



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

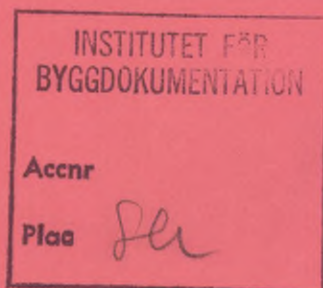
R62:1985

Värderingsmall för olika ventilationstekniska lösningar

Problemanalys och checklista

**Staffan Jacobsson
Sören Lindgren**

R
AWD



Byggforskningsrådet

R62:1985

VÄRDERINGSMALL FÖR OLIKA VENTILATIONS-
TEKNISKA LÖSNINGAR

Problemanalys och checklista

Staffan Jacobsson
Sören Lindgren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830666-6
från Statens råd för byggnadsforskning till Wahlings
Installationsutveckling AB, Danderyd.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R62:1985

ISBN 91-540-4398-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLL

FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	7
1	BEGREPPSFÖRKLARINGAR 11
2	BEDÖMNINGSGRUNDER VID VAL AV VENTILATIONSSYSTEM 15
3	TERMISKT INOMHUSKLIMAT 17
3.1	Riktad operativ temperatur 17
3.2	Oavsiktlig ventilation 19
3.3	Strömningsbilden i rummet 27
3.4	Kallras 30
4	LUFTKVALITET 33
4.1	Effektivitetsbegrepp 33
4.2	Systemlösningar 36
5	ENERGIHUSHÅLLNING 41
5.1	Värmeåtervinning 41
5.2	Injustering 45
6	AKUSTISKT KLIMAT 47
7	CHECKLISTA FÖR PROJEKTERING 51
7.1	Byggnadens utformning 51
7.2	Dimensionerande utomhusdata 53
7.3	Luftkvalitet 59
7.4	Termiskt inomhusklimat 61
7.5	Akustiskt klimat 66
7.6	Energihushållning 68
8	LITTERATUR 73

FÖRORD

Föreliggande rapport redovisar ett projekt som syftar till att utarbeta en enklare värderingsmall, typ checklista, för olika ventilationstekniska lösningar med hänsyn till varierande krav och förutsättningar.

Utredningen består av två delar. En allmän del med orienterande text där olika problem och samband beskrivs samt en checklista som utgör en sammanställning av funktions- och myndighetskrav, erfarenhetsdata, beräknings- och mätmetoder samt detaljanvisningar med tillämpningsexempel. Checklistan är avsedd att användas av ventilationsprojektörer för konstruktion av effektiva ventilationssystem. Den kan även utgöra ett hjälpmedel för beställare, entreprenörer, tillverkare och myndigheter för att öka förståelsen för ventilationsteknikens komplexitet och utgöra grunden för framtida normkrav.

Rapporten är tänkt som en inledande etapp i ett större arbete med inriktning på att arbeta fram en mer fullständig värderingsmall för jämförelse av olika ventilationstekniska systemlösningar med avseende på samtliga komfortparametrar och energihushållning.

För projektet har värdefull hjälp i form av underlagsmaterial och synpunkter lämnats av följande personer till vilka riktas ett varmt tack:

David Södergren	Bengt Dahlgren i Stockholm AB
Bo Nord	AB Bahco Ventilation
Sune Larm	Fläkt Installation AB
Rolf Strand	Tour & Andersson AB
Leif Tegman	Statens planverk

Utredningsarbetet har bedrivits vid Wahlings Installationsutveckling AB, Danderyd med civilingenjör Sören Lindgren som projektledare och civilingenjör Staffan Jacobsson som utredningsman.

SAMMANFATTNING

Bakgrund

Ventilationssystemens uppgift är att tillsammans med byggnaden och övriga installationer skapa ett för människan gynnsamt inomhusklimat. Enligt gällande funktions- och myndighetskrav skall ett gynnsamt inomhusklimat kunna upprätthållas oberoende av störande faktorer som vind och termik.

De idag förekommande ventilationstekniska lösningarna är utförda efter olika principer och arbetar med antingen termiska eller mekaniska drivkrafter. Ett självdragsystem (S-system) drivs uteslutande av vind och termik. F- och FT-system drivs med fläktar antingen på frånluftssidan (F-system) eller på såväl frånlufts- som tillluftssidan (FT-system). Varje system kan i sin tur konstrueras på olika sätt (bl a med avseende på donval och donplacering), vilket innebär att ventilationssystemets funktion kan variera även om de yttre betingelserna är desamma.

I Sverige har vi ett flertal myndighetskrav beträffande luftkvalitet, termiskt klimat, energihushållning, buller m m, som skall ligga till grund för val av ventilationssystem. De olika systemlösningarna har olika förutsättningar att uppfylla dessa krav.

De allt mer skärpta kraven på bra inneklimat och god energihushållning innebär att ökad insikt erfordras beträffande de funktionella sambanden mellan byggnadsdelar och installationssystem. Exempel på detta är de hårdare krav på en fungerande ventilation som de allt tätare byggnaderna ställer.

För att kunna välja rätt systemlösningar med hänsyn till de integrerade funktionssambanden ventilation - byggnad måste man redan i projekteringsstadiet kunna göra en teoretisk värdering av de olika tekniska lösningarna. Systemskillnader med avseende på möjligheten att garantera en given luftomsättning i varje rum samt energiförbrukningen är två huvudfaktorer som måste beaktas vid en sådan värdering. På grund att hjälpmedel för en teoretisk jämförelse hittills varit alltför svårtillgängliga för projektören och även till viss del saknats har man många gånger gjort felaktiga systemval. Det är exempelvis idag svårt att bedöma olika systemlösningar med hänsyn till varierande funktionskrav och yttre förutsättningar.

Mot denna bakgrund har det ansetts vara angeläget att utarbeta någon form av värderingsmall som kan vara till hjälp vid den konstruktiva utformningen av ventilationsanläggningar och däri ingående system- och komponentval.

Syfte

Detta arbete utgör en första fas i ett större projekt vars syfte är att på basis av dagens kunnande utarbeta en mall för värdering av olika ventilationstekniska systemlösningar med hänsyn till varierande krav och förutsättningar.

Målsättningen med denna första arbetsetapp har varit att analysera ventilationstekniska problem och samband samt att sammanställa erfarenheter och mätresultat. Detta har gjorts i form av en enklare mall, typ checklista. Det insamlade materialet skall i en senare arbetsetapp bearbetas ytterligare för att utmytna i en fullständig värderingsmall för jämförelse av olika ventilationssystem med avseende på samtliga komfortparametrar och energihushållning.

Metod

Utredningsarbetet har omfattat:

- Specificering av klimatbetingade myndighetskrav
- Analys av problem och samband inom ventilationstekniken genom litteraturstudier, forskarkontakter m m
- Erfarenhetsåterföring av i andra BFR-projekt gjorda mätningar avseende bl a luftinblåsning i rum och luftutbyteseffektivitet
- Analys av olika systemlösningars för- och nackdelar med avseende på termiskt inomhusklimat, luftkvalitet, akustiskt klimat och energihushållning.

Utredningsmaterialet har legat till grund för utarbetande av en enkel checklista för projektering av ventilationsanläggningar.

Resultat

Att välja ventilationssystem för att uppfylla vissa ställda krav är en svår uppgift. Beslutet blir ofta en kompromiss mellan vad som är idealiskt och vad som är praktiskt genomförbart. Det är dock viktigt att så många faktorer som möjligt medtas i bedömningen och att hänsyn tas till den integrerade samverkan mellan installation, byggnad och brukare.

Kunskaperna beträffande ventilationstekniska förlopp är idag i många detaljer inte tillräckliga. Projektet visar dock att det finns ett tillräckligt stort faktaunderlag för att man med säkerhet skall kunna konstatera skillnader mellan olika systems förmåga att uppfylla förutbestämda klimatbetingade krav.

Metoder för beräkning av energiförluster på grund av ventilation och infiltration finns framtagna om ej helt fullständiga och ännu helt generellt tillämpbara. Beräkningsrutiner finns också framtagna för vissa fysikaliska förlopp såsom kallras, termiska stigeffekter o s v liksom för riktad operativ temperatur m m.

Från såväl energi- som komfortsynpunkt är det väsentligt att ventilationsluften när de utrymmen den är avsedd för och att den på ett så effektivt sätt som möjligt byter ut luften i rummet samt borttransporterar de föroreningar som finns.

Vid projektering av ventilationssystem i bostäder, kontor, affärslokaler m fl har man hittills vanligtvis utgått från främst komfortkraven (luft- och ytemperaturer, lufthastigheter, luftläckning m m). Som kriterium på luftkvalitet används därvid begreppet nominell luftomsättning. Detta innebär att man inte ställt någon entydigt definierat krav på ventilationssystemens effektivitet då denna även är beroende av systemutformningen (donplacering m m). Genom att istället tillämpa begreppet statistisk åldersfördelning för luftföroreningar kan man få ett kvantitativt mått på ventilations-effektiviteten.

På senare år har ett stort arbete lagts ned på studier av ventilationseffektiviteten för olika systemlösningar. Vid Statens institut för byggnadsforskning i Gävle har man tagit fram en teoretisk modell för luftföroreningars ålder, vilken bedöms kunna användas för att ange ventilationssystemets effektivitet. Detta innebär ett nytt synsätt och har medfört att ett flertal nya begrepp tillförts ventilationstekniken, såsom luftutbyteseffektivitet, nominell utbytestid, medelålder o s v. De teoretiska sambanden för föroreningars spridning och statistiska åldersfördelning är ännu inte i praktiskt bruk inom ventilationsbranschen. För att göra materialet allmänt tillgängligt krävs en sammanställning av förenklade användarbeskrivningar med tillämpningsexempel.

En förutsättning för att uppnå ett bra termiskt inomhusklimat är en låg oavsiktlig ventilation, d v s ett tätt klimatskal. Den oavsiktliga ventilationen är en funktion av byggnadens täthet, systemutformningen samt utetillståndet med avseende på vind och temperatur. Lokala otätheter medför ofta dragförmimmelser och innebär stora energiförluster.

Olika hustyper är olika täta och därför olika känsliga för påverkan av vind och termik. De ökade energikostnaderna har inneburit att täthetskraven har skärpts. De hus som byggs idag och uppfyller SBNS täthetskrav är dock fortfarande relativt otäta vilket innebär att en stor del av den totala luftväxlingen är oavsiktlig. Extra tätningsåtgärder är ofta förhållandevis lönsamma men måste emellertid ställas i relation till det ventilationssystem som väljs eftersom lönsamheten är starkt beroende därav.

En metod för beräkning av energiförluster p g a ventilation och oavsiktlig luftläckning finns framtagen. Metoden är relativt enkel att använda vid en tänkt byggnad utformad som ett tomt hölje. Vid mer realistiska fall, flera rum och flera våningar, är en manuell beräkning mycket komplicerad. Datorprogram som beräknar infiltrationen vid olika systemlösningar har dock utvecklats.

En tidig akustisk planering är till hjälp för att säkerställa ett gott akustiskt klimat. Det är viktigt att en tidig akustisk analys genomförs av såväl byggnadskonstruktion som installationer och att projekteringen avslutas med en exakt dimensionering av ljuddämpare och till- och frånluftsdon.

I all vvs-projektering behöver förutom ljudnivå även ljudisolering och vibrationer beaktas. I de tidiga skedena er-

fordras sällan komplicerade beräkningar. Erfarenheter och överslagsberäkningar är då ofta tillräckligt. Bedöms ljudproblem kunna uppstå krävs däremot många gånger en akustisk analys innefattande noggranna mätningar och beräkningar. Nu finns datorprogram att tillgå vilket borde innebära en snabbare och noggrannare ljudplanering än vad manuella metoder kan erbjuda.

Som ett första steg mot en mer fullständig värderingsmall har viktiga formler och erfarenheter inom ventilationstekniken sammanställts i form av en enkel checklista. Med utgångspunkt från gällande krav redovisas viktiga faktorer som måste bedömas i samband med projekteringsarbetet så att en anläggning med god funktion skall erhållas. Vidare framhålls vikten av att bedöma de integrerade samband som råder mellan installation, byggnad och brukare. Checklistan är därför inte bara ett hjälpmedel för vvs-konsulter utan även för beställare, entreprenörer, tillverkare och myndigheter för att öka förståelsen för ventilationsteknikens komplexitet och utgöra grunden för ev framtida normkrav.

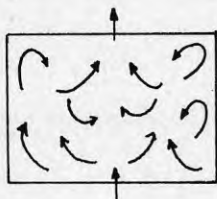
Rapporten inleds med förklaringar till några nya begrepp inom ventilationstekniken. Det är främst begrepp som myntats i samband med studier av olika ventilationssystemens effektivitet med avseende på utbyte av förorenad rumsluft. Vidare innehåller rapporten förutom checklistan ett avsnitt där energihushållning och de olika komfortparametrarna termiskt inomhusklimat, luftkvalitet och akustiskt klimat analyseras. Generellt för de olika parametrarna redovisas påverkande faktorer, myndighetskrav, beräkningsmetoder, mätmetoder samt systemvalets betydelse.

Det termiska klimatet diskuteras främst med utgångspunkt från dragkriterier och då i första hand beroende på infiltration, kallras och till- och frånluftsdonens placering. Luftutbyteseffektivitet och rumsluftens medelålder är exempel på två begrepp som behandlas i kapitlet om luftkvalitet. I kapitlet om energihushållning beskrivs olika värmeåtervinnings-system och framhålls vikten av en noggrann injustering.

Beträffande det akustiska klimatet trycks bl a på vikten av en tidig akustisk planering.

1 BEGREPPSFÖRKLARINGAR

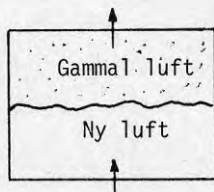
I denna rapport används en del begrepp och uttryck med anknytning till ventilationssystemets effektivitet som kräver en förklaring. Nedan följer en lista på sådana ord.

Fullständig omblandning

Den tillförda luften blandas snabbt och väl med rumsluften och fördelas likformigt i hela rummet så att föroreningskoncentrationen överallt blir densamma.

För detta fall gäller den s k ventilationsekvationen.

Vid den nominella omsättningstiden τ_n har i detta fall endast 63% av rumsluften bytts ut.

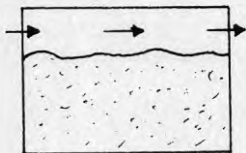
Kolvströmning

Den tillförda luften bildar en utbredd front och strömmar i en riktning genom rummet. Denna strömningstyp är den mest effektiva både med avseende på att avlägsna föroreningar och tillföra värme till rummet.

Tiden det skulle ta att vid kolvströmning byta luften i ett rum är

$$\tau_n = \frac{1}{n}$$

vilket är lika med den nominella utbytestiden.

Kortslutningsströmning

Den tillförda luften går till stor del genom rummet utan att passera vistelsezonen, vilket innebär dåligt utnyttjande av luften.

Luftutbyteseffektivitet ϵ_a

definieras som kvoten mellan den minsta möjliga medelåldern för rumsluften och den aktuella medelåldern och är ett mått på hur väl det tillgängliga luftflödet utnyttjas för att byta luften i rummet.

$$\epsilon_a = \frac{\tau n/2}{\tau}$$

luftströmning	luftutbyteseffektivitet
kolvströmning	$\epsilon_a = \frac{\tau n/2}{\tau n/2} = 1$
fullständig omblandning	$\epsilon_a = \frac{\tau n/2}{\tau n} = 0,5$
kortslutningsströmning	$\epsilon_a < \frac{\tau n/2}{\tau n} < 0,5$

Nominella utbytestiden τn (Nominell tidskonstant)

$$\tau_n = 1/n \quad (\text{h})$$

n specifika luftflödet

uttrycker den tid det skulle ta att vid kolvströmning byta ut luften i ett rum. Utgör också medelvärdet för luftens totala uppehållstid i rummet.

Specifika luftflödet n

$$n = \frac{q}{V} \quad \left(\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^3} \right)$$

q luftflödet
 V rumsvolymen

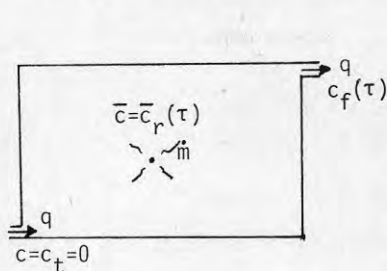
Använd ej begreppet luftomsättning (h^{-1}) då detta är missvisande och kan tolkas som att all luft i rummet bytes ut efter t ex 0,5 tim då $n = 2$ oavsett strömningstyp. Detta uppnås nämligen endast vid fullt utbildad kolvströmning.

Total uppehållstid

betecknar hela tiden från det att luften eller föroreningen tillförs rumsluften till dess att den lämnar rummet.

Ventilationseffektivitet $\bar{\epsilon}$

är ett mått på hur snabbt en förorening transporteras bort från rummet. Den tid det i medel tar att transportera bort en förorening bestämmer medelkoncentrationen i rummet.



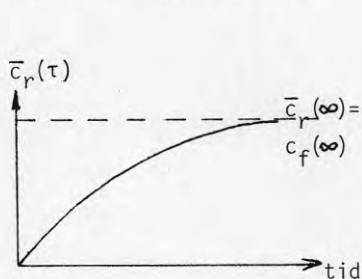
$$\bar{\epsilon} = \frac{c_f(\infty)}{\bar{c}_r(\infty)}$$

c_f konc. i frånluften

\bar{c}_r medelkonc. i rummet

\dot{m} föroreningsalstring per tidsenhet

Ventilationsekvationen



$$\frac{\bar{c}_r(\tau)}{\bar{c}_r(\infty)} = 1 - e^{-n \cdot \tau}$$

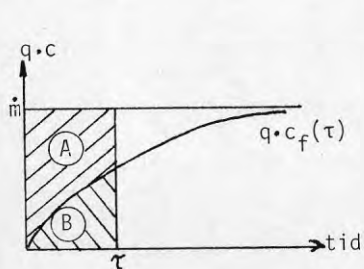
\bar{c}_r medelkonc. i rummet

n specifika luftflödet

τ tiden

c_f konc. i frånluften

Ekvationen gäller vid fullständig ombländning och då föroreningen börjar tillföras med tilluften vid tiden $\tau = 0$



ytorna A+B Total föroreningsproduktion vid tiden τ

ytan A Förorening kvar i rummet vid tiden τ

ytan B Förorening som lämnat rummet vid tiden τ

q luftflödet
 \dot{m} föroreningsalstring per tidsenhet

Alder

betecknar tiden från det att luften eller föroreningen tillförs rummet till en godtycklig tidpunkt t då den ännu befinner sig i rummet.

Rumsluftens medelålder är den genomsnittliga tid som luften befunnit sig i rummet.

Man kan teoretiskt visa att för att byta ut all luft i rummet tar det i medeltal en tid lika med två gånger luftens medelålder i rummet.

Strömningstyp	Medelålder
Kolvströmning	$\tau n/2$
Fullständig omblandning	τn
Kortslutningsströmning	$> \tau n$

2 BEDÖMNINGSGRUNDER VID VAL AV VENTILATIONSSYSTEM

Ventilationssystemets uppgift är att upprätthålla ett acceptabelt inomhusklimat. För vissa byggnader och vissa yttre klimatbetingelser kan detta klaras med tämligen enkla system. I andra fall kan mer komplicerade system vara nödvändiga.

