

# Självdraagsventilation i flerbostadshus

Förutsättningar och möjliga  
förbättringsåtgärder

*Carolina Faraguna*

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2012  
Rapport TVIT--12/5039



## Lunds Universitet

Lunds Universitet, med åtta fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 112 000 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 800 anställda och 47 000 studerande som deltar i ett 280 utbildningsprogram och ca 2 200 fristående kurser.

## Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

# Självdraagsventilation i flerbostadshus

Förutsättningar och möjliga  
förbättringsåtgärder

*Carolina Faraguna*

© *Carolina Faraguna*  
ISRN LUTVDG/TVIT--12/5039--SE(174)

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
22100 LUND



# Sammanfattning

Ett ventilationssystem uppgift är att säkerställa att inomhusluften är hälsosam att inandas. Luftburna föroreningar och fukt ska föras bort och ersättas av renare uteluft utan att de boende upplever obehag. Luftväxlingen i en självdragsventilerad bostad är svårare att styra än i en fläktventilerad bostad eftersom den drivs av tryckskillnader orsakade av temperaturskillnaden mellan inne och ute samt av vinden. Detta innebär att ventilationsflödets storlek kan variera kraftigt under ett år såväl som under en dag.

I ett självdragssystem tas uteluften in i bostaden via uteluftsdon (tilluftsventiler) och läckage genom springor och otätheter i klimatskärmen. Läckage sker främst i anslutning till fönster. Många gånger saknas uteluftsdon och luft förs då enbart in via läckage.

Självdragssystem delas i två grupper – centraliserade eller decentraliserade. I ett decentraliserat system evakueras luft från samtliga rum i bostaden. I den modernare varianten av självdragssystemet, det centraliserade, tas frisk luft in genom de normalt renaste rummen, med avseende på luftkvalitet, sov- och vardagsrum, och ut från rummen med högst föroreningskoncentration, dvs. kök, badrum och toalett

I det decentraliserade systemet ska alla rum ska vara försedda med ett uteluftsdon eftersom det finns frånluftskanaler i varje rum. Om självdragssystemet är centraliserat får det inte finnas uteluftsdon i rum med frånluftskanaler, dvs. kök och badrum, på grund av risken för kortslutning.

Det finns olika typer av uteluftsdon men alla är inte lika lämpliga att använda i ett självdragssystem. Uteluftsdonets utformning och placering är avgörande för att lufttillförseln ska kunna ske dragfritt.

Syftet med detta examensarbete är att utreda vilka möjligheter det finns att förbättra befintligt självdragssystem i ett flerbostadshus för att erhålla en god ventilation året om. Utredningen baseras på en större litteraturstudie samt beräkningar med datorprogrammet PFS. Denna visade att rena och hela kanaler, uteluftsventiler i sov- och vardagsrum samt överluftsdon (dock endast i ett centraliserat självdragssystem) är en förutsättning för systemets funktion.

En vanlig orsak, till att ventilationen inte fungerar som avsett, är bristande underhåll. Många gånger likställs underhållsarbete med sk ”brandkårsutryckningar” dvs. att översyn och eventuella åtgärder sätts först in när en väsentlig funktion fallerar. Ventilationssystemet bör genomgå en årlig översyn, som även bör omfatta kontroll av läckage. Det finns flera olika metoder för tätning av befintliga kanaler. Tätningen kan ske utvändigt eller invändigt. Vilken metod som är lämpligast varierar från fall till fall.

En annan vanlig orsak till att ventilationen inte fungerar är felanvändning. De boende saknar ofta kunskap om hur systemet fungerar och hur det ska skötas och att deras beteende påverkar inomhusklimatet. Hyresgäster och lägenhetsinnehavare bör därför informeras om vad de kan göra för att bidra till en god ventilation och ett bra inomhusklimat. Främst

handlar det om att hålla rent och torrt. Detta kan sammanfattas i ett informationshäfte och delas ut till hushållen.

Det samlade drivtrycket i ett självdragssystem är normalt lågt vilket medför att systemet är känsligt för störningar. Ett vanligt problem i självdragsventilerade hus är att en yttre störning ändrar strömriktningen i frånluftskanalen, ett sk bakdrag. Risken för bakdrag gör att självdragssystem måste behandlas varsamt. Ingrepp i huset med syfte att minska energiförbrukningen eller förbättra den termiska och hygieniska miljön kan lätt få motsatt effekt. På grund av den stora risken för bakdrag bör det exempelvis inte finnas några hjälpfläktar i badrum och kök.

Vindförhållanden vid skortensmyningen har en mycket stor inverkan på luftväxlingen i en självdragsventilerad byggnad. Vinden kan skapa såväl under- som övertryck i kanalen. Härigenom finns en risk för både överventilering som bakdrag. Det undertryck som uppstår när vinden sveper över skorstenen kan nästan helt elimineras genom att förse ventilations-skorstenarna med turbulensbildande huvar. En sådan huv utjämnar även tryckskillnaden mellan de olika frånluftskanalerna och minskar därigenom risken för bakdrag.

Under varma dagar fungerar självdraget mindre bra eller inte alls. Ett vikande drivtryck kan kompenseras genom att installera en hjälpfläkt. Detta kallas fläktförstärkt självdrag (FFS). Denna fläkt ska inte köras kontinuerligt utan enbart förstärka ventilationsflödet när det termiska drivtrycket är otillräckligt. Fläkten placeras lämpligen i en samlingshuv, gemensam för flera frånluftskanaler, eftersom luftflödet måste forceras samtidigt i alla kanaler för att undvika bakdrag.

Ett alternativ till det konventionella självdragssystemet är fläktförstärkt styrd självdragsventilation (FSS) sk hybridventilation. Principen är att självdragssystemet kompletteras med utrustning, såsom huv, fläkt och temperaturstyrda tilluftsdon, för att reglera till- och frånluften. Syftet är att bibehålla självdragets fördelar samtidigt som dess nackdelar undanröjs. Huvn eliminerar vindens ejektorverkan och gör att endast den termiska drivkraften verkar på självdragssystemet. Fläkten kompenserar den minskande termiska drivkraften vid stigande utetemperaturer. Med automatiskt temperaturstyrda tilluftsdon fås en styrning av tilluften, rätt mängd tilluft tas in på rätt plats. Luftflöde som uppstår på grund av den termiska drivkraften kan på så sätt hållas konstant och risken för överventilering och drag minskar. Sammantaget kan ett jämt och normenligt ventilationsflöde erhållas under hela året. En annan fördel med detta system är att det säkerställer rätt flödesriktning, dvs. förhindrar bakdrag.

I datorsimuleringen med PFS behandlas en 3-rums lägenhet på våningsplan ett respektive fyra, i ett befintligt självdragsventilerat flerbostadshus från 1945, i Malmö. Beräkningarna bekräftade litteraturstudiens slutsats, att ett konventionellt självdragssystem behöver en hjälpande hand för att leverera ett stabilt och tillräckligt luftflöde året om.

# Förord

Detta examensarbete är utfört i samarbete med miljöförvaltningen i Malmö och avdelningen för installationsteknik, som är en del av institutionen för bygg- & miljöteknologi på LTH.

Först och främst vill jag rikta ett stort tack till mina båda handledare Greta Backteman och Birgitta Nordquist, för alla värdefulla synpunkter och kommentarer under arbetets gång.

Jag vill även tacka Stig Fritsch som tog sig tid att hjälpa mig reda ut en del frågetecken rörande OVK. Ett stort tack skall likaledes tillägnas Tora Kristiansen på V-husets bibliotek, som med stor entusiasm alltid ställt upp när jag behövt hennes hjälp.

Sist men inte minst vill vi tacka min sambo, Jakob Knudsen, och mina pojkar Nikolaj och Johannes för allt stöd och uppmuntran.



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>13</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	13
1.2	Syfte och metod . . . . .	14
1.3	Rapportens upplägg . . . . .	14
<b>2</b>	<b>Självdragssystemets drivkrafter</b>	<b>15</b>
2.1	Termisk drivkraft . . . . .	15
2.1.1	Neutrala lagret . . . . .	17
2.2	Vindtryck . . . . .	18
2.2.1	Vindhastighet . . . . .	18
2.2.2	Formfaktor . . . . .	19
2.3	Vindens inverkan vid anblåsning på vägg . . . . .	20
2.4	Vindens påverkan av skorstenstoppen . . . . .	21
2.5	Totala drivkraften . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Självdragssystemets utformning genom åren</b>	<b>23</b>
3.1	Ventilation vid lokal uppvärmning . . . . .	23
3.1.1	Ventilationskakelugn . . . . .	23
3.1.2	Kanalsystem . . . . .	24
3.2	Centralvärme i nya byggnader . . . . .	24
3.3	Centralvärme i äldre byggnader . . . . .	25
3.4	Decentraliserat eller centraliserat självdrag . . . . .	25
3.5	Fönster . . . . .	25
3.6	Uteluftsdon . . . . .	26
3.6.1	Klafflucka . . . . .	26
3.6.2	Linjär spalt, springventil . . . . .	27
3.6.3	Vädringsluckor och vädringsbeslag . . . . .	27
3.6.4	Borstlist i fönster . . . . .	28
3.7	Frånluftsdon . . . . .	28
3.7.1	Imlucka . . . . .	29
3.7.2	Imventil . . . . .	29
3.7.3	Tallriksventil . . . . .	29
3.7.4	Rosettventil . . . . .	29
3.8	Våtrum . . . . .	29
3.9	Kanalmaterial . . . . .	31

<b>4</b>	<b>Dimensionerande luftflöde</b>	<b>33</b>
4.1	Specifikt luftflöde . . . . .	33
4.2	Uteluftsflödet i självdragsventilerade bostäder . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Inomhusmiljön</b>	<b>35</b>
5.1	Luftkvalitet . . . . .	35
5.1.1	Partikelformiga föroreningar . . . . .	36
5.1.2	Gasformiga föroreningar . . . . .	37
5.1.2.1	Formaldehyd . . . . .	38
5.1.2.2	Förbränningsprodukter . . . . .	38
5.1.2.3	Ozon . . . . .	38
5.1.3	Koldioxid . . . . .	39
5.1.4	Radon . . . . .	40
5.2	Luftfuktighet . . . . .	41
5.2.1	Ånghalt . . . . .	41
5.2.2	Mättnadsånghalt . . . . .	43
5.2.3	Relativ fuktighet . . . . .	43
5.2.3.1	Relativ fuktighet utomhus . . . . .	44
5.2.3.2	Relativ fuktighet inomhus . . . . .	44
5.2.4	Fuktbuffering . . . . .	45
5.2.5	Besvär orsakade av luftfuktighet . . . . .	45
5.2.5.1	Besvär med torr luft . . . . .	46
5.2.5.2	Besvär med fuktig luft . . . . .	47
5.2.5.2.1	Kvalster . . . . .	47
5.2.5.2.2	Mögel . . . . .	47
5.3	Termisk miljö . . . . .	48
5.3.1	Kroppens värmeregleringssystem . . . . .	48
5.3.1.1	Ledning . . . . .	49
5.3.1.2	Konvektion . . . . .	50
5.3.1.3	Strålning . . . . .	50
5.3.1.4	Värme via andning . . . . .	50
5.3.1.5	Svett och avdunstning . . . . .	50
5.3.2	Klädselns termiska egenskaper . . . . .	52
5.3.3	Termisk komfort . . . . .	52
5.3.4	PMV- & PPD-index . . . . .	53
5.3.5	Operativ temperatur . . . . .	55
5.3.6	Lokalt obehag . . . . .	55
5.3.6.1	Drag . . . . .	55
5.3.6.2	Lokalt obehag orsakat av golv . . . . .	57
5.3.6.3	Strålningstemperatur . . . . .	58
5.3.6.4	Vertikal lufttemperaturskillnad . . . . .	58
5.4	Utredning av inomhusmiljön . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Problem och klagomål med självdragssystem</b>	<b>63</b>
6.1	Lukt och luktspridning . . . . .	63
6.2	Drag . . . . .	64
6.3	Hög luftfuktighet . . . . .	65

6.3.1	Ytkondens . . . . .	65
6.3.1.1	Ytkondens på glas . . . . .	67
6.3.1.1.1	Ytkondens på innerrutans insida . . . . .	67
6.3.1.1.2	Ytkondens på ytterrutans insida . . . . .	68
6.3.1.2	Badrum . . . . .	69
6.3.2	Fuktflöde genom material och byggnadskonstruktioner . . . . .	70
6.3.2.1	Diffusion . . . . .	71
6.3.2.2	Fuktkonvektion . . . . .	74
6.3.2.3	Diffusion eller konvektion? . . . . .	75
6.3.3	Kondens i vindsutrymmet . . . . .	75
6.3.3.1	Takkonstruktioner . . . . .	75
6.3.3.2	Problem med kalla tak . . . . .	76
6.4	Bakdrag . . . . .	77
6.4.1	Vindens påverkan vid skorstensmyningen . . . . .	78
6.4.2	Till- och frånluftdonens inställning . . . . .	78
6.4.2.1	Strypning av frånluftsdon . . . . .	78
6.4.2.2	Strypning av uteluftsdon . . . . .	79
6.4.3	Tätning av klimatskärm . . . . .	79
6.4.4	Punktvis forcering av luftflöde . . . . .	80
6.4.5	Häva bakdrag . . . . .	81
<b>7</b>	<b>Regler för och tillsyn av ventilation och inomhusmiljö</b>	<b>83</b>
7.1	Boverkets BBR och BÄR . . . . .	84
7.1.1	Obligatorisk funktionskontroll av ventilationssystem, OVK . . . . .	84
7.2	Miljönämnden . . . . .	85
7.2.1	Klagomål . . . . .	85
7.3	Socialstyrelsen . . . . .	86
7.4	Varbergsfallet, ett viktigt prejudikat . . . . .	86
7.4.1	Bakgrund . . . . .	86
7.4.2	Överklagan . . . . .	87
<b>8</b>	<b>Åtgärder</b>	<b>89</b>
8.1	Drift och underhåll . . . . .	89
8.2	Uteluftsdon . . . . .	91
8.2.1	Lufttillförsel . . . . .	91
8.2.2	Yttre påverkan . . . . .	93
8.2.2.1	Föroreningar i den yttre miljön . . . . .	93
8.2.2.1.1	Filter . . . . .	93
8.2.2.2	Buller i den yttre miljön . . . . .	93
8.2.2.3	Luftintagets placering . . . . .	94
8.2.3	Typ av uteluftsdon . . . . .	95
8.2.3.1	Inblåsning via radiatorn . . . . .	95
8.2.3.2	Intag av tilluft direkt genom yttervägg . . . . .	96
8.2.3.3	Utetemperaturstyrda don . . . . .	96
8.2.4	Överluftsdon . . . . .	97
8.2.5	Skafferiventil . . . . .	98
8.3	Tätning av befintliga kanaler . . . . .	99

8.3.1	Kanalers täthet . . . . .	99
8.3.2	Besiktning . . . . .	100
8.3.2.1	Täthetsprovning . . . . .	100
8.3.3	Val av tätningsmetod . . . . .	101
8.3.3.1	Tätning med Schädlermetoden . . . . .	102
8.3.3.2	Tätning med böjligt metallrör . . . . .	103
8.3.3.3	Tätning med aluminiumstrumpa . . . . .	104
8.3.3.4	Tätning med reliningstrumpa . . . . .	104
8.3.3.5	Tätning med krympbara skarvband . . . . .	105
8.3.3.6	Tätning med självvulkaniserande tätningstejp . . . . .	105
8.3.3.7	Tätning med ventilationskitt . . . . .	105
8.3.3.8	Tätning med pyroteknisk tätningsskarv . . . . .	105
8.4	Kolfilterfläkt . . . . .	106
8.5	Vädring . . . . .	106
8.6	Huv . . . . .	107
8.7	Fläktförstärkt självdrag . . . . .	109
8.7.1	Installation och drift . . . . .	109
8.7.2	Fläktförstärkning av decentraliserat självdrag . . . . .	110
8.8	Dragförstärkare . . . . .	111
8.9	Solskorsten . . . . .	111
8.10	Fläktförstärkt styrt självdrag . . . . .	112
8.10.1	Installation . . . . .	113
8.10.2	Verifikation av FSS-installation . . . . .	113
8.10.3	Värmeåtervinning . . . . .	113
<b>9</b>	<b>Numerisk analys av ett verkligt fall</b>	<b>117</b>
9.1	Byggnaden . . . . .	117
9.2	Dimensionerande ventilationsflöde . . . . .	118
9.3	Modell . . . . .	119
9.3.1	Drivkraft . . . . .	120
9.3.1.1	Annan drivkraft . . . . .	120
9.3.2	Läckage . . . . .	121
9.3.3	Uteluftsdon . . . . .	121
9.3.4	Innerdörrar . . . . .	123
9.3.5	Badrumsdörr . . . . .	123
9.3.6	Öppning mellan vardagsrum och hall . . . . .	124
9.3.7	Frånluftskanaler . . . . .	125
9.3.8	Galler i frånluftskanal . . . . .	125
9.3.9	Uteluftsdon i kök . . . . .	128
9.3.9.1	Klafflucka . . . . .	128
9.3.9.2	Kanal . . . . .	129
9.3.9.3	Galler med insektsnät . . . . .	129
9.3.10	Badrumsfläkt . . . . .	129
9.3.11	Spisfläkt . . . . .	130
9.3.12	Modeller för utvärdering av PFS resultat . . . . .	132
9.3.12.1	Fönster . . . . .	132



9.3.12.2	Flera parallella uteluftsdon . . . . .	132
9.4	Resultat och analys . . . . .	133
9.4.1	Grundfall . . . . .	133
9.4.2	Infiltration . . . . .	134
9.4.3	Punktutsugning . . . . .	137
9.4.4	Uteluftsdon . . . . .	141
9.4.5	Optimering av luftflöde med PFS . . . . .	146
9.4.5.1	Våningsplan 1 . . . . .	146
9.4.5.2	Våningsplan 4 . . . . .	147
9.4.5.3	Diskussion . . . . .	147
<b>10</b>	<b>Avslutande kommentarer</b>	<b>149</b>
	<b>Bilagor</b>	<b>163</b>
<b>A</b>	<b>Grundfall</b>	<b>165</b>
<b>B</b>	<b>Infiltration</b>	<b>167</b>
<b>C</b>	<b>Lokal forcering av luftflöde</b>	<b>169</b>
<b>D</b>	<b>Installation av uteluftsdon</b>	<b>171</b>
<b>E</b>	<b>Optimering av luftflöde</b>	<b>173</b>



# Kapitel 1

## Inledning

### 1.1 Bakgrund

Människan tillbringar idag ca 90% av sin tid inomhus varav en stor del i bostaden. Inomhusmiljön har således en stor betydelse för människans välbefinnande. En väl fungerande ventilation har en central roll i detta sammanhang.

Självdraagsventilation är ett vanligt förekommande ventilationssystem i det svenska bostadsbeståndet. Det är den helt dominerande formen av ventilation i äldre flerbostadshus. Så mycket som 85% av flerbostadshusen byggda före 1961 ventileras på detta sätt [1]. Miljöförvaltningen är den kommunala myndighet som har ansvar för tillsyn och utredning av inomhusmiljön i bostäder. Till miljöförvaltningen i Malmö kommer det in en mängd anmälningar om olägenheter i lägenheter med självdraagsventilation.

I ett självdraagsystem drivs ventilationen av temperaturskillnad mellan inne och ute i kombination med höjdskillnaden mellan luftintag och utsläpp samt vind. Det medför att luftväxlingen kan variera kraftigt under året. Störst luftväxling fås vid låga utetemperaturer i kombination med kraftig vind. Vintertid finns således en stor risk för överventilering som medför problem med drag och kyla. Under vår och höst, minskar temperaturskillnaden mellan inne- och uteluften varvid ventilationsflödet sjunker. Under sommaren, när temperaturskillnaden är nära noll, kan luftflödet bli mycket lågt. Det gäller i synnerhet om vinden är svag. Ett lågt eller inget ventilationsflöde, underventilering, resulterar i en ökad föroreningskoncentration och ökad risk för fukt- och mögelskador.

Anmälningarna till miljöförvaltningen överensstämmer med beskrivningen ovan. På sommaren är det främst låga luftflöden och dålig luftkvalitet samt fukt- och mögelproblem som anmäls till förvaltningen. Vid kallare väderlek rör anmälningarna främst problem som härrör från för höga luftflöden, dvs. kalla och dragiga rum.

Drivtrycket i ett självdraagsystem är lågt varför systemet är känsligt för ingrepp. Åtgärder som vidtas för att förbättra ventilation och inomhusmiljö kan lätt få motsatt effekt. Ett exempel på detta är tätning av klimatskärm med syfte att öka den termiska komforten och förbättra energihushållningen. Felaktigt utförd kan en sådan åtgärd resultera i för låga tilluftsflöden. Detta kan i sin tur leda till dålig luftkvalitet, kondens på fönster, bakdrag och i vissa fall medföra fukt- och mögelskador.

Boendevanor är inte heller alltid anpassade till byggnadens förutsättningar. Under åren har exempelvis våtrumsbelastningen ökat kraftigt och medfört behov av effektiv ventilation året runt.

Faktorer som ökade krav på termisk komfort, krav på energihushållning och ändrade boendevanor har ökat kraven på en väl fungerande ventilation. Väl fungerande betyder i många fall att det befintliga självdragssystemet måste förbättras.

## 1.2 Syfte och metod

Syftet med detta examensarbete är att ta fram faktaunderlag till miljöförvaltningen i Malmö för att de ska veta vilka krav som är rimliga och möjliga att ställa på fastighetsägaren. Det innebär att genom en litteraturstudie utförligt beskriva ett självdragssystemets uppbyggnad och dess drivkrafter samt ge en översikt över lämpliga åtgärder för att förbättra befintligt självdragssystem. Materialet som analyserats utgörs av litteratur jag hittat via olika databaser som Lovisa och MALIN men framförallt via litteraturens källförteckningar. Litteraturen som rör självdragssystem är tyvärr ofta av äldre datum vilket inneburit att det många gånger varit svårt och tidskrävande att hitta relevant litteratur. Examensarbetet omfattar även en numerisk analys av ett verkligt fall med datorprogrammet PFS. Analysen utförs för att visa på självdragssystemets komplexitet och svårigheterna att lösa problemen.

## 1.3 Rapportens upplägg

Rapporten är upplagd så att ventilationsystemets drivkrafter och uppbyggnad beskrivs i kapitel 2 respektive 3. Ventilationens primära uppgift är att se till att inomhusluften är hälsosam att inandas, utan att det påverkar den termiska komforten negativt. Det resulterande inomhusklimatet är en produkt av många faktorer. Information om vilket ventilationsflöde som är dimensionerande dvs. det luftflöde som krävs för att säkerställa ett gott inomhusklimat finns i kapitel 4. Här finns också information om vilka uteluftsflöden som mätts upp i svenska flerbostadshus med självdrag. I kapitel 5 återfinns en sammanställning av de faktorer som påverkar inomhusklimatet, hur de påverkar och resultatet av deras påverkan. Kapitlet är riktat till de som vill veta varför det är nödvändigt att ventileras.

I kapitel 6 beskrivs problem som är kopplade till självdragssystem. En av ventilationsystemets huvuduppgifter är föra bort den fukt som frigörs i bostaden så att fukt- och mögelskador inte uppstår. Eftersom självdragssystemets effektivitet varierar över året innehåller kapitlet också en detaljerad beskrivning av hur fukt transporteras i material och konstruktion och möjliga skador som kan uppkomma.

I kapitel 7 genomgås de regler angående innemiljö och ventilation, som främst berör självdragsventilerade bostäder. Här finns även information om vad boende som inte får gehör för eventuella klagomål hos fastighetsägaren har för alternativ för att lösa problemet. Därefter analyseras lämpliga och i vissa fall kanske olämpliga lösningar i kapitel 8. Slutligen analyseras en verklig bostad med hjälp av datorsimuleringar i kapitel 9.

# Kapitel 2

## Självdragssystemets drivkrafter

Luftväxlingen i ett självdragssystem drivs av tryckskillnader orsakade av temperaturskillnader samt av vinden. Den termiska drivkraften uppstår pga. en temperaturdifferens mellan inomhus- och utomhusluften i kombination med höjdskillnaden mellan friskluftsintag och frånluftsutsläpp [2]. Drivkraften orsakad av vinden kan delas in två delar, en tryckskillnad pga vindanblåsning mot byggnadens fasad och en pga vindens ejektorverkan över skorstensmyningen [3]. Byggnadens karaktäristiska, såsom klimatskärmens täthet och ventilationssystemets utformning, bestämmer sedan hur väl drivkrafterna utnyttjas för att åstadkomma en luftväxling [2].

### 2.1 Termisk drivkraft

Luftrycket avtar linjärt med höjden över marken vid konstant temperatur. Trycket på en viss nivå bestäms av det tryck som luftpelaren ovan utövar [2].

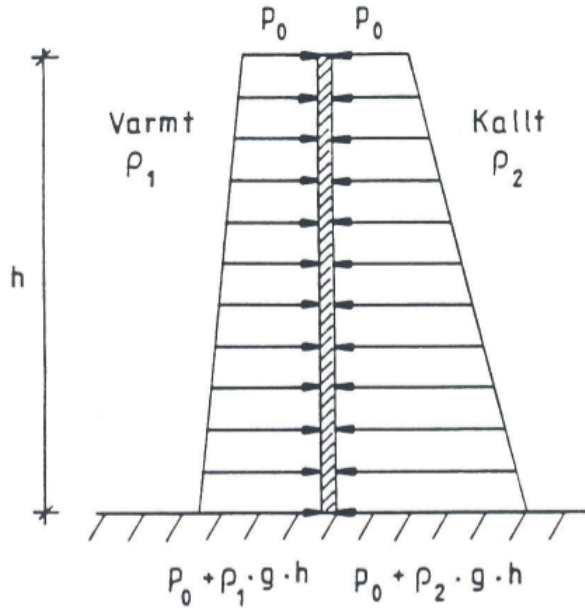
Luft består av ett antal gaser främst kväve, syre, koldioxid, ädelgaser och vattenånga. Enligt allmänna gaslagen är antalet gasmolekyler, i en given volym, konstant vid ett visst tryck och temperatur. När luftens temperatur höjs fördelar sig luftmolekylerna på en större volym, vilket medför att densiteten minskar [4]. Således har en varm luftpelare lägre densitet och därför en lägre tryckminskning i höjddled jämfört med en kall luftpelare, se figur 2.1.

Temperaturskillnad mellan inne och ute ger upphov till ett undertryck på den varma sidan vilket medför att kall luft sugas in i byggnaden [2].

Den resulterande termiska drivkraften beror alltså på skillnaden i densitet och höjd och kan tecknas

$$\Delta p_{temp} = (\rho_{ute} - \rho_{inne})gh \quad (2.1)$$

där	$\Delta p_{temp}$	=	drivande tryckskillnad	[Pa]
	$\rho_{ute}$	=	luftens densitet ute	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$\rho_{inne}$	=	luftens densitet inne	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$g$	=	tyngdaccelerationen = 9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
	$h$	=	höjd mellan en nedre och en övre öppning	[m]



Figur 2.1: Tryckfördelning över vägg [2].

Luftens densitet,  $\rho$ , kan räknas från allmänna gaslagen,

$$pV = \frac{m}{M}RT \rightarrow \rho = \frac{m}{V} = p \frac{M}{RT} \quad (2.2)$$

där	$p$	=	gastryck	[Pa]
	$V$	=	gasvolum	[m <sup>3</sup> ]
	$m$	=	gasens mass	[kg]
	$M$	=	gasens molekylvikt	[kg/kmol]
	$R$	=	allmänna gaskonstanten = 8314,3	[J/kmol K]
	$T$	=	temperatur	[K]

Givet att luftens densitet,  $\rho_0$ , är känd vid en viss temperatur,  $T_0$ , kan luftens densitet,  $\rho$ , för en godtycklig temperatur,  $T$ , skrivas med hjälp av ekvation 2.2 som,

$$\rho = \frac{\rho_0 T_0}{T} \quad (2.3)$$

Med (2.3) insatt i (2.1) fås,

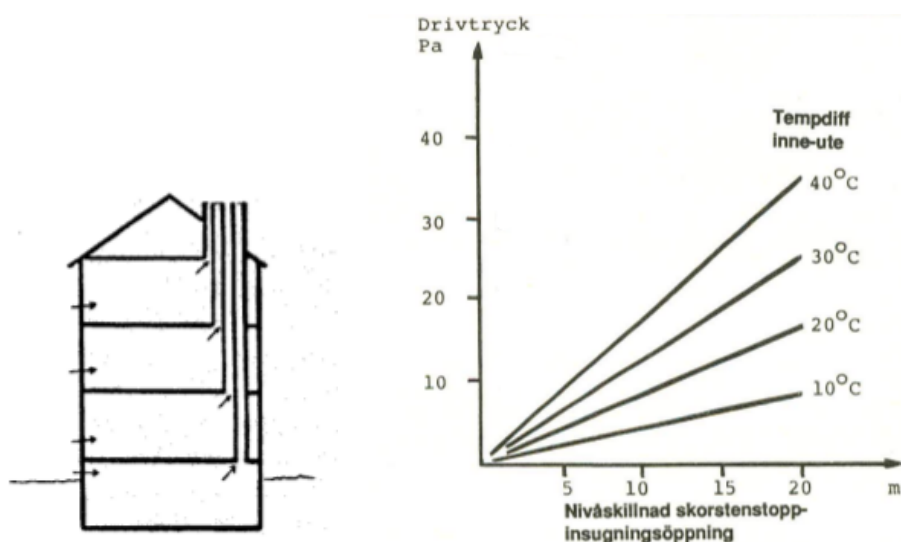
$$\Delta p_{temp} = \left( \frac{\rho_0 T_0}{T_{ute}} - \frac{\rho_0 T_0}{T_{inne}} \right) gh = \rho_0 T_0 gh \left( \frac{1}{T_{ute}} - \frac{1}{T_{inne}} \right) = \frac{\rho_0 T_0 gh}{T_{ute} T_{inne}} (T_{inne} - T_{ute}) \quad (2.4)$$

Vilket för måttliga temperaturskillnader kan approximeras till,

$$\Delta p_{temp} \approx 0,043(T_{inne} - T_{ute})h \quad (2.5)$$

Drivtrycket är alltså proportionellt mot både temperaturskillnaden mellan ute och inne och höjdskillnaden mellan ventilationsskorstens mynning och tilluftsöppningen och är

normalt några få Pa, se figur 2.2. Luftomsättningen bestäms av drivtrycket och ökar därför med temperaturskillnaden mellan inne- och uteluften. Följden blir att ventilationen varierar med årstiden och att flödet kan bli såväl för stort som för litet i enskilda lägenheter. Under kalla månader fås en överventilering och under varma månader, då uttemperaturen är ungefär densamma som rumstemperaturen, är det svårt att få tillräcklig luftomväxling [5, 6]. Notera att även lägenhetens läge i höjdlid har betydelse för drivtryckets storlek och därmed det resulterande luftflödet, se tabell 2.1 [3]. Det är således större risk för överventilering längst ner i huset och för underventilering högst upp i huset.



Figur 2.2: Termiskt drivtryck som funktion av höjd mellan skorsten och inlopp vid olika temperaturskillnader [1].

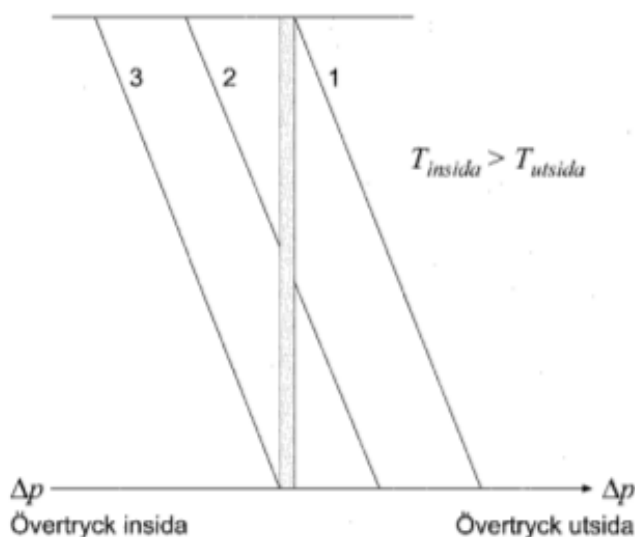
Tabell 2.1: Termiskt drivtryck för olika våningsplan vid tre temperaturskillnader [3]. Lägga märke till att rumstemperatur = 20°C.

Våning	Drivtryck vid temperaturskillnad [Pa]		
	$\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$
1	8	15	30
2	6	13	25
3	5	10	19
4	4	7	14
5	2	5	9

### 2.1.1 Neutrala lagret

Fördelningen av otätheter i klimatskalet bestämmer utseendet på den termiska tryckfördelningen. Det neutrala lagret är den nivå där tryckskillnaden över klimatskalet är noll. Om otätheterna är jämt fördelade i höjdlid, fås ett övertryck i byggnadens övre del och ett undertryck i den nedre delen och det neutrala lagret befinner sig på byggnadens halva höjd (fall 2) [7]. Om otätheterna är koncentrerade till en nivå eller om det finns en öppning som är stor

i förhållande till övriga otätheter kommer neutrala zonen att ligga nära dessa eller denna [8]. I fall 3 är öppningen belägen längst ner och i fall 1 högst upp, se figur 2.3. Det är fall 1 som bäst beskriver situationen för en lägenhet i ett flerbostadshus med självdragsventilation [9].



Figur 2.3: Termisk tryckskillnad för en konstruktion med 1 öppning upptill, 2 jämnt fördelade otätheter och 3 öppning nedtill [10].

## 2.2 Vindtryck

Drivkraften som vinden bidrar med är direkt proportionellt mot luftens densitet och mot kvadraten på lufthastigheten. Den är även beroende av byggnadens geometriska utformning, vindriktning, topografiska förhållande samt närliggande bebyggelse. Effekten av dessa faktorer beskrivs av en formfaktor. Drivkraften pga vindtryck kan därför beräknas enligt

$$\Delta p_{vind} = (C_{p,ute} - C_{p,inne}) \frac{\rho v^2}{2} \quad (2.6)$$

där

$\Delta p_{vind}$	= drivande tryckskillnad	[Pa]
$C_{p,ute}, C_{p,inne}$	= formfaktor ute respektive inne	[-]
$\rho$	= luftens densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
$v$	= vindhastighet i fri luftström	[m/s]

### 2.2.1 Vindhastighet

Vindens hastighet varierar i höjddled från noll vid markytan och ökar med höjden. Hastighetsprofilen är beroende av topografiska förhållande. Hastigheten reduceras genom friktion mot marken och det som finns på den. Vindhastigheten är generellt lägre i en stad än på landsbygden. Lokalt kan dock höga vindhastigheter fås i en stad, t.ex. runt stora byggnader [4].



Vindhastigheten varierar avsevärt med tiden och variationer med  $\pm 50\%$  kring medelvärdet är normala [2]. Enligt mätningar ligger vindhastigheten vanligtvis i intervallet 3 till 5 m/s. Andel vindstilla timmar per år är starkt knutet till läget, från 3% vid kusten till så mycket som 30% i inlandet [4].

Vindhastigheten på en viss höjd kan beräknas med

$$\frac{v}{v_w} = \frac{\alpha \left(\frac{h}{10}\right)^\gamma}{\alpha_w \left(\frac{H_w}{10}\right)^\gamma} \quad (2.7)$$

där	$v$	= medelvindhastigheten vid höjden $H$ ovan mark	[m/s]
	$v_w$	= medelvindhastigheten uppmätt vid väderstation, normalt 10 m ovan mark	[m/s]
	$H$	= byggnadens höjd	[m]
	$H_w$	= höjd för vindmätning	[m]
	$\alpha, \gamma$	= faktorer beroende av terräng, se tabell 2.2	[-]

Tabell 2.2: Korrektionsfaktorer för vindhastighet beroende på terräng [11, 12].

Terräng	$\gamma$	$\alpha$
Hav eller vatten med minst 5 km utsträckning	0,10	1,30
Platt landskap med enstaka hinder väl separerade från varandra	0,15	1,00
Lantbruksområde med låga byggnader, träd	0,20	0,85
Urban miljö, industri eller skogsområde	0,25	0,67
Storstadscenter	0,35	0,47

## 2.2.2 Formfaktor

Formfaktorn som beskriver byggnadens förmåga att fånga upp vindtrycket, varierar mellan -1 och +1 [11]. Formfaktorn kan bestämmas, dels genom mätning på skalmodeller i vindtunnel och dels genom datorsimuleringar [8, 11].

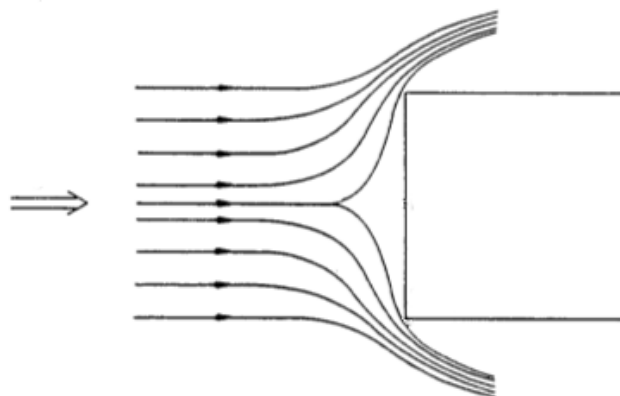
När en luftström träffar en byggnad bromsas strömningen och böjer av kring byggnaden, se 2.4. Trycket som uppstår pga av en luftström kan beskrivas med Bernoullis ekvation,

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g z = \text{konstant} \quad (2.8)$$

där	$p$	= tryck	[Pa]
	$v$	= lufthastighet	[m/s]
	$z$	= höjd	[m]

Om strömningen kring byggnaden betraktas i ett horisontalplan reduceras ekvationen till,

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = p_{stat} + p_{dyn} = \text{konstant} \quad (2.9)$$



Figur 2.4: Luftströmning en byggnad vid vinkelrät anblåsning [2].

Ekvation (2.9) består av två trycktermer där  $p = p_{stat}$  är det statiska trycket som beskriver luftens tryck i vila. Den andra termen beskriver det dynamiska trycket,  $p_{dyn}$  [13].

Dessa tryck varierar längs strömningslinjen men summan är konstant. Det medför att det statiska trycket ökar då luftströmmens hastighet sjunker och vice versa.

På den sida som vinden blåser på, lovartsidan, bromsas vinden. Enligt ekv. (2.9) ökar det statiska trycket och det skapas ett övertryck. Uteluften trycks in byggnaden och formfaktorn blir positiv. På övriga fasader blir förhållandet det omvända. Luftströmmens hastighet ökar och det statiska trycket minskar. Ett undertryck uppstår och därmed ett sug på väggarna. Vindfaktorn blir negativ. Störst undertryck uppstår vid byggnadens hörn och kanter. På tak fås normalt ett undertryck men vid branta tak kan vinden orsaka ett övertryck på lovartsidan [2, 11, 14].

Enligt ovan utsätts de flesta av klimatskärmens ytor för ett undertryck. Om otätheterna är jämnt fördelade över klimatskärmen fås även ett undertryck inomhus. Detta beskrivs med en invändig formfaktor, som normalt tilldelas värdet  $-0,3$  [2]. Men om otätheterna är koncentrerade till lovartsidan fås istället ett övertryck inuti byggnaden [7].

## 2.3 Vindens inverkan vid anblåsning på vägg

En ökad vind ger upphov till ökad luftväxling. Vindanblåsning mot byggnadens väggar har dock först betydelse vid relativt höga vindhastigheter. Förklaringen är att tryckförhållanden över klimatskärmen är en kombination av termisk och vind. Den termiska drivkraften ger upphov till ett övertryck på både lovart- och läsidan. Vid vindstilla blir luftinflödet lika stort genom båda väggarna och flödets storlek ökar med ökad temperaturskillnad. När vinden ökar förändras symmetrin, vinden orsakar ett övertryck på lovartsidan och ett undertryck på läsidan. Härigenom kommer luftinströmningen genom lovartsidan att öka med tilltagande vind samtidigt som luftinströmningen genom läväggen minskar. Den resulterande luftväxlingen är relativt konstant. När vinden överstiger ett visst värde förändras beteendet och luftväxlingen ökar med ökad vindhastighet. Orsaken är att luftströmmen genom läväggen har bytt riktning. Undertrycket, skapat av vinden, överstiger övertrycket orsakat av termiken och luften strömmar ut genom väggen. Av resonemanget ovan kan vi se att den termiska drivkraften har en stabiliserande effekt. Ju större termisk drivkraft desto högre vindstyrka krävs innan luftflödet genom läväggen vänder. Med andra ord, så länge den

termiska drivkraften dominerar har vindtrycket på fasaden en underordnad betydelse [15].

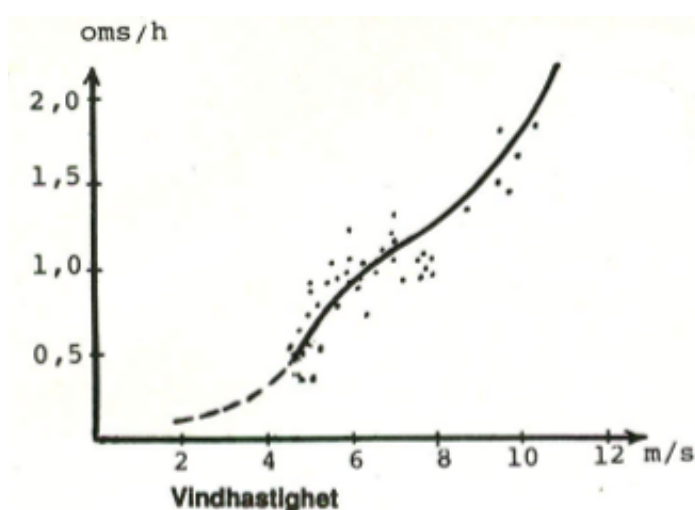
Notera att, diskussionen ovan förutsätter en genomgående lägenhet. Luftväxling i en ensidig lägenhet ser annorlunda ut. Befinner sig lägenheten på lovartsidan ökar luftväxlingen med tilltagande vind. Om lägenheten däremot befinner sig på läsidan kommer en ökande vind leda till minskad luftomsättning ända tills undertrycket över läväggen överstiger det termiska drivtrycket. Därefter ökar luftväxlingen med ökande vind genom att luftströmmen i ventilationsskorstenen byter riktning och luften strömmar ut genom läväggen.

## 2.4 Vindens påverkan av skorstenstoppen

I figur 2.5 redovisas hur luftomsättningen varierar med vindhastigheten över en ventilationsskorsten. I motsättning till fasadanblåsning, visar mätningarna att vind vid skorstenstoppen påverkar ventilationsflödet redan vid låga vindhastigheter. Flödet och därmed luftomsättningen ökar med ökad vindhastighet. I prov har det visats att luftväxlingen i självdragssystem ökar 2-3 gånger redan vid en vindhastighet på 10 m/s [3].

Vid ogynnsamma vindförhållanden kan dock luft pressas ner i frånluftskanalen så att det bildas ett övertryck i mynningen. Flödesriktningen blir då omvänd och frånluftskanalen fungerar som en tillufts kanal. Risken för att detta händer ökar ju tätare huset är [1].

Skorstensmynningen kan utformas för att öka drivtrycket. Skorstenar med avsikt att föra bort rökgaser är vanligen utförda på detta sätt [3].



Figur 2.5: Luftomsättning som funktion av vindhastigheten över en oskyddad skorsten [16].

## 2.5 Totala drivkraften

Självdragssystemets totala drivkraft,  $\Delta p_{total}$  [Pa], fås genom att summera det termiska trycket och vindtrycket.

$$\Delta p_{total} = \Delta p_{temp} + \Delta p_{vind} \quad (2.10)$$

En rad parametrar varierar över tiden, t.ex. vindens hastighet och riktning och temperaturen ute. Det medför att drivkraften inte heller är konstant i tiden. Under vindstilla

vinterdagar dominerar den termiska drivkraften och vindens inverkan dominerar under blå-siga sommardagar. Om drivkraften uppskattas med endast en beräkning kan stora fel göras, flera beräkningar som representerar olika klimatfall är nödvändiga.

# Kapitel 3

## Självdragssystemets utformning genom åren

Över 99% av det befintliga beståndet av flerbostadshus är uppfört mellan åren 1880 och 2000 och majoriteten av dessa hus ventileras med självdrag. Fram till 1960-talet var självdrag det helt dominerande ventilationssystemet [17, 18]. Systemets uppbyggnad har dock förändrats under åren. Framförallt på grund av förändringar i husets uppvärmning, från kaminer och kakelugnar till centralvärme, och människans ökade intresse och krav på inneklimatet [19].

### 3.1 Ventilation vid lokal uppvärmning

Uppvärmning av byggnader skedde från början lokalt med värmekällor placerade i husets mitt. I en mindre lägenhet fanns enbart en vedeldad spis men större lägenheter kompletterades med eldstäder med kanaler, dvs. kakelugnar, en för varje större rum [20]. Kakelugnen hade börjat användas av allmänheten på slutet av 1700-talet istället för eldning i öppna eldstäder eller kaminer, eftersom kakelugnen gav en jämnare uppvärmning och effektivare användning av bränsle [19].

Förbränningen skapade ett undertryck. Härigenom fördes friskluft in via otätheter i klimatskalet och leddes ut genom murade rökanaler i skorstensstocken. Viss luftväxling var också möjlig när man inte eldade, genom att kakelugnen var försedd med en ventil, en sk rosettventil, med mynning direkt i rökgången [3, 21].

Från ett självdragsperspektiv var det fördelaktigt med en centralt placerad värmekälla. Den termiska drivkraften ökade genom att murstocken och hjärtmuren värmdes upp. För det termiska inneklimatet var det däremot mindre bra eftersom en stor mängd ouppvärmad tilluft fördes in genom klimatskalet. Med stor luftväxling följde problem med drag och kallstrålning som gjorde att vissa rum inte kunde användas vintertid [5]. Utanför eldnings-säsongen, då den termiska drivkraften inte var tillräcklig, fanns det istället ett behov för fönstervädring [21].

#### 3.1.1 Ventilationskakelugn

För att minska problem med drag utvecklades den sk ventilationskakelugnen där tilluften förvärmades istället för att tas in i rummet direkt via klimatskärmen. Luften fördes in via

kanalsystem i trossbotten eller i källare till kakelugnens fot eller bakmur för att värmas. Den uppvärmda luften släpptes ut i kaminens topp. Nackdelen med de horisontella kanalerna var att de var svåra att hålla rena. De vertikala kanalerna via källaren var lättare att sota och spola [19, 22].

### **3.1.2 Kanalsystem**

Utformningen av kanalsystemet genom vilket förorenad luft och rökgaser fördes bort varierade. Fram till slutet på 1800-talet var det i Stockholm vanligt att kakelugnar, spisar och imkanaler på flera våningsplan anslöts till en och samma rökkanal. Under samma tid i ett flertal landsortstäder såsom Malmö och Göteborg, var det istället vanligt att ha gemensamma kanaler för olika funktioner våning efter våning, en för spisar och en för imkanaler. Kanalerna från kakelugnar var däremot separata men förenades till en kanal ovanför vindsbjälklaget. En annan variant som förekom i mindre hus var att ha en gemensam kanal för varje lägenhet [20].

Under perioden 1880 -1945 försvann de gemensamma kanalerna och istället infördes separata kanaler för varje våning och funktion. Kanalernas storlek förändrades med tiden. Till en början var imkanalerna större än rökkanalerna för spis och kakelugn. Dessutom blev skiljeväggen mellan kanalerna tjockare med tiden [20].

## **3.2 Centralvärme i nya byggnader**

Under 1920-talet var byggtakten hög [23, 24]. Kakelugnarna försvann och centralvärme infördes i både nya och befintliga byggnader. Övergången från lokal till central eldning innebar att man slapp kliva upp mitt i natten för att elda och problem med sot och kolmonoxid försvann [5]. Till en början var det vanligt att placera varmvattenradiatorn där kakelugnen tidigare stått. Placeringen innebar en kortare rördragning till rörstammar i husets mitt, men sannolikt var placeringen mer en konsekvens av att direkt ersätta en värmekälla med en annan [19]. Fördelarna med att placera radiatorer under ytterväggens fönster blev dock snabbt uppenbar. Placeringen under fönster innebar att det termiska inneklimatet förbättrades. Ytor vid yttervägg som tidigare varit kalla och dragiga blev varma och inomhusklimatet blev mer jämnt över året [5]. Övergången påverkade även ventilationen. De varma rökgaserna från centralanläggningen leddes i regel ut genom en separat rökkanal ibland i en egen skorsten [20]. Eftersom skorstensstocken inte värmdes, blev den termiska drivkraften för självdragsventilation mindre jämfört med hus med lokal uppvärmning [19]. Det var inte bara förändringar av uppvärmning som påverkade luftomsättningen. Flerbostadshusen som byggdes vid den här tiden blev djupare, från 10-12 till 14-16 meter, och fick därför två istället för en bärande vägg i husets längdriktning [19]. Rumshöjden sänktes från 3 till 2,7 meter. Lägenheterna blev ofta ensidiga och kök och bad placerades i husets mörka mitt [24]. Sammantaget innebar detta två hinder för fungerande självdragsventilation. Övergången från genomgående till ensidiga lägenheter försvårade genomluftning samtidigt som den minskade rumsvolymen krävde en snabbare luftväxling [19].

### 3.3 Centralvärme i äldre byggnader

Vid byte från lokal uppvärmning till centralvärme tvingades man förändra det befintliga kanalsystemet. Rivning av kakelugnar gjorde att ett stort antal rökkanaler kunde utnyttjas som frånluftskanaler. Denna möjlighet medförde dock ofta problem med baksug och luktspridning i lägenheten, vilket i sin tur medförde en övergång till frånluft från badrum och kök [5]. Centralpannan skulle däremot ha en egen rökkanal. Genom att slå bort skiljeväggen mellan befintliga kanaler, kunde en kanal för mindre pannor erhållas. För större pannor var platsen i skorstensstocken inte tillräcklig. Då fanns två möjligheter, antingen gjordes plats för en separat kanal inne i huset eller, om så inte var möjligt, utanpå fasaden. Övergången till oljeeldning, med lägre rökgastemperatur, medförde i många fall problem med kondens, speciellt i stora kanaler. Detta problem avhjälpes genom att installera en ståltub med värmeisolering i rökkanalen, vanligtvis av armerad mineralullsmatta [8].

### 3.4 Decentraliserat eller centraliserat självdrag

Självdragssystem delas i två grupper – decentraliserade respektive centraliserade. I ett decentraliserat system evakueras luft från samtliga rum i bostaden, se figur 3.1a. Denna luftföringsprincip är vanlig i hus uppförda före 1930 [22, 25].

Systemet är mycket utrymmeskrävande eftersom varje rum ska ha en egen kanal i skorstenen, se figur 3.2a. I praktiken innebar det att flerbostadshus med sju våningar eller flera inte var att tänka på, med hänsyn till både kostnad och funktion [22, 26].

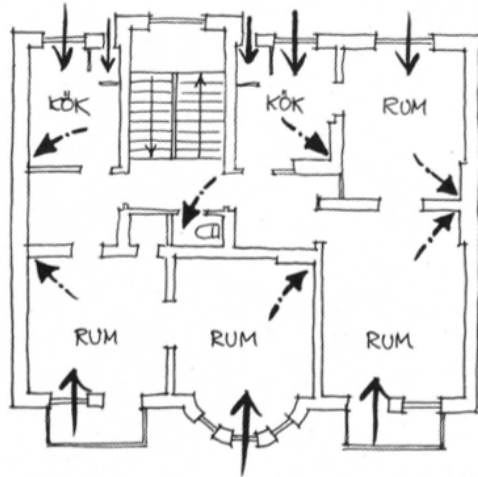
Det stora antalet kanaler innebär även en ökad risk för baksug och luktspridning. I den modernare varianten av självdragssystemet, det centraliserade, där luften leds ”rätt väg” enligt den så kallade överströmningsmetoden, är antalet frånluftskanaler färre [5, 22].

I det centraliserade systemet tas frisk luft in genom de normalt renaste rummen, med avseende på luftkvalitet, sov- och vardagsrum, och ut från rummen med högst föroreningskoncentration, dvs. kök, badrum och toalett, se figur 3.1b och 3.2b. Denna luftföringsmetod kräver att luftflöde mellan rummen möjliggörs, t.ex. via springor under dörrar eller överluftsdon. Luften måste ju kunna passera även om dörren är stängd. Moderna självdragsventilerade hus, uppförda från 1940-talet och framåt, har i regel denna konstruktion [3, 25, 27].

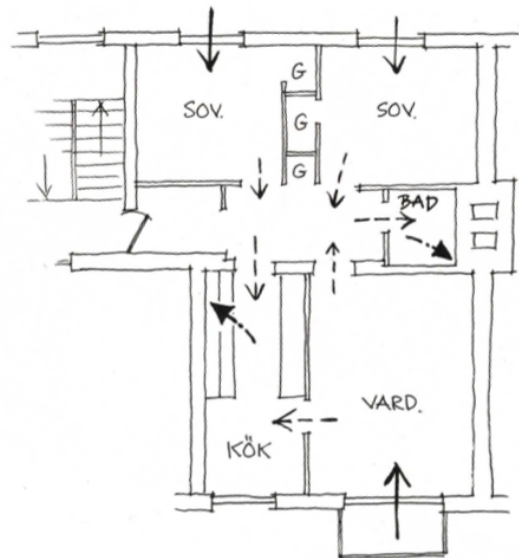
### 3.5 Fönster

I äldre självdragsventilerade hus strömmade uteluften in genom otätheter och hålförekomster i klimatskärmen. Luftväxlingen kunde vid behov ökas genom fönstervädning [22]. Fönsterutformningen spelade stor roll för både okontrollerad (otätheter) och kontrollerad (vädning) tillförsel av tilluft.

Fram till 1900-talets början hade fönster endast ett glasskikt, ett sk englas- eller enkelfönster. Englasfönster var inte täta utan släppte in en hel del luft och gav upphov till problem med kallstrålning och drag. För att minska dessa problem vintertid, kompletterades englasfönstret med ett extra innerfönster som tätades med vadd och klisterremсор. Vadden placerades nedtill mellan yttre och inre fönster och klisterremсорna användes för att tätas springor mellan innerbåge och karm. Innanfönstret avlägsnades när sommaren kom [5, 20, 22].



(a) Decentraliserat självdrag.



(b) Centraliserat självdrag.

Figur 3.1: Decentraliserat och centraliserat självdragssystem, vy från ovan [25].

Vanligtvis var bara det yttre fönstret öppningsbart. För att slippa öppna hela fönster kunde, både det inre och det yttre fönstret, förses med en sk lättruta. En lättruta kan liknas vid ett litet öppningsbart fönster i det större fönstret [20, 21, 22].

Höga fönster medförde att vädringsfönster fick en annan placering. Fönstret utformades då med separata vädringsfönster längst upp, sk överlufiter. Fördelen med denna placering var dels en effektivare vädring och dels mindre problem med med drag vid vädring [22], se mer om detta i avsnitt 8.5.

## 3.6 Uteluftsdon

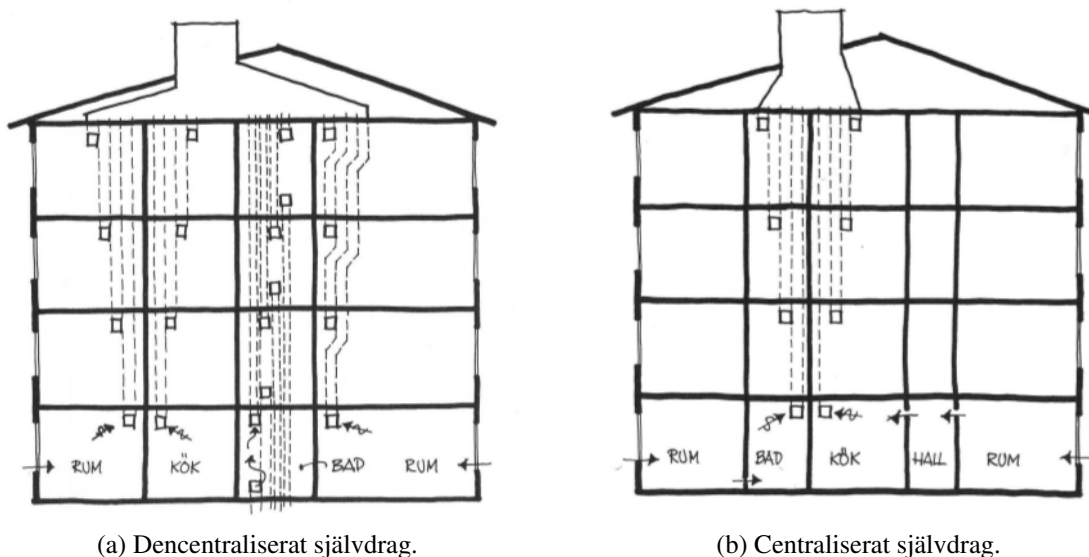
Sedan centralvärme införts började man också kontrollera intaget av uteluft, dvs. uteluft tillfördes inte enbart via otätheter i klimatskalet utan snarare via reglerbara uteluftsdon, även kallade tilluftsventiler eller tilluftsdon, såsom fönsterventil eller klafflucka [17, 24].

### 3.6.1 Klafflucka

En klafflucka, även kallad klaffventil, är en ventil som funnits sedan 1800-talet och förekommer både som till- och frånluftsventil. Den finns både med och utan sidoplåtar. Sidoplåtarnas funktion är att rikta den inkommande luftstrålen uppåt och härigenom motverka drag [21, 22, 25].

Ventilen kan ställas i olika lägen med hjälp av en fjäder och en spärrhake på insidan. Regleringen sköts genom att dra i ett snöre, se figur 3.3a. Klaffen stängs helt genom dra





Figur 3.2: Decentraliserat och centraliserat självdragssystem, vy från sidan [25].

snöret mot full öppning och förbi spärrhakens sista stoppläge [25].

### 3.6.2 Linjär spalt, springventil

Spaltventilen introducerades på 1930-talet och är vanligt förekommande i självdragsventilerade hus byggda under de 20-30 därpå följande åren [20, 25]. Springventilen monterades i fönstrets karmunderstycke eller under fönsterbänken (figur 3.3b) [22]. Donet utgörs av en låda av metall, vanligtvis mässing eller stålplåt, som är isolerad invändigt, t.ex. med kork, för att undvika kondens. Luftöppningarna på både ut- och insidan har formen av en långsmal spalt. Den inre öppningen kan varieras med en fjäderbelastad klaff [25].

Det förekommer även modernare typer av uteluftsdon med linjär spalt, som istället monteras i fönsterkarmens överstycke, se figur 3.3c. Placeringen i ovkant minskar risken för drag eftersom tilluften inte förs direkt in i vistelsezonen. Dessa don har ofta en enklare konstruktion, t.ex. två hålförsedda plåtar som monteras över en öppning på fönsterkarmens insida. Öppningen kan på så sätt regleras genom att skjuta plåtarna i förhållande till varandra [25].

