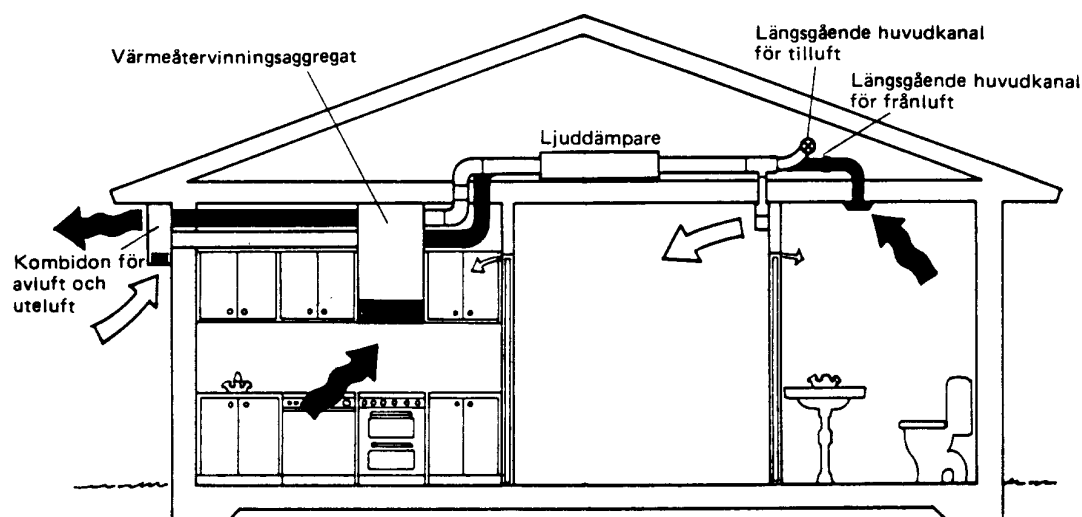


7 Ventilation

Ventilationen tjänar två syften, dels ska ren luft tillföras ett rum dels ska förorenad luft föras bort. Ventilationen ska dessutom anordnas så att spridning av föroreningar motverkas i byggnaden. Tillförda luftflödet ska vara så avpassat att inomhusluften blir behaglig och byggnaden ska kunna användas till det som den är avsedd för. Temperaturen får inte bli för hög i lokalerna och gränsvärdena vad gäller koldioxid och syre måste hållas inom vissa gränser. Människor ska kunna vistas i ett hus utan att drabbas av vare sig kortvariga irritationer på slemhinnor och hud eller långvariga besvär som huvudvärk, trötthet eller nedsatt motståndskraft mot infektionssjukdomar. Ventilationen används ibland som en del av klimatsystemet varvid luften utnyttjas som bärare av värme om lokalen ska värmas eller av kyla om ett kylbehov föreligger.

I kapitel 1 redovisades de krav som ställs på luftkvalitén i olika lokaler och hur erforderligt luftflöde beräknas. I detta kapitel beskrivs ventilationssystemens principiella uppbyggnad, typindelningen av olika system, luftbehandlingsaggregatets uppbyggnad, luftens strömning i byggnaden och i ett rum och slutligen hur effektiviteten hos ett ventilationssystem beräknas.

7.1 Ventilationssystemets principiella uppbyggnad och luftflödesbenämningar



Figur 7.1 Exempel på ventilationssystem i en villa.

Ett mekaniskt ventilationssystem är i princip uppbyggt av följande delar

- luftbehandlingsaggregat
- kanalsystem
- luftdon

För en villa kan anläggningen se ut som i Figur 7.1. *Uteluft* tas ofta in via en fasadvägg genom ett galler. Tidigare användes beteckningen friskluft, men numera är luften så förorenad att den beteckningen blivit vilseledande. Luften passerar luftbehandlingsaggregatet där den tempereras, filtreras. Efter passage av fläkten benämns luften *tilluft*. Tilluften transporteras i ventilationskanaler till respektive lokal där den blåses ut genom ett tilluftsdon och blandas med rumsluft.

Genom att evakuera luft från de rum som är mest förorenade (dålig lukt eller fukt), erhålls en riktad luftström i byggnaden. Luft som sugas ut genom frånluftsdon benämns *frånluft*. Luft som passerar ett rum innan den sugas ut annat kallas *överluft* och öppningen varigenom den passerar kallas överluftsdon. *Cirkulationsluft* kallas den luftström som bildas om en rumsfläkt placeras i en lokal.

Frånluft strömmar i frånluftskanaler till luftbehandlingsaggregat där den eventuellt passerar en värmeväxlarenhet, dvs värme i frånluft utnyttjas för att till en viss del värma tilluft. Frånluft som passerat luftbehandlingsaggregatet benämns *avluft* som lämnar byggnaden i speciella avluftshuvar placerade på byggnadens tak.

Uppbyggnad av ett mekaniskt till- och frånluftssystem enligt ovan ser likadan ut oavsett lokaltyp. Däremot kommer olika avancerade system att användas i olika byggnader beroende på vilka inomhusmiljökrav som ska uppfyllas.

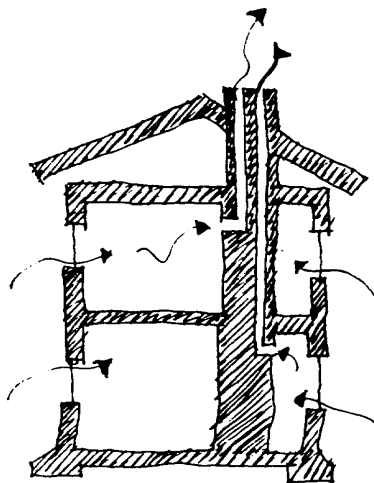
7.2 Indelning av ventilationssystem

I ett medelstort rum med fönster av normal storlek byts luften fullständigt på ett par minuter då fönstret öppnas helt. Denna typ av vädring kan vara effektiv och ekonomisk om den görs kortvarigt vid behov. Olägenheten med ventilationstypen ”öppna fönster vid behov” är att den orsakar drag och att huset inte ventileras nat-tetid. Luftväxlingen i en byggnad ska enligt BBR ske kontinuerligt och kontrollerat varför i princip alla byggnader måste förses med någon typ av ventilationssystem. Beroende på hur tekniskt avancerade systemen är utformas de enligt någon av de 6 typerna nedan:

- typ S, självdrag
- typ FFS, fläktförstärkt självdrag
- typ F, frånluftssystem
- typ FT, från- och tilluftssystem
- typ FP, frånluft med värmepump
- typ FTX, från- och tilluftssystem med återvinning

7.2.1 Självdragsventilation, typ S

Som namnet antyder används inga fläktar. Uppvärmd (och ofiltrerad) uteluft strömmar in i byggnaden främst genom uteluftsventiler, se Figur 7.2 och 7.7, men också genom otätheter. Luften strömmar genom rummen från uteluftsventiler placerade i vardagsrum och sovrum till t ex badrum och kök där frånluftsdon finns. Donen är anslutna till frånluftskanaler - en kanal till varje frånluftsdon. I kanaler stiger den uppvärmd luften och lämnar byggnaden där kanalerna mynnar över tak. I Figur 7.2 visas en principiell bild på hur självdragssystemet fungerar.



Figur 7.2 S-systemets funktion i princip.

Drivkraften för självdragsventilation är temperaturskillnaden mellan utomhus- och inomhusluften och rådande vindförhållanden. Följande samband gäller för den termiska drivkraften

$$\Delta p = h \cdot g \cdot (\rho_u - \rho_r) \quad (\text{Pa}) \quad (7.1)$$

där h = höjdskillnad mellan inlopp och utlopp (m)

g = tyngdaccelerationen, 9.81 m/s^2

ρ_u = uteluftens densitet (kg/m^3)

ρ_r = rumsluftens densitet (kg/m^3)

under vanliga förhållanden kan formeln förenklas till

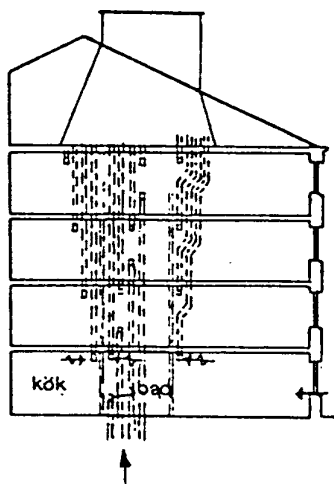
$$\Delta p = 0.0465 \cdot (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) \cdot h \quad (\text{Pa}) \quad (7.2)$$

Drivkraften är alltså proportionell mot skillnaden mellan rumsluftens och uteluftens temperatur. Sommartid fungerar denna ventilationstyp dåligt eller inte alls då utetemperaturen är ungefär densamma som rumstemperaturen. Vid ökande temperaturskillnad ökar luftväxlingen. Undertrycket som vinden orsakar kan adderas till den termiska drivkraften om avluftshuven på kanalernas mynning utformas på rätt sätt.

I ett äldre flerbostadshus kan ett kanalsystemet ut som i Figur 7.3. Det finns flera frånluftsdon och frånluftskanaler från varje lägenhet. Ventilationskanalerna är i gamla hus mestadels murade, men även kanaler i trä, papp, eternit eller gips användes. Eftersom kanalerna drogs från varje våning och ej heller var gemensamma för de olika rummen i en lägenhet, så upptog de en avsevärd plats i byggnaden. Dess dimension var dessutom stor för att luftmotståndet ej skulle bli för stort.

Dragstyrkan i de olika kanalerna är sällan lika och en tillfällig vindstöt kan pressa in kallluft i en kanal. Risken är då stor att bakdrag uppstår i någon av kanalerna, dvs luft strömmar åt fel håll och att kanalen börjar fungera som tilluftskanal istället. Luft kan således strömma från lokaler med förorenad luft till lokaler med mindre

eller ingen föroreningar alls. Systemet återgår inte till sin normala funktion förrän luftflödets hejdats.



Figur 7.3 Självdagsventilation av ett flerbostadshus.

För att ett S-system ska fungera krävs att kanalerna är välisolerade för att inte frånluften ska kylas ner och strömma tillbaka till rummet där den kom ifrån. Strävan bör vara att bygga vertikala kanaldragningar med kortast möjlig kanallängd från frånluftsdon till kanalmyrning och att undvika kanaler med långa horisontella dragningar och riktningsändringar.

Många av de byggnader som ventileras med S-system är försedda med spisfläkt som möjliggör forcering av köksventilationen under tider för matlagning. En svaghet i dessa byggnader är att då spisfläkten går igång uppstår bakdrag i någon annan kanal och luften kommer att strömma in istället för ut i frånluftskanalen.

En fördel med S-system är att de är praktiskt taget underhållsfria. De förbrukar ingen el eftersom fläkt saknas vilket också betyder att det inte föreligger någon risk för buller från ventilationen. Istället kan problem uppstå genom att buller utifrån tränger in i huset via uteluftsventilerna.

Ett annat problem med S-system är att i täta hus sker all tillförsel av uteluft genom uteluftsventilerna varvid dragproblem kan uppstå vid låg utomhustemperatur. Värmesystemet måste dimensioneras för att klara av att värma inströmmande kallluft. Ventilationsflödet kan vara svårt att reglera eftersom detta varierar med vind och temperaturskillnad mellan ute och inne.

I BBR anges krav på lägsta ventilationsflöde för bostäder vilket kan vara svårt att nå upp till sommartid med ett självdragssystem. Genom beräkningar måste man visa att luftflödena kan upprätthållas i princip året runt.

7.2.2 Fläktförstärkt självdrag, typ FFS

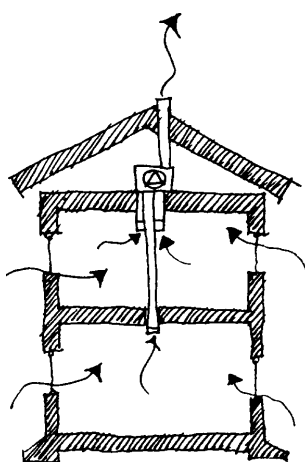
Fläktförstärkt självdrag är en ventilationstyp som fungerar både som ett självdragssystem och ett frånluftssystem. Uppbyggnad och dimensioner är desamma som i ett självdragssystem, men FFS är utrustad med en fläkt som startar då självdragskrafterna inte räcker till för att skapa luftväxling i huset. Då utetemperaturen är tillräckligt låg för att skapa drivkraft för luftväxlingen fungerar det som ett självdragssystem. Vid en viss utetemperatur eller vid ett visst lägsta tryck i kanalen startar en

fläkt som ofta är placerad i en takhuv som är gemensam för ett antal frånluftskanaler (avluftskanalen). Erforderlig luftväxling säkerställs året om på detta sätt.

7.2.3 Frånluftsventilation, typ F

I ett F-system tillförs luft via otätheter och genom uteluftsventiler och den bortförs via ett frånluftssystem med fläkt, se Figur 7.4. Luften som tillförs byggnaden är ouppvärmad och ofiltrerad.

Den historiska utvecklingen från S-typ till F-typ var att en fläktkammare mura-
des på vinden i t ex ett flerbostadshus. Då det nu var en fläkt som stod för drivkraften kunde dimensionerna på kanalerna göras betydligt mindre och flera kanaler kunde slås ihop till en gemensam varvid utrymmesbehovet för kanalsystemet minskade betydligt.



Figur 7.4 F-systemets funktion i princip.

I ett frånluftssystem upprätthåller fläkten önskat luftflöde och önskad strömningsriktning mellan rummen i byggnaden. Frånluftsdonen placeras även i detta system i rum med sämst luft, dvs i kök och i våtutrymme. Förorenade luft från badrum och toaletter strömmar då ej ut i andra rum.

Ventilationen blir någorlunda jämn och oberoende av yttre väderbetingelser varvid F-systemet är mer stabilt än S-systemet. Luftflödets storlek kan påverkas genom att fläktens varvtal kan ändras. Ett rätt konstruerat F-system är också möjligt att justera, så att ett på förhand beräknat ventilationsflöde kan ställas in, förutsett att bostaden har rimlig tillgång till uteluft.

Ett F-system kräver arbete med tillsyn, men är, med undantag för rensningsplikten, i stort sett underhållsfritt. Ljud från fläkten kan vålla obehag, likaså kan buller och smutspartiklar utifrån tränga in i byggnaden genom uteluftsventilerna. Systemet ger dock en nära nog ett konstant ventilationsflöde under hela året och blir utförandemässigt billigare än ett S-system.

I täta hus sker all tillförsel av uteluft genom uteluftsventilerna varvid dragproblem kan uppstå vid låg utetemperatur. En brist med F-systemet är att det inte ger full styrning av tilluften. Undertrycket som bildas då fläkten suger kan också ibland orsaka inläckning av förorenad luft från mark, grund eller avlopp genom en uttorkad golvbrunn.

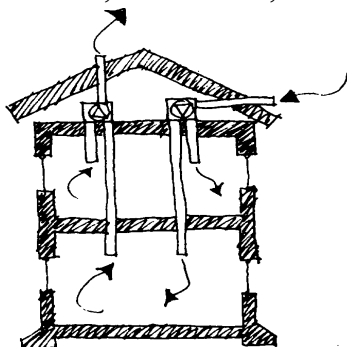
Begränsningen av i vilka byggnader som F-system kan väljas, styrs av hur mycket ouppvärmad luft som kan tas in i byggnaden genom uteluftsventiler på ett dragfritt sätt.

7.2.4 Frånluftsventilation med värmepump, typ FVP

Ett FVP-system fungerar ventilationsmässigt som ett vanligt F-system. Skillnaden är att värmen tillvaratas ur frånluften. Med hjälp av en värmepump, vars förångardel är placerad i den varma frånluftskanalen, överförs värmen från frånluften till tappvarmvatten eller till ett vattenburet värmesystem.

7.2.5 Till- och frånluftsventilation, typ FT

I lokaler som kräver stor luftväxling för att föra bort värmeöverskott eller luftburna föroreningar duger inte ett F-system. Mängden uteluft genom uteluftsventilerna och otätheter skulle bli så stor att komfortproblem kan uppstå. Istället tas uteluft in till ett aggregat där luften filtreras och värms till önskad tilluftstemperatur. En fläkt transporterar den värmda luften via ett speciellt tilluftssystem, till de olika lokalerna som ska ventileras. Ett ventilationssystem som omfattar både ett tilluftssystem och ett frånluftssystem benämns till- och frånluftssystem. System med både till- och frånluft är normalt en förutsättning för att få fungerande luftväxling och klimat i kontor, sjukhus och vårdlokaler, laboratorier, varuhus och affärer etc.



Figur 7.5 Från- och tilluftsventilerat hus i princip.

Ett FT-system medger också styrning av tilluftens fördelning som i princip kommer att vara oberoende av väderleken. Rätt konstruerat, väl utfört och injusterat FT-system bör ge bättre inomhusklimat än F- och S-system. I praktiken har det dock visat sig att FT-systemen inte fungerar som tänkt. Klagomål förekommer på både ljud- och dragproblem.