Allmänt kan sägas att en ventilationsanläggning bör utformas så att uppställda krav innehålls på ett så enkelt sätt som möjligt. Vid valet måste hänsyn tas till flera faktorer bl a

- . utomhusluftens kvalitet
- . yttre klimat
- . geografisk placering och terrängförhållanden
- . byggnadens arkitektoniska utformning
- . intern belastning

Att välja ventilationssystem för att uppfylla vissa ställda krav är en svår uppgift. Beslutet blir ofta en kompromiss mellan vad som är idealiskt och vad som är praktiskt genomförbart. Det är dock viktigt att så många faktorer som möjligt medtas i bedömningen. Vissa faktorer kan bedömas objektivt som t ex

- . kostnader
- . kapacitet
- . tillgängligt utrymme
- . årlig energiförbrukning
- . erforderlig zonindelning

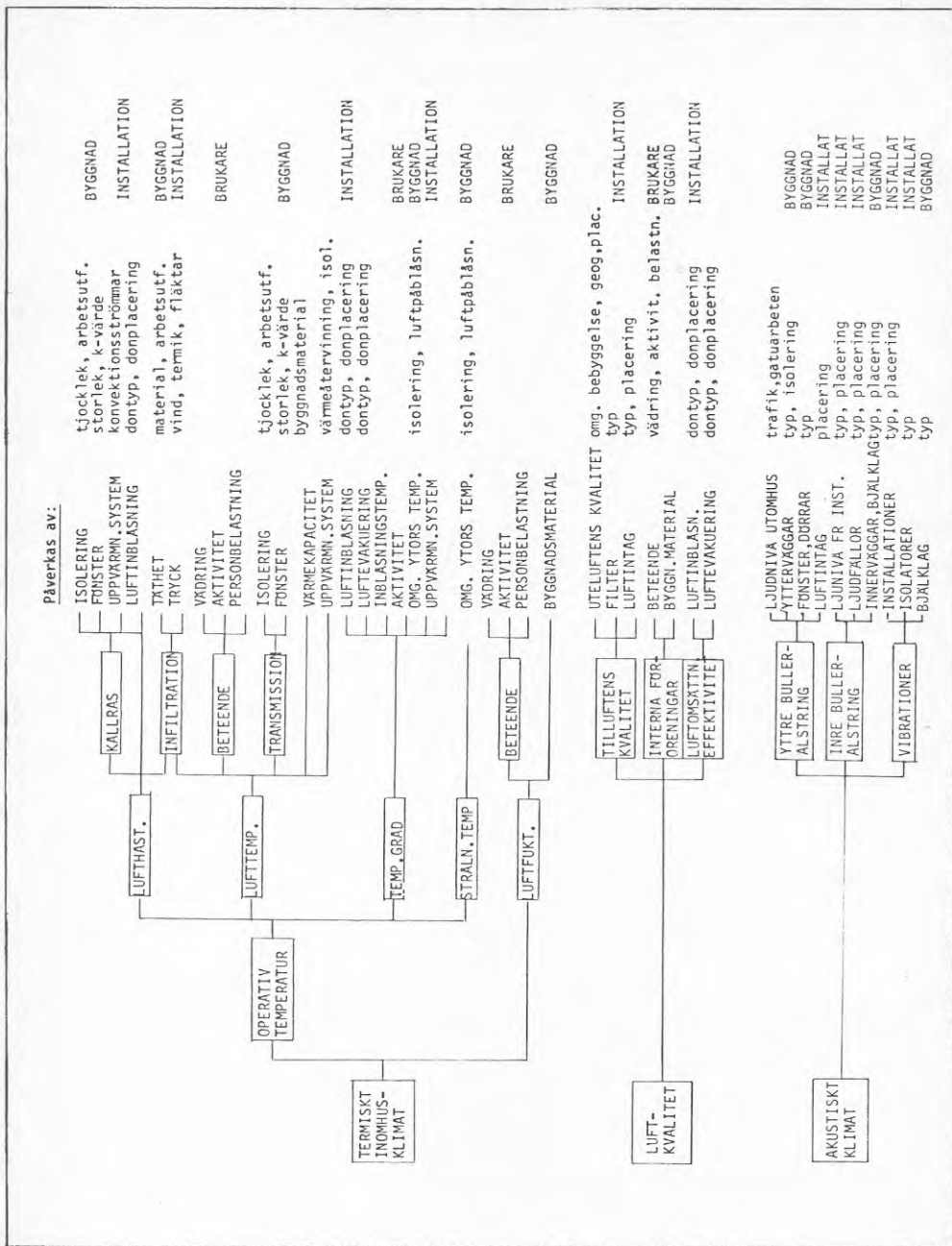
Andra faktorer kan bedömas erfarenhetsmässigt som t ex

- . underhållskostnader
- . komponenters livslängd

Slutligen finns en rad faktorer som måste bedömas subjektivt som t ex

- . funktion
- . komfort
- . tillförlitlighet
- . rumstemperatur
- . luftrörelser
- . temperaturgradienter
- . ljudnivå
- . luftkvalitet

Möjligheterna att med dagens teknik skapa ett gott inomhusklimat är stora. Ofta hörs dock klagomål över brister, det kan gälla drag, buller eller andra störande fenomen. Det är vanligt att ventilationsanläggningen får skulden. Denna kan dock inte ensam garantera ett gott inomhusklimat utan är endast en del i ett integrerat funktions samband mellan installation, byggnad och brukare. För att vid varje specifikt tillfälle kunna välja den bästa systemlösningen är det därför väsentligt att känna till dessa samband vilka illustreras i figur 2.1.



Figur 2.1 Komfortparametrar

3 TERMISKT INOMHUSKLIMAT

Det termiska inomhusklimatet karakteriseras av en kombination av olika parametrar såsom

- . lufttemperatur
- . luftrörelser
- . strålningstemperatur
- . luftfuktighet

Vid för övrigt lika förhållanden kan varierande klimatkomfort uppkomma inomhus beroende t ex på hur tilluften fördelas i rummet, luftens blandningsgrad samt till- och frånluftsdonens placering. I SBN 1980 kap 35 uttrycks det allmänna kravet att en byggnad och dess installationer skall anordnas så att ett tillfredsställande termiskt inomhusklimat kan erhållas med hänsyn till byggnadens avsedda användning.

Vid projekteringen skall man sträva efter att utforma installationerna så att medelhastighetsnivån i hela vistelsezonen är lägre än det uppställda dragkriteriet. Dragkänslan beror på lokal avkylning av en kroppsdel och är en funktion av lufttemperatur, strålningstemperatur och lufthastighet. Temperaturojämheter i rummet och strålning från kalla ytor orsakar med andra ord också dragkänslor, som måste beaktas i samband med projekteringen.

En förutsättning för att uppnå ett bra termiskt inomhusklimat är en låg oavsiktlig ventilation, d v s ett tätt klimatskal. Den oavsiktliga ventilationen är en funktion av byggnadens täthet, systemutformningen samt utetillståndet med avseende på vind och temperatur. Lokala otätheter medför ofta dragförmimmelser och innebär stora energiförluster.

Luftfördelningen och strömningsbilden i rummet är avhängigt val och placering av ventilationsdon i kombination med val av uppvärmningssystem. En god luftfördelning är ytterst väsentlig och här har ventilationsteknikern stor möjlighet att påverka inomhusklimatet.

Att för stora tilluftsflöden kan orsaka drag är ett känt faktum men även för små luftflöden kan ge drag genom att luftstrålen faller ner i vistelsezonen. Temperatursvängningar i tilluften, beroende på vissa systemlösningars instabilitet, kan också ge drag.

Kallras vid undertempererade ytor, t ex fönster, är ytterligare en faktor som kan orsaka kraftiga dragförmimmelser och försämma det termiska inomhusklimatet.

3.1 Riktad operativ temperatur

Påverkande faktorer

Begreppet riktad operativ temperatur används som ett mått vid beräkning av det termiska inomhusklimatet. Den bestäms av tre parametrar nämligen lufttemperatur, lufthastighet och

strålningstemperatur.

Lufttemperaturen är beroende av infiltration, transmission, värmekapacitet, uppvärmningssystem och brukarens beteende. Lufthastigheten är beroende av kallraseffekter, infiltration och luftinblåsning. Strålningstemperaturen är beroende av omgivande ytors temperatur.

Den riktade operativa temperaturen ger dock ej ensam ett säkert mått på komforten. Även strålningsfältets asymmetri i en punkt är väsentlig för klimatupplevelsen. En avvikelse i riktad operativ temperatur på 2°C för två olika riktningar i samma punkt vid en lufttemperatur av 20°C är tillräcklig för att människan skall uppleva diskomfort.

Krav

I bostäder godtas en lägsta riktad operativ temperatur på 18°C under förutsättning att lufthastigheten understiger 0,2 m/s. Även luftfuktigheten inverkar på det termiska klimatet men kan betraktas som försumbar i det begränsade aktivitets- och temperaturområdet som är aktuellt i bostäder.

Den operativa temperaturens differens i olika punkter och riktningar i rummet får uppgå till högst 5°C.

Beräkningsmetoder

Den riktade operativa temperaturen beräknas enligt nedanstående formel:

$$\vec{t}_{op} = \frac{t_1 + \bar{t}_y}{2}$$

t_1 = luftens temperatur i en viss kontrollpunkt (°C)

\bar{t}_y = riktad medelstrålningstemperatur i en viss kontrollpunkt mot rummets begränsningsytor (°C)

För beräkning av riktad medelstrålningstemperatur hänvisas till Statens planverks Kommentarsamling 1981.

Komfortkriterier har definierats av flera forskare. Rydbergs kriterium grundas på formeln

$$\theta = v_1 - v_x + 8 v_x$$

där θ = effektiv undertemperatur $^{\circ}\text{C}$
 v_1 = rumsluftens temperatur $^{\circ}\text{C}$
 v_x = lokal temperatur $^{\circ}\text{C}$
 v_x = lokal hastighet m/s

Överslagsvärden på θ	
Verksamhetens art	Tillåtet värde, θ , °C
Långvarigt stillasittande	1
Kortvarigt stillasittande	1 - 2
Rörligt arbete	2 - 3
Rörligt arbete i varma lokaler	3 - 4

Figur 3.1 Komfortkriterium enligt Rydberg

Mätmetod

Observera att den riktade operativa temperaturen i första hand är en beräkningsstorhet och är svår att mäta. Den kan dock mätas med hjälp av en s k globtermometer. Eftersom strålningstemperaturen varierar i olika riktningar måste globen avskärmas åt olika håll för att erhålla variationerna i strålningstemperatur. Mätningar med globtermometer är ofta tidsödande eftersom globen måste exponeras minst 10 minuter, för vissa typer upp till 30 minuter, innan temperaturläsning kan ske.

Det finns nu även motståndsgivare som är specialutformade för att på betydligt kortare tid kunna mäta den riktade operativa temperaturen.

För bostadshus och motsvarande förutsätts normalt inte någon kontroll av den riktade operativa temperaturen om husets värmeisolering och lufttäthet är anordnad enligt SBN 1980 kap 33 samt om värmeinstallationen är utförd på ett konventionellt sätt och dimensionerad enligt kap 35. För ett rum med en stor fönsterarea kan dock en beräkning fordras.

3.2 Oavsiktlig ventilation

Påverkande faktorer

Den totala ventilationen i en byggnad med mekaniskt ventilationssystem består av två komponenter, dels den avsiktliga ventilationen som styrs med hjälp av flätkrafter och dels den oavsiktliga ventilationen som är beroende av en rad faktorer, nämligen

- utetillståndet (vind, temperatur)
- byggnadsdata (hushöjd, täthet)
- formfaktorer för vindtryck
- ventilationssystem
- flätkurvornas utseende
- injusteringsvärden
- m m

Olika hustyper är olika täta och därför olika känsliga för påverkan av vind och termik. De ökade energikostnaderna har inneburit att täthetskraven har skärpts, men de hus som byggs idag och uppfyller SBN's täthetskrav är fortfarande relativt otäta vilket innebär att en stor del av den totala

Luftväxlingen är oavsiktlig. Extra tätningsåtgärder är ofta förhållandevis lönsamma men måste emellertid ställas i relation till det ventilationssystem som väljs eftersom lönsamheten är starkt beroende därav.

Krav

En byggnad som avses att hållas uppvärmd skall tätas så, att luftläckningen genom dess omslutande delar begränsas med hänsyn till kravet på god energihushållning.

Högsta tillåtna otäthetsfaktor (oms/h) vid 50 Pa tryckdifferens enligt provningsmetod SP 1977:1 (se mätmetod) är för

friliggande småhus, kedjehus	3,0
övriga bostadshus med högst 2 vån	2,0
bostadshus med 3 eller flera vån	1,0

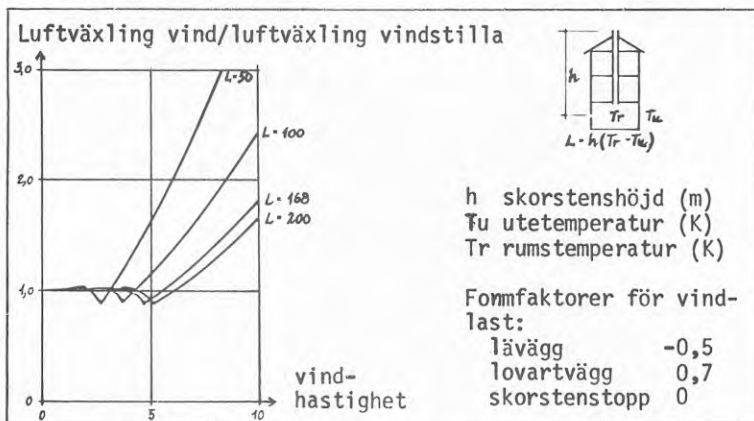
Systemlösningar

Självdraagsventilation S

I ett självdraagsystem styrs ventilationen helt av vind- och temperaturkrafter. Vid låga utetemperaturer ökar ventilationen.

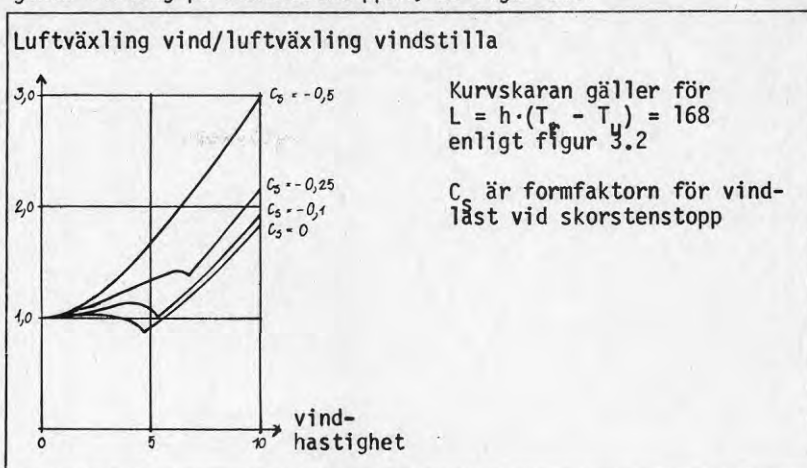
Den dominerande strypningen i luftflödets väg är ytterväggen varför tätning av denna klart reducerar luftflödet.

S-system är okänsliga för små vindkrafter och luftväxlingen är därför konstant. Vid högre vindstrykor ökar dock genomblåsningen p g a att systemet inte längre är stabilt. Stor skorstenhöjd och stor undertemperatur ger större undertryck och medför att systemet blir mer stabilt mot ökade vindhastigheter, se figur 3.2.



Figur 3.2 Inverkan av termik och anblåsning på vägg. S-system (Ref Nylund (7))

Vinden förorsakar dock en märkbar förändring av luftväxlingen genom vindsug på skorstenstoppen, se figur 3.3.



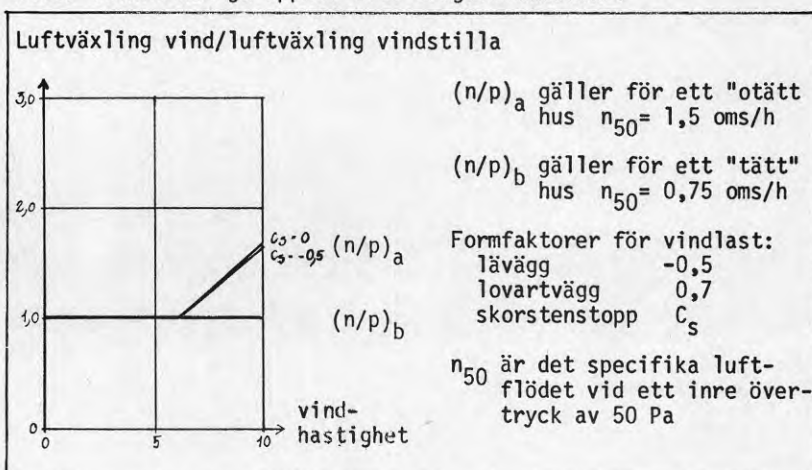
Figur 3.3 Inverkan av vindsug på skorstenstopp (Ref Nylund (7))

Frånluftsventilation F

Frånluftsventilationen bestäms av fläktkrafterna och kanalsystemets utformning men luftväxlingen är också beroende av vind och termik.

Vid höga byggnader är inverkan av termik stor men vid lägre byggnader är effekten begränsad.

Vid tätning av fasaden minskar luftflödet endast marginellt medan undertrycket i huset ökar väsentligt. Det större undertrycket medför minskad känslighet för vind, se figur 3.4. Vidare ökar luftinströmningen genom kvarvarande otätigheter vilket kan ge upphov till dragförmimmelser.



Figur 3.4 Inverkan av anblåsning på vägg. F-system

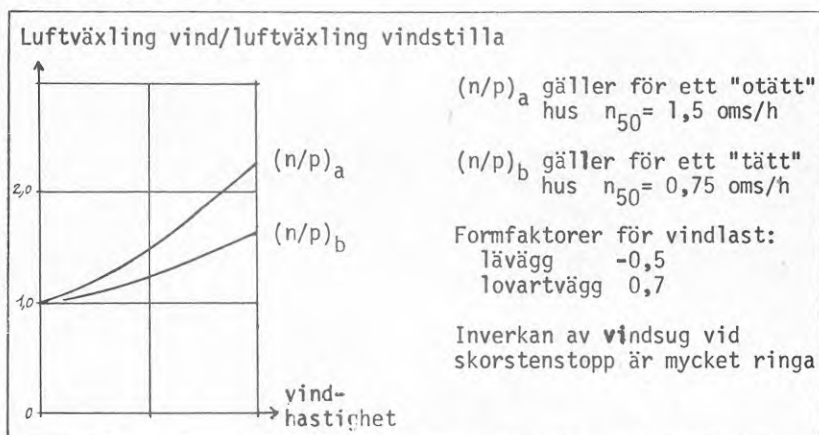
Från- och tilluftsventilation FT

Ett FT-system möjliggör värmeåtervinning mellan till- och frånluft. Systemet ger även möjlighet att distribuera kontrollerade luftflöden till lägenhetens olika utrymmen.

När de termiska krafterna ökar, alltså vid sjunkande utetemperatur, erhålls en ökning av frånluftsflödet och en minskning av tilluftsflödet. Detta innebär att det uppstår obalans mellan flödena vilket i sin tur medför ett undertryck i rummen. Expansion av tilluftsflödet från fläkt och genomotåtheter verkar i motsatt riktning. Vilken av dessa faktorer som överväger beror helt av förutsättningarna. Vid höga byggnader eller svaga fläktar dominerar den första faktorn. Vid låga byggnader och starka fläktar blir det tvärt om.

FT-system har betydligt sämre stabilitet mot genomblåsning än F- och S-system, se figur 3.5.

Inverkan av vind vid skorstenstopp är däremot liksom vid F-system mycket ringa.



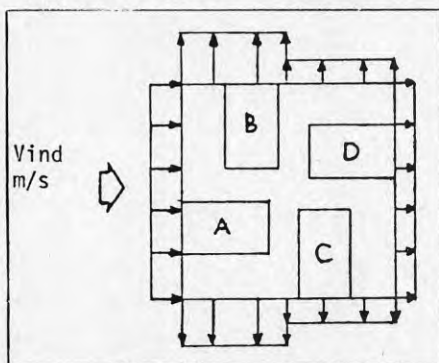
Figur 3.5 Inverkan av anblåsning på vägg. FT-system

Nedanstående tabeller utgör en enkel sammanfattning av olika typer av ventilationssystem och deras känslighet för vind samt påverkan vid ökad täthet hos klimatskärmen, Nylund (7).