### 3.6.3 Vädringsluckor och vädringsbeslag

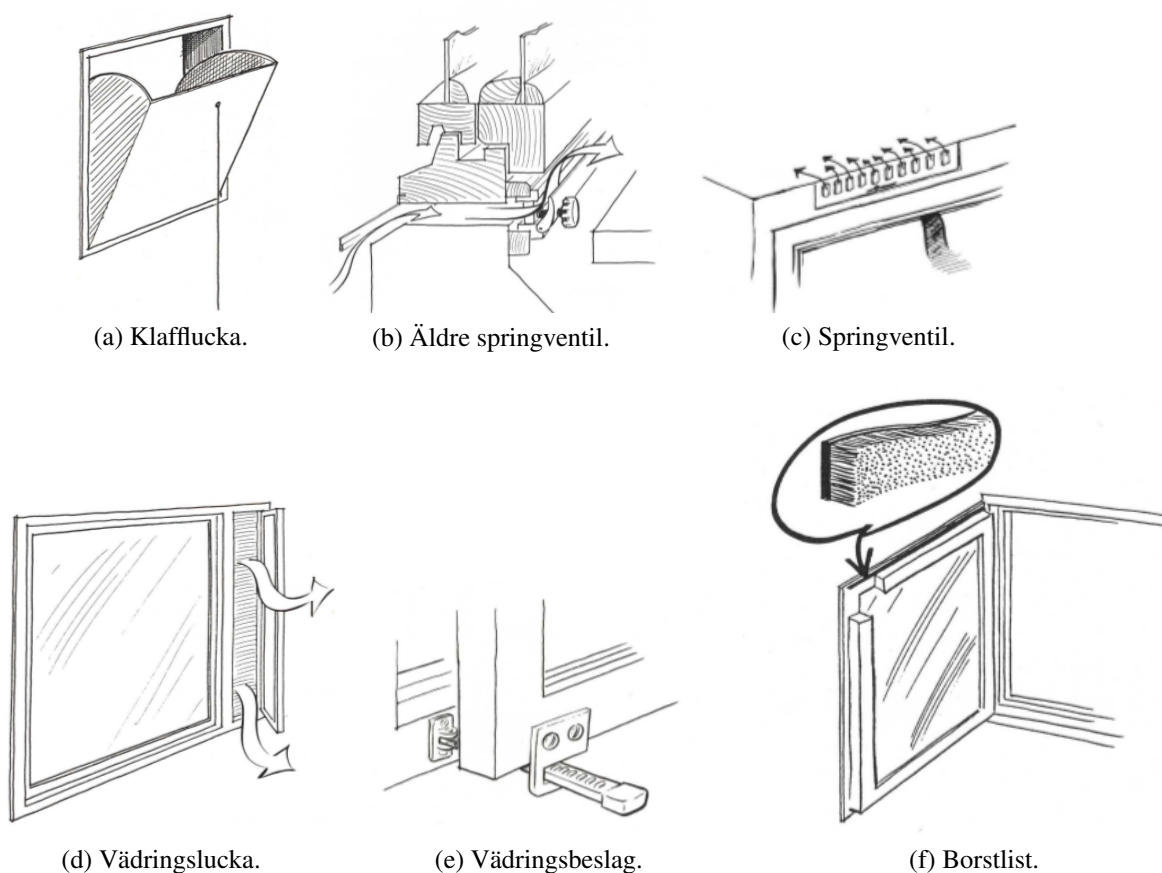
Självdragsventilerade flerbostadshus uppförda på 1960- och 1970-talen samt före 1930-talet saknar normalt uteluftsdon. I de nyare husen sker lufttillförseln via fönster med vädringsluckor (figur 3.3d) eller vädringssfenster [25, 28].

Principen är att de boende ska variera tillförseln efter behov. Risken för drag är dock påtaglig, i synnerhet under vinterhalvåret. För att minska risken för termisk diskomfort bör vädringsfenster och vädringsluckor vara försedda med fönsterbeslag (3.3e). Med beslaget kan öppningens storlek varieras [28].

Vädringsluckan utgörs av en fönsterbåge eller en trälucka. Luftöppningen är försedd med ett galler och och en isolerad lucka. I vissa fall även en filterduk [25, 28].

### 3.6.4 Borstlist i fönster

I äldre bostäder som saknar tilluftsventiler, gäller främst byggnader uppförda före 1930-talet, tillfördes friskluft okontrollerat via otätheter i fasaden [3, 25]. I syfte att minska drag och spara energi, har fasaden ofta tätats, bla med tätningslister runt fönster. Kombinationen tät fasad och frånvaro av tilluftsventiler kan slå ut funktionen hos ett självdragssystem [29]. En lösning är att, helt eller delvis, utelämna tätningslistan i överkant av fönstret. En annan lösning är ersätta tätningslistan med en sk borstlist, se figur 3.3f. Borstlisten släpper igenom luft och förhindrar i viss mån att smuts och damm kommer in. Listen måste rengöras kontinuerligt annars minskar luftflödet och därmed ventilationssystemets funktion [25].



Figur 3.3: Tilluftsdon [25].

### 3.7 Frånluftsdon

Det finns olika typer av frånluftsdon och de är normalt reglerbara. Till en början leddes dock frånluften ut via ett vanligt gjutjärngaller och in i frånluftskanalen [25, 30].

### 3.7.1 Imlucka

En imlucka (figur 3.4a), även kallat vridspjäll, är en relativt enkel konstruktion. Spjällbladet är fäst i en ram med två tappar. Öppningen regleras genom att dra i en kedja. Ventilen kan aldrig stängas helt eftersom ramen är något större än spjällbladet. Spjällbladet kan tas ned för rengöring genom att lyfta upp det en bit och därigenom lossa bladet från tapparna [25].

### 3.7.2 Imventil

Imventilen (figur 3.4b), även kallat jalusispjäll, utgörs av ett galler i en ram. På ramen sitter ett antal spjällblad, i horisontellt läge. Spjällbladens läge, och därmed ventilens öppning, regleras med ett snöre eller en kedja. Ventilen kan stängas helt genom att dra förbi det sista stoppläget, dvs. förbi fullt öppet ventil. Gallret kan tas ut för rengöring [25].

### 3.7.3 Tallriksventil

En tallriksventil (figur 3.4c) består av en cirkulär ram med ett mittsteg. I stagets centrum finns ett gängat hål, i vilket en cirkulär platta, ”en tallrik”, skruvas fast via en gängad tapp. Ventilens öppning regleras genom att skruva ventiltallriken in eller ut. Vid rengöring demonteras tallriken lätt genom att skruva ut den. Alternativt kan hela ventilen tas ned genom att lossa skruvarna som håller ramen på plats. Tallriksventilen kan även förekomma som tilluftsdon, framförallt i sk Stockholmsventilation [21, 25].

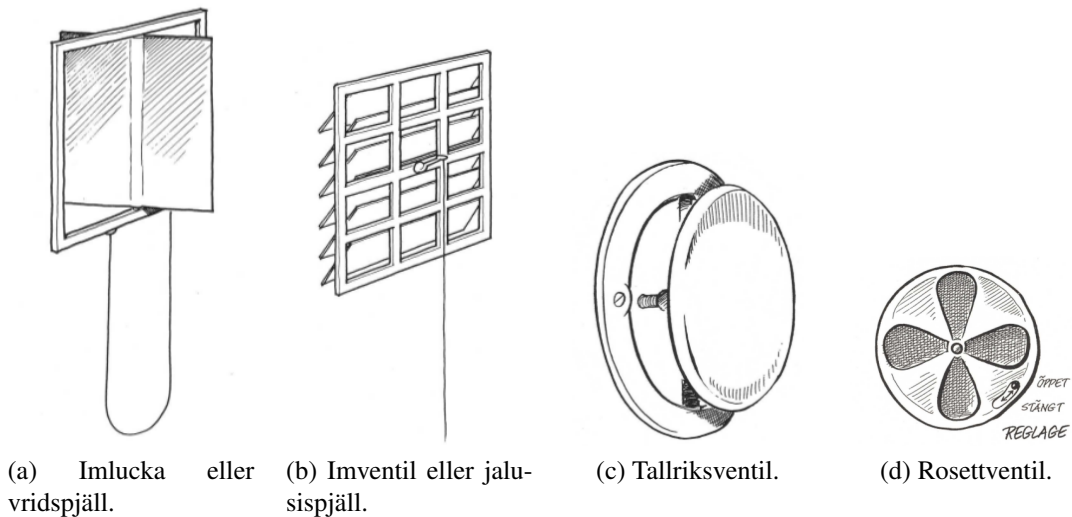
### 3.7.4 Rosettventil

Rosettventilen (figur 3.4d) är en frånluftsventil som introducerades tidigt. Den förekommer ofta i kakelugnar för att möjliggöra luftväxling även under sommaren. När ventilen öppnas leds luft rakt in i rökgången, som då fungerar som frånluftskanal, se även avsnitt 3.1. Liksom klaffluckan och tallriksventilen användes den också som tilluftsdon [25].

Ventilen är uppbyggd av dubbla hålförsedda plåtar, den yttre fast och den inre rörlig. Ventilens öppning regleras genom att förskjuta plåtarna i förhållande till varandra med hjälp av ett reglage. Även denna ventil kan demonteras för rengöring [25].

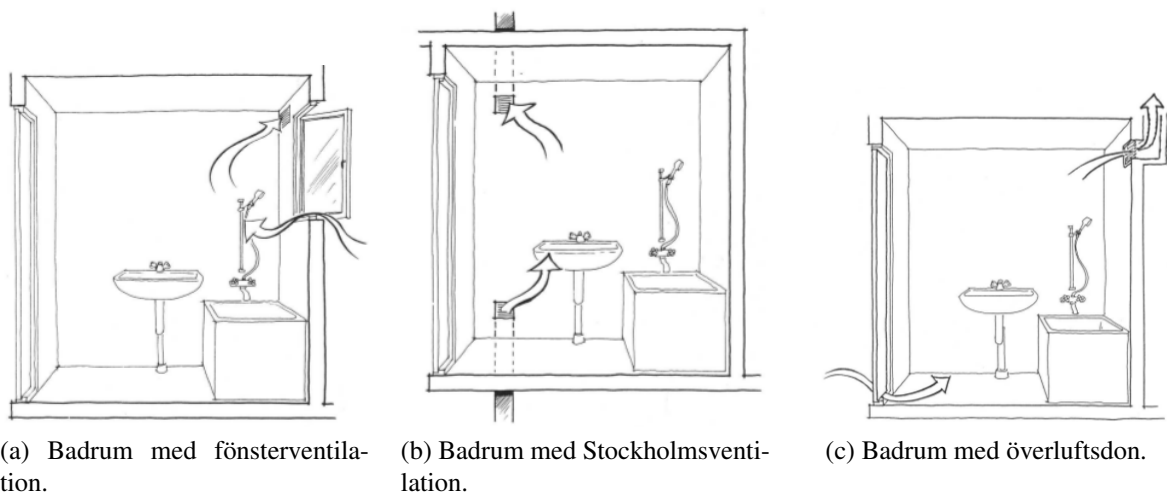
## 3.8 Våtrum

I äldre flerbostadshus fanns inga toaletter inomhus. Toaletterna var placerade i en egen byggnad på gården och delades av alla i huset. Toaletten flyttade in i huset när vattenklosetten introducerades. Till en början placerades dessa i trapphus eller i källare med en egen separat frånluftskanal. Under 1920-talet försågs lägenheterna med egna små badrum med toalettstol och tvättställ och så småningom även badkar [22]. Badrummets läge hade betydelse för hur ventilationen ordnades. Om badrummet var beläget vid en yttervägg kunde friskluft tillföras via fönster (figur 3.5a) eller via en klafflucka om fönster saknades [24, 25]. För badrum utan yttervägg utvecklades den sk Stockholmsprincipen, dvs. badrummet försågs med separat till- och frånluft, se figur 3.5b. Tilluftskanalen drogs från källarplanet (dvs. marknivå) med intag på skuggsidan och mynnade en bit, ca 1 m, ovan badrumsgolvet [17, 21] I badrummet försågs tilluftskanalen med ett stängbart uteluftsdon [25]. Frånluften



Figur 3.4: Frånluftsdon [25].

evakuerades som vanligt via ventil vid tak och ut genom kanal i skorsten. Denna ventilation kunde även fungera på sommaren eftersom skorstenstoppen blev varmare än friskluftsintaget varvid ett undertryck skapades i frånluftskanalen och luft sögs in i badrummet [21]. Nackdelen med separata system var att det inte sällan uppstod ett övertryck i badrummet med följd att förorenad luft spreds i lägenheten [17, 19]. Denna typ av ventilation, ofta kallad Stockholmsventilation, finns främst i decentraliserade system. En annan lösning för att få in luft i ett badrum beläget mitt i byggnaden var att ta in luft via ett överluftsdon i dörren, se figur 3.5c. Denna metod kallas överluftsmetoden och är en lösning som tillämpas i ett centraliserat system [25].



Figur 3.5: Ventilation i våtrum [25].

### 3.9 Kanalmaterial

De flesta hus byggda före 1955 har ventilationskanaler utförda i murverk av tegel [31].

Murverkskanaler uppfördes dock inte enbart med tegel. På 1950- och 60-talen användes även betong- och lättbetongblock, sk BZ-block eller zätablock. Blocken fanns både som hel- och halvprofil. En fördel med dessa block var att de möjliggjorde ventilationskanaler med tunnare väggar jämfört med en tegelkanal. I de fall då en bättre täthet krävdes kunde kanalen gjutas på plats för att få en skarvfri kanal [22, 31].

Rabitz och Monier är två material som är vanligt förekommande i ventilationskanaler i hus byggda fram till 1950-talet. Rabitz, som har använts sedan 1890-talet, är armerad puts av gipskalkbruk med lim och nöthår. Monierputsen kom något senare och har en liknade uppbyggnad men gipskalkbruket är utbytt mot cementbruk. Dessa båda material användes för horisontella sidodragningar och är vanliga på vindar och i källare. Materialet användes även för inklädnad och som undertak [22, 31].

På vindar och i källare i hus byggda på 1940- och 1950-talet förekommer även kanaler av slaggplattor. Plattorna består av koksslagg med bruk som bindemedel [22, 31].

Ventilationskanaler av asbestcement börjande tillverkas 1932 och användes främst i separata vertikala kanaler. Kanalerna kläddes normalt in, om möjligt flera tillsammans. Eftersom materialet var skört, är de flesta kanaler av asbestcement av små dimensioner. Det förekom även större kanaler men kanalen kompletterades då med en stålkonstruktion. Dessa kanaler blev så småningom förbjudna att installera eftersom asbestdamm kan orsaka sjukdomar såsom asbestos och lungcancer. Produktion upphörde 1977 [22, 31, 32]. En större genomgång av det svenska byggnadsbeståndet (BETSI [33]) visade att det fanns asbest i omkring 70% av de undersökta husen uppförda innan 1975. Notera att denna siffra omfattar all användning av asbest, inte bara ventilationskanaler.

Kanaler av stålplåt förekommer i hus med självdragssystem som är uppförda från 1950-talet och framåt. Kanalerna kan vara både cirkulära och rektangulära. Kanaler med rektangulärt tvärsnitt förekommer främst i äldre bostäder [22, 34].



# Kapitel 4

## Dimensionerande luftflöde

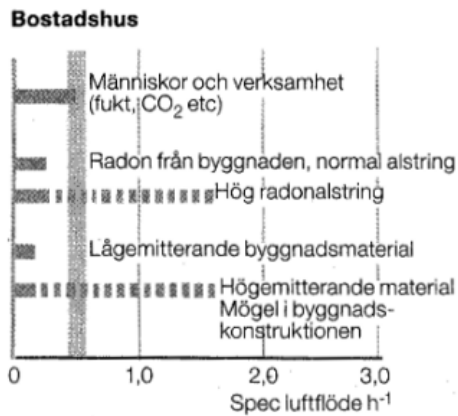
Ventilationsbehovet i bostäder bestäms dels av vilka krav som ställs på luftkvalitet och termisk klimat, och dels av den interna produktionen av föroreningar och värme. Ventilationens primära uppgift, i bostäder, är dock att säkerställa en god luftkvalitet. Härigenom bestäms det dimensionerande luftflödet av den dominerande föroreningskällan. Dominerande är inte detsamma som den största, utan det innebär att produktionen av föroreningen är hög i förhållande till det krav som är kopplat till just denna förorening [35].

Socialstyrelsen ger allmänna råd om ventilation i bostäder. Råden grundar sig på miljöbalken, se mer avsnitt 7.3. I dessa råd anges att luftomsättningen i bostäder inte bör understiga 0,5 rumsvolymer per timme (rv/h). Uteluftsflödet bör vara minst 0,35 liter uteluft per sekund och kvadratmeter golvarea ( $l/(s\ m^2)$ ) eller 4 liter per sekund och person ( $l/(s\ pers)$ ). Observera att dessa värden endast är riktvärden [36, 37]. En viss föroreningsproduktion kan mycket väl kräva ett högre flöde av uteluft, se figur 4.1. Ett specifikt luftflöde på  $0,5\ h^{-1}$  är således ingen garanti för en god eller acceptabel luftkvalitet. Det förutsätter en normal boendetäthet, 20-30  $m^2$  per person, en låg emission av gasformiga föroreningar från byggmaterial och inredning samt normal avgivning av radon från mark och byggmaterial, se figur 4.1 [35].

Vidare anser Socialstyrelsen att lukter från annan plats än den egna bostaden är en indikation på att ventilationen inte fungerar tillfredställande och att luftkvaliteten kan vara bristfällig. En annan indikator är att luftströmmen går fel väg, dvs. luftströmmen går från rum med högre föroreningsproduktion till ett med lägre. Andra indikatorer på problem med ventilationen är att det förekommer problem i inomhusmiljön såsom mikrobiell tillväxt på invändiga ytor, kondensbildning på fönstrets insida, förhöjda halter av radon eller andra hälsofarliga ämnen etc. Om någon eller några av dessa situationer föreligger bör ventilationen undersökas. För mer information, se ”*Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken – ventilation*” [36].

### 4.1 Specifikt luftflöde

Storleken på ventilationen, i ett rum eller en bostad, kan uttryckas på olika sätt. Ett sätt är att ange hur stor volym luft som tillförs rummet per tidsenhet, dvs. tilluftsflödet. Tilluftsflödet anges vanligen som  $l/s$  eller  $m^3/h$ . Många gånger är det dock mer praktiskt att relatera storleken på luftflödet till det ventilerade rummets storlek, dvs. flödet uttrycks antingen som flöde per kvadratmeter golvarea  $l/(s\ m^2)$  eller som flöde per rumsvolym  $m^3/(h\ m^3)$



Figur 4.1: Specifikt luftflöde som krävs för att hålla föroreningar vid en acceptabel nivå [35].

eller  $h^{-1}$ . Det sistnämnda kallas specifikt luftflöde eller luftomsättning [35, 38].

Begreppet luftomsättning kan lätt missuppfattas. Antalet omsättningar per timme är inte detsamma som antal gånger per timme som luften i rummet byts ut. Det tar tid att byta ut all luft. Den tillförda luften blandas med den ”gamla” rumsluften. Luften som förs ut består således både av gammal och ny luft. Tiden för att byta ut all gammal luft påverkas även av luftströmmarna i rummet [23, 35, 38].

## 4.2 Uteluftsflödet i självdragsventilerade bostäder

Forskare har under åren kartlagt ventilationen i det svenska bostadsbeståndet. Resultaten från en rikstäckande undersökning på 1990-talet, ELIB, visar att flerbostadshus med självdragsventilation i genomsnitt har ett uteluftsflöde på  $0,33 \text{ l/(s m}^2\text{)}$  [39]. Ett värde som något understiger Socialstyrelsens rekommenderade värde på  $0,35 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ . En senare undersökning, BETSI, redovisar en genomsnittlig luftomsättning på  $0,39 \text{ oms/h}$  i självdragsventilerade lägenheter [40]. Med en takhöjd på  $2,7 \text{ m}$  fås ett luftflöde på  $0,30 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ . För att uppfylla Socialstyrelsens rekommendation krävs att omräkningen, från  $\text{oms/h}$  till  $\text{l/(s m}^2\text{)}$ , utförs med en takhöjd på  $3,23 \text{ m}$ . Byggnadens ålder är en faktor som påverkar den genomsnittliga ventilationsnivån. Den genomsnittliga ventilationen är högre i äldre hus. I ELIB visade det sig att ventilationen i hus byggda efter 1960 är ca  $8\%$  lägre jämfört med äldre hus. För självdragsventilerade hus är sänkningen ännu större, drygt  $16\%$ . Förmodligen beror sänkningen av luftomsättningen på att husen byggs allt tätare, dvs. den okontrollerade inläckningen av uteluft minskar [39].

Den genomsnittliga ventilationen skiljer sig dessutom mellan hus i olika delar av Sverige. Bostäder i södra och mellersta Sverige har högre ventilationsnivå än bostäder i norra Sverige [39].



# Kapitel 5

## Inomhusmiljön

Vid inandning exponeras lungorna för ett stort antal ämnen med både kända och okända effekter. Idag tillbringar människan ca 90% av sin tid inomhus och inomhusklimatet är därför av stor betydelse för vår hälsa, komfort och prestationsförmåga [19, 26, 41, 42].

Ventilationens uppgift är att säkerställa att inomhusluften är hälsosam att inandas [43]. Luftburna föroreningar som alstras i byggnaden förs bort och ersätts av den renare uteluften. Lufttillförseln får dock inte påverka den termiska komforten negativt [44]. Människans upplevelse av inomhusklimatet påverkas nämligen även av klimatfaktorer som luftens och omgivande ytors temperatur, luftens hastighet och fuktighet [35].

### 5.1 Luftkvalitet

Människan har länge ansetts vara den dominerande källan till föroreningar inomhus, men nutida forskning har visat att det finns många föroreningskällor som påverkar luftkvaliteten [42]. Luften inomhus förorenas av uteluften, byggnads- och inredningsmaterial, från människor och deras aktivitet och mikrobiologisk tillväxt. Luftens kvalitet bestäms således av hur väl ventilation och städning tar hand om dessa föroreningar [45].

Det är viktigt att förstå att föroreningskällorna är olika under en byggnads livstid. Under det första året finns en ökad risk för höga emissioner från bygg- och inredningsmaterial, hög halt av byggfukt och mycket damm. Emissioner från byggmaterial är sällan ett problem i äldre byggnader. I äldre byggnader är det istället byggnadens förfall som orsakar problem, t.ex. filter i ventilationsanläggningen blir smutsiga, slitage etc. Ju längre tid desto fler faktorer tillkommer och därmed föroreningar [46].

Inomhusluften innehåller ett stort antal ämnen och deras hälsoeffekter är till stor del inte kända [47]. Kunskapen om föroreningarnas källor, mekanismer och påverkan på människan, är sämre i inomhusmiljön än utemiljön [48]. En orsak är att mättekniken inte varit tillräckligt avancerad. Ämnen som reagerar snabbt har inte kunnat analyseras, istället har forskningen inriktats på mätbara stabila ämnen även om de har mindre inverkan på hälsan [49].

Luftkvaliteten inomhus kan definieras utifrån uppmätta föroreningshalter eller utgå från människans upplevelser dvs. ett subjektivt mått [50]. I R1 – ”Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav” ([51]) återfinns gränsvärden för olika koncentrationer av vissa bestämda föroreningar, se tabell 5.1. Det är dels en sammanställning av olika myndigheters krav och råd och dels en tolkning av råd från andra organisationer angående högsta tillåtna föroreningshalter [37].

Det är varken praktiskt eller ens teoretiskt möjligt att ge ett gränsvärde för varje tänkbar förorening. Däremot kan gränsvärden fungera som indikatorer för föroreningar med liknande ursprung. Exempelvis, om luftflödet är tillräckligt för att hålla koldioxid på en låg nivå är det rimligt att anta övriga bioeffluenter (emissioner från människan) också transporteras bort effektivt.

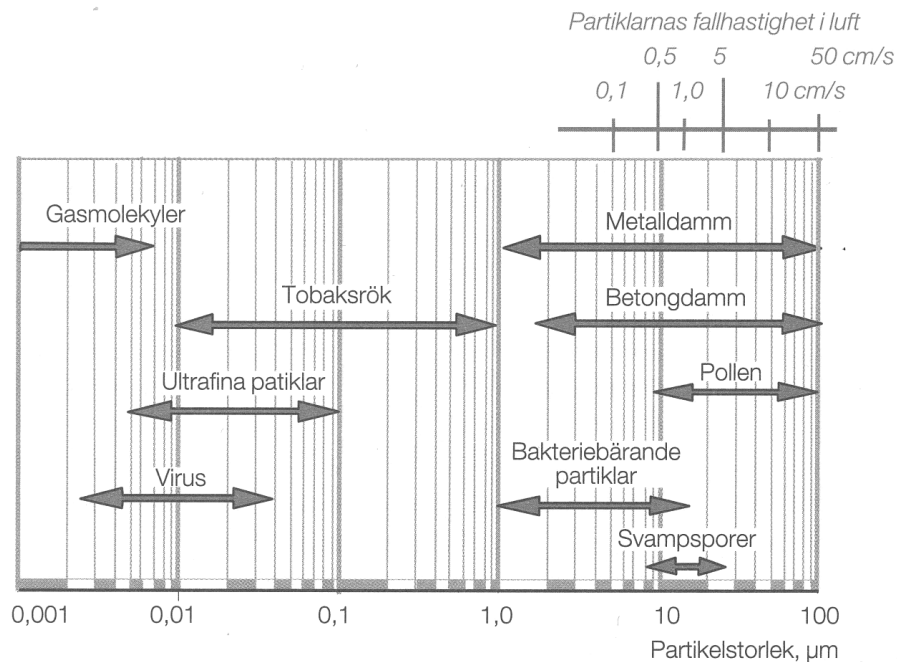
Tabell 5.1: Högsta tillåtna föroreningskoncentration enligt R1 [51].

Förorening	Beteckning	Högsta koncentration
Radon	Rn	100 Bq/m <sup>3</sup>
Kolmonoxid	CO	2 mg/m <sup>3</sup>
Kvävedioxid	NO <sub>2</sub>	40 µg/m <sup>3</sup>
Ozon	O <sub>3</sub>	50 µg/m <sup>3</sup>
Formaldehyd	HCHO	50 µg/m <sup>3</sup>
Luftburna partiklar < 10 µm	PM10	40 µg/m <sup>3</sup>
Luftburna partiklar < 2,5 µm	PM2.5	15 µg/m <sup>3</sup>
Koldioxid	CO <sub>2</sub>	1000 ppm

### 5.1.1 Partikelformiga föroreningar

Partikelformiga föroreningar omfattar fasta och vätskeformiga föroreningar som svävar i luften [45]. Dessa partiklar kan uppstå i naturliga kemiska, mekaniska eller biologiska processer eller som en konsekvens av mänsklig verksamhet. En stor del av partiklarna i utomhusluften kan härledas från mänsklig verksamhet såsom trafik och utsläpp från industrier. De naturliga processerna är dock inte utan betydelse, fråga ett flygbolag om isländska vulkanutbrott eller en allergiker under pollensäsong [35]. Den största delen av partiklar i inomhusluften kommer från människans aktiviteter. Vanliga källor är matlagning och städning. Nya luftburna föroreningar kan även skapas genom kemiska reaktioner mellan reaktanter som har sitt ursprung inom- och utomhus [52]. Gemensamt för partikelformiga luftföroreningar inom- och utomhus är att deras koncentration varierar i både tid och rum [35].

Storleken på luftburna partiklar varierar kraftigt, från ett par nanometer i diameter till större än 10 µm [52]. Storleken är en viktig egenskap som påverkar olika partiklars beteende och verkan. Små partiklar är mer reaktiva än stora, förutsatt samma massa, eftersom de mindre partiklarnas sammanlagda specifika yta är större än de stora. Det är därför brukligt att gruppera partiklar efter deras storlek. Fina partiklar har en diameter på mindre än 1 µm och grova partiklar med en diameter i intervallet 1 till 100 µm. Ibland särskiljs även ultrafina partiklar, dvs. partiklar med en diameter på mindre än 100 nm [53]. När det gäller gränsvärden används ofta PM<sub>XX</sub> begreppet. Där PM står för ”particulate matter”, dvs. partiklar och XX anger största diameter i mikrometer. PM<sub>2.5</sub> och PM<sub>10</sub> refererar alltså till partiklar med en diameter mindre 2,5 µm respektive 10 µm [53]. Partiklar som är större än PM<sub>10</sub> kan pga av sin vikt inte hålla sig flygande i en luftström med måttlig hastighet utan sedimenterar på närliggande ytor [44]. Stora partiklar utgör därför endast en liten del av det totala antalet partiklar i luften, ca. 1%. Deras andel av den totala partikelmassan kan däremot vara betydande, ca. 70% [44].



Figur 5.1: Typiska storlekar på partiklar från olika källor [35].

Vi inandas dagligen stora mängder partiklar och människans luftvägar fungerar likt ett filter. Människans hälsa påverkas av storlek och mängd av partiklar som deponeras i lungorna. De flesta större partiklar, större än  $10 \mu\text{m}$ , fastnar i de övre luftvägarna. Mindre partiklar kan tränga ned i lungblåsorna där ca hälften av partiklarna med storleken  $2-3 \mu\text{m}$  fastnar. Om inandning sker via näsan blir andelen lägre, 25% [44]. Dessutom beror skadligheten på partiklarnas kemiska sammansättning, löslighet och hygroskopisitet [52]. De kan även bära med sig andra skadliga ämnen t.ex. radioaktivitet (jmf radon) [19].

### 5.1.2 Gasformiga föroreningar

I gasformiga föroreningar ingår både organiska och oorganiska gaser och de kan vara i gasfas eller vara bundna till partiklar [19]. De blandar sig med luften och följer i allt väsentligt luftens rörelser. Precis som för luftburna partikelföroreningar, kan koncentration och förekomst variera kraftigt både i tid och rum [35]. Gasformiga föroreningar i uteluften kommer framförallt från förbränningprocesser, men vatten och mark avger också gaser vid temperaturförändringar. Dessutom tillkommer gaser från alla levande varelser [35]. Alla gasformiga föroreningar i uteluften återfinns också i inneluften eftersom kostnaden för en eventuell rening av uteluften skulle bli allt för stor. Inomhus tillkommer gas från människor samt bygg- och inredningsmaterial. Naturligtvis, ger förbränning inomhus också ett tillskott av gas till inneluften [35].

Emissionen från bygg- och inredningsmaterial är inte konstant utan minskar med tiden. Halveringstiden är vanligtvis två till sex månader. Även om källan tas bort kan föroreningarna finnas kvar efter många år. Andra material i byggnaden kan nämligen ta upp föroreningarna. Så länge koncentrationen i luften är högre sker ingen avgivning. Det adsorberade materialet avges först när koncentrationen i luften är lägre [35].

Luftvägarnas väggar är fuktiga och det har betydelse för hur långt ned i luftvägarna

föroreningar kan komma. Formaldehyd är vattenlösligt och absorberas därför i de övre luftvägarna (näsa, svalg, luftstrupe och grövre luftrör) och når sällan de nedre luftvägarna. Kvävedioxid och ozon är inte lika lösligt och absorberas därför långt ner i luftvägarna [54, 55].

### 5.1.2.1 Formaldehyd

Formaldehyd är en mycket reaktiv och färglös gas som används i en mängd produkter. Exempel på användningsområden är lim för träskivor och snickerier, plast och färg samt konserverings- och desinfektionsmedel i kosmetika och födoämnen. Människor exponeras även för formaldehyd från tobaksrök och bilavgaser. Avgivning av formaldehyd ökar av både fukt och hög temperatur [54, 56].

En för hög halt av denna gas leder till irritation i slemhinnor. Det första indikationen på för hög koncentration är irritation i ögonen. Därefter kan gasen detekteras via lukten och irritation i näsans slemhinnor [54].

Det finns inget svenskt gränsvärde men WHO rekommenderar att halten inte bör överskrida  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vid ett intervall på 30 min. Gränsvärdet betyder inte att luftkvaliteten är tillräckligt god för alla. Vissa personer kan känna obehag redan vid så låga halter som  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [39]. Det normala är dock att människor inte känner obehag förrän koncentrationen är ca  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [54].

### 5.1.2.2 Förbränningsprodukter

I bostäder kommer skadliga förbränningsprodukter som CO och NO<sub>2</sub>, från främst gasspisar och gasvarmvattenberedare och från uteluften via ventilationen [42].

Kväveoxider uppstår vid all form av förbränning. I städer är det vägtrafiken som är den klart största källan till kväveoxid i luften (över 70%) [55]. Kvävedioxid, NO<sub>2</sub>, är i sig ohälsosamt. Den verkar irriterande och kan ge upphov till skador på lungorna, men det är i första hand astmatiker som kan få besvär vid förhöjda halter [37, 57]. Kvävedioxid är också en viktig indikator för andra luftföroreningar som uppstår vid förbränning. En ökning av NO<sub>2</sub>-halten med  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ökar den förtida dödligheten med 12-14% [57].

CO bildas vid ofullständig förbränning. Det är en luktlös och färglös gas som hämnar syreupptagningen i blodet. Vid en för hög koncentration kan det leda till döden [42, 57].

### 5.1.2.3 Ozon

Ozon är en gas som kan medföra irritation hos slemhinnor och ögon samt huvudvärk. Vid höga halter kan den medföra andningssvårigheter [58]. Ozon i inneluften kommer in via ventilationen eller avges inomhus från elektroniska apparater såsom kopiatorer och skrivare. Dessa apparater är dock ofta försedda med filter som förhindrar emittering [35]. Utomhus bildas ozon genom att kvävedioxid och kolväten sönderdelas under inverkan av solljus [59]. Kväveoxider och kolväten kommer främst från vägtrafiken och energiproduktionsanläggningar [60].

Ozonhalten har en relativt regelbunden variation i tid och rum. Koncentrationen är högst dagtid under vår och försommar. Ozonhalten har tidigare alltid varit lägre inne i städerna än utanför eftersom halten blir lägre med mängden trafikavgaser. Ozon kan nämligen reagera

med kväveoxid och återskapa kvävedioxiden. Under senare år har dock kväveoxidutsläppen minskat, vilket har lett till att nivåerna är av samma storlek inne i och utanför staden [55]. Den högsta tillåtna ozonhalten enligt gällande rekommendation är  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [51].

### 5.1.3 Koldioxid

Koldioxid är en förorening vars koncentration är enkel att mäta med billiga mätinstrument. Koncentrationen av koldioxid i inomhusluften bestäms av två faktorer, koncentrationen i uteluften och av personbelastningen. Utomhus är koldioxidhalten vanligen mellan 350 och 400 ppm [61]. Vid ämnesomsättningen tillförs kroppen syre från omgivande luft och bioeffluenter som koldioxid avges [42]. Koldioxidavgivningen, och därmed den resulterande koldioxidkoncentrationen, påverkas således av människans aktivitetsgrad och storlek, se tabell 5.2. En hög  $\text{CO}_2$  halt innebär även en hög halt av andra luftföroreningar alstrade av människan såsom lukttännen, hudfragment och vattenånga [61]. Koldioxidhalten ger ingen direkt information om föroreningskoncentration av ämnen som härrör från andra källor som byggnads- och inredningsmaterial [62]. Förändringar i koncentrationen av andra föroreningar än koldioxid är dock ofta proportionella mot koldioxidkoncentrationen. En ökning av ventilationen för att sänka koldioxidhalten medför också att halten av övriga föroreningar sänks. Notera att det omvända kan gälla.

Tabell 5.2: Koldioxidavgivning från människor [61].

<b>Aktivitet</b>	<b>Vuxen [l/h person]</b>	<b>Barn [l/h person]</b>
Sovande	10-12	7-10
Sittande	12-15	9-12
Maskinskrivning	19-24	15-20
Lätt arbete, gymnastik	33-42	25-34
Dans, bollspel	55-70	42-56

Koldioxid är en relativt ofarlig förorening. Det hygieniska gränsvärdet är 5000 ppm, med ett korttidsgränsvärde på 10000 ppm. Vid denna nivå kan symptom som ökad andning registreras. Det krävs koncentrationer över 30000 ppm för att arbetsförmågan ska försämrats och över 50000 ppm för att vara livshotande [63, 64], se tabell 5.3. Människan klagas dock på luftkvaliteten vid betydligt lägre nivåer än de som ger fysiologiska förändringar. Vid 1400 ppm upplevs luften som kvalmig och koncentrationsförmågan försämrats [65]. Därför har arbetarskyddsstyrelsen fastlagt ett gränsvärde på 1000 ppm i arbetsmiljöer. Det finns de som förespråkar en årstidsanpassad ventilation. Det skulle innebära att gränsvärdet skulle vara lägre på sommaren och högre på vintern. På så sätt undviks problem med låga relativa fuktigheter vintertid [64].

Det människorna reagerar på är oftast inte koldioxidhalten utan istället högre nivåer av andra föroreningar, ökad temperatur och luftfuktighet mm., som bildas vid bristfällig ventilation [64, 65]. I detta sammanhang är gränsvärdet på 1000 ppm rimligt. Koldioxidhalten kan alltså ses som en indikator på ventilationens förmåga att föra bort föroreningar [66]. Notera att en koldioxidhalt som understiger 1000 ppm inte alltid betyder att luftkvaliteten kommer att uppfattas som god, andra faktorer som städning och temperatur påverkar

Tabell 5.3: Koldioxidkoncentration och symptom [63, 64].

Koncentration [ppm]	Symptom
< 5000	Inga symptom eller observerbara effekter.
5000 – 15000	Lätta fysiologiska förändringar.
15000 – 30000	Tydliga fysiologiska förändringar men prestationsförmågan oförändrad.
30000 – 50000	Sådana fysiologiska störningar så att prestationsförmågan sänks.
> 50000	Livshotande!

upplevelsen [67]. Med andra ord, en fungerande ventilation är en förutsättning men ingen garanti för att luftkvaliteten ska upplevas som god.

### 5.1.4 Radon

Radon ingår i urans ( $^{238}\text{U}$ ) sönderfallskedja och bildas då radium sönderfaller. Med radon avses radon-isotopen  $^{222}\text{Rn}$  och dess döttrar, de fyra första sönderfallsprodukterna [68]. De högsta radonhalterna i inomhusluft orsakas av radon i marken under byggnaden. Men radon kan även komma från byggnadsmaterial och hushållsvatten [69]. Studier har visat att hälsan påverkas negativt av radonstrålning och att det finns ett tydligt samband mellan radonexponering och lungcancer. Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) uppskattar att ca 450 lungcancerfall per år orsakas av radon. Av dessa utgörs 20-50 av icke rökare och resterande fall förekommer bland rökare som exponeras för radon [70]. För att säkerställa att byggnader och deras egenskaper inte påverkar hälsan har boverket angivit att radonhalten i skolor och förskolor ska vara lägre än  $200\text{ Bq/m}^3$  senast år 2010 och i bostäder år 2020 [71]. Pga nya studier rekommenderar dock WHO att gränsvärdet bör sänkas till  $100\text{ Bq/m}^3$ . Boverket har tillsammans med fem andra myndigheter gjort en samhällsekonomisk analys av vad en sänkning av gränsvärdet skulle betyda. Slutsatsen blev att det inte är samhällsekonomiskt lönsamt att sänka gränsvärdet enligt WHO:s rekommendation. Dessutom finns risken att enskilda ägare drabbas av orimliga saneringskostnader, då det, enligt rapporten, är oklart om det finns metoder att sänka radonhalten till  $100\text{ Bq/m}^3$  i alla byggnader [72].

För markradon finns, i vissa kommuner, sk. riskkartor. Dessa anger var risken för förhöjd radonhalt är som störst. Kartorna baseras på geologiska data, såsom gammastrålningskartor, jordarts kartor, berggrundskartor, etc. och utförda mätningar [69].

De allra flesta byggnadsmaterial innehåller radium och avger därför radon. Det är dock endast vissa stenbaserade material som innehåller så pass mycket att de kan ge ett betydande bidrag till strålningen i byggnader [73]. I byggnadsmaterialsammanslagning är det blåbetong som är den dominerade radonkällan [74]. Alunskiffer är den bergart som innehåller högst halt av uran och har därmed en hög halt av radium och radon. Skiffret kännetecknas av dess blågrå/blåsvarta färg. Det är denna färg som gett alunskifferbaserad lättbetong dess namn, dvs. blåbetong [75]. Rödfyr (bränd alunskiffer eller alunskifferaska) är självklart olämplig som byggnadsmaterial. Det har dock använts för att tillverka murblock och som fyllmaterial i bjälklag [71, 76]. Notera att det finns andra byggnadsmaterial som kan ge upphov till förhöjda radonhalter, t.ex. tegel av alunskifferlera och gipsplattor av fosfatgips [69, 77]. Idag är byggnadsmaterial med hög radiumhalt ( $> 200\text{ Bq/kg}$ ) förbjudna. Därför

är höga radonhalter från byggnadsmaterial ett problem som är kopplat till äldre byggnader [69].

Kännedom om radonets ursprung är av stor vikt när ett radonproblem ska åtgärdas. Fel val av åtgärd kan förvärra situationen [78]. En ökning av luftomsättningen minskar radonhalten om källan är byggnadsmaterial men kan ge motsatt effekt om källan är markradon genom att mer radonhaltig luft sugas in genom otätheter i golvet.

## 5.2 Luftfuktighet

Luft är en blandning av gaser som innehåller en liten mängd vattenånga. Beroende på fuktighet, temperatur och tryck kan luft både ta upp vatten och torka ut sin omgivning och lämna ifrån sig vatten på ytor, dvs. kondensera. Dessa processer har både direkt och indirekt effekt på människans välbefinnande samt byggnadsmaterials beständighet [79]. Luftfuktens inverkan på upplevelsen av termisk komfort är under normala förhållanden liten, men vid stationära förhållanden, såsom att gå in och ut från en byggnad, kan den ge en större termisk effekt. Dock endast under en kort tid [42]. En tumregel är, att hög relativ fuktighet förstärker upplevelsen av både kyla och hetta. Jämför med när vatten hålls på stenarna i bastun och fuktigheten ökar. Låg relativ fuktighet i kombination med hög aktivitet kan också öka avkylningen genom att avdunstningen ökar [5].

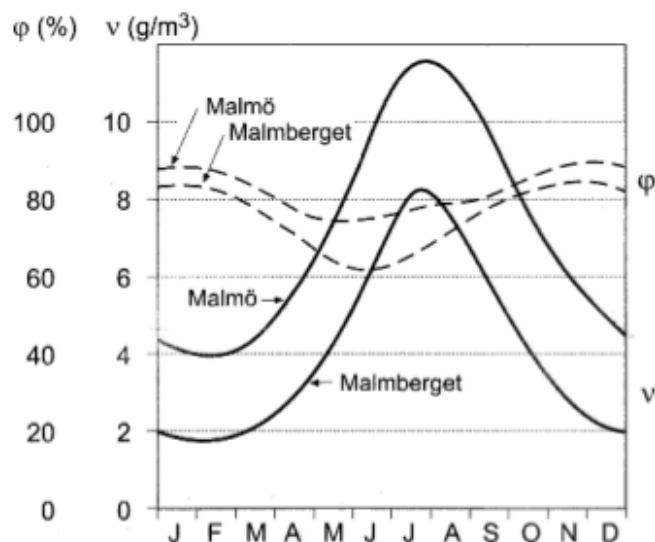
### 5.2.1 Ånghalt

Mängden vattenånga i luften anges vanligen med ånghalt,  $v$  kg/m<sup>3</sup>, eller relativ fuktighet  $\varphi\%$ . I bostäder tillförs luften fukt från en rad olika källor. Fuktproduktionen härrör främst från människor och den aktivitet de bedriver. Som exempel kan nämnas avdunstning från människor, djur och växter, disk, bad, dusch, matlagning, tvättning och torkning av tvätt osv. Boendevanor har därför en stor betydelse för mängden fukt som tillförs luften. I en bostad är fuktillförseln störst i badrum och kök [9].

Fuktillförseln varierar i både tid och rum. En del av fuktproduktionen sker kontinuerligt såsom avdunstning från människan. En människa avger, vid normal rumstemperatur, 40-50 gram vattenånga per timme. Avgivningen kan dock 10-faldigas vid hög aktivitet, se avsnitt 5.3.1.5. Hälften av fuktavgivningen sker via huden och resten med utandningsluften. En annan del av fuktproduktionen sker lokalt och under korta tidsperioder. Ett stort tillfälligt fuktillskott kan t.ex. erhållas vid bad och dusch [9]. I nybyggda byggnader tillkommer även betydande mängder fukt i form av byggfukt [9]. Vid självdragsventilation måste hänsyn också tas till fuktinnehållet i utomhusluften eftersom luften inte förbehandlas innan den förs in i huset. Notera att utomhusluften i princip alltid är torrare än inomhusluften.

Fukt i utomhusluften kommer från avdunstning av vatten från hav, sjöar och mark [4]. Under ett dygn varierar ånghalten utomhus relativt lite. På grund av temperaturvariationer är dock dygnsvariationen något större på sommaren än på vintern. Sett över ett år, är variationen betydligt större. Under sommaren kan ånghalten bli mer än tre gånger så stor som på vintern. Normalt ligger ånghalten under sommaren i intervallet 7-11 g/m<sup>3</sup> jämfört med 1,5-4 g/m<sup>3</sup> på vintern. Notera att ånghalten också varierar mellan olika orter [9, 10], se figur 5.2.

Följaktligen bestäms ånghalten inomhus av ånghalten utomhus, fuktproduktionen inomhus och av hur mycket fukt som förs bort med frånluften dvs. ventilationens omsättning.



Figur 5.2: Årstidsvariation av ånghalt och relativ fuktighet i utomhusluften i Malmö och Malmberget [10].

Ånghalten inomhus kan beräknas enligt,

$$v_i = v_u + \frac{G}{n \cdot V} (1 - e^{-nt}) \quad (5.1)$$

där	$v_i$	= ånghalt inomhus	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$v_u$	= ånghalt utomhus	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$G$	= fuktproduktion	[kg/h]
	$n$	= ventilationen (luftomsättning)	[h <sup>-1</sup> ]
	$V$	= lokalens volym	[m <sup>3</sup> ]
	$t$	= tiden	[h]

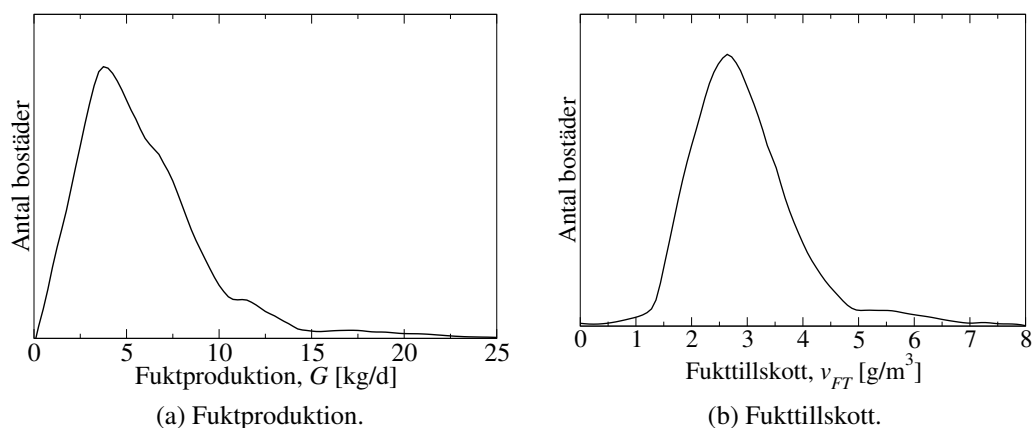
Efter lång tid, vid stationära förhållanden, kan ekvation (5.1) skrivas som,

$$v_i = v_u + \frac{G}{n \cdot V} \quad (5.2)$$

eftersom  $e^{-nt} \rightarrow 0$  då  $t \rightarrow \infty$ .

Sista termen i ekvation (5.2) beskriver produktionen av fukt inomhus, sk fuktproduktion. Det är viktigt att skilja på fuktproduktion och fukttillskott. Fuktproduktion,  $G$ , avser antal kg vattenånga som tillförs rummet per timme. I lägenheter i flerbostadshus ligger fuktproduktionen i genomsnitt kring ca 6 kg/dygn under en vintermånad, se figur 5.3a. Fukttillskott avser skillnaden mellan ånghalten inne och ute, dvs. hur mycket högre ånghalten inomhus är jämfört med utomhus, Fukttillskottet,  $v_{FT}$ , anges i enheten g/m<sup>3</sup>. Vid normala förhållande under vintern är fukttillskottet i lägenheter 1,5-4 g/m<sup>3</sup> med medelvärdet 2,9 g/m<sup>3</sup>, se figur 5.3b [9].

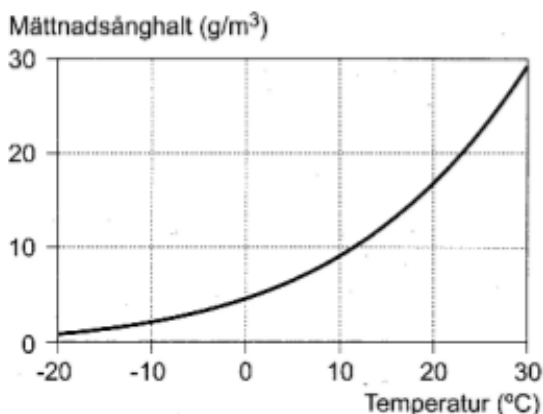




Figur 5.3: a) Fuktproduktion och b) fukttillskott i bostäder i flerbostadshus [9].

### 5.2.2 Mättnadsånghalt

Mängden vattenånga i luften varierar. Den maximala mängden vattenånga kallas mättnadsånghalten,  $v_s$   $\text{kg/m}^3$ , och varierar med luftens temperatur. Mättnadsånghalten ökar med temperaturen, dvs. varm luft kan bära mer vattenånga än kall. Sambandet åskådliggörs i figur 5.4. Omvänt gäller att, om mättnadsånghalten sänks genom t.ex. att luften kyls, sänks även ånghalten genom att en del av vattenångan kondenserar dvs. övergår från vattenånga till vattendroppar [10].

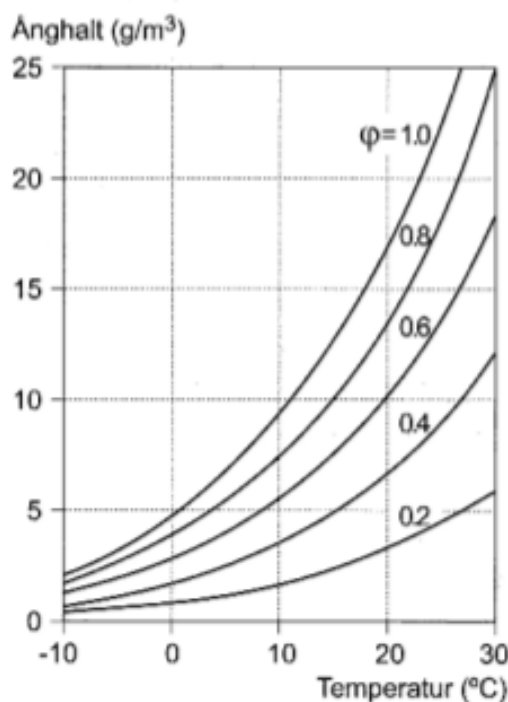


Figur 5.4: Mättnadsånghalt som funktion av temperatur [10].

### 5.2.3 Relativ fuktighet

Förhållandet mellan ånghalt och mättnadsånghalt kallas relativ fuktighet och har stor betydelse för materials beständighet och människans välbefinnande. Den relativa fuktigheten anger var på skalan mellan torr luft och mättad luft, som luften befinner sig. Den definieras som kvoten mellan luftens vattenånga och mättnadsvärde vid aktuell temperatur och betecknas med RF eller  $\varphi$  [9].

RF är dimensionslös men uttrycks ofta i procent. I figur 5.5 illustreras sambandet mellan ånghalt, temperatur och relativ fuktighet [10].



Figur 5.5: Samband mellan ånghalt, temperatur och relativ fuktighet [10].

### 5.2.3.1 Relativ fuktighet utomhus

Låg lufttemperatur innebär att fukttätheten i luften är lågt men att den relativa fuktigheten oftast är hög. Motsatt gäller också att vid hög lufttemperatur är fukttätheten högt men att den relativa fuktigheten är relativt låg. Det innebär att RF utomhus varierar med årstid och geografiskt läge från 80-90% på vintern till 60-80% på sommaren, se figur 5.2. RF varierar liksom ånghalten över dygnet, från lägre värde på dagen till högre på natten. Väderlek påverkar också halten. Regn och dimma kan ge så höga halter som 95-100%, medan värme och torra kan medföra ett RF motsvarande 35-40% [10].

### 5.2.3.2 Relativ fuktighet inomhus

Den relativa fuktigheten inomhus,  $\varphi_i$ , kan skrivas som

$$\varphi_i = \frac{v_u + v_{FT}}{v_s(T_i)} \quad (5.3)$$

där	$v_i$	= ånghalt inomhus	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$v_u$	= ånghalt utomhus	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$v_{FT}$	= fukttillskott	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$v_s(T_i)$	= mätnadsånghalt vid temperaturen $T_i$	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$T_i$	= inomhustemperatur	[°C].

I stora drag kommer den relativa fuktigheten inomhus att följa variationen i ånghalt ute. Detta kan inses med följande resonemang. Inomhustemperaturen är i huvudsak konstant, drygt 20°C, året runt. Ett par grader högre om sommaren än om vintern, se avsnitt 5.3. Som

en första approximation kan även fuktillskottet betraktas konstant, eftersom det till stor del bestäms av de boende och deras aktiviteter. Det är inte orimligt att anta att dessa är ungefär samma vinter som sommar. Exempelvis, det lagas lika mycket mat vinter som sommar. Med  $v_{FT}$  och  $v_s(T_i)$  konstanta inses att RF varierar på samma sätt som ånghalten ute. Detta innebär att den relativa fuktigheten inomhus varierar med årstiderna och att den beror på geografiskt läge. Vid normala förhållanden varierar månadsmedelvärdet för RF från 30% på sommaren till 60% på vintern [10].

## 5.2.4 Fuktbuffring

Fukten förs inte enbart bort med ventilationen, utan kan även vandra in i eller genom klimatskärm och material, se mer i avsnitt 6.3.2. Drivkrafterna för denna fukttransport kan vara skillnader i lufttryck, ånghalt eller båda [9].

Vid lufttryckskillnader skapas en luftström som för med sig fukt, från ett högre lufttryck till lägre lufttryck, sk fuktkonvektion. Fuktkonvektion kan utjämna skillnaden i fuktproduktion mellan olika rum i en bostad. Vid sk ångdiffusion sker fukttransport från ett område med högre ånghalt till ett område med lägre. Fuktkonvektion är en snabbare process än diffusion [9].

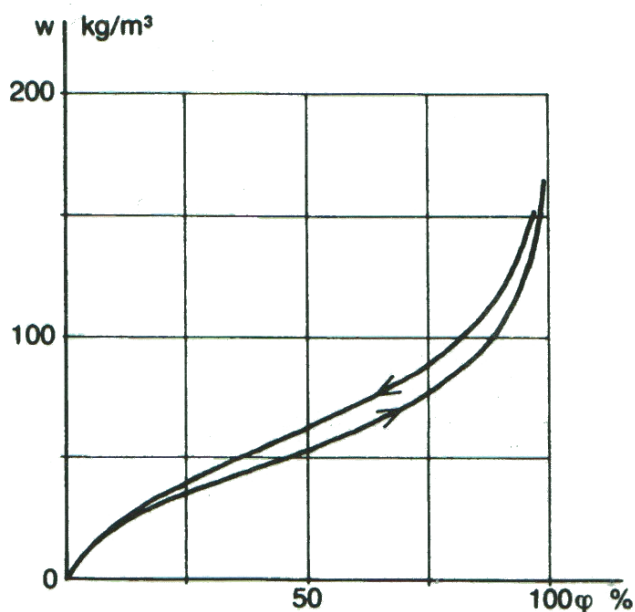
Fuktbuffring är en process varvid fukt temporärt lagras i material för att sedan återföras till luften i rummet vid ett annat tillfälle. Vid varierande fuktproduktion kan bygg- och inredningsmaterial på så sätt ha en dämpande inverkan [9]. För att materialet ska ha en dämpande inverkan fodras att materialet har stor fuktkapacitet, även kallat fuktröghet. Fuktkapaciteten ges av lutningen på materialets sorptionskurva. Sorptionskurvan anger sambandet mellan materialets fukthalt vid jämvikt och luftens relativa fuktighet, se figur 5.6. Många byggmaterial, t.ex. trä och betong, kan uppta respektive avge betydande mängder vatten då den relativa fuktigheten i den omgivande luften varierar. Furu kan exempelvis innehålla uppåt 150 kg vatten per  $m^3$  vid hög relativ fuktighet [80]. Men vid snabba ånghaltsvariationer, t.ex. dygns- och veckvariationer, har denna fuktbuffringsförmåga en underordnad betydelse för rummets fuktbalans. Det beror på att fukt inte hinner diffundera långt in i materialet under kort tid. Det innebär att endast en liten volym av materialet upptar eller avger fukt vid kortare tidsvariationer, vilket i sin tur betyder att endast en begränsad mängd vatten tas upp respektive avges till rumsluften [4]. Notera att vissa material reagerar snabbare, t.ex. textilier av naturfiber [9].

## 5.2.5 Besvär orsakade av luftfuktighet

Människan har en dåligt utvecklad förmåga att avgöra vilken relativ fuktighet som råder. Är det riktigt varmt och fuktigt behöver vi svettas mycket för att kyla kroppen. Är det riktigt torrt kan slemhinnor och hud reagera. Däremellan är det svårare [4].

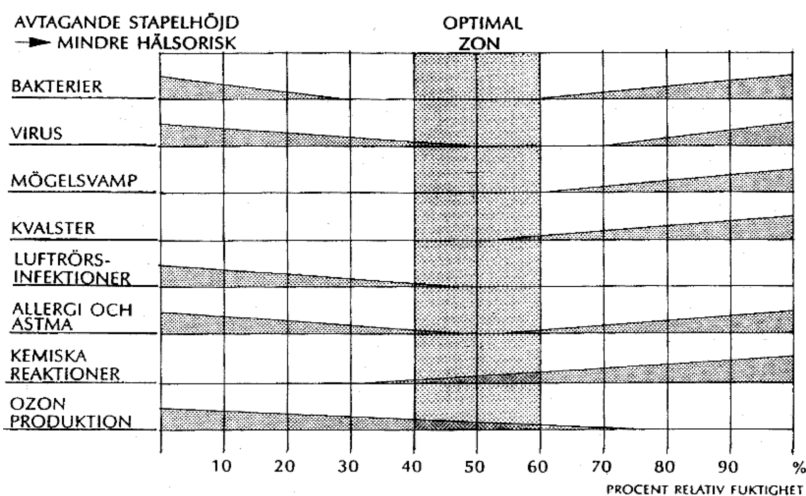
Klagomål på torr luft beror vanligtvis inte på låg relativ fuktighet utan på att luften är för varm. Luften kan också upplevas som torr vid för höga halter av luftföroreningar, som damm, fibrer och andra kemiska ämnen. Därför ska klagomål angående luftfuktighet tas på allvar, även om det sällan är den direkta orsaken till besvär [49].