FT-system kräver mer service än både F- och S-system. Främst gäller detta rengöring av filter och kontroll av att de två fläktarna fungerar som de ska. Kanalerna måste också i det här systemet kontrolleras med avseende på nedsmutsning.

Normalt projekteras temperaturen på tilluften till ca 5°C under rumstemperatur och systemet utformas så att tilluftsflödet är 10–15% mindre än frånluftsflödet. Härigenom kan ett undertryck upprätthållas i byggnaden för att undvika att varm och fuktig rumsluft trycks ut i konstruktionen och orsakar fuktskador.

7.2.6 FT-system med värmeväxling, typ FTX

Ett FTX-system är i princip ett FT-system men värmen i den varma frånluften används för att varma tilluften med hjälp av en värmeåtervinningsapparat vilken är en typ av värmeväxlare. Frånluften från rummen i en byggnad har ständigt samma eller något högre temperatur än rumsluften och är således under huvuddelen av året betydligt varmare än uteluften. Värmeväxlaren installeras i energibesparande syfte och den medför att värmebehovet för värmning av tilluften kan minska med 70 till 80%.

I ett FTX-system krävs liksom i ett FT-system krävs regelbunden kontroll av att filter och fläktar fyller sin funktion. Filterkontrollen är speciellt viktig i ett FTX-system för att inte värmeåtervinningsaggregatet ska damma igen. Om filtret i frånluftsaggregatet sätts igen, uppstår ett oönskat övertryck byggnaden med eventuella fuktskador i fasaden som följd. Olika värmeåtervinningsätt kommer att förklaras senare i detta kapitel.

7.2.7 Val av ventilationssystem

I *bostäder* krävs en viss ventilation för att hålla rumsluften acceptabelt ren från fukt, lukt och andra föroreningar. Luftväxlingskravet är minst 0.5 omsättningar per timme. Tekniskt kan en luftväxling av denna storlek mycket väl klaras med ett enkelt frånluftssystem med direkt intag av uteluft genom uteluftsventiler och otätheter i byggnadens omslutningsytor. Det kan dock finnas motiv i en del fall att installera tilluftssystem även i bostadshus, men detta beror i så fall på att det finns speciella förutsättningar eller önskemål.

Huvuddelen av de byggnader som inte är bostäder brukar sammanfattas under begreppet *lokaler*. I denna grupp ingår kontor, sjukhus, vårdanläggningar, varuhus, skolor, laboratorier och liknande. Ja egentligen alla byggnader som inte är vare sig bostäder eller industrianläggningar.

I en stor del av de byggnader som ingår i gruppen lokaler dimensionerar temperaturkravet i lokalen ventilations- och luftbehandlingssystemet. Så är exempelvis fallet i huvuddelen av kontor, varuhus och för flertalet av sjukhusens vårdrum som alla kräver stort luftflöde för att vädra bort överskottsvärmen. Det här betyder inte att luftrenheten är oväsentlig men det luftflöde som krävs för temperaturhållning är större än vad som hade krävts av enbart hygieniska skäl.

Luftväxlingar som krävs i den här typen av lokaler är normalt av storleksordningen 2–2.5 h⁻¹. I exempelvis kemiska och biologiska laboratorier, operationsrum och liknande, liksom i stora delar av industrins lokaler, krävs luftväxlingar i storleksordningen 5–10 h⁻¹ eller mer, i klassrum krävs 3–5 h⁻¹ och i storkök 20–30 h⁻¹. Luftflöde som krävs vid så stora luftväxlingar kan endast tillföras via ett separat tilluftssystem. Skulle man försöka klara temperaturhållning med enbart frånluftssystem, som ju är möjligt i bostadshus, skulle man få helt oacceptabel dragnivå och temperaturfördelning. Längre fram i detta kapitel redogörs mer detaljerat för vilka luftbehandlingssystem som finns och hur dessa utformas.

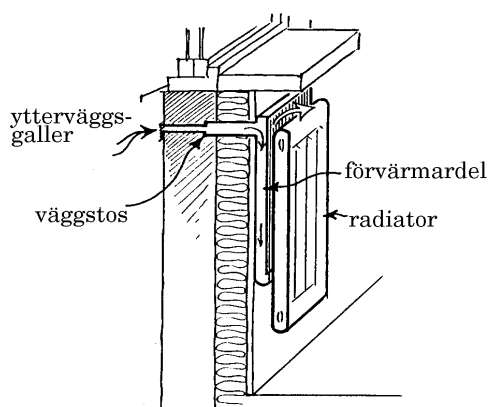
7.2.8 Luftföringsprincip i bostad

I de fall systemvalet har fallit på FTX-system tillförs luften genom speciella tilluftsdon och i de fall systemvalet istället har fallit på F- eller S-system tillförs tilluf-

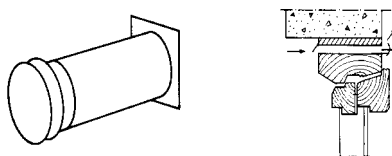
ten genom uteluftsventiler placerade i fönsters ovan- eller underkarm eller direkt i fasadväggen.

Det finns flera olika typer av uteluftsventiler, i Figur 7.7 visas några olika. Problemen med lufttillförsel via uteluftsventiler är dragproblem som kan uppstå i vistelsezonen vid för stor luftväxling. Dessutom kan problem uppstå då filtrering av uteluften är nödvändig eller då utomhusmiljön är bullrig. För att undvika problem med överventilering vintertid finns numera självreglerande uteluftsventiler att tillgå.

För att minska dragproblem då kall uteluft tillförs, placeras naturligt en radiator under uteluftsventilen. För att möjliggöra större tilluftsflöde kan luften värmas i en s k tilluftsradiaator, se Figur 7.6. Värmesystemet ska dimensioneras med tanke på att tilluften ska värmas.



Figur 7.6 Tilluftsradiaator.



Figur 7.7 Uteluftsventiler (tallriks- och spaltventil) som placeras i fasaden. (Källa: Ventilation av bostäder, BFR).

För bostäder gäller att luft ska föras in i rum där människor stadigvarande vistas, dvs i vardagsrum och sovrum. Luften får sedan genomströmma korridorer och andra liknande utrymmen där man vistas endast kort tid. Sedan förs den ut där koncentrationen av föroreningar är störst, dvs i badrum, kök och andra våtutrymmen. Matos ska inte spridas från kök och luftföroreningar ska inte spridas från hygienrum. I utrymme där fukt alstras som t ex i badrum ska ventilationen vara god för att fuktskador ska undvikas.

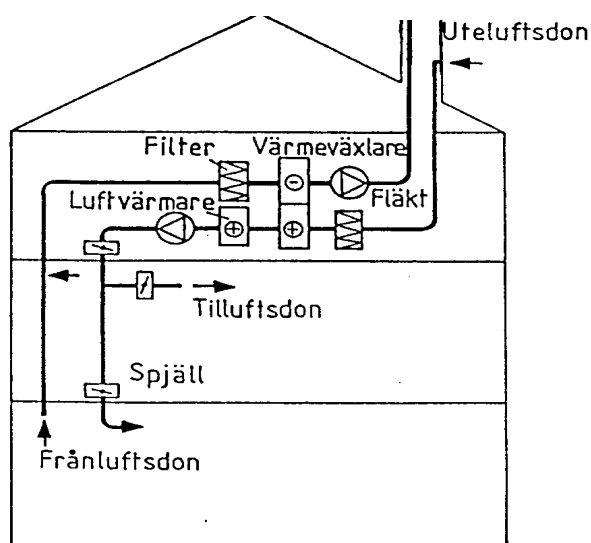
Kök, badrum och våtutrymme förses endast med frånluftsdon (eller motsvarande) och vardagsrum och sovrum med tilluft. Det är viktigt att se till att ingen del av lägenheten eller bostaden ligger vid sidan av ventilationsluftens strömningsväg. Alla rum bör vara försedda med antingen överluftsanordning, utelufts-, tillufts-, eller frånluftsdon.

Frånluftsdon ska placeras i vägg eller tak så att den tillförda luftens väg blir så lång som möjligt i rummet. Det är viktigt att frånluftsdonet placeras så att inte den tillförda luften sugas ut direkt i s k kortslutningsströmning.

7.3 Luftbehandlingsaggregat

Luftbehandlingsaggregatet är den apparat som behandlar ventilationsluften i F-, FT- och FTX-system. Det placeras i fläktrummet som normalt finns högt upp i byggnaden eller nere i källaren. I kapitlet om utrymmesbehov kan du läsa mer om fläktrumspacering.

Luftbehandling omfattar ett antal steg, vart och ett med en väldefinierad uppgift och där vart steg omfattar en del av aggregatet. Följande komponenter kommer att förklaras: Galler, spjäll, blandningsdel, luftrenare, luftvärmare, luftkylare, fuktare, avfuktare, fläkt, värmeåtervinningsaggregat, ljuddämpare och till sist temperaturregleringsanordning. I Figur 7.8 visas några symboler för de olika behandlingsstegen.



Figur 7.8 Vanliga symboler i ett luftbehandlingssystem.

7.3.1 Galler

Vid luftintaget till en ventilationsanläggning sitter normalt ett uteluftsgaller se Figur 7.9. Dess funktion är att hålla ventilationssystemet stängt för smådjur som råttor och fåglar. Gallret har dessutom snedställda skenor för att förhindra snö- och regninfall. Vid slagregn kan dock vatten komma in i kanalsystemet i huset och förvandla eventuell invändig mineralullsisolering till en sörja av smuts och vatten.



Figur 7.9 Intags- eller uteluftsgaller för en luftbehandlingsanläggning.

Luftintaget ska ej placeras så att bilavgaser, rök eller gaser från industrier kan föras in i anläggning. Speciellt viktigt är detta i småhusanläggningar där uteluftsgallret ofta placeras nära mark och därför ej bör vetta mot garage, parkeringsplatser eller lastplatser. Luftintaget ska heller inte placeras så att avluften som just lämnat byggnaden återförs till huset. Slutligen bör beaktas att ljud kan spridas från luftintaget och störa i byggnadens omgivning.

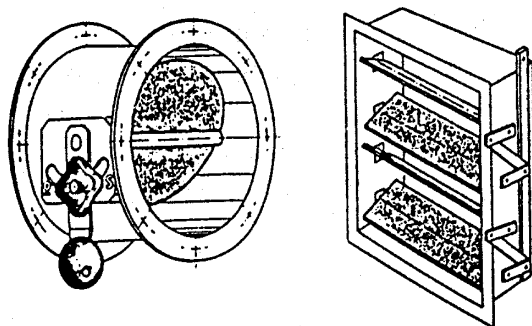
7.3.2 Spjäll

De mest använda spjällen i ventilations- och luftbehandlingssystem, kan beroende på deras primära funktion, delas upp i: intagsspjäll, injusteringspjäll, avstängningspjäll, blandningspjäll och brandspjäll

Intagsspjället används för att öppna eller stänga för uteluftsflödet. Luftbehandlingsaggregatet skyddas härigenom från frysning genom att spjället stänger automatiskt då denna risk föreligger. Till intagsspjäll brukar ett jalousipjäll användas, se Figur 7.10.

Injusteringspjället används för att rätt luftflöden ska erhållas i respektive don. Till injusteringspjäll används ett trottelspjäll, se Figur 7.10. Blandningspjället används för att erhålla rätt blandningsförhållande mellan uteluft och återluft. Spjällets läge regleras så att luftflödena blandas i rätt proportion.

Brandspjället är avsett för avstängning av en ventilationskanal vid brand. Ett smältlås löser ut då lufttemperaturen stiger varvid spjället stänger.



Figur 7.10 Trottelspjäll och jalousipjäll.

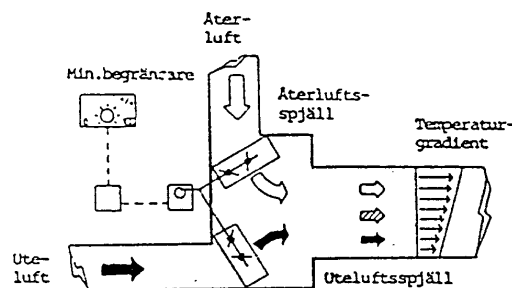
Spjäll kan vara motordrivna eller manuellt styrda. Bulleralstring från spjäll kan verka störande om det sprids ut i byggnaden speciellt vid kraftig strypning av spjället.

7.3.3 Blandningsdel

Blandningsdelens funktion i luftbehandlingsaggregatet är att i energibesparande syfte möjliggöra inblandning av frånluft i uteluften, s k återluftföring. Då varm återluft ska blandas med kall luft vintertid skiktas gärna luftblandningen efter temperatur om inte speciella åtgärder vidtages. Den varma luften lägger sig på kalluften och bildar en förvånansvärt stabil skiktning som kan medföra sönderfrysning av värmebatteriet.

Figur 7.11 visar den principiella utformningen av en blandningsdel. Skiktningen försämrar också funktionen hos övriga luftbehandlingskomponenter och den kan

finnas kvar efter aggregatet och fortplantas ut i kanalsystemet där den vållar ytterligare problem eftersom tilluften blir feltempererad.



Figur 7.11 Principiell utformning av blandningsdel.

7.3.4 Luftrenare

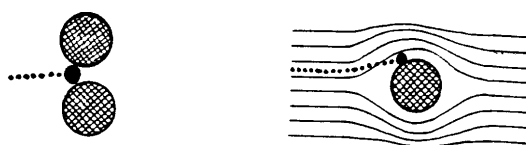
Luften i vår omgivning är aldrig ren. Luften bär med sig dels olika partiklar med olika egenskaper och dels gaser av varierande art och i varierande koncentration. Då man talar om luftrening i samband med ventilation är det nästan alltid fråga om rening från partiklar (inte gaser alltså).

Föroreningarna i uteluften varierar med bland annat årstid, tidpunkt på dagen, väder och typ av bebyggelse i omgivningen. Stofthalten kan variera mellan 0.05 mg/m^3 och 5 mg/m^3 och delas in i tre klasser efter storleken på partikeldiametern som varierar mellan $0.001 \mu\text{m}$ till $100 \mu\text{m}$. Partiklar större än $10 \mu\text{m}$ förorsakar synlig nedsmutsning, medan mindre partiklar betraktas som hygienisk olägenhet. Klasserna benämns stoft, damm eller rök.

Filtrets eller luftrenarens uppgift är att frigöra luften från fasta partiklar och bakterier. Både tilluft och frånluft renas med hjälp av filter. Ibland måste också avluften renas från partiklar som av miljöskäl inte får släppas ut. Denna typen av rening som kallas för avskiljning, kommer inte att behandlas i detta kompendium.

Filter som används för luftbehandling är praktiskt taget alltid av genomströmningstyp, dvs luften som ska renas passerar en filtermatta i vilken partiklarna fastnar. Partiklar kan fångas upp på fyra olika sätt i filtret. Avskiljningen sker genom silning, tröghetsverkan, interception och diffusion, se Figur 7.12.

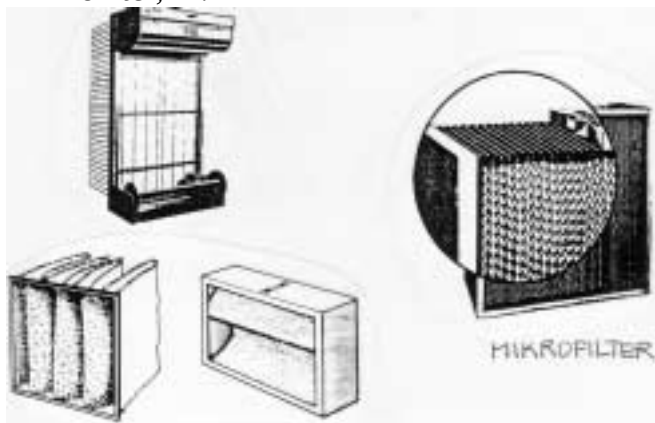
Silning innebär att partikeln inte kan komma mellan två fibrer utan fastnar. Tröghetsverkan betyder att partikeln på grund av sin tröghet inte följer med luften runt fibern utan fortsätter rakt fram och fastnar på denne. Interception innebär att partikeln råkar fastna på fibern för att den råkar komma nära densamma. Diffusion innebär att små partiklar går sin egen väg oberoende av luftströmmen, dvs även partiklar som rör sig i sidled kan fastna.





Figur 7.12 Illustration av silning, tröghetsverkan, interception, och diffusion.

Ett filter karakteriseras i första hand efter sin förmåga att avskilja partiklar. Förmåga anges med den s k avskiljningsgraden. Vid klassindelning av filter utgår man enbart från förmågan att avskilja partiklar. Filter delas in i tre klasser: grundfilter, G, finfilter, F och mikrofilter, M.