Tabell 1 Känslighet för ökad luftväxling av vind (enligt P O Nylund)		
	Vindkrafter på yttervägg	Vindkrafter vid skorstenstopp
S	mindre känslig	känslig
F	okänslig	okänslig
FT	känslig	okänslig

Tabell 2 Effekt av ökad täthet vid låg utetemperatur och vindstilla (enligt P O Nylund)		
	Tryckskillnad över yttervägg	Luftväxling/ luftläckning
S	oförändrad	minskar
F	ökar	tämligen oförändrad
FT	oförändrad	minskar

Tilluft som i ett FT-system filtreras och vintertid värms kan inte jämföras med obehandlad luft som tillförs i ett F-system. Bortsett från denna skillnad går det att göra en jämförelse mellan de olika systemens förmåga att förse olika belägna rum med uteluft. Jämförelsen avser systemens förmåga att vid varierande vindbelastning tillföra uteluft till ett sovrum med golvarean 10 m². Beräkningen utföres för fyra olika placeringar av rummet enligt figur 3.6 och för en otäthet hos byggnaden motsvarande 3 oms/h vid 50 Pa.



Figur 3.6 Olika rumsplacering

Tre olika systemtyper har jämförts nämligen

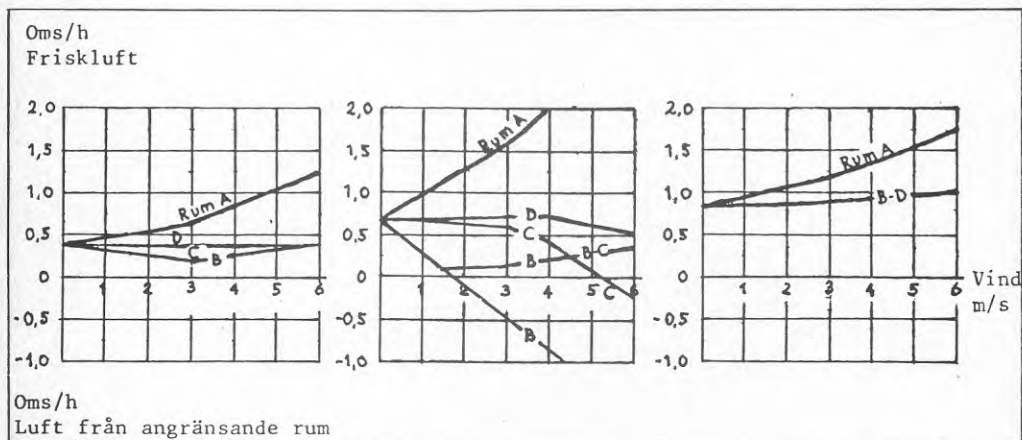
- F-system med springventiler
- F-system utan springventiler
- FT-system

FT-systemet är injusterat så att tilluftsflödet motsvarar 0,4 oms/h. I det aktuella rummet som motsvarar 10% av lägenhetsarean tillförs 20% av den totala tilluften vilket motsvarar 0,8 oms/h.

Strömningsmotståndet mellan olika rum har man bortsett från.

I F-systemet utan springventiler har luftomsättningen i rummet injusterats till knappt 0,4 oms/h.

I figur 3.7 redovisas resultaten från beräkningarna vilka gäller för rum där såväl tak som fasad är otätt.



Figur 3.7 Luftströmningen i ett rum vid olika rumsplacering och olika ventilationssystem vid varierande vindhastighet. Gäller småhus. Ref Larm (4)

För F-system med springventiler erhålles dubbla kurvor för rum B och C. Detta förklaras av att rummet tillförts luft från angränsande utrymmen samtidigt som uteluft läckt in genom taket. Springventilerna har alltså fungerat som frånluftsdon. Ur figur 3.7 kan för övrigt utläsas att FT-system medför de bästa möjligheterna att styra och kontrollera uteluftsfloppet.

Beräkningsunderlag

Den totala ventilationen i en byggnad kan uttryckas som

$$q_{\text{tot}} = q_{\text{styr}} + q_{\text{oavs}}$$

q_{styr} = mekaniskt styrd ventilation (avsiktlig vent)

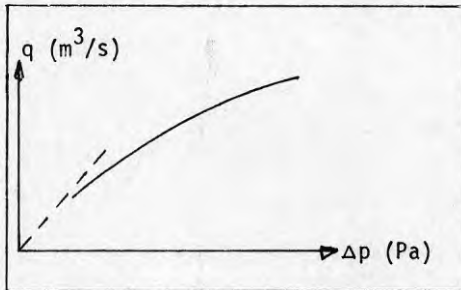
q_{oavs} = ventilation genom otätheter i klimatskärmen (oavsiktlig vent)

Sambandet mellan läckflödet (q) genom och tryckskillnaden (Δp) över klimatskärmen är inte linjärt utan uttrycks med formeln

$$q = \text{konst} \times \Delta p^{\beta} \quad \text{Läckningsfunktionen}$$

Exponenten β varierar med typ av otäthet. I princip kan den anta värden mellan 0,5 (turbulent strömning) och 1,0 (lami-

när strömning). Eftersom läckningsfunktionen inte är linjär medges ej summering av luftläckningen orsakade av de olika drivkrafterna. I stället adderas alla drivkrafter till ett samlat kraftangrepp på det läckande systemet. Läckningsfunktionen är en ganska grov approximation då vi rör oss med låga tryck. Kurvan är nämligen linjär och brantare i närheten av origo.



Figur 3.8 Läckningsfunktionen

Den termiska drivkraften betecknas $\Delta \bar{p}_t$ och fås som

$$\Delta \bar{p}_t = \rho_0 \times g \times 273 (1/T_u - 1/T_r) \times h \approx 0,043 (T_r - T_u) \times h \quad (\text{Pa})$$

där ρ_0 = luftens densitet vid $0^\circ\text{C} = 1,29 \text{ kg/m}^3$

T_u = uteluftens temperatur (K)

T_r = rumsluftens temperatur (K)

g = tyngdaccelerationen (m/s^2)

h = höjden (m)

Drivkraften orsakad av vind betecknas $\Delta \bar{p}_v$ och fås som produkten av det dynamiska trycket i vindströmmen multiplicerat med en dimensionslös formfaktor

$$\Delta \bar{p}_v = C_v \times 0,5 \times \rho \times v^2 \quad (\text{Pa})$$

De i SBN 1980 angivna formfaktorerna för vindtryck är avsedda för beräkning av vindlaster och innehåller därför vissa säkerhetsmarginaler som gör värdena något för höga för denna typ av beräkningar. Vindtunnelprov för mätning av vindtrycksfördelningen vid olika typer av byggnader har utförts vid bl a Statens institut för byggnadsforskning (SIB). Se kapitel 7.2.

Den tryckfördelning som skapas av vinden är starkt beroende på byggnadens omgivning.

Vindens hastighet ökar med höjden över marken till ett maxvärde på en höjd där inverkan av markfriktionen är försumbar.

$$\frac{v(z)}{v(z_0)} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^{1/m}$$

$v(z)$ hastigheten vid höjden z (m/s)

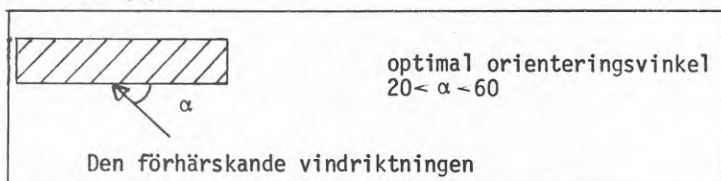
$v(z_0)$ hastigheten vid referenshöjden z_0 (m/s)

m faktor som beror på omgivande terräng

vid öppen terräng $m = 7$

vid stadsbebyggelse $m = 3$

Byggnadens orientering mot den förhärskande vindriktningen visar en optimal orienteringsvinkel på mellan 20° och 60° med avseende på tryckdifferensens minimivärde över samtliga omslutningsytor



Mätmetod

Det finns en standardiserad tryckprovningssmetod SP 1977:1 för att bestämma en byggnads otäthetsfaktor. Härvid tätar man till- och frånluftsdon samt entrédörr och sätter lägenheten under över- eller undertryck med hjälp av en fläkt. Luftflödet och tryckskillnaden inne-ute registreras. Genom att variera flödet och tryckskillnaden får man ett antal värdepar och kan rita upp byggnadens läckningskurva.

Denna metod ger dock inga direkta upplysningar om hur stor den oavsiktliga ventilationen är. Hänsyn tas bl a inte till att tryckdifferenserna i verkligheten varierar över klimatskärmen eller till läckfördelning och väderlek.

För att mäta den verkliga läckningen under olika betingelser är spårgasmetoden bättre lämpad. Härvid tillsätts en liten mängd spårgas i de rum som skall mätas. Med hjälp av fläktar fördelas gasen noggrant så att koncentrationen blir likformig i hela byggnaden. När önskad koncentration uppnåtts avbryts tillförseln av spårgas varefter avklingningstiden registreras. Med hjälp av information från avklingningskurvorna kan sedan ventilationssystemets tidskonstant bestämmas. Därur beräknas sedan med kändedom om byggnadens volym det totala tilluftsflödet. Metoden ger en noggrannhet av ca \pm 10-20%. Se Sandberg, (23)

$$C = C_0 \times e^{(-\frac{q}{V} \times t)}$$

C_0 = koncentrationen vid tiden $t = 0$

q = luftflödet (m^3/h)

V = byggnadens volym (m^3)

t = tiden (h)

3.3 Strömningsbilden i rummet

Påverkande faktorer

Luftens utbredning i rummet är beroende av till- och frånluftdonens placering, donens tekniska data, driftförhållanden och rummets form och storlek.

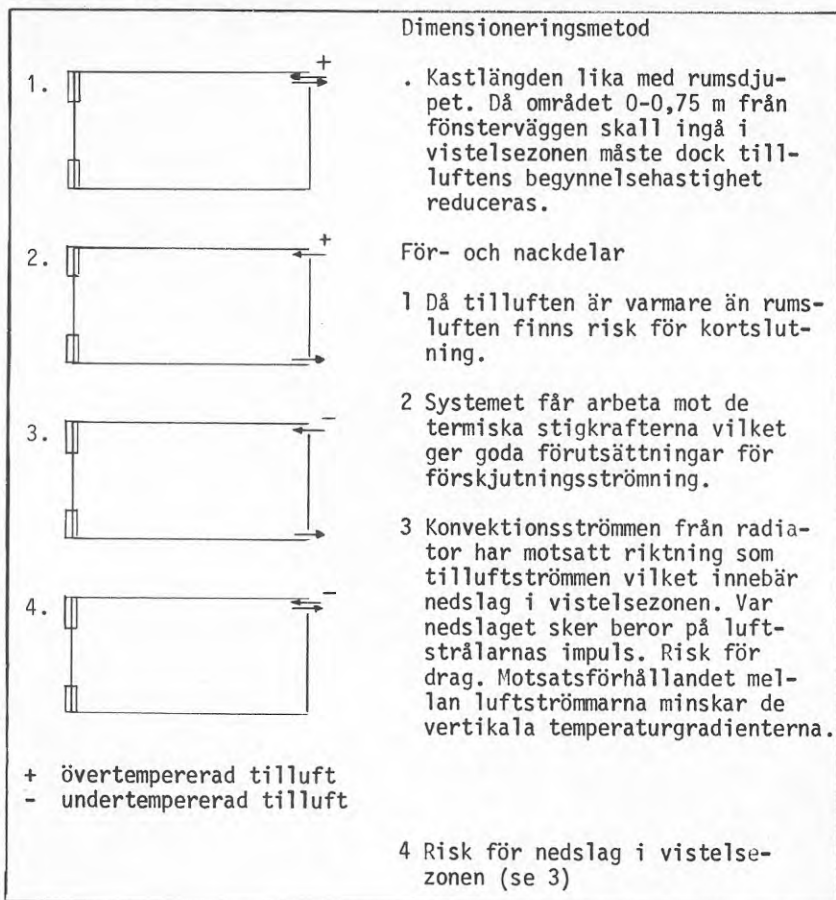
Krav

SBN 1980 innehåller inte några direkta krav på hur strömningsbilden i rummet skall se ut. Allmänt kan dock sägas att strömningen skall vara sådan att det inte föreligger risk för nedslag av kall luft i vistelsezonen eller kortslutningseffekter.





Systemlösningar

Statens institut för byggnadsforskning SiB har sedan början av 70-talet utfört ett flertal luftströmningstekniska fullskaleprov. Man har studerat olika tilluftssystem med avseende på termisk komfort. Utförda mätningar visar att problem med nedslag i vistelsezonen, stagnationszoner, kallraseffekter och stora temperaturgradienter kan erhållas vid de flesta typer av ventilationssystem om inte dimensioneringen är riktig och inte hänsyn tas till alla faktorer som påverkar strömningsbilden.

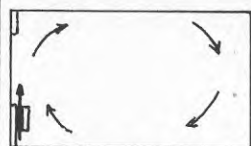
Bakkantsinblåsning



Framkantsinblåsning

Dimensioneringsmetod	
<p>1. </p>	<p>Sommar: Luftströmmens hastighet vid innervägg 0,2-0,3 m/s Vinter: Vid undertemp. max 2°C, kan luftflödet reduceras. Vid övertemp. (t ex vid luftvärmesystem) blir ett minskat luftflöde till nackdel.</p>
<p>2. </p>	<p>1 Tillluftspalt ovan fönster (F-syst.) Tillluften blir inte förvärm�. P g a högre densitet får den nedåtriktad kraft och följden blir ett nedslag i vistelsezonen. Den bästa dontyp som kan användas i detta sammanhang är tallriksformat där tilluften delvis pressas in mot väggen.</p>
<p>3. </p>	<p>Balanserad ventilation.</p>
<p>4. </p>	<p>2 Vid övertemperatur på tilluften uppstår vertikala temp.-gradienter och risk för kortslutningsströmning föreligger. Vid isotherm luftinblåsning eller upp till ett par graders undertemperatur erhålles en jämn luftfördelning i hela rummet. 3 Relativt hög utgångshastighet är en förutsättning för att undvika nedslag i vistelsezonen 4 Vid övertemperatur på tilluften och tunga föroreningar i rummet fås en mycket effektiv ventilation. Systemet kräver dock stängda dörrar annars finns risk för kortslutningsströmning.</p>

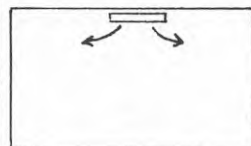
Tilluftsdon bakom radiator



Om man i ett värfall sänker luftflödet, utan att upprätthålla tilluftens utgångshastighet minskar vistelsezonen radikalt.

Hög utgångshastighet är en förutsättning för att systemet skall fungera vid alla driftfall. Undertemp. kan ge nedslag i vistelsezonen. Arkimedes tal, Ar , bör vara lågt. Ar definieras på sid 37.

Tilluftsdon centralt i tak



Fördelaktigt då nedåtgående luftströmmar vid väggarna kan accepteras.

Stora flöden och kyleffekter utan drag.

När man använder kvadratiska tilluftsdon med kanalanslutning på donets ena sida kan stora snedfördelningar uppstå då luftflödet sjunker under det nominella.

3.4 Kallras

Kallras, d v s en nedåtgående kall luftström, är ett fenomen som uppträder vid ytor med lägre temperatur än den omgivande luftens. I gränsskiktet intill den kalla ytan antar luften en temperatur som nära överensstämmer med ytans. Eftersom luftens densitet ökar med sjunkande temperatur uppstår en nedåtgående kall luftström. Sådana kalla luftströmmar påverkar klimatförhållandena inte bara i den kalla ytans omedelbara närhet utan även en bit in i vistelsezonen.

Påverkande faktorer

Kallrasen påverkas av en rad faktorer nämligen

- den kalla ytans temperatur
- den kalla ytans storlek
- till- och frånluftsdonens placering
- tilluftens undertemperatur
- rummets form och storlek
- typ av uppvärmningssystem
- hinder i luftströmmens väg, t ex fönsterbänkar
- otätheter i byggnaden

Krav

Det enda krav i SBN 1980 som kan knytas till kallraseffekter är max tillåtna lufthastighet i vistelsezonen, 0,20 m/s.

Systemlösningar

Det har konstaterats att kallrasskydd är nödvändigt även om SBN 1980 följs vad gäller tätning och isolering av klimatskärmen. Skyddet behövs även då värmebelastningen helt täcker rummets värmeförluster. Erforderliga effekter är dock små. Vid utetemperaturen -20°C , 1 m höga treglasfönster samt en infiltration motsvarande 0,1 oms/h får man den nedåtgående luftströmmen att vända med en effekt motsvarande 40 W/m.

Beräkningsmetoder

Enligt Rydberg (30) gäller för maxhastigheten u_{\max} (m/s) på avståndet x (m) från fönstrets överkant om t_r är rumsluftens temperatur och t_v den inre fönsterytans temperatur ($^{\circ}\text{C}$) följande samband.

$$u_{\max} = 0,1 \sqrt{x \cdot (t_r - t_v)}$$

Den maximala effektiva undertemperaturen i gränsskiktet är

$$v = 0,4 (t_r - t_v) + 0,8 \sqrt{x \cdot (t_r - t_v)}$$

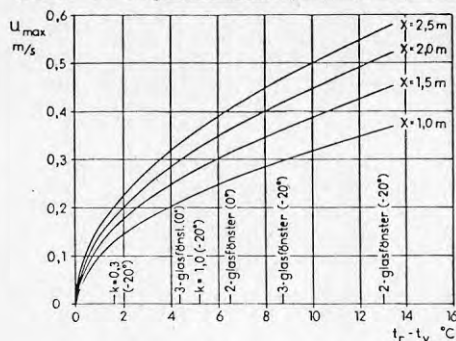
För olika typer av fönster med höjden 1,5 m får man vid en utetemperatur av -20°C följande värden på v

2-glasfönster med k-värde $2,5 \text{ W/m}^2, ^{\circ}\text{C}$	$8,7^{\circ}\text{C}$
3-glasfönster med k-värde $1,7 \text{ W/m}^2, ^{\circ}\text{C}$	$6,4^{\circ}\text{C}$

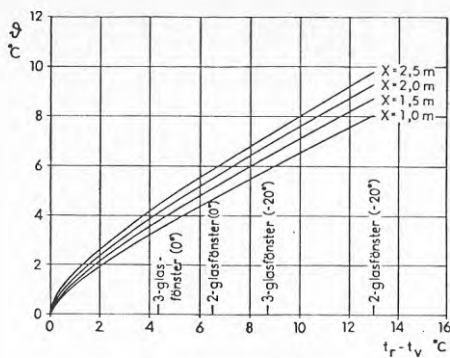
Dessa värden är båda så höga att risken för drag är stor om inga motåtgärder vidtages. Enligt Rydberg är acceptabelt värde för kontor och bostäder ca 1°C och i lokaler med rörligt arbete ca 4°C .

Det luftflöde som "ramlar" ner utmed den kalla ytan kan beräknas enligt

$$q = 10,0 (t_r - t_v)^{0,4} \times 1,2 \text{ (m}^3/\text{h per m fönsterbredd)}$$



Maximihastigheten i gränsskiktet vid olika fönsterhöjder och temperaturdifferenser (Rydberg)



Maximal effektiv undertemperatur i gränsskiktet vid olika fönsterhöjder och temperaturdifferenser (Rydberg)

Mätmetod

Fortfarande saknas normer för tillvägagångssättet vid mätningar av flera olika parametrar inom ventilationstekniken. Vid mätning av lufthastighet förekommer olika metoder vid olika företag och institutioner. Det innebär att karakteristiska data för t ex tilluftsdon inte är jämförbara mellan olika tillverkare. Enligt VVS-AMA skall kastlängden redovisas med en sluthastighet i kärnstrålen av 0,2 m/s.