Såväl för torr som för fuktig luft inomhus ger upphov till problem. För att minska risken för besvär bör den relativa fuktigheten ligga i intervallet 40-60%, se figur 5.7. Under vintern bör dock RF hållas under 50% för att undgå problem med kondensation. Andra källor anger



Figur 5.6: Sorptionskurva för furu med densitet 510 kg/m<sup>3</sup> [9].

ett vidare intervall, se tex. referens [42]. Om intervallet över- eller underskrids ökar risken för att de boende ska insjukna då bakterier och virus har större möjlighet att överleva [19].



Figur 5.7: Hälsorisker kopplade till relativ fuktighet [19].

### 5.2.5.1 Besvär med torr luft

En relativ fuktighet som understiger 20% kan medföra att ögon, läppar, hud och slemhinnor i näsan torkar ut. Torra slemhinnor innebär att rensningsfunktionen inte fungerar och att känsligheten för luftföroreningar ökar. Torr luft bidrar också till att ytskikt och människor lättare blir statiskt uppladdade. Hög statisk laddning leder till att kropp och andningsorgan tillförs en högre halt av bakterier, virus och partiklar [5].

Besvär med torr luft kan enklast åtgärdas med att sänka lufttemperaturen varvid den relativa fuktigheten höjs [81]. Att befukta luften är inte ett bra alternativ ur hygienisk synvinkel. Risken är stor att befuktningen ger problem som tillväxt av dammkvalster, luftfuktarfeber och andra överkänslighetsymptom [50].

Många tror att elradiatorer ger upphov till ett torrare inneklimat jämfört med varmvattenradiatorer. Förklaringen till denna myt kan vara att elradiatorerna förr var dåligt reglerade. Det blev lätt för varmt vilket ökade vädringsbehovet. Fukttillskottet blev då lägre varvid den relativa fuktigheten sjönk. Elradiatorn hade också en högre temperatur vilket resulterade i en hög halt av bränt damm i luften [4].

### 5.2.5.2 Besvär med fuktig luft

En hög luftfuktighet medför en ökad risk för tillväxt av kvalster och mögelsvampar [5].

**5.2.5.2.1 Kvalster** Allergi orsakad av kvalster är en av de vanligaste formerna av allergiproblem på världsplan. Det gäller då framförallt allergi mot husdammskvalster. Det uppskattas att två till tre procent av befolkningen i många europeiska länder lider av husdammsallergi [42, 50].

Kvalster är någon tiondels millimeter stora spindeldjur. De livnär sig på hudflagor från människan, sk epitel. Kvalster finns överallt och bosätter sig främst i sängar [43]. Vid sängbäddning virvlas kvalster upp varvid halten luftburet kvalster ökar tusenfalt, för att sedan snabbt sjunka. Regelbunden luftning av sängkläder minskar därför risken för problem orsakade av kvalster [50].

Inandning av kvalsteravföring samt delar av döda kvalster kan ge upphov till allergiska reaktioner, såsom astma och allergisk snuva. Reaktionen orsakas av ett enzym som kvalster använder för att bryta ner föda. Enzymet följer med ut i deras avföring [35, 42, 82].

Kvalster trivs bäst varm och fuktig miljö [9]. De är därför vanligare i landets södra och västra delar [56]. Optimalt klimat för tillväxt är 25°C och en relativ fuktighet på 75-80%. Förekomst av kvalster kan därför ses som en indikator på bristfällig ventilation eller för stort fukttillskott [42]. När den relativa fuktigheten understiger 45% torkar kvalster ut och dör, vilket gör att de har svårt att överleva inomhus om vintern, förutsatt att byggnaden ventileras ordentligt [42].

**5.2.5.2.2 Mögel** Mögel är en sammanfattande term för ett stort antal mikrosvampar. Svamparna indelas i grupperna mögel-, blånads- och rötsvampar samt soft rot [82]. För att svampar ska kunna växa behöver de tillgång till näring, syre och vatten, både från luft och materialet de växer på. Vidare har även parametrar som temperatur, lufthastighet, ljus och varaktighet inverkan på tillväxt. Om förutsättningar för tillväxt förändras kan svampar försätta sig i ett vilostadium tills mer gynnsamma förhållanden infinner sig. Svampar förökar sig genom att sprida sporer med hjälp av luftrörelser [4].

Sporer finns överallt, både inom- och utomhus. Halten av sporer varierar med årstiden, hög på sensommaren och låg under vintern. Inomhus varierar halten beroende på ventilationsgraden, eventuell filtrering, och om det finns sporer som härrör från inomhusmiljön. Normalt är dock halten högre ute än inne [50].

Sporerna befinner sig i vilostadium tills de har tillgång till fukt och näring. När sporererna gror utvecklas fina trådar, sk hyfer, som tillsammans bildar ett nätverk (mycel), som

är trådlika strukturer med förgreningar. Från mycelet bildas en sporalstrande struktur, en sporkropp [82].

Det är svårt att ange ett gränsvärde för svampar. Olika svampar har olika betingelser för tillväxt och de kan även påverka varandra [9]. De flesta rötsvampsporor kräver tillgång till fritt vatten för att växa. Mögelsvampar kräver en lägre fukthalt än rötsvampar för att gro och är därför dimensionerande. Tillväxten kan begränsas genom att undvika kondensation på ytor och hålla den relativa fuktigheten under 70% [42].

Mögelpåväxt ser inte alltid lika ut och är svår att upptäcka i tidigt skede. Mögelsvampar liksom blånadsvampar medför en missfärgning [9].

Förutom estetiska problem kan mögelsvampar och deras sporer ge en mängd olika hälso- och sjukdomsproblem, såsom allergi, infektioner och förgiftningar [35]. Mögelsvamp kan också medföra komfortproblem eftersom de avger ämnen som ger upphov till en besvärande lukt. Denna lukt biter sig fast i hår, textilier, bygg- och inredningmaterial och är mycket svår att få bort. Lukten kan finnas kvar långt efter att svampen torkat ut och upphört att avge luktsämnen. Det finns även bakterier, sk. aktinomyceter eller strålsvampar, som avger en ”mögellukt”. De har en mycket karaktäristisk luktaffekt som förknippas med källare [50].

## 5.3 Termisk miljö

Snitttemperaturen i flerbostadshus i Sverige är 21,8°C [5]. Inomhustemperaturen bör ligga i intervallet 20-26°C, vintertid mellan 20-24° och sommartid 23-26°C. Höjningen är nödvändig eftersom vi annars skulle frysa om klädseln utgörs av lätta sommarkläder [83, 84].

Trots att lufttemperaturen är inom det rekommenderade intervallet kan det kännas kallt om exempelvis omgivande ytor är kalla. Kännedom om luftens temperatur är inte tillräckligt för att få en bild av individens upplevelse av det termiska klimatet. Upplevelsen av klimatet och effekter på människan påverkas inte bara av omgivande ytors temperatur utan också av luftens hastighet och fuktighet. Dessutom har klädsel och arbetstyngd inverkan på kroppens värmebalans och upplevelsen av det termiska klimatet [85].

Utomhusklimatet påverkar också det termiska klimatet inomhus. Kall luft har ett lägre vatteninnehåll än varm. Vintertid kan det därför även uppstå problem med torr luft, se avsnitt 5.2.5.2. Under vintern kyls oisolerade väggar och fönster ned och kan orsaka problem med drag och låga temperaturer inomhus. På sommaren värms dessa ytor istället upp och kan då ge upphov till för höga temperaturer inomhus [85].

Termisk komfort är ett tillstånd då kroppen är tillfreds med den termiska miljön och inte önskar varmare eller kallare omgivning. För att förstå vad som krävs för att uppnå termisk komfort är det nödvändigt att förstå hur kroppens värmeregleringssystem fungerar. Regleringssystemet har till grunduppdrag att hålla balans mellan kroppens värmeproduktion och värmeavgivning. Balansen är nödvändig för att bibehålla den inre kroppstemperaturen kring 37°C, en förutsättning för liv hälsa [42].

### 5.3.1 Kroppens värmeregleringssystem

Värme alstras i kroppen då näringsämnen bryts ned. Värmeproduktionen påverkas av kroppens aktivitet. Ju större fysisk aktivitet desto mer värme bildas. Värmeproduktionen anges med enheten W/m<sup>2</sup> kroppsyta eller med enheten met. En vuxen person i vila alstrar 58 W/m<sup>2</sup>,

vilket motsvarar 1 met, se tab. 5.4. Vid fysiskt tungt arbete kan det produceras 6 ggr mer värme [85].

Kroppens inre temperatur är i vila  $36,5^{\circ}\text{C} - 37,5^{\circ}\text{C}$ . Det är av stor vikt att den inre temperaturen hålls relativt konstant eftersom för stora variationer påverkar hälsan negativt [85].

Avvikelse från normal kroppstemperatur leder till obehag. Vidare påverkas mentala funktioner som koncentrationsförmåga, uppmärksamhet och omdöme negativt. Överhettning av kroppen kan leda till utmattning och värmeslag och är mycket farligt. Det är även farligt om kroppstemperaturen minskar från det normala. Först inställer sig en känsla av apati, uppgivenhet och modlöshet och så småningom inträder medvetlöshet [85].

Värmen som produceras i kroppen måste avges till omgivningen annars stiger kroppstemperaturen [85]. Värmen transporteras med blodet och avges till omgivning från huden och slemhinnorna (främst andningsvägarna). Värmeavgivningen från kroppen kan ske på olika sätt, genom ledning, konvektion, strålning, och/eller avdunstning genom andning och svettning.

Tabell 5.4: Ämnesomsättning vid typisk aktivitet [42].

Aktivitet	Ämnesomsättning	
	W/m <sup>2</sup>	met
Liggande	46	0,8
Sittande avslappnad	58	1,0
Stående avslappnad	70	1,2
Stillasittande aktivitet: kontor, hem, skola, labb	70	1,2
Stående aktivitet: affär, labb, lätt industri	93	1,6
Stående aktivitet: expedit, arbete i hemmet, arbete vid maskin	116	2,0
Medelstor fysisk aktivitet: tungt arbete vid maskin, arbete i verkstad	165	2,8
Elitsportsaktivitet	870	15

### 5.3.1.1 Ledning

Vid ledning överförs värme i kontaktytan mellan hud och fast material [85]. Ett materials temperatur är ett mått på rörelsen hos de atomer eller molekyler materialet är uppbyggt av. Ju högre temperatur desto kraftigare rörelser. När två områden med olika temperatur kommer i kontakt med varandra kommer molekylerna att utväxla energi. Energi överförs via kollisioner från det varma områdets molekyler med hög rörelseenergi till molekyler i det kalla området med låg rörelseenergi [13, 86]. Överföringen fortsätter tills de båda områdena har samma temperatur. Hur mycket värme som överförs beror på värmekapaciteten hos respektive område. Värmekapacitet är den värmemängd som åtgår för att höja kroppens temperatur med en grad. Ett bra exempel är att jämföra en fot på ett golv av trä eller sten. Antag att golvens temperaturer är lika men kallare än foten. Sten har högre värmekapacitet än trä, vilket betyder att mer värme, jämfört med trägolvet, måste överföras från foten till stengolvet för att fot och golv ska få samma temperatur. Det innebär i sin tur att foten kyls mer av stengolvet än av trägolvet [4].

### 5.3.1.2 Konvektion

Konvektion innebär att värme transporteras mellan olika ställen med olika temperaturer via ett strömmande fluid t.ex. luft eller vatten. Fluiden tar upp värme från en varm yta och avsätter den på en kallare [4].

Vid naturlig konvektion beror strömningsrörelsen på temperaturbetingade densitetskillnader i luften. När luften ökar 3°C sjunker densiteten 1%, dvs. varm luft är lättare än kall och stiger [86]. Ett exempel på naturlig konvektion är att luft värms upp vid kontakt med huden och stiger uppåt längs och bort från kroppen [85].

Luften kan även sättas i rörelse av yttre påverkan såsom vind eller fläkt, sk påtvingad konvektion. Detta leder till snabbare strömning runt kroppen och mer värme avges från kroppsytan [85].

### 5.3.1.3 Strålning

Strålning skiljer sig från ledning och konvektion så till vida att energi (värme) kan överföras utan direktkontakt med en annan kropp eller med hjälp av ett transportmedium såsom luft eller vatten. Som vid all värmeöverföring är temperaturskillnaden drivkraften. Värme strålar från hud och kläder till omgivande ytor med lägre temperatur. Avgiven värmemängd är beroende av kroppens temperatur. Ju högre temperatur desto större blir värmestrålningen [4].

En radiator avger värme till ett rum via strålning förutsatt att dess yttemperatur är högre än omgivande ytors. I ett välisolerat hus krävs sällan en yttemperatur över 32°C. Det betyder att fullt fungerande radiatorer kan kännas kalla vid beröring, eftersom hudens temperatur varierar mellan 30 till 34°C [56].

### 5.3.1.4 Värme via andning

Värme avges inte enbart från huden utan även via andning. Värmen avges från lungor och munhåla genom konvektion och avdunstning [85].

### 5.3.1.5 Svett och avdunstning

Det omgivande termiska klimatet kan variera kraftigt. Kroppens temperatur kan regleras genom att vi aktivt ändrar vårt beteende för att förhindra uppvärmning eller avkyllning. Exempel på beteendemässig reglering är att öppna fönster, ändra fysisk aktivitet, anpassa klädseln. I de fall då beteendemässig reglering inte är tillräcklig eller möjlig vidtar kroppens autonoma värmereglering. Kroppens egna värmereglering kan inte styras viljemässigt. I huden och inre organ finns receptorer som informerar hjärnan om hudens och kroppens inre temperatur. Systemet reglerar temperaturen i kroppen med hjälp av blodcirkulation, svettkörtlar och muskler [42, 85].

När temperaturen stiger ökar blodflödet till huden varvid hudens temperatur höjs. Detta leder i sin tur till att mer värme avges genom ledning, konvektion och strålning. Om detta inte är tillräckligt för att upprätthålla värmebalansen kyls huden istället genom avdunstning av svett. Huden är täckt med 2 miljoner svettkörtlar som kan producera 1 liter svett per timme [42]. Vid avdunstning av svett åtgår energi som tas från hudytan varvid hudens temperatur sänks [13]. Om luftfuktigheten i omgivningen är hög försämras dock avdunstningen och kyleffekten försämras. Klädernas ånggenomsläpplighet dvs. förmågan



att släppa ut svett påverkar också temperatursänkningen. Kläder med låg genomsläpplighet innebär att avdunstning försämras [85].

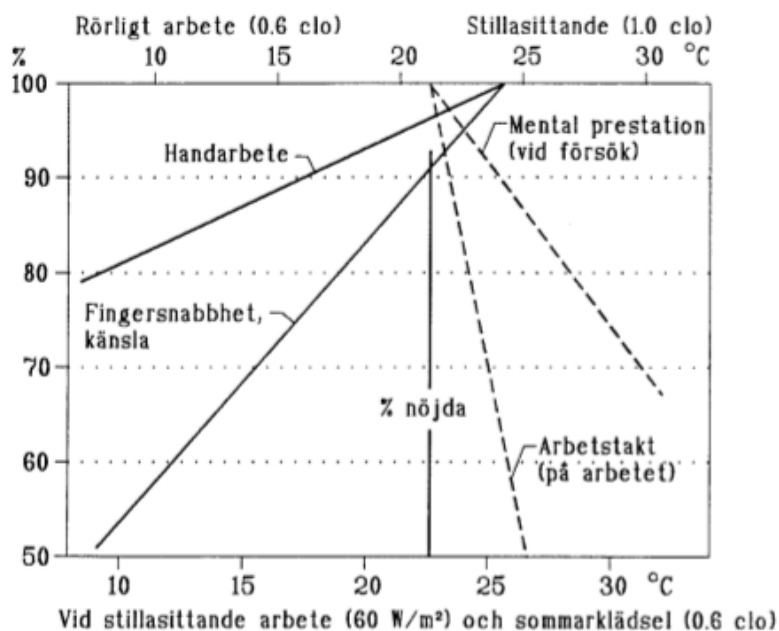
Om kroppstemperaturen istället börjar falla försvarar sig kroppen istället genom att minska blodflödet till huden varvid värmeförlusten minskar. Även blodflödet till kroppens extremiteter minskar vilket leder till kalla händer och fötter. Kroppen sparar på så sätt värme åt vitala inre organ som hjärna, hjärta, lungor. Om dessa åtgärder inte är tillräckliga för att hålla värmen, startar muskelspänningar, dvs. köldskakningar, som ökar ämnesomsättningen och därmed kroppens egen värmeproduktion [42].

Höga och låga temperaturer påverkar människor på olika sätt. Bara några grader för varmt eller kallt påverkar den mentala respektive fysiska prestationen, se figur 5.8. Det leder i sin tur till en ökad risk för olyckor, se figur 5.9 [85, 87].

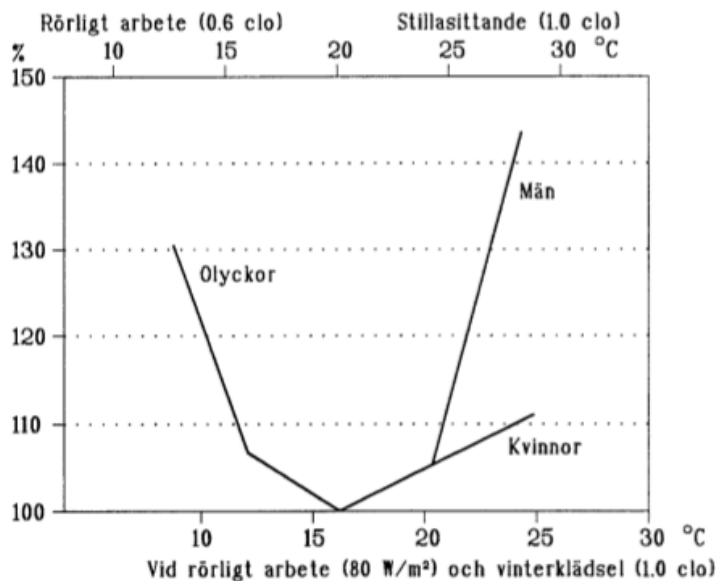
Kyla påverkar kroppen fysiskt. Nedkylning påverkar muskelfunktionen och leder till sämre styrka och rörlighet, som i sin tur leder till fumlighet [83]. Känsligheten och finmotoriken i fingrarna påverkas redan vid 20°C och vid 16°C är temperaturen i fingrarna så låg att det är svårt att skriva [84], se figur 5.8.

Figur 5.8 visar också att den mentala förmågan försvagas vid höga temperaturer. Vi blir trötta och okoncentrerade och inlärningsförmågan försvagas [83]. Den mentala prestationen, men framförallt arbetstakten, minskar mycket snabbt med en högre temperatur [87].

Förmågan att tåla värme och kyla kan tränas upp. Kroppens fysiska kapacitet har betydelse för när svettningen sätts igång. För en otränad människa kan det ta upp till två timmar innan svettningen kommer igång och temperaturer över 27°C blir således mycket obehagligt oavsett aktivitetsgrad [56]. Vidare har reglersystemet möjlighet att anpassa sig till nya förhållande, sk värmeacklimatisering. Efter några dagars vistelse i ett varmt klimat ställs blodcirkulation och svettning in så att fysisk ansträngning känns lättare. Full effekt fås efter 7-10 dagar [85].



Figur 5.8: Arbetsprestation som funktion av temperatur [88].



Figur 5.9: Olycksfrekvens som funktion av temperatur [88].

### 5.3.2 Klädslens termiska egenskaper

Klädseln påverkar värmeutbytet mellan kropp och omgivning. Klädmaterials isoleringsförmåga och täthet begränsar värmeutbytet genom konvektion, strålning och ledning. Klädernas värmemotstånd anges i enheten clo [85]. En naken person motsvarar 0 clo. Normal inomhusklädsel sommar- och vintertid motsvarar 0,5 respektive 1,0 clo [42], se tabell 5.5. Klädslens värmemotstånd gör att är temperaturen på klädernas utsida alltid är lägre än hudens, förutsatt att luftens temperatur understiger hudens. I detta fall gäller också att temperaturen på klädytans utsida blir högre än luftens. Denna skillnad minskar dock ju högre clo-värde kläderna har [85].

I de fall då den omgivande luften har högre temperatur än huden, kan värmeavgivning endast ske genom avdunstning [85].

Tabell 5.5: Typiskt värmemotstånd för kläder [42, 85].

Klädsel	clo-värde
Naken	0
Shorts	0,06
Inomhusklädsel sommar	0,5
Inomhusklädsel vinter	1,0
Utomhusklädsel vinter	1,5
Extrem polarklädsel	4,0

### 5.3.3 Termisk komfort

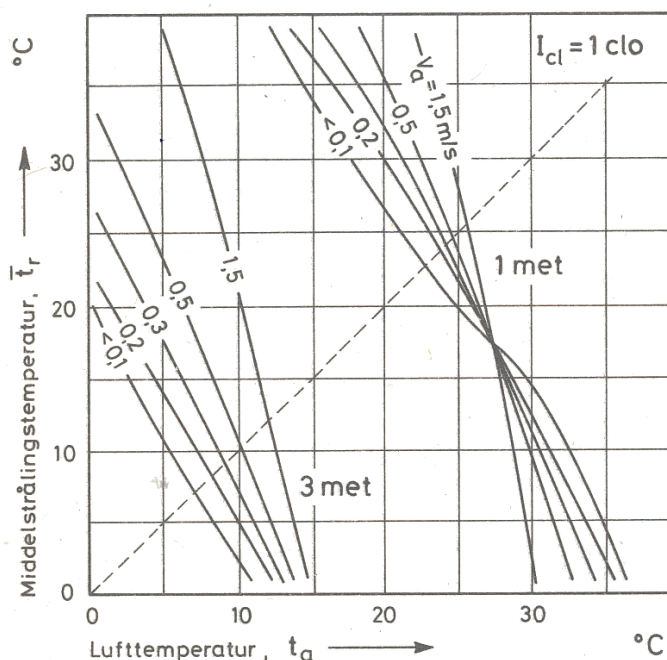
När värmeproduktion i kroppen är lika stor som värmeavgivningen är kroppen i värmebalans. Vid balans bibehålls den interna kroppstemperaturen. Detta är en grundläggande men

inte tillräcklig förutsättning för termisk komfort. Trots värmebalans kan alltså människan frysa eller tycka det är för varmt, dvs. uppleva termisk diskomfort [42, 85].

Termiska förhållande för att uppnå komfort varierar beroende på aktivitet. Exempelvis föredrar aktiva människor en viss mängd svettning till skillnad mot stillasittande. De aktiva skulle frysa om temperaturen i rummet sänktes till en nivå där svettning inte längre är nödvändig för att upprätthålla värmebalans [42, 85].

Upplevelsen av det termiska klimatet varierar från individ till individ och kan även variera från gång till gång för en och samma individ [85].

Klimatets inverkan på människors upplevelse har undersökts närmare i laboratorium. Denna forskning har resulterat i en ekvation, den sk komfortekvationen, som anger vilka kombinationer av sex olika klimat- och individparametrar som i genomsnitt leder till termisk komfort. De fyra klimatfaktorerna är lufttemperatur, luftfuktighet, lufthastighet och omgivande ytors temperatur och de två individparametrarna är klädsel och aktivitet [42]. I figur 5.10 ses en grafisk framställning av denna ekvation.



Figur 5.10: Termisk komfort enligt komfortekvationen. Klädselns isolerande förmåga uppgår till 1 clo och den relativa fuktigheten är 50% [42].

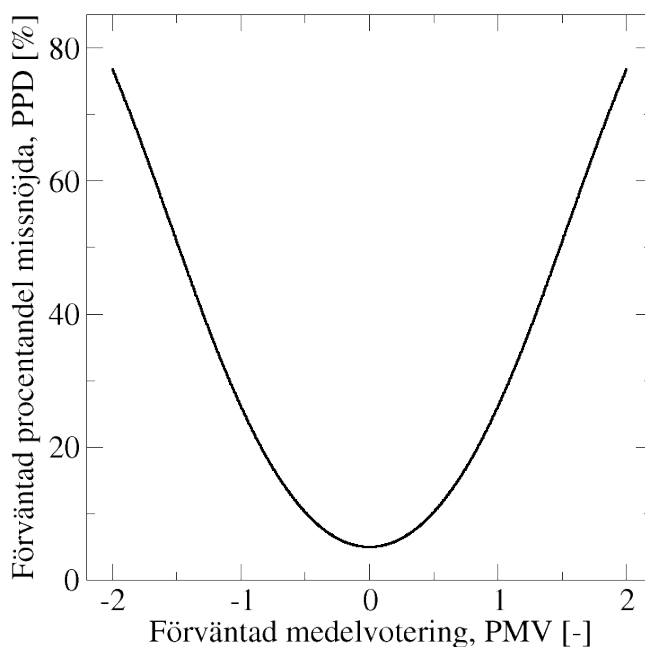
### 5.3.4 PMV- & PPD-index

Från komfortekvationen fås information om den kombination av klimatparametrar som i genomsnitt upplevs som termiskt behaglig. I verkligheten kommer dock det termiska inneklimatet ofta att avvika från det som anges av komfortekvationen. Det är därför ofta mer intressant att studera frågeställningar av typen: hur kommer en grupp att reagera på en viss avvikelse eller vilka avvikelser är acceptabla? I detta sammanhang är PMV- och PPD-index lämpliga verktyg [42]. Dessa index används i internationella standarder såsom ASHRAE och ISO7730.

PMV står för "Predicted Mean Vote". Indexet beskriver en grups genomsnittliga bedömning av det termiska klimatet enligt en sjugradig skala, från "kallt = - 3" till "hett = + 3", se tabell 5.6. Lösningen till komfortekvationen motsvarar ett index på 0. En grups förväntade respons kan översättas till en förväntad procentandel personer som är missnöjda med klimatet eller PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), se figur 5.11. PMV och PPD ger ett verktyg för att bedöma hur många som kommer att vara missnöjda när det termiska inneklimatet varierar. Från figur kan det avläsas att det inte är möjligt att få alla nöjda med det termiska inneklimatet samtidigt. Minst 5% kommer att vara missnöjda [42].

Tabell 5.6: PMV-index [42].

Index	Beskrivning
- 3	Kallt
- 2	Kyligt
- 1	Lite kylig
0	Neutral (lagom)
+ 1	Lite varmt
+ 2	Varmt
+ 3	Hett



Figur 5.11: Procentandel missnöjda: PPD-index [42].

### 5.3.5 Operativ temperatur

Den operativa temperaturen är den temperatur som människan upplever och är definierad som ett viktat medelvärde av lufttemperaturen och medelstrålningstemperaturen, enligt

$$T_{op} = \alpha T_{luft} + (1 - \alpha) \bar{T}_r \quad (5.4)$$

där  $T_{op}$  = operativ temperatur [°C]  
 $T_{luft}$  = lufttemperatur [°C]  
 $\bar{T}_r$  = medelstrålnings temperatur [°C]  
 $\alpha$  = viktfaktor som beror på lufthastighet och aktivitet [-]

För de allra flesta fall gäller att  $\alpha = 0,5$ . Endast vid hög lufthastighet och/eller aktivitet korrigeras vikt faktorn enligt tabell 5.7. Medelstrålningstemperaturen definieras som ett viktat medelvärde av omgivande ytors temperatur enligt,

$$\bar{T}_r = \sum_{i=1}^N F_i T_i \quad (5.5)$$

där  $F_i$  = vinkelförhållande till yta  $i$  [-]  
 $T_i$  = yttemperatur hos yta  $i$  [°C]

Vinkelförhållandet till en viss yta,  $F_i$ , kan hittas i handböcker, se t.ex. referens [23] eller [42].

Figur 5.12 visar den operativa temperatur som ger mindre än 10% missnöjda vid olika kombinationer av aktivitetsgrad och klädsel, förutsatt en vindhastighet på högst 0,1 m/s.

Tabell 5.7: Viktfaktor  $\alpha$  för beräkning av den operativa temperaturen som funktion av lufthastighet,  $v$  [m/s], och aktivitetsgrad,  $M$  [met] [42].

$v + 0,29(M - 1)$	< 0,2	[ 0,2 - 0,6 ]	[ 0,6 - 1,0 ]
$\alpha$	0,5	0,6	0,7

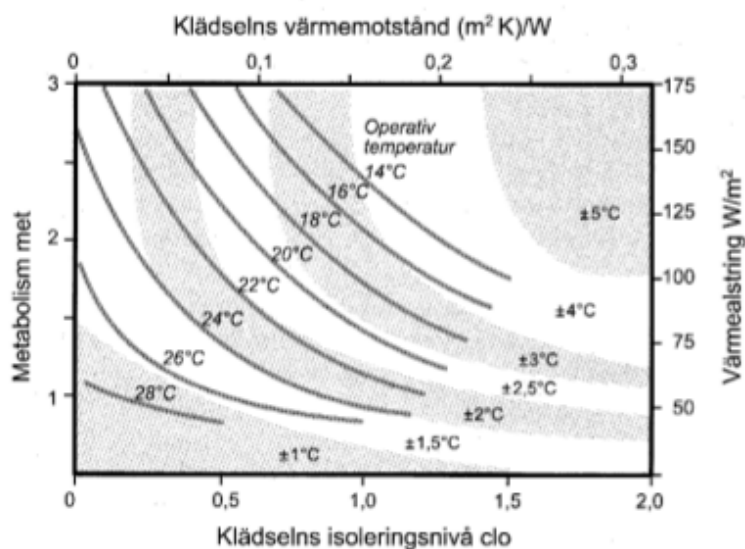
### 5.3.6 Lokalt obehag

Termiskt obehag kan uppstå lokalt och påverkar upplevelsen av inneklimatet. Det är främst stillasittande personer som störs. En vanlig orsak till obehag är lokal avkylning av någon kroppsdel på grund av strålning eller konvektivt drag. Andra källor till lokalt termiskt obehag är kalla golv eller för stor temperaturskillnad mellan tak och golv [42].

#### 5.3.6.1 Drag

Ett av de största problemen gällande ventilation är besvärande drag. Drag är en lokal avkylning av kroppen till följd av luftrörelser eller värme strålning mot en kall yta [83].

Luftflöden som upplevs som drag kan bli bero på olämplig placering eller felkonstruktion av till- och frånluftsdon samt otätheter i klimatskalet. Det är framförallt stora otätheter i klimatskalet som ger upphov till obehag. De mindre orsakar sällan problem [83].



Figur 5.12: Operativ temperatur som ger komfort som funktion av producerad värme och klädsel. Graferna förutsätter PPD < 10% vid en lufthastighet  $v \leq 0,1$  m/s [51].

Dragupplevelsen påverkas framförallt av luftströmmens medelhastighet, men också av dess temperatur. För att uppnå färre än 10% missnöjda måste luftens medelhastighet begränsas till 0,1 m/s vid en lufttemperatur på 20°C. Men vid högre temperaturer är dock högre lufthastigheter än 0,10 m/s inte lika besvärande eftersom det finns ett kylbehov. Vid 26°C kan hastigheter på upp till 0,15 m/s accepteras utan att andelen missnöjda stiger [51].

Variationer i lufthastigheten kan också orsaka drag. Toleransen mot variationer påverkas av luftens medelhastighet. Ju högre medelhastighet desto lägre blir toleransen gentemot variationer [23].

Kallras, är en annan typ av drag som uppstår vid en vertikal kall yta. Luften vid ytan kyls. Eftersom kall luft är tyngre än varm bildas en nedåtriktad luftström. Om en människa uppehåller sig vid denna yta, kyls utsatta kroppdelar ned och luftströmmen uppfattas som drag [88].

Fönsters värmeisolerande förmåga är normalt sämre än väggars. Problem med kallras fås därför framförallt vid fönster och balkongdörrar under vintern. Kallrasen kan bli betydande under äldre fönsterkonstruktioner. Moderna fönster är väl isolerade och får därför en hög temperatur på insidan och på så sätt undviks kallras [83].

Kallrasets inverkan dämpas vanligen med en värmekälla som t.ex. en radiator. Värmekällan placeras under det kalla fönstret. Kallrasen motverkas genom att den varma luften stiger och värmer den kalla luften [88].

Fönstrets placering och inredning kan påverka komforten i rummet. Felaktig placering av fönsterbänk och inredning kan bryta den uppåtgående varma luftströmmen varvid kallrasen leds in i rummet. Dessutom ökar risken för kondens eftersom den varma luftströmmen inte kommer åt att värma insidan på fönstret [83], se även avsnitt 6.3.1.1. En djup fönstersmyg förhindrar också den uppvärmda luften att nå fönstrets insida. Därför bör fönster placeras så långt in i väggen som möjligt. Denna placering minskar även klimatpåfrestringarna på fönsterkonstruktionen.

Lufthastigheten vid kallras till följd av en kall yta ([89]), t.ex. ett fönster, beräknas enligt

följande ekvation,

$$v = 0,1\sqrt{\Delta T \cdot H} \quad (5.6)$$

där  $v$  = hastighet [m/s]  
 $\Delta T$  = temperaturskillnad mellan fönsteryta och rum [°C]  
 $H$  = fönsterytans höjd [m].

Det lokala obehaget pga kallras kan uppskattas genom beräkna andelen missnöjda enligt ([42]),

$$PPD = (34 - T_{luft}) (v - 0,05)^{0,62} (0,37 \cdot v \cdot Tu + 3,14) \quad (5.7)$$

där PPD = förväntad andel missnöjda [%]  
 $T_{luft}$  = lufttemperatur [°C]  
 $Tu$  = turbulensintensitet (30–60% för normalt ventilerat rum) [%].

### 5.3.6.2 Lokalt obehag orsakat av golv

Golvtemperaturen är den viktigaste parametern för att undvika lokalt termiskt obehag pga kalla fötter. En temperatur inom intervallet 20-24°C ger normalt god komfort oavsett golvmaterial, förutsatt vanlig inomhusfotbeklädnad [23]. I rum där det är normalt att gå barfota, såsom badrum eller sovrum, får golvmaterialet betydelse för komforten och en högre temperatur kan vara nödvändig, se tabell 5.8. Golvmaterialets materialegenskaper styr hur mycket värme som flödar mellan fot och golv, se även avsnitt 5.3.1.1. Det finns inte någon golvtemperatur som accepteras av alla (figur 5.13), individuella skillnader förekommer även här, jmf avsnitt 5.3.3.

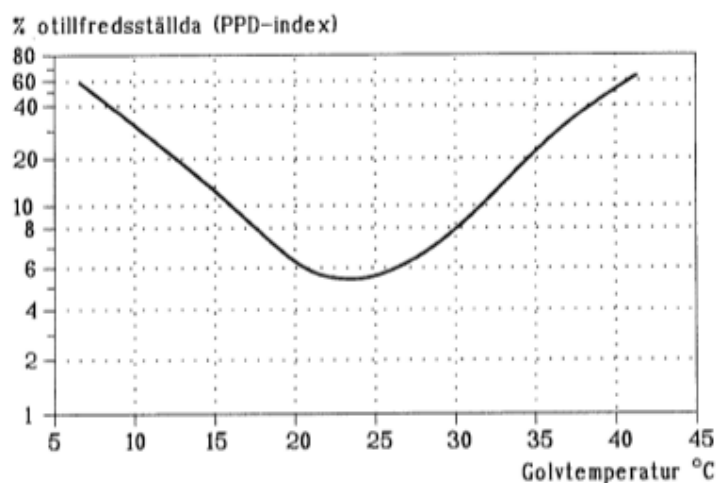
Socialstyrelsen anger att risk för ohälsa föreligger då temperaturen understiger 16°C och rekommenderar en temperatur i intervallet 20-26°C [90].

Problem med kalla golv kan uppstå pga otillräcklig isolering eller lokala köldbryggor, men även pga olämplig luftskiktning vilket kan uppkomma även för välisolerade golv [83].

Notera att fötterna kan bli kalla även om det inte är golvet som är kallt. Vid avkylning blir fötter och händer först kalla eftersom kroppens prioriterar värme åt kroppens inre organ [56], se avsnitt 5.3.1.5.

Tabell 5.8: Barfota komforttemperatur för olika golvmaterial [42].

Golvmaterial	Komfortabelt temperaturintervall [°C]
Sten, marmor, betong	27 - 30
Linoleum, PVC	25 - 29
Trä, kork	23 - 28
Textil (matta)	21 - 28



Figur 1.9. Relation mellan golvtemperatur och PPD-index.

Figur 5.13: Andel missnöjda som funktion av golvtemperatur för människor med vanlig inomhusfotbeklädning [88].

### 5.3.6.3 Strålningstemperatur

Drag orsakas inte alltid av för höga lufthastigheter utan även av strålningstemperaturskillnad, sk strålningsdrag eller falskt drag. Kroppen avger värme genom strålning till omgivande ytor som har lägre yttemperatur än huden eller klädernas utsida. Ju större temperaturskillnad desto mer värme avges [83]. Det är inte bara kalla ytor som kan ge upphov till lokalt obehag genom strålning. En för varm yta är också en källa till obehag [42].

Eftersom ytor har olika temperatur varierar strålningsutbytet med omgivande ytor i olika riktningar. Detta kallas strålningstemperatursymmetri och definieras som skillnaden i strålningstemperatur på motsatta sidor av en liten plan yta [42].

Lokalt obehag pga strålningstemperatursymmetri orsakat av varma tak eller kalla väggar, dåligt isolerade ytterväggar, fönster och balkongdörrar, är det som ger störst procent otillfredsställda, se figur 5.14. Figuren visar också att människor är mindre känsliga för kalla tak och varma väggar. Strålningstemperatursymmetrin gentemot en kall vägg får maximalt vara 10°C och 5°C mot ett varmt tak. Båda fallen motsvarar ca 5% otillfredsställda [42].

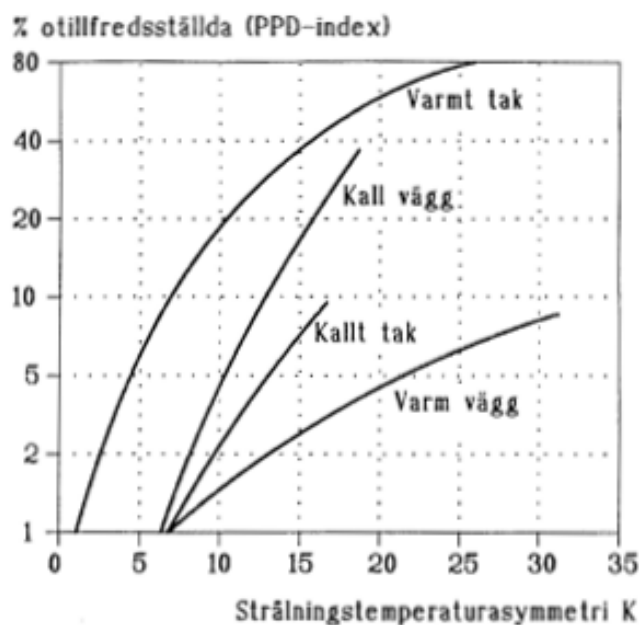
### 5.3.6.4 Vertikal lufttemperaturskillnad

Lokalt obehag kan även orsakas av en stor vertikal temperaturgradient mellan golv och tak. För att uppnå mindre än 5% otillfredsställda bör skillnaden i lufttemperatur vid huvud och anklar för en sittande person, dvs. 0,1 och 1,1 m över golvet, inte vara mer än 3°C, se figur 5.15 [42].

## 5.4 Utredning av inomhusmiljön

Hur en människa reagerar på inomhusmiljön påverkas av många faktorer. Det är sällan möjligt att särskilja de psykologiska och fysiologiska faktorerna [64]. Det är därför svårt





Figur 5.14: Andel missnöjda som funktion av strålningstemperaturasymmetri [88].

att avgöra hur människan upplever luftkvaliteten enbart utifrån en kemisk analys [23].

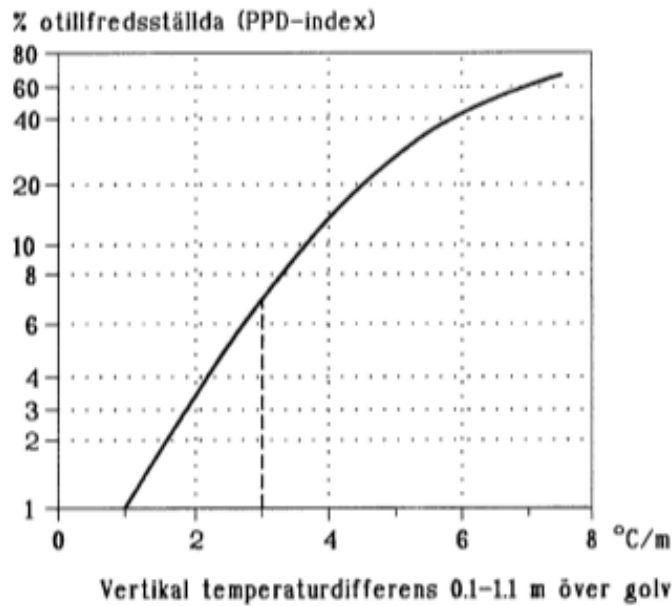
Möjligheten att påverka sin situation är viktig för människans upplevelse och välbefinnande. Om de boende exempelvis kan öppna sina fönster för att förbättra luftkvaliteten eller sänka temperaturen påverkar det upplevelsen av inneklimatet positivt. Detta gäller oavsett om åtgärden leder till en förbättring eller försämring av klimatet [19].

Forskning har visat att boendeformen har betydelse för upplevelsen av inneklimatet. Enligt de boende är inneklimatet i flerbostadshus sämre än i småhus. Men tekniska mätningar visar att det är snarare tvärtom. En förklaring till att mätningar och rapporterade upplevelser skiljer sig, är att de boende i småhus i större utsträckning kan kontrollera klimatet. Dessutom är småhusägare själva ansvariga för att åtgärda eventuella brister. Boende i bostadsrätter rapporterar också mer positiva upplevelser av inneklimatet än boende i hyresrätter [39].

En utredning av luftkvaliteten initieras oftast av klagomål från brukarna, t.ex. de boende klagat på obehaglig lukt eller torr luft. Första steget är att kontrollera driftförhållanden. Fungerar ventilation, används byggnaden som avsetts, följs städrutiner etc. Om klagomålen inte kan kopplas till onormala driftförhållanden är nästa steg att göra en enkätundersökning eller intervju. Resultatet från undersökningen ska ge vägledning om problemen är av teknisk, hygienisk eller psykologisk natur. Nästa steg är att med hjälp av syn- och luktntryck utföra en besiktning med avsikt att utreda om det finns något som kan ge upphov till problem. Därefter kontrolleras och mäts ventilationen såsom kontroll av filter, till- och frånluftsflöden och deras temperatur, etc. Om inte källan identifierats är det först nu aktuellt att mäta specifika föroreningskällor och deras koncentration [91].

Val av mätning styrs av kunskap som inhämtats i ovan nämnda undersökningar och bedömningar [91]. Notera att ett radonproblem inte kan identifieras med ovan beskrivna metod [69].

Genom att använda den ovan beskrivna metoden kan onödiga inneklimatmätningar i viss mån undvikas. Denna typ av mätningar är ofta dyra och tidskrävande och kanske inte



Figur 5.15: Andel missnöjda som funktion temperaturskillnad mellan huvud och anklar [88].

ger svaret på vad som orsakar besvären [91]. Det är meningslöst att använda resurser på att mäta koncentrationen av enskilda luftföroreningar om t.ex. ventilationen är avstängd, eftersom mätvärdet endast avspeglar en onormal situation. Däremot, om ventilationen körs som det är tänkt, kan ett högt mätvärde ge en indikation på ett byggnadstekniskt problem, t.ex. en fuktskada [46].

Luften innehåller ett stort antal ämnen, vilket medför omfattande analyser om alla ämnen ska kvantifieras. I många fall är det dessutom nödvändigt att mäta mycket låga halter vilket i sin tur medför komplicerade mätmetoder [47].

Vid klagomål på den termiska miljön sker kontroll och bedömning även här i flera steg för att förenkla utredningen och undvika onödiga och dyra mätningar. Första steget är att kontrollera luft- och golvtemperatur samt lufterörelser. Om kontrollen ger värden enligt tabell 5.9 eller drag påvisas rekommenderar socialstyrelsen att gå vidare med en utförlig mätning. Den fortsatta utredningen omfattar kontroll av operativ temperatur, strålningstemperaturskillnad, vertikal lufttemperaturskillnad samt yttemperatur på golv. De uppmätta värdena jämförs med riktvärden enligt tabell 5.10 för att avgöra om det finns risk för olägenhet för människors hälsa. Notera att olägenhet inte nödvändigtvis innebär sjukdom eller medicinska besvär [83].

Tabell 5.9: Indikerande värden för fortsatt utredning [90].

Parameter	Villkor för utredning
Lufttemperatur	Under 20°C
	Över 24°C
	Över 26°C sommartid
Golvtemperatur	Under 18°C

Tabell 5.10: Värden för bedömning av olägenhet för människors hälsa [90].

<b>Parameter</b>	<b>Riktvärde</b>	<b>Rekommenderade värden</b>
Operativ temperatur	Under 18 C	20–23°C
Operativ temperatur, varaktigt	Över 24°C	
Operativ temperatur, kortvarigt	Över 26°C	
Skillnad i operativ temperatur mätt vertikalt 0,1 och 1,1 m över golv		Ej över 3°C
Strålningstemperaturskillnad Fönster – motsatt vägg Tak – golv		Ej över 10°C Ej över 5°C
Luftens medelhastighet		Ej över 0,15 m/s
Yttemperatur, golv	Under 16°C	20–26°C



## Kapitel 6

# Problem och klagomål med självdragssystem

Luftflödet i självdragssystem är, som redan nämnts, i hög grad beroende av rådande väderlek och är därför svårstyrt. När det är kallt ute är temperaturskillnaden ofta tillräcklig för att upprätthålla en god ventilation. Det förutsätter att ventilationsdonen är rätt placerade och rätt inställda och att luften går rätt väg. Flödet kan dock bli för stort och leda till komfortproblem i form av drag. Konsekvensen kan bli att de boende täpper igen uteluftsdonen, vilket medför ökad risk för fukt- och mögelskador. Vid varm årstid är temperaturskillnaden mindre, varvid drivtrycket minskar. Ventilationsflödet blir istället alltför litet. Ventilationen varierar också mellan lägenheterna i ett och samma hus. Lägenheter på högre våningsplan får en sämre ventilation jämfört med lägenheter på lägre våningsplan [3].

I självdragsventilerade hus är det inte bara flödets storlek som är osäkert utan även riktningen. Flödet i en frånluftskanal, kan i vissa situationer byta riktning och ge upphov till problem med kallras och luktspridning [26].

Erfarenhet och enkätundersökningar visar att det finns ett behov av att förbättra ventilationen. Vanliga klagomål är luktspridning, kalla och dragiga rum samt fukt- och mögelproblem i våtutrymmen [26]. Ventilationen kan ha varit acceptabel vid byggnadens uppförande. Nya boendevanor har dock lett till betydande våtrumsbelastning och behov av effektiv ventilation under årets alla månader. I många fall har även den yttre miljön försämrats genom luftföroreningar och buller från biltrafiken [6].

Det låga drivtrycket medför att systemet är känsligt för ingrepp. Det är inte ovanligt att åtgärder för att eliminera problem ger upphov till andra problem. På 70-talet tätades klimatskärmar för att spara energi. Tyvärr gav denna energisparande åtgärd istället problem med fukt- och mögelskador, eftersom uteluftsflödet minskade [6].

### 6.1 Lukt och luktspridning

Lukt och luktspridning är vanliga problem i självdragsventilerade bostäder. Problem med lukt kan bero på för lågt frånluftsföde, varvid förorenad luft inte byts ut i tillräcklig utsträckning. Lukt kan även spridas mellan lägenheter via otätheter. Dessa otätheter finns framförallt i anslutningar mellan lägenhetsskiljande vägg och bjälklag, vid håltagningar och genomföringar (värme- och vattenrör), i skarvar mellan väggelement, i frånluftskanaler, sprickor i väggar, springor i trägol, mot trapphus etc [26].

Om uteluftsdon saknas eller hålls stängda skapas ett undertryck i lägenheten. Detta i kombination med otätheter medför att luft sugas in genom otätheterna. Denna luft kan förutom lukt även innehålla hälsofarliga ämnen från t.ex. isoleringsmaterial och mögelangrepp från klimatskärmen [56].

En fläkt, t.ex. en köks- eller våtrumsfläkt, som ansluts till en otät frånluftskanal kan orsaka luktspridning mellan lägenheter både direkt och indirekt. Fläkten skapar ett övertryck i kanalen och ett undertryck i lägenheten. Detta kan leda till att luft från kanalen tränger in i en angränsande lägenhet via sprickor samtidigt som luft från trapphuset flödar in i lägenheten, t.ex. via brevinkastet [25].

Luktöverföring via trapphuset kan uppstå även om det inte finns förstärkningsfläktar i lägenheterna. De termiska drivkrafterna gör att trycket i trapphuset kan vara högre än i lägenheterna i den övre delen av huset. I den nedre delen är situationen omvänd. Sammantaget fås ett system där förorenad luft kan strömma ut från lägenheter till trapphuset i den nedre delen och sedan ledas via trapphuset in i lägenheter i den övre delen [25].

Spridning av lukt kan även orsakas av bakdrag. Bakdrag innebär att strömningsriktningen i frånluftskanalen vänder, varvid förorenad luft från andra kanaler kan sugas in i lägenheten. Om luften ändrar riktning i kökets kanal kan även lukt från kanalväggens beläggning eller fläktens filter tränga in i lägenheten [25, 92]. Notera att det är svårt att häva bakdrag vid stor temperaturskillnad mellan kanal och utetemperatur, se avsnitt 6.4.5.

## 6.2 Drag

Under vintern är det svårt att tillföra tillräcklig mängd uteluft i ett självdragssystem utan att besvärande drag uppstår. I närheten av ett uteluftsdon finns det alltid en zon med en lufthastighet och temperatur som uppfattas som drag [26].

Uteluft tillförs inte bara via don utan även genom otätheter. Ju tätare klimatskärm desto mindre blir andelen som tillförs via infiltration och desto större blir andelen som tillförs via uteluftsdon. Ett större flöde över donet betyder ökad risk för drag och störande ljud. Det är därför svårare att tillföra luft dragfritt med en tät klimatskärm jämfört med en otät, förutsatt att donen har samma storlek [5].

Det är vanligt att ventiler stängs för att bli av med ett dragproblem. Detta är ingen lyckad metod om klimatskärmen är tät. Visserligen minskar draget men följderna blir att inneluften får en sämre kvalitet då mängden luft som kommer in minskar [26].

Om ventilen stängs i en otät byggnad minskar också draget från själva donet. Men uteluften hittar bara nya vägar att ta sig in. En ojämn fördelning av otätheter över klimatskärmen innebär att ventilationen kommer att variera i enskilda rum. Vissa utrymmen kan få problem med drag samtidigt som andra får låg luftomsättning [26].

Ett sänkt tilluftsflöde, t.ex. om uteluftsdon stängs eller klimatskärmen tätas, medför en ökad risk för bakdrag i frånluftskanalen med åtföljande kallras. Notera att bakdrag även kan uppstå av andra orsaker [1, 3, 25], se avsnitt 6.4.

Om uteluften tas in på för låg höjd, finns risken att den inte hinner att blandas med varm luft innan den når golvet, varvid problem med golvdrag uppstår. Därför är det stor dragrisk i badrum som ventileras med sk Stockholmsventilation, dvs. badrum som har en egen uteluftskanal med ett don vid golvet, se avsnitt 3.8 [25].

Bostaden kan vara utrustad med ett skafferi med en egen uteluftsventil. I detta fall bör skafferiets väggar och dörr tätas så att uteluft inte kommer ut i köket och orsakar problem

med kalla golv och drag. Att förhindra uppkomsten av drag är inte den enda anledningen till tätning. Om självdragssystemet är centraliserat, finns en uppenbar risk för kortslutning [25], se avsnitt 8.2.5.

## 6.3 Hög luftfuktighet

Stora mängder vatten frigörs i bostaden, det sk fuktillskottet, se även avsnitt 5.2.1. Vattnet kommer främst från människan och aktiviteter i kök och badrum. Detta vatten ska förångas och föras bort med ventilationsluften. Vid för låg luftomsättning kan ånghalten bli så hög att fukt kondenserar på kalla ytor, t.ex. fönsterytor. Lägst ytemperatur återfinns i ytterväggar med köldbryggor. En köldbrygga är en del av konstruktionen som har sämre värmeisolerings än omgivningen, exempelvis vid hörn eller nedre delen av ett fönster. Ett tecken på otillräckligt luftflöde är exempelvis när det blir kondens på köksfönstret under diskmaskinens torkcykel. Mest vatten frigörs dock i bostadens våtutrymmen, t.ex. så frigörs ca 1 kg vatten vid en 5 minuters dusch [6, 10]. Notera att kondens även kan orsakas av för mycket vädring på vintern [25].

Fukt i inomhusluften kondenserar inte bara på klimatskärmens insida utan kondensation kan även ske inuti konstruktionen. Det finns två drivkrafter för fukttransport ut genom klimatskalet. Om ånghalten är högre inne än ute, diffunderar fukt ut genom klimatskalet. Vid övertryck inomhus strömmar fuktig luft ut genom otätheter i skalet. Vintertid är de yttre delarna av klimatskalet kalla och ånga kan kondensera i konstruktionen [35].

Ofta förekommande kondens kan leda till mögelpåväxt, missfärgning och i extrema fall röta [9, 25].

### 6.3.1 Ytkondens

Ytkondens kan uppkomma på ytor som är kallare än omgivningen. Problemet uppstår i första hand på fönster [35]. I detta arbete behandlas enbart problematiken med 2-glasfönster eftersom ca 70% av flerbostadshusen är försedda med denna typ av fönster [19]. Självklart är 1-glasfönster känsligare för kondens, eftersom dessa fönster är sämre isolerade och temperaturen på insidan därmed lägre.

Risk för ytkondens finns också på insidan av äldre ytterväggar. Äldre väggkonstruktioner är betydligt sämre isolerade än dagens och risken för kondens är påtaglig [10].

Det är inte ovanligt med lokal ytkondens vid exempelvis köldbryggor. En annan orsak till lokal kondens är när tavlor och möbler placeras tätt intill ytterväggen. Detta medför extra värmemotstånd, vilket i sin tur medför att ytemperaturen blir lägre bakom dessa och det kan bli problem med kondens. Det är därför viktigt att luften kan cirkulera i rummet så att en jämn temperaturfördelning erhålls [10].

Ånga kondenserar om luftens ånghalt överstiger mätnadsånghalten vid aktuell temperatur, se avsnitt 5.2.2. Det innebär att ytkondensation inträffar om en ytas temperatur är lägre än dagpunkten och villkoret kan skrivas

$$T_y < T_{si} \quad (6.1)$$

där  $T_y$  = ytemperatur [°C]  
 $T_{si}$  = dagpunkt [°C]

Alternativt kan följande villkor användas

$$v_s(T_y) < \varphi_i \cdot v_s(T_i) = v_i \quad (6.2)$$

där  $v_s(T)$  = mättnadsånghalt vid temperatur  $T$  [kg/m<sup>3</sup>]  
 $T_y$  = yttemperatur [°C]  
 $T_i$  = inomhustemperatur [°C]  
 $\varphi_i$  = relativ fuktighet inomhus [-]  
 $v_i$  = ånghalt inomhus [kg/m<sup>3</sup>]

Den invändiga yttemperaturen,  $T_y$ , kan skrivas

$$T_y = T_i - \frac{R_{si}}{R_{tot}} (T_i - T_e) \quad (6.3)$$

där  $R_{si}$  = värmeövergångsmotstånd mellan yta och inomhusluft [m<sup>2</sup>K/W]  
 $R_{tot}$  = totalt värmeövergångsmotstånd för fönstret/väggen [m<sup>2</sup>K/W]  
 $T_y$  = yttemperatur [°C]  
 $T_i$  = inomhustemperatur [°C]  
 $T_e$  = utomhustemperatur [°C]

Från ekvation (6.3) inses att värmeövergångsmotståndet mellan inneryta och rum,  $R_{si}$ , har stor betydelse för huruvida ytkondens uppstår. Eftersom det är svårt att uppskatta denna parameter används vanligen följande schablonvärden:

$$R_{si} = 1/8 \approx 0,13 \text{ för fönster}$$

$$R_{si} = 1/5 = 0,20 \text{ för ytterväggar}$$

Dessa värden gäller mitt på ytorna och tar inte hänsyn till randeffekter. I ett hörn är det naturligtvis inte möjligt att bortse från randeffekter. Det är då rimligt att räkna med åtminstone dubbla värdet på  $R_{si}$  [10].

I litteraturen är det vanligt att ange fönster och väggars värmeisolerande förmåga med värmegenomgångskoefficienten,  $U$ . Sambandet mellan värmemotståndet,  $R_{tot}$ , och värmegenomgångskoefficienten,  $U$ , är

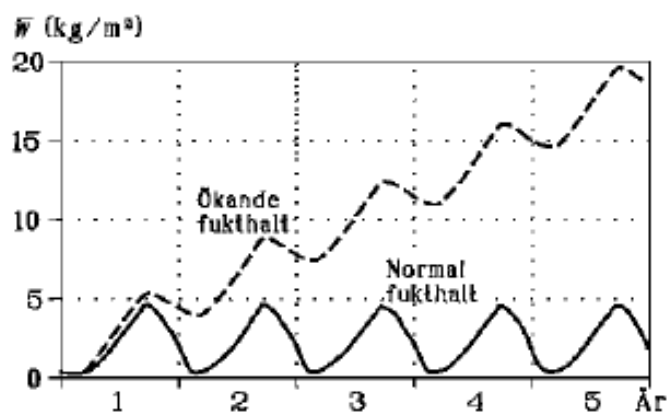
$$R_{tot} = \frac{1}{U} \quad (6.4)$$

dvs. en låg genomsläpplighet ger ett högt motstånd och vice versa.

Även om villkoren ovan är uppfyllda och det sker en kondensation, så behöver det inte leda till synlig kondens. En del kapillärsugande material, kan ta upp och magasinera en viss mängd fukt. Fukten orsakar inga problem så länge den kondenserade fukt mängden får torka ut under varmare tidsperiod. Om så inte sker, ökar fuktinnehållet från år till år, se figur 6.1. Efter några år kommer detta leda till ett oacceptabelt fuktillstånd [9].