Figur 7.13 Olika filter

I Figur 7.13 visas några olika filter. Varje filter tillhör någon av dessa huvudklasser. Inom varje klass sker sedan en indelning efter avskiljningsgraden som bestäms på olika sätt i varje klass. Tryckfallet, dvs luftmotståndet hos filtret ökar med tiden den används. Ju större tryckfallet är desto mer fläktarbete krävs för att luften ska passera filtret. Även avskiljningsgradens förändring med filtrets igensättning. Filtret blir bättre och bättre på att avskilja ju smutsigare det är.

Grundfiltret förmår endast avskilja de grövsta partiklarna (större än $4-5 \mu\text{m}$). Avskiljningsmekanismen sker genom silning och tröghetsverkan. Filtret tillverkas av glasfiber, cellulosafibrer eller syntetmaterial. Ett grundfiltret är ca 25 cm djupt och tillverkas i glasfiber eller plast. Ett filter betecknat G80 avser en medelavskiljningsgrad på 80% med normenlig provning.

Finfiltret består av mindre fibrer än grundfiltret med en annan strukturell uppbyggnad. Stoftavskiljningen sker genom interception och diffusion. Finfiltret måste ha stor yta, normalt utförs det med ca 75 cm djupa veck. Kvaliteten på finfiltret anges med medelavsvärtningsgrad som bestäms genom att ljusintensiteten från en kalibrerad ljuskälla genom filtret mäts med en fotocell. Ett filter betecknat F45 avser ett finfilter med 45% medelavsvärtningsgrad.

Mikrofilter används då kravet på luftrening är högt, t ex i laboratorier och i halvledarindustrin. Filtringen sker huvudsakligen på grund av interception och diffusion. Mikrofilter anges med partikelavskiljningsgraden η_m som mäts kemiskt eller optiskt.

Luftmotståndet i filtret i luftbehandlingsaggregatet mäts vanligen av en sk tryckvakt som automatiskt slår larm då sluttryckfallet uppnåtts och det är dags att byta eller rengöra filtret.

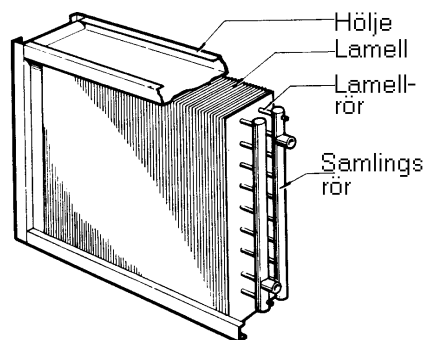
F-filter och M-filter är alltid av engångstyp. F-filtret består ofta av en färdigveckad filtermatta som monteras i eller träs på en ställning medan M-filtret alltid är utfört som kassetter.

7.3.5 Luftvärmare

Värmning av tilluft sker i en luftvärmare som består av ett värmebatteri med parallella rör i en eller flera rader. I rören förs det medium, vanligast varmvatten, som ska värma luften. Varmvattnet som värmer luften kommer från byggnadens värmeanläggning. Luften passerar rören vinkelrätt mot dess längdaxel. På grund av att värmeövergångskoefficienten på luftsidan är mycket lägre än på vattensidan krävs en kraftig ytförstoring av den värmeöverförande ytan på luftsidan. Detta sker genom att rören förses med flänsar. Dimensionerande temperaturen på inkommande varmvatten brukar vara ca 80°C och temperaturfallet på vattnet då det strömmar genom batteriet ca 40°C.

En typ av luftvärmare kallas lamellrörsbatteri. Lamellerna består av tunna plåtar som träs på rören, se Figur 7.14. Luften ska alltid filtreras före ett batteri för att inte lamellerna ska smutsas vilket inte bara är ohygienisk utan också nedsätter funktionen.

Då lufttemperaturen understiger 0°C kan vattnet frysa och skada värmaren. Vattenhastigheten i ett luftvärmebatteri bör därför vara hög för att undvika zoner med stillastående vatten. Rörytans temperatur mäts med en känselkropp i vattenströmmen i den punkt på värmebatteriet där lägst temperatur uppträder. Fläkten stoppas och spjället stängs automatiskt då frysrisk föreligger.



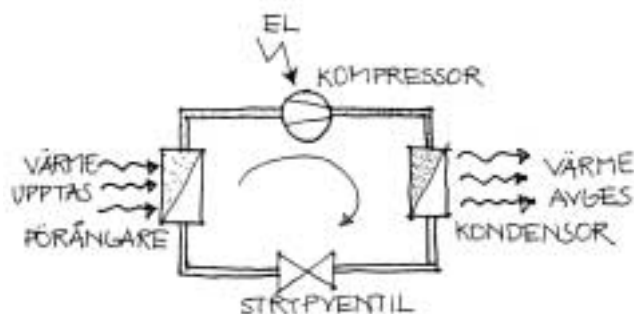
Figur 7.14 Lamellrörsbatterier.

7.3.6 Luftkylare

Luftkylare installeras då tilluften behöver kylas eller avfuktas. Den är utformad ungefär på samma sätt som en luftvärmare med vatten som kylmedium.

Temperaturskillnaden mellan vatten och luft blir väsentligt mindre än motsvarande skillnad vid värmning av luft. Vanligtvis är temperaturen på inkommande vatten ca 14°C och ca 22° på utgående vatten, dvs temperaturfallet blir ca 8°. Värmeöverföringsytan och därmed djupet på kylaren blir därför betydligt större än värmarens som arbetar med större temperaturfall. Kylvattnet till kylbatteriet kyla i en speciell kylanläggning som är uppbyggd på samma sätt som en värmepump.

Processen visas i Figur 7.15. Kylaren måste dräneras så att kondensvatten kan rinna bort.



Figur 7.15 Principen för en kylanläggning. Kylningen kan ske direkt eller indirekt.

Vid direkt kylning placeras förångaren direkt i den luftström som ska kylas och utgör alltså kylbatteriet. Vid indirekt kylning kyls vatten av förångaren, som i sin tur kyler luften i kylbatteriet. Kondensorn kyls antingen med luft eller vatten. En luftkyld kondensor kan placeras på tak, se Figur 7.16, som för att öka effektiviteten ofta förses med fläktar.



Figur 7.16 Kondensor till kylanläggningen som ska placeras på byggnadens tak.

För att undvika långa ledningar mellan kylkompressor och en luftkyld kondensor kan det vara bättre att kyla kondensorn med vatten. Värmen i vattnet kyls i så fall bort i ett kyltorn.

7.3.7 Luftfuktare

En luftfuktare används för att öka tilluftens vatteninnehåll. Fuktning kan ske med vatten eller ånga. Ångfuktning är numera ovanlig eftersom den fordrar en ånganläggning. Vid vattenfuktning fördelas detta i dysor eller så får vatten rinna över stora ytor som den strömmande luften kommer i kontakt med.

Fuktning av luft för komfortventilation är numera ovanlig i Sverige eftersom det är kostsamt. Det har också hänt att vatten som fått stå länge i en avstängd fuktare orsakat sjukdomsspridning genom bakterietillväxt (legionella). Luftfuktning förekommer endast i vissa speciella anläggningar där förhöjd luftfuktighet är helt nödvändig.

7.3.8 Avfuktare

Avfuktare används då luftfuktigheten ska minskas. En avfuktningsmetod är att kyla luften till under dess daggpunkt så att kondensation sker och sedan värma upp luften igen till önskad temperatur. Denna metod används i byggtorkar.

En annan metod är att låta luften genomströmma en roterande skiva av hygroskopiskt material där en mindre sektor av skivan regenereras med hetluft.

7.3.9 Fläkt

Vid alla former av lufttransport uppstår ett motstånd mot luft rörelsen på grund av friktion mot kanalväggar som medför att totaltrycket sjunker i luftströmmens riktning. För att upprätthålla lufttransporten är det nödvändigt att det skapas en tryckökning i systemet som kompenserar för tryckförlusten. I ventilationsanläggningar uppnås detta med en fläkt som normalt placeras sist i luftbehandlingsaggregatet för att luftströmningen i de olika aggregatdelarna ska bli så störningsfri som möjligt.

Fläkten är en betydande elförbrukare. I moderna FTX-system är årskostnaden för den elektriska energi som åtgår för fläktens drift ofta högre än kostnaden för värmning av tilluften. Det här sammantaget motiverar att fläktvalet ägnas speciell uppmärksamhet. Med avseende på arbetsprinciper indelas fläktar i följande huvudkategorier:

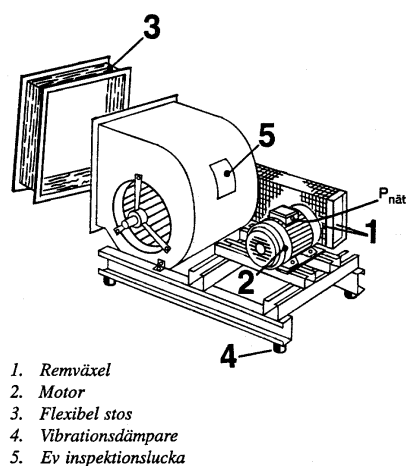
- radialfläktar
- axialfläktar

Val av fläkttyp bestäms först och främst av tillämpningsfallets karaktär och krav på tryck och luftflöde o dyl. Dessutom påverkas valet i hög grad också av kostnadsbilden. Fläktar med låg driftkostnad har vanligen högre kapitalkostnader än fläktar med hög driftskostnad, dvs fläktar med låg verkningsgrad.

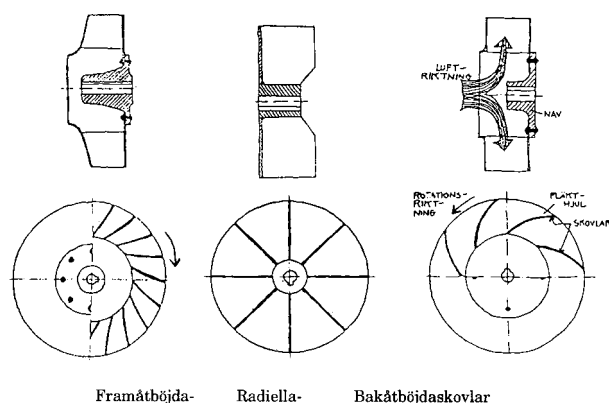
Radialfläkt

Radialfläkten är den mest använda fläkttypen i luftbehandlingsaggregat. Luften strömmar in axiellt och förs med hjälp av centrifugalverkan utåt via de kanaler som fläktskovlarna bildar, se Figur 7.17. Luften kastas således ut i fläkthjulets periferi till kanalsystemet. Inlopps- och utloppsöppningarna är placerade i 90° vinkel mot varandra.

Radialfläktar indelas efter fläkthjulets utformning och skovlarnas geometri som har avgörande inflytande på radialfläktens egenskaper. Det finns fläktar med framåtböjda, bakåtböjda och radiella skovlar, se Figur 7.18.



Figur 7.17 Radialfläkt.

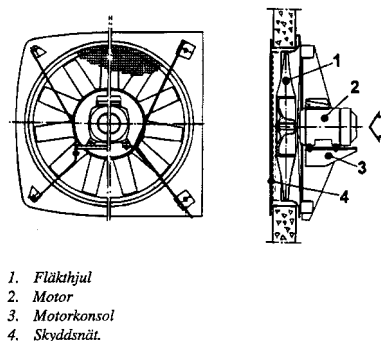


Figur 7.18 Olika typer av skovlar hos radialfläktar.

Fläkt hjulet monteras i regel direkt på motoraxeln då ventilationsflödet är litet. För ett stort luftflöde och därmed för en stor fläkt brukar man istället för direktkoppling välja kraftöverföring med kilrem. Utvecklingen går mot direktdrift av fläkten för att få eleffektiva system.

Axialfläkt

I axialfläkten strömmar luften in axiellt och lämnar fläkten axiellt, se Figur 7.19.



Figur 7.19 Axialfläkt.

Med axiellt menas parallellt med fläkt hjulsaxeln. Den enklaste typen av axialfläkt är en propellerfläkt där fläkten skruvar fram luftpelaren. Vid för högt mottryck kan en

viss återströmning ske i de inre delarna av fläkthjulet och dessutom kan ljudet bli störande. Fläkthjulet har stor genomloppsarea, vilket är en fördel då det medger självdrag vid stillestånd.

Axialfläkten kräver inte stort utrymme. Den kan byggas in helt i en cirkulär kanal och används i allmänhet för stora flöden som inte behöver någon stor tryckuppsättning. Fläktar av denna typ kan också installeras i en vägg, i en kanal eller i ett aggregathölje. Motorn utförs ibland med remdrift men är i allmänhet direkt kopplad till fläkten.

Fläktens nyttiga effekt, dvs den effekt som teoretiskt krävs för att öka trycket på ett viss luftflöde, beräknas som produkten av totaltryckhöjningen och luftflödet

$$P_{nyttig} = \Delta p \cdot q \quad (\text{W}) \quad (7.3)$$

där Δp = totaltryckhöjning (Pa)
 q = luftflöde (m^3/s)

Den effekt som fläkten i praktiken behöver för att inte bara övervinna den nyttiga effekten utan som den också behöver för att täcka förluster i fläktmotor, fläktremsöverföring och förluster i själva fläkthjulet kallas tillförd effekt. Förhållandet mellan den nyttiga effekten, P_{nyttig} och den tillförd effekten, $P_{tillförd}$ kallas fläktens verkningsgrad och betecknas med η

$$\eta = \frac{P_{nyttig}}{P_{tillförd}} \quad (-) \quad (7.4)$$

Den definierade verkningsgraden tar hänsyn till alla förluster inom fläkten och fastställs genom provning hos tillverkaren.

Kapacitetsreglering (Luftflödesreglering)

I de flesta ventilationsanläggningar är luftflödena konstanta när anläggningen är i drift. Det förekommer dock fall där det är nödvändigt att ändra luftflödet vid drift t ex i system som kräver noggrant konstanta flöden oberoende av om luftfiltren är igensatta eller i s k VAV-system som förklaras i avsnitt 7.8.1.

Axialfläktar regleras genom att dess skovlar vrids vilket möjliggör en flödesreglering inom vida gränser med bibehållen hög verkningsgrad. Sådana axialfläktar är emellertid av kostnadsskäl tänkbara endast då det rör sig om mycket stora luftflöden, 10–15 m^3/s .

Luftflödesreglering av en radialfläkt under drift kan ske enligt följande principer aningen med spjällreglering, ledskenereglering eller varvtalsreglering

Spjällreglering eller strypregleringen bygger på att luftflödet varieras med ett spjäll vars öppning varieras. Reglermetoden är driftsekonomiskt dålig, åtminstone vid körning på delflöde under lång tid. Sett ur kostnadssynpunkt för anläggningen är det dock den förmånligaste metoden.

Vid *ledskenereglering* skapas medvetet en medrotation av luftströmmen i fläktinloppet. Ett antal omställbara styrplåtar i fläktinloppet vinklas mer eller mindre för att öka eller minska medrotationen. Dessa ger luften en rotation i fläktens rota-

tionsriktning varvid fläktens inte kan ”ta tag” i luften varvid luftflödet sjunker. Effektbehovet sjunker med minskat luftflöde varvid detta är en energieffektiv regleringsmetod.

Vid *varvtalsreglering* kommer fläktens skovelhjulets rotationshastighet att ändras. Detta regleringssätt är bra men dyrt att installera.

Ljud från fläktar

Ljudalstring och ljudegenskaper blir alltmer betydelsefulla egenskaper för fläktar. Följande tumregler kan vara till hjälp för en översiktlig bedömning av fläktars ljudegenskaper.

- Axialfläktar alstrar vanligen mer ljud än radialfläkt
- Radialfläkt med framåtböjda skovlar alstrar mer ljud än bakåtböjda
- Lågt varvtal ger lågt ljud
- Stor fläktdimension ger lågt ljud

Eleffektiva fläktar

Som ett mått på eleffektivitet för fläktar och kanalsystem kan begreppet specifik fläkteffekt användas. Den definieras som till- och frånluftfläktarnas summerade eleffekter per transporterad luftvolym genom systemet enligt följande:

$$SFP = P/q \quad (7.7)$$

där SFP = specifik fläkteffekt ($\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$)
 P = fläkteffekt för alla fläktar tillsammans (kW)
 q = luftflöde (m^3/s)

Den specifika fläkteffekten mäts i regel i enheten $\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$. Ett kanalsystem med lågt värde på specifikt fläkteffektbehov har förhållandevis låg årlig energiförbrukning, varför ett lågt SFP-värde i viss mån också ger ett mått på elenergiförbrukningen. Val av lämplig eleffektivitet i form av SFP-värde skall ske utifrån individuella drift och kapaitalkostnadskalkyler. Eleffektiv klass $SFP < 1.0 \text{ kW}/\text{m}^3/\text{s}$ är ett mål att sträva efter ifråga om komfortventilationssystem. När det gäller industriventilation måste avsevärt högre värden ofta accepteras.