4 LUFTKVALITET

Luftkvaliteten inomhus påverkas av ett flertal faktorer. Föroreningskoncentrationen i uteluften och den interna föroreningsalstringen från människor och byggnadsmaterial får inte medföra att sanitär olägenhet eller hälsofara uppstår. Genom ett klokt systemval kan koncentrationen av föroreningar i inomhusluften hållas på en acceptabel nivå. Uteluftintaget skall placeras där uteluften är som renast. Uteluft och eventuell återluft skall filtreras, minst filterklass F45. Till- och frånluftsdon skall placeras så att en god luftfördelning erhålles och så att tilluften utnyttjas effektivt.

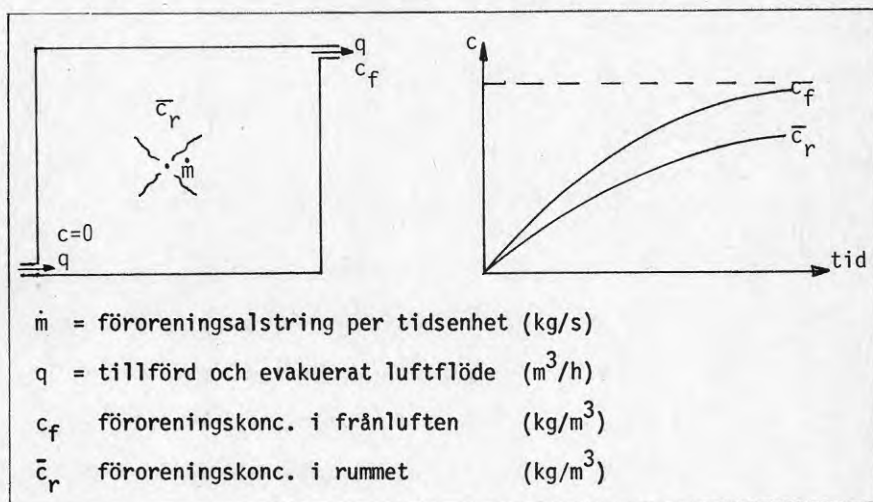
Olika ventilationssystem fördelar luften olika inom en byggnad. Hur fördelningen sker har vi inte fullständig kunskap om idag utan här behövs ytterligare studier så att ventilationseffektivitet och kortslutningseffekter kan bestämmas.

Från såväl energi- som komfortsynpunkt är det väsentligt att ventilationsluften når de utrymmen den är avsedd för och att den på ett så effektivt sätt som möjligt byter ut luften i rummet samt borttransporterar de föroreningar som finns.

4.1 Effektivitetsbegrepp

Ventilationseffektivitet

Ventilationseffektivitet är ett mått på hur snabbt ventilationssystemet förmår borttransportera en förorening ur ett rum. Snabbheten i evakueringen bestämmer medelkoncentrationen i rummet. Värdet är främst beroende av var frånluftsdonet är beläget i förhållande till föroreningskällan. Vi tänker oss ett rum där en förorening börjar tillföras vid tiden $t = 0$. Rummet tillförs hela tiden q m³/h ren luft vilket också är lika med det evakuerade luftflödet.



Figur 4.1 Ventilationsförlopp med föroreningskälla i rum

Då en viss tid gått uppnås ett fortfarighetstillstånd, d v s frånluften transporterar bort lika mycket föroreningar som avges

$$c_f(\infty) = \frac{\dot{m}}{q}$$

I gynnsamma fall, då frånluftsdonet är placerat nära föroreningskällan borttransporteras föroreningarna snabbt. Frånluftsdonet kan dock vara placerat så att föroreningarna måste transporteras genom rummet varvid föroreningskoncentrationen i rummet stiger.

Det ogynnsammaste fallet är då föroreningsrorna avges i en del av rummet där genomluftningen är dålig. Då kan mycket höga föroreningskoncentrationer uppstå. Dessa egenskaper kan karakteriseras med ventilationseffektiviteten

$$\bar{\epsilon} = \frac{c_f(\infty)}{\bar{c}_r(\infty)}$$

Vid fullständig omblandning, d v s då rumsluften och föroreningarna blandas väl har $\bar{\epsilon}$ värdet 1.

Vid punktutslag då frånluften tas alldeles intill föroreningskällan erhålles värden större än 1, d v s föroreningskoncentrationen är större i frånluften än i rummet. På motsvarande sätt innebär värden på $\bar{\epsilon}$ mindre än 1 att medelkoncentrationen i rummet är större än vid fullständig omblandning, vilket tyder på kortslutningseffekter i ventilationssystemet.

Luftutbyteseffektivitet

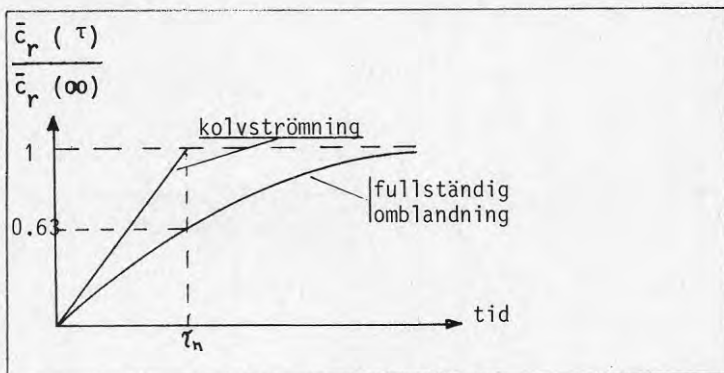
Detta effektivitetsbegrepp är ett mått på hur effektivt den tillförda luften utnyttjas och hur snabbt luften i rummet byts ut.

Genom att rita upp ventilationsekvationen med tiden på x-axeln och andelen ny luft på y-axeln kan begreppet enklare förklaras.

Ventilationsekvationen uttrycker förhållandet mellan koncentrationen i rummet vid en viss tidpunkt och koncentrationen vid fortfarighet som funktion av tiden vid fullständig omblandning.

Ventilationsekvationen

$$\frac{\bar{c}_r(\tau)}{\bar{c}_r(\infty)} = 1 - e^{-n\tau}$$



Figur 4.2 Andelen ny luft i ett rum dels vid kolvströmning och dels vid fullständig omblandning

Den tid det tar att vid kolvströmning byta ut luften i ett rum är

$$\tau_n = \frac{1}{n} \quad \text{där } n = \frac{q}{V}$$

Enligt figur 3.10 är vid fullständig omblandning andelen ny luft endast 63% efter tiden τ_n eller rättare 63% av luften har uppehållit sig i rummet kortare tid än τ_n .

Luftens ålder är tiden från det att luften tillförs rummet till en godtrycklig tidpunkt t , då den ännu befinner sig i rummet.

Medelvärdet τ_n för tilluftens totala uppehållstid i rummet är således också frånluftens medelålder då den passerar från-luftsdonet.

Ytan ovanför fördelningskurvan i figur 4.2 anger ett medelvärde för rumsluftens ålder.

Rumsluftens medelålder $\bar{\tau}$
Vid kolvströmning $\bar{\tau} = \frac{\tau_n}{2}$
Vid fullständig omblandning $\bar{\tau} = \tau_n$
Vid kortslutningsströmning $\bar{\tau} > \tau_n$

Utbyte av luft har ett väldefinierat övre gränsvärde, nämligen kolvströmning. Nordiska ventilationsgruppen (NVG) rekommenderar därför att luftutbyteseffektivitet ϵ_a definieras som kvoten mellan den minsta möjliga medelåldern för rumsluften och den aktuella medelåldern uttryckt som

$$\epsilon_a = \frac{\tau n/2}{\tau}$$

Genom denna definition får luftutbytesbegreppet karaktären av en verkningsgrad för ventilationssystemet.

Krav

Några direkta myndighetskrav beträffande ventilationssystemens effektivitet har ännu inte utformats. Effektivitetsbegreppen diskuteras dock mycket inom branschen och det anses rimligt att i framtiden ställa krav på en lägsta acceptabel effektivitet hos ett ventilationssystem.

Vid dimensionering av ett ventilationssystem för bostäder ställs i allmänhet endast krav på en kontinuerligt tilluftsflöde av 0,35 l/s, m² lägenhetsyta för en lägenhet i dess helhet. I kök och mörka badrum krävs möjlighet till forcering av frånluftsflödet.

Luftströmningen i byggnaden skall vara sådan att luften tillförs sovrum och vardagsrum och går som överluft till mer förorenade utrymmen som kök, badrum etc.

Uteluftsintagen skall vara placerade så, att uteluftens halt av CO inte beräknas uppgå till ett högre värde än 1/10 av det godtagna hygieniska gränsvärdet.

Bostäder skall vidare anordnas så att radonhalterhaltens årsmedelvärde i inomhusluften i utrymmen där personer stadigvarande vistas uppgår till högst 70 Bq/m³.

Inom Nordiska kommittén för byggbestämmelser (NKB) har riktlinjer utarbetats beträffande nya normer för inomhusklimatet. Bl a sägs att varje boningsrum såväl som bostaden totalt skall tillförsäkras en luftväxling av 0,35 l/s, m² lägenhetsyta, i sovrum dock lägst 4 l/s, sovplats.

4.2 Systemlösningar

Det sätt på vilket den tillförda luften fördelas inom rummet är en av de viktigaste faktorerna för luftkvaliteten. Beroende på donplacering och luftflöde kan luften fås att strömma på olika sätt i ett rum. Det går som tidigare nämnts att särskilja tre huvudströmningsprinciper, nämligen

- kolvströmning $\epsilon_a = 1$
- fullständig omblandning $\epsilon_a = 0,5$
- kortslutningsströmning $\epsilon_a < 0,5$

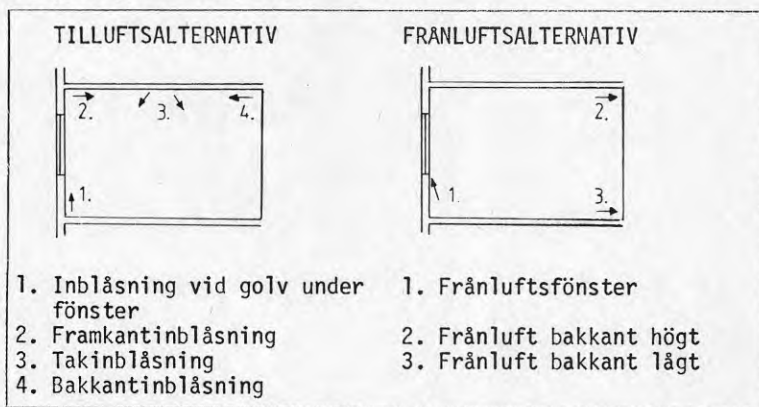
Vid kolvströmning fungerar den tillförda luften som en kolv som skjuter den gamla och förorenade luften framför sig och ut ur rummet. Denna strömningstyp är den effektivaste både med avseende på att avlägsna föroreningar och tillföra värme till rummet. Vid praktiska tillämpningar kan dock fullständig kolvströmning aldrig åstadkommas.

Vid fullständig omblandning fördelas den tillförda luften

likformigt över hela rummet och samtidigt sker en fullständig spridning av föroreningarna i rummet vilket dock inte är önskvärt. Inom ventilationstekniken utgår man från att man nästan alltid har så kallad fullständig omblandning vilket inte är alltför svårt att åstadkomma.

Kortslutningsströmning är den sämsta strömningstyp som kan uppträda. Härvid går stor del av tilluften genom rummet utan att passera vistelsezonen, vilket innebär såväl dålig luftutbyteseffektivitet som temperatureffektivitet.

Avgörande för hur effektivt den tillförda luften utnyttjas vid ett givet driftfall är som tidigare nämnts vilken typ av luftströmning man erhåller. Denna bestäms i stor utsträckning av placeringen av till- och frånluftsdonen eller rättare sagt av riktningen och styrkerelationen mellan de krafter som uppträder. Figur 4.3 visar alternativa placering av till- respektive frånluftsdon.



Figur 4.3 Alternativa placeringar av till- respektive frånluftsdon

De krafter som är aktuella är tröghetskraften som är proportionell mot kvadraten av medelhastigheten och den termiska kraften som beror på temperaturskillnaden. Relationen mellan den termiska kraften och tröghetskraften kan uttryckas genom Archimedes tal Ar .

$$ARCHIMEDES\ TAL\ Ar = \frac{\text{Termiska krafter}}{\text{Tröghetskrafter}}$$

$$Ar \sim \frac{g \times (T_t - T_f) \times H}{\bar{T}_r \times \bar{u}^2}$$

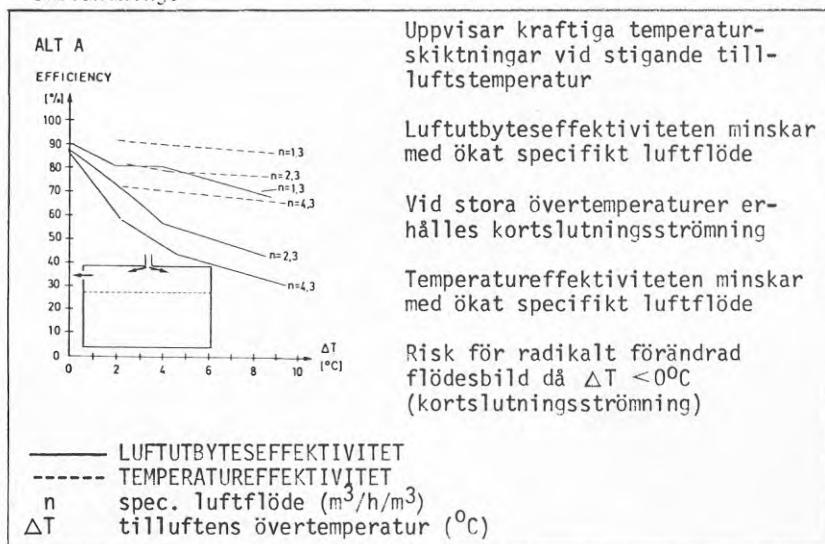
- T_t = temperaturen i tilluften
 T_f = temperaturen i frånluften
 H = rummets höjd
 \bar{u} = medelhastigheten
 \bar{T}_r = rumsluftens medeltemperatur

För att kunna uppnå s k förskjutningsströmning krävs ett lågt Archimedes tal, d v s tröghetskrafterna måste dominera över de termiska krafterna. Detta ger emellertid så stora luftflöden att det är helt orimligt att uppfylla i samband med

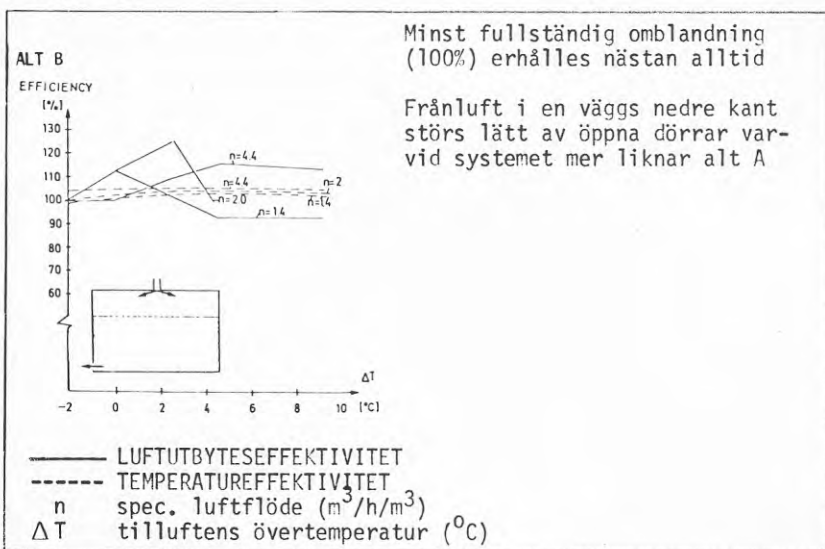
Ventilation i bostäder.

FÖRSKJUTNINGSSTRÖMNING
ÄR EJ MÖJLIGT I BOSTÄDER

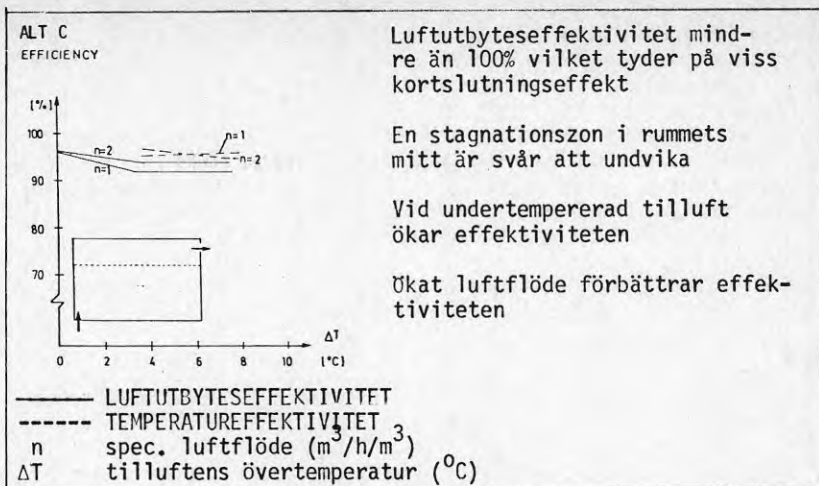
Statens institut för byggnadsforskning (SIB) arbetar med att utvärdera olika ventilationstekniska lösningars effektivitet. Nedanstående resultat härrör från deras provningsarbete. Här framgår olika effektivitetsbegrepps beroende av systemtyp, specifikt luftflöde och tillluftens övertemperatur. OBS! På y-axeln uttrycks luftutbyteseffektiviteten enligt en gammal definition ($\epsilon_a = \frac{1-n}{\tau}$). Det innebär att $\epsilon_a = 100\%$ är fullständig ombländning.



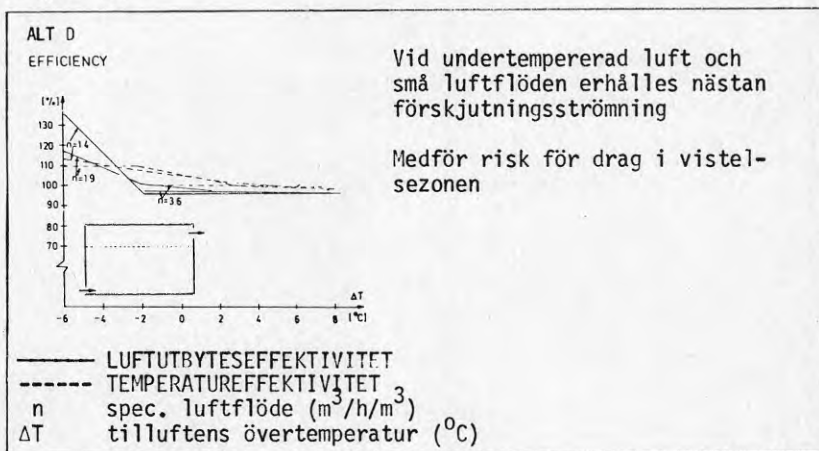
Figur 4.4



Figur 4.5



Figur 4.6



Figur 4.7

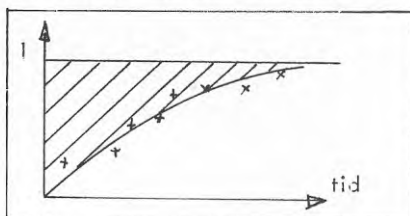
Mätmetod

Ventilationseffektiviteten kan tämligen enkelt bestämmas, speciellt om rummet endast har en frånluftskanal, eftersom $C_f(\infty)$ kan mätas där. $C_r(\infty)$ kan mätas genom att såväl föroreningsemissionen som ventilationen avbryts och rumsluften därefter blandas väl. Härvid uppnås en jämn koncentration $C_r(\infty)$ i hela rummet.