Kondensering kan under vissa förhållande accepteras och i viss mån betraktas som normalt förutsatt att det sker vid enstaka tillfällen och under begränsad tid. Kondens, på ett badrumsfönster eller ett duschrums yttervägg, efter en dusch är normalt. Men om imman





Figur 6.1: Exempel på normal och ökande fukthalt över lång tid [93].

inte försvunnit 20 minuter efter att duschen avslutats, behöver sannolikt ventilationen förbättras. Det är dock av stor vikt att fukttåliga material och konstruktioner används på de ställen där kondens uppträder [25]

Kondensproblem kan i princip åtgärdas på två sätt. Antingen kan inomhusluftens ånghalt sänkas, t.ex. genom att förbättra ventilationen, eller så kan ytttemperaturen höjas, t.ex. genom ökad värmeisolering [35].

### 6.3.1.1 Ytkondens på glas

Kondens är vanligt på traditionella tvåglasfönster under vinterhalvåret [4]. Dessa fönster har en betydligt sämre värmeisolering än dagens moderna och får lätt en låg yttemperatur. Ytkondens kan inträffa på insidan av både den inre och den yttre rutan. Eftersom glas inte absorberar vatten ansamlas kondenserat vatten i nedre delen av båge och karm. Men karm och båge kan också få en så pass låg yttemperatur att det även här sker en ytkondensation. I gamla 2-glasfönster har glasdelen normalt högre U-värde än karm och båge till skillnad mot moderna fönster där förhållandet är omvänt [10].

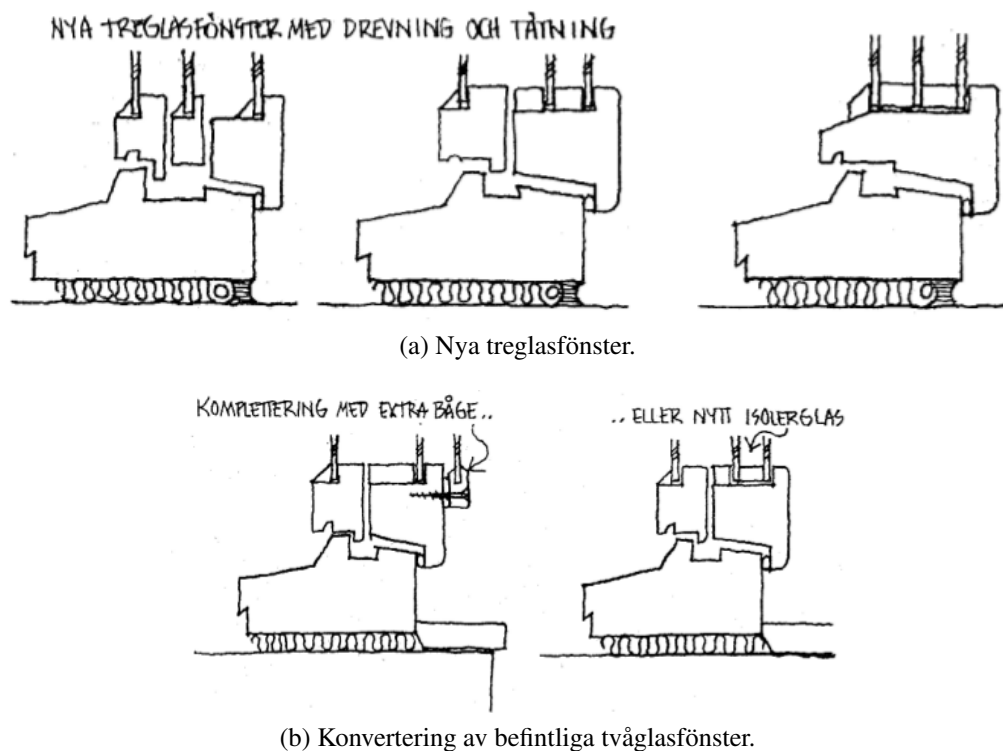
Skador på fönster kan även orsakas av fukt utifrån. Men i denna rapport diskuteras enbart problematiken kopplat till självdragsventilation.

**6.3.1.1.1 Ytkondens på innerrutans insida** Kondens på innerrutans insida är inte ovanligt i självdragsventilerade bostäder med 2-glasfönster [25]. Kondensation börjar normalt vid de nedre hörnen och sprids sedan uppåt på glasytan. Glaset är kallast i hörnen främst beroende på dålig luftcirkulation kopplat till fönsterbänken. En neddragen rullgardin medför en ökad risk för kondensbildning. Mellan gardin och fönster skapas en isolerande luftspalt som sänker ytttemperaturen på glaset [10].

Kondens på den inre rutans insida beror i första hand på hög luftfuktighet inomhus [9]. Ånghalten i luften sänks genom ökad ventilation, varvid torr uteluft ersätter fuktig inomhusluft. Andra möjliga åtgärder är att minska fuktproduktionen eller att avfukta luften. Kondens kan också undvikas genom att höja ytttemperaturen på innerrutan.

Ett fönsters värmetekniska egenskaper kan förbättras genom att byta ut innerutan till ett glas med lågemissionsskikt. Undersökningar har visat att fönstret efter en sådan uppgradering får egenskaper motsvarande ett treglasfönster eller t.o.m. något bättre [94]. Andra

sätt att förbättra värmeisoleringen är att ersätta luften mellan rutorna med en gas eller att öka antalet glasrutor. Det senare kan åstadkommas genom att byta ut gamla fönster till nya treglasfönster (figur 6.2a) eller genom att konvertera befintliga tvåglasfönster till treglasfönster (figur 6.2b). Valet av förbättring styrs av ekonomi och en rad tekniska faktorer, t.ex. att glaset ryms i bågen och att fönstret inte blir för tungt för gångjärnen [94]. Dessutom måste hänsyn tas till huset i sig själv. Att lägga till glas kanske inte är ett alternativ i en äldre fastighet eftersom det kulturhistoriska och estetiska värdet påverkas för mycket [10].

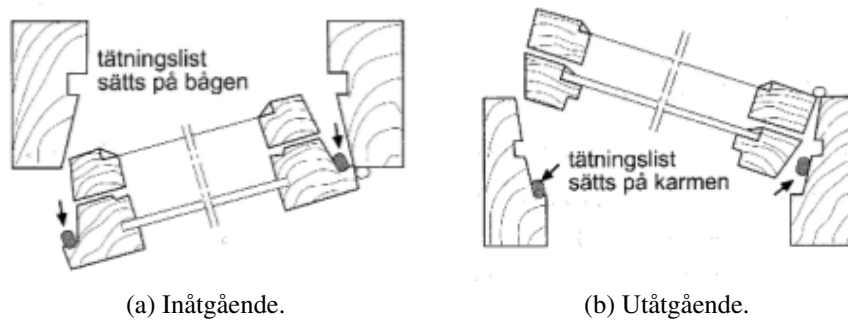


Figur 6.2: Olika konstruktionslösningar för att öka antalet glasrutor i fönster [95].

Temperaturen på rutans insida bestäms, förutom av fönstrets konstruktion, också av hur väl luftströmmen från en eventuell radiator kan svepa förbi rutan. Fönsterbänkar, krukväxter, rullgardiner, etc. kan förhindra att den varma luftströmmen når fönsterytan. Dessutom påverkar fönstrets placering i ytterväggen. Optimalt bör fönstret ligga i liv med ytterväggens insida. Förutom att reducera risken för kondens, minskar också en radiator under fönstret inverkan av kallras, se avsnitt 5.3.6.1.

**6.3.1.1.2 Ytkondens på ytterrutans insida** Kondens på ytterrutans insida orsakas av dålig tätning mellan karm och fönsterbåge. Varm fuktig luft inifrån kan då komma in mellan rutorna och kondensera på den kalla ytterrutans insida. Luften kan även komma in via hål för persiennsnören [9]. Vanligtvis börjar även denna typ av kondens nedtill, men det kan naturligtvis variera beroende på var otätheten är placerad [10].

Lämplig åtgärd är således att täta mellan den inre fönsterbågen och karm, se figur 6.3. Mellan bågarna ska det inte vara lufttätt utan det ska kunna ske en viss ventilation med uteluft. För att förhindra att damm och smuts kommer in mellan rutorna bör en luftgenomsläpplig dammlist, en så kallad borstlist, finnas mellan bågarna [9, 10, 96].



Figur 6.3: Täta mellan fönsterbåge och karm på a) inåtgående och b) utåtgående fönster [10].

Kondens på det yttre glasets insida kan också ske om fönsterbågarna innehåller mycket fukt. När solen skiner på fönstret avdunstar fukt från bågarna och fukthalten mellan glasrutorna ökar. Om rutan är kall sker en kondensation. Fukten i bågarna kommer ofta utifrån. Denna typ av kondensproblem bör försvinna om ytterbågarnas standard förbättras, dvs. kittas och/eller målas om [10].

### 6.3.1.2 Badrum

I ett badrum frigörs stora mängder fukt vid dusch och bad. Ventilationen måste kunna torka upp badrummet och säkerställa att den relativa fuktigheten inte blir för hög.

Dagens boendevanor med daglig dusch innebär en ökad fuktbelastning i bostadens våtutrymmen. En annan orsak till att fuktbelastningen ökat är torkning av tvätt i badrummet. Det har blivit allt vanligare med en egen tvättmaskin i badrummet. Det gäller framför allt barnfamiljer [82].

Badrum i äldre flerbostadshus är ofta anpassade till karbad och försiktig duschning 1 å 2 gånger i veckan. Kombinationen av sämre ventilationsflöde under sommaren och dagens nyttjandemönster innebär att det tidvis är svårt att få en ordentlig uttorkning i badrummet och förekomst av mögel ska därför inte ses som något oväntat i självdragsventilerade badrum [6, 82].

En hög luftväxling i badrummet är dock ingen garanti för att slippa mögel. En mycket viktig faktor är luftens cirkulation. Luften bör cirkulera genom hela rummet och passera förbi alla fuktiga ytor, så att fukten kan tas upp. Dåligt luftutbyte kan bero på att till- och frånluftsdonen är felaktigt placerade. Om donen sitter nära varandra eller på samma höjd är risken för kortslutning stor. Endast en liten del av rummet blir då ventilerat. Detta kan i sin tur leda till hög relativ fuktighet även vintertid, trots att självdragsventilationen levererar ett bra luftflöde. Med hjälp av en rökflaska eller rökampull kan man på ett enkelt sätt få en god uppfattning om luftrörelserna i badrummet [6, 82].

Det är särskilt viktigt att få en god luftcirkulation bakom och under badkaret. Beroende på golvets lutning samlas alltid en viss mängd vatten under badkaret efter bad eller dusch. Detta vatten ska avdunsta och transporteras bort av ventilationsluften. Plåtbadkaret som är oemaljerat på utsidan kan vara inbyggt eller vara täckt med frontplåtar på alla fria sidor. Om karet är inbyggt är det mycket viktigt att fogar mellan kar och vägg är täta eftersom vatten som kommer ner under badkaret mer eller mindre aldrig torkar ut. Vatten under ett badkar

med fronter kan torka ut, men uttorkningsförloppet tar tid då fronterna ganska effektivt hindrar luftcirkulation under karet. Dessutom är det svårt att rengöra under dessa badkar. Fronterna slutar ca 5 cm ovan golv och är ofta svåra att demontera. Smuts och damm får därför ligga kvar länge. Detta kan leda till att uttorkningsförloppet förlängs ytterligare eftersom smuts kan absorbera fukt. Luftcirkulationen runt badkaret kan förbättras genom att montera distanser så att en spalt bildas mellan badkarskant och vägg. På så sätt kan torr luft strömma in under karet, upp längs väggen och vidare upp till frånluftsentilen. Cirkulationen kan förbättras ännu mer genom att tillföra värme under badkaret, t.ex. genom att dra cirkulationsledningen för tappvarmvattnet i en slinga bakom karet [82].

Uttorkningshastigheten i badrummet bestäms inte enbart av ventilation och uppbyggnad. Beteendet hos de boende har också stor betydelse. Korta duschar är självklart att föredra framför långa, eftersom fuktbelastningen minskar. Dessutom torkar luften snabbare om vattnet efter bad eller dusch avlägsnas. Om vattnet torkas upp med en trasa är det viktigt att den vrids ur annars blir det ingen större skillnad när det gäller torkförloppet. Det bästa är torka bort vattnet med en gummiskrapa så att vattnet rinner ner i avloppet istället för att avdunsta. Duschdraperiet bör skakas och hängas luftigt. Det är också bra att vädra direkt efter dusch eller bad. Detta gäller i synnerhet på sommaren då ventilationsflödet ofta är begränsat [25, 82].

Både ur komfort och fukt- och ventilationssynpunkt bör temperaturen i badrummet vara ett par grader varmare än lägenheten i övrigt. Normal rumstemperatur upplevs ofta som kall när man är våt. Viktigare är dock att temperaturhöjningen medför en snabbare upptorkning eftersom avdunstningen ökar och luftcirkulationen förbättras [25, 82].

Låga yttemperaturer bör alltid undvikas på grund av kondensrisken. Det gäller i synnerhet i ett våtrum, eftersom fuktbelastningen är stor. Fönster i våtrum kommer mer eller mindre alltid att utsättas för kondens. Det är då extra viktigt att fönstrets konstruktion och ytbehandling är anpassade till dessa förhållande [25, 82].

Uppkomst av mögel påverkas också av vilka ytmaterial som finns i badrummet. Materialen ska vara vattentäta och ha högt ångmotstånd, dvs. inte släppa igenom vatten i vätske- eller ångfas. Det är självklart också viktigt att fogar och skarvar är täta så att fukt inte kan tränga in i bakomliggande vägg [9]. Materialen måste dessutom vara motståndskraftiga mot mögelangrepp. En del material innehåller substanser som kan utgöra näring för mögelsvampar och är därför helt olämpliga [82].

Materialens ytskikt ska vara så släta som möjligt. En yta med struktur kan lätt skapa goda betingelser för mögeltillväxt. Smuts, hudavlagringar och tvålrester fastnar lätt och kan utgöra näring för mögelsvampar. Dessutom kan smutsen absorbera fukt [25, 82].

Det är viktigt att ytskikten i badrum hålls rena för att slippa mögeltillväxt. Därför ska de vara lätta att rengöra och framför allt tåla att rengöras. Ytorna ska tåla normal rengöring med borstar och vanliga kemikalier utan att skador uppstår. Glasfiberväv är exempelvis ett material som lätt skadas vid rengöring [82].

Mer information angående hur badrummet bör skötas återfinns bla i ett informationsblad som miljöförvaltningen i Malmö tillhandahåller [97].

### **6.3.2 Fuktflöde genom material och byggnadskonstruktioner**

Ventilationen bestämmer i det närmaste helt vilken genomsnittlig luftfuktighet som fås inomhus vid en given fuktproduktion. Oberoende av väggkonstruktion så gäller att mängden

fukt som transporteras genom klimatskärmen är mycket liten i jämförelse med den mängd som transporteras bort med ventilationen [4, 35]. Den fukt som transporteras in i konstruktionen, via ångdiffusion eller fuktkonvektion, kan å andra sidan vara fullt tillräckligt för att det ska uppkomma fukt- och mögelskador [35].

Diskussionen i detta kapitel förutsätter att alla transportprocesser sker så långsamt att stationära förhållanden gäller.

### 6.3.2.1 Diffusion

Ångdiffusion är i regel en långsam process som transporterar små mängder fukt [10]. Vid diffusion sker en transport av vattenånga från ett område med hög ånghalt till ett område med låg. Om en skiljevägg separerar två områden, med olika ånghalt, kommer fukt transporteras genom väggen via materialets porer. Transporten fortgår så länge det finns en ånghaltsskillnad mellan de två områdena [4, 35].

Normalt är ånghalten inomhus högre än utomhus. Detta gäller i synnerhet på vintern. Det innebär att det, i en byggnad, normalt sker en diffusion av fukt inifrån och ut [35]. Notera att fukttransporten inte alltid går i riktning från högre mot lägre ånghalt. Vid en tillräckligt stor temperaturskillnad kan motriktat flöde uppstå [80].

Mängden fukt som diffunderar genom en konstruktion beror dels på den rådande ånghaltsskillnaden och dels på själva konstruktionen. Ju större ånghaltsskillnad desto större blir fuktflödet, enligt

$$g = \frac{v_1 - v_2}{Z} \quad (6.5)$$

där  $g$  = fuktflöde [kg/m<sup>2</sup>s]  
 $v_1, v_2$  = rådande ånghalter  $v_1 > v_2$  [kg/m<sup>3</sup>]  
 $Z$  = ånggenomgångsmotstånd [s/m]

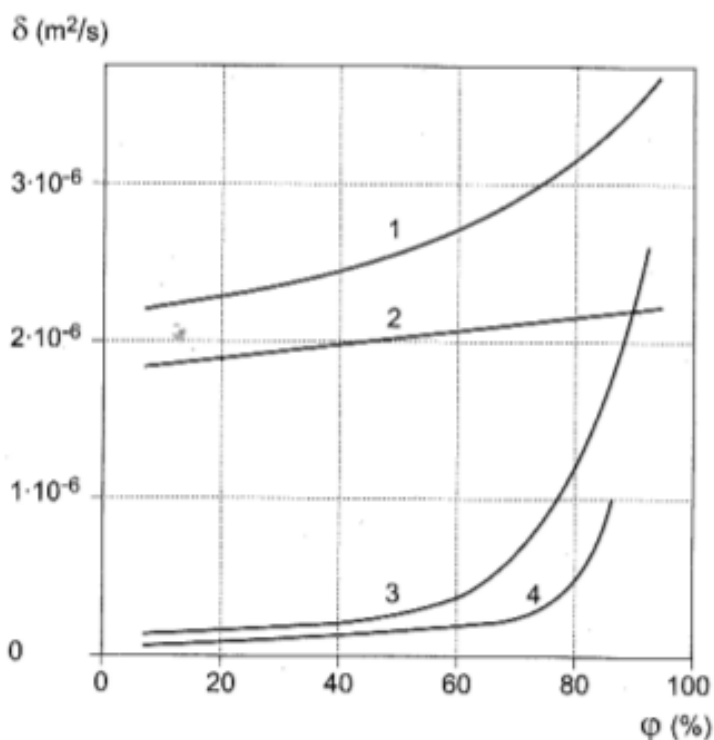
Ett materials ånggenomgångsmotstånd definieras som

$$Z = \frac{d}{\delta} \quad (6.6)$$

där  $d$  = materialets tjocklek [m]  
 $\delta$  = materialets ånggenomsläpplighet [m<sup>2</sup>/s]

Ju tjockare materialskikt,  $d$ , desto större blir motståndet mot ångtransport, dvs. desto mindre blir fuktflödet. Materials ånggenomsläpplighet,  $\delta$ , är inte konstant utan varierar med fuktillståndet, se figur 6.4. I materialdata anges därför ofta ett värde för höga respektive låga fuktillstånd, se exempelvis referens [10]. Anledningen är att det, vid experimentell bestämning av genomsläppligheten, är svårt att särskilja transport i ång- och vattenfas. Ånggenomsläppligheten beskriver, i praktiska sammanhang, inte bara diffusiv fukttransport. Vid högre RF bildas sammanhängande vattensystem, vilka medför att vatten också kan transporteras kapillärt [4, 10].

Fördelningen av materialets porstorlek har stor betydelse för hur  $\delta$  varierar med RF. Genomsläppligheten ökar markant vid höga fuktillstånd för finporösa material som betong, eftersom fukttransporten i vattenfas tillkommer. Ett grovporöst material som tegel, är däremot mindre beroende av den relativa fuktigheten eftersom kapillär transport inte är möjlig i det hygroskopiska området (RF ∈ [0%; 99%]) [10, 80].



Figur 6.4: Variation av ånggenomsläpplighet,  $\delta$ , som funktion av relativ fuktighet,  $\varphi$ , för 1) lättbetong  $510 \text{ kg/m}^3$ , 2) tegel  $1840 \text{ kg/m}^3$ , 3) gran  $410 \text{ kg/m}^3$  och 4) betong  $2100 \text{ kg/m}^3$  [10].

Enligt ekvation (6.5) är ånghaltsfördelningen genom en homogen konstruktion rätlinjig, se figur 6.5. Ånghalten på konstruktionens ut- och insida får samma värden som ånghalten i luften på respektive sida. I verkligheten skiljer sig ånghalten i luften och på ytan något, men skillnaden är liten och kan här försummas. Notera att vid beräkning av ytkondens ska hänsyn tas till övergången från luft till vägg.

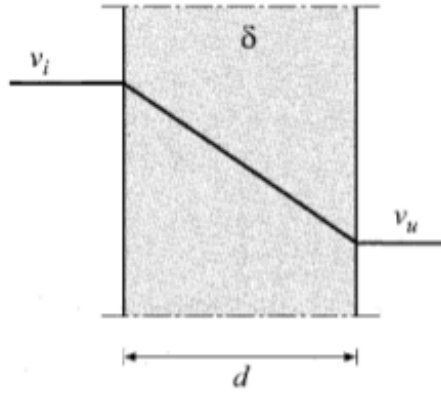
Om konstruktionen inte är homogen utan uppbyggd av flera materialskikt, se figur 6.6, ges ånghalten i skiktgränserna av,

$$v_{12} = v_i - \frac{Z_1}{\sum Z} (v_i - v_u) \quad (6.7)$$

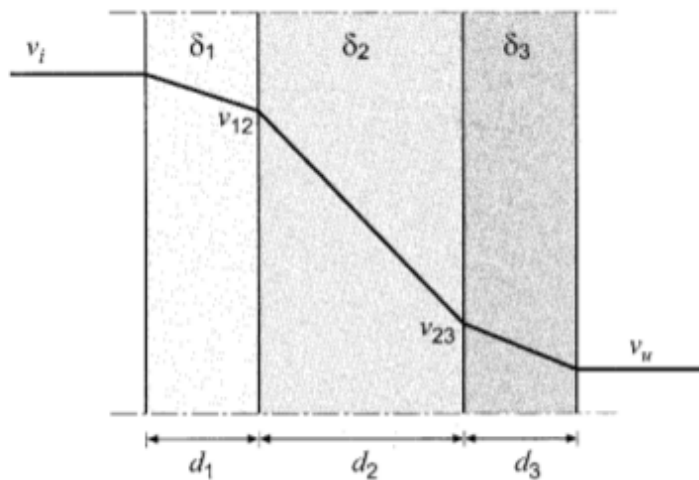
$$v_{23} = v_u + \frac{Z_3}{\sum Z} (v_i - v_u) \quad (6.8)$$

där  $v_{12}, v_{23}$  = ånghalt i skiktgräns mellan skikt 1 och 2 respektive 2 och 3 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $v_i, v_u$  = ånghalt inne respektive ute [kg/m<sup>3</sup>]  
 $Z_1, Z_3$  = ånggenomgångsmotstånd i skikt 1 respektive 3 [s/m]  
 $\sum Z$  = totalt ånggenomgångsmotstånd för konstruktionen [s/m]

Mättnadsånghalten i konstruktionen ges av temperaturfördelningen i konstruktionen, enligt avsnitt 5.2.2. Temperaturfördelningen är liksom ånghaltsfördelningen rätlinjig och beräknas enligt samma principer som ånghalten. Om det är en flerskiktsvägg ges temperaturerna i skiktgränserna av



Figur 6.5: Ånghaltsfördelning genom en homogen konstruktion [10].



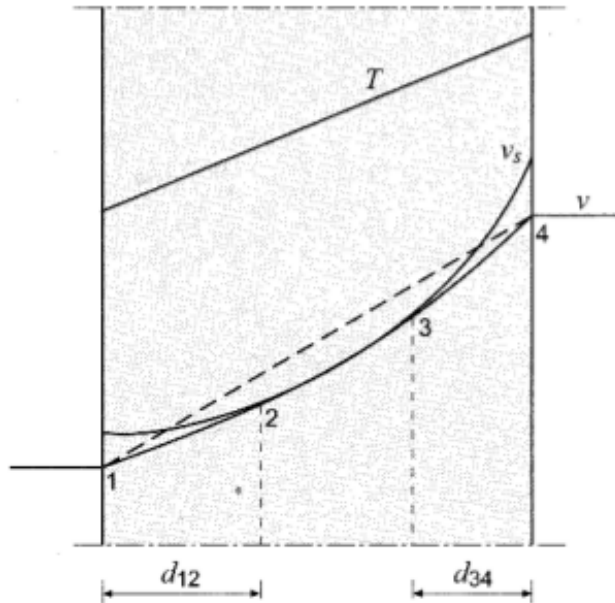
Figur 6.6: Ånghaltsfördelning genom en skiktad konstruktion [10].

$$T_{12} = T_1 - \frac{R_1}{\sum R} (T_1 - T_3) \quad (6.9)$$

$$T_{23} = T_3 + \frac{R_3}{\sum R} (T_1 - T_3) \quad (6.10)$$

där  $T_{12}, T_{23}$  = temperatur i skiktgräns mellan skikt 1 och 2 respektive 2 och 3 [K]  
 $T_1, T_3$  = Temperatur på ytan av skikt 1 respektive 3 [K]  
 $R_1, R_3$  = värmemotstånd i skikt 1 respektive 3 [m<sup>2</sup>K/W]  
 $\sum R$  = totalt värmemotstånd för materialskikten [m<sup>2</sup>K/W]

Om ånghalten i något intervall överstiger mättnadsånghalten innebär det att det kan ske en kondensation. Eftersom den verkliga ånghalten aldrig kan vara högre än mättnadsånghalten, betyder det att den beräknade ånghaltsfördelningen (streckad linje i figur 6.7) är felaktig och måste korrigeras. Genom att dra kurvor från ånghalterna på ytorna till tangenten på mättnadsånghaltkurvan fås en ny kurva, (1-2-3-4). Den nya kurvan är mer riktig och ger information om var i konstruktionen det sker en kondensation [10].



Figur 6.7: Kondensation i homogen vägg [10].

### 6.3.2.2 Fuktkonvektion

Skillnad i vind- och temperaturförhållanden inom- och utomhus ger en skillnad i lufttryck över en byggnads klimatskal. Om konstruktionen inte är lufttät medför tryckskillnaden att fuktig luft strömmar genom konstruktionen. Denna typ av fukttransport kallas fuktkonvektion. Hur mycket fukt som transporteras bestäms av lufttryckskillnaden, ånghaltsskillnaden samt konstruktionens täthet [10, 35].

Om klimatförhållandena är sådana att det råder undertryck inomhus strömmar uteluft in genom otätheter i klimatskalet. Luften, som normalt är kallare och torrare än luften inne, värms upp under passagen och kan därvid torka ut konstruktionen. Detta, ur fuktsynpunkt, gynnsamma luftflöde uppträder under uppvärmningssäsongen. Infiltration av kall uteluft kan däremot ge komfortproblem i form av drag. Drag motverkas ofta genom att stänga ventiler, höja inomhustemperaturen eller en kombination av dessa åtgärder. Stängda ventiler kan leda till sämre luftkvalitet och en höjning av inomhustemperaturen medför ökade energikostnader [10, 35].

Om den omvända situationen råder, dvs. invändigt övertryck, kommer luften istället att pressas ut genom otätheter i klimatskalet. Inneluften har i princip alltid högre ånghalt än uteluften. När den fuktiga ineluften pressas ut genom otätheter kan det leda till lokalt mycket höga relativa fuktigheter. Om luften på sin väg ut genom konstruktionen kyls ned så pass mycket så att ånghalten överstiger mättnadsånghalten, fälls överskottet ut som kondensvatten [35]. Risken för skadlig fuktkonvektion påverkas av rådande väderlek och är olika för respektive fasadyta. När det blåser ökar övertrycket på läsidan och sidorna samtidigt som övertrycket minskar på lovartsidan. Hörnen är särskilt utsatta eftersom de har en lägre yttemperatur än resten av fasaden, se avsnitt 6.3.1.



### 6.3.2.3 Diffusion eller konvektion?

Den mängd fukt som transporteras via konvektion bestäms av konstruktionens täthet. Den diffunderande fuktmängden är däremot opåverkad av eventuella sprickor och otätheter [9, 10].

För ett homogent material är fuktkonvektionen så liten att den kan försummas. Istället är det transport via diffusion som dominerar trots att den fuktmängden normalt är liten. Det krävs mycket stora tryckdifferenser för att mängden transporterad fukt via konvektion ska bli lika stor som vid diffusion [9, 10].

Om materialet har hög permeabilitet dominerar istället konvektionen. Konvektionsflödet är starkt beroende av storleken på sprickor och otätheter [9].

## 6.3.3 Kondens i vindsutrymmet

Självdraagsventilerade tak och vindar i flerbostadshus är konstruktionsdelar som är särskilt utsatta för skador orsakade av kondens eller hög relativ fuktighet. Under den kalla årstiden förekommer normalt ett övertryck under vinden [9, 10, 35]. Om det finns otätheter i vindsbjälklaget strömmar varm och fuktig inomhusluft upp på vinden varvid den relativa fuktigheten ökar. Om yttertaket har en låg temperatur sker en kondensation. I hus med mekanisk ventilation är risken för skadlig konvektion mindre eftersom systemet ska säkerställa att det finns ett undertryck i bostäderna.

Fukt tar sig även upp till vinden via diffusion eftersom ånghalten normalt är högre i bostäderna än i vindsutrymmet [9].

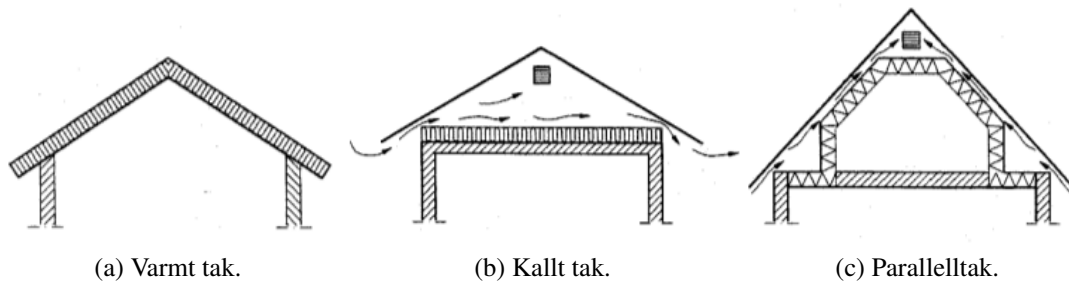
### 6.3.3.1 Takkonstruktioner

Byggnadsfysikaliskt betecknas tak vanligen som varma eller kalla. Ett varmt tak kännetecknas av det inte finns något vindsutrymme, figur 6.8a. Taket är isolerat och samma värmeflöde passerar takets inner- och ytteryta [9]. Äldre flerbostadshus med självdraagsventilation är från början konstruerade med kalla tak. För att råda bot på bostadsbristen har dock många fastighetsägare valt att inreda sina vindar, varvid det kalla taket byggts om till ett varmt tak.

Ett kallt tak avser ett oisolerat yttertak. Yttertaket utgörs vanligen av träpanel med papp eller plåt, takpannor på träpanel eller med förenklad undertäckning eller profilerad plåt med eller utan undertäckning. Mellan yttertaket och ett värmeisolerat vindsbjälklag finns ett vindsutrymme som ventileras med uteluft, se figur 6.8b. Värme och fukt som läcker genom byggnadens innertak dvs. vindsbjälklaget, ska i så stor utsträckning som möjligt föras bort med ventilationsluften. Klimatet på vinden kommer därför att bli nästan detsamma som ute. Eftersom värmeflödet genom yttertaket är lågt, får takytan samma temperatur som uteluften [9, 10].

I ett flerbostadshus med kalla tak tillgodoses ventilationen normalt av längsgående luftspalter vid takfoten på långfasaderna. De bör vara minst 20 mm breda och den sammanlagda arean bör vara 0,2 m<sup>2</sup> per 100 m<sup>2</sup> bjälklagsyta (SBN 80 kap 32:35). Detta uppskattas ge en ventilation motsvarande 2 oms/h [9, 10]

Parallella tak är ett mellanting mellan det varma och kalla taket. Det är ett tak med litet ventilationsutrymme mellan ytter- och innertak, figur 6.8c. Denna takkonstruktion används främst i villor [10].

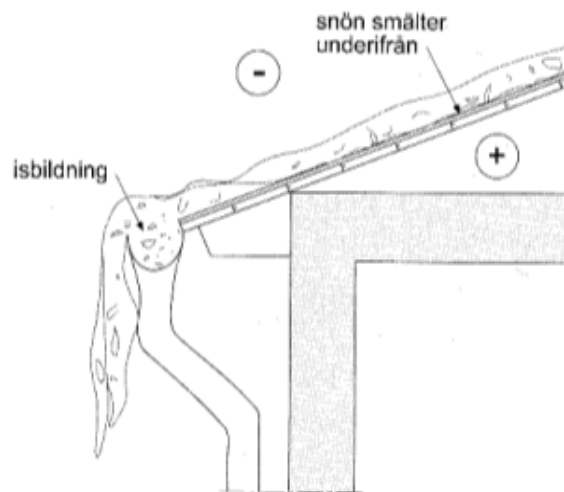


Figur 6.8: Skiss av a) varmt tak, b) kallt tak och c) parallelltak [98].

### 6.3.3.2 Problem med kalla tak

I ett välkonstruerat kallt tak har yttertaket alltså samma temperatur som omgivningen, vilket innebär att snö endast smälter vid plusgrader eller då solen skiner på taket. Eventuellt smältvatten rinner nerför taket förbi takfoten och ned i utvändiga stuprör [9].

Takkonstruktionen fungerar så länge klimatet i vindsutrymmet inte skiljer sig allt för mycket från uteklimatet. Vid otillräcklig ventilation, värms vindsutrymmet av den värme som läcker genom vindsbjälklaget. Kombinationen av för hög temperatur på vinden och ett isolerande snötäcke kan få temperaturen på takytan att stiga över nollpunkten även om det är minusgrader ute. Takfoten får däremot inte någon värme inifrån och förblir kall. När smältvattnet når takfoten kommer vattnet att frysa till is och det bildas en isvall. Isen kan på egen hand orsaka stora mekaniska påfrestningar men även dämna upp smältvatten och orsaka läckage. Ett större problem är dock att det bildas istappar som vid töväder kan falla ner [10], figur 6.9. Det är därför av viktigt att det finns en viss minsta ventilation av vindsutrymmen så att värmetransporten inifrån och upp till vindsutrymmet ventileras bort. I praktiken är det inte möjligt att få så god ventilation att all värme förs bort [9].



Figur 6.9: Bildning av istappar på kalla tak [10].

I moderna kalla tak är risken för att snö ska smälta mycket liten. Vindsbjälklaget är så välisolerat att mycket lite värme tillförs vinden inifrån. Temperaturen i vindsutrymmet kommer på så sätt inte att skilja sig alltför mycket från uteluftens [10].

Att tilläggsisolera ett äldre vindsbjälklag kan verka lockande eftersom energiförlusterna minskar. Arbetsutförandet är enkelt och kostnaderna är inte allt för höga. Men tilläggsisoleringen kan också innebära en ökad risk för fuktproblem om inte bjälklaget är tätt nog. En tilläggsisolering innebär att värmeflödet inifrån minskar. Temperaturen på vindsutrymmet sänks och takpanelens temperatur sänks. Om bjälklaget är otätt, så att varm fuktig luft läcker upp från bostäderna, kommer den lägre temperaturen medföra en högre relativ fuktighet varvid risken för kondens ökar. Ett sämre isolerat bjälklag ger högre temperatur i vindsutrymmet vilket medför lägre relativ fuktighet. Väljer man att tilläggsisolera bör man därför alltid starta med att kontrollera bjälklagets lufttätethet, i synnerhet vid genomföringar och anslutningar [9, 10].

Vid tilläggsisolering läggs isoleringen ovan bjälklaget, men bjälklagets konstruktion bestämmer ångspärrens, dvs. plastfoliens, placering. I ett träbjälklag placeras plastfolien på bjälklagets undersida. Bjälklag av betong eller lättbetong ger i sig erforderlig lufttätethet. Däremot måste byggfukten beaktas vid dessa byggmaterial. Ju äldre material desto mindre mängd byggfukt. Genom att placera ångspärren ovan bjälklaget förhindras byggfukten att avgå upp till vindsutrymmet. Byggfukten torkar då istället nedåt vilket kräver att undersidan inte är ångtät. Om vindsbjälklag av betong eller lättbetong har isolering från början, så ligger denna vanligtvis ovan bjälklaget. Denna placering gör att ångspärren ligger varmt vilket förhindrar kondensering [9].

Problem med kondensation på yttertaket kan fås även om bjälklaget är tätt och vindsutrymmet har en god ventilation! Det beror på att taket förlorar värme genom värmeutstrålning mot himlen, Denna värmeutstrålning blir större en klar och kall dag än en mulen dag. Nattetid är det särskild risk för låg temperatur eftersom solljuset inte kan kompensera för nedkylningen. Takpanelen kan då få en lägre temperatur än den omgivande luften. Kombinationen av låg temperatur och hög luftfuktighet i utomhusluften gör att vattenånga kondenserar på yttertaket utsida. Förs denna luft in i vindsutrymmet sker det en kondensation även på yttertaket insida [4, 10].

## 6.4 Bakdrag

Luftväxlingen i ett självdragssystem drivs av tryckskillnaden orsakad av temperaturskillnaden mellan utomhus- och inomhusluft samt av rådande vindförhållande. Detta ger normalt ett lågt drivtryck vilket medför att systemet är känsligt för störningar. Ett vanligt problem i självdragsventilerade hus är att en yttre störning orsakar en riktningssändring på luftflödet i en av frånluftskanalerna, så att den istället fungerar som en tilluftskanal. Detta fenomen kallas bakdrag [6]. Ett rådande bakdrag kan vara svårt att häva.

Bakdrag medför inte bara att tillförsel av uteluft sker på fel plats utan bidrar även till en sämre komfort genom kallras och ökad energiförbrukning för uppvärmning. Konsekvensen kan bli att det boende stänger frånluftskanalen för att få stopp på kallrasen. Detta kan i sin tur leda till otillräcklig luftomsättning med ökad risk för fukt- och mögelskador [1].

Bakdrag kan även ge problem med luktspridning inom bostaden eller från andra lägenheter [1, 3, 25].

Risken för bakdrag gör att självdragssystemet måste behandlas varsamt. Ingrepp i huset med syfte att minska energiförbrukningen eller förbättra den termiska och hygieniska miljön kan lätt få motsatt effekt.

## 6.4.1 Vindens påverkan vid skorstensmyningen

Luftströmmen kring ventilationsskorstenens mynning är en källa till yttre störning. Vinden varierar i både styrka och riktning och påverkas av husets utformning och dess omgivning. Detta innebär att tryckförhållandena vid skorstensmyningen varierar kraftigt [3].

När vinden sveper över kanalens mynning uppstår vanligtvis ett vindsug, den sk ejektorverkan. Suget i mynningen ger upphov till ett ökat luftflöde i kanalen, vilket ökar luftomsättningen. Vintertid kan detta medföra problem med drag och en ökad energiförbrukning. Dessutom kan en kraftig ökning av luftflödet i en kanal i vissa fall resultera i att luften i en eller flera kanaler börjar strömma åt fel håll. Detta gäller i synnerhet om huset är tätt [99].

Vid vissa vindförhållanden kan turbulensen runt skorstenen ge upphov till ett samtidigt övertryck i vissa kanaler och undertryck i andra med bakdrag som följd [3].

Utformningen av självdragskanalens mynning bestämmer om ejektorverkan utnyttjas eller inte för att öka flödet i kanalen. En vindsnurra eller en dragförstärkare är två sätt att förstärka ejektorverkan, se avsnitt 8.8 [3, 25].

I södra Sverige och på västkusten byggdes under 30-talet vissa ventilationsskorstenar med frånluftskanalernas mynning på sidan av skorstenen. När öppningarna befinner sig på läsidan av skorstenen ökar vindsuget. Om vinden byter riktning blir effekten den motsatta. Det senare fallet leder till bakdrag vid tillräckligt blåsig väder [20, 25].

## 6.4.2 Till- och frånluftdonens inställning

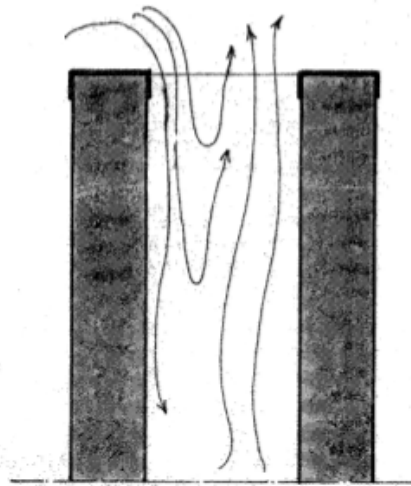
Ventilationsflödet i ett självdragssystem varierar med årstiden. Vintertid kan luftflödet bli för stort och sommartid för litet. En jämnare luftväxling innebär ett bättre termiskt och hygieniskt klimat. Ett självdragssystem är dock svårt att reglera. Det är i viss mån möjligt att kontrollera luftflödet genom att reglera till- och frånluftsdonen [25].

Höst, vinter och vår kan luftflödet genom donen minskas. Vid kall årstid kan den termiska drivkraften vara tillräcklig för att upprätthålla en fullgod ventilation varvid ventilationsdonens öppning kan minskas. Däremot får donen aldrig stängas eftersom risken för bakdrag är överhängande. Det gäller både till- och frånluftsdonen [6, 25].

### 6.4.2.1 Strypning av frånluftsdon

När frånluftsdon stryps minskar luftflödet i kanalen och risken för sk dubbelcirkulation ökar. Dubbelcirkulation innebär att kall luft rasar ner genom en del av kanalarean samtidigt som varm luft strömmar upp genom en annan del, se figur 6.10. Dubbelcirkulation kan snabbt leda till bakdrag, eftersom drivkraften för självdraget minskar när den nedåtgående luftströmmen kyler väggen och luften i kanalen [3].

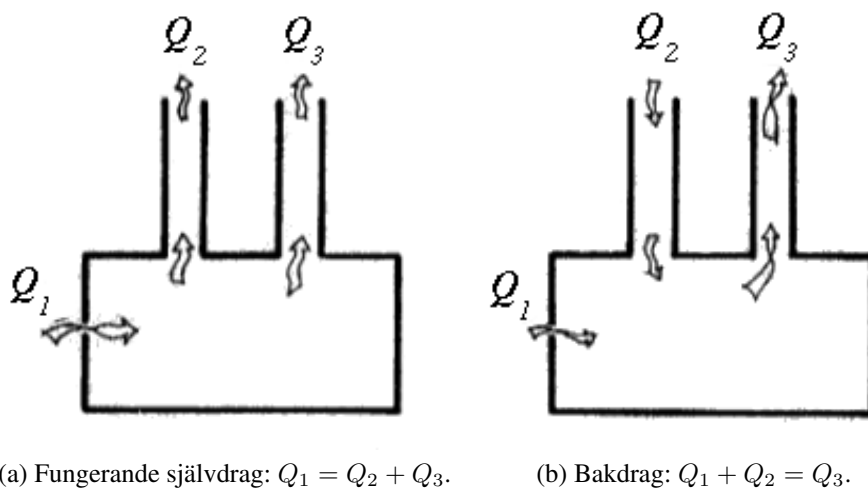
Det är vanligt att hjälpfläktar installeras i badrum och kök för att minska problem med fukt och lukt [26]. I självdragssystem gör dock dessa fläktar mer skada än nytta. En stillastående fläkt blockerar helt eller delvis luftflödet i kanalen och ökar risken för bakdrag på samma sätt som en strypning av frånluftsdonet. När fläkten används kan den dessutom orsaka omvänd flödesriktning i andra frånluftskanaler, se mer om detta i avsnitt 6.4.4 [3].



Figur 6.10: Dubbelcirkulation i en frånluftskanal [3].

### 6.4.2.2 Strykning av uteluftsdon

När uteluftsdon stryps ökar risken för bakdrag i en eller flera frånluftskanaler. Genom att strypa uteluftsdonen minskar mängden kall uteluft som tillförs byggnaden samtidigt som luftflödet minskar i frånluftskanalerna. Systemet blir på så sätt mindre stabilt och en tryckstörning kan lätt leda till en dubbelcirkulation. Detta ökar risken för att den nedåtgående luftströmmen tar över och att luft strömmar ned genom den aktuella kanalen, se figur 6.11. Bakdraget innebär att luftflödet in i byggnaden ökar samtidigt som luftflödet i övriga frånluftskanaler ökar. Den beskrivna situationen är stabil och därmed svår att häva [25].



Figur 6.11: Luftflöde vid fungerande självdragsventilation och vid bakdrag [3].

### 6.4.3 Tätning av klimatskärm

Energikrisen på 70-talet medförde att många fastighetsägare valde att byta fönster samt isolera fasad och vind för att minska uppvärmningskostnaderna. Många av dessa åtgärder

blev subventionerade av staten genom en rad bidrag [100].

Försöken att minimera energiåtgången resulterade i att många hus tätades på ett felaktigt sätt med följden att tilluftsflödet ofta blev för lågt. Detta gäller i synnerhet de hus som från början saknade tilluftsventiler [5].

Otillräckligt tilluftsflöde innebär en ökad risk för bakdrag. En tätning av fasaden fungerar precis på samma sätt som en strypning av tilluftsdon, se avsnitt 6.4.2.2. Tätningsarbetet kan därmed ha en motsatt effekt. Den förväntade energibesparingen blir istället en ökning av energiförbrukningen. Energiförbrukning kan i olyckliga fall vara flera gånger större än den man hade före tätningsarbetet [3].

Ett hus med självdrag kan tätas om erforderlig luftmängd tillförs genom ventilationsdon med tillräckligt lågt tryckfall. Om luftmängden är otillräcklig ska nya öppningar tas upp för att tillgodose behovet av uteluft. En övergång från tilluft via okontrollerat läckage till kontrollerad luftfyllförsel via ventiler medför att problem med drag och ojämn luftväxling minskar [3].

Tilläggsisolering påverkar inte bara ventilations funktion. Husets utseende förändras också. Fasadens proportioner påverkas; takfoten krymper, sockeln hamnar längre in och fasaden hänger i luften istället för att vila på sockel. Isolering innebär också att dekorativa detaljer, ornament och snickerier, försvinner och att fönster sitter djupare in i fasaden. Det senare påverkar både utseendet och ljusinsläppet. Ett eventuellt byte av fönster kan givetvis också påverka husets arkitektur [100].

#### **6.4.4 Punktvis forcering av luftflöde**

En vanlig orsak till bakdrag är att bristfällig ventilation åtgärdas genom att installera kanalanslutna frånluftsfläktar i kök och badrum [1]. Denna typ av ombyggnad var mycket vanlig under 70- och 80-talet [101].

En fläkt skapar alltid ett undertryck i det utrymme där den installerad och övertryck i kanalen. Fläkten har vanligtvis mycket bättre utsugningseffekt än själva självdragsventilationen. Det är inte ovanligt att den suger in dubbelt så mycket luft. Beroende på klimatskärmens täthet och ventilernas konstruktion kan det leda till att det inte kommer in tillräckligt med ersättningsluft. Undertrycket drar då till sig luft från angränsande utrymmen och luftströmmen vänder då vanligtvis i en eller flera frånluftskanaler som börjar fungera som tilluftskanaler [6, 56].

På grund av övertrycket i kanalen medför forcerad ventilation också en ökad risk för läckage såväl mellan kanaler som mellan kanaler och andra utrymmen i huset. Läckaget kan i sin tur leda till problem med spridning av lukt, ljud och fukt samt störning av luftströmmen i närliggande kanaler [3]. Därför ställer forcerad ventilation mycket höga krav på kanalernas täthet [3].

Forcering av luftflöde kan också ha inverkan på luftfödet utanför lägenheten. Luft kan både föras ut ur och in i lägenheten, beroende på vilken täthet som råder mellan husets olika utrymmen, se vidare i avsnitt 6.1.

Bakdrag kan även uppstå i den kanal där fläkten är installerad. När fläkten är avstängd fungerar den som en strypning av frånluftskanalen. Luftflödet i kanalen blir då för litet och risken för bakdrag är uppenbar, se avsnitt 6.4.2.

En fläkt får inte installeras utan medgivande från värdens eller styrelsens tillstånd [56]. Även om tillstånd ges bör hjälpfläktar aldrig installeras och befintliga fläktar i kök, badrum

och andra utrymmen bör demonteras [6]. Ett alternativ till en köksfläkt kan vara en skolfilterfläkt, se avsnitt 8.4. Denna fläkt cirkulerar luften istället för att suga ut den och påverkar inte självdragssystemet.

### **6.4.5 Häva bakdrag**

Vid bakdrag kyls frånluftskanalen snabbt ned av den nedåtgående luftströmmen. Ju större temperaturskillnad mellan kanal och utetemperatur desto svårare blir det att vända luftströmmen i kanalen [15]. Det är således svårt att häva ett rådande bakdrag. Det som krävs är att temperaturen i alla kanaler är likartad. Att tillfälligt forcera flödet med värmefläkt (tex. en hårtork) har ingen varaktig effekt. Bakdraget återkommer efter att uppvärmningen upphört [15]. Förklaringen kan vara att det krävs mycket värme för att värma upp kanalen. I synnerhet om kanalen är murad eller gjuten.

Lösningen i ett centraliserat system, dvs. frånluftskanaler i kök och badrum, är att delvis strypa flödet i den kanal som har rätt flödesriktning. Genom att minska flödet i denna kanal har luften ingen annan möjlighet än att gå genom den andra kanalen, dvs. den med bakdrag. Efter en till två veckor är systemet återställt. Det är viktigt att luftflödet i den fungerande frånluftskanalen inte stryps helt. Inget flöde i kanalen innebär att kanalen kommer att kylas ned. Resultat blir att det rådande bakdraget hävs, men att det istället uppstår ett nytt i den strypta kanalen. Det är lämpligt att öppna tilluftsventiler helt och eventuellt också ett fönster tills bakdraget vänder [15].

I ett decentraliserat system är situationen lite annorlunda. Här finns en frånluftskanal i varje rum. En lösning kan då vara skapa ett slutet system i varje rum genom att hålla dörrarna stängda. Öppna till- och frånluftsventiler och eventuellt fönster. Luften kommer då att tvingas ut genom rummets frånluftskanal.





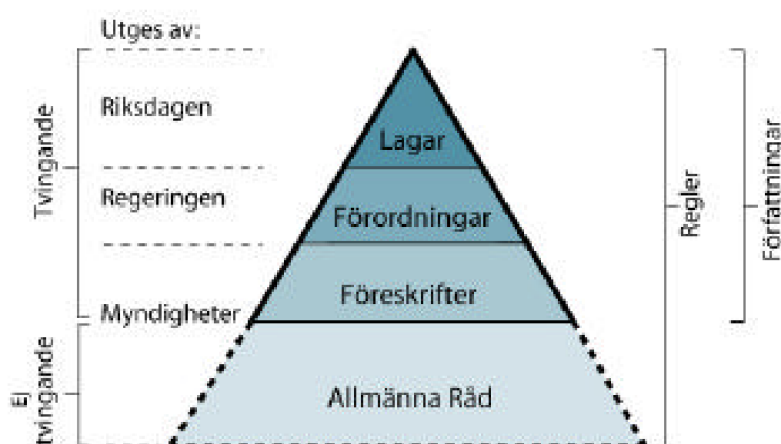
# Kapitel 7

## Regler för och tillsyn av ventilation och inomhusmiljö

Det finns en rad regler angående inomhusmiljö och ventilation. Regler är en samlingsterm som omfattar lagar, förordningar, föreskrifter samt allmänna råd, se figur 7.1. Riksdagen stiftar lagar och regeringen skriver förordningar. Myndigheterna ger ut föreskrifter samt allmänna råd. Kraven i lagar, förordningar och föreskrifter måste följas. De allmänna råden behöver däremot inte uppfyllas. De anger hur ett krav i en tvingande regel, kan eller bör, uppfyllas. Myndighetens råd är detaljerade och innehåller inte sällan siffror. Det är inte ovanligt, men felaktigt, att de allmänna råden betraktas som tvingande regler både av byggbranschen och av myndigheter [102, 103, 104].

Vilka regler som ska tillämpas beror på situationen, om det gäller en ny- eller tillbyggnad, ombyggnad eller ändrad användning eller enbart förvaltning av en byggnad [104].

Det finns flera myndigheter som har ansvar för regler och tillsyn gällande inomhusmiljö och ventilation, såsom Socialstyrelsen, Boverket, och kommunens miljö- och hälsoskyddsnämnd eller byggnadsnämnd [37].



Figur 7.1: Regler på fyra nivåer [104].

## 7.1 Boverkets BBR och BÄR

Boverket ställer krav och ger råd för ny- och tillbyggnad. Boverkets byggregler (BBR) är en tillämpning av plan- och bygglagen (PBL) och byggnadsverkslagen (BVL). BBR har förändrats genom åren. De föreskrifter och råd som förekom i äldre versioner av BBR och tidigare Nybyggnadsregler (NR), Svensk Byggnorm (SBN) och Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan (BABS), var förhållandevis detaljerade jämfört med den version som gäller idag. Före 2006 fanns exempelvis rekommendationer gällande luftflöden för olika rumstyper. Det finns idag inga krav på teknisk utformning gällande ventilationssystemet. Däremot finns det krav på luftflödet. Det luftflöde som tillförs byggnaden får inte vara lägre än 0,35 l/s per m<sup>2</sup> golvarea när rummet används [37, 102].

I de allmänna råden förekommer ibland även hänvisningar till andra myndigheters regelverk såsom Socialstyrelsen och Kemikalieinspektionen [37, 102].

Boverkets byggregler omfattar idag alla befintliga byggnader. Förut gav Boverket ut en skrift, ”Allmänna råd om ändring av byggnad, BÄR”. Denna skrift innehåller inga krav utan enbart råd vid ändring av en byggnad, dvs. en ombyggnad eller ändrad användning. I plan och bygglagen (PBL) finns krav på varsamhet vid ändringar av en byggnad. Boverkets tolkning, grundsyn, av detta krav återges i BÄR. Förutom PBL kan även miljöbalken vara aktuell vid ändring av byggnad [103, 105].

Råden i BÄR har nyligen ersatts av ändringsregler i BBR. Byggreglerna trädde i kraft den 1 januari 2012. Byggnadsnämnden får dock inte börja tillämpa reglerna förrän den 1 januari 2013. Det innebär att byggherren under övergångsåret kan välja att använda råden i BÄR eller nya BBR som vägledning [106, 107].

### 7.1.1 Obligatorisk funktionskontroll av ventilationssystem, OVK

1992 införde Boverket krav på funktionskontroll av ventilationssystem. Vanligtvis benämns kontrollen obligatorisk ventilationskontroll, OVK. Kontrollen infördes för att ventilationssystem sällan fungerade som tänkt på grund av eftersatt underhåll [50, 64].

Målet med funktionskontrollen är att säkerställa ett gott inomhusklimat så att människors hälsa inte påverkas negativt vid längre vistelse i byggnaden. Det är fastighetsägaren som har ansvar för att funktionskontrollen utförs. Tillsynsansvaret ligger på kommunen. Byggnadsnämnden, är den kommunala nämnd som ska se till att byggnadsägare fullgör sina skyldigheter gällande OVK [108].

Första besiktningen ska utföras innan ett nytt ventilationssystem tas i bruk. Därefter sker besiktningar med regelbundna intervall, hur ofta bestäms av byggnadstyp och ventilationssystem. Flerbostadshus med självdrag ska besiktigas vart sjätte år. Före 2009 skulle den återkommande besiktningen ske vart nionde år. Vissa byggnader och ventilationssystem är dock fritagna från kravet på återkommande besiktning. Det gäller exempelvis en- och tvåbostadshus med självdragssystem. Vid den återkommande besiktningen ska det kontrolleras att ventilationen i huvudsak överensstämmer med de krav som ställdes när systemet installerades. En godkänd funktionskontroll är således ingen garanti för att ventilationssystemet uppfyller dagens krav på luftkvalitet eller erforderlig luftväxling [37, 108].

Många äldre hus har byggts om, ibland utan bygglov. Det kan därför vara svårt att reda ut vilka föreskrifter som funktionskontrollen ska uppfylla. Grundregeln är att det är ventilationssystemets ålder som är bestämmande, inte husets. Därför gäller att om ventilations-

systemet i ett befintlig hus byggts om, så ska systemet kontrolleras mot de föreskrifter som gällde vid ombyggnaden. I en del äldre föreskrifter kan det förekomma sifferkrav på luftväxling. Dessa krav är inte längre bindande, men ska i huvudsak uppfyllas [24, 103, 108].

Vid de återkommande besiktningarna ska det även kontrolleras att det inte finns föroreningar i ventilationssystemet och att det finns instruktioner och skötselanvisningar. Vidare ska det utredas vilka möjligheter det finns att förbättra energihushållningen i ventilationssystemet. Åtgärderna får dock inte ha negativ inverkan på inomhusklimatet [108].

Om fastighetsägaren inte åtgärdar brister som upptäckts vid en funktionskontroll, eller om kontrollen inte utförts, kan kommunen, med stöd av plan- och bygglagen, förelägga ägaren att avhjälpa påtalade brister. Föreläggandet kan behäftas med vite [108].

## 7.2 Miljönämnden

Regler för inomhusmiljön finns även i miljöbalken. Miljö- och hälsoskyddsnämnden är den kommunala nämnd som ansvarar för tillsynen av inomhusmiljön i bostäder, skolor, dagis och liknande [36, 50].

### 7.2.1 Klagomål

Boende som upplever problem med inomhusmiljön i lägenheten ska först vända sig till fastighetens förvaltare eller vaktmästare. Det gäller oavsett om den boende är hyresgäst eller bostadsrättsinnehavare. Om boende inte tycker sig få gehör för sitt klagomål, hos de ansvariga för fastigheten, är nästa steg att kontakta miljöförvaltningen eller motsvarande kommunala myndighet [50, 109].

Klagomål som kommer in till miljöförvaltningen måste utredas, men exakt hur de utreds eller hanteras är olika från kommun till kommun [109].

Enligt miljöbalken kan miljönämnden kräva att fastighetsägaren undersöker (26 kap. 22 §) och åtgärdar eventuella brister (26 kap. 9 §) om det finns skäl att anta att det kan föreligga olägenhet för människors hälsa [36].

Det normala förfarandet vid ett klagomål är att handläggaren påtalar ärendet för fastighetsägaren och begär ett klarläggande. Om det inte räcker, åker miljöinspektören ut och gör en egen bedömning utifrån Socialstyrelsens riktvärden. Kommunen kan också välja att anlita konsulter och skadeutredare. Det gäller framförallt svåra fall [109].

