** on toodud põrandaõhujaotaja näide. Põrandaõhujaotajaid kasutatakse ka suhteliselt madalates büroohoones (kõrgus alla 3 meetri), kus esineb suur soojuskoormus. Sellistel puhkudel on sissepuhkeelemendi õhuvool sedavõrd suur, et õhujuga segab kogu ruumi õhu. Sellistel juhtudel temperatuuripõhist kihistumist ei teki ja süsteem vastab segunevaleventilatsioonile. (Webster 2002).



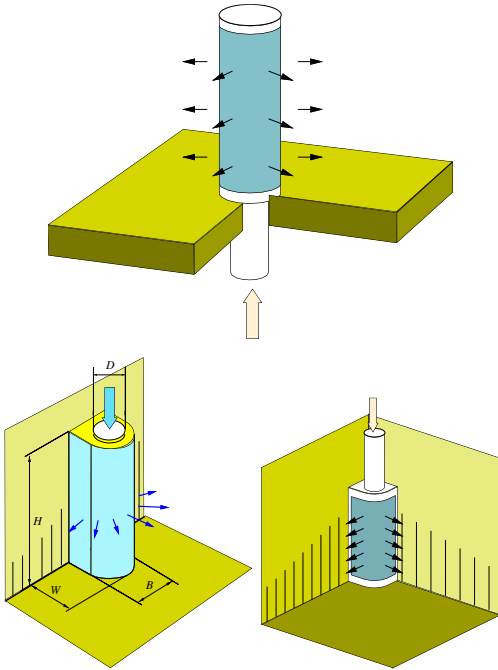
**Joonis 9.17.** Põrandapuhumiseseade.

Segunevaks õhujaotuseks kasutatakse ka suudmik- ja perfokanaleid. Need võivad olla eraldi valmistatud tooted või põhineda tavalisel spiraalvalts ventilatsioonikanalil. Suudmikkanali puhul on õhujuga tasapinnaline, kui pealistikuseid pilusid või auke on vähe. Paigutades suudmikke kanali pinnale erineval moel on võimalik saavutada mitmesuguseid joa kujusid ning vastavalt on ka kasutuskohad erinevad, nagu näidatud **joonisel 9.18**. Piisavalt ühtlase õhuvoolu saavutamiseks tuleb suudmik- ja perfokanaleid väga täpselt arvutada.



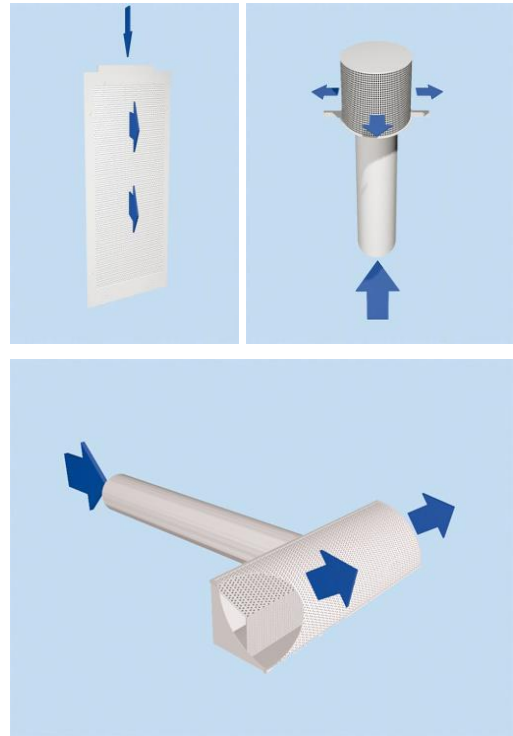
**Joonis 9.18.** Suudmikkanalid, suudmikud osaliselt kanali pinnal (ülal vasakul), ümberringi puhumine (ülal, paremal) ja tasapinnaline õhujuga.