Ett annat alternativ är att från $t = 0$ tills dess försöket avbryts mäta såväl den mängd föroreningar som bortförts med frånluften som den totalt alstrade föroreningsmängden. Härvid kan skillnaden beräknas vilket sedan divideras med rummets volym varvid $C_r(\infty)$ erhålls.

$$\bar{\epsilon} = \frac{C_f(\infty)}{C_r(\infty)}$$

Luftutbyteseffektiviteten kan också bestämmas genom mätningar i frånluften. Från tiden $t = 0$ förses tilluften med spårgas av koncentrationen c . Mängden spårgas i rummet blir där ett mått på andelen ny luft i rummet. Genom att kontinuerligt mäta spårgaskoncentrationen i frånluften $C_f(t)$ kan andelen ny luft i rummet beräknas som skillnaden mellan tillförd och evakuerad mängd spårgas. På detta sätt erhålles ett antal punkter på "ventilationskurvan" som då kan ritas upp.



Figur 4.8 Ventilationskurva

Genom att beräkna den streckade ytan i figur 4.8 kan sedan ϵ_a beräknas.

$$\epsilon_a = \frac{\tau_{n/2}}{\bar{\tau}}$$

där ϵ_a motsvarar den streckade ytan

$\tau_{n/2}$ minsta möjliga medelålder för rumsluft (kolvströmning)

$\bar{\tau}$ = rumsluftens medelålder

För bestämning av luftens medelålder i rummet finns en godkänd Nordtest metod, NT VVS 019.

5 ENERGIHUSHÅLLNING

Energibesparing i ett ventilationssystem kan främst åstadkommas genom återvinning av energin i frånluften. Härvid måste såväl tilluften som frånluften kunna styras att passera genom värmeåtervinningssystemet för att avsedd återvinning skall uppnås. Detta förutsätter att såväl byggnaden som ventilationssystemet är tätt. Bristerna i arbetsutförandet vid montering av isolering och tätningar samt vid inreglering av ventilationssystem har dock medfört att den beräknade energibesparingen många gånger helt eller delvis uteblivit. Ett otätt hus ger stor oavsiktlig ventilation dvs ett ostyrt luftflöde som inte passerar återvinningsaggregatet vilket innebär att det erfordras högre verkningsgrad vid ett visst krav på energiekonomi för ett objekt.

I nyproducerade hus är lägre luftväxling genom bättre luftfördelning samt ökad isolering några av de mest lönsamma och säkra åtgärder som kan vidtagas från energiåtervinnings-synpunkt.

5.1 Värmeåtervinning

Påverkande faktorer

Energi- och effektbehovet för en ventilationsanläggning med värmeåtervinning är beroende av ett flertal faktorer, bl a

- den avsiktliga ventilationen styrt av fläktkrafter
- den oavsiktliga ventilationen (husets täthet, yttre klimatbetingelser)
- ventilationssystemets drifttid
- värmeåtervinningssystemets verkningsgrad
- uteklimatet
- fläktars effektbehov
- reglersystemets snabbhet och noggrannhet
- byggnadens förmåga att lagra värme
- temperatur på tilluften

Avsedda energibesparingar inom ventilationsområdet har ofta helt eller delvis uteblivit bland annat på grund av att

- en övergång har skett från självdragssystem till mekaniskt system med högre luftväxling som följd
- samspelet mellan den totala, avsiktliga och oavsiktliga ventilationen har inte beaktats
- inreglering av ventilationssystemet har helt eller delvis uteblivit

- hänsyn har inte tagits till den energi som erfordras för att driva fläktar och/eller kompressorer
- ventilationsvärmexlaren har antagits ge en minskning av värmebehovet till värmesystemet under för stor del av året
- man har inte beaktat frånlufts/tappvarmvattenvärmepumpens behov av ackumulering och låg varmvattentemperatur
- vindtätande skikt på husets utsida har utförts bristfälligt

Krav

Enligt SBN 1980, kap 39, skall en luftbehandlingsanläggning för bl a bostäder förses med lämpliga anordningar för värmeåtervinning om

- värmeinnehållet i avluften överstiger uteluftens värmeinnehåll med mer än 50 MWh/år
- återvunnen energi kan nyttiggöras

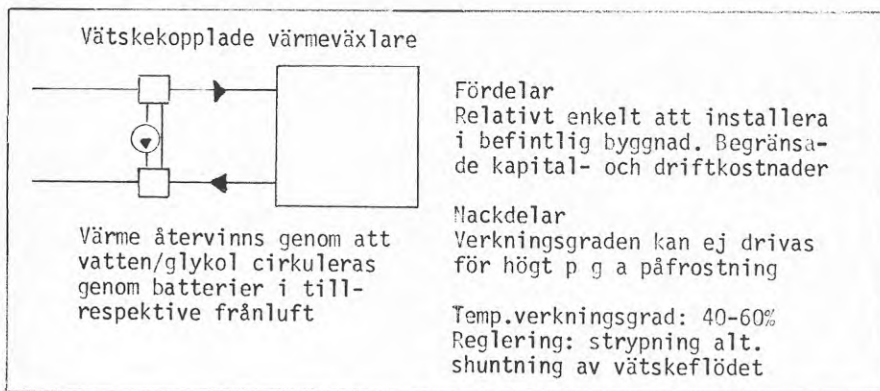
Från kravet på värmeåtervinning undantas bostadsbyggnader i upp till två våningars höjd samt enstaka perifert belägna lokaler.

Exempel på godtaget utförande av anordningar för värmeåtervinning är

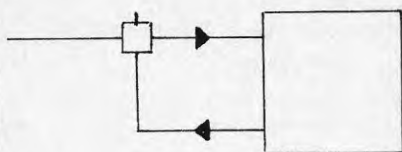
- FT-ventilation försedd med värmexlare för återvinning ur frånluft till tilluft. Temperaturverkningsgrad $\geq 60\%$.
- F- eller FT-ventilation försedd med värmepump för återvinning ur frånluft till tappvarmvatten.

Systemlösningar

Värmeåtervinning ur frånluft kan åstadkommas enligt flera olika metoder. De vanligaste alternativen och en jämförelse mellan deras respektive för- och nackdelar redovisas nedan, källa: Svennberg (35):



Värmeväxlare luft-luft



Värmeväxling luft-luft utan mellanmedium. Kan utformas som platt- eller rörvärmeväxlare

Fördelar

Inga rörliga delar. Som regel lätt rengörbar. Funktionssäker

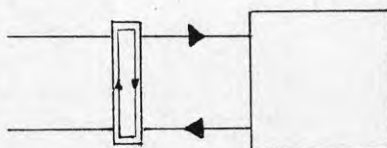
Nackdelar

Kräver att till- och frånluftskanaler kan sammanföras, därför svårt att använda i befintlig byggnad. Risk för brandspridning. Reglering med förbigång kräver utrymme

Temp.verkningsgrad: 50-70%

Reglering: förbigång med spjäll

Värmeväxlare tvåfasmedium



Batterier med vertikala eller horisontella värmerör delvis fyllda med ett förångande medium

Fördelar

Inga rörliga delar. Kan användas även vid hög temperatur ($\leq 80^{\circ}\text{C}$)

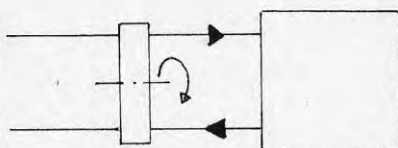
Nackdelar

som för värmeväxlare luft-luft

Temp.verkningsgrad: 50-60%

Reglering: förbigång med spjäll

Roterande värmeväxlare



Ett roterande hjul överför värme från frånluften till tilluften. Även kyla kan återvinnas (sommarfallet). Med hygroskopisk rotor kan även fukt överföras

Fördelar

Hög temperaturverkningsgrad. Hög entalpi-verkningsgrad med hygroskopisk rotor. Kylåtervinning möjlig

Nackdelar

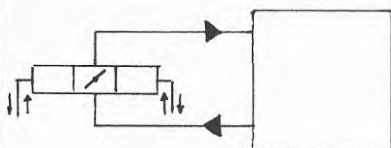
Som för värmeväxlare luft-luft. Vid hygroskopisk rotor finns risk för överföring av lösningsmedel. Överföring av föroreningar genom överläckande frånluft

Temp.verkningsgrad vid cke hygroskopisk rotor: 70-85%

Fukt- och temp.verkningsgrad vid hygroskopisk rotor: 70-85%

Reglering: variation av rotorns varvtal

Kammarvärmväxlare



Fördelar

Endast spjäll som rörlig del.
Hög verkningsgrad

Nackdelar

Som för värmväxlare luft-luft.
Risk för överföring av föroreningar och luktämnen genom inblandning och läckning

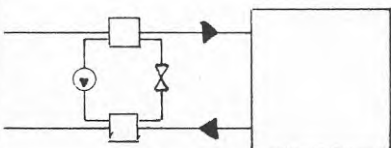
Ett spjäll omändras så att växlarpaketet omväxlande upp-tar värme från frånluften och tillför värme till luften

Temp.verkningsgrad: 70-80%

Fuktverkningsgrad 5-10% lägre beroende på material i de värmelagrade delarna

Reglering: variation av frekvensen för spjällomkastning

Värmväxlare med värmepump



Fördelar

Hög värmefaktor, ca 5, vid återvinning ur frånluft. Kan kombineras med samtidig drift av kylsystem (ex livsmedelsbutiker), kan ges omvänd funktion (kylning) sommartid. Kan relativt enkelt installeras i befintlig byggnad.

Nackdelar

Hög kapital- och servicekostnad. Risk för ljudstörningar. Större utrymmes- och effektbehov än vätskekopplade system

En kylkompressoranläggning där kondensorvärmets utnyttjas för uppvärmning av tilluft

Reglering: effektreglering hos kompressorn

Energitillförseln till kompressorn gör att verkningsgraden är svår att jämföra med övriga värmväxlarsystem

Återluft i samband med bostäder är aktuellt endast vid luftvärmesystem. Härvid utnyttjas frånluftens energiinnehåll helt. Kapitalkostnader och driftkostnader är låga. Nackdelen är dock att man får återföring av föroreningar i frånluften. Det kan vara svårt att dra återluftskanaler i befintlig byggnad. Risk för brand- och rökgasspridning föreligger.

5.2 Injustering

Bristfällig inreglering och olämplig luftfördelning mellan olika rum är många gånger orsak till högre energiförbrukning än beräknat. Lägre luftväxling i huset som helhet utan att ge avkall på luftkvalitetskraven och bättre luftfördelning är från energisparsynpunkt en av de mest lönsamma och säkra åtgärder som kan vidtagas. Injusteringsarbetet måste noggrant förberedas redan på projekteringsstadiet. Det är viktigt att resurser avsätts för detta för att få en installation som fungerar på avsett sätt.

Krav

En luftbehandlingsinstallation skall utformas och anordnas så, att den kan justeras och den skall förses med för justering erforderliga strypanordningar, mätuttag, mätsträckor o d. Systemet skall även anordnas så, att uteluftflödet kan minskas när byggnaden eller del därav inte brukas för sitt ändamål.

Injusteringsmetoder

För injustering av ventilationsinstallationer kan tre metoder rekommenderas:

- proportionalitetsmetoden (manuell steg-för-steg-metod)
- förinställningsmetoden (manuell inställning, metoden baserad på tryckfallsberäkningar)
- en kombination av proportionalitets- och förinställningsmetoden

Var och en av dessa metoder kräver speciella installations-tekniska förutsättningar. Lika viktigt, som det är att projektören tar all nödvändig hänsyn till injusteringsmetoden redan vid utformningen av installationen, är det att den för montage ansvarige entreprenören också tar denna hänsyn under byggnadsperioden samt att injustering företas efter den föreskrivna metoden.

Injustering efter proportionalitetsmetoden innebär att man justerar spjäll och don i systemet så att varje don levererar samma procentandel av sitt projekterade luftflöde. Arbetet utförs efter en systematisk steg-för-steg-metod där varje arbetsmoment är beroende av det föregående. Man behöver inte nödvändigtvis mäta flödenas absoluta värden. Man kan istället basera injusteringen på relativa mätvärden av t ex lufthastighet och tryck. När slutligen fläktvarvtalet har justerats ska alla don i systemet ge projekterade luftflöden.

De flesta till- och frånluftsinstallationer, oavsett typ och storlek, kan justeras helt eller delvis efter proportionalitetsmetoden.

Proportionalitetsmetoden kan med fördel kombineras med förinställningsmetoden, t ex kan grupper av don förinställas me-

dan grenkanalspjäll injusteras efter proportionalitetsmetoden.

På den svenska marknaden finns strypdon med mätuttag och som inte behöver injusteras efter montering. Strypdonen injusteras vid fabrik och ger sedan det inställda luftflödet oberoende av tryckvariationer i systemet orsakade av vindkrafter, termiska stigkrafter, filters igensättningsgrad etc. Dessa donyper kräver dock relativt höga tryck, över 100 Pa, för en säker funktion.

Både ljudets styrka och dess karaktär spelar en viktig roll i människans upplevelse av miljön. Människan har ytterst små, för inte säga obefintliga, möjligheter att anpassa sig till höga ljudnivåer som existerar runt omkring oss. Därför är det teknikernas skyldighet att planera den akustiska miljö så att det mesta av det ljud som kan uppfattas störande elimineras.

Den akustiska teorin är känd och erforderlig utrustning för ljuddämpning finns tillgänglig, ofta som standardprodukter. Den avsaknad av ljuddata för många ventilationsprodukter som tidigare var besvärande för en akustiker har förändrats till det bättre. Genom att använda tabellerade ljuddata och erforderlig utrustning på rätt sätt är det möjligt att kontrollera och styra alstrat ljud till i stort sätt varje önskad ljudnivå.

Krav

En byggnads installationer m m skall anordnas så, att vid normal verksamhet i byggnaden ljudnivån för varaktiga ljud från inom byggnaden men utom lägenheten beläget utrymme inte överstiger 30 dBA i sovrum och vardagsrum och 35 dBA i kök. Under dagen får ljudnivån uppgå till 35 dBA i sovrum och vardagsrum.

Påverkande faktorer

Driftljud alstras i motor och lager genom obalans hos fläkthjul, lager, remmar och axelkopplingar. Detta mekaniska driftljud har dock normalt väldigt liten inverkan på den resulterande ljudnivån.

Det aerodynamiska ljudet, som alstras till följd av luftens rörelser såsom rotationsljud, skovelljud, turbulens- och virvelljud ger det största bidraget till fläktens ljudutstrålning.

Ljudeffektalstringen i raka kanaler är hastighetsberoende i femte potens. Mätningar visar att ökad kanallängd ger ökad ljudnivå i högre oktavband, vilket beror på virvelbildning vid kanalväggens skarvar, falsar m m. Ljudet som alstras i kanalavgreningar har visats vara beroende av hastigheten i sjätte potens ($d \propto v^6$).

En bidragande orsak till ökad ljudalstring i avgreningar kan vara detaljer som nära avgreningen ger turbulens, t ex strypplåt eller kanalböj.

I samband med strypning av luftflöde med spjäll erhålles två olika typer av ljudalstring. Det ena orsakas av den turbulenta blandningsprocessen nedströms spjället. Det andra är ett stötljud som uppstår genom växelverkan mellan turbulens och det komplexa flödesfläktet nedströms spjället. För tryckförhållandet (trycket före/trycket efter) större än 3 är stötljudet helt dominerande.

Flödesregulatorer används för att skapa exakta, konstanta eller mindre strypning av luftflödena vilket leder till ljudalstring. Regulatorerna alstrar inte enbart luftburet ljud i ventilationskanalen utan även ljud som transmitterar igenom kanalväggen till omgivningen.

Valet av till- och frånluftsdon med tillhörande strypfunktioner är av stor betydelse för resulterande ljudnivån i en lokal. Nedstrypningen i donet får utföras med största försiktighet ty då don är hastighetsberoende i 5:e potensen innebär en liten ökning i tryckfall och lufthastighet genom donet en kraftig ökning av ljudet.

Den vanligaste ljudförhöjande orsaken i ett ventilations-system blir oftast bortglömd. Det är den växelverkan som uppstår mellan för tätt placerade komponenter. Om komponenter måste placeras nära varandra bör konstruktionen göras med omsorg så att luftflödet ger ett minimum av turbulens och separation.

För att vibrations- och luftljudsisoleringen skall bli tillfredsställande krävs i flertalet fall att fläktar, kompressorer m m isoleras från byggnadsstommen. Det bör ankomma på fabrikanter att lämna upplysningar om erforderliga åtgärder.

I ventilationssammanhang använder man sig ofta av överluftöppningar. I bostäder är problemet med transport av luftburet ljud via sådana öppningar inte lika stort som i t ex kontorsbyggnader mellan korridor och arbetsrum. I bl a den senare typen av byggnader måste överluftöppningar utföras så ljuddämpande som möjligt.

I vissa fall kan hög ljudnivå i en byggnads omgivning omöjliggöra installation av ett frånluftssystem. Erforderliga tilluftsöppningar i fasad kan ge höga ljudnivåer i rum p g a alltför bullrig yttre miljö.

Överhörning, d v s transport av ljud från icke ljudkänslig punkt till en mer ljudkänslig punkt är ett stort problem i vissa delar av ett kanalsystem.

De känsligaste delarna i ventilationsanläggningen för överhörning är följande:

<u>Orsak</u>	<u>Verkan</u>	<u>Åtgärd</u>
Oisolerad kanal i fläktrum efter dämpare.	Fläktljud läcker in och försämrar den uppnådda dämpningen.	In- eller utvändigt dämpning av kanal mellan dämpare och fläktrumsvägg.
Oisolerad eller otillräckligt dämpad kanal i schakt. Litet reduktions-tal i schaktvägg.	Ljud läcker ut genom schaktvägg till lokal.	Dämpa tillräckligt i kanal före schakt och förbättra schaktvägg.

<u>Orsak</u>	<u>Verkan</u>	<u>Åtgärd</u>
För lång och stor kanal i ett ljudkänsligt rum ger för stor transmissionsyta.	Ljud läcker ut genom kanal till rum.	Omplacera kanalen eller isolera kanalen in- eller utvändigt.
Otillräckligt dämpad kanal emellan närliggande rum.	Ljudtransport via kanal mellan rum med sekretesskrav.	Dämpning i kanal och/eller hög egendämpning i donen.

Mätmetoder

För mätning av luftljudsisolering och stegljudsnivå godtas metod enligt SIS 02 52 54 "Byggakustik - Mätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement - Del V. Fältmätning av luftljudsisolering hos fasadelement och fasader" (ISO 140/5). Utvärdering av mätresultat godtas utförd enligt SIS 02 52 53. För mätning av ljudnivå godtas metod enligt SP's cirkulär nr 40 "Rekommendationer för mätning av ljudnivå i bostäder".

I besiktning av en ventilationsanläggning ingår normalt kontroll av ljudnivån. Ljudmätningarna skall göras då anläggningen är inreglerad och helst i färdiginredda rum. Då rummen inte är möblerade eller i övrigt saknar tänkt inredning måste den uppmätta ljudnivån korrigeras med hänsyn till den projekterade absorptionen. Normalt sker mätningen med en dB(A)-mätare varvid ingen information erhålles om ljudets frekvensinnehåll. En frekvensuppdelning av ljudet i oktavband är dock nödvändigt för att vid bullerbekämpning få klarhet i hur och varför ljudet uppkommer. För detta erfordras en ljudnivåmätare med oktavbandsfilter.

Beräkningsmetoder

Ljudberäkningar är till hjälp för att säkerställa ett gott akustiskt klimat. Det är viktigt att en tidig akustisk planering och bedömning av såväl byggnadskonstruktion som installationer genomförs och att projekteringen avslutas med en exakt dimensionering av ljuddämpare och till- och frånluftsdon.