Om inomhusmiljön bedöms som hälsofarlig ger inspektören åtgärdsförslag med kostnadsbedömning. Enligt miljöbalken (2 kap. 7 § och 9 kap. 9 §) måste föreslagen åtgärd vägas mot kostnad. Kraven på fastighetsägaren måste vara rimliga jämfört med den nytta de åstadkommer [37, 103]. Om fastighetsägaren inte åtgärdar brister skickar kommunen ett föreläggande med hot om vite [109]. Miljöbalken har omvänd bevisbörda vilket innebär att beviskraven läggs på fastighetsägaren. Det är fastighetsägaren som måste bevisa att bostaden inte är hälsovådlig [109, 110]. Miljöförvaltningens beslut kan överklagas till länsstyrelsen, vars beslut kan överklagas till miljödomstolen. Nästa och högsta instans är miljööverdomstolen [109].

Boende i hyresrätt kan vid tvist med fastighetsägare välja att vända sig till hyresnämnden. Dessa ärenden leder dock sällan till något föreläggande eftersom bevisbördan här ligger på hyresgästen [109].

Miljönämnden bedriver inte enbart tillsyn efter klagomål. Nämnden kan även själv välja ut vilka bostäder de ska kontrollera. Detta förfarande kallas riktad tillsyn [37].

## 7.3 Socialstyrelsen

Socialstyrelsen ger ut allmänna råd som rör inomhusklimatet i bostäder såsom ventilation (SOSFS 1999:25), radon (SOSFS 1999:22), fukt och mikroorganismer (SOSF 1999:21), buller inomhus (SOSFS 2005:6) och temperatur inomhus (SOSFS 2005:15). Råden är en tillämpning av miljöbalkens nionde kapitel. I detta kapitel finns föreskrifter om hälsoskydd i bostäder.

Den föreskriver att *”Bostäder och lokaler för allmänna ändamål skall brukas på ett sådant sätt att olägenheter för människors hälsa inte uppkommer och hållas fria från ohyra och andra skadedjur. Ägare eller nyttjanderättshavare till berörd egendom skall vidta de åtgärder som skäligen kan krävas för att hindra uppkomsten av eller undanröja olägenheter för människors hälsa.”*

Informationen är inte enbart ämnad för lokala tillsynsmyndigheter såsom länsstyrelsen och miljö- och hälsoskyddsnämnder utan riktas även till allmänheten [37, 103].

## 7.4 Varbergsfallet, ett viktigt prejudikat

Vid sidan om regelverket finns rättspraxis, rättsfall vars avgörande blir prejudikat. Ett prejudikat är inte juridiskt bindande som regelverket utan ska snarare ses som vägledning för hur lagen ska användas i praktiken. Varbergsfallet är ett exempel på ett prejudicerande fall gällande ventilation och inomhusmiljö i lägenheter [103].

### 7.4.1 Bakgrund

Ärendet inleddes i början av år 2000 då, miljö- och hälsoskyddskontoret i Varberg, mottog klagomål på inomhusmiljön i en lägenhet som tillhörde Varbergs Bostads AB (VBAB). Hyresgästen ansåg att ventilationen i lägenheten var bristfällig. På vintern var det kallt och dragigt och på sommaren för varmt. Vidare upplevde hyresgästen även besvär såsom andnöd, trötthet, ögonklåda och huvudvärk [111].

Fastigheten är uppförd 1964 och ventileras med självdrag. Det finns inga uteluftsdon utan lufttillförseln sker via 50 cm breda vädringsfönster med vädringsbeslag för låsning i olika vinklar. Byggnadens senaste OVK var godkänd, dvs. ventilationen uppfyllde de krav som ställdes när huset byggdes [28, 112].

Miljö- och hälsoskyddskontoret genomförde en inspektion. I inspektionen ingick bla mätning av luftflöden i den aktuella lägenheten. Mätningarna visade på en luftomsättning på 0,16 rumsvolymer per timme, med stängt vädringsfönster. Miljönämndens bedömning var att vädringsfönster inte kunde användas som tilluftsventiler. Under kalla dagar tvingas boende välja mellan otillräcklig ventilation eller problem med drag och termisk diskomfort [112].

Efteråt genomfördes flera mätningar, dels åt nämnden och dels åt bolaget. Såväl nämnden som bolagets mätningar visade på en låg luftomsättning, 0,27-0,29, med stängda vädringsfönster. Det utfördes även mätningar med öppet vädringsfönster, en öppning på 16 mm.

Mätningen visade att lägenhetens luftomsättningen låg över 0,5 oms/h och uppfyllde därmed Socialstyrelsens normkrav. Resultaten från mätningarna pekade också på problem med överventilering. I lägenhetens sovrum uppmättes ett flöde på 1,54 oms/h [112].

Miljönämnden gav bostadsbolaget ett föreläggande om att komplettera med friskluftsventiler och att utföra mätningar. Nämnden hänvisade sitt beslut till miljöbalken och förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (1998:899). Bolaget överklagade beslutet och drev processen ända upp i miljööverdomstolen [28, 112].

## 7.4.2 Överklagan

Länsstyrelsen gav bostadsbolaget rätt och upphävde miljönämndens beslutet. De ansåg att om vädringsfönstren användes som avsett så fanns det ingen risk för olägenhet. Hyresgästen hade själv ett ansvar att reglera vädringsfönstrets öppning [28, 113].

I nästa instans, Miljödomstolen, ändrades utfallet igen. Domstolen gick på miljönämndens linje. De konstaterade att flera mätningar visat att luftväxlingen ligger under Socialstyrelsens normkrav när vädringsfönstren är stängda och över när fönstren är öppna. Miljödomstolen ansåg att det var svårt att få en godtagbar ventilation med vädringsfönster utan risk för drag och att de därmed inte kan användas för att tillgodose grundbehovet av ventilation i lägenheten. Domstolen beslutade därför att miljönämndens föreläggande stod fast [112].

Fallet hamnade till sist i Miljööverdomstolen. Miljönämnden hade innan denna instans justerat föreläggandet. Justeringen innebar att de inte längre krävde nya friskluftsventiler. Den tekniska lösningen överläts till bostadsbolaget. Miljööverdomstolen gick på kommunens linje. Domen innebär att bostadsbolaget måste genomföra kontrollmätningar som visar att ”ventilationen uppfyller kraven i Socialstyrelsens allmänna råd”. Miljööverdomstolen var väl medveten om att Socialstyrelsens ”krav”, inte är annat än råd, men ansåg att riktvärdena var rimliga och skäliga [114].



# Kapitel 8

## Åtgärder

Att åtgärda i något hänseende dåligt fungerande ventilation i ett flerbostadshus är sällan enkelt eftersom problemen ofta har flera orsaker. När det gäller självdragssystem skiljer man mellan två principiellt olika system, det centraliserade och det decentraliserade systemet, se avsnitt 3.4. I det centraliserade systemet förs frånluften ut via don i kök och badrum men i det decentraliserade finns ett frånluftsdon i varje rum. Detta medför att både problem och åtgärder kan skilja sig för de två systemen.

I ett självdragsventilerat hus kan ventilationen samtidigt vara bra i en del av huset och dålig i en annan. Vidare kan huset ha renoverats varvid ventilationssystemet direkt eller indirekt har påverkats. Varje enskilt fall är unikt och det finns ingen standardlösning.

Ett bra fungerande ventilationssystem är en förutsättning för ett bra inomhusklimat, men ingen garanti. För att kunna åtgärda problemet är det väsentligt att inse att inomhusklimatet är en produkt av sambandet mellan installation, byggnad och brukare, se figur 8.1.

En del problem kan härledas till självdragsventilationens grundegenskaper och kan inte elimineras utan en större ombyggnad. Det är svårt att uppnå en fullgod luftomsättning en vindstilla sommardag.

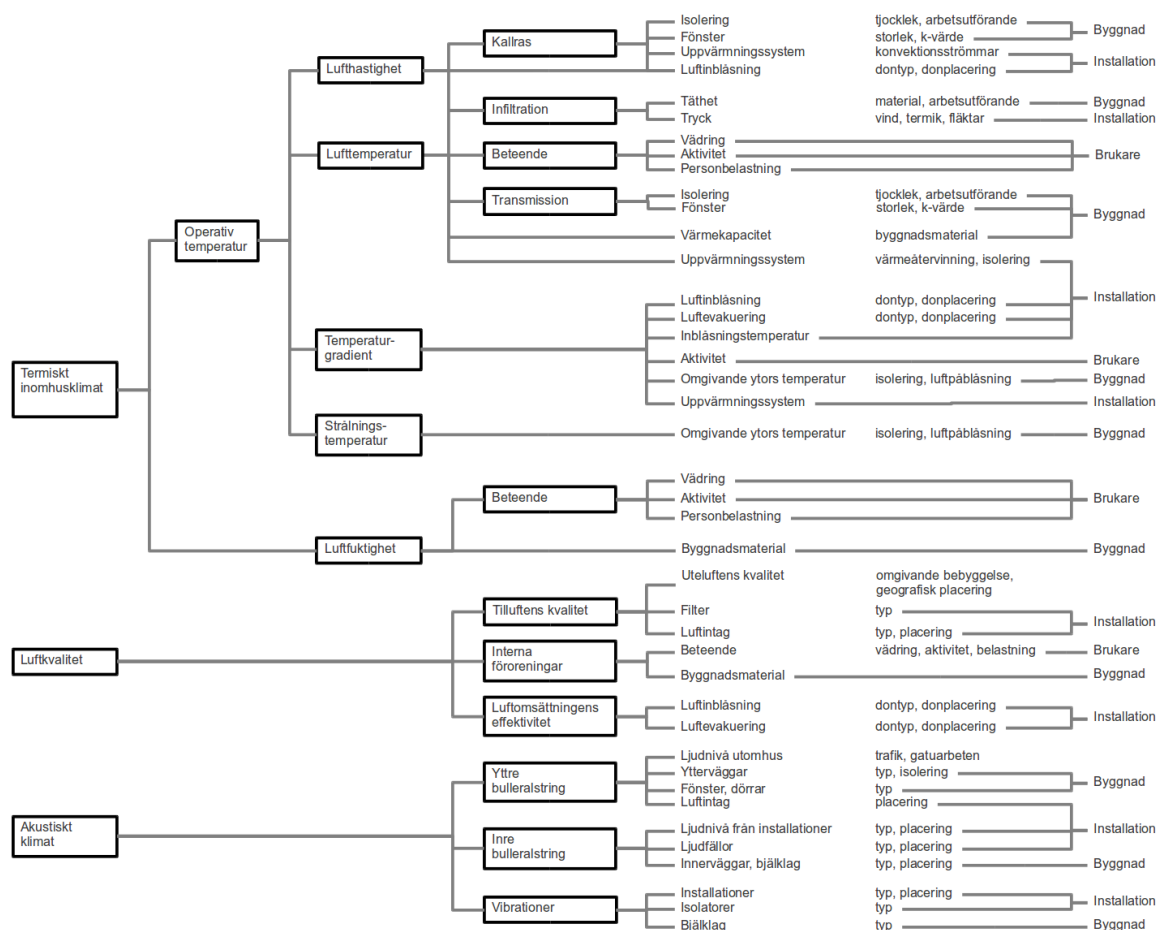
Som redan nämnts i kapitel 6 är otillräckligt och ibland felriktat luftflöde vanliga problem i självdragsventilerade hus. Orsaken eller orsakerna till detta problem kan vara många.

Luftflödet i ett självdragssystem drivs av temperaturskillnaden mellan utomhus- och inomhusluft samt av rådande vindförhållande. Ventilationsflödet varierar därför med årstiden och blir således svår att reglera. Sommartid, då temperaturskillnaden mellan ute och inne är liten, minskar luftväxlingen och flödet kan då bli allt för lågt.

Luftflöden påverkas också av om kanaler och don är dåligt rengjorda, igensatta eller skadade. I vissa bostadshus har det aldrig funnits några uteluftsdon. Det gäller framförallt hus som ursprungligen byggdes och värmdes med kakelugnar, se avsnitt 3.2. I dessa hus saknas det ofta även överluftsdon. Även i hus uppförda på 60- och 70-talet kan det saknas uteluftsdon. De har då ersatts med vädringsbeslag eller vädringsluckor [25].

### 8.1 Drift och underhåll

En vanlig orsak, till att ventilationen inte fungerar som avsett, är bristande underhåll och felanvändning [116]. Många gånger likställs underhållsarbete med sk ”brandkårsutryckningar” dvs. att översyn och eventuella åtgärder sätts först in när en väsentlig funktion fallerar. En god ventilation förutsätter ett regelbundet och förebyggande underhåll som utförs



Figur 8.1: Samband mellan komfort, installation, byggnad och brukare [115].

av kunnig personal med rätt utbildning.

Ventilationssystemet bör genomgå en årlig översyn. Smuts, damm, löv, etc kommer med tiden att fastna i ventiler och kanaler. Detta kan påverka luftomsättning drastiskt. Ett fågelbo kan t.ex. helt stoppa luftflödet i en kanal. Regelbunden rengöring av ventiler och kanaler är därför nödvändig för att bibehålla funktionen av ventilationssystemet.

Utelufts- och frånluftsventilerna kan de boende själva rengöra med en smal borste eller dammsugare. Det bästa är dock att ta loss ventilen och rengöra den. När ventilen är nere kan även kanalen lätt inspekteras. Notera att, ventilerna ibland kan vara svåra att ta ner på grund av gammal färg, tapet och smuts [25]. Rengöring av frånluftsventiler har i vissa fall medfört att luftomsättningen ökat 2 till 3 gånger [82]. Underhåll har således stor betydelse när det gäller att förhindra uppkomst av fukt- och mögelskador.

Rengöringsbehovet för frånluftskanaler i ett självdragssystem varierar. Kanaldimension och antalet krökar är exempel på faktorer som har betydelse för graden av nedsmutsning. En kanal med litet tvärsnitt har högre tryckfall än motsvarande kanal med stort tvärsnitt och måste därför rensas oftare. Detsamma gäller kanaler med tvära krökar och don med högt tryckfall [25].

Imkanalen, dvs. frånluftskanalen från köket, har ett större rensningsbehov än övriga frånluftskanaler. Fettpartiklar från matos sätter sig på kanalens yta och utgör en brandrisk. Denna beläggning är vanligtvis koncentrerad till de första en till två metrarna av kana-



len, närmast inloppet. Om kanalen är kopplad till en köksfläkt kan fett föras högre upp i systemet. Regelbunden rensning är nödvändig både för att minska brandrisken och för att bibehålla funktionen [3]. Forskning och erfarenhet visar att frekvent rengöring är nödvändig för att ventilationssystemets funktion ska bibehållas. Ett till två år är ett lämpligt rensningsintervall [25].

Övriga frånluftskanaler rensas sällan eller aldrig. Det är inte ovanligt att kanaler i 30 till 40 år gamla hus aldrig har rensats. Beslut om rengöring av dessa kanaler bör tas utifrån en besiktning [25, 29].

Rengöring av kanalsystemet blir lättare om det finns sk rensluckor. Det är viktigt att dessa inte är inte övertäckta med exempelvis isolering och att de är tillgängliga. Det är dessutom viktigt att det finns tillräckligt utrymme för dem som ska utföra rensningen [25].

Den årliga översynen bör även omfatta kontroll av läckage. Läckage kan orsakas av sprickor i kanalerna orsakade av vittring, krympning i materialen eller sättningar. Ibland kan hela tegelstenar falla bort och ge problem med stora läckage. Läckage hittas ofta vid rensluckor. Luckorna kan vara otäta eller t.o.m. saknas. Läckage detekteras genom att tryck-sätta kanalen och samtidigt spruta in rök [25], se vidare avsnitt 8.3.2.1.

En annan orsak till att ventilationen inte fungerar är felanvändning. De boende saknar ofta kunskap om hur systemet fungerar och hur det ska skötas och att deras beteende påverkar inomhusklimatet. Hyresgäster och lägenhetsinnehavare bör därför informeras om vad de kan göra för att bidra till en god ventilation och ett bra inomhusklimat. Främst handlar det om att hålla rent och torrt. Detta kan sammanfattas i ett informationshäfte och delas ut till hushållen, se exempelvis referens [97].

## 8.2 Uteluftsdon

En god inomhusmiljö kräver att föroreningskoncentrationen hålls på en acceptabel nivå. Därför måste bostaden tillföras en tillräcklig mängd uteluft. Nödvändig mängd bestäms av antal personer som vistas i bostaden och av arean, se avsnitt 4. Uteluften måste föras in i bostaden utan negativa effekter på komforten i vistelsezonen.

I ett självdragssystem tas uteluften in i bostaden via uteluftsdon (tilluftsventiler) och läckage genom springor och otätheter i klimatskärmen. Läckage sker främst i anslutning till fönster. Många gånger saknas uteluftsdon och luft förs då enbart in via läckage [25].

I det decentraliserade systemet ska alla rum vara försedda med ett uteluftsdon eftersom det finns frånluftskanaler i varje rum. Om självdragssystemet är centraliserat får det inte finnas uteluftsdon i rum med frånluftskanaler, dvs. kök och badrum, på grund av risken för kortslutning.

### 8.2.1 Lufttillförsel

Uteluftsdonets utformning och placering är avgörande för att lufttillförseln ska kunna ske utan att påverka komforten negativt, dvs. den ska ske dragfritt [88]. Dragfritt innebär att luften, som förs in i vistelsezonen, inte har för hög hastighet eller för låg temperatur. Se även avsnitt 5.3.6.1 och 6.2.

En grundprincip för att få en god innemiljö i bostaden är att uteluft tillförs och blandas med rumsluften utanför vistelsezonen. En god omblandning av uteluft och rumsluft bidrar

till en jämnare temperaturfördelning varvid risken för komfortproblem minskar. Även luftkvaliteten påverkas eftersom föroreningskoncentrationen blir jämnare. För att erhålla en god omblandning måste tilluftstrålen kunna medejktera, dra med, rumsluften. Det innebär att tilluften måste tillföras med en tillräckligt hög hastighet. Om luftstrålens hastighet är för låg kommer luftstrålen att falla ner i vistelsezonen och upplevas som drag. Hastigheten får inte heller bli för hög, eftersom luftstrålen då når motstående vägg och strömmar ned i vistelsezonen [5, 23].

Det samlade drivtrycket i ett självdragssystem, som ges av temperaturskillnaden och vindpåverkan, är normalt lågt. Det ska räcka till att föra luft genom uteluftsdon, frånluftsdon, frånluftskanal och slutligen ut genom takhuven. Detta kan uttryckas med följande samband,

$$\Delta p_{driv} = \Delta p_{u.don} + \Delta p_{f.don} + \Delta p_{kanal} + \Delta p_{huv} \quad (8.1)$$

där  $\Delta p_{driv}$  = totalt drivtryck [Pa]  
 $\Delta p_{u.don}$  = tryckfall över uteluftsdon [Pa]  
 $\Delta p_{f.don}$  = tryckfall över frånluftsdon [Pa]  
 $\Delta p_{kanal}$  = tryckfall i frånluftskanal [Pa]  
 $\Delta p_{huv}$  = tryckfall över skorstenshuv [Pa]

Ett för högt tryckfall över uteluftsdonet kan således innebära att luften inte kan strömma genom ventilationssystemet [23].

Dessutom måste donets tryckfall vara lägre än klimatskärmens. Annars kommer luften företrädesvis att läcka okontrollerat in genom otätheter [26].

Luftstrålens utbredning påverkas förutom av donets utformning också av dess temperatur. Uteluftens temperatur varierar och kan både vara högre och lägre än inneluften. Om luftstrålen är för kall (undertempererad) kommer luftstrålen, liksom i fallet med med för låg hastighet, att falla ner i vistelsezonen. En för varm stråle kommer inte att nå vistelsezonen utan istället breda ut sig längst taket, vilket resulterar i en sämre omblandning. Om såväl utelufts- som frånluftsdon är placerade i taknivå och tilluften samtidigt har för låg hastighet och en högre temperatur än rumsluften kan tilluften gå direkt från don till don utan att blanda sig med rumsluften, en sk kortslutning [23, 88]. Andra parametrar som påverkar luftstrålens utbredning är rummets begränsningsytor, inredning samt andra luftrörelser såsom konvektionsströmmar från människor, apparater, radiatorer, kalla ytor, etc [23].

Tilluftsdonens placering påverkar risken för drag. Detta gäller speciellt vid tillförsel av icke förvärmad luft såsom i ett självdragssystem. Den bästa placeringen för ett uteluftsdon är högt upp i ytterväggen ovan en radiator. Genom denna placering blandas uteluften med rumsluften innan den når vistelsezonen och dragrisken minskar. Tilluftsöppningen kan också placeras längre ner på ytterväggen. En låg nivå medför en ökad termisk drivkraft eftersom höjdskillnaden mellan ventilationsskorstenens mynning och tilluftsöppningen ökar. En låg nivå innebär dock en ökad dragrisk eftersom luften förs direkt in i vistelsezonen. Denna placering rekommenderas endast om tilluftsöppningen är kopplad till en radiator som förvärmer luften innan den blandar sig med rumsluften [5, 88].

## 8.2.2 Yttre påverkan

I en självdragsventilerad bostad tas uteluften in direkt via klimatskärmen vilket medför att inommiljön är känslig för föroreningar och buller i den yttre miljön. Det låga drivtrycket begränsar dessutom möjligheterna till bullerdämpning och luftrening eftersom effektivare filter ökar tryckfallet över donet.

### 8.2.2.1 Föroreningar i den yttre miljön

Principen för en väl fungerande ventilation är att uteluft tillförs bostaden samtidigt som motsvarande mängd förorenad luft förs ut. Antalet partiklar i inomhusluften kommer då att reduceras till följd av utspädningen, förutsatt att utomhusluften är renare, dvs. har lägre antal partiklar än inomhusluften. Luftkvaliteten ute är dock inte alltid god. Det gäller i synnerhet storstadsregioner och intill större vägar. Därför bör uteluften renas innan den förs in i bostaden. Det enklaste sättet att rena luften är att låta luften passera ett filter på väg in.

Trafiken utgör en betydande föroreningskälla. Föroreningskoncentrationen är normalt högre vid hårt trafikbelastade platser än i områden med mindre trafikbelastning. Emissionen av avgaser påverkas både av mängden fordon men även körsätt. En viktig faktor i detta sammanhang är gaturummets utformning. Utspädning och ventilation är normalt sämre i en trång gata kantad med höga byggnader jämfört med motsvarande bred gata. Det innebär att en bred gata tål en högre trafikbelastning än en smal gata [92].

Föroreningskoncentrationen avtar med avståndet till källan, både i vertikal och horisontell riktning. Även om koncentrationen avtar kraftigt, påverkar trafiken luftkvaliteten så högt upp som 15-20 m över marknivån [35].

**8.2.2.1.1 Filter** Filter indelas i olika klasser beroende på deras avskiljningsförmåga, förmågan att avskilja partiklar från luft. Ett standardfilter, dvs. ett grovt filter, filtrerar bort damm och insekter. Ett finare filter kan ha en så pass god avskiljningsförmåga att det kan fånga upp pollen, bakterier, virus, etc [35, 43].

Ett filter måste vara tvättbart eller utbytbart eftersom ett smutsigt filter stryper luftflödet och ger ett högre tryckfall. Ett stort tryckfall över donet leder till en snabbare nedsmutsning och ökar behovet av rengöring eller filterbyte [26]. Ett rent filter är också viktigt ut hygienisk synpunkt. Kombinationen av smuts och fukt kan leda till biologisk tillväxt. Mikroorganismerna kan i sin tur avge gaser och lukter som filtret inte kan fånga upp. Filtret kan med andra ord bli en föroreningskälla. Ett filter ska dock inte bli blött om donet är rätt konstruerat [35].

### 8.2.2.2 Buller i den yttre miljön

Buller från vägtrafik är den största källan till störande ljud i flerbostadsfastigheter, mellan 5-10% av befolkningen uppskattas vara mycket störda [50, 117].

Buller definieras som oönskat ljud. Ljudvolym, frekvensinnehåll och antal ljudkällor är parametrar som är betydande för om det ska uppfattas som buller [117].

Upplevelsen av buller är subjektiv och faktorer som individens inställning till situationen eller hälsotillstånd påverkar. Det innebär att störningsgraden kan bedömas helt olika från individ till individ [117].

En av de allvarligaste effekterna vid exponering av buller från vägtrafik är sömnstörningar. Redan vid låga ljudnivåer kan bullret påverka både insomningsfasen och sömnfasen. Förutom ökad trötthet under dagen, leder nätter med störd sömn även till psykosociala och medicinska effekter såsom nedstämdhet, huvudvärk och magbesvär. Andra effekter av bullerstörning är försämrade reaktionsförmåga och uppmärksamhet. Äldre och sjuka är mer känsliga för sömnstörningar än andra grupper. Nattarbetare är en annan utsatt grupp eftersom de tvingas sova under dagen då bullernivåerna är högre [117].

Husfasaden är den sista barriären mot buller från trafik. Socialstyrelsen föreskriver att trafikbuller maximalt får vara 55 dBA utanpå fasaden och 30 dBA i bostaden. Fönster och friskluftsintag är ofta de svaga punkterna i fasaden. De måste därför utformas så att tillräcklig bullerdämpning erhålls [117]. Ljuddämpning kan ske både med en insats i själva genomföringen (figur 8.2a) eller utanpå fasaden (figur 8.2b).



(a) Bullerdämpad ventil (Fresh TL80F-dBS).



(b) Bullerdämpat luftintag.

Figur 8.2: Olika lösningar för bullerdämpning av uteluftsdon.

### 8.2.2.3 Luftintagets placering

Uteluftsintagets placering är avgörande för hur stora halterna av trafikrelaterade luftföroreningar blir inne i bostaden och vilken ljudpåverkan trafikbullret har. Generellt gäller att bullernivån är lägre och luftkvaliten är bättre vid taknivån än vid fasaden på gatunivån. Dessutom kan föroreningshalterna vid hårt trafikerade vägar vara flera gånger högre på den sida där fasaden vetter mot trafiken jämfört med den sida där fasaden vetter mot gården [35]. En lösning för att undvika problem med trafikrelaterat buller och föroreningar kan vara att ta in uteluft från gårdssidan istället för gatusidan.

En ventilationslösning med luftintag på gårdssidan kräver en tät fasad mot gatan. Om fasaden är otät kan en stor del av del tilluften läcka in från den trafikerade sidan [118].

I vissa fall är alla luftintag redan placerade på gårdssidan. Det kan vara fallet om huset har ett centraliserat självdragssystem och genomgående lägenheter, med en planlösning som gör att kök och badrum vetter mot den trafikerade sidan och sovrum mot gården.

## 8.2.3 Typ av uteluftsdon

Det finns olika typer av uteluftsdon men alla är inte lika lämpliga att använda i ett självdragssystem. Oftast finns både för och nackdelar. Studier har visat att det kan vara svårt att dragfritt tillföra mer luft än 4 l/s, per don, vid utetemperaturer under 0°C [26, 119, 120]. Notera att olika författare definierar vistelsezonen olika. Det innebär att ett don som bedöms ge upphov till drag i en undersökning ändå kan vara acceptabelt med en annan definition av vistelsezonen.

Uteluftsdon med cirkulär spalt, sk tallriksventiler, har uppvisat goda resultat gällande tillförsel av tilluft utan drag. Det beror på att ventilen pressar tilluften bakåt mot väggen varvid luftflödet tappar fart innan den når vistelsezonen [26]. Tallriksventiler har dock ofta ett för högt tryckfall för att användas i ett självdragssystem [25]. Därför bör tryckfallsdata för det aktuella donet alltid kontrolleras innan installation sker.

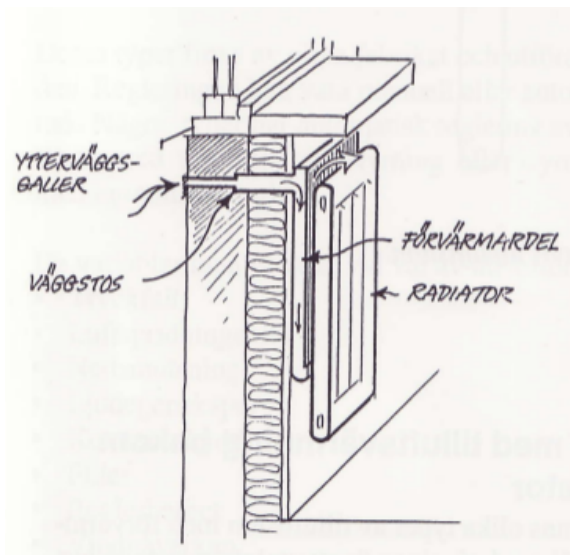
Uteluftsdon med linjär spalt, sk springventiler, är inte heller problemfria. Mätningar har visat att vid utetemperaturer som understiger 0°C, kommer luftflöden större än 3,5 l/s, alltid att ge upphov till för höga lufthastigheter i vistelsezonen. Drag kan även uppstå vid högre utetemperaturer. Vid en utetemperatur på + 10°C går det inte att tillföra 4 l/s genom en springventil placerad ovanför fönstret utan att lufthastigheten överstiger 0,20 m/s (0,6 m från yttervägg). Om ventilen placeras under ett fönster blir hastigheten något lägre [26, 120].

Ett sätt att hantera dragproblemen är att använda don där uteluften värms innan den släpps in i rummet [25]. Självreglerande uteluftventiler är också ett alternativ. Dessa ventiler reglerar lufttillförseln efter utetemperaturen.

### 8.2.3.1 Inblåsning via radiatorn

Det är svårt att tillföra erforderlig mängd uteluft utan att det uppstår drag, särskilt på vintern. Genom att förvärma tilluften vid intaget minskar risken för drag. Dragupplevelsen påverkas nämligen inte enbart av luftströmmens hastighet utan även av dess temperatur. En högre temperatur innebär att luftströmmen inte är lika besvärande, se avsnitt 5.3.6.1. Luft kan värmas i en sk tilluftsradiator. Uteluften kommer in via en öppning under fönster, filtreras och värms i en förvärmardel innan den strömmar ut ovan radiatorn, se figur 8.3. Förvärmardelen utgörs av en plåt, som normalt monteras på radiatorns baksida. På en sektionsradiator kan det finnas plåtar både på bak- och framsidan [25, 27]. Med förvärmning av tilluften i radiatorn kan dragproblem undvikas så länge luftflödet understiger 10 l/s [26]. Om radiatorn stängs av blir dragproblemen ungefär samma som för en spaltventil. En avstängd radiator kan dessutom frysa sönder när kall uteluft strömmar in. Därför ska radiatorn inte kunna stängas av helt. Säkerhet mot frysning kan uppnås med en minimibegränsning i termostaten. Den energimängd som krävs för att förhindra att radiatorn fryser är dock mindre än den energimängd som krävs för att undvika drag [121].

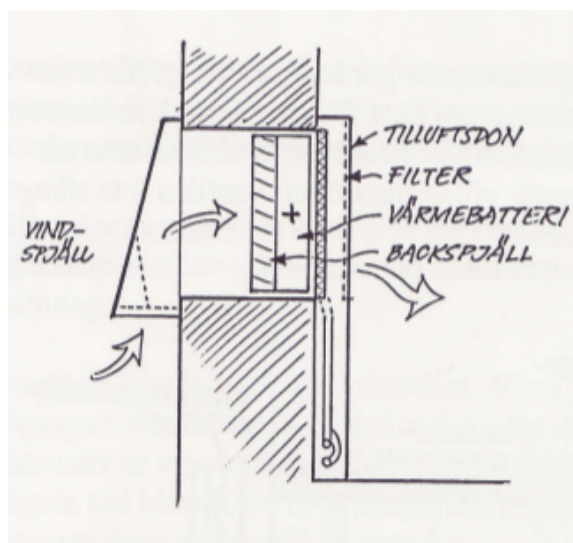
Två nackdelar med denna dontyp är att de kan vara svåra att rengöra eftersom de är placerade bakom radiatorer och att installationen kräver relativt stora ingrepp: håltagning, inmurning och montage [27].



Figur 8.3: Uteluftsdon med uppvärmning av luft bakom radiator [27].

### 8.2.3.2 Intag av tilluft direkt genom yttervägg

Ett annan typ av don där tilluften förväms för minska dragrisken är sk tilluftskonvektorer, se figur 8.4. I denna typ av don värms luften med ett separat värmebatteri. Efter uppvärmningen filtreras luften innan den släpps ut i rummet [21, 27]. Service och underhåll underlättas genom att donet inte är gömt bakom en radiator.



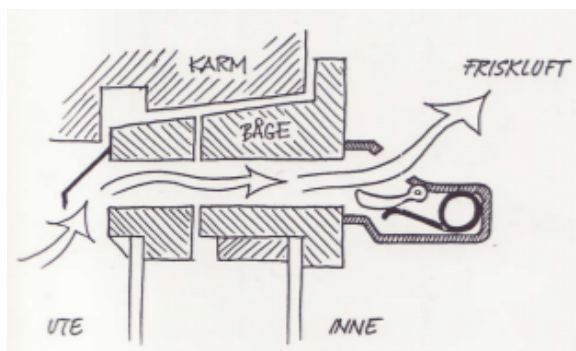
Figur 8.4: Tilluftsdon i yttervägg, förvärmning med värmebatteri [27].

### 8.2.3.3 Utetemperaturstyrda don

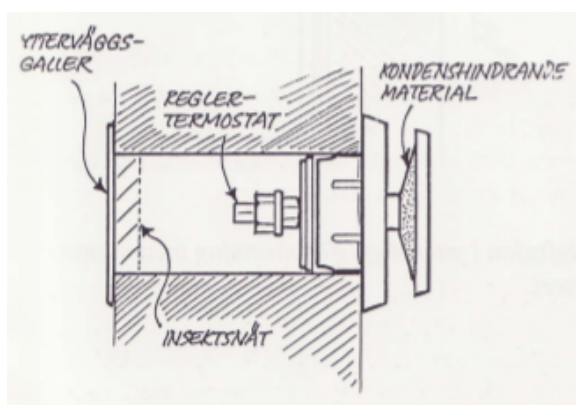
Tilluftsflödet i ett självdragssystem ökar med sjunkande utetemperatur och ökande vind. Vintertid, då de termiska krafterna verkar bäst, kan flödet bli alltför stort och ge problem med drag och torr luft. Flödesökningen kan reduceras med självreglerande uteluftsventiler.

Ventilerna reglerar luftflödet genom att tryckfallet över donet förändras med utetemperaturen. På så sätt, kan ett jämnt luftflöde erhållas över ett brett temperaturintervall [3].

Temperaturstyrda uteluftsdon finns både som springventil, placerad i överkant på fönsterbågen, och som väggventil. I springventilen regleras luftflödet med en bimetallfjäder, som öppnar och stryper luftspalten vid ökande respektive sjunkande utetemperatur (figur 8.5). I väggventilen används andra temperaturreglage, t.ex. en termostat med bivax (figur 8.6) [5, 15, 27]. Ett exempel på dylik ventil är Velcoventilen från Liljengrens AB.



Figur 8.5: Springventil med temperaturstyrning [27].



Figur 8.6: Väggventil med temperaturstyrning [27].

I flerbostadshus med flera våningar varierar luftflödet från våning till våning eftersom höjdskillnaden mellan ventilationsskorstenens mynning och tilluftsöppningen bestämmer den termiska drivkraften. Denna variation motverkas genom ventilernas öppningsarea anpassas till lägenhetens höjdnivå [15]. För att åstadkomma lika stor ventilation oavsett våningsplan, temperatur och vind räcker det inte med dessa don. För att styra luftflödet i ett konventionellt självdragssystem krävs även åtgärder för att eliminera vindens effekt vid skorstenstoppen, se även avsnitt 8.6.

## 8.2.4 Överluftsdon

I ett centraliserat självdragssystem tas uteluft in i rum med normalt låg föroreningsproduktion, t.ex. sovrum, och förs till frånluftsdon i utrymmen med högre produktion av föroreningar, dvs. kök och våtrum, se avsnitt 3.4. För att luftgenomströmning även ska kunna ske med stängda dörrar måste de olika utrymmena kopplas samman med sk överluftsdon [3].

Det finns situationer, i ett centraliserat system, då överluftsdon inte ska installeras. Två exempel är badrum med egen uteluftskanal, sk stockholmsventilation, och badrum med öppningsbara fönster. I dessa fall medför ett överluftsdon i t.ex. badrumsdörren en uppenbar risk för bakdrag i vårummets frånluftskanal [25].

I ett decentraliserat självdragssystem ska det inte finnas några överluftsdon eftersom varje rum är försett med ett separat frånluftsdon [25].

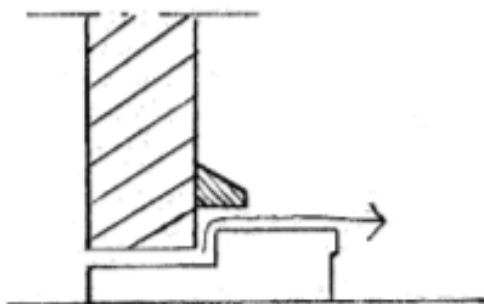
Överluftsdon utgörs normalt av en springa mellan dörrbladet och karmens överstycke eller tröskeln. Donets fria tvärsnittsarea bör vara  $75 \text{ cm}^2$  eller mer [3, 25]. Denna springa kan fås genom att kapa ca 1 cm av dörrbladet, i nederkant eller överkant, eller genom att fräsa en springa i karmen eller tröskeln. En annan variant, är perforerade plastfoder som sitter i dörrkarmen eller i dörrbladet, ett på vardera in- och utsidan [25].

Det är särskilt viktigt att få en väl fungerande ventilation i bostadens våtrum. En väl fungerande ventilation är inte likställt med höga luftflöden. Om till- och frånluftsdon är felaktigt placerade blir delar av rummet inte ventilerade oavsett luftflöde.

Om luften tillförs via ett överluftsdon ovan dörren är risken för kortslutning stor. Luften tar sig den enklaste vägen genom rummet, dvs. går direkt mellan överluftsdon och frånluftsdon varvid vårummets undre delar blir sämre ventilerade [25].

Även om överluftsdonet placeras i dörrens nederkant kan risken för kortslutning inte försummas. Om frånluftsdonet är placerat i taket nära dörren kan luften strömma uppför dörrbladet. En lösning kan vara att montera en horisontell trälist på dörrbladet några centimeter ovan tröskeln (se figur 8.7). Avsikten med listen är att den inkommande luftströmmen istället kommer att gå längs golvet [82].

Bästa ventilationseffektivitet uppnås om till- och frånluftsdon placeras i varsin ände av rummets rymddiagonal [25].



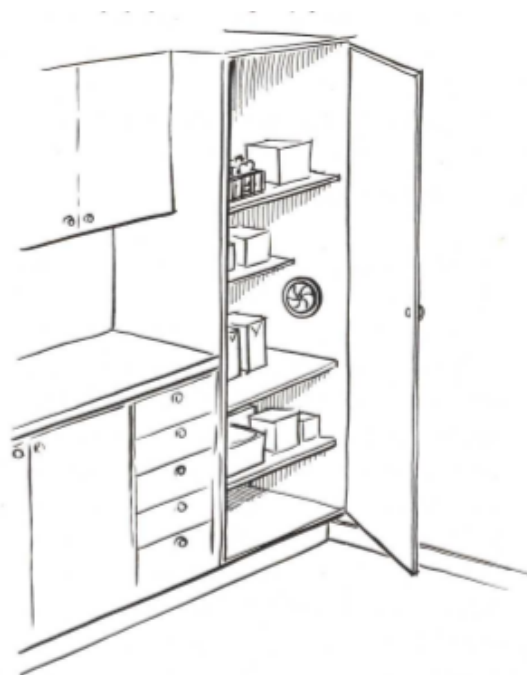
Figur 8.7: Horisontell trälist som tvingar luftströmmen horisontellt över golvet [82].

## 8.2.5 Skafferiventil

I äldre självdragsventilerade hus är det vanligt med ett skafferi med eget uteluftsdon, se figur 8.8. I ett decentraliserat ventilationssystem utgör skafferidonen inte några större problem för ventilationens funktion. Om systemet är centraliserat, kan en dylik ventil bidra till att bostaden blir sämre ventilerad. En dåligt tätad skafferidörr kan ge upphov till en kortslutning så att i princip all luft som förs ut via frånluftsdonet i köket tas in via skafferiet. Förorenad luft från övriga utrymmen måste då föras ut via vårummets frånluftsdon, vilket kan innebära att vissa rum inte blir tillräckligt ventilerade [25]. Förutom kortslutning



kan ett otätt uteluftsventilerat skafferi medföra direkta komfortproblem i form av drag, se avsnitt 6.2. Detta gäller både centraliserade och decentraliserade självdragssystem.



Figur 8.8: Skafferiventil [25].

## 8.3 Tätning av befintliga kanaler

Frånluftskanalerna i det befintliga bostadsbeståndet har en mycket varierande standard. I äldre ventilationssystem är otätheterna ofta så stora att de inte uppfyller de krav som idag ställs på ventilationens funktion, dvs. luftflöden, ljud- och luktspridning mellan lägenheter, brandsäkerhet och energihushållning [31].

### 8.3.1 Kanalers täthet

Det finns många orsaker till att kanaler är otäta. Byggnadens ålder är en viktig faktor i sammanhanget eftersom material bryts ned med tiden. Olika material har olika nedbrytningsprocesser, t.ex. så spricker och vittrar murbruk och tegel. Vittringen kan i vissa fall orsaka stora läckage genom att hela tegelstenar faller bort [25, 31]. Den vanligaste orsaken till läckage i murade och gjutna kanaler är dock krymp- och sättningssprickor i fogar och skarvar [26, 34]. Men otätheterna kan också ha funnits med redan från början och uppstått under själva byggprocessen. Exempelvis kan arbetsutförandet ha brustit, metoderna för att skarva och foga har inte varit tillräckligt bra eller skador kan ha uppkommit i samband med transport [31].

När olika kanaler jämförs med varandra så visar det sig att murade lättbetong- och tegelkanaler samt asbetscementkanaler har sämst täthet, se tabell 8.1. En utvändig putsning minskar läckaget i en lättbetongkanal till en femtedel jämfört med en oputsad kanal. Tätheten hos kanaler av betong varierar beroende på om de är platsgjutna eller sammanfogade av

prefabricerade betongelement. Genom att gjuta kanalen på plats reduceras luftläckningen eftersom kanalen då blir skarvfri [31, 34].

Täthetsprovning av plåtkanaler visar på en stor spridning gällande luftläckning. Det är framförallt äldre kanaler som har hög luftläckning. Nyare plåtkanaler från mitten av 1970-talet och senare har vanligen god täthet pga av bättre skarvtätning. Cirkulära kanaler, spiralfalsade rör, är utförda med fabriksmonterade skarvtätningar. Rektangulära kanaler tätas med sk gejdskarv, en tvärskarv med en särskild tätninglist. Plåtkanaler läcker vid skarvarna, främst i tvärskarvarna. De längsgående skarvarna är normalt tätare. Kanalens geometriska utformning har också betydelse för läckningen. Cirkulära skarvar är vanligtvis tätare än rektangulära [26, 31, 34].

Tabell 8.1: Läckning i befintliga kanaler uttryckt i förhållande till täthetsklass A [122, 123].

Kanal av	Ungefärlig läckning ggr klass A
murade betongblock	3-10
gjuten betong	1
murad lättbetong	10-25
murat tegel	10-15
asbestcement	10-15
plåt (före 1962)	2-10
plåt, cirkulärt tvärsnitt	0,25-2
plåt, rektangulärt tvärsnitt	0,5-3

## 8.3.2 Besiktning

Innan några åtgärder vidtas för att täta kanalsystemet ska kanalerna besiktas för att fastställa kanalernas allmänna kondition och, så långt det är möjligt, avgöra storlek och läge för eventuella läckage. En besiktning omfattar både en okulärbesiktning, från in- och/eller utsidan, samt en täthetsprovning [31].

### 8.3.2.1 Täthetsprovning

En täthetsprovning ger mängden luft som läcker ut vid ett, på förhand, givet tryck i kanalen. Principen är att den aktuella kanalen täpps till och sätts under tryck med en fläkt. Vid konstant tryck blir flödet genom fläkten detsamma som det luftflöde som läcker ut genom kanalen. Provtrycket i kanalen ska vara 400 Pa, men kan vara lägre. Lägst tillåtna tryck är 200 Pa [25].

Det är viktigt att kanalen avtätas noga innan mätning. Rensluckor ska sitta på plats och vara täta, frånluftsdon ska vara förslutna osv. Om det inte är tätt fås ett läckluftflöde som är allt för högt [25].

En kanals täthet anges normalt med läckfaktorn [ $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{s})$ ], även kallad läckningskoefficient. Faktorn erhålls genom att dividera tryckprovningens uppmätta läckluftflöde med kanalens invändiga area [25, 31].

Kanaler indelas i tre olika täthetsklasser, A, B, C och D, där D är tätast. Högsta läckluftflöde för respektive klass ges i tabell 8.2. Kanaldelen över vilket mätningen sker får varken

vara för liten eller för stor. Den inre ytan får inte understiga 10 m<sup>2</sup> och får inte överstiga 100 m<sup>2</sup> och 300 m<sup>2</sup> för täthetsklass A respektive B [25, 31].

Tabell 8.2: Högsta tillåtet läckluftsflöde vid respektive täthetsklass [25, 124].

Täthetsklass beteckning	Läckfaktor [l/(m <sup>2</sup> s)] vid tryck på 400 Pa
A	1,32
B	0,44
C	0,15
D	0,05

Vid nybyggnad ska frånluftskanaler utföras i lägst täthetsklass B. För befintliga hus kan kravet ses som en riktlinje som bör uppfyllas för att säkerställa kanalernas funktion [34]. Slutgiltigt val av klass kan göras i samråd med Byggnadsnämnden eller en VVS-konsult [25].

En nackdel med täthetsprovning är att den inte ger information om var läckorna finns. Genom att successivt prova mindre delar av kanalsystemet fås bättre kunskap om hur läckorna fördelar sig i kanalsystemet. Dessutom kan en läckflödesmätare med mindre kapacitet användas [25, 31].

Ibland kan det vara kostnadseffektivt med ett begränsat rivningsarbete för att kunna genomföra en noggrann besiktning av en viss del av kanalsystemet. Tex, om provtryckningen indikerar att denna del är otätare än övriga. Det är ofta billigare att laga en stor läcka än att genomföra tätning av hela kanalsystemet [31].

### 8.3.3 Val av tätningsmetod

Det finns flera olika metoder för tätning av befintliga kanaler. Tätningen kan ske utvändigt eller invändigt. Vid utvärdig tätning används skarvband, tätningstejp och tätningsmassa. Det senare kan även användas vid invändig tätning. Ett annat sätt att tätta invändigt är att installera ett insatsrör eller en foderslang i den befintliga kanalen.

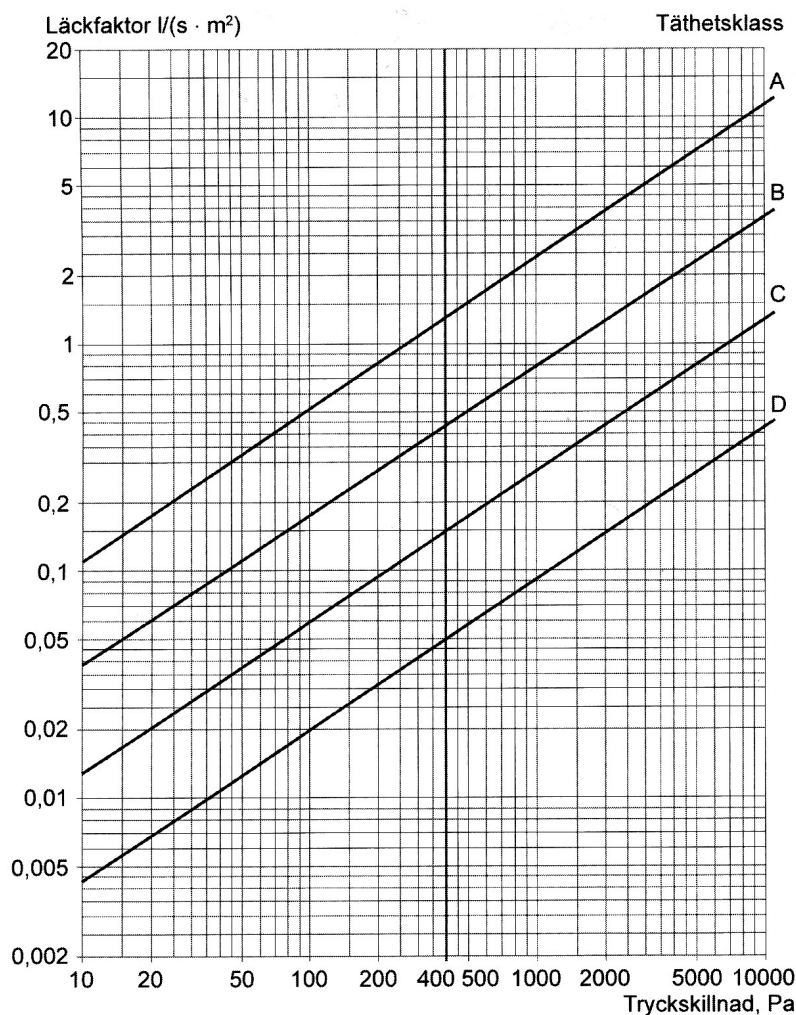
En mängd faktor bestämmer vad som är den lämpligaste tätningsmetoden, kanaltyp (material och utförande), krav på beständighet, vilken täthetsklass som ska uppnås och naturligtvis kostnaden [25, 31].

Vid utvärdig tätning måste kanalen vara åtkomlig från utsidan och det måste finnas tillräckligt med utrymme kring kanalen för att kunna arbeta. Det behövs mellan 300-500 mm, beroende på metod, exempelvis kan kanaler förlagda i schakt vara svåra att tätta [34].

Vid invändig tätningsarbete krävs relativt små ingrepp i byggnaden eftersom arbetet utförs från kanalens ändrar. Viss håltagning eller rivning kan dock vara nödvändig för att föra in verktyg [34].

Oavsett tätningsmetod måste kanalen rensas innan tätning. Om kanalen ska tätas med skarvband, tätningstejp eller tätningsmassa är det viktigt att rengöra kanalen från fett och damm. Vid invändig tätning är det viktigt att säkerställa att det inte finns något som sticker ut i kanalen, t.ex. en felplacerad tegelsten. Annars finns en uppenbar risk att verktyg eller dylikt fastnar när det förs genom kanalen [31, 34].

I murade kanaler kan tegelstenar vara lösa eller helt enkelt ha fallit bort. Sådana större hål i kanalen måste repareras innan tätningsarbete utförs. Mindre sprickor behöver däre-



Figur 8.9: Förhållande mellan tryck, läckfaktor och täthetsklass [124].

mot inte åtgärdas. Notera att om kanalen har en brandavskiljande funktion måste kanalen lagas, oavsett om det ska utföras tätningsarbete eller inte, på grund av den ökade risken för spridning av en eventuell brand [31, 34].

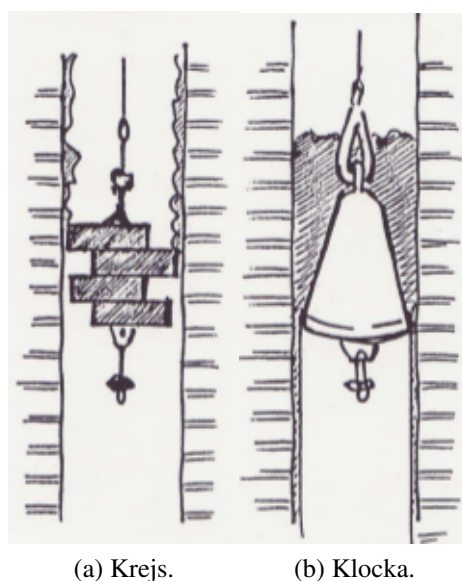
### 8.3.3.1 Tätning med Schädlermetoden

Den sk Schädlermetoden är lämplig för tätning av murade och gjutna kanaler. Metoden innebär att en tätningsmassa appliceras på kanalens insida genom glidgjutning. Tätningsmaterialet är en keramisk tätningsmassa, som tål höga temperaturer, vilket gör metoden speciellt lämplig för rökkanaler från eldstäder. Metoden resulterar i en kanal med släta innerväggar och en något mindre kanalarea. Tätheten motsvarar täthetsklass A [27, 31, 34].

Före tätningsarbetet måste kanalen rengöras noggrant. Lösa föroreningar, sot och cementrester tas bort med lösningsmedel och en styv krejs, se figur 8.10a [34].

Efter rengöring tätas kanalens sidor genom glidgjutning. Ett konformat verktyg, en sk klocka, placeras i kanalens nedre del. Klockan kopplas till en lina och dras långsamt uppåt genom kanalen samtidigt som bruk hålls på uppifrån. På så sätt pressas massan in i fogar och sprickor (figur 8.10b). Dragning upprepas tills önskad tjocklek erhålls och kanalen

bedöms vara tät. En fördel med metoden är att ingreppen i den befintliga kanalen är relativt små. Det kan vara nödvändigt att ta hål i kanalen för att få in klockan i botten av kanalen eftersom den inte kan föras ner i kanalen uppifrån [27, 31, 34].



Figur 8.10: Tätning med Schädlermetoden [27].

### 8.3.3.2 Tätning med böjligt metallrör

Tätning av självdragskanaler med insatsrör innebär att böjbara metallrör monteras in i befintliga frånluftskanaler. Insatsröret kan vara av olika material såsom syrafast rostfritt och galvaniserat stål. Det finns metallrör som klarar höga temperaturer och därför kan insatsrör även användas vid tätning av rökkanaler för eldstäder [31, 34].

Metoden ger normalt en god täthet och uppfyller täthetsklass B. En stor fördel med metoden är att tätheten är oberoende av de befintliga kanalernas tillstånd, men metoden innebär också att strömningsmotståndet dvs. tryckfallet i kanalen ökar, eftersom kanalens tvärsnittsytta reduceras. Rillor och veck på insidan av röret ökar motståndet ytterligare och gör att kanalen blir svårare att rengöra. Kvarsittande fett och damm i rillorna kan öka brandbelastningen [31, 34].

Innan insatsröret förs ned i den befintliga kanalen bör det utföras en kontroll av att röret får plats. Ett enkelt sätt är att dra en tolk genom kanalen. En tolk är en rörbit som är minst 2,5 m lång, lämpligen av den rörtyp som ska monteras i kanalen [34].

Installationen är relativt enkel om kanalen är någorlunda rak och saknar påstick. Röret förs in i kanalen uppifrån med hjälp av en kon och en draglina och dras till respektive rum. Konen minskar risken för att röret fastnar på sin väg ner genom kanalen. Vid skarpa krökar blir det nödvändigt att ta upp hål i i den befintliga kanalen så att röret inte fastnar [31, 34].

Insatsröret avslutas med ett don med gummiringtätning. I den andra änden, ovan tak, monteras ett rostfritt kantbeslag. För att förhindra att insatsröret rör sig och slår mot väg-garna fixeras röret genom att utrymmet mellan rör och kanalvägg fylls ut med isolering [31, 34].

### 8.3.3.3 Tätning med aluminiumstrumpa

Invändig tätning med foderslang är en metod som passar de flesta typer av frånluftskanaler. Slangen, som består av flera skikt av aluminiumfolie, förs in i kanalen och blåses därefter upp så att den pressas ut och formas efter den befintliga kanalen. Metoden får inte användas i rökkanaler från eldstäder, eftersom materialet i slangen tar skada om det utsätts för temperaturer över 150°C [34].

Med foderslangen uppnås en god täthet, täthetsklass B eller C. En annan fördel med metoden är att kanalen får en slät insida, utan skarvar, vilket ger mycket lågt tryckfall. Dessutom formas fodret efter den ursprungliga kanalen vilket medför att kanalen i stort sett får bibehållen tvärsnittsytta [26].

Metoden får inte användas i kanaler där stora undertryck kan uppkomma pga risken för kollaps. Stora undertryck kan skapas om ett självdragssystem byggs om till ett frånluftssystem med tak- eller vindplacerade fläktar [34].

Monteringen av aluminiumslangen är lätt. En draglina sänks ner genom kanalen. Slangen dras sedan upp genom kanalen med hjälp av draglinan. Under denna fas i arbetet kan slangen skyddas av en strumpa, som tas bort när slangen väl är på plats. Därefter blåses slangen upp med en tryckluftkompressor så att den fyller ut och formas efter den befintliga kanalen [26, 34].

Om kanalen tvärt ändrar riktning, mer än 45°, fås skarpa kanter. I dessa fall måste kanalen öppnas upp och förses med kanaldelar och rensluckor av plåt för att undvika nötningsskador. I övrigt är ingreppen i den befintliga kanalen relativt små [26, 34].

Slangens känslighet för nötning påverkar rengöringsarbetet. Mekanisk rensning med viska av nylon går bra men lod och stålviska ska undvikas. Ett annat alternativ är att rengöra fodret genom att dra en trasa eller svamp med avfettningsmedel genom kanalen. Rengöring underlättas av att foderslangens insida är slät. Vid rensning sker ett visst slitage. Slitaget är dock begränsat, provtagning har visat att kanalen uppfyller täthetsklass B efter så mycket som 36 rengöringar [34].

Efter tätningen absorberar inte kanalen vatten. Vatten som kommer in i kanalen kommer att rinna ut i den nedre änden vid frånluftsdonet. Skorstenstoppen bör därför förses med en huv som skyddar kanalen mot nederbörd [26].

### 8.3.3.4 Tätning med reliningstrumpa

Tätning med reliningstrumpa är ännu en metod som bygger på att ett invändigt foder appliceras med tryckluft i den befintliga kanalen. Till skillnad från aluminiumstrumpan (avsnitt 8.3.3.3) används här en strumpa av kompositmaterial. Även denna slang formas med tryckluft. Skillnaden är att den därefter härdar, vilket ger en formstabil kanal som tål undertryck. Det finns flera varianter av denna metod [34, 125].

I en metod, utvecklad och avsedd för avloppsrör, trycks en epoxyindränkt filt- eller glasfiberstrumpa in i kanalen och pressas mot kanalväggen tills epoxyplasten härdat. Plastens yta är glatt, slitstark och har god resistens mot aggressiva kemikalier. Metoden är inte lämplig för tilluftskanaler av brand- och miljöskäl, men kan användas i svårtillgängliga frånluftskanaler [34]. Det finns även reliningmetoder utvecklade för skorstenar, som har god resistens mot aggressiva miljöer och tål höga temperaturer [125].

Fördelarna med en foderslang av kompositmaterial är samma som för aluminium rörande montering, täthet och bibehållt tvärsnitt, men beroende på val av komposit kan den

renoverade kanalen tåla högre temperaturer och större undertryck [34, 125].

### **8.3.3.5 Tätning med krympbara skarvband**

Läckande skarvar i befintliga plåtkanaler kan tätas med krympbara skarvband. Banden är av polyeten och belagda med ett termoplastiskt smältlim. Vid tätning lindas krymbandet runt den skarv som ska tätas och fixeras med en värmetålig tejp. Därefter värms paketet varvid bandet krymper samtidigt som limmet smälter och fäster mot underlaget. Uppvärmning sker normalt med öppen låga, t.ex. med gasolbrännare. Vid risk för brand bör dock en varmluftpistol användas [31, 34].