Tõrjuvaks õhujaotuseks kasutatakse väikese kiirusega elemente - laminaarõhujaotajaid, mis on enamasti paigutatud põranda lähedusse. Nende omadused erinevad üksteisest paigutuskoha alusel, nagu näidatud **joonisel 9.19**. Ruumi keskel on sama õhu vooluhulgapuhul õhujuga kõige lühem, sest õhk liigub seadmest igale poole ( $360^\circ$ ), pikkuselt teine on seinale paigaldatud poolsilindri õhujuga ( $180^\circ$ ) ja kõige pikem ruumi nurgas asuva õhujaotaja juga ( $90^\circ$ ). Sama suurusega õhujaotajad võivad olla väga erinevad, nt seinale paigaldamisel võidakse õhujuga suunata rohkem küljele. Üldjuhul on kõrgetel ja suuritel laminaarõhujaotajatel voolamiskiirused põranda lähedal suuremad kui väikestel. Samalaadseid lõppelemente paigaldatakse mõnikord ka viibimistsoonist kõrgemale.



**Joonis 9.19.** Tõrjuva õhujaotuse seadmete paigaldamise variante.

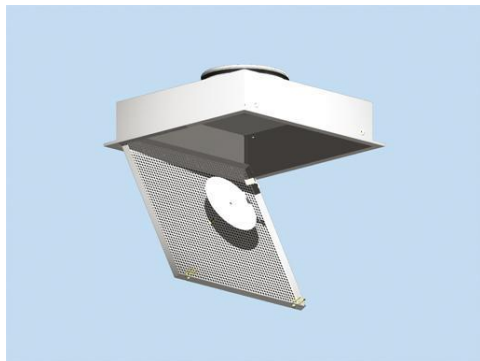
**Joonisel 9.19** kujutatud silindrilistele väikese kiirusega elementidele lisaks kasutatakse tihti õhujaotajaid, mis on süvistatud seina ning nt auditooriumides integreeritud põrandakonstruktsiooniga (**joonis 9.20**). Seina integreeritud õhujaotaja ei võta põrandapinda ja vajaduse korral võib need täiesti märkamatuks muuta. Põrandakonstruktsioonidega ühendatud väikese kiirusega lõppelemendid paigutatakse tavaliselt toolide alla või astmete juurde.



**Joonis 9.20.** Seina- ja põrandakonstruktsioonidega integreeritud lõppelemendid.

Sissepuhkeelemendid peavad olema kavandatud selliselt, neid saaks kergesti puhastada. Puhastamiseks avatakse õhujaotaja esipaneel (**joonis 9.21**). Sissepuhkeelementide puhastamiseks piisab niiske lapiga pühkimisest. Rõhualanduskasti kasutamisel tuleb õhuhulga reguleerimise seadmed puhastamiseks eemaldada. Rõhualanduskastis kasutatud summutavast materjalist ei ole võimalik puhastamise käigus eemaldada sinna sisenenud kahjulikke osakesi.

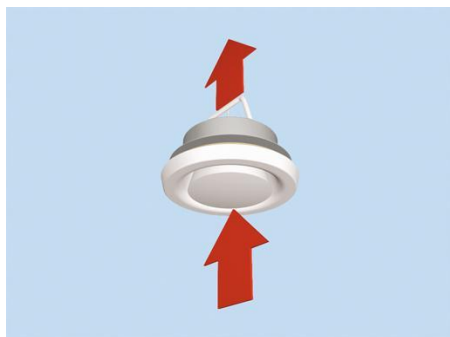




**Joonis 9.21.** Ühujaotaja puhastamiseks tuleb selle esipaneel avada.

### Väljatõmbeelemendid

Ruumipõhise väljatõmbeelemendina kasutatakse enamasti väljatõmbeplafooni (joonis 9.22). Väljatõmbeplafoonil on võimalus reguleerida rõhukadu. Väljatõmbeplafoonid töötavad laias rõhuvahemikus ning sobivad ilma olulist müra tekitamata ka kõrgrõhuga kanalitele (~100 Pa). Väljatõmbeplafoonil on õhu vooluhulga mõõtmise ja reguleerimise võimalus, mis võimaldab seadistada vajaliku väljatõmbe õhuvooluhulga. Väljatõmbe õhuvooluhulga muutmine toimub keskkoonuse asendit muutes.