Val av fläkt

Vilken fläkt som bör användas kan väljas då luftflödet är bestämt (inklusive läckageflöde) och då tryckfallet i systemet är beräknat. I princip ska en fläkt väljas som har hög verkningsgrad och som har reglerbart flöde så att luftflöde och tryckfall kan anpassas till det aktuella behovet.

Ofta kan flera fläktstorlekar i samma serie klara den önskade volymströmmen och tryckökningen. Den minsta fläkten är oftast den billigaste att anskaffa, men prioriteras driftskostnaden högst bör man välja en fläkt med hög verkningsgrad. Merutgifterna för en dyrare fläkt med högre verkningsgrad vill normalt vara intjäna på mycket kort tid pga de lägre driftskostnaderna.

7.3.10 Värmeåtervinningsaggregat

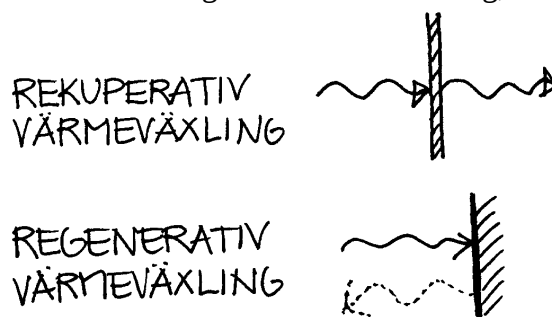
Behandling (filtrering, värmning och eventuellt kylning) av tilluft är mycket energikrävande. När tilluften utgörs av uteluft är det fråga om värmning från utetemperatur till den inblåsningstemperatur som tilluften ska ha. Denna temperatur kan ligga någonstans mellan $+15^{\circ}\text{C}$ och $+20^{\circ}\text{C}$ beroende på anläggningens och byggnadens utformning. Frånluftstemperaturen brukar ligga runt $+24^{\circ}\text{C}$. För att minska energibehovet för att värma tilluften utnyttjas värmen i frånluften. Antingen används återluftförling eller värmeväxling.

Återluftförling

Vid återluftförling blandas frånluft i tilluften för att höja temperaturen. På detta sätt kan luftflödet ökas genom lokalerna utan att en större mängd uteluft behöver värmas. Återluftförlingen får inte drivas så långt att de minimivärden som gäller för uteluftflöde underskrids. Från termisk och ekonomisk synpunkt finns inga invändningar mot detta system. Men systemet återför naturligt nog även föroreningar som därmed sprids, föroreningar som kan vara både farliga och störande. För att förhindra återförling av åtminstone partikelformade föroreningar måste filter användas.

Värmeväxling

När verksamheten är sådan att återluftförling inte får ske kan värmebehovet för tilluftsbehandling minskas genom värmeväxling mellan från- och tilluft. Värmeåtervinningsystemen delas in efter hur värmeövergången sker. Då värmen strömmar genom en värmeväxlande yta är det fråga om rekuperativ värmeväxling. Då värmeväxlingen sker intermitterant genom att ett material omväxlande värms och kyles och därigenom överför värme är det regenerativ värmeväxling, se Figur 7.20.



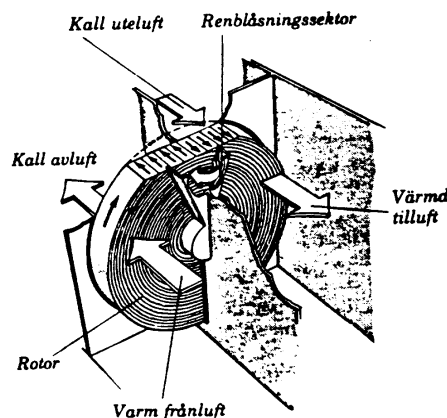
Figur 7.20 Principen för rekuperativ och regenerativ värmeöverförling.

Värmeåtervinning räcker normalt inte till för att värma tilluft till önskad inblåsningstemperatur vid låg utetemperatur. Tilluftsaggregat med värmeåtervinningsutrustning har praktiskt taget alltid ett kompletterande värmebatteri som har till uppgift att höja tilluftens temperatur till önskad nivå då värmeåtervinningen inte räcker till. Följande metoder är de mest använda: roterande värmeväxling, batterivärmeväxlare, plattvärmeväxlare och värmepump.

Roterande värmeväxlare

Den roterande värmeväxlaren är av regenerativ typ. Den består av ett rotorhjul med ett stort antal små axiella kanaler, se Figur 7.21. Hjulet är ofta uppbyggt av ett korrugerat metallblad som lindats lager på lager. När rotorn passerar den varma

luften i frånluftskanalen lagras värme och fukt i de fina kanalerna. Värme och fukt avges sedan till den kalla luften i tilluftskanalen.

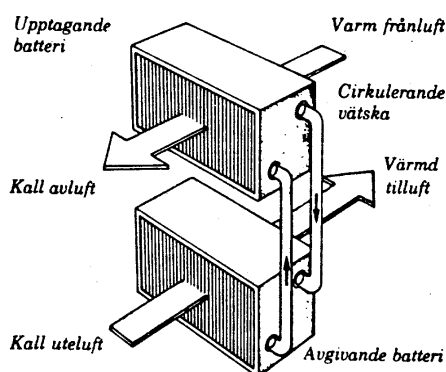


Figur 7.21 Roterande värmeväxlare.

Trots att samma ytor är i beröring med både uteluft och frånluft är partikelöverföringen låg beroende på renblåsningssektorn som minimerar överföringen av frånluft till tilluften. Temperaturverkningsgraden för en roterande värmeväxlare kan vara ända upp till 85%. Om verkningsgraden behöver sänkas, t ex på våren när tilluften inte behöver vara lika varm som vintertid, sker detta genom varvtalssänkning av rotorn. Till- och frånluftskanalerna måste dras intill varandra för att värmeväxling ska kunna ske med en roterande värmeväxlare.

Batterivärmeväxlare

En batterivärmeväxlare är av indirekt rekuperativ typ. Den består av två batterier, det ena placerat i tilluftskanalen och det andra i frånluftskanalen. Med hjälp av en pump cirkuleras vatten mellan batterierna, se Figur 7.22. Vattnet kan vara blandat med fryspunktssänkande medel.



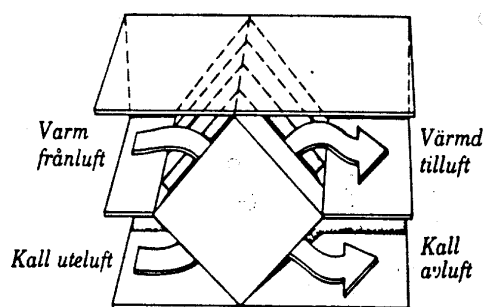
Figur 7.22 Batterivärmeväxlare.

Vattnet värms i batteriet i frånluftskanalen varefter det pumpas till batteriet i tilluftskanalen där det avger sin värme. Verkningsgraden på värmeöverföringen är relativt hög, dock inte så hög som hos den roterande värmeväxlaren. I allmänhet ligger den kring 60%. Då frånluften innehåller mycket fukt finns risk för frostbildning om temperaturverkningsgraden blir för hög, dvs om värmeväxlaren sänker frånluft-

tens temperatur under 0°C . Regleringen av temperaturverkningsgraden sker med en shuntventil. Ingen fuktöverföring sker eftersom det inte förekommer någon direktkontakt mellan till- och frånluft. Denna indirekta värmeöverföring kan vara en fördel ur hygienisk synpunkt. Till- och frånluftskanalerna behöver inte passera samma utrymme för att värmeöverföring ska ske med denna metod.

Plattvärmväxlare

En plattvärmväxlare är av rekuperativ typ. Den består av plåtar som lagts ihop växelvis så att tilluften och frånluften passerar varannan kanal. Tilluftens strömningsriktning är vinkelrätt mot frånluftens, se Figur 7.23.

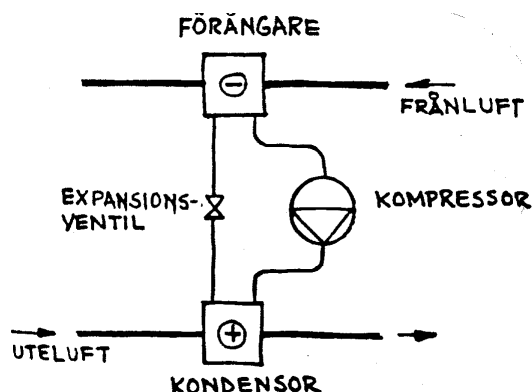


Figur 7.23 Plattvärmväxlare.

Till- och frånluften har alltså ingen direkt kontakt och då sker heller inte någon överföring av fukt. Plattvärmväxlare är enkla och funktionssäkra och används såväl i industriella sammanhang som för bostadsventilation. Temperaturverkningsgraden är cirka 70%. Frånlufts- och tilluftskanalerna måste passera samma utrymme för att värme ska överföras med en plattvärmväxlare

Värmepump

Värmepumpen som är av indirekt rekuperativ typ, kan användas både för att värma tilluften under vinterhalvåret och för att kyla under sommaren, se Figur 7.24. Värmepumpens funktion beskrivs i kapitel 6. Under vintern sitter förångaren i frånluftskanalen och kondensorn i tilluftskanalen.



Figur 7.24 Värmepump som värmeåtervinningsaggregat.

Temperaturverkningsgrad

Frånluftstemperaturen och utetemperauren är givna storheter. Det innebär att det är värmeväxlarens konstruktion och storlek som bestämmer värmeåtervinningens storlek. I första hand är det de värmeväxlande ytornas storlek och värmetekniska egenskaper som är avgörande för värmeåtervinningssystemets förmåga att återvinna värme. Vad som kommer att överföras i drift, bestäms av till- och frånluftsflödenas storlek.

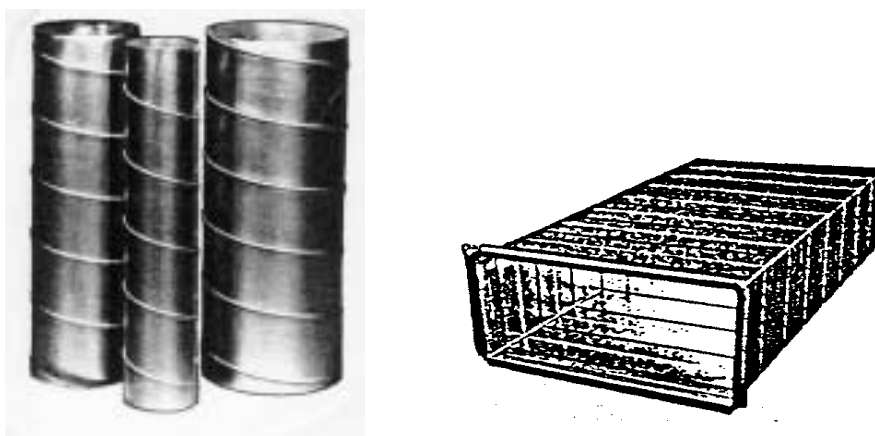
Vid en verkningsgrad på 50% återförs hälften av värmen i frånluften till tilluften. Temperaturverkningsgraden bestäms av de värmeväxlande ytornas storlek och tas fram genom provningar av tillverkaren.

7.4 Kanalsystem

Ett kanalsystems uppgift är att föra ut luften till eller från de lokaler och processer som ska ventileras. För att rätt luftflöde ska erhållas krävs att systemet är väl utformat och utfört. Ombyggnad eller anpassning av bristfällig system brukar vara kostsamma. Vid analys av dåligt fungerande kanalsystem visar det sig ofta att felen beror på felaktigt dimensionerade kanaler i kombination med strömningstekniskt dålig utformning av kanalkomponenter.

7.4.1 Kanaler

Faktorer som påverkar valet av kanalmaterial är pris, täthet, friktionsförluster, brandsäkerhet och tålighet. Vanligaste materialet är galvaniserad tunnplåt som är både billigt och brandsäkert. Plastkanaler finns men används endast i undantagsfall, t ex i kemiska fabriker där luften innehåller för plåt aggressiva komponenter. Där kanalerna måste tåla stötar, t ex i vissa industrier och vid renspolning, t ex som i vissa storkök används svetsade plåtkanaler. Flexibla kanaler (böjbara) ger vanligen stort och svårberäknat tryckfall och bör därför endast användas när särskilda skäl föreligger.



Figur 7.25 Några olika plåtkanaler.

Om möjligt ska cirkulära kanaler, så kallade spirorör, användas. Dessa framställs genom att linda och samtidigt falsa ett band av plåten så att rör bildas, se Figur

7.25. Tidigare tillverkades kanalerna i längsfalsat utförande. Med det nya tillverkningssättet har dels tillverkningen förenklats och kanalernas täthet ökat. Rören kapas sedan i 6 meters län gder innan de levereras till bygget.

Kanaldimensioner och plåttjocklekar har standardiserats för att nå enhetlighet för anslutningsmått. Den minsta kanalen är 63 mm och den största i serien är 1250 mm. I tabell 7.1 i avsnitt 7.4.9 anges standarddimensioner. Här framgår att antalet dimensioner inom den standardiserade serien av kanaler med cirkulärt tvärsnitt relativt litet.

Det finns också kanaler med rektangulärt tvärsnitt. I avsnitt 7.6 visas diagram som ger standardstorlekar och hastighet för rektangulära kanaler. Tvärsnittsytan blir större för en rektangulär än för en cirkulär kanal för att transportera samma mängd luft med samma tryckfall. Cirkulära kanaler ger lägre investeringskostnad än rektangulära kanaler.

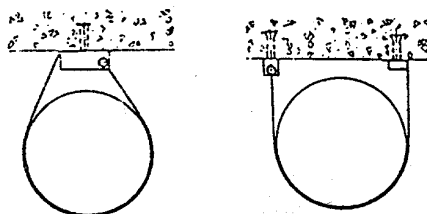
7.4.2 Kanalisolering

Vanligaste anledningen till att kanaler isoleras är att *brandspridning* ska förhindras. Krav på isoleringstjocklek och typ anges i BBR. För kanaler med cirkulärt tvärsnitt gäller att A30 motsvarar en isoleringstjocklek 50 mm och A60 motsvarar 100 mm isolertjocklek. För kanaler med rektangulärt tvärsnitt gäller A30 som motsvarar 70 eller 60 mm tjocklek, A60 motsvarar 110 eller 120 mm isolering. Kanaler isoleras antingen utvändigt, vilket är vanligast eller invändigt. Invändig isolering har också en *ljuddämpande* funktion.

Värmeisolering av kanaler sker för att hindra *värmetransport* genom kanalväggen. Då en kalluftskanal passerar ett fuktigt utrymme finns risk att vattenånga passerar isoleringen och kondenserar på kanalytan. Av denna anledning är det viktigt att isoleringen är diffusionstät. Utfällning av kondens försämrar mineralullens isoleregenskaper och ökar risken för korrosion på plåten.

7.4.3 Upphängningsanordningar och stöd

För att fixera de rektangulära kanalerna i önskat läge används fästvinklar/pendlar eller band och bandfästen, se Figur 7.26. Tunga kanaler eller krypbara kanaler kan också fästas i skenor som monterats på eller ingjutits i bjälklagen.



Figur 7.26 Cirkulära kanaler uppsatta med fästvinklar/pendlar och vertikala kanaler som hålls på plats med konsoler.

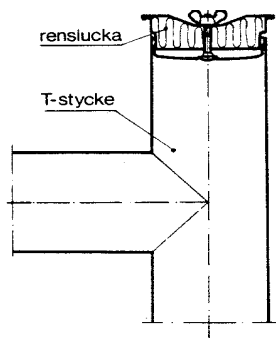
7.4.4 Rensningsmöjligheter

Dåligt rengjorda ventilationssystem fungerar otillfredställande. Man måste räkna med en viss stoftavsättning i och försmutsning av både tillufts- och frånluftskanaler även om anläggningen innehåller filter. Frånluftskanal från spisfläkten, imkanal, i ett kök är rensningspliktig då den invändigt kan beläggas av brandfarlig fett och ludd.

Försmutsning av andra kanaler sker oftast i form av avsättning av partiklar och fibrer. Avsättningen ökar då lufthastigheten ökar vilket gör att böjar, areaförändringar, klena kanaler och tillufts- och frånluftsdon blir särskilt utsatta.

Alla tillufts- och frånluftsdon ska enkelt kunna demonteras så att de går att rensa. Rensning av kanaler sker manuellt med verktyg liknande de som används vid sotning. Kanaler ska förses med rensluckor, se Figur 7.27, som bör anordnas i anslutning till de ställen som är särskilt utsatta för smutsning och de måste vara lätta komma åt.

För att undvika försmutsning under byggtiden, bör kanaler levereras med ändstycke och kanalerna bör också inspekteras och vid behov rengöras innan anläggningen tas i bruk.