Metoden ger en mycket tät skarv. Läckaget från skarven blir så lågt att den tätade kanalen kan likställas med en ny kanal. Metoden är endast lämpad för cirkulära plåtkanaler, eftersom det är svårt att få täta hörn i en rektangulär kanal [31, 34].

### **8.3.3.6 Tätning med självvulkaniserande tätningstejp**

En annan tätningsmetod för att täta plåtkanaler är att använda sk självvulkaniserade tätningstejp, dvs. en tejp av polyeten med fästmassa. Även här lindas tejp över skarven på kanalens utsida, men metoden kräver ingen upphettning. Tätningen ger en tät skarv och den tätade kanalen kan likställas med en ny kanal [34].

### **8.3.3.7 Tätning med ventilationskitt**

Tätning med tätningsmassa sk kittning, kan användas för att täta både cirkulära och rektangulära plåtkanaler [31].

Den elastiska tätningsmassan med butylgummibas eller akrylatex har god vidhäftning på plåt. Massan appliceras med pensel eller med fogspruta [34].

Tätningen eller kittningen kan utföras både från kanalens ut- eller insida. Vid god åtkomlighet går det snabbast att täta från utsidan. Om utrymmet kring kanalen är för litet eller om kanalen är isolerad kan det vara bättre att utföra tätningen från insidan. Tätning från insidan fodrar håltagning i kanalen [31].

Tätningen ger en skarv med godtagbar täthet. Tätningsmassan har god beständighet mot åldring. Däremot kan feta ångor från matlagningen reducera dess vidhäftningsförmåga [31].

### **8.3.3.8 Tätning med pyroteknisk tätningsskarv**

Pyrotekniska tätningsskarvar är utvecklade för skarvning av rektangulära kanaldelar. Metoden är inte tillämpbar på kanaler med cirkulärt tvärsnitt [31].

Vid tätningen byts befintlig gejdskarv ut mot den pyrotekniska. Kanalen bör vara skarvad med gejdskarvar med enkel fals annars måste den befintliga skarven tas bort och kanalen skarvas om på nytt med enkla falsar. Det senare är så klart tid- och kostnadskrävande. Den pyrotekniska tätningsskarven innehåller en tätningsmassa av neoprengummi och en värmesats. Tätning aktiveras genom att värmesatsen antänds varvid tätningsmassan expanderar. Värmesatsen antänds med en öppen låga och metoden kan således inte användas om det föreligger risk för brand [31].

Med denna skarv fås en god täthet. Neoprengummit innebär att skarvens beständighet mot åldring är god [31].

## 8.4 Kolfilterfläkt

En kolfilterfläkt utgör ett bra komplement till självdragsventilation. Fläkten installeras i köket ovanför spisen, precis som en vanlig köksfläkt, men ansluts inte till imkanalen. Matos och fett filtreras bort och luften cirkulerar tillbaka ut i köket. Cirkulationen av luft bidrar dessutom till en förbättring av den termiska komforten genom att temperaturskillnaden mellan golv och tak utjämnas. En förutsättning för att kolfilterfläkten ska få önskad effekt är naturligtvis att filter rengörs eller byts med regelbundna intervall [3, 5].

## 8.5 Vädring

Självdragsventilation är som bekant beroende av väderlek och de drivande tryckskillnaderna är normalt låga. Sommartid kan ventilationsflödet lätt bli otillräckligt och därför behöva kompletteras med fönstervädring. Det är ett snabbt och enkelt sätt att öka luftutbytet vid tillfälliga föroreningstoppar, som matlagning, dusch eller tvättorkning. Fönstervädring används inte enbart för att tillföra frisk luft utan även för att kyla. Det är ett lätt, snabbt och energieffektivt sätt att sänka temperaturen inomhus om det görs på rätt sätt [25, 126]. Det finns två olika metoder för vädring, korsdrag och ensidig vädring. I den första öppnas fönster på olika fasader och den andra endast på en sida. Beskrivningen nedan handlar om ensidig vädring eftersom korsdrag endast är aktuellt för genomgående lägenheter. Slutsatserna gäller dock för båda vädringsmetoder [5, 126].

Vid vädring uppstår en luftrörelse genom öppningen där kall uteluft strömmar in genom dess nedre del och varm inneluft ut genom dess övre del, förutsatt att uteluften är kallare än inneluften. Luftflödet genom en stor öppning drivs liksom självdragsventilationen av vind och temperatur [126].

Mängden luft som vädras ut och ersätts med uteluft, luftomsättningen, är stor i början men avtar snabbt och går med tiden mot noll, se figur 8.11. Flödet genom öppningen minskar med tiden allteftersom den termiska drivkraften minskar på grund av att den varma inneluften byts ut mot kall uteluft. Större delen av luftutbytet sker under de första 10 till 15 min, därför är det inte meningsfullt att hålla fönstret öppet under en längre tid. Den exakta tiden beror naturligtvis på antal öppna fönster och deras öppningsarea. Det är alltså effektivare att vädra ofta och under kort tid än sällan och under lång tid. På sommaren måste dock fönster hållas öppna längre tid än under kallare perioder för att uppnå samma luftutbyte. Om vädringstiden ska vara densamma måste fler fönster öppnas under varmare perioder jämfört med kallare [126].

Kort vädringstid är även önskvärd ur energisynpunkt. Vid vädring försvinner värme ut genom fönstret, med resultatet att rummets temperatur sänks och värmeförlusten måste ersättas av byggnadens värmesystem. Placeringen av radiatorns termostat är också väsentlig för att minska energiförbrukningen. Den bör inte vara placerad intill fönsteröppningen. En sådan placering innebär att radiatorns värmeavgivning styrs av utetemperaturen istället för rummets temperatur. Således kan ett fönster som öppnas för att kyla ett rum leda till att temperaturen i slutänden höjs. Den inflödande kalla luften kyler termostaten, som i

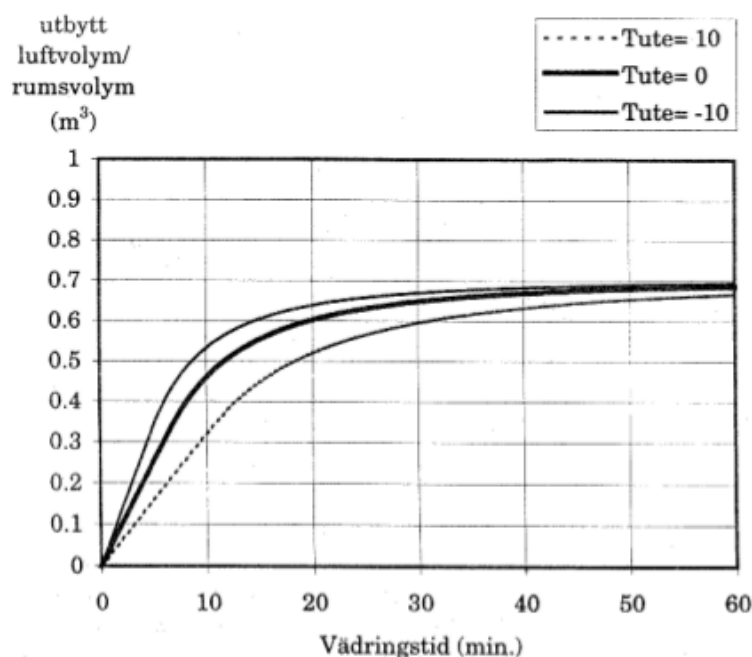


sin tur ökar värmeavgivningen i radiatorn [3, 126]. Därför bör en termostat placerad intill fönsteröppningen vara avstängd under vädringen.

Luftutbytet påverkas även av fönstrets storlek och form. Ett högt och smalt fönster ger ett större luftflöde jämfört med ett brett och lågt fönster med samma area [126].

En nackdel med vädring är att luften inte blir filtrerad. Föroreningar utomhus kan ibland tvinga de boende stänga sina fönster. Detta gäller särskilt i stadsmiljö. Buller, stort vindtryck och låg utetemperatur är andra exempel på varför vädring inte alltid är lämpligt [19, 26, 126].

En annan nackdel med vädring är den ökade risken för drag. Om det finns flera fönster i höjddled är det bäst att öppna det högst belägna för att undvika att den kalla luften kommer rakt in i vistelsezonen. Dessutom ökar omblandningen av den inkommande luften och rumsluften med en högt placerad vädringsöppning [126].



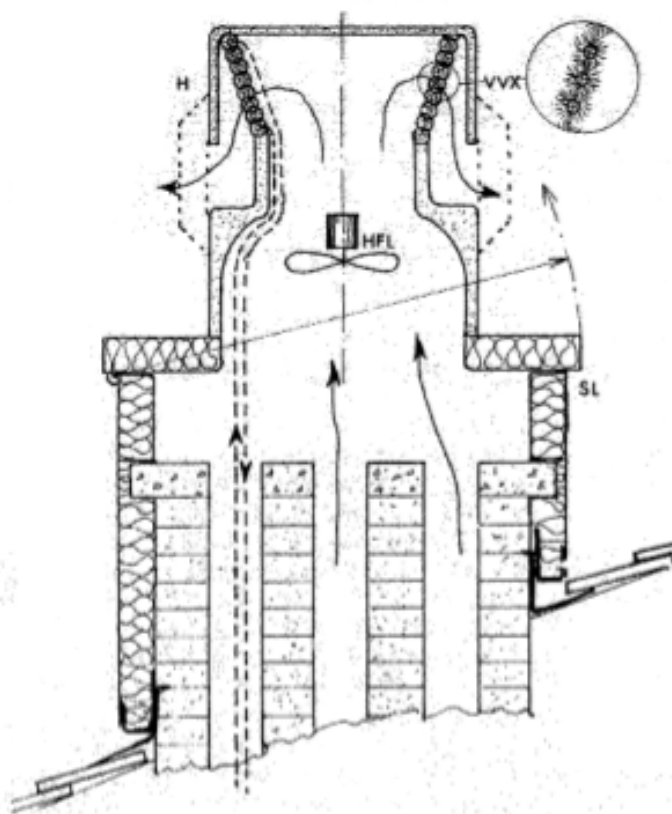
Figur 8.11: Luftutbyte vid fönstervädring för ett 1x1 m fönster,  $T_{inne} = 20^{\circ}\text{C}$ , rumshöjd = 2,7 m, golvyta = 60 m<sup>2</sup> och bröstningshöjd = 0,9 m [126].

## 8.6 Huv

Luftväxlingen i en självdragsventilerad byggnad påverkas mycket av rådande vindförhållanden, se avsnitt 2.2 och 2.4. Det är vindförhållandena vid ventilationskorstenens mynning som har störst inverkan. Vinden kan skapa såväl under- som övertryck i kanalen vilket innebär såväl en risk för överventilering som för bakdrag, se avsnitt 6.4.1. Att undvika överventilering och bakdrag vintertid medför givetvis lägre uppvärmningskostnader.

Vindtryckets inverkan kan nästan elimineras genom att montera huvar på ventilationskorstenarna. Huvan ska vara utformad så att vinden inte förstärker frånluftsflödet. Forskning har visat att turbulent strömning kring utloppet kraftigt reducerar vindens ejektorverkan [3, 99].

SPAR-VEN är ett exempel på en turbulensbildande huv, som i stort sett eliminerar vindens ejektorverkan [99]. Huvu är utformad som en samlingslåda med ett avsmalnat cirkulärt utlopp. På utloppet kopplas ett värmväxlarrör och det är denna del av konstruktionen som bidrar till att öka turbulensen kring skorstenens mynning. Rör är tillverkat av koppar alternativt aluminium som lindas med ett slitsat aluminiumband med ca 10 mm långa borst. Utseendemässigt liknar det ett rör som lindats med julgransglitter. Rör är lindat i form av en konisk cylinder så rörets toppar tangerar varandra och täcks med ett lock [1, 3, 16]. Värmväxlarrör kan även utnyttjas för värmeåtervinning, se vidare i avsnitt 8.10.3. För att kunna använda rören som värmväxlare måste det finnas ett vindskydd som förhindrar att rören kyls ned av vinden. Vindskyddet fungerar även som ett extra skydd mot störande vindstötter. Utanpå huvu finns ett galler som skydd mot växter, djur, snö etc [3].

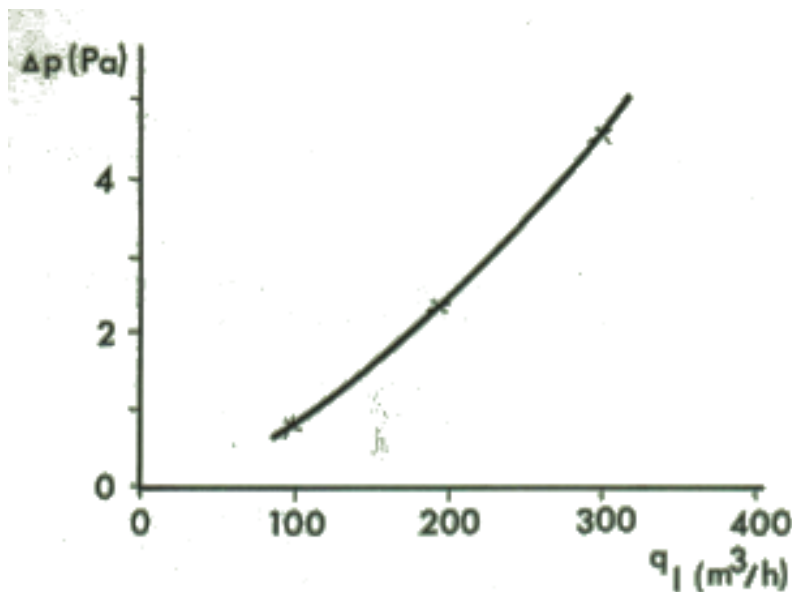


Figur 8.12: SPAR-VEN turbulensbildande huv [3].

Tryckfallet över huvu är försumbart, endast några få Pa (figur 8.13), och stör därvid inte självdraget. Det låga tryckfallet beror på den stora genomströmningarean. Arean är flera gånger större än frånluftskanalernas sammanlagda area [1, 3].

En annan fördel med huvu är att tryckskillnader mellan de olika kanalerna elimineras. Tryckutjämnningen innebär i sin tur att svängningar i flöde också upphör och därigenom undanröjs en orsak till bakdrag (avsnitt 6.4.1) [3, 6, 99].

Installation av en SPAR-VEN huvu medför inga större ingrepp i byggnaden. En huvu påverkar dock husets arkitektur genom att skorstenarna blir högre. Byggnadsnämnden har i vissa fall haft synpunkter på den nya skorstenshöjden. En möjlig väg kan då vara att demontera en bit av skorstenstoppen och på så sätt bibehålla ursprunglig höjd [27].



Figur 8.13: Tryckfall över huv vid ökande luftflöde [3].

Notera att Malmöföretaget Spar-Ven AB som tillverkar SPAR-VEN huvan har gått i konkurs år 2000. Information om huruvida någon annan fortsatt tillverkningen saknas.

## 8.7 Fläktförstärkt självdrag

Drivtrycket för luftströmningen i ett självdragssystem varierar. Vid vindstilla är trycket proportionellt mot skillnaden mellan utom- och inomhustemperatur, ekv. (2.1), och avtar med stigande utetemperatur. När utetemperaturen stiger över en viss gräns blir drivtrycket för litet för att skapa tillräcklig luftväxling i bostaden. Ett sätt att kompensera det vikande drivtrycket och säkerställa erforderlig luftväxling året om, är att installera en hjälpfläkt. Detta kallas fläktförstärkt självdrag (FFS).

### 8.7.1 Installation och drift

Fläkten placeras lämpligen i en samlingshuv gemensam för flera frånluftskanaler. På så sätt forceras luftflödet i alla kanaler samtidigt, annars kan det uppstå bakdrag.

Vid installation av fläkt i självdragssystem är kanalernas täthet en viktig faktor. Om kanalerna är otäta finns det en risk att en stor del av luften genom fläkten kommer från otätheter i kanalen istället för det utrymme som skall ventileras. Om fläkten skulle vara installerad vid frånluftskanalens inlopp trycks luften istället ut i kanalen och kraven på kanaltäthet ökar [3].

Fläkten ska inte köra kontinuerligt utan enbart förstärka luftflödet när det termiska drivtrycket är otillräckligt. Vanligtvis uppstår denna situation redan när utetemperaturen överstiger cirka +5°C. Notera att det exakta värdet bestäms av byggnadens egenskaper [16, 99]. Eftersom ett självdragssystem arbetar med lågt drivtryck kan en fläkt med låg tryckstegring användas. Härvid blir kostnaderna för drift låga. Självdragets låga drivtryck innebär också att tryckfallet över fläkten, när den inte är i drift, måste vara lågt. Om tryckfallet är stort

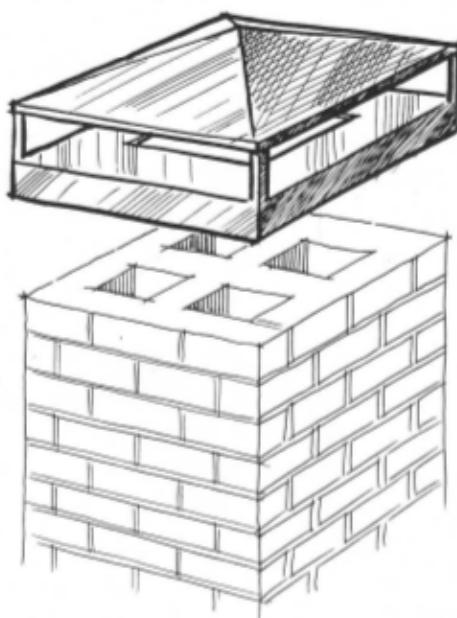
måste fläkten köras kontinuerligt för att uppnå tillräcklig luftväxling. Systemet övergår då till att vara ett frånluftssystem [3, 27].

En stor fördel med självdragssystemet är, som tidigare nämnts, att det är tystgående eftersom strömningshastigheterna är låga och fläkt saknas. Den låga strömningshastigheten behålls även vid en forcering [6]. Fläkten innebär dock att det föreligger en viss risk för en förhöjd ljudnivå jämfört med självdrag. Detta gäller speciellt i de bostäder som befinner sig närmast fläkten [27].

### 8.7.2 Fläktförstärkning av decentraliserat självdrag

I ett centraliserat självdragssystem finns som bekant enbart frånluftskanaler i kök och badrum, men i ett decentraliserat finns en frånluftskanal i varje rum. Vid en ombyggnad från självdrag till fläktförstärkt självdrag, bör det decentraliserade konverteras till ett centraliserat. Det innebär att alla befintliga frånluftsdon, förutom i kök och badrum, ska proppas igen. Kanaler som inte används längre bör dessutom rivas. Om det är en murad kanal räcker det att avlägsna den del av kanalen som befinner sig ovan yttertaket. Om man väljer att inte riva, bör kanalerna skyddas mot regn med en takhuv, eftersom den uttorkande varma luftströmmen försvinner genom att kanalen tas ur bruk [25, 27]. Kombinationen av hög fukthalt i material och temperatur under noll grader kan leda till frostsprängning, eftersom vatten expanderar nio volymprocent när det fryser [80].

Huven ska inte utformas som ett lock utan måste tillåta en viss luftgenomströmning, se figur 8.14. Risken för frostsador reduceras ytterligare om det även finns en öppning nedtill. Med denna åtgärd följer dock en högre energikostnad genom att den kalla luftströmmen som kommer in via kanalen måste värmas upp till rumstemperatur [25, 27].



Figur 8.14: Täckning av outnyttjad frånluftskanal [25].

Vid konverteringen måste dessutom överluftsdon installeras för att säkerställa att luft kan flöda från sov- och vardagsrum till frånluftskanalerna i kök och badrum även om dör-

rarna är stängda.

## 8.8 Dragförstärkare

Ett enkelt sätt att förstärka luftflödet och förhindra underventilation under sommaren är att placera en s.k. dansare eller vindsnurra på kanalens mynning (figur 8.15). Dansaren är en dragförstärkare, figur 8.15a, som vid anblåsning dämpar turbulensen kring skorstenstoppen och härigenom förstärks vindens ejektorverkan. Jämför med SPAR-VEN huven som dämpar ejektorverkan genom att öka turbulensen, se avsnitt 8.6. En fördel med dansaren är att den minskar risken för bakdrag i den kanal där den sitter. Dansaren är rörlig och utformad så att den följer vinden och svänger så att utloppet alltid kommer i lä. Därmed säkerställs ett undertryck i kanalen oavsett vindriktning med ett ökat vindsug som följd. Notera att dansaren inte kan säkra korrekt luftväxling de dagar då det är vindstilla och varmare ute än inne [3].

En dansare är dock olämplig som skorstenstillsats på en ventilationskanal eftersom den lätt kan medföra överventilering under eldningssäsongen. De dagar då de termiska drivkrafterna är tillräckliga för att sköta luftväxling betyder varje vindpust att huset överventileras. Att låsa dansaren vintertid är inte en hållbar lösning eftersom risken för bakdrag ökar. En orörlig dansare kan inte följa vinden och se till att utloppet skyddas. Vid olämplig vindriktning kan konstruktionen istället leda ner vinden i kanalen [25].

En annan möjlighet att utnyttja vinden för att säkra ett undertryck i frånluftskanalen är att installera en Aspiromatic, se figur 8.15b. Denna vindsnurra, består av lodrätta snedställda halvcirkelformade blad, och fungerar som en vindrotor [127]. Aspiromatic är liksom dansaren oberoende av vindriktningen.

För att en vindsnurra ska fungera i ett självdragssystem bör den vara självbromsande. Energihushållning och krav på komfort kräver att ejektorverkan kan elimineras under eldningssäsongen då de termiska drivkrafterna på egen hand kan leverera tillräckligt luftflöde.

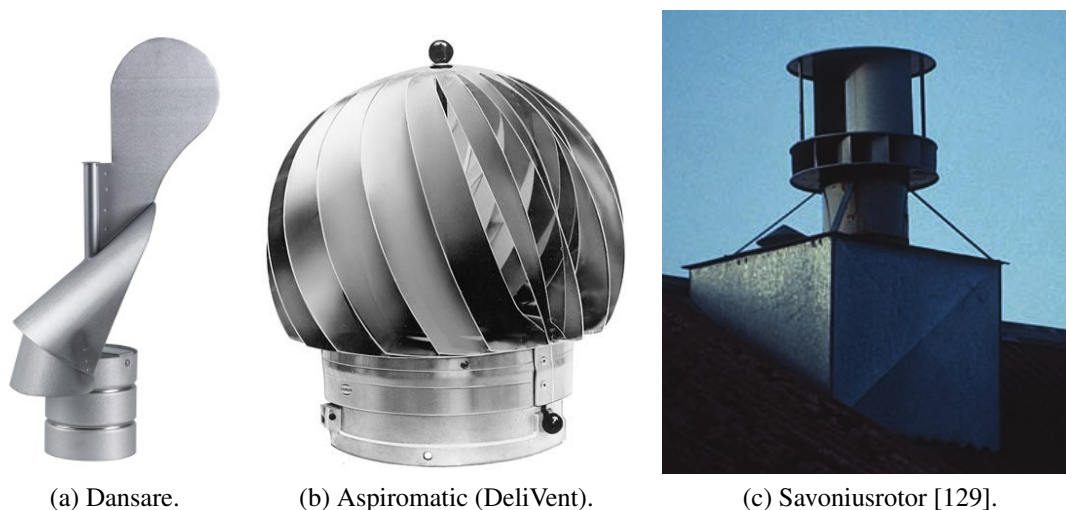
Ett sätt att bromsa upp en vindsnurra är att förse den med ett termoelement, så att vindsnurran bromsas upp när utemperaturen når en viss undre gräns. Ett annat sätt är att bromsa snurran när luftflödet når en viss gräns. En sk Savoniusrotor, figur 8.15c, är ett exempel på en självbromsande vindsnurra av det senare slaget [128].

Självdragssystemets låga tryckfall innebär att man också måste beakta vilket tryckfall vindsnurran har då den står stilla. Om tryckfallet är för stort fungerar den som en strypning, se även avsnitt 6.4.2.

## 8.9 Solskorsten

En solskorsten är ett annat sätt att bättre utnyttja de naturliga drivkrafterna. Skorstenen utformas som en solfångare t.ex. genom att måla kanalen svart och placera den bakom en inglasning. Därigenom värms luften i skorsten upp och den termiska drivkraften förstärks. Effekten blir densamma som vid exempelvis eldning i kakelugn eller värmepanna i källare dvs. en varm skorsten och varma ventilationskanaler [44, 128, 130].

Solskorstenen fungerar väl de perioder då det är mycket sol, typiskt om sommaren då temperaturskillnaden inne och ute är liten. Under de perioder då solen inte skiner fungerar en solskorsten mindre bra. Metallens värmeledningsförmåga innebär att luften i kanalen



(a) Dansare.

(b) Aspiromatic (DeliVent).

(c) Savoniusrotor [129].

Figur 8.15: Olika dragförstärkare.

istället kyls ned och effekten blir den omvända, en lägre termisk drivkraft. Dessutom kan solfångaren medföra ett större tryckfall i skorstenen vilket ytterligare försämrar ventilationen under de perioder solen inte lyser [131].

Solskorsten är en mindre bra lösning i ett flerbostadshus, eftersom antalet människor i byggnaden är störst under kväll och natt, dvs. då skorstenen fungerar dåligt. Däremot kan det vara ett alternativ i en lokal som främst används dagtid t.ex. ett kontor eller en skola.

## 8.10 Fläktförstärkt styrt självdrag

Det är viktigt att framhålla att ett självdragssystem inte enbart har brister utan det finns även stora fördelar. Det är tystgående och drift och underhållskostnader är låga samt att systemet upplevs positivt av det stora flertalet boende. Det sista är av stor betydelse när det gäller klagomål [3]. Exempelvis upplever de boende, i ett flerbostadshus, att trafikbuller är mindre störande än buller som uppstår i ett mekaniskt fläktsystem, även om trafikbullret är högre [5].

Ett alternativ till det konventionella självdragssystemet är fläktförstärkt styrt självdragsventilation (FSS) sk hybridventilation [132]. Principen är att självdragssystemet kompletteras med utrustning, såsom huv, fläkt och temperaturstyrda tilluftsdon, för att reglera till- och frånluften. Därigenom bibehålls självdragets fördelar samtidigt som dess nackdelar undanröjs [99].

Huven begränsar vindens inverkan på ventilationsskorstenen och fläkten kompenserar den minskande termiska drivkraften vid stigande utetemperaturer. SPAR-VEN huven är ett exempel på en huv som kombinerats med en fläkt [3, 99].

Med automatiskt temperaturstyrda tilluftsdon fås en styrning av tilluften, rätt mängd tilluft tas in på rätt plats. Luftflöde som uppstår på grund av den termiska drivkraften kan på så sätt hållas konstant och risken för överventilering och drag minskar [3, 99].

Sammantaget kan ett jämt och normenligt ventilationsflöde erhållas under hela året. En annan fördel med detta system är att det säkerställer rätt flödesriktning dvs. förhindrar bakdrag [99].

### 8.10.1 Installation

En ombyggnad från självdrag till fläkthöjningsstarkt styrt självdrag innebär inga större ingrepp i fastigheten eller i de enskilda lägenheterna. Installationen kan ske utan att lägenheterna behöver utrymmas [99]. Det senare är av stort betydelse vad gäller den ekonomiska aspekten för ombyggnaden.

### 8.10.2 Verifikation av FSS-installation

FSS-systemets utjämning av flöde och tryck har bekräftats vid mätningar under verkliga förhållanden i ett självdragsventilerat hus med och utan komplett FSS-system. I figur 8.16 åskådliggörs hur luftomsättningen varierar med vindhastigheten [3].

Testresultaten visar att om ventilationsskorstenen är oskyddad (utan huv), ökar luftomsättningen snabbt när vindstyrkan tilltar. Redan vid vindhastigheter över 4 m/s, fås en luftomsättning som överstiger normflödet 0,5 oms/h [3].

Mätningarna är utförda under sommaren varvid den termiska drivkraften är försumbar. Därigenom kommer luftomsättning att öka ytterligare under eldningssäsongen, när det termiska drivtrycket ökar med sjunkande utetemperatur [3].

Den skyddade skorstenen (med huv och fläkt) ger ett annorlunda beteende. Luftomsättningen är relativt konstant, mellan 0,5 och 0,8 oms/h, för vindstyrkor så höga som 10 m/s. Huvu reducerar vindens inverkan och fläkten förstärker flödet när den termiska drivkraften är för låg. Flödet kommer att förbli relativt konstant även under eldningssäsongen, eftersom de temperaturstyrda tilluftsdonen reducerar tilluftsflödet genom att öka tryckfallet i donen [3].

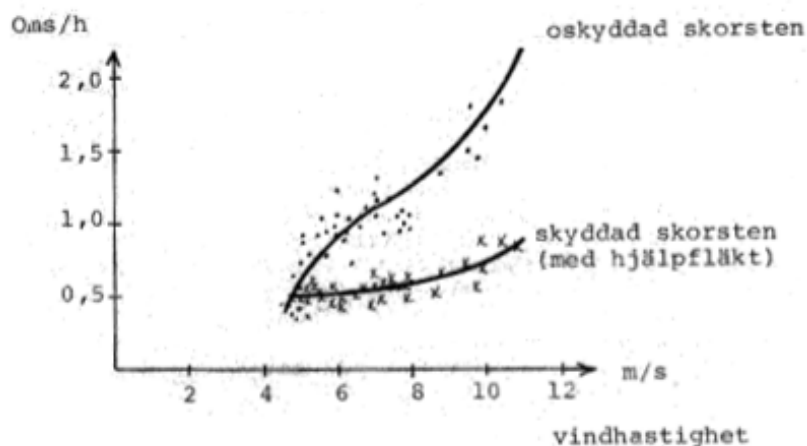
Notera att i referens [26] samt [1] hävdas att ovan beskrivna mätning utfördes utan att hjälpläkten varit i drift! Vid kontroll av ursprungskällan, referens [3], anser jag att det måste ha skett en feltolkning. Det är orimligt att den oskyddade skorstenen levererar en mindre luftomsättning än den skyddade vid låga vindhastigheter, eftersom huvu innebär ett ökat tryckfall även om det är litet, jämför figur 8.16. Slutsatsen blir att fläkten har varit igång vid mätningarna.

FSS-systemets styrning av luftflödet har andra fördelar än att kraven på luftkvalitet upprätthålls. En stabil och styrd luftomsättning medför även att energiförbrukningen minimeras. Genom att luftflödet vid låg utetemperatur kan begränsas till normflödet blir uppvärmningskostnaderna mindre [27]. Det förstärkta flödet under varma dagar innebär inte en högre energikostnad eftersom luften som kommer in är ”varm”. Dock åtgår det lite energi för driva fläkten.

### 8.10.3 Värmeåtervinning

I ett konventionellt självdragssystem är det inte möjligt att återvinna värme ur frånluften. Drivkraften är så liten att en traditionell värmeväxlare skulle fungera som en plugg. För att luften ska kunna passera en sådan värmeväxlare krävs en drivkraft på minst 50 Pa [133]. Installation av en huv, typ SPAR-VEN, gör det möjligt att återvinna en del energi ur frånluften även vid självdrag. I huvu används ett värmeväxlarrör, ursprungligen framtaget för att användas i kylanläggningar, för att dämpa vindens ejektorverkan [3, 16].

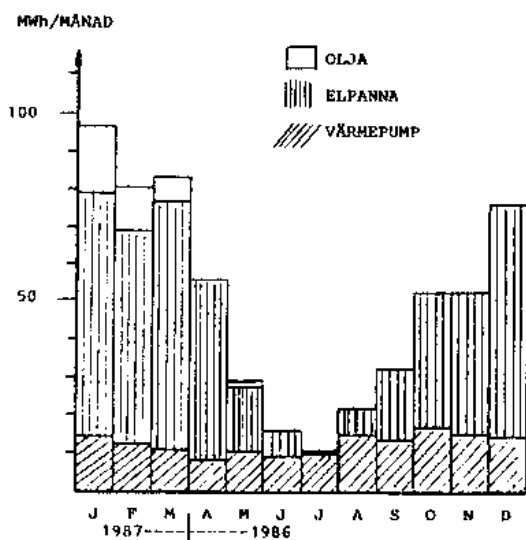
Värmeåtervinning sker genom att värme förs över från frånluften till ett flytande medium i värmeväxlarröret. Det varma mediet transporteras därefter i plastledningar till en



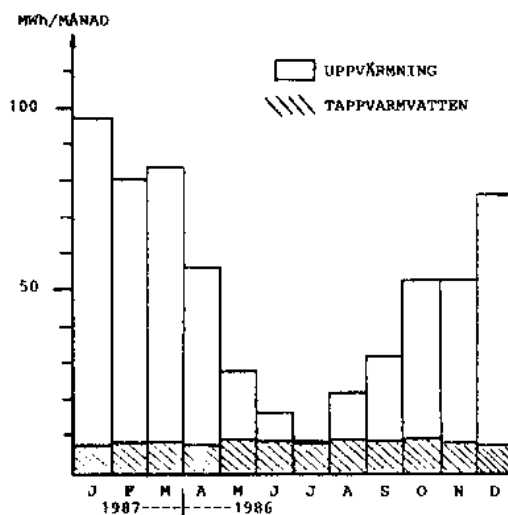
Figur 8.16: Luftomsättning från självdrag respektive fläktförstärkt styrt självdrag som funktion av vindhastigheten [3].

värmeåtervinningsanläggning i källarplanet. Återvunnen värme kan utnyttjas för uppvärmning av tappvarmvatten eller i byggnadens värmesystem [3, 99]. Ledningarna som ansluter värmväxlarelement till värmepumpen kan dras genom befintliga frånluftskanaler och på så sätt undviks kostsam håltagning [1, 16, 99].

Värmväxlaren har en god verkningsgrad och vid mätningar på ett flerbostadshus visade det sig att den återvunna energin täckte tappvarmvattenbehovet året runt och även en del av värmebehovet för uppvärmning, jämför figurer 8.17a och 8.17b [99].



(a) Energiförbrukning fördelad på energislag.



(b) Energiförbrukning för tappvarmvatten och uppvärmning.

Figur 8.17: Energiförbrukning i flerbostadshus med FSS-installation [99].

En fördel med detta system är att ventilationssystemet är fristående och oberoende av värmeåtervinningsdelen. Värmväxlaren kan anslutas till en värmepump direkt vid installation eller vid ett senare tillfälle. I det senare fallet kan pumpen kopplas in på det befintliga



systemet utan ingrepp i den redan gjorda installationen och därmed till en låg kostnad [99].

En annan fördel med systemets uppbyggnad, är att inga vindsutrymmen tas i anspråk. Dessa utrymmen kan istället användas som förråd eller kanske byggas om till bostäder [1, 3].



# Kapitel 9

## Numerisk analys av ett verkligt fall

I detta kapitel studeras självdragssystemets funktion och känslighet. PFS är ett datorprogram som kan användas för att studera installationstekniska flödessystem såsom ventilations-, värme- och tappvattensystem [134]. Både små (ett rum) och stora (en byggnad) system kan på ett enkelt sätt modelleras i PFS. Här används programmet för att beräkna luftflöden och flödesriktningar genom en exempelbostad vid olika driftfall. Exemplet baseras på en lägenhet med tre rum och kök i ett befintligt flerbostadshus i Malmö. Lägenheten har en bostadsyta på totalt 62,5 m<sup>2</sup> och en rumshöjd på 2,73 m. Planlösningen visas i figur 9.1 och rummens dimensioner återfinns i tabell 9.1.

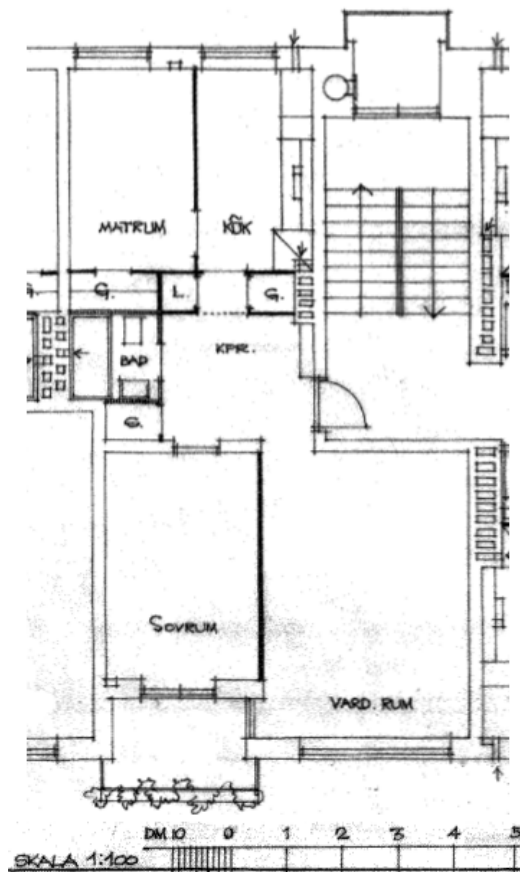
Modeller från de simuleringar som diskuteras i detta kapitel återfinns i bilagorna.

Tabell 9.1: Rummens dimensioner.

Rum	Area	Volym
Sovrum 1	11,8	32,1
Vardagsrum	20,1	55,0
Sovrum 2	8,51	23,2
Badrum	2,25	6,14
Kök	7,77	21,2

### 9.1 Byggnaden

Den modellerade byggnaden beskriver ett typiskt självdragsventilerat flerbostadshus i Malmö från mitten av 1900-talet. Fastigheten är ett fyravåningshus, med källare och kall vind, byggt år 1945. Husets har bärande väggar av tegel samt bjälklag av betong. Fasadytan är täckt med ett putsskikt. Vindsutrymmet utnyttjas som förråd och i källaren finns fler förråd samt tvättstuga och torkrum. Det finns tre trappuppgångar med totalt 12x3 lägenheter. Lägenheternas storlek varierar från ett till tre rum och kök. Fastigheten är idag ansluten till fjärrvärme. Från början försågs dock byggnaden med värme och tappvarmvatten från en oljepanna i källaren. Andra åtgärder som vidtagits under åren och som kan ha påverkat ventilationen är byte av tak samt renovering av fastighetens fönster. Från början var lägenheterna försedda med kopplade 2-glasfönster. Fönsterrenoveringen innebar att halva fönstret, yttre glasruta med träbåge, byttes ut och ersattes av ett nytt glas med metallbåge. Härigenom har läckage via fönster minskat.



Figur 9.1: Planlösning för lägenhet.

Ventilationsystemet är ett centraliserat självdragssystem med frånluft i kök och badrum. Ursprungligen fanns inga tilluftsdon utan all tillförsel av luft skedde via läckage och fönstervädning. I samband med målning av fasaden installerades tallriksventiler i sov- och vardagsrum. I köken finns ett kallskaffereri där lufttillförseln sker via en klafflucka. Frånluftskanalerna i kök och badrum är försedda med galler. Skorstenarna är murade och innehåller ett flertal separata kanaler. Varje skorsten betjänar fyra lägenheter, en från varje våningsplan. Härigenom ökar skorstenens tvärsnittsarea för varje våningsplan. Notera att imkanalen och badrummets frånluftskanal inte delar samma skorsten.

I ett centraliserat självdragssystem förutsätts att luften obehindrat kan transporteras genom lägenheten från tilluft- till frånluftsdon, även med stängda dörrar. Badrumsdörren är försedd med ett överluftsdon i form av en springa i nederkant av dörren. Övriga dörrar i lägenheten saknar överluftsdon.

## 9.2 Dimensionerande ventilationsflöde

Socialstyrelsens allmänna råd anger att luftomsättningen i bostäder bör vara minst  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , se mer i kapitel 7.3. Dessutom bör tilluftsflödet inte understiga  $0,35 \text{ l/s}$  per  $\text{m}^2$  golvarea eller  $4 \text{ l/s}$  och person i sovrum. Dessa krav förutsätter att det inte finns en produktion av föroreningar som kräver högre luftflöden, exempelvis materialemmissioner.

I Socialstyrelsens allmänna råd finns inga rekommendationer angående frånluftsfödet

i badrum och kök. Boverket gav tidigare råd om lägsta godtagbara luftflöden i dessa rum. Dessa är idag borttagna men används trots detta som vägledning. Enligt dessa bör luftflödet vara minst 10 l/s i kök, toaletterum och bad- eller duschrum med öppningsbart fönster. Notera att 10 l/s i köket kräver möjlighet till forcering. Utan forcering fordras ett frånluftsflöde på 15 l/s. För större badrum bör dessutom flödet ökas med 1 l/s och m<sup>2</sup> för varje kvadratmeter över 5 m<sup>2</sup>. I bad- och duschrum utan öppningsbart fönster rekommenderas också ett lägsta flöde på 10 l/s om det finns möjlighet att forcera flödet till 30 l/s vid behov. Utan forceringsmöjlighet rekommenderas ett lägsta flöde på 15 l/s för små badrum. För större badrum ska flödet ökas med 1 l/s och m<sup>2</sup> för varje kvadratmeter som badrummets storlek överstiger 5 m<sup>2</sup>. Det senare kravet på 15 l/s bör tillämpas för självdragsventilerade badrum eftersom risken för bakdrag gör att det är olämpligt att installera lokala forceringsfläktar (avsnitt 6.4.4) [89, 135]. I referens [82] rekommenderar författarna att luften i våtrum bör omsättas minst tre gånger per timme. Vidare anser de att det också är viktigt att luften cirkulerar genom hela rummet och passerar de fuktigaste ytorna (se mer om detta i kapitel 6.3.1.2).

För den modellerade lägenheten är det således inte samma krav som är dimensionerande för alla rum. För sovrummen är det kravet på 4 l/s och sovplats som bestämmer erforderligt luftflöde, förutsatt att det stora sovrummet har två sovplatser och det lilla en sovplats. För vardagsrummet är det kravet på 0,5 oms/h som är dimensionerande. I kök och badrum blir kravet 15 l/s enligt texten ovan. Dessa krav sammanfattas i tabell 9.2, där nödvändig ventilation för respektive rum i lägenheten uttrycks både i form av luftflöde och luftomsättning. För lägenheten som helhet innebär kraven ett till- och frånluftsflöde på minst 30 l/s vilket motsvarar en luftomsättning på 0,64 h<sup>-1</sup> för hela lägenheten.

Tabell 9.2: Dimensionerande ventilationsflöde för respektive rum.

<b>Krav på tilluft</b>	<b>Flöde [l/s]</b>	<b>Omsättning [h<sup>-1</sup>]</b>
Sovrum 1 (2 sovplatser)	8	0,90
Vardagsrum	7,64	0,50
Sovrum 2 (1 sovplats)	4	0,62
<b>Krav på frånluft</b>		
Kök	15	2,55
Badrum	15	8,79
<b>Krav på till- och frånluft</b>		
Hela lägenheten	30	0,64

## 9.3 Modell

I PFS beskrivs flödessystemet med enkel grafik. En modell av bostaden och dess ventilationssystem byggs upp med hjälp av symboler. Rum modelleras med rektanglar. Rummen kopplas till varandra med dubbla linjer som symboliserar en möjlig väg för luften att flöda. Textelement anger vilka egenskaper de olika luftvägarna har. Varje komponent, till- och frånluftsdon, frånluftskanal, dörr, fönster, etc, beskrivs med ett samband mellan tryck och flöde [136].

Nedan följer en utförlig beskrivning på hur de olika delarna av ventilationsystemet modelleras och de antaganden som gjorts vid modelleringen. För detaljerad beskrivning av de olika textelementen i PFS-modellerna hänvisas till manualen [136].

### 9.3.1 Drivkraft

I beräkningarna tas endast hänsyn till termiska drivkrafter. Storleken av denna drivkraft bestäms av två faktorer, den rådande temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhusluft samt den vertikala höjdskillnaden mellan tilluftsöppning och ventilationsskorstenens mynning. I PFS anges temperaturskillnaden genom att specificera luftens densitet ute med kontrollvariabeln  $\rho_{enz}$ . Inomhus antas temperaturen vara konstant,  $T_{inne} = 20^\circ\text{C}$ . Densiteten vid en viss temperatur beräknas med ekvation (2.3). För att ge en bild av ventilationssystemets funktion under hela året används här tre olika utetemperaturer:  $-0,8$ ;  $16,2$  och  $7,5^\circ\text{C}$  [9]. De första två beskriver det lägsta respektive högsta månadsmedelvärdet observerat i Sturup. Det sista värdet är årsmedelvärdet. Tabell 9.3 listar de tre temperaturerna tillsammans med motsvarande värden på luftens densitet.

Tabell 9.3: Utomhustemperatur och luftdensitet i Sturup [9].

	Vinter (februari)	Sommar (juli)	Årsmedel
Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]	-0,8	16,2	7,5
Densitet [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1,293	1,217	1,255

I självdragsventilerat hus varierar ventilationsflödet med lägenhetens läge i höjdded, se avsnitt 2.1. Därför modelleras lägenheten på högsta och lägsta våning, dvs. våning 4 och 1. Höjdskillnaden anges i PFS med "z" elementet enligt

$$z, -h$$

där  $h$  är höjdskillnaden mellan tilluftsöppning och ventilationsskorstenens mynning. Minustecknet är en konsekvens av teckenreglerna i PFS. För att lätt kunna byta mellan våning 1 och 4 i beräkningarna införs hjälpvariablerna  $h_{v1}$ ,  $h_{v4}$ ,  $h_{vp}$  och  $h_{vm}$ .

I beräkningarna antas höjdskillnaden vara lika med frånluftskanalens längd, dvs.  $5,3$  och  $14,5$  m för våning 4 respektive 1.

#### 9.3.1.1 Annan drivkraft

I beräkningarna tas inte vindens inverkan med. Vinden kan ge ett betydande bidrag till självdragssystemets drivtryck. Vid vandanblåsning mot fasaden krävs dock betydande vindhastigheter innan vinden får signifikant inflytande, se avsnitt 2.3. Här antas vindhastigheten vara så låg att den inte behöver tas med i beräkningarna. Notera att lägst luftomsättning erhålls vid detta fall, dvs. vindstilla.

Ejektorverkan vid skorstenen ger däremot ett bidrag redan vid låga vindhastigheter. För att kunna kvantifiera bidraget krävs detaljerad kunskap om skorstenens utformning. För att få ett kontinuerligt och stabilt ventilationsflöde året om är det nödvändigt att kunna eliminera ejektorverkan under eldningssäsongen, se avsnitt 2.4 och 8.6. I beräkningarna antas således att skorstenen utformats så ejektorverkan eliminerats.

### 9.3.2 Läckage

Om läckflödet antas uppfylla BBR94, dvs. 0,8 l/s m<sup>2</sup> vid 50 Pa för en bostad, fås luftläckage för de olika rummen enligt tabell 9.4. Här antas ett kvadratisk förhållande mellan tryckfall och flöde. Tryckfallet över respektive yttervägg kan då tecknas,

$$\Delta p = 50 \left[ \frac{q}{q_{läck} A_i} \right]^2 \quad (9.1)$$

där  $\Delta p$  = tryckfall över yttervägg [Pa]  
 $q$  = luftläckage genom yttervägg [l/s]  
 $A_i$  = area av respektive yttervägg [m<sup>2</sup>]  
 $q_{läck}$  = läckflöde för yttervägg [l/s m<sup>2</sup>]

Eftersom huset är uppfört 1945 är det rimligt att anta att byggnaden är något otätare än motsvarande modern fasad. Som utgångspunkt antas ett dubbel så stort flöde vid samma tryck, dvs.  $q_{läck} = 1,6$  l/s m<sup>2</sup>. Dessa värden är också införda i tabell 9.4. Notera att läckflödet gäller hela fasaden, dvs. inklusive fönster och dörrar.

Tabell 9.4: Läckflöde vid 50 Pa för respektive rum.

Rum	Id	Fasadarea [m <sup>2</sup> ]	Flöde [l/s]	
			Tät vägg (0,8 l/s m <sup>2</sup> )	Otät vägg (1,6 l/s m <sup>2</sup> )
Vardagsrum	1	12,8	10,3	20,5
Sovrum (stort)	2	7,64	6,12	12,2
Kök	3	5,87	4,70	9,39
Sovrum (litet)	4	6,28	5,02	10,0

I PFS modelleras läckflödet genom de fyra ytterväggarna enligt

```
set O1t=t, 50.0, 10.265:hq O1o=t, 50.0, 20.530:hq
set O2t=t, 50.0, 6.115:hq O2o=t, 50.0, 12.230:hq
set O3t=t, 50.0, 4.696:hq O3o=t, 50.0, 9.391:hq
set O4t=t, 50.0, 5.023:hq O4o=t, 50.0, 10.046:hq
```

De fyra väggarna betecknas med tre tecken Oit/o, där O står för otäthet, i är väggens nummer enligt tabell 9.4 och slutligen ett t eller o för en tät respektive otät vägg.

### 9.3.3 Uteluftsdon

Modellen av uteluftsdonet baseras på ett don av märket "Fresh" (Fresh 80), se figur 9.2a. Donet består av tre delar: tallriksventil, genomföring och utvändigt galler. Figur 9.2b visar leverantörens tryckfallsdata för det kompletta donet med tre olika ventilöppningar. Det är tydligt att de tre kurvorna i figur 9.2b inte har samma lutning, dvs. kvadratiske kurvor kan inte beskriva donet vid alla ventilöppningar.

Eftersom kurvorna är linjära i ett log-log diagram (figur 9.2b) kan följande ekvation användas för att beskriva sambandet mellan tryckfall och flöde för respektive ventilöppning,

$$\Delta p = \Delta p_s \left( \frac{q}{q_s} \right)^n \quad (9.2)$$

där  $\Delta p$  = tryckfall över don [Pa]  
 $\Delta p_s$  = karateristiskt tryckfall vid flöde  $q_s$  [Pa]  
 $q$  = flöde genom ventil [l/s]  
 $q_s$  = karakteristisk flöde [l/s]  
 $n$  = exponent [-]

Ett antal punkter avläses från figuren för vardera ventilöppning: 3, 6 och 10 mm. Avläsningsfel minimeras genom att välja ett flertal punkter för varje kurva. Därefter utförs en regressionsanalys för att bestämma konstanterna i ekvation 9.2 ( $\Delta p_s$ ,  $q_s$ ,  $n$ ). Analysen utförs med datorprogrammet Grace, ett program för 2D plottning av numerisk data. Resultatet visas i figur 9.3 och kan med  $q_s = 1$  skrivas som

$$\Delta p_{3mm} = 0,9858q^{1,9853} \quad (9.3)$$

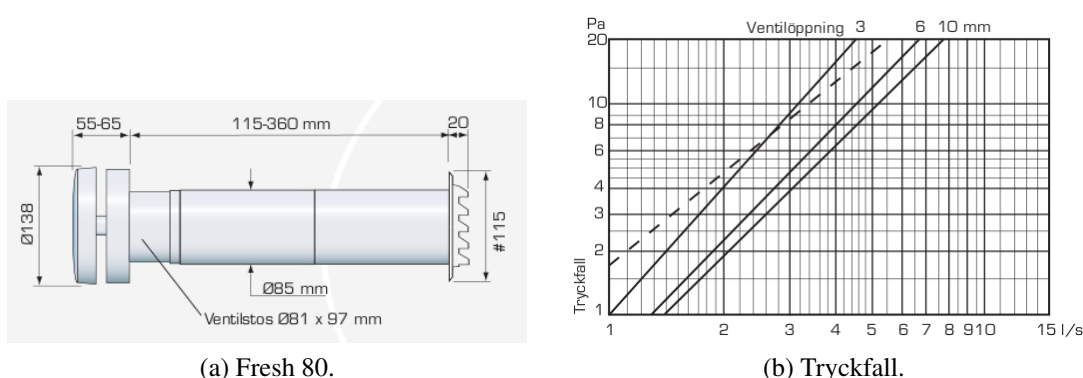
$$\Delta p_{6mm} = 0,6152q^{1,8290} \quad (9.4)$$

$$\Delta p_{10mm} = 0,5496q^{1,7482} \quad (9.5)$$

där index anger ventilöppningen. I PFS modelleras de tre kurvorna som tre olika uteluftsdon enligt

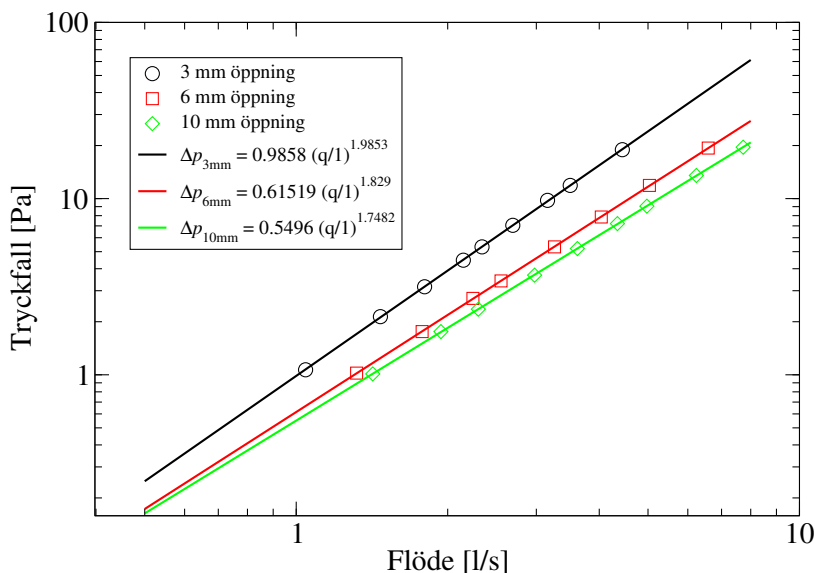
```
set UD3=g, 0.9858, 1.9853
set UD6=g, 0.6152, 1.8290
set UD10=g, 0.5496, 1.7482
```

där UD3, UD6 och UD10 betecknar uteluftsdon med 3, 6 och 10 mm öppning.



Figur 9.2: Uteluftsdon "Fresh 80".





Figur 9.3: PFS-modell av uteluftsdon.

### 9.3.4 Innerdörrar

Alla vanliga innerdörrar beskrivs med en effektiv öppningsarea. Dörrarnas dimension är  $2000 \times 800 \text{ mm}^2$  och antas kunna stå i fyra positioner: stängd, på glänt, halvöppen och helöppen. De fyra lägena antas motsvara en öppning på 2; 20; 400 respektive 800 mm. För en fri öppning fås tryckfall enligt,

$$\Delta p = \frac{\rho v^2}{2} \quad (9.6)$$

och flöde enligt,

$$q = CvA \quad (9.7)$$

där  $\rho =$  luftens densitet = 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $v =$  luftströmmens hastighet [m/s]  
 $C =$  kontraktionsfaktorn = 0,6 [-]  
 $A =$  öppningsarean [m<sup>2</sup>]

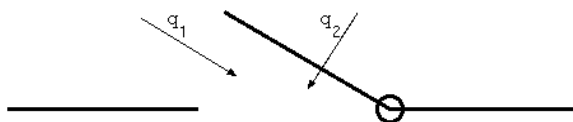
Kontraktionsfaktorn sätt till 0,6 vilket motsvarar ett in- och utlopp med skarpa kanter [11, 137].

Insättning av  $v = 1 \text{ m/s}$  ger ett tryckfall på 0,6 Pa vid flöden 0,6; 24,0; 480 respektive 960 l/s. Dörren modelleras i PFS med kommandot `diagram` där varje dörrposition tilldelas ett reglervärde: 0 = "stängd", 1 = "på glänt", 2 = "halvöppen" och 3 = "öppen",

```
diagram DO p(iq) 0.6 0:0.6 1:24.0 2:480.0 3:960.0
```

### 9.3.5 Badrumsdörr

Badrumsdörren modelleras på samma sätt som en vanlig innerdörr (avsnitt 9.3.4), dock med en extra springa längst ner på dörrbladet. Dörren är endast 600 mm bred och springan är 400 mm bred och 20 mm hög. Luft kan således flöda från hallen till badrummet via



Figur 9.4: Flöde genom badrumsdörr.

dörröppningen,  $q_1$ , och genom överluftsdonet,  $q_2$ , se figur 9.4. Enligt ekvationer (9.6) och (9.7) så kan sambandet mellan tryckfall och flöde för de två flödesvägarna beskrivas enligt,

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} v_1^2 = \frac{\rho}{2} v_2^2 \quad (9.8)$$

och

$$q_1 = C A_1 v_1 \quad q_2 = C A_2 v_2 \quad (9.9)$$

där  $\rho$  = luftens densitet = 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $C$  = kontraktionsfaktorn = 0,6 [-]  
 $v_1$  = luftströmmens hastighet genom öppningen [m/s]  
 $v_2$  = luftströmmens hastighet genom överluftsdonet [m/s]  
 $A_1$  = öppningsarean [m<sup>2</sup>]  
 $A_2$  = överluftsdonets area [m<sup>2</sup>]

Ekvation (9.8) ger att  $v_1 = v_2$  vilket insatt i ekvation (9.9) ger

$$q_2 = q_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (9.10)$$

vilket i sin tur gör att det totala flödet genom badrumsdörren kan uttryckas enligt,

$$q_{tot} = q_1 + q_2 = q_1 \left( 1 + \frac{A_2}{A_1} \right) \rightarrow \frac{q_1}{A_1} = \frac{q_{tot}}{A_1 + A_2} \quad (9.11)$$

Återinsättning i ekvation (9.8) ger slutligen det önskade sambandet mellan tryckfall och totalt flöde,

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left( \frac{q_1}{C A_1} \right)^2 = \frac{\rho}{2} \left[ \frac{q_{tot}}{C (A_1 + A_2)} \right]^2 \quad (9.12)$$

Med samma beteckningar och antaganden som för innerdörren modelleras badrumsdörren i PFS enligt,

diagram BD p(iq) 0:6 0:5.4 1:28.8 2:364.8 3:724.8

### 9.3.6 Öppning mellan vardagsrum och hall

Öppningen mellan vardagsrummet och hallen modelleras som en helt öppen innerdörr med höjden 2,35 m och bredden 1 m, dvs. öppningens tryckfall och flöde beräknas med ekvationerna (9.6) och (9.7). Med en kontraktionsfaktor på 0,6 fås tryckfall och motsvarande flöde till  $\Delta p = 0,6$  Pa och  $q = 1410$  l/s. Eftersom sambandet mellan tryckfall och flöde är kvadratisk kan öppningen därför modelleras i PFS enligt

set Po=t,0.6,1410

### 9.3.7 Frånluftskanaler

De murade och lodräta frånluftskanalerna har ett rektangulärt tvärsnitt. De beskrivs i PFS med "d"-elementet, enligt

d, b, h, l

där b och h anger tvärsnittets bredd respektive höjd och l anger kanalens längd. Kanalernas dimensioner uppskattas från ritning. Frånluftskanalen (FK) i badrummet fås till 150x150 mm och imkanalen (IK) till 150x210 mm och modelleras i PFS enligt

```
set FK d, 150, 150, hvp
```

```
set IK d, 150, 210, hvp
```

Kontrollvariabeln duct=1 anger att det är luft som strömmar i frånluftskanalerna. Strax efter kanalinloppet finns en 90° böj som ritas in i den grafiska modellen. Beräkningar tar hänsyn till böjen genom att sätta kontrollvariabeln bend=1.