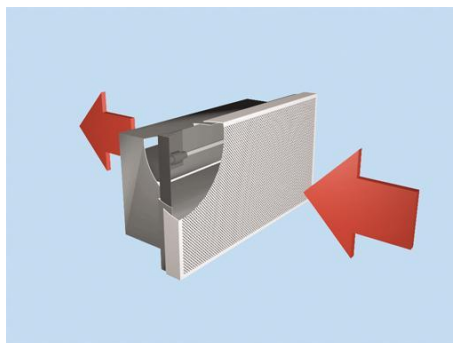


**Joonis 9.22.** Väljatõmbeplafoon.

Väljatõmbeelemendina kasutatakse sageli ka reste, millel on õhuvoolu reguleerimiseks eraldi reguleerklapp. Väljatõmbeks kasutatakse ka ristkülikukujulisi väljatõmbeelemente (joonis 9.23), mis on varustatud õhuvoolu mõõtmis- ja

reguleerimisseadmetega.

Väljatõmbeelementides kasutatakse tasanduskaste samal moel nagu sissepuhkeelementides.



**Joonis 9.23.** Väljatõmbeelement perforeeritud esipaneeliga.

Väljatõmbeelemendid on kavandatud selliselt, et neid saab puhastamiseks eemaldada. Väljatõmbeplafooni saab kanalist eemaldada vastupäeva keerates. Puhastamiseks võib kasutada niisket lappi.

### Siirõhuelemendid

Siirdõhureste kasutatakse kohtades, kus uksepraost ei piisa suuruse tõttu õhuvooluava jaoks või kui soovitakse ruumide vahel paremat heliisolatsiooni. Joonisel 9.24 on kujutatud ukserest ja seina paigaldatav helisummutusega siirdõhurest.

Ka selliseid reste saab puhastamiseks eemaldada. Puhastamiseks võib kasutada niisket lappi.



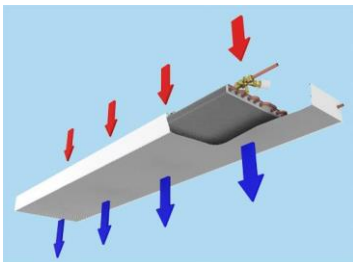
## 9.4 Muud ruumiseadmed

Lisaks õhksüsteemidele kasutatakse äri- ja bürooruumides õhk-veesisüsteeme ning otseaurustumisel põhinevaid jahutussüsteeme (split-süsteemid). Otseaurustusseadmeid käsitletakse 10. peatükis „Jahutusseadmed“. Tavalisemad kasutatavad õhk-veesisüsteemid, mille puhul tuleb arvestada õhujaoituse omadusi, on jahutuspalgid, puhurkonvektori ja suudmikkonventori süsteemid. Jahutuslagede ja -paneelidega koos kasutatakse tavalisi lõppelemente. Süsteemide omadusi on käsitletud eespool 6. peatükis „Konditsioneerimissüsteemid“.

Õhk-veesisüsteemid on levinud nende hea kohandatavuse ja energiatõhususe tõttu. Peale selle saavutatakse õhk-veesisüsteemide abil hea kvaliteediga sisekliima (S1 ja S2) tõhusalt kogu hoone elukaare vältel.

### Jahutuspalgid

Jahutuspalke võib omaduste põhjal jagada passiiv- ja aktiivpalkideks. Passiivpalke kasutatakse vaid jahutamiseks. Passiivpalgid on konvektortüüpi. Palk koosneb jahutusvee ringlustorust ja sellega tihedalt ühendatud lamellidest, mis suurendavad soojusülekanne pinda (**joonis 9.25**). Ribistust ümbritseb kest, mille üla- ja alaosas on avatud õhule. Tavaliselt on passiivpalgi jahutusvõimsus ribistuse pikkuse kohta 150–250 W/m. (Virta et al. 2004).