Figur 7.27 Renslucka.

7.4.5 Obligatoriska ventilationskontroll, OVK

En förutsättning för ett bra inomhusklimat är en väl fungerande ventilation. Sambandet mellan bristande luftväxling och luftföroreningar är entydigt. Brister i ventilationssystemet är ofta enkla att åtgärda. Det kan handla om att byta filter och fläktremmar eller att rengöra smutsiga ventilationsdon. För att se till att fel och brister upptäcks och åtgärdas i tid behövs en väl fungerande drift och underhållsorganisation som gör regelbunden översyn. Det behövs också lättillgänglig och begriplig information till brukarna om hur de kan bidra till ett bra inomhusklimat.

I moderna, installationstäta byggnader utgör energin till ventilationssystemet en stor andel av den totala energiförbrukningen. Genom kontroll uppnår man inte bara ett bra inomhusklimat utan också lägre energikostnader.

På grund av de stora bristerna i luftväxling i många byggnader har en lag stiftats som säger att ventilationssystem i alla byggnader ska kontrolleras med avseende på dess funktion, den så kallade Obligatoriska VentilationsKontrollen, OVK, Bestämmelsen är från 1991.

Kontrollpunkter

I besiktningen ingår kontrollpunkter som t ex mätning av till- och frånluftsflöde, kontroll av att drift- och underhållsinstruktioner finns för ventilationssystemet, mätning av tilluftstemperatur, smutsavsättningen i kanaler, brukarnas synpunkter ska samlas in etc,

Besiktningsmannen ska upprätta och underteckna ett protokoll och om det visar sig att ventilationssystemet lider brister i något avseende måste byggnadens ägare snarast möjligt avhjälpa dessa varvid ventilationssystemet ska ombesiktigas på aktuella punkter.

Ett särskilt intyg skall utfärdas om genomförd besiktning. Byggnadens ägare skall anslå intyget på väl synlig plats i byggnaden, t ex trapphus och entré.

Kontrollen är återkommande och besiktningsintervallen varierar beroende på dels byggnadens typ och dels beroende på vilken typ av ventilationssystem det har.

7.4.6 Kanaltäthet

En del av det luftflöde som tilluftsfläkten levererar läcker ut innan det nått det rum som ska ventileras, likaså läcker luft in i frånluftskanaler på väg till luftbehandlingsaggregatet. Läckage orsakar en rad besvär då ett större luftflöde än nödvändigt ska föras från luftbehandlingsaggregat till de lokaler som ska ventileras. Konsekvenserna blir att både luftbehandlingsaggregat och kanalsystemskomponenter får större dimension. Detta kommer i sin tur att betyda att det t ex kan uppstå problem med ljud och att få rätt luftfördelning.

Kanalsystemets täthet beror på omslutningsareans storlek och tryckskillnad mellan kanal och omgivning. Dessutom beror naturligtvis läckaget på noggrannheten vid montagearbetet.

I väl utförda system, där kanalsystemet består av spiralfalsade plåtrör, kan läckaget begränsas till ca 5% av det totalt distribuerade luftflödet. I vittförgrenade system med flera rektangulära kanaler riskerar man läckage kring 10%.

Kanalernas täthet anges i fyra täthetsklasser A, B, C eller D. Klassen anger tillåten läckfaktor L uttryckt i luftflöde per m^2 kanalomslutningsarea vid provtrycket 400 Pa. Motsvarande täthetskrav kan formuleras för sammanbyggda komponenter såsom luftbehandlingsaggregat. Accepterat läckaget per kvadratmeter kanalyta för de olika klasserna anges i Figur 7.28. Klass AT-D är den med störst krav på täthet. För att få tillhöra en klass krävs att läckfaktor inte överstiger respektive klass' linje.

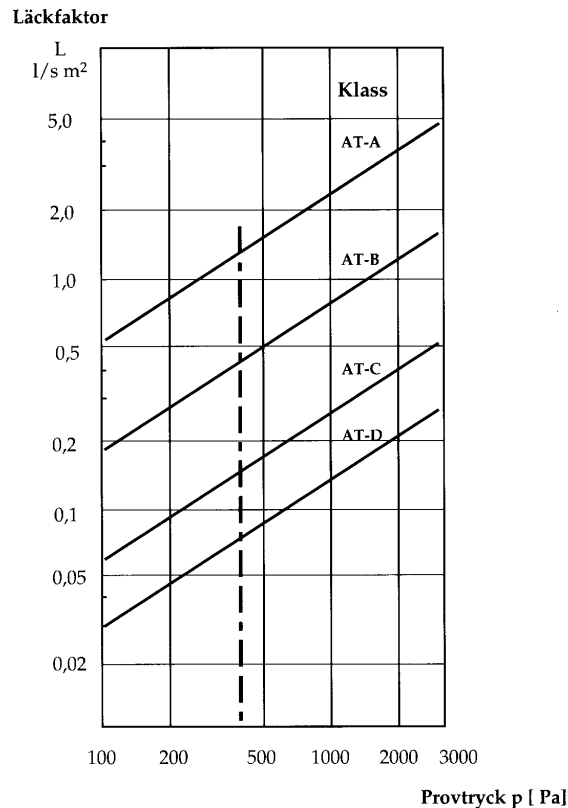
Kostnaden för en bättre tätning motiverar att en tätare klass används först då kostnaden för luftbehandlingen är hög. Den ökade kostnaden ligger i tidsödande arbete vid montering eller speciellt kanalutförande.

Kanalernas täthet ändras med tiden. Även om systemet är mycket tätt från början uppstår läckage efterhand. Då systemet börjar åldras kan en sättning i byggnaden orsaka förskjutning med otätheter som följd. Kanaler som utsätts för slag och stötar kommer att läcka mycket luft. Detsamma gäller för kanaler som belastas genom att de används för upphängning av inredningsmaterial eller att luta stegar mot etc. Läckageflödet från en kanal beräknas som

$$q_{\text{läck}} = L \cdot A_0 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (7.8)$$

där L = läckagefaktor som framgår av Figur 7.28 ($\text{m}^3/\text{m}^2, \text{s}$)

$A_o =$ kanalens omslutningsarea (m^2)



Figur 7.28 Omräkning av läckfaktor till annat provtryck.

7.4.7 Utformning av kanalsystemet

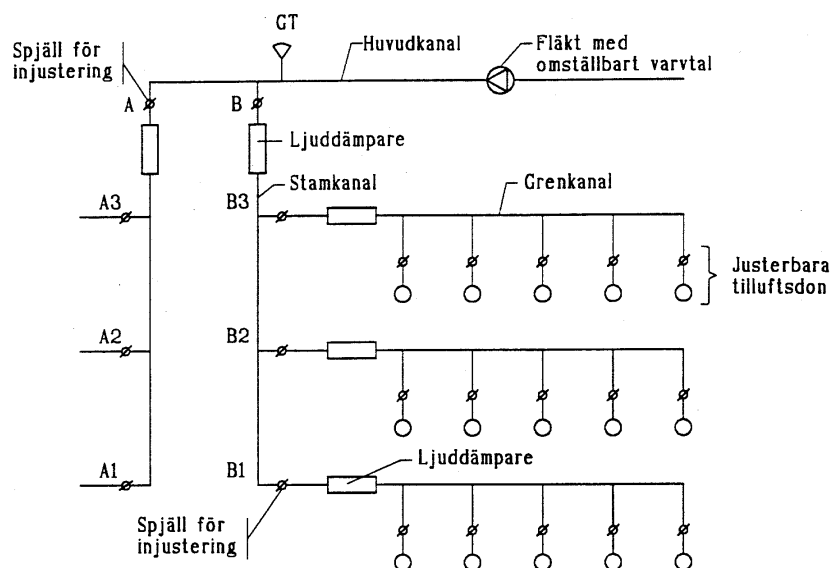
Det är viktigt att känna till hur kanalsystem utformas och fungerar eftersom de är relativt utrymmeskrävande. Om ventilationskonstruktören, arkitekten och byggnadsteknikern samarbetar redan på ett tidigt stadium kan kanalsystem utformas så att de väl smälter in i byggnaden utan problem med samordning av stomme och samtidigt fyller sin funktion väl.

Luftkanalsystem är känsligare för strömningsteknisk utformning än rörsystem för vatten. Kanaler blir också lättare skadade under bygget än rör, varvid strömningförhållandena ändras. Ett kanalsystem under drift utsätts för nedsmutsning, ändrade spjällinställningar, störningar p g a av självdragskrafter, vind etc. som kommer att ändra flödesfördelningen.

De olika kanaltyperna i ett ventilationssystem indelas enligt följande. Se även Figur 7.29.

- *Huvudkanal* som är kanalen mellan fläkt och samlingskanal eller anslutningskanal.
- *Samlingskanal* (stamkanalen i bilden) till vilken flera anslutningskanaler är anslutna.
- *Anslutningskanal* som är en kanal mellan till-, från- eller överluftsdon och annan ventilationskanal.

- *Grenkanal* som är en kanal som är ansluten till huvudkanal. En grenkanal kan antingen vara en anslutnings- eller samlingskanal.



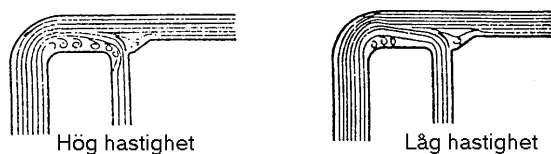
Figur 7.29 Principiell uppbyggnad av ett ventilationskanalsystem. (Källa: A. Svensson, Stifab)

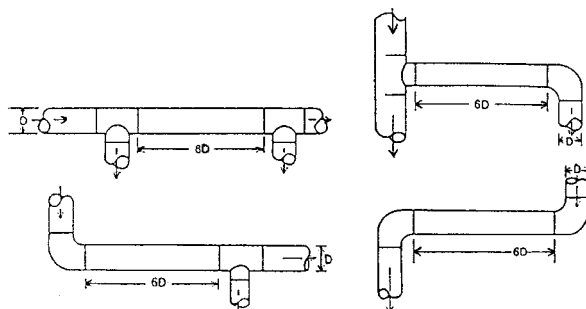
Ett kanalsystem ges i stort samma utformning oavsett om det är ett tillufts- eller ett frånluftssystem. I en byggnad reserveras speciella utrymmen för ventilationskanaler; vertikala kanaler sammanförs i schakt och horisontella kanaler i kanalstråk. Planeringen av kanaldragning måste ske i samarbete mellan arkitekt och VVS-konstruktören.

Kanalsystem ska vara så enkla och symmetriskt uppbyggda som möjligt, därför ska det t ex utformas med så få böjar som möjligt. Strömningsmotstånd, t ex böjar och T-rör, ska heller inte staplas på varandra. Avgreningar måste placeras en bit nedströms andra strömningshinder för att få stabila flödesförhållande, i annat fall kan lätt en förändring av lufthastigheten ge en ojämn luftfördelning i systemet.

Minsta avstånd mellan böj och avgrening eller dylikt bör vara 6 gånger diametern på huvudkanalen för att hastighetsprofilen ska hinna utbildas igen.

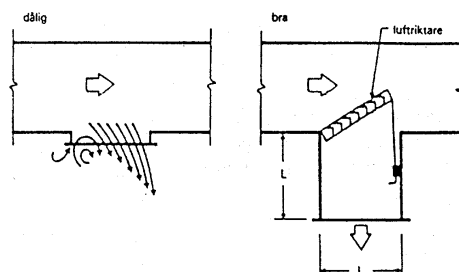
I Figur 7.30 visas strömningsmönstret i en böj med efterföljande avgrening. I övre delfiguren till vänster är hastigheten hög och strömningsmönstret påverkas mycket av böjen. I delfigur till höger är hastigheten låg och därför påverkas strömningsmönstret mindre.





Figur 7.30 Olika strömningsmönster vid en böj med avgrening och minsta avstånd mellan böj och avgrening bör vara minst 6 gånger diametern på huvudkanalen.

Anslutning av tilluftsdon är speciellt viktig, både för flödesförhållande i kanalsystemet, för tilluftsstrålen och för spridningsbilden i rummet. Don bör inte placeras direkt på den distribuerande kanalen utan anslutas via egen anslutningskanal, som bör ha en minsta längd av tre kanaldiametrar om inte speciella åtgärder vidtagits, se Figur 7.31 där spridningsbildens påverkan av donmontaget visas



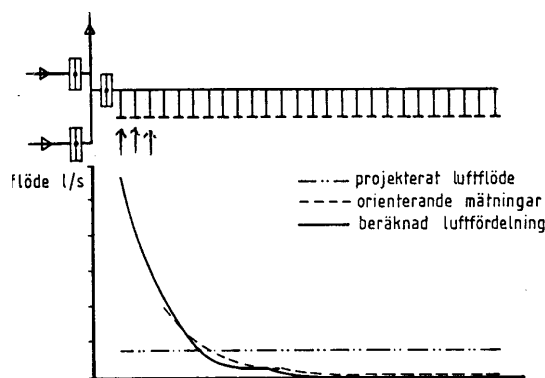
Figur 7.31 Exempel på hur donmontaget påverkar spridningsbilden.

Ur flödesfördelningssynpunkt är det fördelaktigt om kanaler är grova så att friktionstryckfallet blir litet. Nackdelen är att kanaler då blir utrymmeskrävande och dyra.

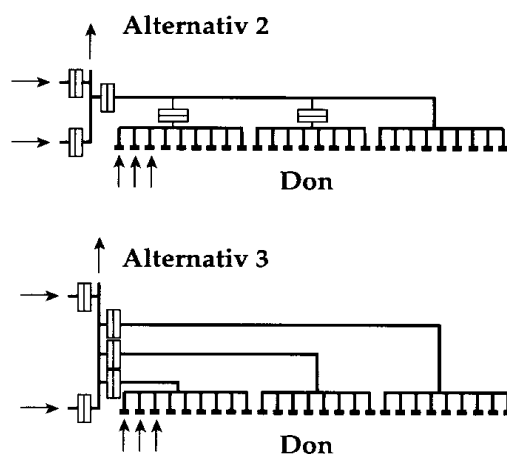
Ett kanalsystem bör utformas så att systemets olika grenar får i stort lika tryckfall utan strypningar i injusteringsspjäll. För att en injustering ska kunna utföras måste luftflödet gå att mäta, inte bara vid don utan också på olika ställen i kanalsystemet. Kanalsystemet bör om möjligt förses med fasta mätanordningar.

Figur 7.32 visar skillnaden mellan projekterade och beräknade luftflöden i ett stort kanalsystem. Innan injusteringen förutsätts att alla don har samma inställning (öppning) härvid kommer den mesta luften att vilja strömma ut genom de första donen. Ju längre huvudkanalen är desto mer måste de första donen strypas.

Vid en injustering bestäms donens inställningar för att luftflödena ska bli de önskade i alla donen. I Figur 7.33 visas två olika sätt på hur injusteringen kan underlättas genom att donen delas in i grupper.



Figur 7.32 Diagram som visar projekterad och uppmätt luftfördelning på en grenkanal med 26 anslutna frånluftsdon. Bakom varje frånluftsdon finns ett injusteringspjäll.



Figur 7.33 Samma grenkanal som i Figur 7.32. Uppdelningen av donen i grupper möjliggör injusterings.

Reglerna kan sammanfattas i följande

- Kanalsystemet ska vara så symmetriskt som möjligt
- Injusteringspjäll ska finnas för att utjämna obalans mellan grupper av don.
- Avståndet mellan första och sista donet på en kanal får inte vara så stort att stora strypningar blir nödvändiga.
- För att inte självdragskrafterna ska störa luftströmningen i kanalerna i ett högt hus, bör inte ett och samma kanalsystem betjäna alltför många våningar.
- Don får ej anslutas direkt på huvudkanalen.
- Den maximala längden på kanaler i korridorundertak är ca 30 m.

7.4.8 Totaltryckfall

Då luft strömmar i en kanal uppstår alltid energiförluster som orsakas av friktion mellan luft och kanalväggar, inre friktion i luften, ändringar i strömningsriktningen samt på grund av ändring av genomströmningsarean. VVS-ingenjören beräknar tryckfallet i ventilationssystemet för att kunna dimensionera och välja rätt fläktstorlek.

Totalt tryckfall beräknas vanligen som summan av enskilda delars tryckfall: tryckfall i raka kanaler, i enskilda motstånd, i apparater, orsakade av kanalsystem-effekter och tryckfall pga läckage. I ventilationssystem för komfort utgör motståndet över luftbehandlingsdelarna ca 30-50% av fläktarnas totaltryckhöjning. Detta innebär att luftbehandlingsaggregatet har större inflytande på dimensioneringen än kanaler och kanalkomponenter. Vid aggregatdimensionering kan projektören i första hand påverka val av aggregatstorlek och filterstorlek.