Övriga förluster i skorsten och kanal uppskattas genom att anta ett engångsmotstånd i slutet på frånluftskanalen. Motståndet anges med elementet e och ansätts till

e, 1

i enlighet med andra PFS-beräkningar [11].

### 9.3.8 Galler i frånluftskanal

Tryckfallsdata saknas för frånluftsdonen i badrummets frånluftskanal och imkanalen, ett galler av äldre modell (figur 9.5a). Data för ett modernt galler finns dock tillgängligt. Det moderna har en mindre öppningsarea än det äldre. Tryckfallet över det gamla gallret uppskattas med medelvärdet av ett modernt galler (figur 9.5b) och en kanalmynning utan galler. Tryckfall för det moderna gallret visas i figur 9.6.

Frånlufts- och imkanalens inlopp har dimensionerna 150x150 mm respektive 150x210 mm. Data avläses för galler med storleken 100x200 och 150x200 mm för frånlufts- respektive imkanalgallret. Dessa galler är valda pga att deras area bäst överensstämmer med storleken på det befintliga gallret.

Därefter anpassas en generell (ekv. (9.2)) och en kvadratisk kurva till avläst data, se figur 9.7. Tryckfallet beskrivs väl av ett generellt uttryck enligt ekvation (9.2), men för den fortsatta databehandlingen förutsätts dock att sambandet mellan tryckfall och flöde är kvadratisk.

Matematiskt kan kurvan för det moderna frånluftsgallret skrivas, med  $\Delta p_s = 1$ ,

$$\Delta p = \Delta p_s \left( \frac{q}{q_s} \right)^2 = \left( \frac{q}{15.089} \right)^2 \quad (9.13)$$

och för det moderna imkanalgallret,

$$\Delta p = \Delta p_s \left( \frac{q}{q_s} \right)^2 = \left( \frac{q}{27.219} \right)^2 \quad (9.14)$$

För en kanalmyning utan galler kan tryckfallet beräknas med,

$$\Delta p = \xi \left( \frac{\rho}{2} \right) \left( \frac{q}{A} \right)^2 \quad (9.15)$$

där  $\Delta p$  = tryckfall över kanalmyning [Pa]  
 $\xi$  = motståndstalet för dimensions övergång [-]  
 $\rho$  = luftens densitet = 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $q$  = flöde [m<sup>3</sup>/s]  
 $A$  = kanalarean [m<sup>2</sup>]

Vid en areaövergång, från en stor area till en mycket mindre, kan motståndstalet sättas till  $\xi = 0,5$  [137, 138].

För att kunna jämföra med tryckfallet för ett modernt galler skrivs ekvation (9.15) om på samma form ( $\Delta p_s = 1$ ). Med insatta data för frånluftskanalen fås,

$$\Delta p = \Delta p_s \left( \frac{q}{q_s} \right)^2 = \left( \frac{q}{41.079} \right)^2 \quad (9.16)$$

och för imkanalen,

$$\Delta p = \Delta p_s \left( \frac{q}{q_s} \right)^2 = \left( \frac{q}{57.511} \right)^2 \quad (9.17)$$

Medelvärdesbildning,  $\Delta p = 0,5 (\Delta p_{\text{moderntgaller}} + \Delta p_{\text{utangaller}})$ , ger för frånluftsgallret

$$\Delta p = \left( \frac{q}{20.031} \right)^2 \quad (9.18)$$

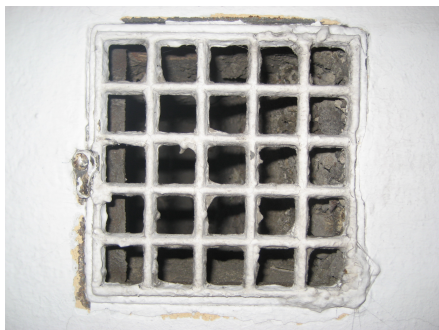
och för imkanalgallret,

$$\Delta p = \left( \frac{q}{34.794} \right)^2 \quad (9.19)$$

Ekvation 9.18 och 9.19 införs i PFS med definitionerna,

set FG=t, 1.0, 20.031

set IG=t, 1.0, 34.794

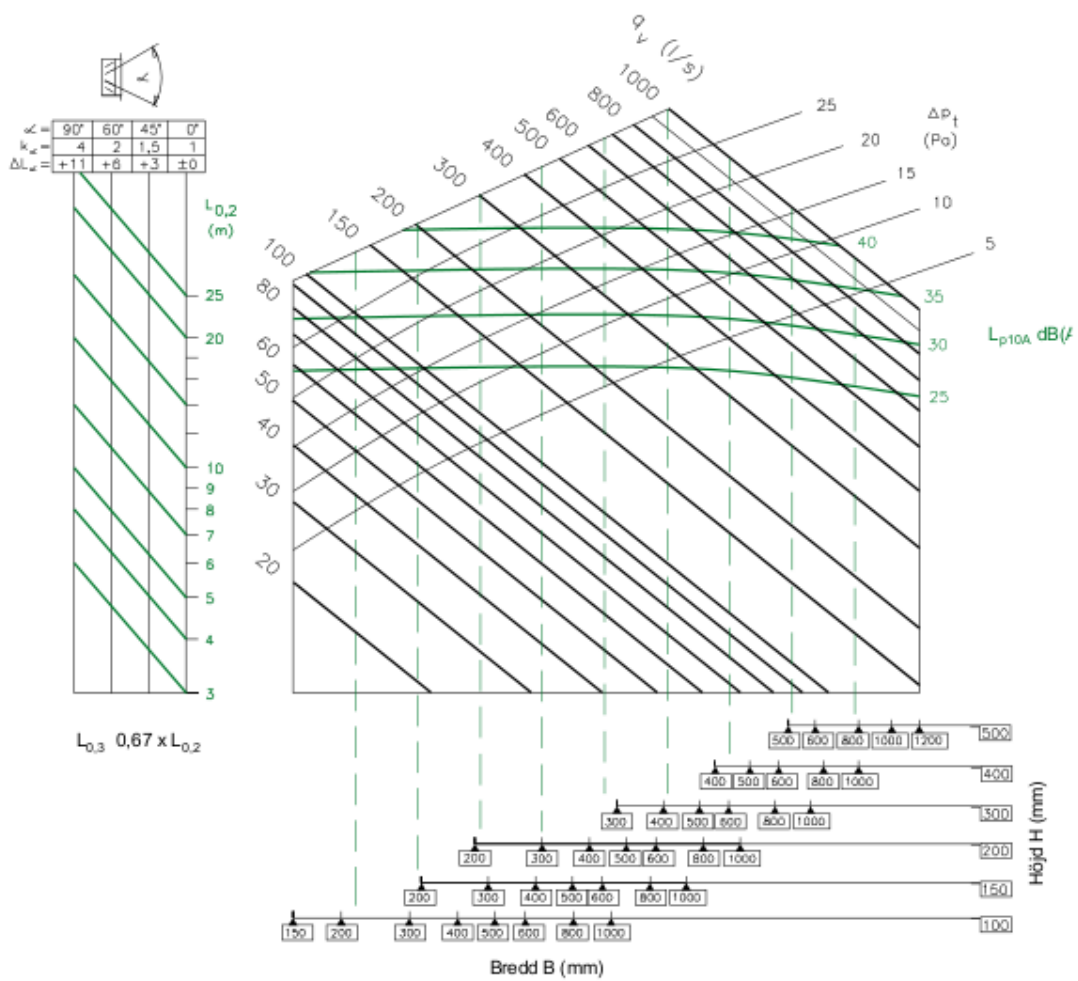


(a) Ursprungligt galler.

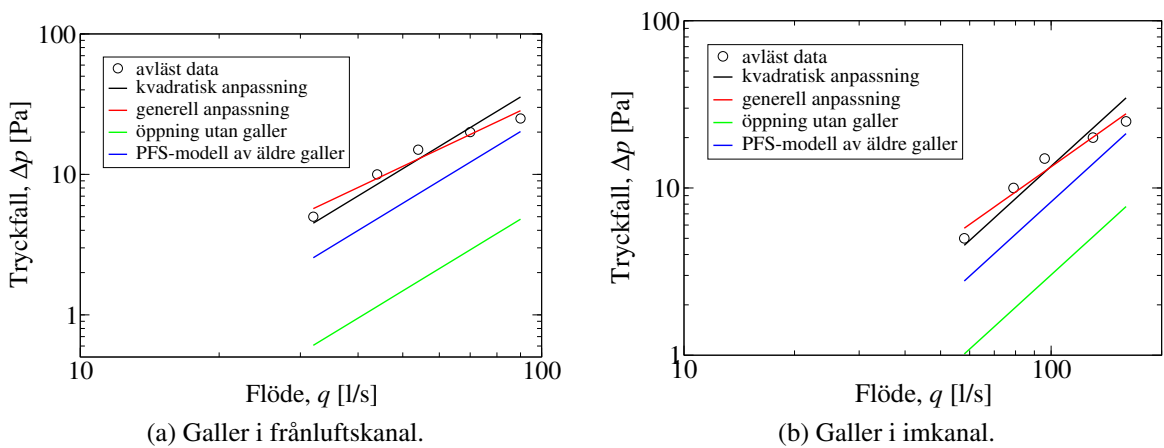


(b) Galler modell SV-2.

Figur 9.5: Galler i frånluftskanaler.



Figur 9.6: Tryckfall över modernt galler modell SV-2, fabrikat Fläkt Woods.



Figur 9.7: PFS modell av äldre galler i frånlufts- och imkanal.

### 9.3.9 Uteluftsdon i kök

I köket finns också ett uteluftsdon, en sk klafflucka. Luckan är dock belägen i ett skafferi och dess syfte är att sänka temperaturen genom att föra in kall luft i skafferiet, se även avsnitt 8.2.5. I ett centraliserat självdragssystem måste skafferiets dörr vara tätad för att inte riskera kortslutning.

Här modelleras inte skafferiet utan endast klaffluckan. Det betyder att en stängd lucka kan sägas motsvara ett fungerande kallskafferi, dvs. ventilen sitter inuti ett tätt skafferi. En fullt öppen klafflucka beskriver det värsta fallet ur kortslutningssynpunkt, dvs. att skafferiet är mycket otätt. Dessutom kan nämnas att många kallskafferior försvunnit vid renovering av köket för att få större kök. Det är just det som har hänt i den modellerade lägenheten. Trenden verkar dock ha vänt, numera väljer fastighetsägare att behålla eller t.o.m. att återställa borttagna skafferior [139].

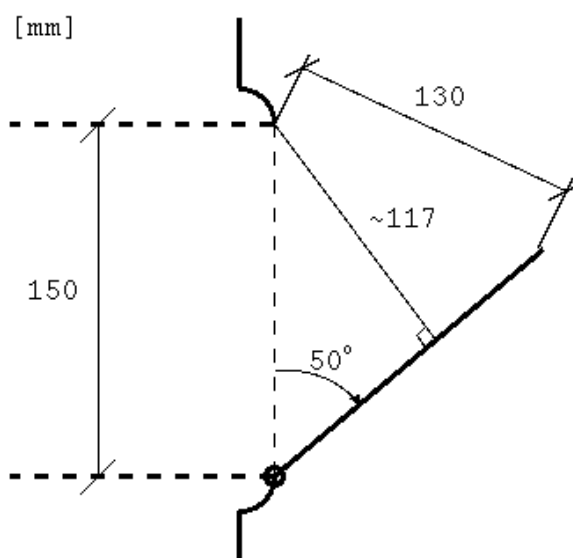
Uteluftsdonet består av tre separata delar: klafflucka, kanal och galler. Luckan sitter på insidan och galler med insektsnät på utsidan. De två donen förbinds av en 0,4 m lång rektangulär kanal. Alla delar har samma dimension, dvs. 150x150 mm.

#### 9.3.9.1 Klafflucka

Klaffluckan beskrivs på samma sätt som en dörr, dvs. med en effektiv area, se ekvation (9.6) och (9.7). När klaffluckan är stängd antas att det finns en liten spalt på 0,5 mm som luften kan passera. En fullt öppen lucka ger en öppning på 130 mm vilket motsvarar en öppningsvinkel på drygt 50°, vilket i sin tur motsvarar en spalt på knappt 120 mm, se figur 9.8. Med en kontraktionsfaktor på 0,6 fås flöden på 0,045 och 10,544 l/s för en stängd respektive öppen lucka vid ett tryckfall på 0,6 Pa. Luckan modelleras i PFS enligt följande

diagram KL 0.6 0:0.045 1:10.544

där läge 0 motsvarar en stängd lucka och 1 en fullt öppen lucka.



Figur 9.8: Skiss av klafflucka.

### 9.3.9.2 Kanal

Den 0,4 m långa tegelkanalen mellan lucka och galler beskrivs i PFS på samma sätt som im- och frånluftskanalen (avsnitt 9.3.7), dvs.

```
set KK=d, 0.150, 0.150, 0.4
```

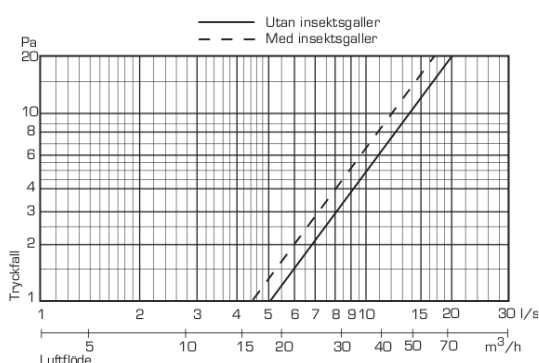
### 9.3.9.3 Galler med insektsnät

Modellen av det utvändiga gallret baseras på ett "FRESH utvändigt galler 150 mm", med insektsnät. Tryckfallsdata för detta galler visas i figur 9.9a. En kurva enligt ekvation (9.2), med  $q_s = 1$ , anpassas till avlästa data,

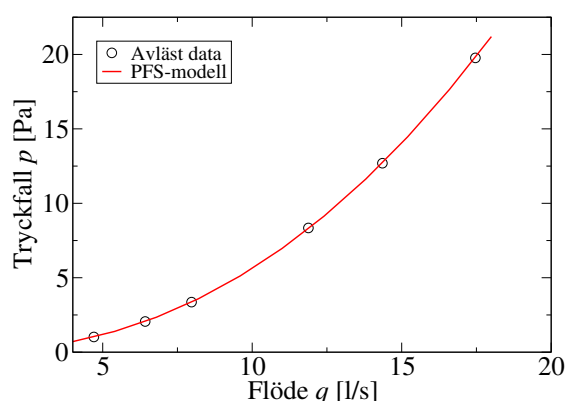
$$\Delta p = \Delta p_s \left( \frac{q}{q_s} \right)^2 = 0.030929 (q)^{2.259200} \quad (9.20)$$

Ekvation (9.20) ger god överensstämmelse med data, se figur 9.9b. Kurvan motsvaras av följande PFS definition

```
set UG=g, 0.030929, 2.259200:hq
```



(a) Tryckfall galler med insektsnät (insektsgaller).



(b) PFS-modell.

Figur 9.9: Galler med insektsnät (FRESH 150mm).

### 9.3.10 Badrumsfläkt

Badrumsfläkten modelleras med PFSs kommando  $f_{an}$ . Modellen baseras på en fläkt med namn "PAX passad" (figur 9.10a). I fläktens datablad specificeras fläktkurvan med tre datapunkter, se tabell 9.5.

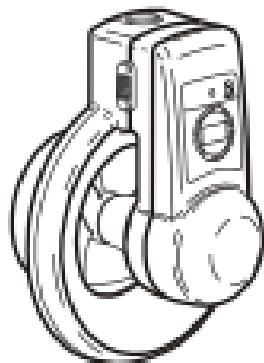
I PFS beskrivs en kvadratisk fläktkurva med just tre datapunkter och därför fås,

```
f_{an} PAX 10.5:17 7.5:19 2.5:22
```

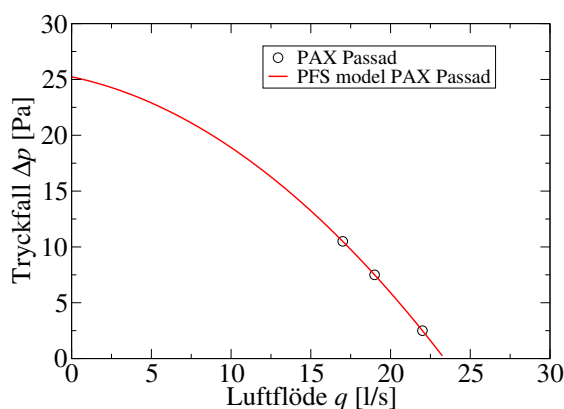
Den kvadratiske fläktkurvan, som används i PFS, visas i figur 9.10b.

Tabell 9.5: Definition av fläktkurva för badrumsfläkt "PAX passad".

$q$	[l/s]	22	19	17
$\Delta p$	[Pa]	2,5	7,5	10,5



(a) Skiss av "PAX" badrumsfläkt.



(b) Fläktkurva enligt PFS.

Figur 9.10: Badrumsfläkt "PAX Passad".

### 9.3.11 Spisfläkt

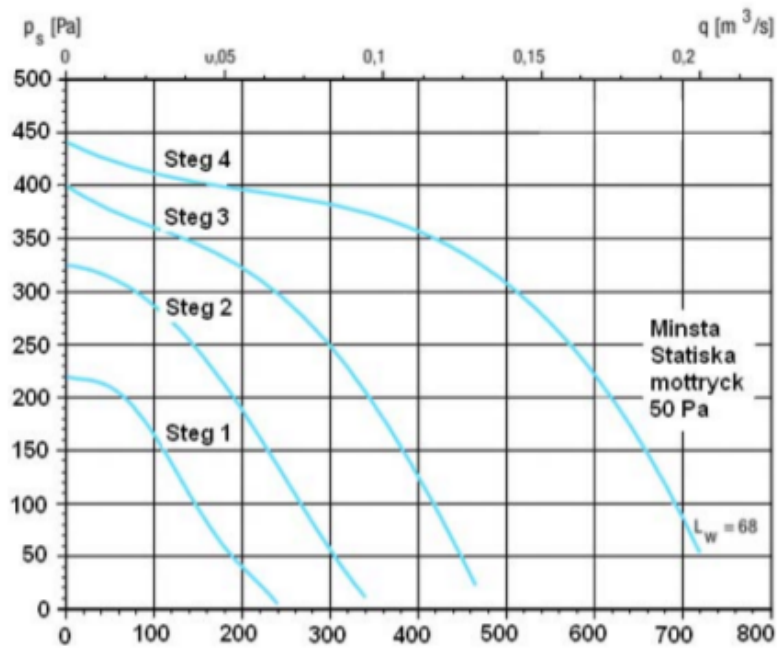
Modellen av en spisfläkt baseras på en spiskupa med inbyggd fläktmotor av märket "fjäråskupan". Fläktens varvtal kan varieras i fyra steg. Fläktkurvorna i figur 9.11 visar sambandet mellan olika tryck och luftflöden. I PFS beskrivs en fläkt med en linjär eller kvadratisk fläktkurva. Det är tydligt att de fyra kurvorna i figur 9.11 inte är linjära eller kvadratiska. Däremot visar det sig att kurvorna i figur 9.11 beskrivs väl med ett tredjegradspolynom.

På grund av begränsningen i PFS antas fläktkurvorna dock vara kvadratiska. I figur 9.12 jämförs både den kubiskt och kvadratisk anpassade kurvan med avlästa värden för respektive stegkurva. Med en kvadratisk anpassning kan stora avvikelser uppträda, speciellt vid högt tryck och lågt flöde. Stegkurva 4 avviker särskilt mycket från ett kvadratisk beteende, se figur 9.12d. Avvikelseerna kan dock accepteras eftersom tryckfallet är lågt i ett självdragssystem.

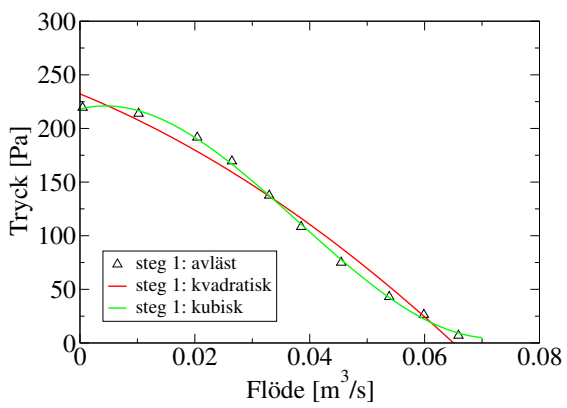
I PFS modelleras respektive stegkurva med en fläktdefinition enligt:

```
fan SP1 232.217:0.0 138.421:32.513 0.0:65.027
fan SP2 332.871:0.0 220.126:46.527 0.0:93.053
fan SP3 380.347:0.0 294.347:66.831 0.0:133.662
fan SP4 399.359:0.0 356.587:108.964 0.0:217.928
```

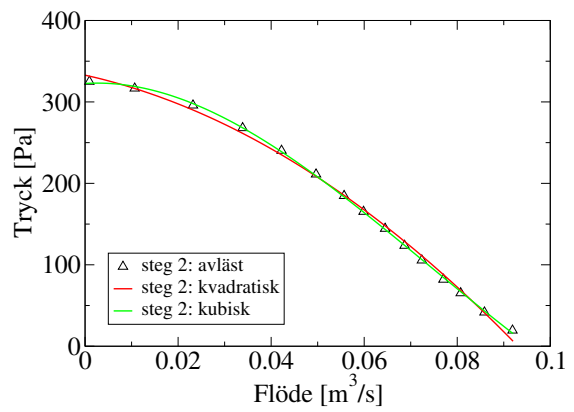




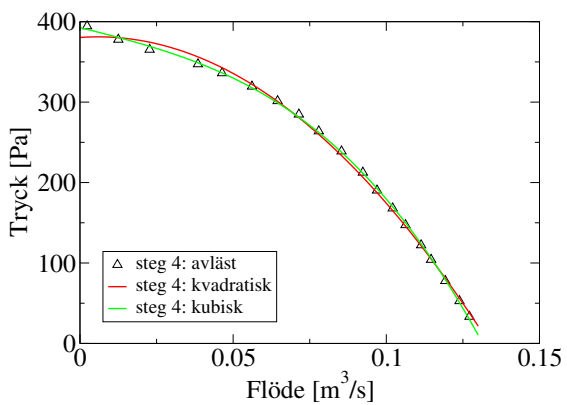
Figur 9.11: Fläktkurvor för spisfläkt "Fjäråskupan".



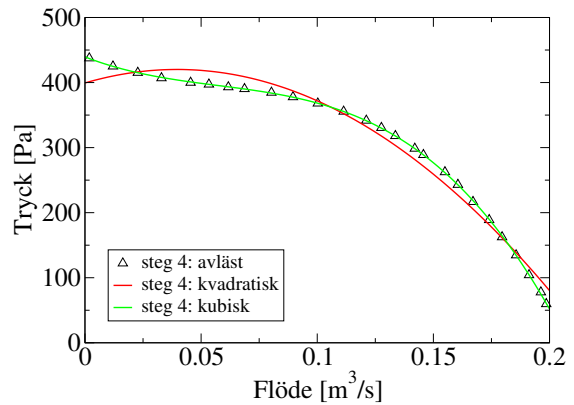
(a) PFS-modell steg 1.



(b) PFS-modell steg 2.



(c) PFS-modell steg 3.



(d) PFS-modell steg 4.

Figur 9.12: Spisfläkt PFS-modell.

### 9.3.12 Modeller för utvärdering av PFS resultat

Här ges härledningar av två modeller för att utvärdera resultat från PFS. Modellerna används för att tolka resultat från optimeringen av självdragssystemet (9.4.5). Den första beskriver ett givet tryckfall och flöde som en öppning av ett fönster. Den andra ger ett nödvändigt antal uteluftsdon för att leverera ett flöde givet ett visst tryckfall.

#### 9.3.12.1 Fönster

Lägenheterna har två olika typer av fönster. I kök och sovrum finns fönster som består av två 0,65 m breda fönsterbågar. I vardagsrummen består fönstret av tre bågar, en stor 1,3 m bred båge i mitten, samt en 0,65 m bred båge på vardera sida. Alla fönster är 1,3 m höga. I rummen är en av de smala fönsterbågarna försedd med ett fönsterbeslag och fönsteröppning modelleras därför endast för denna båge.

Tryckfall och flöde genom ett öppet fönster modelleras precis på samma sätt som en innerdörr, dvs. med ekvationer (9.6) och (9.7). Genom att kombinera dessa ekvationer och samtidigt identifiera att öppningsarean är  $A = hw$ , så kan nödvändig fönsteröppning,  $w$ , för att uppnå ett visst flöde och tryckfall, beräknas enligt,

$$w = \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} \left( \frac{q}{Ch} \right) \quad (9.21)$$

där	$w$	=	fönstrets öppning	[m]
	$h$	=	fönstrets höjd	[m]
	$\rho$	=	luftens densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$\Delta p$	=	tryckfall över vägg	[Pa]
	$q$	=	flöde genom öppning	[m <sup>3</sup> /s]
	$C$	=	kontraktionsfaktorn = 0,6	[-]

Notera att i denna förenklade fönstermodell bortses helt från det luftutbyte som sker pga temperaturskillnad mellan inne och ute.

Det förenklade betraktningssättet som tillämpas här gör att att framräknade värden på fönsteröppning ska ses som en fingervisning snarare än ett exakt värde som löser problemet.

#### 9.3.12.2 Flera parallella uteluftsdon

Antag att sambandet mellan tryckfall och flöde för ett visst uteluftsdon beskrivs med sambandet,

$$\Delta p = \Delta p_s \left( \frac{q_i}{q_s} \right)^n \quad \rightarrow \quad q_i = q_s \left( \frac{\Delta p}{\Delta p_s} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (9.22)$$

där	$\Delta p$	=	tryckfall över don	[Pa]
	$q_i$	=	flöde genom don $i$	[m <sup>3</sup> /s]
	$\Delta p_s$	=	karateristiskt tryckfall vid flöde $q_s$	[Pa]
	$q_s$	=	karakteristisk flöde	[l/s]
	$n$	=	exponent	[-]

Värdet på exponenten  $n$  beror på valt uteluftsdon, se avsnitt 9.3.3. Antag nu att  $N$  parallella don installeras. Det totala flödet kan då skrivas,

$$\begin{aligned}
 q &= \sum q_i = q_1 + q_2 + q_3 + \dots \\
 &= q_s \left( \frac{\Delta p}{\Delta p_s} \right)^{\frac{1}{n}} + q_s \left( \frac{\Delta p}{\Delta p_s} \right)^{\frac{1}{n}} + q_s \left( \frac{\Delta p}{\Delta p_s} \right)^{\frac{1}{n}} + \dots \\
 &= N q_s \left( \frac{\Delta p}{\Delta p_s} \right)^{\frac{1}{n}}
 \end{aligned} \tag{9.23}$$

Vilket omskrivet på samma form som ekvation (9.22) ger det önskade sambandet,

$$\Delta p = \Delta p_s \left( \frac{q}{N q_s} \right)^n \tag{9.24}$$

## 9.4 Resultat och analys

### 9.4.1 Grundfall

Beräkningsmodellen ”grundfall” är tänkt att representera hur lägenheten såg ut och fungerade när huset var nybyggt. I grundfallet förs uteluft i in bostaden via läckage i klimatskärmen och ut via frånluftsdon av typen galler i badrum och kök. Klimatskärmen antas vara otät, dvs. infiltrationen antas vara  $1,6 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ , se avsnitt 9.3.2. Alla innerdörrar är helt öppna förutom badrumsdörren, som är stängd eftersom den är försedd med ett överluftsdon (avsnitt 9.3.5). Vidare är klaffluckan i köket stängd pga risken för kortslutning. Här undersöks det resulterande luftflödet i lägenheten på våningsplan 1 och 4 under både vinter och sommar.

Indata till beräkningarna återfinns i bilaga A. Resultaten sammanfattas i tabell 9.6. De visar att det är svårt att uppfylla Socialstyrelsens rekommendationer. Enligt tabell 9.6 uppnås aldrig erforderligt tilluftsflöde, i sov- eller vardagsrum på våning 4, oavsett årstid. På första våningen uppnås rekommenderade flöden i vardagsrum och sovrum 2 under vintern. Under sommaren är dock ventilationen otillräcklig i alla rum. Luftomsättningen blir även för låg i de beräkningar som baseras på årsmedeltemperaturen. Endast i vardagsrummet nås rekommenderade värden.

Frånluftssflödet i badrum och kök är inte mycket bättre. Speciellt illa är det i badrummet där ventilationsflödet aldrig blir tillräckligt oavsett våningsplan eller årstid. Beräkningarna visar dock att köket ventileras tillräckligt på våning 1, vintertid. Beräkning med medeltemperatur ger nästan tillräckligt luftflöde i detta rum på våningsplan 1.

Resultaten indikerar att självdragssystemet, i ursprungligt skick, inte klarar att möta dagens krav på luftkvalitet. Längst upp i huset är det nödvändigt att komplettera med t.ex. fönstervädning under hela året.

Tabell 9.6: Beräknade luftflöden för grundfallet.

Fall	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Sommar (juli)	1	2,6	4,3	2,1	2,1	2,8	8,2
Vinter (februari)	1	6,0	<b>10,1</b>	<b>4,9</b>	4,8	6,4	<b>19,4</b>
Årsmedel	1	4,6	<b>7,7</b>	3,8	3,7	5,0	14,9
Sommar (juli)	4	1,6	2,6	1,3	1,3	1,5	5,2
Vinter (februari)	4	3,7	6,2	3,0	2,9	3,6	12,2
Årsmedel	4	2,8	4,7	2,3	2,3	2,8	9,4
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

## 9.4.2 Infiltration

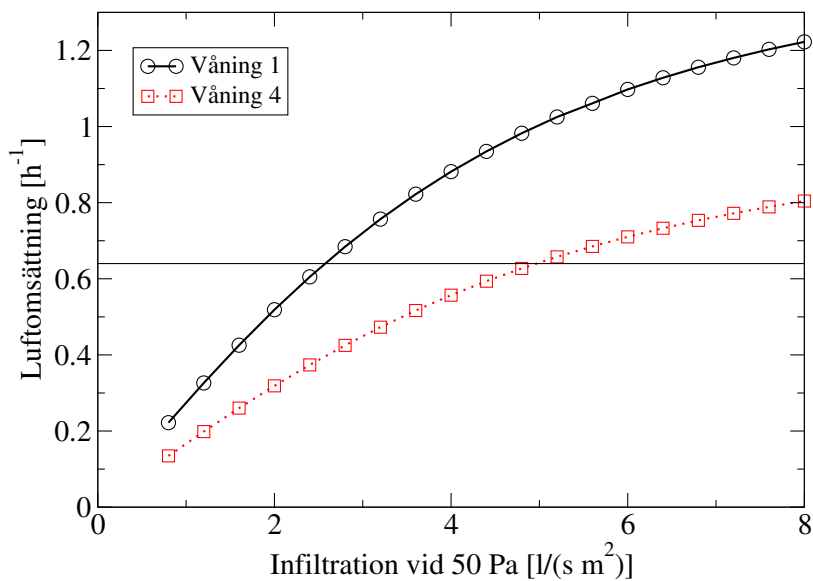
Ett av de mer osäkra antaganden i denna studie rör ytterväggens täthet. I grundfallet (avsnitt 9.4.1) antas att väggen är hälften så tät som BBRs krav på  $0,8 \text{ l/(s m}^2\text{)}$  vid ett tryckfall på 50 Pa över väggen. För att avgöra hur otät väggen måste vara för att uppnå tillräcklig luftomsättning varierar infiltrationen från  $0,8$  till  $8 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ . Utomhustemperaturen sätts till årsmedeltemperaturen, då det är rimligt att kräva att ventilationssystemet ska klara sig utan komplettering under en större del av året. Resultatet visas grafiskt i figur 9.13 och i tabellform i tabell 9.8 och 9.9 för våning 1 respektive 4. Indata till beräkningarna exemplifieras i bilaga B.

Figur 9.14 visar tilluftsflödet i sovrummen och vardagsrummet. De tunna horisontella linjerna representerar de krav som gäller för vardera rum, se avsnitt 9.2. På samma sätt visar figur 9.15 frånluftsflödet från badrum respektive kök tillsammans med gällande krav. Tabell 9.7 visar nödvändig infiltration för att uppfylla gällande krav. Det är tydligt att det krävs mycket otäta väggar för att uppnå godtagbar ventilation. Detta blir speciellt tydligt för det stora sovrummet och badrummet.

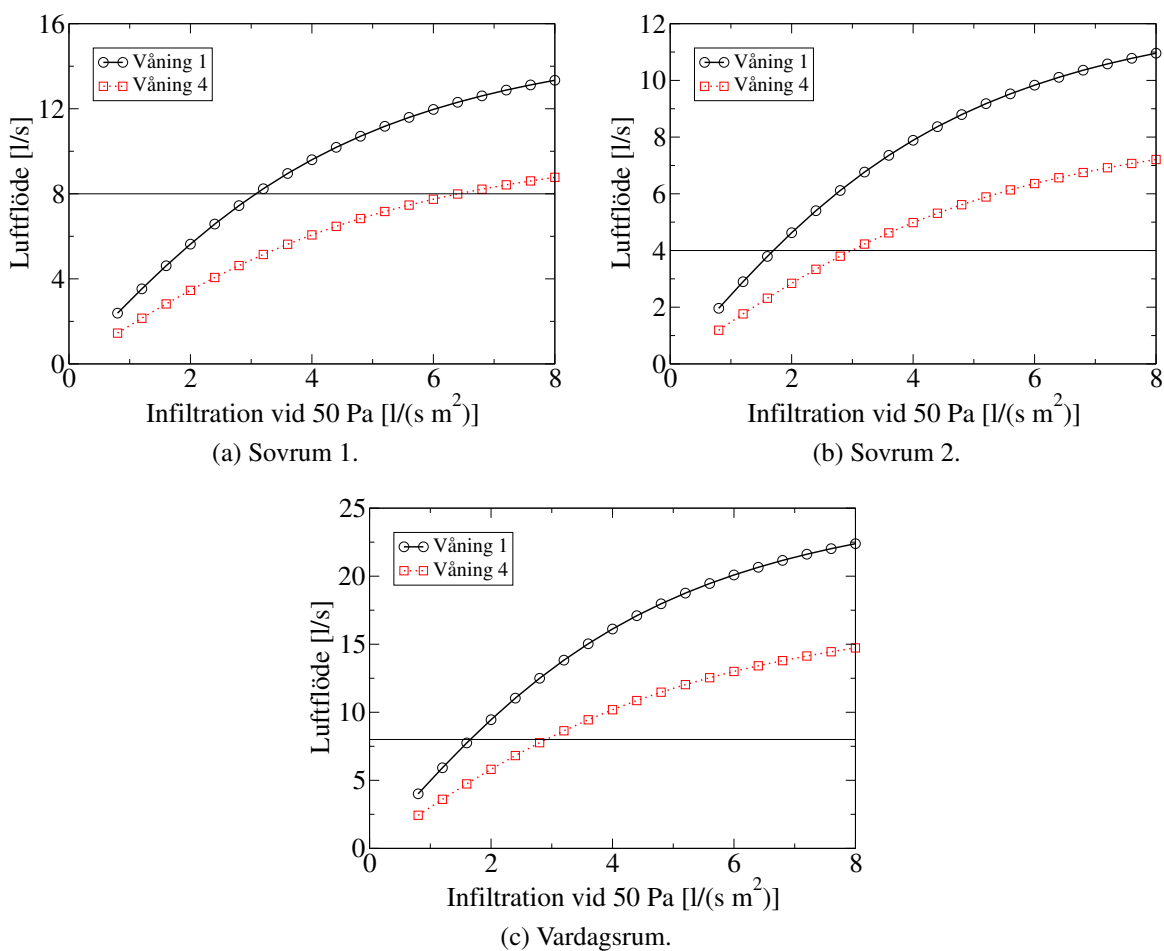
Det är inte rimligt att kräva att äldre byggnad ska ha en lika god täthet som en ny byggnad. Ett läckage som är 31 ggr större än BBR94s krav på  $0,8 \text{ l/(s m}^2\text{)}$  (tabell 9.7) är dock orimligt om BBRs krav antas representera en godtagbar nivå på okontrollerad tillförsel av luft med avseende på termisk komfort och energiförbrukning. Notera att i nu gällande BBR ges inga sifferkrav, istället konstateras "För att undvika skador på grund av fuktkonvektion bör byggnadens klimatskiljande delar ha så god lufttäthet som möjligt".

Tabell 9.7: Nödvändig infiltration vid 50 Pa för att uppnå acceptabelt ventilationsflöde i respektive rum.

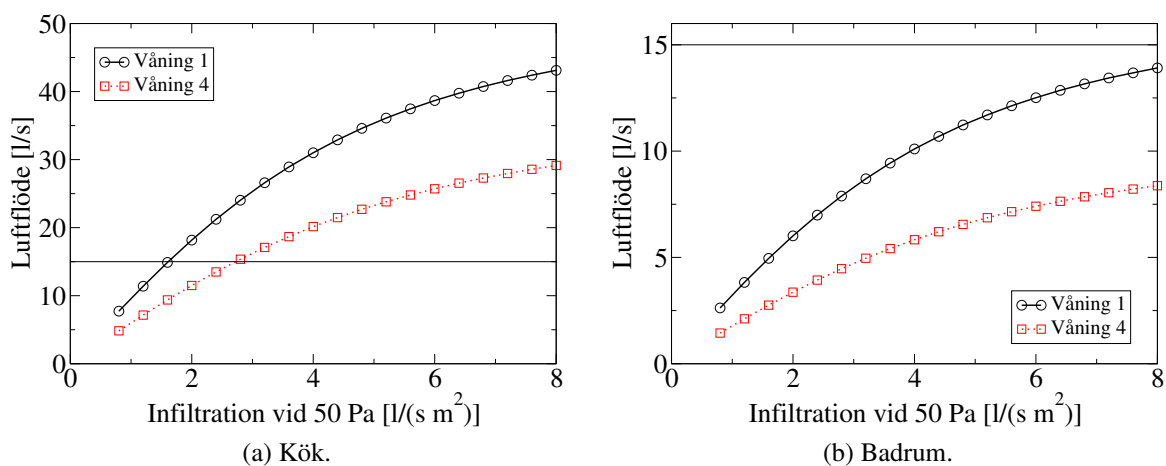
Rum	Krav [l/s]	Till/Från	Våning 1 [ $\text{l/(s m}^2\text{)}$ ]	Våning 4 [ $\text{l/(s m}^2\text{)}$ ]
Sovrum 1	8	T	3,08	6,41
Vardagsrum	7,64	T	1,58	2,75
Sovrum 2	4	T	1,70	2,99
Badrum	15	F	9,90	24,8
Kök	15	F	1,61	2,72



Figur 9.13: Luftomsättning som funktion av infiltration.



Figur 9.14: Tilluftsflöde i sov- och badrum som funktion av infiltration vid  $T_{ute} = 7,5^{\circ}\text{C}$  (årsmedel Sturup).



Figur 9.15: Frånluftsflöde i kök och badrum som funktion av infiltration.

Tabell 9.8: Beräknade luftflöden [l/s] på våning 1, för olika värden på infiltrationen [l/(s m<sup>2</sup>)].

Infiltration	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	1	4,6	7,7	3,8	3,7	5,0	14,9
0,8	1	2,4	4,0	2,0	2,0	2,6	7,7
1,2	1	3,5	5,9	2,9	2,9	3,8	11,4
1,6	1	4,6	7,7	3,8	3,7	5,0	14,9
2	1	5,6	9,5	4,6	4,5	6,0	18,2
2,4	1	6,6	11,0	5,4	5,2	7,0	21,2
2,8	1	7,4	12,5	6,1	5,9	7,9	24,0
3,2	1	8,2	13,8	6,8	6,5	8,7	26,6
3,6	1	9,0	15,0	7,4	7,0	9,4	28,9
4	1	9,6	16,1	7,9	7,5	10,1	31,0
4,4	1	10,2	17,1	8,4	7,9	10,7	32,9
4,8	1	10,7	18,0	8,8	8,3	11,2	34,6
5,2	1	11,2	18,8	9,2	8,7	11,7	36,1
5,6	1	11,6	19,5	9,5	8,9	12,1	37,5
6	1	12,0	20,1	9,8	9,3	12,5	38,7
6,4	1	12,3	20,7	10,1	9,6	12,9	39,8
6,8	1	12,6	21,2	10,4	9,8	13,2	40,7
7,2	1	12,9	21,6	10,6	10,0	13,4	41,6
7,6	1	13,1	22,0	10,8	10,2	13,7	42,4
8	1	13,3	22,4	11,0	10,3	13,9	43,1
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

Tabell 9.9: Beräknade luftflöden [l/s] på våning 4, för olika värden på infiltrationen [l/(s m<sup>2</sup>)].

Infiltration	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	4	2,8	4,7	2,3	2,3	2,8	9,4
0,8	4	1,4	2,4	1,2	1,2	1,4	4,8
1,2	4	2,1	3,6	1,8	1,7	2,1	7,1
1,6	4	2,8	4,7	2,3	2,3	2,8	9,4
2	4	3,5	5,8	2,8	2,8	3,4	11,5
2,4	4	4,1	6,8	3,3	3,2	3,9	13,5
2,8	4	4,6	<b>7,8</b>	3,8	3,6	4,5	<b>15,4</b>
3,2	4	5,1	<b>8,6</b>	<b>4,2</b>	4,0	5,0	<b>17,1</b>
3,6	4	5,6	<b>9,4</b>	<b>4,6</b>	4,4	5,4	<b>18,7</b>
4	4	6,1	<b>10,2</b>	<b>5,0</b>	4,7	5,8	<b>20,2</b>
4,4	4	6,5	<b>10,9</b>	<b>5,3</b>	5,0	6,2	<b>21,5</b>
4,8	4	6,8	<b>11,5</b>	<b>5,6</b>	5,3	6,6	<b>22,7</b>
5,2	4	7,2	<b>12,0</b>	<b>5,9</b>	5,6	6,9	<b>23,8</b>
5,6	4	7,5	<b>12,5</b>	<b>6,1</b>	5,8	7,2	<b>24,8</b>
6	4	7,7	<b>13,0</b>	<b>6,4</b>	6,0	7,4	<b>25,7</b>
6,4	4	<b>8,0</b>	<b>13,4</b>	<b>6,6</b>	6,2	7,6	<b>26,5</b>
6,8	4	<b>8,2</b>	<b>13,8</b>	<b>6,8</b>	6,4	7,9	<b>27,3</b>
7,2	4	<b>8,4</b>	<b>14,1</b>	<b>6,9</b>	6,5	8,0	<b>28,0</b>
7,6	4	<b>8,6</b>	<b>14,4</b>	<b>7,1</b>	6,7	8,2	<b>28,6</b>
8	4	<b>8,8</b>	<b>14,7</b>	<b>7,2</b>	6,8	8,4	<b>29,1</b>
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

### 9.4.3 Punktutsugning

Ett vanligt antagande är att bristfällig ventilation kan åtgärdas genom att installera kanalsluten frånluftsfläkt i kök och/eller badrum. Denna typ av fläktar har installerats i den lägenhet som modellen baseras på. Punktvis forcering innebär en ökad risk för bakdrag (se kapitel 6.4.4). Detta exemplifieras genom att närmare studera hur installation av fläkt i kök, badrum samt i både kök och badrum påverkar luftflödet i lägenheten. Indata för beräkningarna utgår från grundfallet med utomhustemperatur som motsvarar årsmedelvärdet. Resultat återfinns i tabell 9.10 och indata i bilaga C.

Beräkningarna med PFS visar att en fläkt alltid ökar luftomsättningen i lägenheten. Kraven på en lägsta luftomsättning för hela lägenheten går att uppfylla med enbart en köksfläkt eller om köksfläkten kombineras med en badrumsfläkt. Även kraven på ventilation i de enskilda rummen kan uppfyllas genom att köra fläkten enligt fläktkurvan SP1, kurvan som ger lägst luftflöden, se avsnitt 9.3.11. Det enda problemet är luftflödet i badrummet. Luftflödets storlek är visserligen tillräckligt, både på första och fjärde våningen. Men luftströmmen går i fel riktning, se figurer 9.16 och 9.17, vilket inte är acceptabelt eftersom fukt sprids i lägenheten.

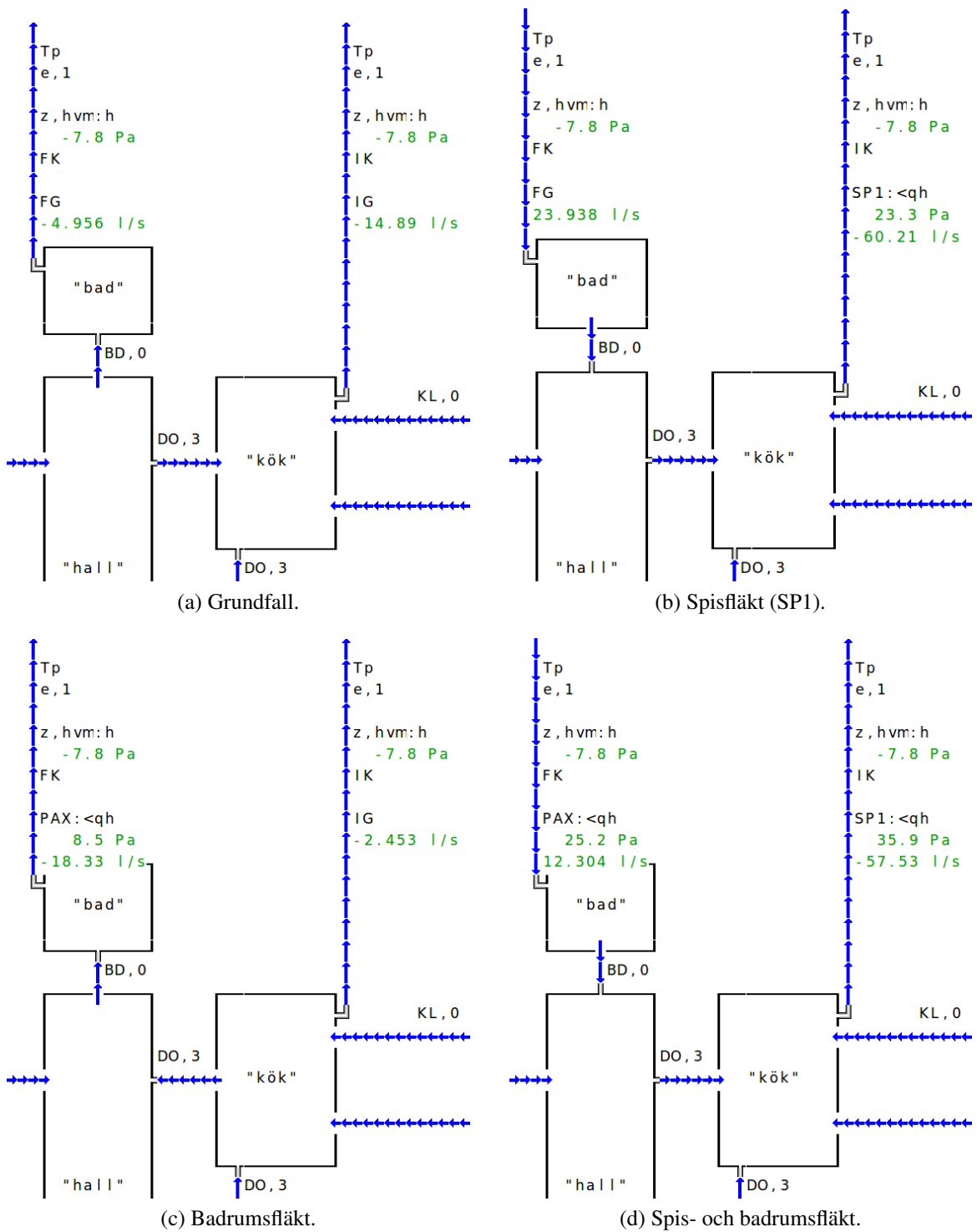
Beräkningar med enbart badrumsfläkt, se avsnitt 9.3.10, visar att luftflödet ökar i alla rum, förutom köket. I badrummet ökar luftflödet så kraftigt att luftflödeskravet uppfylls.

Ökningen är däremot mycket liten i övriga rum. I köket ger badrumsfläktens sug upphov till en kraftigt försämrad ventilation med ökad risk för spridning av föroreningar från kök till övriga rum. På fjärde våningen överstiger suget drivkraften i köket och bakdrag uppstår, se mer avsnitt 6.4.

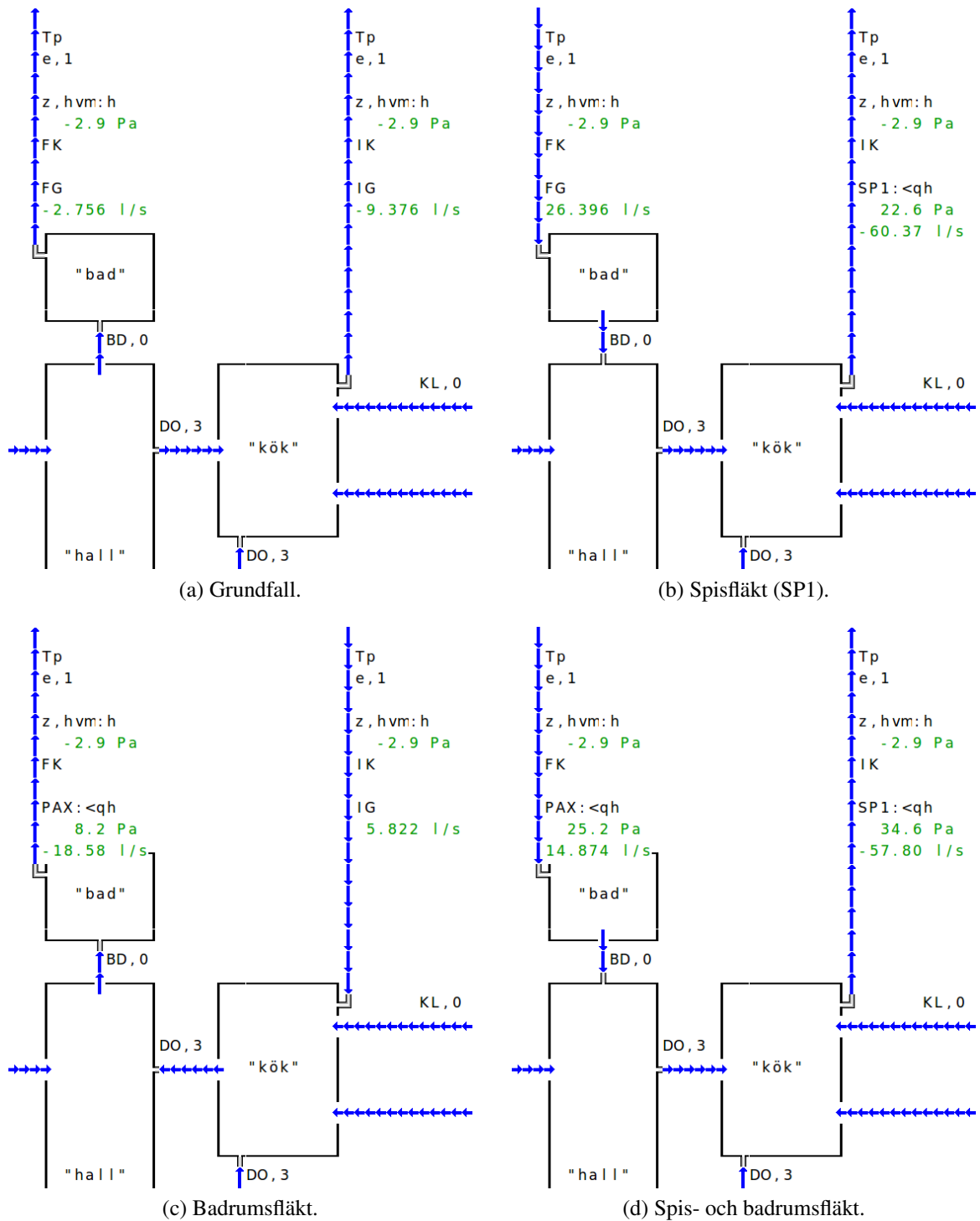
Tabell 9.10: Beräknade luftflöden i respektive rum med olika typer av forcering av flödet.

Punktutsug	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	1	4,6	<b>7,7</b>	3,8	3,7	5,0	14,9
Kök	1	<b>8,4</b>	<b>14,2</b>	<b>6,9</b>	6,8	-23,9	<b>60,2</b>
Badrum	1	4,8	<b>8,1</b>	4,0	3,9	<b>18,3</b>	2,5
Kök+Badrum	1	<b>10,5</b>	<b>17,6</b>	<b>8,6</b>	8,4	-12,3	<b>57,5</b>
Grundfall	4	2,8	4,7	2,3	2,3	2,8	9,4
Kök	4	7,9	<b>13,3</b>	<b>6,5</b>	6,3	-26,4	<b>60,4</b>
Badrum	4	3,0	5,0	2,4	2,4	<b>18,6</b>	-5,8
Kök+Badrum	4	<b>10,0</b>	<b>16,8</b>	<b>8,2</b>	8,0	-14,9	<b>57,8</b>
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15





Figur 9.16: Flödesbilder vid punktutugning, våning 1.



Figur 9.17: Flödesbilder vid punktut sugning, våning 4.

## 9.4.4 Uteluftsdon

Uteluftsflödet i en självdragsventilerad bostad kan ökas genom att installera ett uteluftsdon i sov- och vardagsrum, se avsnitt 9.3.3. Modellen i PFS kompletteras därför med uteluftsdon i vardagsrum och i båda sovrummen, se bilaga D.

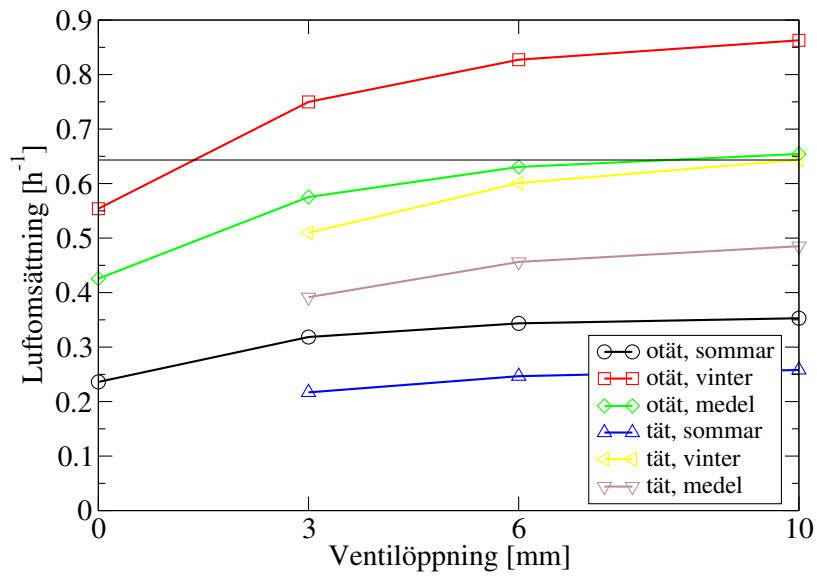
Tabeller 9.11, 9.12 och 9.13 visar resulterande luftflöden i lägenheten efter installation av uteluftsdon under vinter, sommar och med årsmedeltemperatur. Väggarna är otäta ( $1,6 \text{ l}/(\text{s m}^2)$ ). På samma sätt, visar tabeller 9.14, 9.15 och 9.16 resulterande luftflöden i lägenheten efter installation av uteluftsdon under vinter, sommar och med årsmedeltemperatur med täta väggar ( $0,8 \text{ l}/(\text{s m}^2)$ ). Enligt avsnitt 9.3.3 har uteluftsdonen tre lägen: 3, 6 respektive 10 mm öppning, vilka betecknas UD3, UD6 och UD10.

Resultatet är inte upplyftande. Beräkningarna visar att luftflödet fortfarande är otillräckligt under större delen av året.

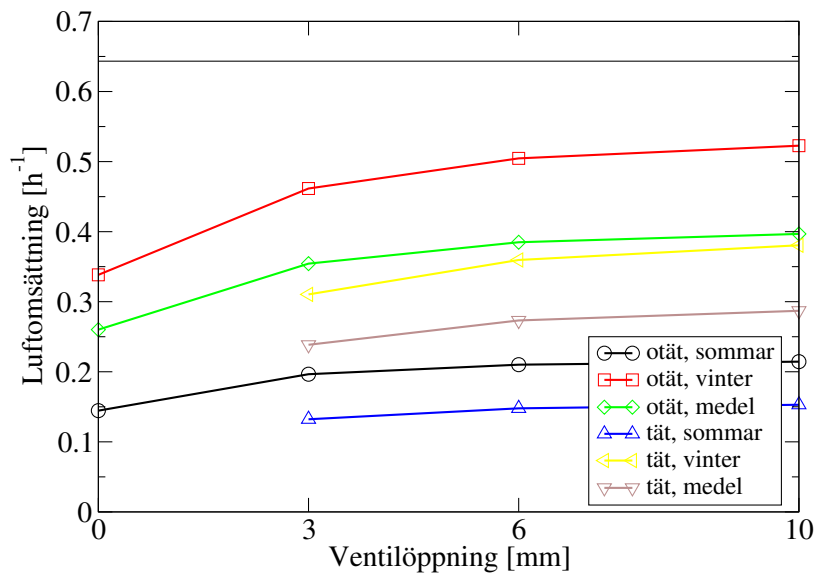
Från avsnitt 9.2 ses att det krävs ett totalt frånluftsflöde på  $30 \text{ l/s}$  motsvarande  $0,64 \text{ oms/h}$ . Figur 9.18 och 9.19 visar hur luftomsättningen förändras för olika ventilinställningar för lägenheten på våning 1 respektive 4. Resultaten visar att med en tät fasad så erhålls tillräcklig luftomsättning endast vintertid om lägenheten är belägen på våning 1. Med en relativt otät fasad levererar systemet tillfredställande flöden under en större del av året på detta våningsplan. På våning fyra uppnås aldrig tillräckligt frånluftsflöde oavsett ventilinställning.

En detaljstudie av resultaten visar att, på första våningen fås goda luftflöden i alla rum förutom i badrummet under större delen av året, se tabeller 9.11, 9.12 och 9.13. Under sommaren är flödena otillräckliga i alla rum. En tätare klimatskärm ger generellt mindre luftflöden, men visar på samma mönster (tabeller 9.14, 9.15 och 9.16). Skillnaden är att luftflödet i det större sovrummet uppfyller kraven endast under vintern.