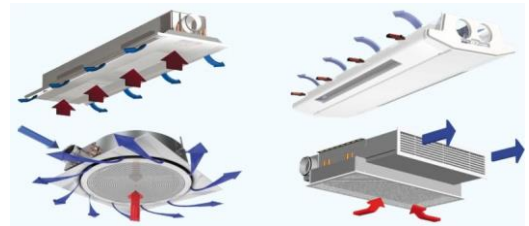
**Joonis 9.25.** Passiivpalk.

Passiivpalgi korpuse puhastamiseks võib kasutada niisket lappi. Ribistust puhastatakse tolmuimejaga sõltuvalt kasutusoludest iga 3–5 aasta tagant.

Aktiivpaneelidele on lisatud sissepuhkeõhk, millest tulenevalt on soojusvahetus sundkonvektsiooni tõttu tõhusam. Tavaliselt on sekundaarõhk ruumist läbi ribistuse 3-5 korda suurem sissepuhkeõhuga võrreldes. Jahutuspalgi võib paigaldada ruumi lakke või integreerida ripplaega. Tavaline jahutusvõimsus palgi aktiivse pikkuse kohta on 250–400 W/m (Virta et al. 2004).

Aktiivpalgid sobivad ka kütmiseks, kui kasutatakse piisavalt soojapidavaid aknaid ( $U = 0,6 - 1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ). Kütmise puhul ei saa soojendusvõimsus palgi aktiivse pikkuse kohta olla üle 150 W/m, et ruumiõhu segunemine oleks tagatud ja temperatuurist tingitud kihistumine ei muutuks liiga suureks.

Aktiivpalgi võib paigaldada eraldi seisvana või integreerida ripplae konstruktsiooniga. Peale selle saab palgiga siduda ruumi muid tehnosüsteeme. Selliste tehnosüsteemide palkide puhul on integreeritud valgustus, kaablid, andurid ja kõlarid. Lisaks on tänapäeval saadaval jahutuspalkidele sarnase põhimõttega 600 · 600 mm ja ka ühes suunas puhuvaid ruumielemente. (**Joonis 9.26**)



**Joonis 9.26.** Mitmesugused aktiivpalkide lahendused.

Aktiivpalgi puhastamiseks tuleb avada esipaneel (**joonis 9.27**). Ribistust

puhastatakse tolmuimejaga ning esipaneeli ja küljeplaate niiske lapiga. Teatud palkide puhul saab ribistust tolmuimejaga puhastada mõlemalt poolt. Jahutuspalgil on puhastusluuk, mille kinnituskruvide eemaldamisel saab puhastada kanalit.



**Joonis 9.27.** Jahutuspalgi esipaneeli saab puhastamiseks avada. Teatud mudelite puhul saab ribistuse tolmuimejaga puhastamiseks alla lasta ja vajaduse korral ka eemaldada.

### Puhurkonvektorid

Puhurkonvektorid võimaldavad korraldada ruumi jahutuse, tihti ka kütmise ja teatud juhtudel ka ventilatsiooni. Konvektor paigaldatakse üldjuhul ruumi välisseina äärde aknalaua alla (jahutus, küte) (**joonis 9.28**) või jahutamise puhul ka lakke. Eraldi sissepuhke- ja väljatõmbeseadmed paigutatakse ruumi seinale või ripplakke.



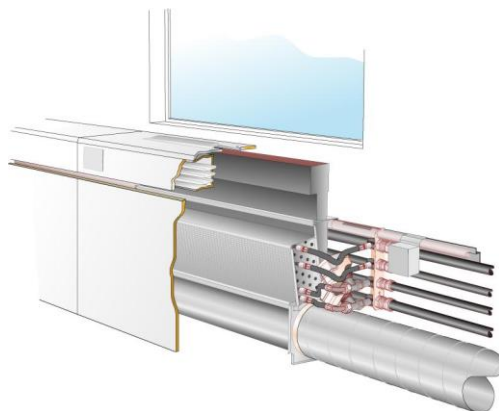
**Joonis 9.28.** Puhurkonvektorid, põrand-/seinamudel ning kaks lakke paigaldatavat mudelit.