I all vvs-projektering behöver förutom ljudnivå även ljudisolering och vibrationer beaktas. I de tidiga skedena erfordras sällan komplicerade beräkningar. Erfarenheter och överslagsberäkningar är då ofta tillräckligt. Bedöms ljudproblem kunna uppstå krävs däremot många gånger en akustisk analys innefattande noggranna mätningar och beräkningar. Ett arbete för en ljudspecialist.

Många gånger slarvas med ljudberäkningarna. Nu finns emellertid datorprogram att tillgå vilket borde innebära en snabbare och noggrannare ljudplanering än vad manuella metoder kan erbjuda.

7 CHECKLISTA FÖR PROJEKTERING

Detta kapitel utgör en checklista som har utarbetats för att underlätta projektering av ventilation i bostäder. Med utgångspunkt från gällande krav redovisas viktiga faktorer som måste bedömas i samband med projekteringsarbetet så att en anläggning med god funktion skall erhållas. Checklistan hänvisar till normkraven i SBN 1980 varvid olika systemlösningars möjlighet att uppfylla dessa kommenteras. Godkända och för övrigt lämpliga mätmetoder för kontroll att ställda krav uppfylls har sammanställts. Som ytterligare hjälpmedel för projektörer redovisas formler och erfarenhetsvärden.

7.1 Byggnadens utformning

Krav SBN 1980

- | | | |
|---|----------------|------------|
| 1 | Värmeisolering | kap 33:2 |
| 2 | Fönsterarea | kap 33:212 |
| 3 | Lufttäthet | kap 33:3 |

Byggnadens utformning samt ingående byggnadsdelar som väggar och tak har stor betydelse för val och dimensionering av ventilationssystem. Komponenter i byggnaden såsom material i väggar och tak, fönsterytor och fönsterplacering påverkar utformningen och dimensioneringen av ventilationssystemet. Detta innebär att ventilationsprojektören även måste ställa krav på byggnadsutformningen.

Att beakta

- . Arkitektonisk utformning
 - planform
 - antal våningar
 - lokalhöjder
 - geografisk orientering
- . Typ och placering av fönster
 - typ, form och areor, fönsterbräda
 - solavskärmning
 - geografisk placering
- . Väggar, tak och golv
 - material
 - värmegenomgångstal
 - täthet
 - värmekapacitet
 - areor

Erfarenheter

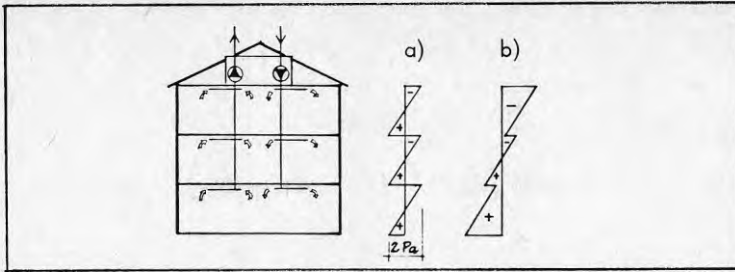
- . Byggnaden skall utföras tät och välisolerad. Otäthetsfaktor ≤ 1 oms/h vid 50 Pa bör eftersträvas vid alla FT-system. Särskilt i hus med värmeåtervinningssystem och i större hus med komplicerad ventilationsutrustning bör man ställa mycket höga krav på tätheten.
- . Tätheten försämras med åren. När materialet kring fönster och i väggar torkar vidgas de befintliga springorna och det

finns exempel på 50%-ig försämring av tätheten redan efter ett par år.

- . Stor vikt måste läggas vid utformningen av husets ångspärr för att en god och beständig täthet och en minimal ofrivillig ventilation skall erhållas.
- . Täthetskravet skall uppfyllas i varje rumsenhet. Ingen lokal anhopning av läckage får förekomma.
- . Ett lätt småhus har en värmelagringskapacitet på ca $75 \text{ Wh/}^\circ\text{C,m}^2$, ett medeltungt småhus ca $150 \text{ Wh/}^\circ\text{C,m}^2$ och ett tungt småhus ca $225 \text{ Wh/}^\circ\text{C,m}^2$. En minskad värmekapacitet kan oftast kompenseras med en ökad värmeisolering. Under vinterhalvåret är värmekapaciteten helt försumbar i jämförelse med fasadernas värmeisolering. Sommartid kan värmekapaciteten ha en viss inverkan på den operativa temperaturen, i extremfall $1-2^\circ\text{C}$ enligt Adamson (9)
- . Beräkna och bedöm risken för kallras och kallstrålning från stora fönsterpartier.
- . I en mycket tät byggnad uppgår den oavsiktliga ventilationen till ca $0,1 - 0,2 \text{ oms/h}$. $0,1 \text{ oms/h}$ motsvarar en årlig luftläckningsförlust av omkring 1 MWh för en 80 m^2 lägenhet.
- . Vid en otäthetsfaktor av 3 oms/h vid 50 Pa har man vid ett F-system med normala fönsterventiler inte kontroll över mer än ca 20% av den tillförda uteluften. Resten tillförs genom otätheter.
- . Täta hus kräver fläktventilation. Om det sedan bör vara ett F- eller FT-system får bedömas från fall till fall. Byggnadens geografiska belägenhet, utomhusluftens kvalitet och krav på värmeåtervinning får då en avgörande betydelse.

Med ett FT-system ges största möjligheten att garantera en acceptabel luftomsättning i varje rum.

- . Inre värmeövergångstalet α_i kan variera mellan ca $8 \text{ W/m}^2, \text{K}$ för ett innertak i en byggnad med självdragsventilation till ca $13 \text{ W/m}^2, \text{K}$ för väggar och tak påblåsta av ventilationsluft. Denna skillnad innebär dock endast en förändring av takets k-värde med ca 1-2% för ett hus isolerat enligt SBN 1980.
- . Tryckprofilen varierar med husets täthet i vertikalled. För ett FT-system kan t ex tryckprofiler enligt nedanstående figur erhållas. Vid lägre utetemperatur ökar den termiska drivkraften ytterligare, varför det är viktigt att huset är tätt mellan de olika våningsplanen.



Figur 7.1 Byggnaden försedd med från- och tilluftsventilation
 a) Tryckprofil vid balanserat system och $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ och helt avskilda lägenheter i vertikalled
 b) Motsvarande tryckbild på luftförbindelse finns t ex via entrédörr och trapphus
 Källa: Nylund (7)

Mätmetoder

- . För kontroll av värmeisoleringens utförande i en färdig konstruktion godtas termografering med värmekamera utförd enligt metod SIS 02 42 10.
- . För kontroll av otätheter hos en färdig byggnad eller byggnadsdel tillämpas en av planverket godtagen tryckprovningssmetod, t ex SP 1977:1.

7.2 Dimensionerande utomhusdata

Data ur SBN 1980

- | | | |
|---|--------------------------------------|-----------|
| 1 | Temperaturzoner | kap 33:21 |
| 2 | Temperaturens dygnsmedelvärde | kap 22:72 |
| 3 | Dimensionerande lägsta utetemperatur | kap 35:23 |

Ventilationssystem dimensioneras med utgångspunkt från vissa givna data beträffande uteklimatet. Dessa yttre klimatologiska förutsättningar varierar beroende på byggnadens geografiska placering.

Att beakta

- . Geografisk belägenhet
- . Terrängförhållanden
- . Byggnadens orientering
- . Temperaturförhållanden
 - min utetemperatur
 - max utetemperatur
 - dimensionerande lägsta utetemperatur
 - dimensionerande högsta utetemperatur
 - utetemperaturens dygnsvariation
 - utetemperaturens varaktighetskurva

- . Vind
 - dimensionerande vindhastigheter
 - förhärskande vindriktning
 - medelvindhastigheter
- . Solinstrålning

Erfarenheter

- . Formfaktorer för vindlast angivna i SBN 1980, kap 22:53 är för höga för att användas vid beräkning av oavsiktlig ventilation. Jämför vindtunnelprov, Wirén (12). Se exempel sid 55.

Byggnader som är skärnade mot vind av omgivningen har betydligt lägre formfaktor, uppemot 50%, än en byggnad utan någon skyddande omgivning.

- . Ett F-system är betydligt stabilare mot genomblåsning än ett FT-system, se sid 21 ff.
- . De flesta hus får en minskning av energibehovet vid vindstyrkor mellan 0 och 1 å 2 m/s enligt en undersökning i ett småhusområde, se Peterson (14). Vid vindhastigheter $v > 2$ m/s fås en relativt kraftig stegring av energibehovet vid stigande vindstyrka. Genom att placera husen i lä kan en energibesparing på 5-10% göras.

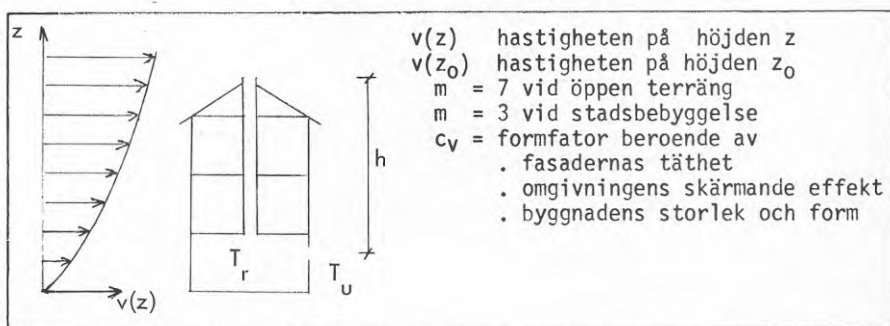
Projekteringshjälpmedel

- . Beräkning av oavsiktlig ventilation vid olika systemlösningar kan ske med dator. Ett exempel på program är Fläkts "Infiltration". Larm (4)

$$\text{Termisk drivkraft } \Delta p_T = \rho \times g \times 273 \times \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_r} \right) \times h$$

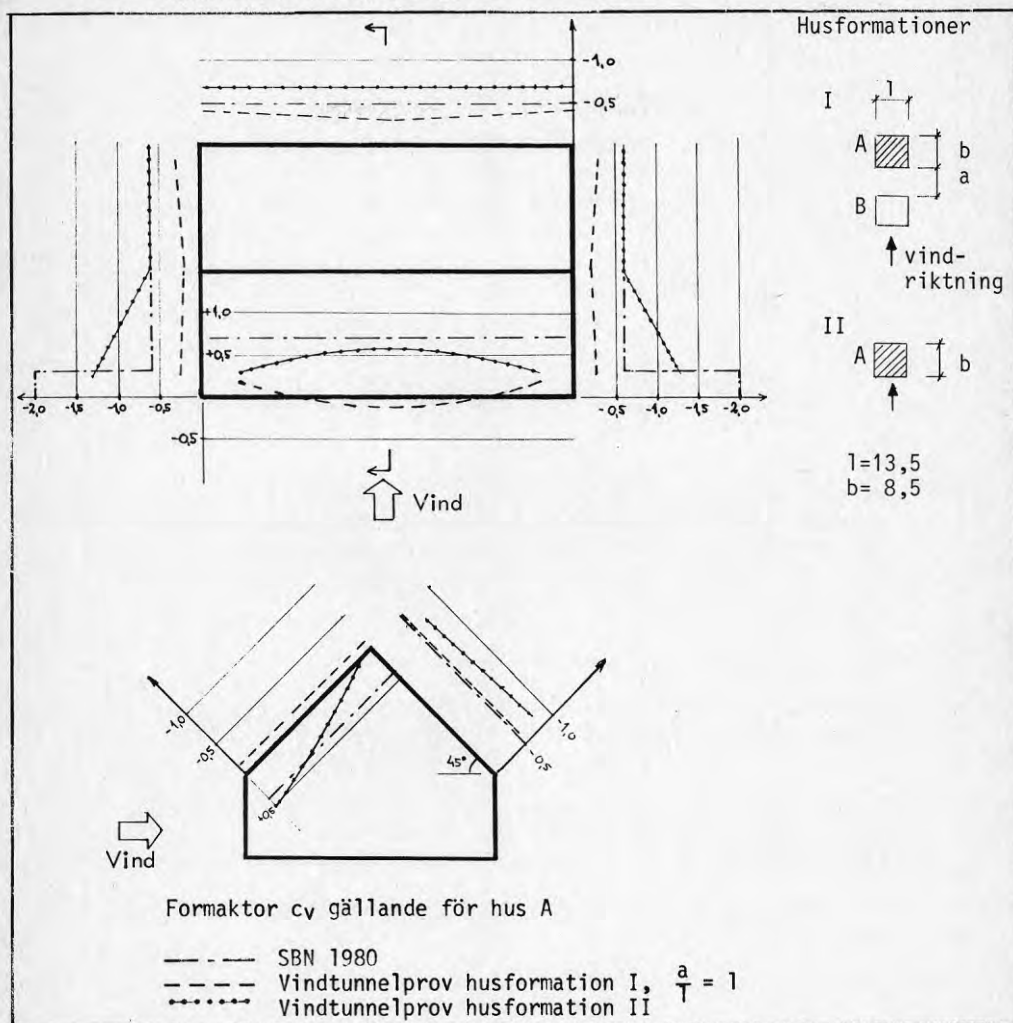
$$\text{Vindens drivkraft } \Delta p_v = C_v \times 0,5 \times \rho \times v^2$$

- . Vindens hastighetsfördelning $\frac{v(z)}{v(z_0)} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{1/m}$



Figur 7.2 Vindens hastighetsprofil

- Formfaktor c_v för vindlast vid olika husformationer och vindfång har uppmätts i vindtunnel bl a vid Statens institut för byggnadsforskning (SIB), se Wirén (12).



Figur 7.3 Formfaktor för vindlast

Vindtrycket ändras inte nämnvärt när byggnaden görs längre. Förkortas däremot byggnaden blir undertrycket på läsidans fasad och takyta mer markant.

- Luftfläckningen q genom springor m i byggnadselement kan uttryckas med formeln

$$q = A \times \Delta p^\beta$$

där A och β är konstanter

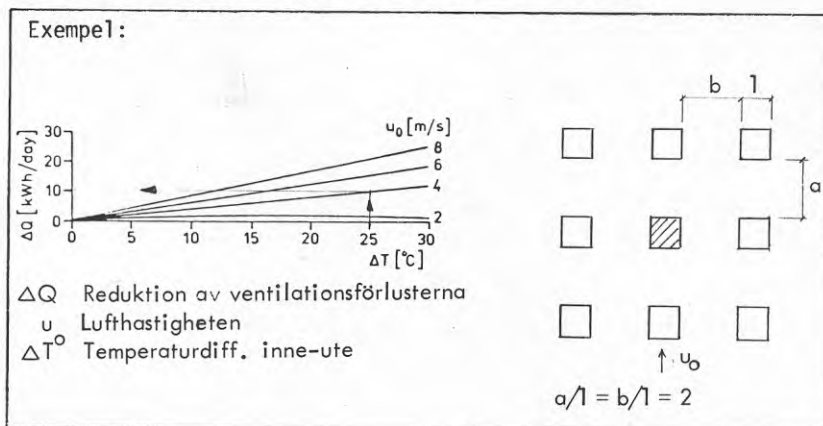
β kan variera mellan 0,5 och 1 beroende på om strömningen är turbulent eller laminär. Försök har gett vid handen att $\beta = 2/3$ är ett rimligt överslagsvärde.

A beräknas med utgångspunkt från gjorda mätningar av läckflödet q_l

$$A = \frac{q_l}{(\Delta p_l)^\beta}$$

Δp är den totala tryckdifferensen, orsakad av termik, vind och fläktkrafter, över byggnadselementet.

- Reduktion av ventilationsförlusterna i ett självdragsventilerat småhus som skyddas av omgivande bebyggelse.



Figur 7.4 Reduktion av ventilationsförluster

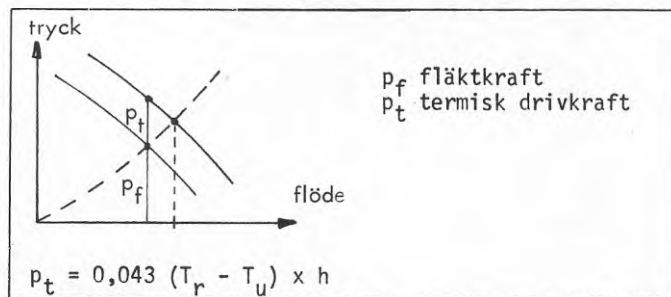
Diagrammet gäller för den skrafferade byggnaden i ovanstående husformation. Byggnaderna i exemplet består av två plan om 100 m^2 resp 60 m^2 . Bostadsvolymen är 400 m^3 .

Vid $\Delta T =$ (temperaturdifferens inne-ute) $= 25^\circ\text{C}$ och vindhastigheten 4 m/s reduceras ventilationsförlusterna med 10 kWh/dag jämfört med om huset utsätts för direkt påblåsning.

För beräkning av andra husformationer, se Wirén (12).

- Termikens inverkan vid F-system

Ventilationen i låga byggnader påverkas inte nämnvärt av utetemperaturen. Vid höga hus och svaga frånluftsfläktar måste dock en bedömning göras från fall till fall.



Exempel

En extrem vinterdag med $T_r - T_u = 293 - 253 = 40$ K erhålles för en 18 m hög byggnad (6 vån) $p_t = 0,043 \times 40 \times 18 = \underline{30 \text{ Pa}}$.

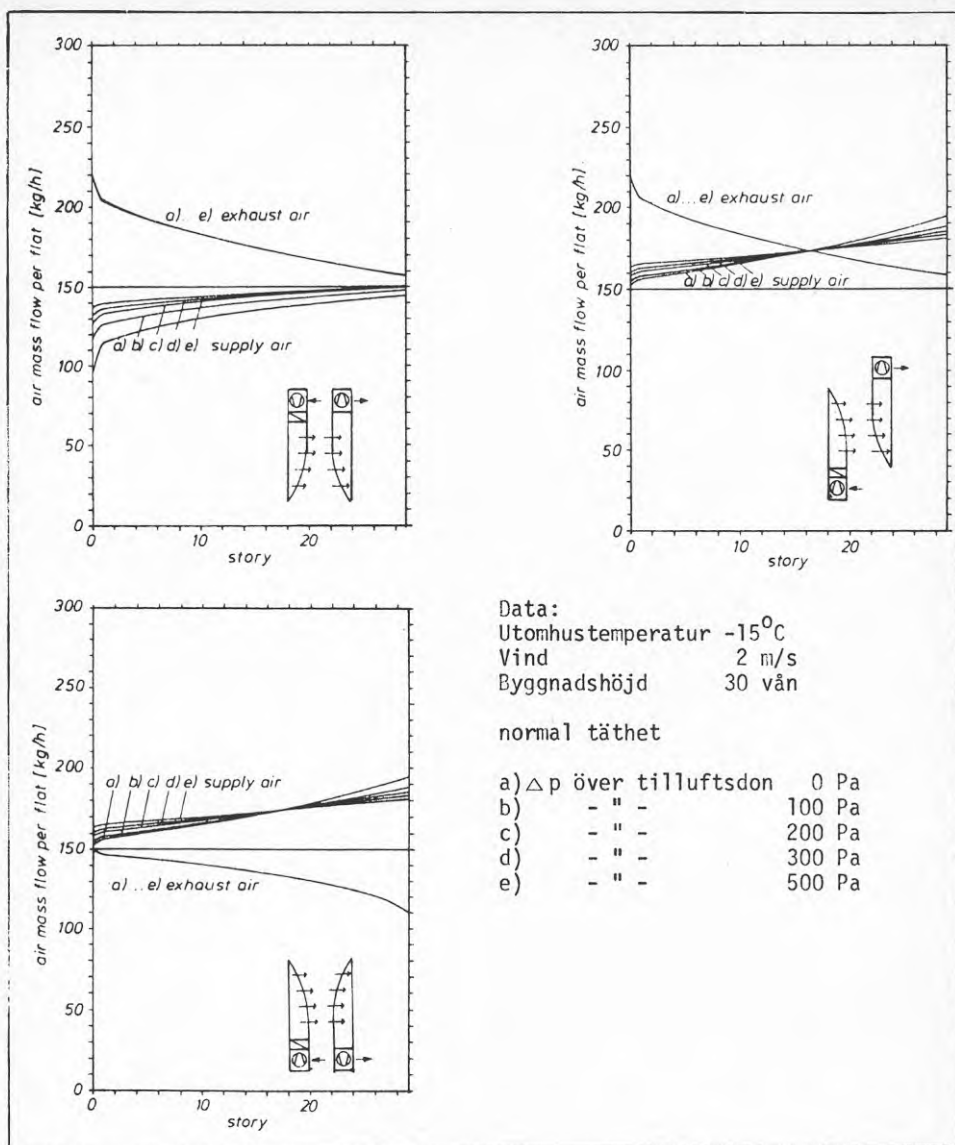
Den termiska drivkraften blir alltså i detta fall 30 Pa vilket innebär att den sammansatta drivkraften förskjuts 30 Pa uppåt i ovanstående figur. Beroende på flätkurvans utseende och dimensionerande arbetspunkt kan detta innebära en anseelig förändring av luftflödet. Då termiken medför en luftmängdsförändring av 10% eller mer är den att betrakta som betydelsefull.