7.4.9 Dimensioneringsmetoder för ventilationssystem

Utgångspunkten för dimensionering av ventilationssystemet är vilken kapacitet, dvs luftflöde som anläggningen ska ha. Ventilationsbehovet har beskrivits i kapitel 1. Vid dimensionering av ventilationskanaler finns ett antal principer att välja mellan. De vanligaste är

- konstant friktionstryckfall
- konstant hastighet

Ingen av metoderna ger generellt den bästa funktionen eller det mest ekonomiska kanalsystemet. I det fall kanalerna ska monteras synligt kan estetiska synpunkter påverka val av dimension. Ibland kan t ex en dimensionsändring upplevas som störande.

Metoden med konstant friktionstryckfall

Metoden med att låta friktionstryckfallet per meter kanallängd vara konstant ger låg hastighet nära tilluftsdonen eller frånluftsdonen. Traditionellt väljs friktionstryckfallet, R till 1 Pa/m. I industritillämpningar kan dock tryckfall ända upp till 5 Pa/m förekomma.

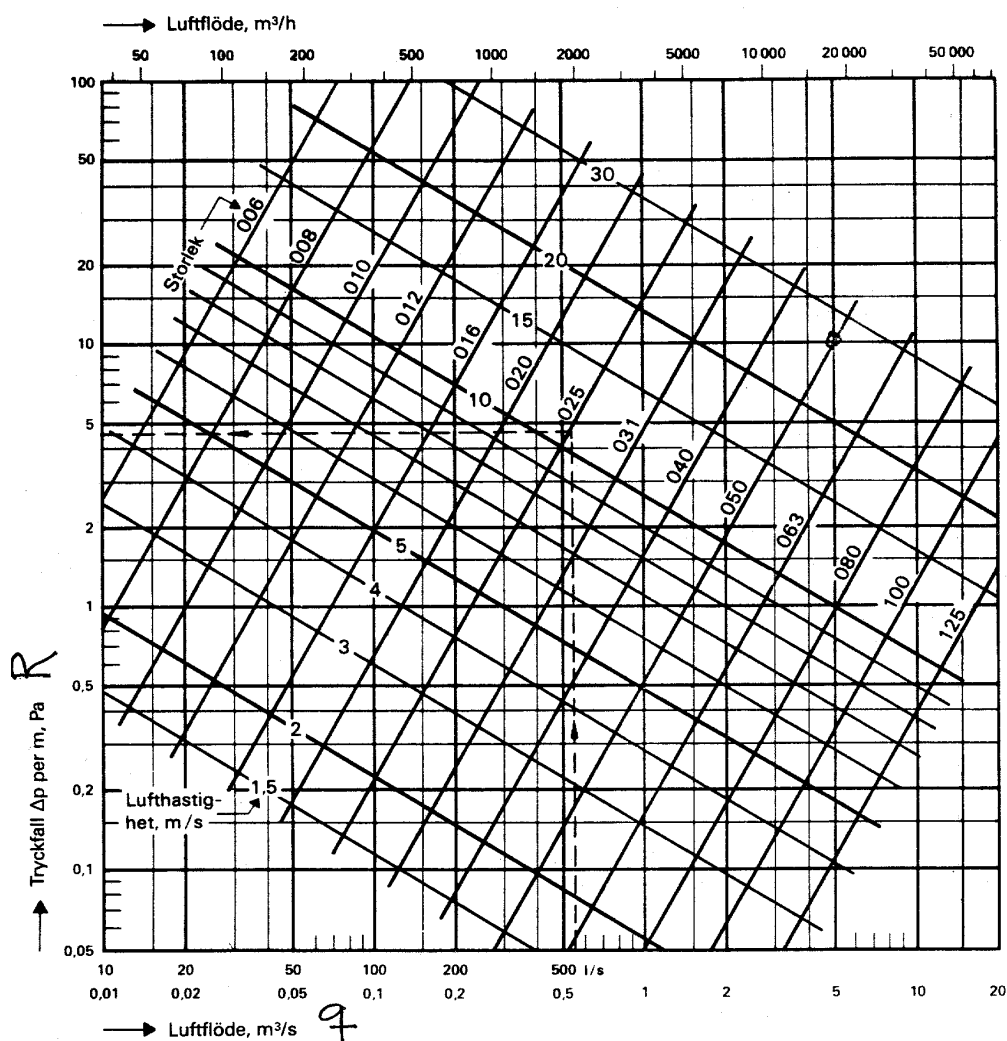
Metoden med konstant lufthastighet

En enkel metod vid dimensionering är att utgå från att lufthastigheten ska vara ungefär konstant i olika delar av systemet. Faktorer som avgör val lufthastighet i ventilationssystem för komfort är ljudalstringen, tryckmotstånd och utrymmesbehov. Ljudalstringen i kanalsystemet ökar med ökande hastighet.

Tabell 7.2 Tumregler för lufthastighet (m/s) i kanalsystem enligt sammanställning av olika källor.

Kanaltyp	Industri	Komfort	Ljud
Kanaler i fläktrum och schakt	6.0 - 20.0	5.0 - 13.0	3.0 - 5.5
Huvudkanaler	5.0 - 11.0	4.0 - 8.0	2.5 - 6.0
Grenkanaler	3.0 - 6.0	4.0 - 7.0	1.5 - 3.5
Grenkanaler med don	-	1.5 - 7.0	-
Uteluftintag	-	1.5 - 5.0	-
Avluftdon	-	1.5 - 2.5	-

Diagrammet i Figur 7.34 används då cirkulära standardkanaler av spirotyp ska dimensioneras. Motsvarande diagram finns för rektangulära kanaler.



Figur 7.34 Diagram som visar tryckfall och lufthastighet som funktion av luftflöde med standarddiameter som parameter för cirkulära kanaler.

Tabell 7.1 Standarddiameter för kanaler med cirkulärt tvärsnitt.

Storleksbeteckning	Nominell diameter (mm)	Storleksbeteckning	Nominell diameter (mm)
010	100	040	400
012	125	050	500
016	160	063	630
020	200	080	800
025	250	100	1000
031	315	125	1250

7.5 Ljudalstring i en ventilationsanläggning

Buller hör till de mest störande miljöproblemen på svenska arbetsplatser. Även på arbetsplatser där personalen inte löper risk att bli hörselskadad, kan en för hög bakgrundsnivå medföra ökad stress, sämre koncentration och minskad noggrann-

het. Bullret upplevs som störande i verksamheter som för övrigt är tysta, t ex kontorsarbete. Hur mycket ljud som kanalsystemet avger bestäms av följande faktorer:

- Kanalsystemets strömningstekniska utformning
- Regelrätt för luftflöde
- Fläkttyp
- Injustering

Därutöver påverkas ljudnivån givetvis av de ljuddämpningsanordningar som sätts in. Ljuddämpningen definieras som förhållandet mellan ljudeffekten före och efter ljuddämpningsanordningen.

För arbetslokaler har Arbetarskyddsstyrelsen sammanställt gränsvärden för ekvivalent ljudnivå.

Tabell 7.3 Gränser för ekvivalent ljudnivå.

Grupp	Arbetsförhållande	Ljudnivå
I	Stora krav på stadigvarande koncentration eller behov av att kunna föra samtal obesvärat	dBA 40
II	Betydelsefullt att kunna samtal eller stadigvarande krav på precision, snabbhet eller uppmärksamhet	dBA 60
III	Verksamhet där bullrande maskiner och utrustning används och som ej omfattas av grupp I och II	dBA 80

Montering av ställbara ledskenor och inlopp till radialfläkt kan ge upp till 10 dB ökning av ljudeffektnivån. Varvtalsreglering är fördelaktigast ur akustisk synpunkt.

Stora fläktar kan generera *infraljud* som kan förstärkas av resonanser i ventilationskanaler och hålrum. I kanalsystem kan infraljud orsakas av bl a olämpligt varvtal, stora tunnväggiga kanaler med rektangulärt tvärsnitt eller fel injustering av fläktens driftpunkt.

I avgreningar förekommer viss ljuddämpning. Högfrekvent ljud fortplantas endast i ringa grad till de avgrensade sidokanalerna. Lågfrekvent ljud med en våglängd större än ca två gånger största kanaldimensionen dämpas i viss mån. Ändring av kanaldimension ger viss dämpning av lågfrekvent ljud (våglängden större än kanaldimensionen). I don reflekteras ljudvågorna och dämpas därvid.

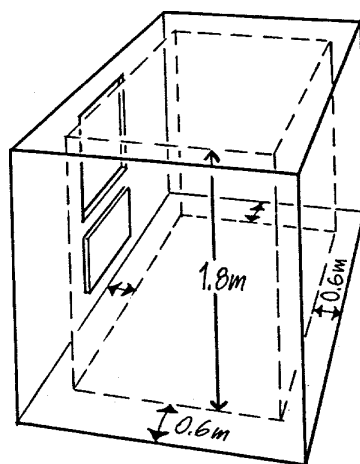
En enkel ljuddämpare av absorptionstyp består av en kanaldel som invändigt är beklädd av mineralull. Som framgår av figur 7.35 kan dämparen delas upp i flera parallella kanaler och kallas då baffelljuddämpare.



Figur 7.35 Baffelljuddämpare.

7.6 Luftströmning i rum

Val av metod att tillföra luft har stor betydelse för både ventilationens effektivitet och termisk komfort. Det senare är ofta avgörande för var och hur luften ska tillföras för att inblåsningen ska ske dragfritt i alla anläggningar, men är särskilt viktigt vid luftkylning.



Figur 7.36 Definition av vistelsezonen.

För att undvika problem med drag från ventilationsanläggning ska lufthastigheten inte överskrida 0.15 m/s i vistelsezonen. Vistelsezonen definieras i samråd med byggherre och arkitekt och är den del av rummet som människor normalt uppehåller sig i, se Figur 7.36. Normalt i bostäder, kontor och skolor räknas vistelsezonens gränser på avståndet 0.5 m från yttervägg med fönster, 0.2 m från andra ytterväggar och 1.8 m från golv.

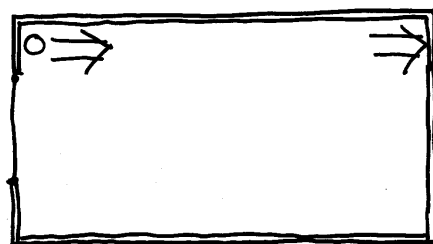
7.6.1 Ventilationsprinciper

Många har väl någon gång klagat på ventilationen på arbetsplatsen, i föreläsningssalen eller i någon annan större lokal. Det är för varmt eller för kallt, blåser för kraftigt eller luften känns inte fräsch. Det är svårt att från början installera det perfekta ventilationssystemet i en viss lokal eftersom det inte finns regler för alla förekommande fall.

Vid ventilation av en lokal skiljer man följande huvudprinciper efter sättet att tillföra luft; kortslutningsströmning, envägsströmning, undanträngande strömning och omblandande strömning.

Kortslutningsströmning

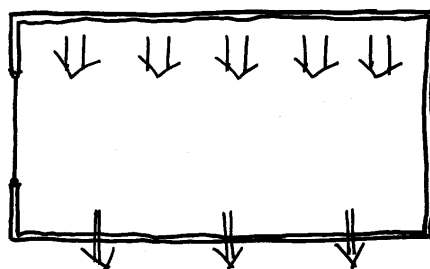
Felaktigt arrangerade don kan förorsaka en kortslutning mellan tilluften och frånluften, varvid en del av tilluften går direkt ut med frånluften utan att komma vistelsezonen till godo. Förutsättningen för att strömningen ska utbildas är att såväl tilllufts- som frånluftsdonen är placerade i taknivå samt att tilluftshastigheten är för låg och tilluftstemperaturen högre än rumstemperaturen. Kortslutningsströmning kan även erhållas med undanträngande ventilation. Där är tilluftsdon placerade i golvnivå och undertempererad tilluft tar sig ut via öppna dörrar eller lågt placerade frånluftsdon. Se Figur 7.37.



Figur 7.37 Principbild av kortslutningsströmning.

Envägsströmning

Vid envägsströmning eller kolvströmning strömmar luften från tilluftsdonet, likt en kolv, genom rummet och "skjuter" ut den gamla luften. Tillämpning sker inom renarumstekniken genom att hela rummet blir som en fortsättning av tilluftskanalen. Stora luftmängder fördelas över hela tak- eller väggytan. Lufthastigheterna i rummet är större än de som genereras av värmekällor i rummet (0.4 - 0.5 m/s). Att åstadkomma envägsströmning på detta sätt är en mycket exklusiv och dyr teknik. Se Figur 7.38.

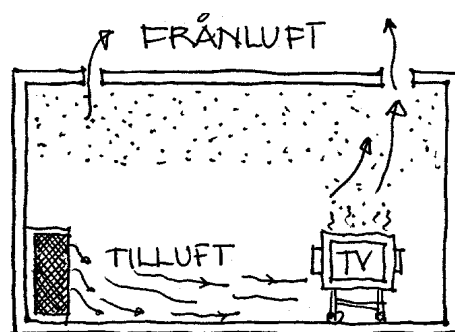


Figur 7.38 Principiell bild av envägsströmning.

Deplacerande ventilation

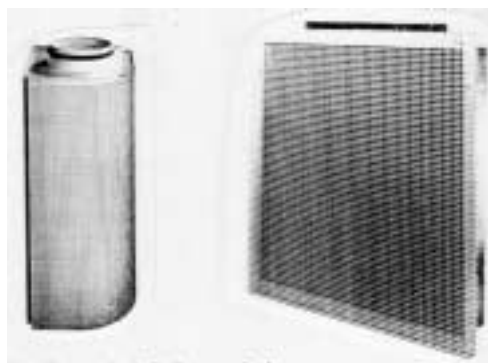
En billigare variant för att skapa effektiv ventilation är att tillföra tilluften så att undanträngande strömning, eller som den också kallas deplacerande strömning, uppstår. Ventilationsluft tillförs med undertemperatur jämfört med rumsluftens temperatur och med låg hastighet. Luften tillförs vid golvnivå och frånluften suges ut vid taknivå. Ventilationsluften fördelar sig uteder golvet och stiger då den kommer i kontakt med varma kroppar. Föroreningar i luften följer med konvektionsströmmen, varvid två zoner bildas i rummet, en övre zon med förorenad luft och en nedre zon med renare luft, se Figur 7.39.

Ur luftkvalitetsynpunkt är den deplacerande ventilationen förtjänstfull då luftströmmen kring människan bidrar till att sänka föroreningskoncentrationen i inandningszonen. Ytterligare fördelar är att transport av föroreningar från den övre till den nedre zonen förhindras.



Figur 7.39 Principen för deplacerande ventilation.

Genom att anpassa tilluftsflöde och antal don till de värmeavgivande källorna kan ett ventilationssystem med hög effektivitet och god komfort erhållas. Ett deplacerande don kan se ut som i Figur 7.40. Inblåsningsytan ska vara stor för att få låg inblåsningshastighet. En nackdel med deplacerande ventilation är att den kräver ett visst utrymme kring donet där lufthastigheten överstiger draggränsen. Det område som bildas kring ett deplacerande don med högre lufthastighet än 0.15 – 0.20 m/s kallas för närzon.



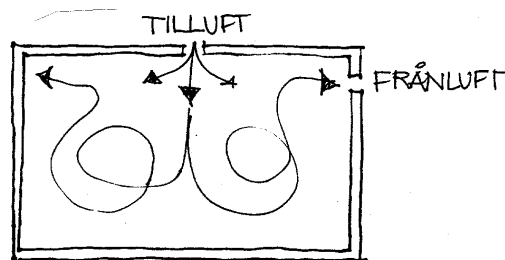
Figur 7.40 Exempel på deplacerande don.

Omblandande ventilation

Vid omblandande ventilation förs tilluften in med relativt hög inblåsningshastighet. Inblåsningen ska ske dragfritt varför den sker över vistelsezonen. I tilluftsstrålen blandas rumsluft in varvid en omblandning sker av all rumsluft. Rumsluften sugas sedan ut genom ett frånluftsdon, se Figur 7.41. Syftet med omblandande ventilation är att skapa likformighet över hela rummet vad gäller temperatur och föroreningskoncentration vilket dock är svårt eller omöjligt att åstadkomma i praktiken. I närhet av föroreningskällor erhålls förhöjda koncentrationer.

För dragfrihet krävs ett omsorgsfullt val av tilluftsdon och dess placering så att kastlängden blir rätt avvägd i förhållande till rumsstorleken. Vid val och dimensionering av tilluftsdon används begreppet kastlängd. Detta definieras som största avståndet från centrum av ett tilluftsdon till isovelen 0.2 m/s vid tillförsel av isotherm luft. Kastlängd brukar anges med $l_{0.2}$. För att undvika drag dimensioneras tilluftsdon så att inte lufthastigheten i tilluftsstrålen är större än 0.2 m/s då den böjer ner i vistelsezonen. För att erhålla en god genomströmning av vistelsezonen fordras att tilluftsdonet ger en kastlängd som är väl anpassat till rummets dimensioner.