Puhurkonvektorite esipaneeli saab puhastamiseks eemaldada. Ribistust puhastatakse tolmuimejaga ning esipaneeli niiske lapiga pühkides. Puhurkonvektoril on ka filter, mida tuleb umbes korra aastas vahetada. Tihti tekib puhurkonvektorites ka kondensaati, mis juhul see eemaldatakse kanalisatsiooni kas vaba vooluga või vastava pumba abil. Vee-eemaldussüsteemi tuleb kord aastas puhastada ning samas kontrollida ka kondensaadipumba tööd.

## Suudmikkonvektorid

Suudmikkonvektorite abil korraldatakse ruumi jahutus ning tihtipeale ka küte ja ventilatsioon. Konvektor paigaldatakse üldjuhul ruumi välisseinale aknalaua alla (jahutus, küte) (**joonis 9.29**). Eraldi väljatõmbeseadmed paigutatakse ruumi seinale või ripplakke. Suudmikkonvektorite

rõhukadu on enamasti 150–350 Pa, mis tekitab probleeme müra ja tihedusega.



*Joonis 9.29. Suudmikkonvektor.*

Suudmikkonvektori puhastamiseks saab avada esipaneeli. Ribistu puhastatakse tolmuimejaga ning esi- ja küljeplaate niiske lapiga pühkides.

### Kirjandus:

- Babiak J, Olesen B and Petras D. Low temperature heating and high temperature cooling. Embedded water based surface heating and cooling systems. 2013. Rehva Guidebook No. 7.
- EN 12238. 2001. Ventilation for building. Air terminal device. Aerodynamic testing and rating for mixed flow application.
- Goodfellow H. and Tähti E. Industrial ventilation design guide. 2001. Academic Press.
- Hanel, B. 1996. Raumluftströmung. Müller Verlag. Heidelberg.
- Kosonen, R and Mustakallio P. Ventilation in classroom: a case-study of the performance of different air distribution methods. Clima 2010 10th REHVA World Congress. Sustainable Energy Use in Buildings. 9-12 May Antalya Turkey. Proceedings of Clima 2010.
- Mundt, E., Mathisen, H. M., Nielsen, P. V. and Moser, A. 2004. Ventilation Effectiveness, REHVA Guidebook No. 2.
- Dirk Müller (Ed.), Claudia Kandzia, Risto Kosonen, Arsen Krikor Melikov and Peter Vilhelm Nielsen. 2013. Mixing Ventilation REHVA Guidebook No 19.
- Nielsen, P. V. 2011. The "Family Tree" of Air Distribution Systems. in Roomvent 2011. TAPIR Akademisk Forlag.
- Skistad H(ed), Mundt E, Nielsen PV, Hagström K ja Railio. Syrjäytysilmanvaihto muissa kuin teollisuusrakennuksissa. REHVA suunnitteluopas 1. 2003.
- Webster, T., Bauman, F., Reese, J. and Shi, M. 2002. Thermal stratification performance of underfloor air distribution (UFAD) systems. Proceedings of Indoor Air 2002. Monterey.
- Wildeboer, J. and Müller, D. 2006. Lüftungseffektivität als Qualitätskriterium für Quelllüftungssysteme - die Auswirkung des Luftaustauschwirkungsgrades auf die Höhe der Frischluftschicht. KI - Luft- und Kältetechnik, C. F. Müller Verlag Hüthig, 42, Nr. 10, pp.439-443.
- Virta M., Butler D., Gräslun J., Hogelund J., Kristiansen L-R, Reinikainen M. and Svenson G. Chilled Beam Application Guide Book. 2004. REHVA Design Guide nro 5.