Ju flackare flätkurvan är desto mindre inverkar tryckfallet över klimatskärmen men desto svårare är det att justera anläggningen.

- Störningar av ventilationen i ett höghus med hänsyn till placering av fläktar och tryckfall över tilluftsdon, se figur 7.5.

Några kommentare till figuren:

- Skillnaden mellan tilluft- och frånluftflöde utgörs av oavsiktlig ventilation.
- Avvikelsen mellan dimensionerat och verkligt luftflöde blir större ju längre ifrån fläkten man kommer.
- Det av den termiska drivkraften förorsakade undertrycket och det därmed följande läckaget minskar när strömningsmotståndet över till- eller frånluftsdonen ökar. Högt tryckfall över donen medför dock risk för hög ljudnivå.
- Infiltrationen blir störst då fläktarna är belägna upp-till i byggnaden eftersom frånluftsfördet då ökar och till-luftsfördet minskar. Det motsatta gäller då fläktarna är placerade nedtill.
- System med fläktarna nedtill i byggnaden blir känsliga för störningar av vinden.
- System med fläktarna upp-till i byggnaden blir mer känsliga för störningar nedtill i huset, t ex läckande ytterdörr.



Figur 7.5 Luftflöde som funktion av höjd i byggnaden vid vinterförhållanden och olika fläktplaceringar och olika tryckfall över tilluftsdonen
 Källa Feustel (40)

7.3 Luftkvalitet

Krav i SBN 1980

- | | | |
|---|----------------------------|--------|
| 1 | Kontinuerlig luftväxling | kap 36 |
| 2 | Forcering av frånluftflöde | kap 36 |
| 3 | Tilluftens kvalitet | kap 36 |

Kraven på den inre miljön i bostäder regleras av Svensk byggnorm. Ovanstående krav berör luftkvaliteten i bostaden och måste beaktas vid projektering av ventilationssystem.

Att beakta

- . Tilluftens kvalitet
 - luftintagens placering
 - föroreningar i utomhusluften
- . Interna föroreningar
 - formaldehyd
 - radon
 - m m
- . Luftväxling
 - strömningsriktning
 - forceringsflöden
 - luftutbyteseffektivitet

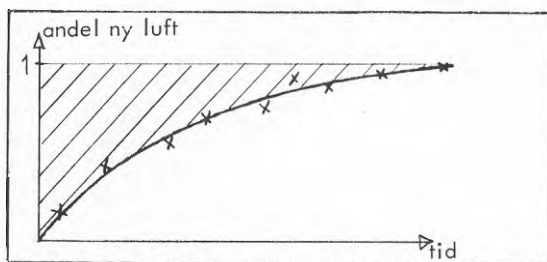
Erfarenheter

- . Luften skall i första hand tillföras sovrum och vardagrump och föras som överluft till mera förorenade rum såsom kök, bad och WC.
- . Olikheter i injusterade ventilationsflöden eller olika täthet i ytterväggen medför olika stort undertryck i lägenheterna. Detta leder till luktspridning såväl mellan som inom olika våningsplan. Om ett fönster öppnas utjämnas trycket i lägenheten och risken för luktspridning ökar.
- . Uteluftflödet bör uppgå till minst 5-6 l/s och person för att hålla luktnivån (CO₂-halten) inomhus på ett rimligt lågt värde.
- . Hus som besväras av trafikavgaser och liknande måste förses med någon form av FT-ventilation.
- . Man skall sträva mot att få en hög luftutbyteseffektivitet. Detta innebär ett effektivt utnyttjande av den tillförda luften och att rumsluften byts ut snabbt. För att uppnå en luftströmning som närmar sig förskjutningsströmning som ger den bästa luftutbyteseffektiviteten måste luftflödet verka mot de termiska krafterna d v s
 - a) övertempererad tilluft vid tak och frånluft vid golv
 - b) undertempererad tilluft vid golv och frånluft vid tak.
- . Nordiska kommittén för byggbestämmelser (NKB) anser ventilation typ F med frånluftsdon i varje sovrum samt ventilation typ FT är acceptabla system i bostäder.

- . Placera luftintag så högt som möjligt och mot gårdssidan, dock inte i förhärskande vindriktning.
- . Luftens strömningsriktning bör vara densamma som föroreningarnas naturliga utbredningsriktning.
- . Den mest effektiva evakueringen av lätta föroreningar ger ett system med diffus tillförsel av luft vid golvet och med utsugning i taknivå. För att få en tillfredsställande effektivitet med denna donplacering krävs dock ett visst minsta tilluftsflöde.
- . Med ett FT-system ges största möjligheten att garantera en acceptabel luftomsättning.

Mätmetoder

Luftutbyteseffektiviteten (ϵ_a) kan bestämmas genom mätningar i frånluften. Från tiden $t = 0$ förses tilluften med spårgas av koncentrationen c . Mängden spårgas i rummet blir då ett mått på andelen ny luft i rummet. Genom att kontinuerligt mäta spårgaskoncentrationen i frånluften $c_f(t)$ kan andelen ny luft i rummet beräknas som skillnaden mellan tillförd och evakuerad mängd spårgas. På detta sätt erhålls ett antal punkter på "ventilationskurvan" som då kan ritas upp, se nedanstående figur.



Figur 7.6 Ventilationskurva

Genom att beräkna den streckade ytan ovan "ventilationskurvan" i figur 7.6 erhålles ϵ_a enligt formeln

$$\epsilon_a = \frac{\tau n/2}{\bar{\tau}}$$

där $\bar{\tau}$ motsvarar den streckade ytan

$\tau n/2$ minsta möjliga medelålder för rumsluft (kolvströmning)

För bestämning av luftens medelålder i rummet finns en godkänd Nordtest NT VVS 019.

7.4 Termiskt inomhusklimat

Krav i SBN 1980

- | | |
|------------------------|--------|
| 1 Operativ temperatur | kap 35 |
| 2 Temperaturgradienter | kap 35 |
| 3 Yttemperatur på golv | kap 35 |

Det termiska inomhusklimatet karakteriseras av en kombination av lufttemperatur, luftfuktighet, strålningstemperatur och luftfuktighet. Vid för övrigt lika förhållanden kan varierande klimatkomfort uppkomma inomhus beroende t ex på hur tilluften fördelas i rummet, luftens blandningsgrad samt till- och frånluftdonens placering.

Att beakta

- . Operativ temperatur
 - lufttemperatur
 - yttemperatur
- . Drag
 - inblåsningshastighet, typ av don
 - kallras
 - temperaturgradienter, donplacering
 - infiltration
 - nedslag i vistelsezonen
 - hinder för luftstrålens utbredning

Erfarenheter

- . En avvikelse i riktad operativ temperatur på 2°C för två olika riktningar i samma punkt vid en lufttemperatur av +20°C är tillräcklig för att upplevas som diskomfort.
- . Kallrasskydd under fönster är nödvändigt även om SBN 1980 följs beträffande tätning och isolering.
- . F-system med tilluftsdon i fasad orsakar ofta drag. SIB har undersökt don för F- och S-system bl a med avseende på luftströmningsbilden. Mätningar av luftströmningsbilden har utförts för ett flertal dontyper varvid man funnit att ett tallriksformat don som pressar tilluften in mot väggen har de största förutsättningarna att klara gällande dragkriterier.
- . Vid bakkantsinblåsning krävs noggrann kontroll av luftdonens kastlängder.
- . Inblåsning av övertempererad luft i framkant vid tak medför stagnationszoner och höga temperaturgradienter.
- . Vid bakkantsinblåsning fås vid för hög inblåsningshastighet ett forcerat kallras.
- . För bostadshus utförda enligt SBN 1980 erfordras normalt inte någon kontroll av operativa temperaturen.
- . Vid framkantsinblåsning bakom radiator måste impulsen, d v s

hastigheten i tilluftstrålen, vara tämligen hög samtidigt som undertemperaturen ej är för stor för att en god funktion skall erhållas.

- . Ett luftvärmesystem, som i princip är ett FT-system med övertempererad tilluft, har sina fördelar främst i ett tätt och välisolerat hus eftersom luftflödenas storlek och temperatur där kan hållas tämligen låga.

Mätmetoder

Den operativa temperaturen kan mätas med sk globtermometer. Riktad operativ temperatur mäts med kubtermometer.

Man kan också bestämma den strålände ytans temperatur med en kontakttermometer och därefter beräkna den operativa temperaturen enligt Statens planverks kommentarsamling 1981.

Mätning av små luftrörelser i lokaler kan ske med varmtrådsanemometer eller rökampuller. Mätning av hastigheter $\leq 0,2$ m/s är tidsödande och mätfelet är ungefär 0,05 m/s.

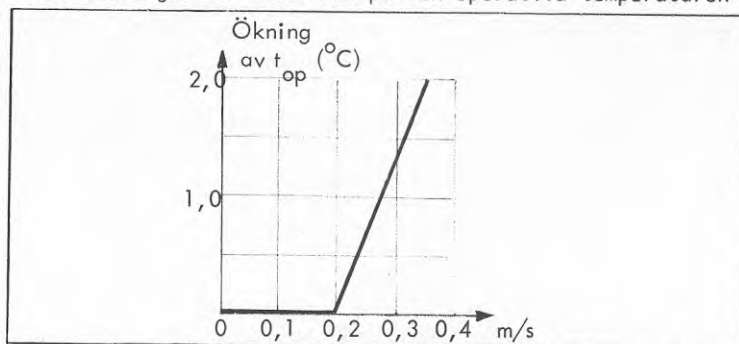
Projekteringshjälpmedel

- . Riktad operativ temperatur $\bar{t}_{op} = 0,5 \times (t_1 + \bar{t}_y)$

där t_1 är luftens temperatur i viss kontrollpunkt ($^{\circ}\text{C}$)
 \bar{t}_y är den riktade medelstrålningstemperaturen i en viss kontrollpunkt mot rummets begränsningsytor ($^{\circ}\text{C}$)

Beräkning av operativ temperatur kan ske enligt SBN Kommentarsamling 1981.

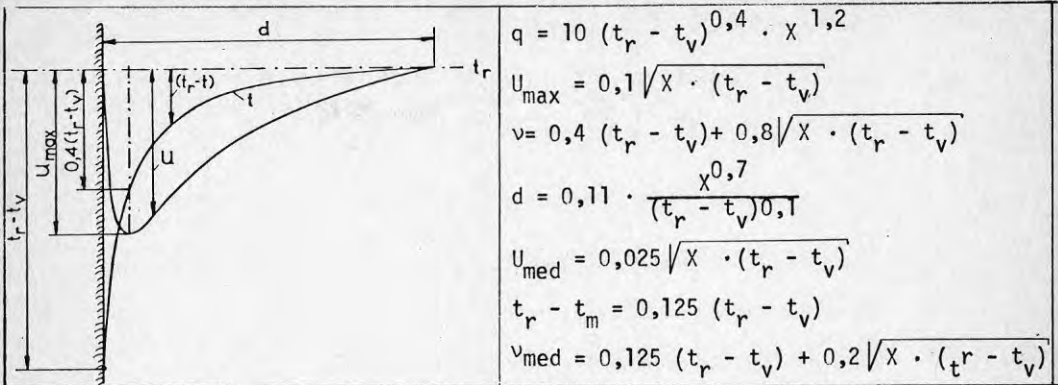
- . Lufthastighetens inverkan på den operativa temperaturen



Figur 7.7 Den riktade operativa temperaturens beroende av lufthastigheten. Vid värden större än 0,35 m/s måste särskild utredning vidtas

De godtagna dimensionerade värden på riktad operativ temperatur som anges i SBN 1980 gäller för lufthastigheter understigande 0,2 m/s. Vid högre lufthastigheter måste dessa värden korrigeras enligt figur 7.7.

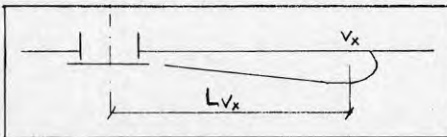
. Kallras



- v maximala effektiva undertemperaturen i gränsskiktet ($^{\circ}\text{C}$)
- v_{med} effektiva undertemperaturens medelvärde i gränsskiktet ($^{\circ}\text{C}$)
- x avståndet från fönstrets överkant (m)
- t_v den kalla ytans temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
- t_m gränsskiktets medeltemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
- t_r rumtemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
- d gränsskiktets tjocklek (m)
- u_{\max} maximala lufthastigheten i gränsskiktet (m/s)
- q totala luftflöde per meter fönsterbredd ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$)
- u_{med} medelhastigheten i gränsskiktet (m/s)

Figur 7.8 Hastighets- och temperaturfördelningen i gränsskiktet

. Omräkning av kastlängd



- Axelsymmetrisk stråle t ex för fri stråle $L_{v_x} = L_{0,2} \times \frac{0,2}{v_x}$
 och radiell stråle, t ex takspridare
- Plan stråle, t ex lång spalt $L_{v_x} = L_{0,2} \times \left(\frac{0,2}{v_x}\right)^2$

Vid inblåsning längs en takyta uppträder den s k coandaeffekten, som gör att luftstrålen häftar vid ytan och att kastlängden ökar

$$L_{0,2(c)} = 1,25 \times L_{0,2}$$

L_{V_x} = kastlängd vid sluthastigheten V_x m/s

$L_{0,2}$ = kastlängd vid sluthastigheten 0,2 m/s

$L_{0,2(c)}$ = kastlängd vid sluthastigheten 0,2 m/s då coanda-effekten utnyttjas

- Beräkning av luftstrålars längd

Tilluftsdon med axelsymmetrisk stråle $\frac{v_x}{v_0} = K_1 \cdot \frac{\sqrt{A_{eff}}}{x}$

Tilluftsdon med plan stråle (genom långa spalter)

$$\frac{v_x}{v_0} = \sqrt{K_2 \cdot \frac{b}{x}}$$

Tilluftsdon med radiell stråle (genom cirk.spalt)

$$\frac{v_x}{v_0} = K_3 \cdot \frac{\sqrt{A_{eff}}}{x}$$

v_x = högsta hastighet i luftstrålen på avståndet x (m/s)

v_0 = hastighet i donets utlopp (m/s)

A_{eff} = donets effektiva utloppsarea (m^2)

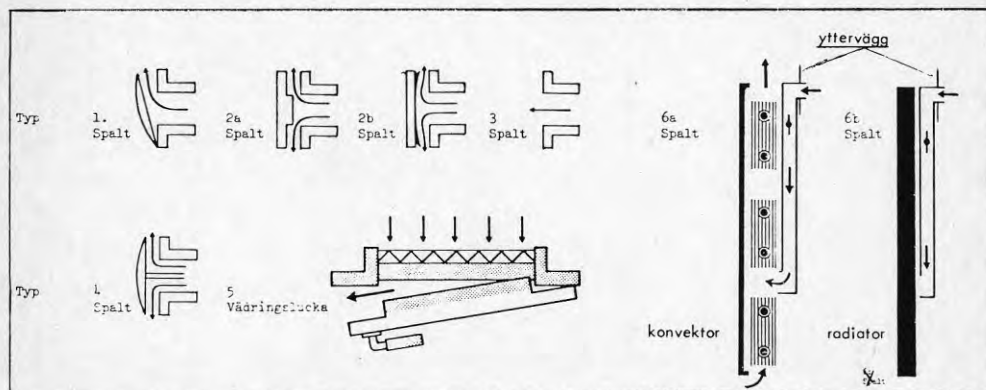
b = strålens begynnelsejocklek (m)

x = avstånd från donet (m)

K = donkoefficient, $K_1 = 6 - 8$, $K_2 = 6 - 8$, $K_3 = ca 1$ (dimensionslöst)

. Tilluftsdon för S- och F-system (uteluftsdon)

Sammanfattning av SIB's undersökningar av don för F- och S-system. Undersökningen visar klart på svårigheten att utan besvärande drag tillföra erforderlig mängd luft genom tilluftsdonen. Källa Eriksson (29).



Figur 7.9 Undersökta dontyper

Placering	Tilluftsflöde m ³ /h	Under fönster						Över fönster					
		30			15			30			15		
Tilluftstemp °C		+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20
TYP 1		+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-
TYP 2a		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
TYP 2b		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
TYP 3		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
TYP 4								+	+	+	+	+	+
TYP 5		+	-	-	+	-	-						
TYP 6a	80°	-	+	+	-	+	+						
	60°	-	-	-	-	+	+						
TYP 6b		-	-	-	+	+	+						

+ hastigheten i vistelsezonen < 0,15 m/s
 - hastigheten i vistelsezonen > 0,15 m/s

Tabell 7.1 Sammanställning av undersökta dontyper och installationsfall

Dontyp 4 som är utformat som en tallrik pressar tilluften in mot väggen och är den enda dontyp som klarat alla prov. Radialators konvektionsvärme påverkar luftströmmen positivt vilket medför att luft med hastigheten ≥ 15 cm/s ej uppmätts i vistelsezonen i något testfall.

7.5 Akustiskt klimat

Krav i SBN 1980

- | | | |
|---|----------------|-----------|
| 1 | Ljudisolering | kap 34:21 |
| 2 | Efterklangstid | kap 34:22 |
| 3 | Ljudnivå | kap 34:23 |

Byggnader som innehåller rum där personer stadigvarande vistas skall utformas och anordnas med hänsyn till utomhus förekommande störningskällor. Byggnader skall vidare anordnas så, att uppkomst och spridning av störande ljud i skälig grad förhindras.

Att beakta

- . Ljud från installationer
 - hastighet i kanal
 - spjäll
 - egenljudalstring i don
 - fläktljud
 - installationernas krav på stommen
- . Vibrationer
 - fläktar, kompressorer, värmepumpar
 - anslutande ledningar
- . Andra störningskällor
 - ljudnivå utomhus
 - överhörning
 - ljudtransmission genom väggar m m

Erfarenheter

- . Små otätheter i kanaler ger upphov till ljudalstring.
- . Flexibla kanaler ger hög ljudalstring.
- . Undvik hastigheter i grenkanaler överstigande 3-4 m/s.
- . Välj lämpliga ljuddämpare med hänsyn till överhörning, vilken ofta är avgörande för den akustiska planeringen.
- . Risk för vibrationer föreligger vid bristfällig uppställning av aggregat. Undvik maskinuppställning på lätta bjälklag.
- . Se till att tillräckligt utrymme finns för ljuddämpare i aggregatrummet. Utrymme för ljuddämpare måste också reserveras ovan ev undertak.
- . Vid tilluftsdon i fasad bryts luftljudsisoleringen. Detta kan omöjliggöra installation av ett F-system.
- . Skilj mellan ljudeffektnivå L_W och ljudtrycksnivå L_p . För att beräkna L_p får L_W omräknas med kännedom om ljudkällans placering, rumsstorlek, absorption och mätavstånd samt kanalernas dämpning.