Blåses luft ut nära en yta följer luftstrålen ytan och kastlängden ökar. Träffar luftstrålen en vägg eller inredningsdetalj kommer luftströmmen att byta riktning.



Figur 7.41 Principerna för omblandande ventilation

Det finns ett stort antal typer av tilluftsdon t ex vägg- och takdiffusorer, spaltdon och skärmar. I en diffusor tillförs luften vid en liten öppning. Luftens spridning bestäms av donets utformning. I ett spaltdon blåses luften in genom långa och smala spalter. Tilluftsskärmar kan användas för att få en stor jämn enkelriktad luftström i t ex operationsrum eller i industrier. Skärmen består av en perforerad skiva. Exempel på några tilluftsdon visas i Figur 7.42.



Figur 7.42 Exempel på tilluftsdon för omblandande ventilation.

Fördelen med omblandande ventilation är att temperaturskillnaderna blir små i lokalen, vilket är till fördel för komforten. Temperaturen på inblåsningsluften kan vara endera högre eller lägre än rumsluftens temperatur vilket gör att metoden lämpar sig såväl för värmning som för kylning.

7.6.2 Luftrörelser i rum med omblandande ventilation

Tilluftsstrålar märks, till skillnad från luftströmning kring ett frånluftsdon, på stort avstånd från donet. En tilluftsstråle påverkas givetvis inte bara av donet utan också av rummet, dess storlek, begränsningsytor och inredning. Även andra luftrörelser i rummet påverkar, dessa kan vara konvektionsströmmar från människor, apparater, radiatorer, kalla ytor etc.

Tilluftens temperatur har stor betydelse för strålens utbredning. Kalla strålar påverkas av en nedåtriktad kraft eftersom den kalla luften är tyngre än rumsluften. En annan viktig faktor för strålens utbredning är donets avstånd till närliggande yta och strålens medryckning av luft från alla håll.

Tilluftsstrålar brukar delas upp i tre kategorier, uppkallade efter de fria strålar de söker efterlikna.

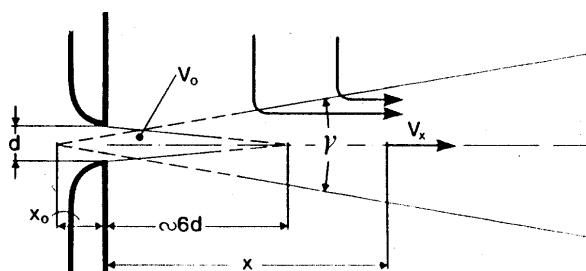
- cirkulära strålar
- plana strålar
- radiella strålar

Dessa olika luftstrålars utbredning kan bestämmas teoretiskt. Med kännedom om tilluftsdonets öppningsarea, geometri, inblåsningshastighet och tilluftens temperatur är det möjligt att beräkna hastigheten i luftstrålens mitt för de olika typerna av strålar. I det följande presenteras samband som används för att beräkna cirkulära strålar. För plana och radiella strålar finns liknande samband.

Cirkulär stråle

Den cirkulära strålen brukar ibland också betecknas rund, axiell eller axelsymmetrisk med hänsyftning till att den har runt tvärsnitt.

Figur 7.43 visar beteckningar som beskriver strålens utbredning. Strålen tänkas komma från en rund öppning och utbreder sig rätlinjigt under inblandning av rumsluft. Samtidigt minskas hastigheten i strålen. Den punkt mot vilken strålens begränsningslinjer konvergerar brukar kallas polpunkten. I figuren ligger den bakom donet, men den kan i vissa fall, t ex vid kontraktion av strålen strax efter utloppet, ligga framför donet.



Figur 7.43 Strömningsförhållande nära en cirkulär inblåsningsöppning.

En friblåsande cirkulär stråle ändrar karaktär 4 gånger innan den så småningom upplöses. Närmast utanför donet är lufthastigheten i strålen densamma som inblåsningshastigheten, v_0 . Efter ett avstånd motsvarande 6 diametrar kommer lufthastigheten i strålens centrum att avta omvänt proportionellt mot kvadratroten av avståndet till donet. I nästa zon som är den längsta avtar lufthastigheten omvänt proportionellt mot avståndet. Den sista zonen är en upplösningsszon i vilken strålen avger luft till rummet istället för tvärtom. Hastighetsavtagandet i punkt tre ovan i centrum hos en cirkulär fristråle beräknas enligt:

$$\frac{v_x}{v_0} = C_c \frac{\sqrt{A_0}}{x} \quad (7.10)$$

- där
- x = avstånd från donöppning (m)
 - v_x = hastighet på strålens mittaxel på avstånd x m från don (m/s)
 - v_0 = utloppshastighet (m/s)

A_0 = area hos en cirkulär inblåsningsöppning (m^2)

C_c = konstant vars värde varierar med öppning (-), se Tabell 7.4

Tabell 7.4 Värde på konstanten C vid olika form på öppningen.

Öppningsform		C
Dysa		7.1
Cirkulär öppning	$2.5 \leq v_0 \leq 5 \text{ m/s}$	5.7
	$10 \leq v_0 \leq 50 \text{ m/s}$	7.0
Rörformad öppning	$\text{längd} \geq 5 d$	6.8
Rektangulär öppning	$B/H = 1$	6.5
	$B/H = 5$	6.2
	$B/H = 10$	6.0
	$B/H = 20$	5.6

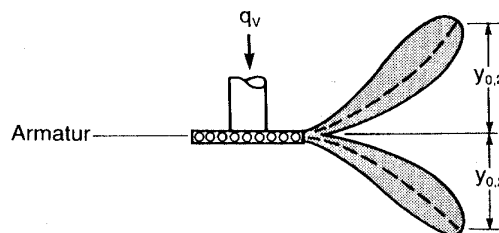
I en luftstråle, som i utloppet har en temperaturdifferens gentemot rumsluften, kommer temperaturskillnaden att avta med ökande avstånd från donet. Då tilluften håller samma temperatur som rumsluften benämns inblåsningen isotermisk. För en fri, konisk ickeisoterm stråle beräknas temperaturavtagandet i centrum som

$$\frac{\Delta T_x}{\Delta T_0} = 0.7 \frac{v_x}{v_0} \quad (7.11)$$

där ΔT_0 = temperaturdifferens gentemot rumsluft i utlopp ($^{\circ}\text{C}$)

ΔT_x = temperaturdifferens på avstånd x m ($^{\circ}\text{C}$)

Ekvation 7.30 gäller under förutsättning att temperaturdifferenserna är måttliga. I annat fall kommer densitetsskillnaden att ge upphov till en uppåt- eller nedåtriktad kraft på strålen beroende på om strålen har över- eller undertemperatur gentemot rumsluften. En stråle som är kallare än rumsluften kommer således att få en nedåtriktad bana, se Figur 7.44.



Figur 7.44 En stråles avböjning till följd av dess temperaturdifferens gentemot rumsluften. (Ventilation Ståbi)

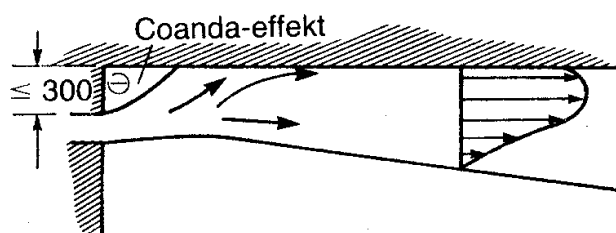
Strålens vertikala avböjning (y) på avståndet x från tilluftsdonet kan beräknas enligt

$$\frac{y}{d} = \pm 0.002 \frac{\Delta T_0}{v_0^2} d \left(\frac{x}{d} \right)^3 \quad (7.12)$$

där d = inblåsningsöppningens diameter (m)

Coandaeffekten

Om donet monteras strax under taket, så att strålen utbreder sig längs taket bildas en väggstråle. Medejektering av luft från ovansidan kan på grund av taket inte ske varvid strålen kommer att tryckas upp mot taket av den på undersidan inströmmande luften. Inom ventilationstekniken säger man att strålen klistrar vid taket. Företeelsen kallas också Coandaeffekten, se Figur 7.45.



Figur 7.45 Vid inblåsning nära en yta klistras luftstrålen vid denna. Coandaeffekten.

Utbredningen blir då inte längre linjär och hastighetsavtagandet sker långsammare varvid luftstrålens räckvidd blir större. Avlänkning p g a termiska krafter sker inte som den gör hos en fri stråle eftersom Coandaeffekten motverkar avböjningen. Är donet inte monterad direkt under taket utan en bit ned på väggen kommer strålen ändå att sugas upp mot taket och, om rörelsemängden är tillräckligt stor, kommer en väggstråle att bildas .

7.6.3 Placering av tilluftsdon vid omblandande ventilation

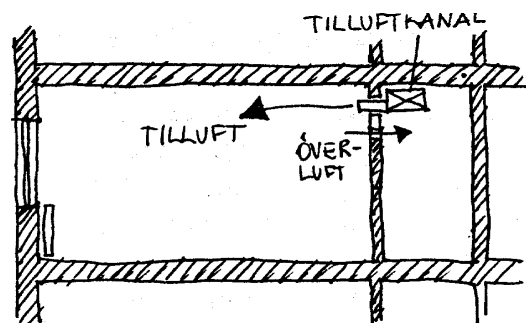
Ett tilluftsdon för omblandande ventilation kan placeras på olika platser i ett rum och naturligtvis finns det för och nackdelar med alla placeringar. Placeringarna är

- i bakkant
- i framkant
- fönsterinblåsning
- i tak

Bakkantsinblåsning

Den enklaste formen för inblåsning är bakkantsinblåsningen då tilluften blåses ut från en innervägg mot fasadväggen, se Figur 7.46. För att luftstrålen inte ska länkas av för tidigt måste belysningsarmaturen vara pendelhängd.

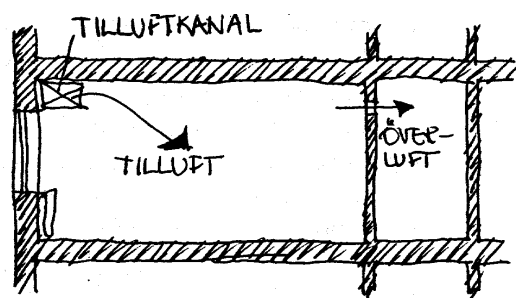
Problem uppstår om kastlängden blir så lång att luftströmmen når fasadväggen, kyls ner av fönstret och förorsakar kallras. För kort kastlängd, dvs för låg inblåsningshastighet medför att de termiska krafterna tar överhanden och luftstrålen faller ned i vistelsezonen. Systemet lämpar sig bäst då luftflöden och kyleffekter är måttliga.



Figur 7.46 Bakkantsinblåsning med olika kanallarrangemang.

Framkantsinblåsning

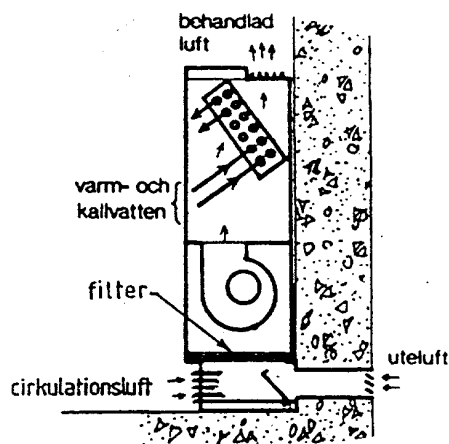
Vid framkantsinblåsning är tilluftsdonet placerat i fasadväggen, se Figur 7.47. Tilluftsdonet kan placeras i taket nära fasadväggen eller i fasadväggen beroende på var kanalerna är förlagda. Större kyleffekter kan på detta sätt tillföras rummet jämfört med t ex bakkantsinblåsning. Luften i strålen har en längre sträcka att gå innan den når vistelsezonen. Tilluftsdonet ska dimensioneras efter en kastlängd som är något längre än rumsdjupet.



Figur 7.47 Framkantsinblåsning.

Fasadinblåsning

En fönsterapparat eller induktionsapparat är ett kombinerat inblåsnings-, kyl- och värmeaggregat.

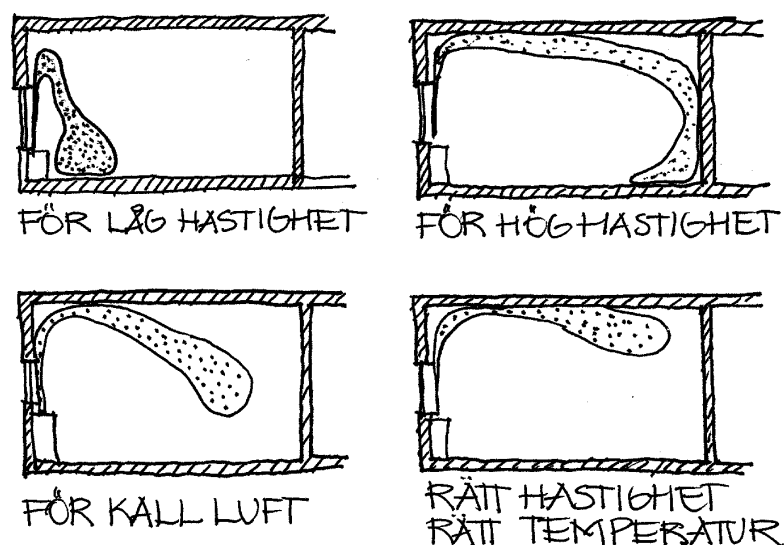


Figur 7.48 Induktionsapparat.

Denna typ av inblåsning ersätter radiatorns funktion när det gäller att motverka kallras. Genom att primärluften blåses in med hög hastighet bringas sekundärluft (rumsluft) genom ejektorverkan in i apparaten och blandas med primärluften, se Figur 7.48. Tilluften värms eller kyls i batterierna i apparaten. Systemet med induktionsapparater används framför allt då man vill möjliggöra en höggradig individuell reglering av tilluftens tillstånd i en rad olika lokaler.

Förhållandet vid inblåsning från fönsterbänk liknar framkantsinblåsning. Skillnaden är att i fönsterbänksfallet ökar sträckan för luftinblandning med avstånd från galler till tak. Vid låg utetemperatur kan luftstrålen värma fönstrets inneryta vilket är en fördel ur komfortsynpunkt eftersom kallstrålningen minskar, samtidigt ökar emellertid rummets värmeförlust. Inblåsning av övertempererad luft från fönsterapparat är relativt problemfri. I Figur 7.49 visas strömningsbilder då undertempererad luft tillförs.

Begreppet impuls används för att beskriva luftstrålens rörelsemängd, dvs produkten av luftens hastighet och massflöde. För liten impuls (låg hastighet), se Figur 7.49, gör att luftstrålen aldrig når upp och kan häfta vid taket utan strömmar ner i vistelsezonen och upplevs som drag. Vid för stor impuls, når strålen motstående vägg och strömmar ner i vistelsezonen där den orsakar drag. Vid för stor undertemperatur faller strålen också ner i vistelsezonen. Impuls och undertemperatur ska vara så avvägda att strålen hänger kvar i taket och hastigheten avtar innan den når vistelsezonen.

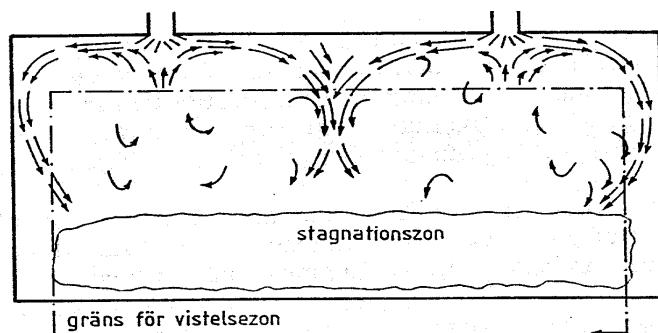


Figur 7.49 Olika strömningsbilder vid inblåsning från fönsterapparat.

Takspridare

Inblåsning genom takdon illustreras i Figur 7.50. Dragrisken är störst nära väggar och i området där luftstrålar från flera spridare möts och styrs ned i vistelsezonen. I figuren visas ett fall där luftstrålen inte förmår tränga ned till området nära golvet. Ur hygienisk synpunkt spelar detta inte så stor roll eftersom andningszonen är ren (gäller ej barnstugor). En orsak till luftstrålarnas begränsade räckvidd kan vara att

den inblåsta luften är för varm. I så fall medför stagnationszonen en termisk olägenhet eftersom lufttemperaturen där blir lägre än i resten av rummet.



Figur 7.50 Strömningsbild med två takspridare.

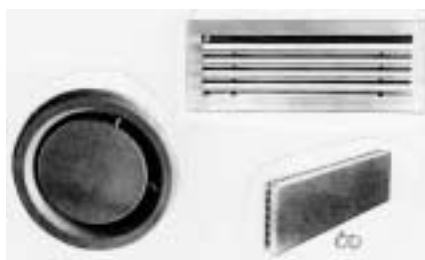
I Tabell 7.5 ges riktvärde på de största kyleffekter som erfarenhetssmässigt och genom laboriemätningar går att tillföra med olika tilluftsarrangemang.

Tabell 7.5 Maximala kyleffekter vid olika inblåsningsarrangemang då lufthastigheten är mindre än eller lika med 0.2 m/s och takhöjden är omkring 3 m.

Inblåsningstyp	Maximal kyleffekt (W/m^2 , golvyta)
Bakkantsinblåsning	40
Framkantsinblåsning	50
Takdon	60
Fönsterbänk	50

7.6.4 Frånluftsdonens verkan

Rumsluft sugs ut genom frånluftsdon, se Figur 7.51.



Figur 7.51 Exempel på frånluftsdon och överluftsdon.

Luft som passerar ett rum innan den sugs ut genom frånluftsdonet kallas överluft. Don för detta ändamål kallas överluftsdon som ofta är försett med ljuddämpning för att undvika överhörning mellan rummen. I Figur 7.51 visas också exempel på hur överluftsdon kan se ut.

Frånluftsdonen kan ha stor inverkan på ventilationens effektivitet. De bör placeras och utformas så att de fångar in så mycket föroreningar som möjligt. Om luften

i en lokal ska bytas ut så snabbt som möjligt ska donen placeras så att de evakuerar den luft som uppehållit sig längst tid i lokalens.

Frånluftsdonet har i allmänhet liten eller ingen inverkan på hastighetsfördelningen i ventilerade rum. Den av frånluftsdonets inducerade lufthastigheten mot donet avtar mycket snabbt ökande avstånd från donet. Lufthastighetens avtagande kan beräknas:

$$\frac{v_x}{v_0} = 1.33 \cdot \frac{A}{10 \cdot x^2 + A} \quad (7.13)$$

där v_x = lufthastigheten på avståndet x från öppningen (m/s)

v_0 = lufthastigheten i öppningen (m/s)

A = utsugningsöppningens yta (m²)

x = avstånd från öppningen (m)

Dragrisk runt en frånluftsöppning förekommer endast vid mycket stora frånluftsflöde, t ex vid huvar ovanför spishällar i restaurangkök.

7.7 Klimatiseringssystem

Ventilationsluften utnyttjas för olika syften. Dess huvudsakliga uppgift är att föra bort förorenad luft och byta ut den mot ren tempererad luft. En annan viktig uppgift är att skapa ett bra rumsklimat utan dragproblem och med små temperaturskillnader i vistelsezonen.

I princip finns det två olika typer av luftbehandlingssystem eller ventilationsanläggningar. Syftet kan vara att enbart hålla luftkvaliteten på en viss nivå, såsom fallet är i t ex i bostad. I lokaler, t ex kontor där den termiska belastningen är hög kan ventilationsanläggningen ha som syfte att *både* upprätthålla en viss luftkvalitet och att föra bort värmeöverskott (dvs uppgiften är att kyla).

7.7.1 Klimatisering med ventilationsluft

I det fall man har valt eller anser det vara nödvändigt att kyla rummet med hjälp av luft kan detta ske enligt olika principer. Reglering av luftens kylande effekt sker antingen genom att luftflödet hålls konstant eller genom att det varierar. Följande huvudgrupper kan urskiljas

- CAV-system som innebär att luftflödet i anläggningen är konstant.
- System med variabelt luftflöde, i regel styrd via en rumstermostat, så kallade VAV-system.
- System med variabelt luftflöde styrd via en luftkvalitetsgivare, så kallat DCV-system.

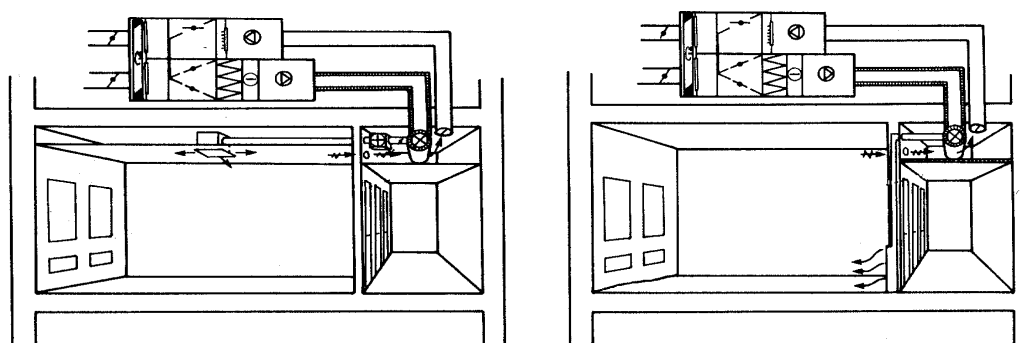
CAV-system

CAV-system betyder Constant Air Volume. I detta system är till- och frånluftsflödet konstant och oberoende av variationen värmealstringen i lokalen. Luftflödet väljs så att det klarar av att transportera bort erforderlig mängd värme och förore-

ningar under normala omständigheter. Om värme behöver tillföras sker det med en radiator. Normalt är tilluftstemperaturen konstant ca 18°C men den kan variera beroende på utetemperaturen.

CAV-systemet är det enklaste systemet för temperaturhållning men energiförbrukningen blir relativt stor eftersom ventilationsflödet väljs efter den maximala föroreningsbelastningen. Investeringskostnaden är låg och systemet rekommenderas för små luftflöden.

I Figur 7.53 visas hur CAV-systemet ser ut i princip. I enklaste fallet försörjs samtliga rum av luft med samma tillstånd från centralaggregatet.

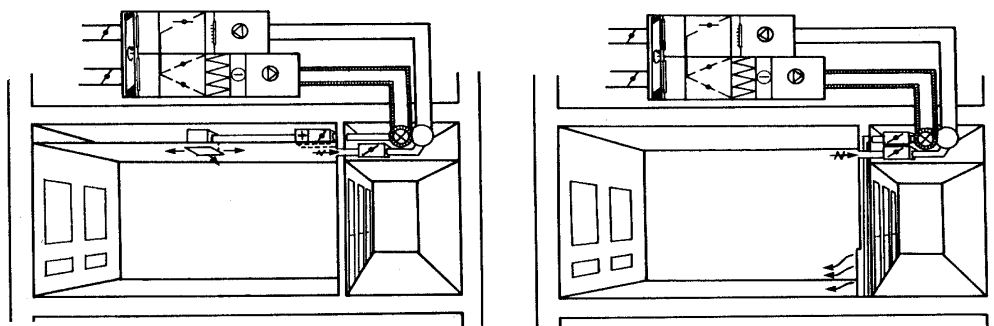


Figur 7.53 Exempel på CAV-system i kontor. Till vänster i ett omblandande system och till höger som deplacerande. (Källa: Ventilation Ståbi)

VAV-system

I Figur 7.54 visas exempel på ett VAV-system. VAV står för Variable Air Volume och det bygger på principen att tilluftsflödets temperatur är konstant och att flödet varierar. I detta system varierar luftflödet i takt med att värmealstringen i rummet varierar. Vid liten värmealstring använder systemet ett litet luftflöde och vid större värmealstring används mer luft. Minimiflödet anpassas efter ventilationsbehovet medan maximiflödet bestäms av det maximala behovet av att bortföra värme.

System används vid t ex kontorsventilation då stora kylbehov sommartid dimensionerar det maximala luftflödet. För att slippa hantera lika stora flöden under resten av året, då de egentligen inte behövs, sänks flödet. Såväl till- som frånluftsfödena varierar med hjälp av reglerspjäll. Då värmebehov föreligger ska radiatorer eller motsvarande aktiveras först då tilluftsflödet är som lägst. Luftflödet regleras centralt för att systemet inte ska bli instabilt, se vidare avsnittet om fläktar där olika flödesregleringssätt beskrivs.



Figur 7.54 Exempel på VAV-system. Till vänster i ett omblandande system och till höger som deplacerande. (Källa: Ventilation Ståbi)

DCV-system

DCV-system står för Demand Controlled Ventilation vilket betyder att luftflödet styrs via en luftkvalitetsgivare. Systemet används vid stora variationer i föroreningsproduktionen eftersom systemet möjliggör snabba förändringar av luftflödet. Då föroreningskoncentrationen stiger kommer både till- och frånluftsflödet att öka med hjälp av reglerspjäll. Normalt är tilluftstemperaturen konstant.

Ett DCV-system kan antingen vara automatiskt, dvs styrs av ett reglersystem, eller manuellt, dvs styrs av användaren. I det senare fallet fungerar människan som en indikator på luftkvaliteten.

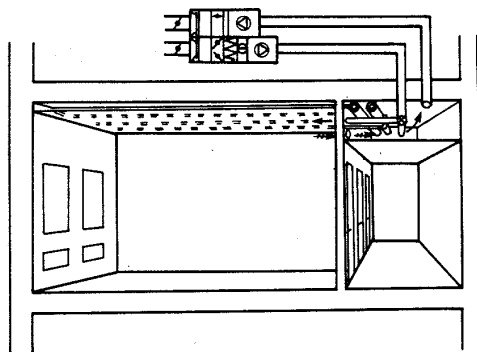
7.7.2 Vattenburen kylning

Klimatisering med enbart ventilationsluft begränsas av att en undertempererad luftstråle som blåses in kan ge upphov till kallluftsnedslag vilket orsakar dragproblem. Ett alternativ till att kyla en lokal genom att blåsa in undertempererad tilluft är att installera ett vattenburet kylsystem. Vattenburen kylning används främst i lokaler med stor värmebelastning av människor, belysning och apparater. Det kan vara lokaler som kontor, samlingslokaler eller datorsalar.

Kylelementen som oftast är takplacerade tar upp värme från rummet och överför det till det strömmande mediet vilket i regel är vatten. I brist på etablerad entydig nomenklatur kan man som en övergripande beteckning för takplacerade kyl-element använda begreppet "kyltak" som indelas i plana kyltak och kylbafflar.

Benämningen kyltak respektive kylbaffel avser skillnad i geometrisk utformning men också skillnader i mekanismer för värmeupptagningen. Skillnad i konstruktiv synpunkt är att det plana kyltaket täcker en större sammanhängande yta medan kylbafflar är mindre enheter som kan fördelas på lämpligt sätt över rummet. Dessa kan exempelvis placeras i anslutning till lokala värmekällor i större lokaler.

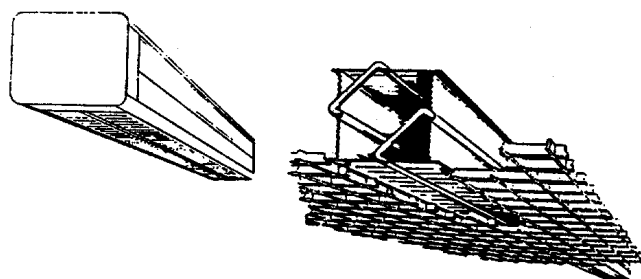
Ett plant kyltak består av en sammanhängande slät yta som är i kontakt med rör med cirkulerande kylvatten, se Figur 7.55. Kyltaket kyler huvudsakligen genom att kyla luftskiktet närmast taket.



Figur 7.55 Exempel på kyltak.

En kylbaffel är som regel smalare och består ofta av ett antal parallella lameller som utgör kylflänsar till två parallella kopparrör som passerar genom lamellerna. Det hela byggs in i ett plåthölje, öppen upptill och med ett raster eller galler undertill. Baffeln kan hänga vertikalt som en slag kylfläns eller bestå av en öppen konstruktion som medger fri passage av rumsluft, s k egenkonvektionsbaffel. Det finns också kylbafflar genom vilka ventilationsluften leds för att kylas ner innan den strömmar in i rummet, s k tillufts-bafflar, se Figur 7.56. En kylbaffel har utseendemässigt stora likheter med en belysningsarmatur.

Maximal kyleffekten hos kyltak och kylbafflar begränsas av två faktorer nämligen risk för kondens och risk för kallras. Om framledningstemperaturen underskrider daggpunktstemperaturen riskerar man fuktutfällning och dropp från rör och kylelement. Kallras kan uppstå till exempel då kyltakytan upptar för stor yta av taket.



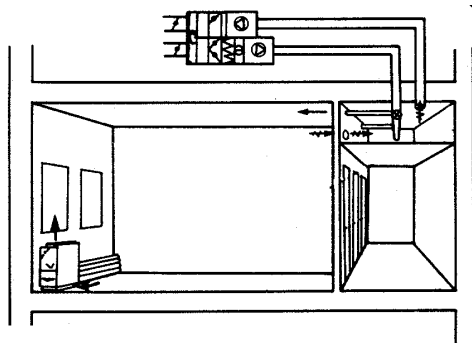
Figur 7.56 Exempel på kylbaffel. Till vänster en egenkonvektionsbaffel och till höger en tillufts-baffel

7.7.3 Klimatisering med både ventilationsluft och vatten

Rumssystem med fläktkonvektor så kallade fancoilssystem, är ett vattenburet klimatiseringssystem som kan kompletteras t ex ett CAV-ventilationssystem, se Figur 7.57. En fläktkonvektor i rummet cirkulerar rumsluften genom ett vattenbatteri där luften värms eller kyls efter behov. Fläkten har flera hastigheter och kan stängas av vid behov. En fläktkonvektor behöver således inte kanalanslutas men behöver anslutas till ett vattenburet kyl- och värmesystem.

Fläktkonvektorn placeras ofta vid fasaden under fönstret men kan det finnas varianter som placeras vid taket.

Med detta klimatiseringssystem separeras ventilation och klimatstyrning. Tilluftssystemet utnyttjas endast för ventilation dvs för att hålla kravet på ren luft; luftflödet bestäms av renhållningsbehovet. Genom att använda detta system är det möjligt att enkelt individuellt bestämma rumstemperaturen. Effekten är tillgänglig för snabb kylning eller värmning året runt.



Figur 7.57 Rum utrustat med fläktkonvektor. (Källa: Ventilation Ståbi)

7.8 Effektivitetsbegrepp

Det är av stor betydelse från såväl ekonomisk som komfortsynpunkt att luftfördelningen och luftströmningen i rummen är så effektiv som möjligt. Olika ventilationsystem skiljer sig åt i detta avseende. Begrepp som används i syfte att definiera luftströmningen är luftutbyteseffektivitet och ventilationseffektivitet.

Ventilationseffektivitet

Ventilationseffektivitet är ett mått på hur effektivt en förorening transporteras bort. Den anger hur stor medelkoncentrationen av föroreningar är i rummet i jämförelse med föroreningshalten i frånluften. Ventilationseffektiviteten, ε_v , definieras vid ett visst föroreningsutsläpp som kvoten mellan koncentrationen i frånluften och medelkoncentrationen i rummet.

Ventilationseffektivitet beror på ett flertal olika parametrar som t ex placering av till- och frånluftsdon, dontyp, temperatur på tilluft och rumsluft, föroreningarnas egenskaper etc. Medelventilationseffektiviteten kan bli större än 100%.

Luftutbyteseffektivitet

Konstruktören ska sträva efter att placera och dimensionera don så att all luft i rummet byts ut så snabbt som möjligt. Som ett mått på denna kombinerade verkan av luftsdonen används begreppet luftutbyteseffektivitet. Det är ett mått på hur snabbt luften i rummet byts ut i förhållande till det teoretiskt snabbast möjliga utbytet av luft. Det är viktigt att hela luftvolymen i rummet byts och att det inte finns zoner i rummet som inte nås av tilluften, så kallade stagnationszoner.

Specifikt luftflöde

Då man för en allmän diskussion om ventilation är det praktiskt att uttrycka luftflödenas storlek i luftomsättning. Istället för att använda begreppet "luftomsättning" som ett mått på antalet luftväxlingar per timme ska begreppet "specifikt luftflöde" användas. Luftomsättning är egentligen samma mått som det specifika flö-

det. Men begreppet luftomsättningar kan missuppfattas så att man tror att all luften i rummet byts ut så många gånger per timme. Hur snabbt den byts ut bestäms ej enbart av tilluftsflödet utan i högsta grad av hur luften strömmar i rummet.

För att markera att man inte omsätter luften i ett rum utan tillför ett luftflöde per timme bör begreppet specifikt luftflöde istället för omsättning användas. Detta anges som förhållandet mellan tilluftsflödets uteluftsandel och den ventilerade rumsvolymen.

$$n = q/V \qquad \qquad \qquad (\text{m}^3/\text{s}, \text{m}^3) \qquad \qquad \qquad (7.14)$$

där q = uteluftsflöde (m^3/s)
 V = rumsvolym (m^3)