- . Placering av luftdon i vinkel eller hörn är ogynnsamt från ljudsynpunkt.
- . Luftdonens ljudnivå skall korrigeras för antalet, placeringar och rumsabsorptionen.
- . Planera ventilationssystem med marginal mot ljudkraven och beakta all utrustning, alla ljudaspekter och alla spridningsvägar.

Projekteringshjälpmedel

- . Beräkning av ljudeffektnivån hos en fläkt

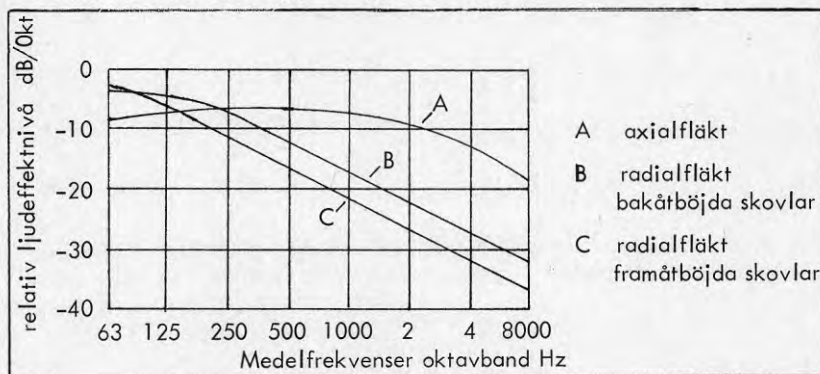
Då värden på ljudeffektnivån hos en fläkt inte finns tillgängliga eller då man vill kontrollera ett av tillverkaren angivet värde kan ljudeffektnivån beräknas med en noggrannhet ± 4 dB enligt

$$L_{W_{tot}} = 40 + 20 \log P_t + 10 \log q \quad \text{dB}$$

$$P_t = \text{fläktens totaltryck (Pa)}$$

$$q = \text{luftflödet (m}^3/\text{s)}$$

- . Oktavbandsfördelning av ljudeffektnivån



Figur 7.10 Oktavbandsfördelning av ljudeffektnivån för olika fläkttypen

- . Ljudalstring i raka kanaler

$$L_{W_{tot}} = 10 + 10 \log A + 50 \log v$$

$$L_{W_{tot}} = \text{totala ljudeffektnivån (dB)}$$

$$A = \text{kanalens tvärsnittsarea (m}^2\text{)}$$

$$v = \text{lufthastigheten (m/s)}$$

. Ljudalstring i spjäll

I första hand bör ljuddata som publicerats av spjälltillverkaren användas. Saknas uppgifter kan följande förenklade samband användas.

$$L_{W_{tot}} = 6 + 26 \log p + 10 \log \left(\frac{q}{1000} \right)$$

$$L_{W_{tot}} = \text{totala ljudeffektnivån (dB)}$$

$$p = \text{tryckfall (Pa)}$$

$$q = \text{luftflöde (m}^3/\text{h)}$$

. Komponenters hastighetsberoende

Ljudalstringen i olika komponenter är hastighetsberoende. Som en grov bedömningsgrund kan följande värden användas.

Komponent	Hastighetsberoende	Ljudnivåhöjning vid dubbling av hastigheten
Fläkt	v^5	15 dB
Kanal	v	15 dB
Böjar		2 dB
Spjäll	v^8	24 dB
Don	$v^5 \sim v^6$	15 - 18 dB
Diffusor	v^4	12 dB

Mätmetoder

Ljudmätningar i fält följer standardiserade eller rekommenderade metoder.

Följande regler tillämpas för närvarande:

- Luftljudisolering, SIS 025254, SIS 025253
- Stegljudisolering, SIS 025254
- Ljudnivå inomhus, Statens Provningsanstalt cirkulär 40
- Efterklangtid, SIS 025254, Statens Provningsanstalt cirkulär 40 och rapport 1982:40, ISO 3382
- Ljudnivå utomhus, SNV PM 877, SNV PM 1388

7.6 Energihushållning

Krav i SBN 1990

- 1 Reducering av uteluftflödet skall vara möjligt kap 39
- 2 Injustering kap 39
- 3 Värmeåtervinning kap 39
- 4 Okontrollerad värmeavgivning kap 39

En luftbehandlingsanläggning för bl a bostäder skall förse med lämpliga anordningar för värmeåtervinning om

- värmeinnehållet i avluften överstiger uteluftens värmeinnehåll mer än 50 MWh/år
- återvunnen energi kan nyttiggöras

En luftbehandlingsinstallation skall utformas och anordnas så, att den kan injusteras och den skall förses med för injustering erforderliga strypanordningar, mätuttag, mätsträckor o dyl.

Att beakta

- . Kanaler
 - täthet
 - isolering
 - placering
- . Värmeåtervinning
 - typ av vvx (alt. fvp)
 - optimering
 - verkningsgrad
 - åtkomlighet
 - överföring av föroreningar
- . Injustering

Erfarenheter

- . Vid FT-ventilation är värmeåtervinning med en temperaturverkningsgrad $\geq 60\%$ ur frånluft exempel på en godkänd lösning.
- . Vid F- eller FT-ventilation kan värmeåtervinning ur frånluft till tappvarmvatten ske med hjälp av värmepump.
- . Kanalsystemet skall utföras lägst i täthetsklass B. Vid transport av förvärmad luft eller frånluft vars energi skall återvinnas bör kanalsystemet utföras i täthetsklass C.
- . Då donen ej är försedda med mätuttag, se till att normala mätsträckor erhålls så att mätning och injustering enkelt kan göras.
- . Kanal förlagd i bjälklaget skall isoleras så att värmeavgivning nedåt i bjälklaget minimeras (småhus).
- . Roterande värmeväxlare kan medföra problem med överföring av lukter och föroreningar från frånluft till tilluft.
- . Lönsamheten för värmeåtervinningsåtgärder ökar om aggregatenheter är stora och drifttiderna långa.
- . Erforderligt utrymme kring installationsdelar som behöver tillsyn och skötsel måste beaktas. Det gäller bl a takförlagda fläktrum som skall vara lätt tillgängliga för servicepersonal.
- . Bristfällig isolering av kanaler i kalla utrymmen ger dålig energihushållning.
- . Vissa typer av värmeväxlare, t ex platt- och rörvärmväxlare måste ibland förses med skydd mot påfrostning. Det är då viktigt att avfrostningsenheten injusteras riktigt för erhållande av en optimal årsverkningsgrad.

- . En värmväxlarens verkningsgrad minskar med sjunkande utomhustemperatur. Undersökningar har visat att för ett vätskekopplat system utan nedshuntning av värmebärarflödet minskar verkningsgraden med ca 0,4%-enheter per °C. Ref. Norin F (41).
- . Dålig injustering är en anledning till att förväntad energibesparing inte uppnås.
- . Den oavsiktliga ventilationen måste vara liten om fördelarna med värmeåtervinning ska kunna utnyttjas.
- . Ventilationssystem som arbetar enligt självdraingsprincipen medger normalt ingen värmeåtervinning.
- . Beräkning av en byggnads energiförluster utan hänsyn till luftläckningen eller med ett luftomsättningstal som sätts konstant över året överensstämmer inte med verkligheten och är av ringa värde.
- . Enligt Nylund (7) kan man vid ett F-system inte åstadkomma någon väsentlig energibesparing med tätningsåtgärder. Överstiger ventilationen 0,5 oms/h är det enklare och billigare att justera luftflöden och varva ner fläktarna. Nylund menar att detta är en huvudregel som gäller då tryckfallet över ytterväggen i övre våningen överstiger 10 Pa.
- . Generellt kan sägas att all frånluft i någon mån är smutsig. Den installerade värmväxlaren måste därför ha goda inspektions- och servicemöjligheter och utrymmen för att möjliggöra dammsugning eller renspolning.

Projekteringshjälpmedel

- . Temperaturverkningsgrad

$$\eta_t = \frac{t_{tu} - t_{ti}}{t_{fi} - t_{ti}} = \left(\frac{\text{tillluftens temperaturhöjning}}{\text{maximal temperaturdifferens}} \right)$$

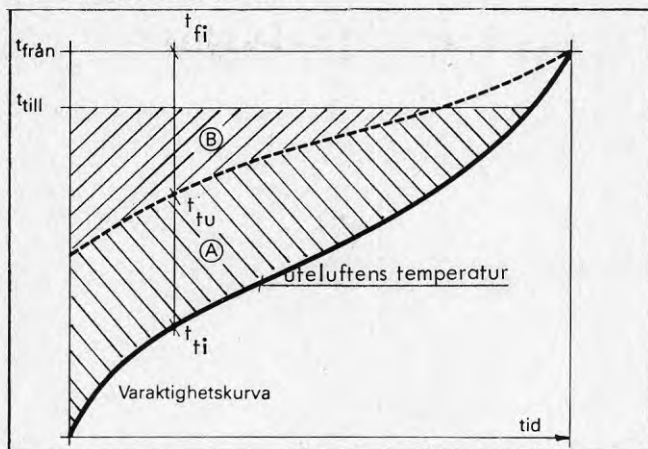
t_{ti} = inkommande tillluftens temperatur

t_{tu} = utgående tillluftens temperatur

t_{fi} = inkommande frånluftens temperatur

. Energibesparing

Energibesparing kan beräknas utifrån varaktighetsdiagrammet för den aktuella orten.



Energibehovet utan värmeåtervinning är proportionellt mot summan av ytorna A och B.

Energibehovet med värmeåtervinning är proportionellt mot ytan B.

Energibesparingen är alltså proportionellt mot ytan A.

. Värmepumpens värmefaktor

Värmepumpen kan betraktas som ett specialfall av de indirekta rekuperativa värmeväxlarna. En från ekonomisk synpunkt god värmepump avger mycket värme till uppvärmningsändamål i förhållande till tillförd elenergi för driften av kompressorn. Förhållandet mellan energi för uppvärmningsändamål och drivenergi anger systemets värmefaktor.

$$\varphi = \frac{q_1}{e_t} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \times \eta$$

q_1 = värmeeffekt

e_t = driveffekt

φ = värmefaktor

T_1 = kondenseringstemp

T_2 = förångningstemp

η = veckningsgrad

Värmepumpen skall arbeta vid så hög effekt som möjligt under så lång tid av året som möjligt för att få god lönsamhet.

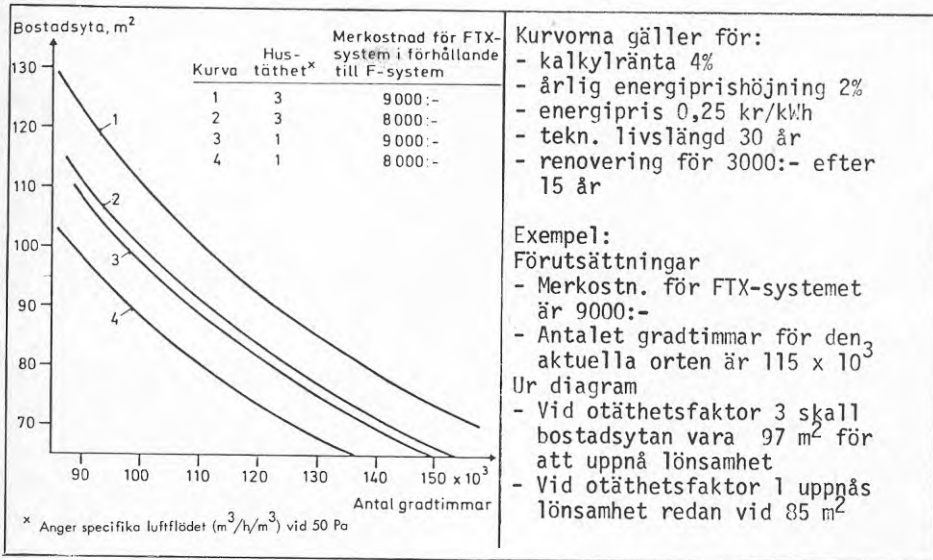
För att kunna bedöma en värmepumps lönsamhet krävs vetskap om anläggningens kapitalkostnad, energikostnad och underhållskostnad samt kunskap om finansieringsmöjligheter och lånebestämmelser.

Överslagsberäkningar visar att frånluften i ett flerbostads-

hus räcker för att en värmepump skall kunna försörja samma hus med tappvarmvatten. Räknat över året ger balansen ett överskott där varmvattnet representerar 60-80% av möjlig värmeproduktion. Resterande värme kan eventuellt användas för värmning av byggnad.

Frånluftsvärmepumpar dimensioneras normalt för en avluftstemperatur av ca $+5^{\circ}\text{C}$ till $+7^{\circ}\text{C}$.

. Lönsamhetsbedömning - värmeåtervinning (småhus)

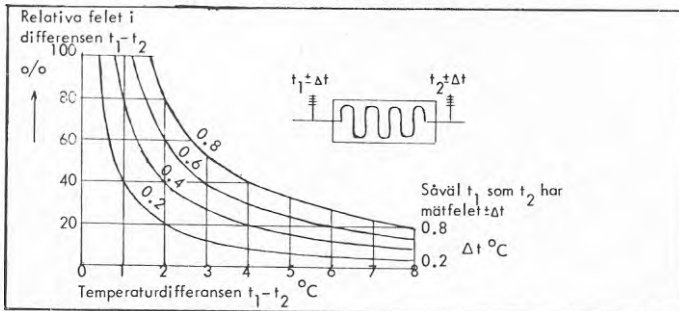


Källa: Svensson (37)

Mätmetoder

Temperaturverkningsgraden bestäms genom mätningar av temperaturerna i frånluftskanal, utluftskanal före värmväxlare och tilluftskanal efter värmväxlare.

Då man skall bestämma en storhet som inte är direkt mätbar utan måste beräknas ur flera uppmätta värden är det viktigt att ha grepp om felet i mätvärdena.



Figur 7.11 Felet vid bestämning av en temperaturdifferens

8 LITTERATUR

Byggnadens utformning

- 1 Peterson F, 1980. Planform och energibehov. Tekn. Medd. nr 169, Uppv o ventilationsteknik, KTH. Stockholm
- 2 Peterson F, 1976. Byggnadens form med hänsyn till energibehovet för uppvärmning och ventilation. Tekn. Medd. nr 99, Uppv o ventilationsteknik, KTH, Stockholm
- 3 Svensk byggnorm, SBN 1980
- 4 Larm S, 1984. Ventilation i småhus - en systemanalys. Technical Report TR-S81.006, 18 sid. Stockholm
- 5 Nylund P O, 1979. Tjyvdrag och ventilation. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport T4:1979, 64 sid. Stockholm
- 6 Abel E m fl, 1978. Ofrivillig ventilation - förutsättningar och betydelse för byggnaders värmebalans. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport R34:1978, 101 sid. Stockholm
- 7 Nylund P O, 1984. Räkna med luftläckningen - samspel byggnad - ventilation. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport R1:1984, 105 sid. Stockholm
- 8 Peterson F och Ahlander G, 1982. Energiförbrukningens vindberoende - en undersökning i ett småhusområde. (KTH. Institutionen för uppvärmning- och ventilationsteknik). A4-serien nr 70, 110 sid. Stockholm
- 9 Adamson B. Lätta konstruktioner - bra eller dåligt för inomhusklimatet. (Industrigruppen för lätt byggeri) 32 sid. Västerås

Dimensionerande utomhusdata

- 10 Taesler R, 1972. Klimatdata för Sverige. (Statens råd för byggnadsforskning). T-skrift T2:1972. Stockholm
- 11 VVS-handboken - tabeller och diagram. 1974. Förlags AB VVS, Stockholm
- 12 Mirén B, 1984. Wind-pressure distributions and ventilation losses for a single-family house as influenced by surrounding buildings - a wind tunnel study. SIB. Gävle
- 13 Herrlin M, 1983. Luftströmning i byggnader. Uppv o ventilationsteknik, KTH, TM 268. Stockholm
- 14 Peterson F, 1982. Energiförbrukningens vindberoende. A4-serien nr 70. Uppv o ventilationsteknik, KTH, Stockholm

Luftkvalitet

- 15 Hygieniska gränsvärden, 1981. Arbetarskyddsstyrelsen (ASS). Föreskrift AFS 1981:8 och AFS 1981:21, Stockholm
- 16 Svensk byggnorm, SBN 1980
- 17 Malmström T-G, 1984. Nytt hjälpmedel för ventilationskonstruktörer. Installationsteknik, KTH, Stockholm
- 18 Sandberg M, 1983. Vad är ett effektivt ventilationssystem? VVS 1.83
- 19 Sandberg M, 1983. Ventilation efficiency as a guide to design. ASHRAE Transactions 1983, Vol. 89. Pt 2A & 2B
- 20 Sandberg M och Sjöberg M, 1983. The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms. Building and Environment. Vol. 18. No 4
- 21 Mierzwinsky S, 1980. Air motion and temperature distribution above a human body in result of natural convection. KTH. Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik. A4-serien nr 45
- 22 Malmström T-G, 1983. Luftflöden i byggnader. Installationsteknik, KTH. FkI. MG215. Stockholm
- 23 Sandberg M, 1982. Metod för bestämning av totalt tilluftsflöde med hjälp av spårgas. Statens institut för byggnadsforskning, Gävle
- 24 Sandberg M, 1984. Föroreningsexponeringar, luftens och föroreningars åldersfördelningar i ventilerade rum. KTH. Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik. TM nr 279-280. Stockholm

Termiskt klimat

- 25 Eriksson B, 1979. Mätning av termiskt inneklimat. Byggnadsforskningens informationsblad 1976:5. Reved. Stockholm
- 26 Mandorff S, 1977. Projekteringsmodell för inomhusklimat. VVS-tidningen nr 2, Stockholm
- 27 Kommentarsamling till Svensk byggnorm 1980
- 28 Peterson F, 1980. Dragrisker vid termisk komfort. KTH. Inst. för uppv o ventilationsteknik. A4-serien nr 44, Stockholm
- 29 Eriksson B, 1978. Undersökning av don för F- och S-system. Statens institut för byggnadsforskning, M78:19, Gävle
- 30 Rydberg J, 1963. Kallras vid fönster. KTH, Stockholm

Akustik

- 31 Karlén L, 1983. Akustik i rum och byggnader. Svensk Byggtjänst, Stockholm
- 32 Andersson J, 1978. Akustik och buller. Ingenjörsläroverket, Stockholm
- 33 Bernström R, 1984. Akustikplanering - krav och konsekvenser. (Förlags AB VVS). VVS & Energi 3:1984, Stockholm
- 34 Bernström R, 1984. Akustiska beräkningar och mätningar. (Förlags AB VVS). VVS & Energi 4:1984, Stockholm

Energihushållning

- 35 Svennberg S, 1983. Värmeåtervinning ur ventilationsluft. Byggeforskningsrådet, Rapport T14:1983, Stockholm
- 36 Olander L, 1982. Ventilation. Studentlitteratur, Lund
- 37 Värmeåtervinning, 1981. (Förlags AB VVS). VVS-Special 1:1981, Stockholm
- 38 Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer. Byggeforskningsrådet T32:1982
- 39 Svensson A, 1983. Värmeåtervinning ur ventilationsluft. Statens institut för byggnadsforskning, Gävle
- 40 H Feustel och H Esdorn, 1982. Mass flow distribution in highrise buildings with forced ventilation systems. System Simulation in Buildings, Liège, 1982
- 41 Norin F och Abrahamsson M, 1983. Verkningsgrad i återvinningssystem. (Förlags AB VVS). VVS & Energi 9:1983, Stockholm





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830666-6
från Statens råd för byggnadsforskning till Wahlings
Installationsutveckling AB, Danderyd.**

R62: 1985

ISBN 91-540-4398-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705062

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 35 kr exkl moms