På våning fyra är resultaten nedslående. Jämfört med grundfallet fås ett något högre luftflöde, men det är fortfarande otillräckligt större delen av året. Under vintern ser det något bättre ut. Luftflöden i vardagsrum, det mindre sovrummet samt kök uppfyller kraven. I badrummet är luftflödet alltför lågt. Med en "tät" klimatskärm blir det än värre. Endast frånluftsflödet i köket når det uppsatta kravet förutsatt att alla ventiler är maximalt öppna.



Figur 9.18: Resulterade luftomsättning på våning 1 som funktion av inställning av uteluftsdon.



Figur 9.19: Resulterade luftomsättning på våning 4 som funktion av inställning av uteluftsdon.

Tabell 9.11: Beräknade luftflöden i respektive rum med olika inställningar av uteluftsdonen: otäta väggar och vinterutomhustemperatur.

Fall	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	1	6,0	<b>10,1</b>	<b>4,9</b>	4,8	6,4	<b>19,4</b>
UD3	1	<b>9,2</b>	<b>13,1</b>	<b>8,1</b>	4,6	8,6	<b>26,4</b>
UD6	1	<b>10,4</b>	<b>14,2</b>	<b>9,4</b>	4,5	9,5	<b>29,1</b>
UD10	1	<b>11,0</b>	<b>14,8</b>	<b>10,0</b>	4,5	9,9	<b>30,4</b>
Grundfall	4	3,7	6,2	3,0	2,9	3,6	12,2
UD3	4	5,6	<b>8,0</b>	<b>5,0</b>	2,8	4,8	<b>16,7</b>
UD6	4	6,3	<b>8,7</b>	<b>5,7</b>	2,8	5,3	<b>18,2</b>
UD10	4	6,6	<b>9,0</b>	<b>6,0</b>	2,8	5,5	<b>18,9</b>
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

Tabell 9.12: Beräknade luftflöden i respektive rum med olika inställningar av uteluftsdonen: otäta väggar och sommarutomhustemperatur.

Fall	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	1	2,6	4,3	2,1	2,1	2,8	8,2
UD3	1	3,9	5,6	3,4	2,0	3,7	11,1
UD6	1	4,3	5,9	3,9	1,9	4,0	12,0
UD10	1	4,4	6,1	4,0	1,9	4,1	12,3
Grundfall	4	1,6	2,6	1,3	1,3	1,5	5,2
UD3	4	2,4	3,4	2,1	1,2	2,1	7,1
UD6	4	2,6	3,6	2,3	1,2	2,2	7,6
UD10	4	2,7	3,7	2,4	1,2	2,3	7,7
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

Tabell 9.13: Beräknade luftflöden i respektive rum med olika inställningar av uteluftsdonen: otäta väggar och medelutomhustemperatur.

Fall	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	1	4,6	7,7	3,8	3,7	5,0	14,9
UD3	1	7,0	10,0	6,2	3,5	6,7	20,2
UD6	1	7,9	10,9	7,1	3,5	7,3	22,1
UD10	1	8,3	11,2	7,5	3,5	7,5	23,0
Grundfall	4	2,8	4,7	2,3	2,3	2,8	9,4
UD3	4	4,3	6,2	3,8	2,2	3,7	12,8
UD6	4	4,8	6,6	4,3	2,2	4,1	13,9
UD10	4	5,0	6,8	4,5	2,1	4,2	14,3
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

Tabell 9.14: Beräknade luftflöden i respektive rum med olika inställningar av uteluftsdonen: täta väggar och vinterutomhustemperatur.

Fall	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	1	6,0	10,1	4,9	4,8	6,4	19,4
UD3	1	6,6	8,6	6,0	2,5	5,9	17,9
UD6	1	8,0	10,0	7,5	2,5	6,9	21,1
UD10	1	8,7	10,7	8,2	2,5	7,4	22,6
Grundfall	4	3,7	6,2	3,0	2,9	3,6	12,2
UD3	4	4,0	5,3	3,7	1,5	3,3	11,2
UD6	4	4,8	6,0	4,5	1,5	3,8	13,0
UD10	4	5,1	6,3	4,8	1,5	4,0	13,7
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

Tabell 9.15: Beräknade luftflöden i respektive rum med olika inställningar av uteluftsdonen: täta väggar och sommarutomhustemperatur.

Fall	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	1	2,6	4,3	2,1	2,1	2,8	8,2
UD3	1	2,8	3,7	2,6	1,1	2,6	7,5
UD6	1	3,3	4,1	3,0	1,1	2,9	8,6
UD10	1	3,4	4,3	3,2	1,1	3,0	9,0
Grundfall	4	1,6	2,6	1,3	1,3	1,5	5,2
UD3	4	1,7	2,2	1,6	0,7	1,4	4,8
UD6	4	2,0	2,5	1,8	0,7	1,6	5,3
UD10	4	2,0	2,6	1,9	0,7	1,6	5,5
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

Tabell 9.16: Beräknade luftflöden i respektive rum med olika inställningar av uteluftsdonen: täta väggar och medelutomhustemperatur.

Fall	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	1	4,6	<b>7,7</b>	3,8	3,7	5,0	14,9
UD3	1	5,1	6,6	<b>4,6</b>	1,9	4,6	13,7
UD6	1	6,1	<b>7,6</b>	<b>5,7</b>	1,9	5,3	<b>16,0</b>
UD10	1	6,5	<b>8,1</b>	<b>6,1</b>	1,9	5,6	<b>17,0</b>
Grundfall	4	2,8	4,7	2,3	2,3	2,8	9,4
UD3	4	3,1	4,0	2,8	1,2	2,5	8,6
UD6	4	3,6	4,6	3,4	1,2	2,9	9,8
UD10	4	3,8	4,8	3,6	1,2	3,0	10,4
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

## 9.4.5 Optimering av luftflöde med PFS

Analysen i föregående avsnitt, (9.4.4), visade att installation av valda uteluftsdon inte är tillräckligt för att uppnå godtagbar ventilation. Syftet med denna analys är att optimera självdragsventilationen i de studerade lägenheterna och se vad som krävs för att uppfylla ställda ventilationskrav. Analysen begränsas till det fall då utomhustemperaturen sätts lika med årsmedeltemperaturen, eftersom ett väl fungerande ventilationssystem bör kunna tillgodose tillräcklig ventilation utan komplettering under minst halva året. Dessutom förutsätts att väggarna är otäta i enlighet med grundfallet och att uteluftsdon har installerats. Modellen återfinns i bilaga E och resultaten sammanfattas i tabell 9.17.

### 9.4.5.1 Våningsplan 1

På våning 1 är det endast kravet på tillräckligt luftflöde i badrummet som inte är uppfyllt. Om frånluftsflödena summeras inses att tillräckligt flöde föreligger, men att fördelningen är fel. Luftens väg i lägenheten kan på ett enkelt sätt styras genom att öppna eller stänga dörrar. I modellen är badrumsdörren stängd vilket minskar flödet. Om badrumsdörren öppnas helt, ökas flödet genom badrummet till drygt 12 l/s. Ett luftflöde på 12 l/s är dock inte tillräckligt utan ytterligare åtgärder krävs. Ett sätt att tvinga, och på så sätt öka, luftflödet genom badrummet är att stänga dörren mellan hall och kök. Denna åtgärd medför att frånluftsflödet i badrummet når det uppställda kravet. Åtgärden medför tyvärr samtidigt att luftflödet in i det stora sovrummet och ut från kök blir för lågt. En annan åtgärd för att förbättra fördelningen av luften är att införa en strypning av imkanalen. Här exemplifieras detta genom att införa en strypning i imkanalen så att flödet blir precis 15 l/s. Resultatet blir ett extra tryckfall på 1 Pa vid 15 l/s, vilket medför att alla ställda krav på ventilationsflöde uppfylls, se tabell 9.17. Strypning av frånluftskanal i ett självdragssystem är dock mindre lämpligt då det ökar risken för bakdrag, se avsnitt 6.4. Ett annat sätt att uppfylla ställda ventilationskrav är att öka tilluftsflödet ytterligare. I modellen sker detta genom att byta ut tilluftsdonen mot okända tryckfall, som levererar samma flöde som de maximalt öppna tilluftsdonen. Därefter ökas flödet tills alla krav på ventilationsflöde uppfylls. Notera att simuleringen förutsätter att alla dörrar inklusive badrumsdörren lämnas öppna. Dessutom antas att det okända donet har ett kvadratisk flödesmotstånd.

För den modellerade lägenheten på våning 1 vet vi att uteluftsdonen, avsnitt 9.4.4, levererar 4,165 l/s vid ett tryckfall på 6,7 Pa. För att nå ett godtagbart frånluftsflöde i badrummet krävs att uteluftsdonen levererar 6,7 l/s vid ett tryckfall på 6,1 Pa. Figur 9.20 visar tryckfallsdata för det existerande donet. Figuren inkluderar också karakteristik för ett don som klarar av att leverera tillräckligt luftflöde enligt simuleringen. Enligt ekvation (9.21) motsvarar det framräknade donet att ett fönster i varje rum lämnas öppet med en springa på 3 mm.

Ett annat sätt att öka luftflödet är att öka antalet don. I avsnitt 9.3.12.2 visas hur sambandet mellan tryckfall och flöde ser ut för flera parallella don, under förutsättning att det enskilda donets karakteristik är känd. I figur 9.21a visas grafiskt det antal uteluftsdon som motsvarar det don som enligt PFS krävs för att uppnå acceptabel luftomsättning. Analysen ger att det krävs två don, med 6 mm öppning, i varje rum på våning 1. Det optimala donet jämförs med flera 6 mm öppna don, eftersom analysen baseras på årsmedeltemperaturen. Det kommer således att vara nödvändigt att strypa donen när det blir kallare respektive öppna donen när det blir varmare.

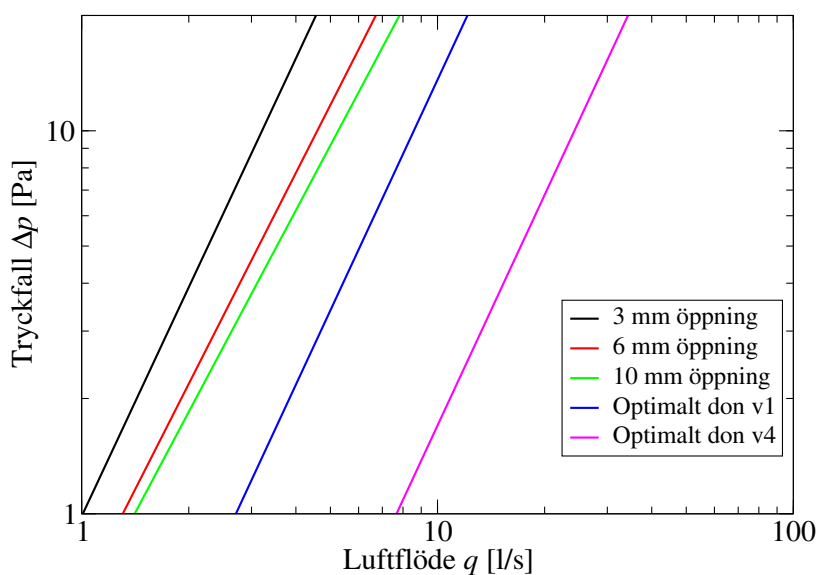


### 9.4.5.2 Våningsplan 4

På våningsplan 4 är utgångsläget betydligt sämre jämfört med våning 1. Även om uteluftsdonen öppnas maximalt, uppfylls ventilationskravet i endast ett rum, nämligen i det lilla sovrummet. Flödet genom detta rum uppgår till ca 4,5 l/s. Lägenhetens totala frånluftsflöde är 18,5 l/s vilket ska jämföras med kravet på 30 l/s. Precis som för våning 1 är det frånluftsflödet i badrummet, ca 4,2 l/s, som avviker mest från det önskade. Om badrumsdörren öppnas, stiger flödet i badrummet till 7,4 l/s, men minskar samtidigt i köket från 14,3 till 11,7 l/s. Att införa strypningar hjälper inte, eftersom det totala flödet är för litet. En genomräkning med stängd dörr mellan kök och hall genomförs ändå, för att möjliggöra en direkt jämförelse med beräkningarna för våning 1. Resultaten återfinns i tabell 9.17.

Den enda rimliga lösningen blir att öka tilluftsflödet. Därför genomförs en beräkning för att få fram egenskaper för ett tilluftsdon som medför att alla krav på ventilationsflöde uppfylls. De maximalt öppna uteluftsdonen levererar 2,407 l/s vid ett tryckfall på 2,6 Pa. Beräkningar med PFS visar att det krävs ett don som kan leverera 9,7 l/s vid 1,6 Pa för att uppfylla kraven. Karakteristiken för ett sådant don läggs också in i figur 9.20. Det framräknade flödet och tryckfallet motsvarar att ett fönster i varje rum lämnas öppet med en springa på 7,6 mm enligt ekvation (9.21).

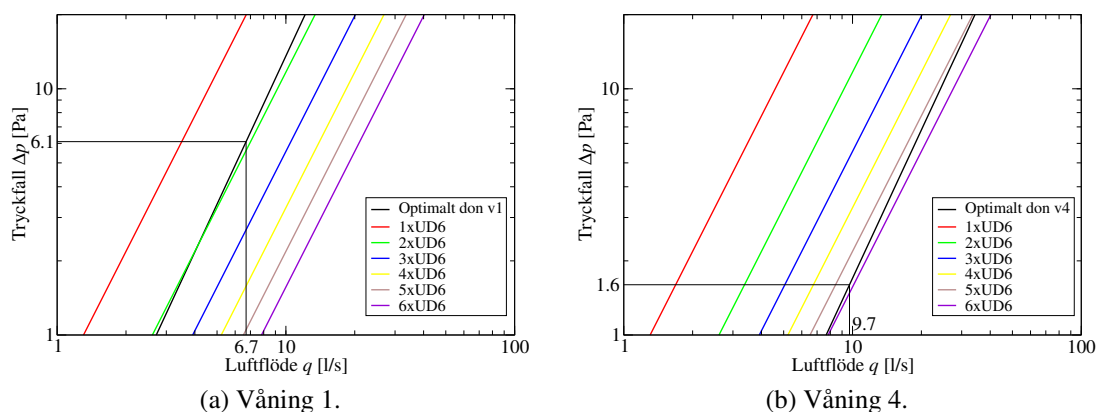
På samma sätt som på våning 1, visar figur 9.21b grafiskt att det krävs 6 parallella don, i varje rum, för att motsvara ett optimalt don.



Figur 9.20: Karakteristik för uteluftsdon som leverar ett tillräckligt luftflöde för att ge godtagbart ventilationsflöde i lägenheten på våning 1 respektive 4.

### 9.4.5.3 Diskussion

Beräkningarna visar tydligt att för att kunna erhålla en god ventilation, enbart genom att installera uteluftsdon, krävs ett don som levererar stora luftflöden vid låga tryckfall. Det gäller framförallt på våning fyra. Ett don som levererar 9,7 l/s vid 1,6 Pa blir mycket svårt att hitta, om det är ens är möjligt. Vidare är det inte rimligt att designa ett ventilationssystem som bygger på att badrumsdörren ska stå öppen hela tiden. Det framgår tydligt att



Figur 9.21: Antal uteluftsdon (Fresh 80 med 6 mm öppning), som motsvarar ett optimalt don som levererar tillräckligt luftflöde för att ge godtagbart ventilationsflöde i lägenheten på våning 1 respektive 4.

det behövs betydligt effektivare överluftsdon om dörren ska hållas stängd. Det är inte heller rimligt att kräva att dörren mellan hall och kök ska hållas stängd. En dörr som sitter mitt i lägenheten och påverkar ljusinsläppet i hallen måste kunna lämnas öppen utan att ventilationen blir lidande.

Detta beräkningsfall visar enbart vad som fodras vid en utetemperatur som motsvarar årsmedelvärdet. Det innebär att under halva året då utetemperaturen är högre än årsmedelvärdet fodras större insatser för att uppnå en god ventilation. Det är med andra ord mycket svårt att uppnå tillräckligt luftflöde i lägenheten utan att komplettera med en fläkt.

Tabell 9.17: Optimering av uteluftsflöde.

Fall	Våning	Tilluft				Frånluft	
		Sovrum 1	Vardagsrum	Sovrum 2	Kök	Badrum	Kök
Grundfall	1	4,6	7,7	3,8	3,7	5,0	14,9
UD10	1	<b>8,3</b>	<b>11,2</b>	<b>7,5</b>	3,5	7,5	<b>23,0</b>
Badrumsdörr öppen	1	<b>8,6</b>	<b>11,7</b>	<b>7,8</b>	3,6	12,4	<b>19,3</b>
Badrumsdörr öppen, köksdörr stängd	1	7,8	<b>10,6</b>	<b>8,2</b>	3,7	<b>17,4</b>	13,0
Strypning imkanal	1	<b>8,2</b>	<b>11,1</b>	<b>7,5</b>	3,4	<b>15,2</b>	<b>15,0</b>
Badrumsdörr öppen, köksdörr stängd	1	7,8	<b>10,6</b>	<b>8,2</b>	3,7	<b>17,4</b>	13,0
Strypning imkanal	1	<b>8,2</b>	<b>11,1</b>	<b>7,5</b>	3,4	<b>15,2</b>	<b>15,0</b>
Ökad tilluft	1	<b>11,0</b>	<b>13,9</b>	<b>10,2</b>	3,4	<b>15,0</b>	<b>23,5</b>
Grundfall	4	2,8	4,7	2,3	2,3	2,8	9,4
UD10	4	5,0	6,8	4,5	2,1	4,2	14,3
Badrumsdörr öppen	4	5,2	7,0	4,7	2,2	7,4	11,7
Badrumsdörr öppen, köksdörr stängd	4	4,8	6,6	4,8	2,3	10,8	7,7
Ökad tilluft	4	<b>11,9</b>	<b>13,4</b>	<b>11,5</b>	1,8	<b>15,0</b>	<b>23,6</b>
Dim. flöde		8	7,6	4	-	15	15

# Kapitel 10

## Avslutande kommentarer

I ett bostadshus är det ventilationssystemets uppgift att föra bort förorenad luft och tillföra frisk luft på ett sätt så att luftkvaliteten bibehålls utan att de boende upplever obehag. De attraktiva egenskaperna hos ett självdragssystem är att det är tyst, relativt enkelt och har låga drift- och underhållskostnader [1]. Det låga drivtrycket gör dock systemet känsligt för yttre påverkan och kräver omtanke vid renovering och ombyggnad. Dessutom är det svårt att förbättra systemet energimässigt eftersom det i princip är omöjligt att återvinna värme i frånluften [133].

Modernisering av självdragssystem har vanligtvis inneburit att dessa ersatts med ett annat ventilationssystem, vanligtvis ett frånluftssystem, ett sk F-system [1, 99]. Installation av ett nytt ventilationssystem innebär ofta stora kostnader och relativt stora ingrepp i fastigheten. De tar ofta stor plats och kan i många fall leda till negativa arkitektoniska förändringar [1, 27, 100, 140]. En förklaring till att så omfattande åtgärder vidtagits istället för att förbättra det befintliga ventilationssystemet kan vara att valet i viss mån styrts av äldre bostadsfinansieringsregler [3, 27].

Bidrags- och lånevillkor och normer har, och har haft, en inverkan på val av åtgärder vid renovering och ombyggnad [3, 27]. Statens avsikt med bidrag- och lånesystem är flera. Det kan exempelvis vara ett sätt att förbättra arbetsmarknaden inom byggsektorn och på så sätt stimulera ekonomin. En annan orsak är att åstadkomma energibesparingar [100].

Med dagens krav på varsamhet enligt PBL, se avsnitt 7.1, ska åtgärder inriktas mot mer varsamma renoveringar och ombyggnader. I BÅR som återger Boverkets tolkning av varsamhetskravet står följande: ”Nytt ventilationssystem bör installeras endast om befintligt ej kan kompletteras för att uppnå avsedd luftväxling” [103, 105]. Krav på varsamhet är självklart extra starkt i byggnader med kulturhistoriskt värde, men det innebär inte att man inte får göra något i dessa byggnader och att det är fritt fram i övriga [100].

1999 inrättade Sverige ett miljömålsystem med miljökvalitetsmål med syftet att Sverige ska lösa en rad miljöproblem till nästa generation, år 2020. I miljökvalitetsmålet ”God bebyggd miljö” är ett av delmålen att minska energianvändningen i byggnadsbeståndet [141]. Den totala bostadsytan i Sverige är ca 450 miljoner m<sup>2</sup>. Varje år byggs ca 2 miljoner m<sup>2</sup> ny bostadsyta. Nyproducerade bostäder utgör således mindre än 0,5% av det befintliga bostadsbeståndet. För att lyckas minska energibehovet, måste åtgärder även vidtas i det befintliga byggnadsbeståndet där självdragsventilerade flerbostadshus är en icke försumbar del. Även om alla nya bostäder är energieffektiva kommer inte energibehovet för byggnadsbeståndet att minska. Däremot minskar ökningen av energibehovet [35]. Tyvärr är det ofta både svårare och dyrare att sänka energibehovet i ett befintligt hus än att bygga ett nytt

energieffektivt hus.

En vanligt sätt att spara energi har varit att minska inläckningen av luft genom att tätat klimatskärmen. I många fall har man då förbiset en viktig sak, nämligen att installation, byggnad och brukare tillsammans utgör ett totalsystem och att de påverkar varandra. Visserligen är det möjligt att spara energi genom att tätat klimatskärmen, men det är viktigt att arbetet utförs på rätt sätt. Rätt sätt innebär i det här fallet att klimatskärmen tätas men samtidigt förses med öppningar (läs uteluftsdon) för tillförsel av erforderlig uteluft. Risken är annars att åtgärden leder till kraftigt försämrade ventilation och inomhusmiljö och i förlängningen ökade energikostnader. Ventilationstekniska åtgärder för att sänka energiförbrukningen i ett självdragsventilerat flerbostadshus är främst att minska luftflödet under årets kalla dagar och att eliminera bakdrag.

Vindförhållanden vid skortensmyningen har en mycket stor inverkan på luftväxlingen i en självdragsventilerad byggnad. Vinden kan skapa såväl under- som övertryck i kanalen. Härigenom finns en risk för både överventilering som bakdrag. Det undertryck som uppstår när vinden sveper över skorstenen kan nästan helt elimineras genom att förse ventilationskorstenarna med turbulensbildande huvar, exempelvis en SPAR-VEN huv. En sådan huv utjämnar även tryckskillnaden mellan de olika frånluftskanalerna och minskar därigenom risken för bakdrag.

Den termiska drivkraften i ett självdragssystem ökar med sjunkande utetemperatur. Därmed ökar även tilluftsflödet när temperaturen ute sjunker. Kalla dagar kan det därför vara svårt att undvika överventilering och drag. Därför bör luften tas in via termostatstyrda spring- eller väggventiler. Dessa ventiler reglerar luftflödet genom att tryckfallet över donet förändras med utetemperaturen. Ett annat sätt att undvika drag är att förvärma tilluften, t.ex. i en konvektor [128].

Under varma dagar fungerar självdraget mindre bra eller inte alls. Lågt luftflöde innebär i första hand en försämrade luftkvalitet, men ett lågt luftflöde kan på sikt leda till allvarliga skador på själva byggnaden. Fuktbelastningen i bostäderna är normalt högre idag än tidigare vilket ökar risken för fukt- och mögelskador. Låg ventilation i kombination med hög fuktbelastning leder på längre sikt till problem med fukt. Problemet accentueras om ytterväggar, fönster och dörrar tätas och det inte finns uteluftsdon.

Ett vikande drivtryck kan kompenseras genom att installera en hjälpfläkt. Denna fläkt ska inte köras kontinuerligt utan enbart förstärka ventilationsflödet när det termiska drivtrycket är otillräckligt. Fläkten placeras lämpligen i en samlingshuv, gemensam för flera frånluftskanaler, eftersom luftflödet måste forceras samtidigt i alla kanaler för att undvika bakdrag.

Självdragssystemets känslighet på grund av sitt låga drivtryck innebär att det är ytterst viktigt att ha förståelse för hur systemet fungerar. Detta ställer krav på alla inblandade parter, fastighetsägare, brukare, tillsynsmyndigheter, etc. Tyvärr är det inte alltid fallet, inte ens när det gäller myndigheterna. Föreskrifter och råd i äldre versioner av BBR var tidigare förhållandevis detaljerade jämfört med dagens version. De var riktade på tekniska lösningar istället för den funktion som systemet skulle uppfylla. Litteraturen visar på att myndigheternas rekommenderade lösningar i flera fall haft negativa följder. Ett exempel på detta är bakdrag orsakat av att frånluftsfläktar installerats i kökets och badrummens frånluftskanaler. I äldre byggnormer anbefalls t.ex. att en spiskåpa sätts upp i köket för att förbättra köksventilationen. Detta ansågs vara ett berättigat krav på standardhöjning vid ombyggnad av äldre bostäder. Kolfilterfläkt anges inte ens som ett alternativ! Vidare föreslås även punktut-

sug i bad och WC. Ett annat exempel på motsägelsefulla rekommendationer i byggnormer gäller till- och frånluftsdon. I SBN 67 (BABS 1967) anges don som är tättslutande. Ett don bör aldrig stängas helt på grund av risken för bakdrag

Litteraturstudien i denna rapport visar att det bör ställas vissa grundkrav på ett självdragssystem. Rena och hela kanaler, uteluftsventiler i sov- och vardagsrum samt överluftsdon (endast i ett centraliserat system). Ett annat grundkrav som också kan ställas är att kanalanslutna fläktar i badrum och kök inte får installeras på grund av risken för bakdrag. En kolfilterfläkt i köket är ett lämpligare alternativ. Dessa krav förbättrar självdragssystemets funktion och bör alltid vara uppfyllda. Åtgärder som kräver större investeringar bör inte genomföras utan en noggrann analys för att säkerställa att de verkligen kan leverera ett tillräckligt flöde.

En annan slutsats är att boende i fastigheten bör få information om hur självdragsventilation fungerar och vad de kan göra för att bidra till en god ventilation och därmed ett bra inomhusklimat.

En turbulensbildande huv är en åtgärd som kan övervägas om de boende upplever problem med drag eller om man önskar att minska energianvändningen kopplat till överventilering vintertid. En huv syftar till att eliminera vindens ejektorverkan och gör att endast den termiska drivkraften verkar på självdragssystemet, vilket i sin tur försämrar ventilationen under sommaren när temperaturskillnaden mellan inne och ute är liten. Om ventilationsystemet ska leverera ett stabilt och jämnt luftflöde året om är det nödvändigt att komplettera systemet med en central fläkt.

Beräkningar med PFS visar att självdragssystemet i ett flerbostadshus från 1945, inte klarar dagens krav gällande ventilationsflöde. I analysen behandlas en 3-rums lägenhet på våningsplan ett respektive fyra. På våningsplan 4 blir luftflödet aldrig tillräckligt oavsett årstid. På våningsplan 1 uppnås delvis tillräckligt ventilationsflöde. I det stora sovrummet och badrum fås aldrig tillräckligt flöde oavsett årstid. I beräkningarna antas att klimatskärmen är dubbelt så otät som BBR94s krav på  $0,8 \text{ l/(s m}^2\text{)}$  vid ett tryckfall på 50 Pa över väggen. Ett luftläckage på  $1,6 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ , är dock allt för lågt för att få tillräcklig lufttillförsel i den aktuella bostaden, oavsett våningsplan. Vid en utomhustemperatur som motsvarar årsmedeltemperaturen, uppnås erforderligt luftflöde endast i vardagsrum och kök, på våningsplan 1. I övriga fall krävs en infiltration, oavsett våningsplan, från 1,7 till  $24,6 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ . Ett läckage som är 31 ggr större än BBR94s krav är orimligt högt. Resultatet indikerar att lufttillförseln bör ökas genom att installera tilluftsdon i klimatskärmen. Enligt beräkningar ökar denna åtgärd till- och frånluftsflödet i lägenheterna, men det räcker inte helt för att lösa problemet. Flödena är fortfarande allt för låga. För att uppnå tillräckliga flöden fordras ett don som levererar stora luftflöden vid lågt tryckfall. Alternativt kan flera parallella don användas. Analysen visar att det då krävs två och sex(!) don i varje rum på våning 1 respektive 4. Beräkningarna bekräftar således litteraturstudiens slutsats, att en central hjälpfläkt är nödvändig för att leverera ett stabilt och tillräckligt luftflöde året om.

En naturligt fortsättning på detta arbete vore att genomföra en PFS-analys av ett flerbostadshus med en central hjälpfläkt.

Ett alternativ till hjälpfläkten skulle kunna vara en självbromsande vindsnurra. Denna lösning fodrar dock en utredning om vilket tryckfall snurran har då den står stilla. Ett för stort tryckfall försämrar luftflödet och kan i värsta fall leda till bakdrag.

Luftflödesberäkningarna med PFS visar att klimatskärmens täthet är en viktig faktor. Det antagande som görs i denna studie gällande ytterväggens täthet är osäkert. Fortsatta

studier bör därför utföras för att bestämma klimatskärmens täthet, både genom modellering och mätning. En historisk översikt av klimatskärmens täthet vore också nyttig för att bättre kunna föreslå lämpliga åtgärder för energibesparing och förbättring av luftkvalitet i det befintliga bostadsbeståndet.

I denna rapport refereras till flera studier av uteluftsdon lämpliga för installation i självdragssystem. Dessa studier är av äldre modell. Ny data för dagens don bör tas fram, hur de tillför luft till rummet och det tryckfall de ger upphov till.

# Litteraturförteckning

- [1] Solveig Schulz, redaktör. *Hus och ventilation vid ombyggnad. Natur och teknik i samverkan*. Institutionen för Arkitekturhistoria, Bebyggelsevård, Chalmers tekniska högskola, 1993.
- [2] Kenneth Sandin. *Värme luftströmning fukt*. Avdelningen för byggnadsfysik. Lunds tekniska högskola, 1990.
- [3] Lennart Eriksson, Tonny Masimov och Stefan Westblom. Flerbostadshus med styrd självdragsventilation och värmeåtervinning. Rapport R67:1986, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm, 1986. ISBN 91-540-4599-1.
- [4] Carl-Eric Hagentoft. *Vandrande fukt, strålände värme: så fungerar hus*. Studentlitteratur, Lund, 2002. ISBN 91-44-04218-3.
- [5] Leif Brodersen. Naturlig ventilation och byggnadskonst. luftens etik och estetik. Forskningsrapport TRITA-ARK-1996:1, Institutionen för Arkitektur och stadsbyggnad, Kungliga Tekniska Högskola, 10044 Stockholm, 1996.
- [6] Bengt-Olof Hecktor. Fläktförstärkt och styrd självdragsventilation. en förstudie. Rapport R7:1990, Bygghörsningsrådet, Stockholm, 1990. ISBN 91-540-5145-2.
- [7] Karin Adalberth. *God luftäthet. En guide för arkitekter, projektörer och entreprenörer*. Bygghörsningsrådet, Stockholm, 1998. ISBN 91-540-5809-0.
- [8] Enno Abel, Lars Andersson, Åke Blomsterberg, Karol Dubinski, Kamal Handa, Tore Hansson, Arne Johnson, Gunnar Kärrholm och Mats Persson. Ofrivillig ventilation. förutsättningar och betydelse för byggnaders värmebalans. Rapport R34:1978, Statens råd för bygghörsning, Stockholm, 1978. ISBN 91-540-2838-8.
- [9] Lars Erik Nevander och Bengt Elmarson. *FUKT handbok. Praktik och teori*. Svensk Byggtjänst, Stockholm, 3 utgåvan, 2008. ISBN 978-91-7333-156-2.
- [10] Kenneth Sandin. *Praktisk Byggnadsfysik*. Studentlitteratur, Lund, 2010. ISBN 978-91-44-05991-4.
- [11] Birgitta Nordquist. Analys av skolor med fläktförstärkt självdrag. Rapport TVIT-07/3005, Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet, 2007. ISBN 978-91-85415-04-5.

- [12] Hazim B. Awbi. *Ventilation of buildings*. Chapman & Hall, London, 1991. ISBN 0-419-15690-9.
- [13] Göran Jönsson. *Fysik i vätskor och gaser*. Teach Support, Lund, 8 utgåvan, 2009. ISBN 978-91-972499-9-7.
- [14] Tord Isaksson och Annika Mårtensson. *Byggkonstruktion. Regel- och formelsamling. Eurokod*. Konstruktionsteknik LTH, Lund, 2010.
- [15] Per Olof Nylund. Räkna med luftläckningen. samspel byggnad – ventilationen. Rapport R1:1984, Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1984. ISBN 91-540-4052-3.
- [16] Bengt-Olof Hecktor. Ventilationssystem för varsam ombyggnad. *VVS & Energi*, 5:40–46, 1987.
- [17] Anders Almgren, redaktör. *Byggnads- och installationsteknikens utveckling under 1900-talet*. Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, 1998. Rapport TVBH-7217.
- [18] Cecilia Björk, Per Kallstenius och Laila Reppen. *Så byggdes husen 1880-2000: arkitektur, konstruktion och material i våra flerbostadshus under 120 år*. Formas, Stockholm, 2003.
- [19] Ragnar Hjertén, Ingemar Mattson och Helena Westholm. *Som man bygger får man ventilera. Om arkitektur och inomhusklimat*. Arkus, 1996.
- [20] Sven-Erik Bjerking. Ombyggnad. hur bostadshusen byggdes 1880–1940. Rapport R32:1974, Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm, 1974. ISBN 91-540-2355-6.
- [21] Carl Gösta Hellgren och Helena Adolphson. Ventilation i äldre byggnader. Teknisk rapport, Statens Fastighetsverk, 2009.
- [22] Göran Stålblom. *Varmt och vädrat. VVS-teknik i äldre byggnader*. Sveriges VVS museum, SBUF, VVS Företagen, 2010. ISBN 978-91-976619-5-9.
- [23] Catarina Warfvinge. Installationsteknik AK för V. Rapport TABK–94/7016, Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för byggande och arkitektur, Lunds Universitet, 2003.
- [24] Ulla Orestål. *Ventilation förr och nu: En handbok och regelsamling för ventilationskontroll*. AB Svensk Byggtjänst, 4 utgåvan, 2007. ISBN 978-91-7333-236-1.
- [25] SABO. *D: Ventilation, inomhusklimat*. Fukt & Mögel. Sveriges allmännyttiga bostadsföretag (SABO). Svensk byggtjänst, Stockholm, 1989.
- [26] Åke Hallstedt. *Varsam ombyggnad av ventilationssystem för äldre hus. Teoridel till Ventilationsguiden för ombyggnad*. R36:1994. Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1994. ISBN 91-540-5680-2.
- [27] Åke Hallstedt. *Ventilationsguiden. Byggherrens guide för bostadsventilation. Ombyggnad*. Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1995. ISBN 91-540-5720-5.



- [28] Göran Stålblom. Renovering av hus med vädringsluckor. vilka slutsatser kan man dra av miljööverdomstolens utslag. *VVS-forum*, ss 88–90, April 2009. Specialnummer renovering.
- [29] Claes Hammarlin. Självdragsventilation är inte underhållsfri. *Fastighetstidningen*, 6:19–21, Mars 1990.
- [30] Anders Svensson. Ventilationssystem för bostäder. *VVS Teknik & Installation*, ss 57–59, Oktober 2005.
- [31] Göran Karlsson och Sören Lindgren. Tätning av ventilationskanaler i byggnader. Rapport R7:1983, Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1983. ISBN 91-540-3862-6.
- [32] Arbetsmiljöverket. Asbest. AFS 2006:1, Arbetsmiljöverket, Solna, 2006. ISBN 91-7930-466-4.
- [33] Boverket. *Så mår våra hus - redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m.* Boverket, september 2009. ISBN pdf 978-91-86342-29-6.
- [34] Sören Lindgren och Lars Törnquist. *Ventilationskanaler. Så tätar man.* Nummer T20:1995. Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1995. ISBN 91-540-5724-8.
- [35] Enno Abel och Arne Elmroth. *Byggnaden som system.* Forskningsrådet Formas, 2 utgåvan, 2008. ISBN 978-91-540-6020-7.
- [36] Kristina Widgren, redaktör. *Socialstyrelsen allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken – ventilation*, band 1999:25 av *Socialstyrelsens författningssamling SOSFS*. Socialstyrelsen, Stockholm, December 1999.
- [37] Birgitta Johansson och Paula Hammerskog. *God inomhusmiljö – en handbok för fastighetsägare.* Fastighetsägarna Stockholm, Alströmergatan 14, Box 12871, 112 98 Stockholm. ISBN 978-91-977309-2-1.
- [38] Byggeforskningsrådet. *Ventilation – Innemiljö & människors hälsa. Nr 4*, band 4 av *Hus och Hälsa*. Byggeforskningsrådet, Stockholm, 2000. ISBN 91-540-5851-1.
- [39] Urban Norlén och Kjell Andersson, redaktörer. *Bostadsbeståndets inneklimat. ELIB-rapport nr 7.* Forskningsrapport TN:30. Statens institut för byggnadsforskning, April 1993. ISBN 91-7111-055-0.
- [40] Björn Mattsson, Anders Carlsson, Meng Seng Te och Suzanne Pluntke, redaktörer. *Energi i bebyggelsen – tekniska egenskaper och beräkningar – resultat från projektet BETSI.* Boverket, 1 utgåvan, December 2010. ISBN 978-91-86559-84-7.
- [41] I. Myers och R. L. Maynard. Polluted air – outdoors and indoors. *Occupational Medicine*, 55:432–438, 2005.
- [42] H. E. Hansen, P. Kjerulf-Jensen och Ole B. Stampe, redaktörer. *Varme- og klimateknik, Grunbog*, kapitel 1. Indeklima. Danvak ApS, 2 utgåvan, 1997. ISBN 87-982652-8-8.

- [43] Ingvar Ygberg, redaktör. *Andnöd – en handbok om luften i våra bostäder*. Svensk Ventilation; i samverkan med VVS Tekniska föreningen, Stockholm, 2005. ISBN 91-631-6765-4.
- [44] Mats Persson. *Dimensionerande luftflöde. Metodik för bestämning av dimensionerande luftflöde vid projektering av anläggningar för luftbehandling*. AB svensk byggtjänst, Stockholm, 2001.
- [45] Byggforskningsrådet. *Innemiljö & människors hälsa: Byggnadsmaterial. Nr 3. Hus och hälsa*. Byggforskningsrådet, Stockholm, 2000. ISBN 91-540-5854-6.
- [46] Sundell mfl. Utdrag ur *problem med inomhusklimat*. BFR A8:1997.
- [47] Sven Kvarnström, Leif Norell och Ove Strindehag. Visst går det att kontrollera inomhusluftens kvalitet. *VVS & Energi*, 10:57–59, 1989.
- [48] Thomas Lindvall. Det sunda huset. *Miljöforskning*, 3:8–10, 2002.
- [49] Ingvar Ygberg, redaktör. *Luften inne dödar*. Svensk Ventilation, 2004. ISBN 91-631-5066-2.
- [50] Jan Sundell, redaktör. *Inneboken*. AB Svensk Byggtjänst, 1998. ISBN 91-7332-860-X.
- [51] Lars Ekberg. *R1 – Riktlinjer för specifikation av inneklimatekrav*. VVS Tekniska Föreningen, 2006. ISBN 91-976271-0-0.
- [52] Aneta Wierzbicka (née Szpila). *What are the characteristics of airborne particles that we are exposed to? Focus on indoor environments and emissions from biomass fired district heating*. Doctoral thesis, Ergonomics and Aerosol Technology, Department of Design Sciences, Lund University, Sweden, April 2008.
- [53] Claes-Gunnar Ericsson, Greta Smedje och Gunilla Wieslander. Partiklar i inomhusmiljön – en litteraturgenomgång. Rapport 2006-123-1, Socialstyrelsen, 2006.
- [54] Lars Barregård och Gerd Sällsten. Formaldehyd. En kunskaps sammanställning och riskbedömning. Rapport 5399, Naturvårdsverket, September 2004. ISBN 91-620-5399-X.
- [55] Mattias Öberg och Katarina Victorin, redaktörer. *Miljöhälsorapport 2009*. Rapport 2009-126-70. Socialstyrelsen, 2009. ISBN 978-91-978065-7-2.
- [56] Arne Amsköld, Kjell Andersson, Sven Andersson, Sten Holgersson, Johnny Kellner, Leif Jacksson, Kurt Jonsson, John Larsson, Thomas Lindvall, Leif Norell, Sven-Olof Ryding, Kurt Sjökvist, Göran Stridh, Göran Sundberg, Lars Sundberg, Sven A. Svennberg och David Wyon. *Ditt inomhusklimat*. Industriförbundets förlag AB, Stockholm, 1990. ISBN 91-7176-163-2.
- [57] Naturvårdsverket, Stockholm. *Luftguiden. Handbok om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft. Handbok 2011:1*, 1 utgåvan, Januari 2011. ISBN 978-91-620-0171-1.

- [58] Sven Toresson, redaktör. *Luftvård*. Avdelningen för tillämpad miljövetenskap. Göteborgs universitet, Göteborg, 6 utgåvan, 1997.
- [59] Claes Bernes. *En varmare värld. Växthuseffekten och klimatets förändringar*. Naturvårdsverket, Stockholm, 2003. ISBN 91-620-1228-2.
- [60] Bengt Hubendick, redaktör. *Miljö från A till Ö. Svenska folkets miljölexikon*. Bokförlaget bra böcker, 1992.
- [61] Lars E. Ekberg. *Luftkvalitet i moderna kontorsbyggnader*. Licentiatavhandling, Chalmers Tekniska Högskola, Avd för installationsteknik, Göteborg, 1992. ISSN 0283-8761.
- [62] A. K. Persily. The relationship between indoor air quality and carbon dioxide. I: *Indoor Air '96, The 7th International conference on indoor air quality and climate*, band 2, ss 961–966, Nagoya, Japan, July 21-26 1996.
- [63] Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar. AFS 2005:17, Arbetsmiljöverket, 2005.
- [64] Johnny Kellner och Göran Stålbom. *Byggande och miljö – Om hälsa, välbefinnande och hållbar utveckling*. Byggförlaget, 2001. ISBN 91-7988-208-0.
- [65] Nils Einar Wahlgren. Behovsstyrd ventilation – en fråga om koldioxidhalt. *Energi & Miljö*, 1-2:44–45, 1996.
- [66] Per-Erik Nilsson. God inomhusmiljö. RAPP NR 2000:2, EFFEKTIV, SP Sveriges Provnings och Forskningsinstitut, Borås, 2000. ISBN 91-7848-825-7.
- [67] Arbetsplatsens utformning. AFS 2009:2, Arbetsmiljöverket, 2009. ISBN 978-91-7930-512-1.
- [68] Atom- och kärnfysik med tillämpningar, LTH 2007. *KF-III Alfa- och betastrålning. Laboration i kärnfysik 2007*.
- [69] Gilbert Jönsson. *Om radon – Var, när, hur?* Studentlitteratur, Lund, 1992. ISBN: 91-44-37641-3.
- [70] Bertil Clavensjö och Gustav Åkerblom. *Radonboken: åtgärder mot radon i befintliga byggnader*. Formas, Stockholm, 2 utgåvan, 2007. ISBN 978-91-540-5987-4.
- [71] Bertil Clavensjö och Gustav Åkerblom. *Radonboken: åtgärder mot radon i befintliga byggnader*. Formas, Stockholm, 2003. ISBN 91-540-5898-8.
- [72] Joakim Thunborg (projektledare). Radon i inomhusmiljön – en konsekvensanalys av att införa WHO:s nya rekommendationer på radonvärden. Rapport 1253-2568/2010, Boverket, Oktober 2010. ISBN: 978-91-86559-86-1.
- [73] Bertil Clavensjö. Radonåtgärder i småhus – hur effektiva är de? Teknisk rapport B6087-5060/96, Boverket, byggavdelningen, Karlskrona, Mars 1999. ISBN: 91-7147-532-X.

- [74] Bertil Clavensjö och Gustav Åkerblom. *Radonboken: åtgärder mot radon*. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm, 1992. ISBN: 91-540-5407-9.
- [75] Gustav Åkerblom. Blåbetong, en källa till radon och gammastrålning. *Byggindustrin*, 26:22–25, 1995.
- [76] Statens Offentliga Utredningar. Radon: Fakta och lägesrapport om radon. Betänkande av Radonutredningen 2000 – Del 2 SOU 2001:7, Regeringskansliet, 2000. ISBN: 91-38-21393-1.
- [77] Bertil Clavensjö och Gustav Åkerblom. *Radonboken: förebyggande åtgärder i nya byggnader*. Formas, Stockholm, 2004. ISBN 91-540-5926-7.
- [78] Gilbert Jönsson. Radonfaran större än du trott. *Forskning och Framsteg*, 8:10–17, 1982.
- [79] Uno Dellgar och Sune Häggbom. *Byggnader och luft. Vad luftrörelser kan ställa till med och hur man skapar kontroll*. Svensk Byggtjänst, Stockholm, 2004. ISBN 91-7333-086-8.
- [80] Lunds tekniska högskola. Avdelningen för byggnadsmaterial. *Kompendium i byggmaterialvetenskap*. Lunds tekniska högskola. Avdelningen för byggnadsmaterial, Lund, 2007 utgåvan, oktober 2007.
- [81] Svensk Ventilation i samverkan med VVS Tekniska föreningen och Astma och Allergi Förbundet. *Luften inne dödar*, 2004. ISBN: 91-631-5066-2.
- [82] Rune Pehrsson, Ann-Christine Albertsson, Arne Hyppel och David Södergren. Mögel i våtrum. analys och åtgärdsförslag. Rapport R5:1986, Byggnadsrådet, Stockholm, ISBN 91-540-4508-8 1986.
- [83] Socialstyrelsen. Temperatur inomhus. Handböcker för handläggning 2005-101-6, Socialstyrelsen, september 2005.
- [84] Ingvar Ygberg, redaktör. *Bäst i klassen – en bok om lönsamt inneklimate*. Svensk Ventilation, Stockholm, 2006. ISBN 91-631-9531-3.
- [85] Désirée Gavhed och Ingvar Holmér. Det termiska klimatet på arbetsplatsen. Arbetslivsrapport 2006:2, Arbetslivsinstitutet, Stockholm och Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet, Lund, 2006. ISSN 1401-2928.
- [86] Per Gunnar Burström. *Byggnadsmaterial; Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur, Lund, 2001. ISBN 91-44-01176-8.
- [87] David Wyon. Hur påverkas produktivitet och prestation av inomhusklimatet? *VVS & energi*, 3:59–65, 1986.
- [88] Anders Svensson. Ventilationsteknik. del av kursmaterial för Installationsteknik FK. Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH, Lund, augusti 1995.
- [89] Catarina Warfvinge och Mats Dahlblom. *Projektering av VVS-installationer*. Studentlitteratur, Lund, 1:1 utgåvan, 2010. ISBN 978-91-44-05561-9.

- [90] Nils Blom, redaktör. *Socialstyrelsens allmänna råd om temperatur inomhus*, band 2005:15 av *Socialstyrelsens författningssamling SOSFS*. Socialstyrelsen, Stockholm, Augusti 2005.
- [91] Byggeforskningsrådet. *Hus och Hälsa 7. Byggnadsförvaltning*. T/Byggeforskningsrådet, 2000:12. Byggeforskningsrådet, Stockholm, 2000.
- [92] Bertil Clavensjö, Sören Lindgren, Hans Söderström, Ulf Vallenor, Arne Walter, Åke Wadding och Bengt E. Erikson. Ventilationstekniska lösningar i ombyggda flerbostadshus. forskningsuppgiften. redovisning av ett pilotprojekt. Meddelande M85:9, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle, 1985. ISBN 91-540-9225-6.
- [93] Eva Harderup. Fuktdimensionering med generell checklista. Rapport TVBH-3031, Avdelningen för byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola, Lund, December 1999. ISBN 91-88722-14-7.
- [94] Bertil Fredlund. Lågemissionsglas och renovering förbättrar äldre fönsters värmeisolering. Teknisk rapport, Institutionen för byggnadskonstruktionslära, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet, 1999.
- [95] Arne Elmroth, Christer Hjalmarsson, Urban Norlén och Conny Rolén. Energisparåtgärder i bostadshus. Teknisk rapport T13:1991, Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1991. ISBN 91-540-5335-8.
- [96] SABO. Ventilationsdon i lägenheter. skötseltips. Informationshäfte 16, SABO, November 1989. ISBN 91-7332-517-1.
- [97] Luften i din lägenhet påverkar hälsan. Inomhusmiljö 080122 infobladd, Malmö stad.
- [98] Kenneth Sandin. Byggnadstekniska begrepp. Kompendium för självstudier, Institutionen för byggnadsteknik, Byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola, Lund, 1996.
- [99] Bengt-Olof Hecktor och Gert Rännér. Kontrollerad naturlig ventilation med värmeåtervinning. utvärdering av ett experimentbyggnadsprojekt. Rapport R66:1988, Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1988. ISBN 91-540-4922-9.
- [100] Benedikta Cavallin. Spara energi – men glöm inte estetiken. *Fastighetstidningen*, 3:38–41, Mars 2008.
- [101] Byggeforskningsrådet och Boverket. Hus & hälsa: Ventilation – inomhusmiljö och människors hälsa. BFR T9:2000, Byggeforskningsrådet, Stockholm, 2000. ISBN 91-540-5851-1.
- [102] Boverket, Karlskrona. *Regelsamling för byggande, BBR 2008*, 1 utgåvan, Juni 2008. ISBN 978-91-86045-03-6.
- [103] Göran Stålblom och Lars Almqvist. Luft och ventilation i gamla byggnader. en orientering om samhällets krav vid förvaltning och ombyggnad. Stockholm, April 2005. En bilaga till ett SBUF-projekt.

- [104] Göran Stålblom. Regler om innemiljö och ventilation – på fyra nivåer. *VVS teknik & installation*, ss 80–83, Oktober 2005.
- [105] Boverket, Karlskrona. *Allmänna råd om ändring av byggnad, BÄR*, 4:2 utgåvan, november 2009. ISBN 91-7147-984-8.
- [106] Boverket. *Regelsamling för byggande, BBR 2012*. Boverket, Karlskrona, 1 utgåvan, oktober 2011. ISBN (pdf): 978-91-86827-41-0.
- [107] Boverket. om nya regler för ändring av byggnader i Boverkets byggregler. Boverket informerar 2011:4, Boverket, 2011.
- [108] Boverket, Karlskrona. *Regelsamling för funktionskontroll av ventilationssystem, OVK*, 3:2 utgåvan, Juli 2009. ISBN 978-91-86342-23-4.
- [109] Henrik Lundström. Brister i innemiljön. drabbade har svårt att få ersättning. *Energi & Miljö*, 9:36–38, September 2009.
- [110] Mark Kretz. Tufft inomhusklimat för jurister. *Energi & Miljö*, 3:40–41, Mars 2006.
- [111] Ingrid Alerstedt. Sammanträdesprotokoll 2006-05-08. Teknisk rapport, Varbergs kommun, Miljö- och räddningsnämnden, 2006.
- [112] Vänersborgs tingsrätt. Miljödomstolen. Mål nr M 296-00, M 337-00. Dom, 2003-02-14, meddelad i Vänersborg.
- [113] Länsstyrelsen Halland. Överklagande av Miljö- och räddningsnämndens i varbergs kommun beslut enligt miljöbalken. Beslut 25-7892-00, 2000-11-08.
- [114] Svea hovrätt. Miljööverdomstolen. Mål nr M 2084-03, Dom, 2004-12-15.
- [115] Staffan Jacobsson och Sören Lindgren. Värderingsmall för olika ventilationstekniska lösningar. problemanalys och checklista. Rapport R62:1985, Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1985. ISBN 91-540-4398-0.
- [116] Monica Sterner Juto. Gäller också flerbostadshus: radon är värt en mätning. *Fastighetstidningen*, 9:29, 31–33, 1990.
- [117] E. Nilsson, A.-C. Johansson, J. Brunskog, L.-G. Sjökvist och D. Homberg. Grundläggande akustik. TVBA 3116, Teknisk akustik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet, Lund, September 2002.
- [118] Bertil Clavensjö och Per Höjerdal, redaktörer. *Ventilationstekniska lösningar i ombyggda flerbostadshus*, band T18:1989 av *Studier av ventilationssystem*. Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1989. ISBN 91-540-5103-7.
- [119] Bengt E. Eriksson och Anders Mellin. Undersökning av don för F och S-system. meddelande/bulletin M78:19, Statens institut för byggnadsforskning, 1978. ISBN 91-540-9036-9.

- [120] Ulf Krüger. *Ventilation och termiskt klimat i bostadsrum. Laboratorie- och fältmätningar*. Licentiatavhandling, Avdelningen för installationsteknik. Chalmers tekniska högskola, Göteborg, 1993.
- [121] Anders Svensson. Tilluftsdon avgörande för inneklimatet. *VVS Teknik & Installation*, ss 64–66, Oktober 2005.
- [122] B. E. Eriksson och S. Olsson. Ventilationskanalers täthet. Byggforsknings informationsblad Blad 1962:7, Statens institut för byggnadsforskning, 1962.
- [123] B. E. Eriksson. Läckage i ventilationskanaler av plåt. Rapport 40:1969, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm, 1969.
- [124] *AMA VVS & Kyl 09: allmän material- och arbetsbeskrivning för vvs- och kyltekniska arbeten*.
- [125] Géza Kecskeméthy, István Kovácsay och Balázs Zsigmond. Composite chimneys. I: *16th International conference on composite materials*, Kyoto, Japan, July 2007. ICCM.
- [126] Birgitta Nordquist. Vädring i skolor – ett komplement till normal ventilation? Report TABK–98/1014, Department of Building Service, Lund institute of technology, Lund University, Lund, 1998.
- [127] Claus Laurén. Fransk vindsnurra ger ventilation utan tillförd energi. *VVS & Energi*, 11:72, 1986.
- [128] Varis Bokalders och Maria Block. Hybridventilation. Erfarenhet och modern teknik. *Kretslopp*, 3:49–55, 2003.
- [129] Varis Bokalders och Maria Block. *Byggekologi: kunskaper för ett hållbart byggande*. Svensk byggtjänst, Stockholm, 2004. ISBN 91-7333-070-1.
- [130] Samvirkende Energi og Miljøkontorer; Organisationen for Vedvarende Energi; Landsforeningen Økologisk Byggeri. Hvad er en solskorsten. *Vedvarende Energi & Miljø*, 3:22, Juni 2003.
- [131] Trine Dalsgaard Jacobsen, Søren Østergaard Jensen, Claus Schøn Poulsen och Hans Madsbøll. *Naturlig ventilation med varmegenvinding og solassistance – forundersøgelser*. Teknologisk Institut, 1 utgåvan, 1999. ISBN 87-7756-537-1.
- [132] Mats Sandberg. Hybridventilation – nytt ord, ny tanke. *Byggforskning*, 6:22–23, 1999.
- [133] Annika Nilsson, Catarina Warfvinge och Bengt Dahlgren. *Undvik fel och fällor som ökar energianvändningen i byggnader*. Sveriges Byggindustrier (FoU-Syd), Malmö, 2008. ISSN 1652-63-92.
- [134] Lars Jensen. Installationstekniska beräkningar med PFS. arbetsrapport för forskningsprojektet: Datorsimulering av installationstekniska system med stöd från

- Formas 2004-279 och SBUF 11223. Rapport TVIT-07/7009, Avdelningen för installationsteknik. Institutionen för bygg- och miljöteknologi. Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund, 2007.
- [135] Helge Enberg. *Minimikrav på luftväxling. En tolkning av Boverkets byggregler, Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter, Socialstyrelsens allmänna råd och andra dokument.* H Enberg, Ventilationskonsult AB, Linjegatan 12 E, 745 62 ENKÖPING, 3 utgåvan, 1997. ISBN 91-630-5209-1.
- [136] Lars Jensen. PFS reference manual. Report TABK-98/7044, Division of Building Services. Department of Construction and Architecture. Lund Institute of Technology. Lund University, Lund, 2002.
- [137] Les Hamill. *Understanding hydraulics.* Palgrave, 2 utgåvan, 2001. ISBN 0-333-77906-1.
- [138] Henry Nyman och Sören Danielsson. *Ljuddimensionering av ventilationssystem, T11:1998.* Byggforskningsrådet, Stockholm, 1998. ISBN 91-540-5815-5.
- [139] Ulf Sundberg. Mormors skafferi öppnas på nytt. *Sydsvenskan*, 27 februari 2012.
- [140] Roland Sagström. *VVS installationer.* Nummer 3 i Åtgärder i befintlig bebyggelse. Svensk byggtjänst, Solna, 1995.
- [141] Naturvårdsverket. Miljömålen på ny grund. naturvårdsverkets utökade årliga redovisning av miljö kvalitetsmålen 2011. Rapport 6433, Naturvårdsverket, Maj 2011. ISBN 978-91-620-6433-4.



# **Bilagor**

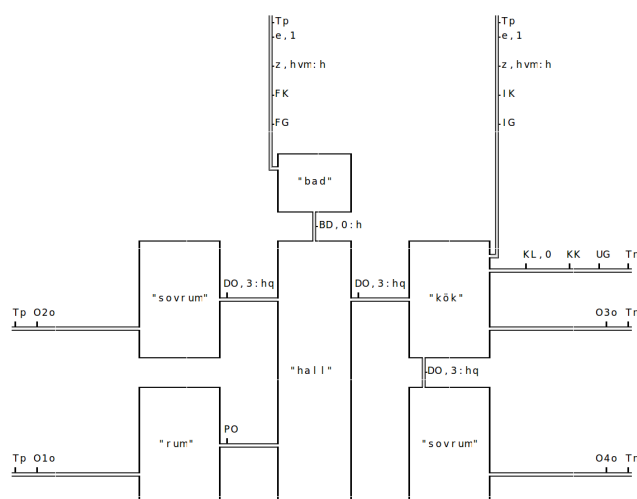


# Bilaga A

## Grundfall

En variant PFS modellen för grundfallet visas i figur A.1. Grundfallet beskrivs utförligt i avsnitt 9.4.1. För att simulera att lägenheten befinner sig på olika våningsplan sätts parameter *hvp* till antingen *hv1* eller *hv4*. De olika årstiderna simuleras genom att variera *denz* enligt avsnitt 9.3.1.

```
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 dencase=1 denz=1.293 bend=1
parameter hv4= 5.3 hv1= 14.5
compute hvp=hv1
compute hvm=-1*hvp
set FG=t,1,0,20,031:hq
set IG=t,1,0,34,794:hq
set FK=d,150,150,hvp IK=d,150,210,hvp
set Tp=T,20 Tn=T,20:<
set O1t=t,50,0,10,265:hq O1o=t,50,0,20,530:hq
set O2t=t,50,0,6,115:hq O2o=t,50,0,12,230:hq
set O3t=t,50,0,4,696:hq O3o=t,50,0,9,391:hq
set O4t=t,50,0,5,023:hq O4o=t,50,0,10,046:hq
set NF=g,1,0,0,137,1,258:hq
diagram DO p(iq) 0.6 0:0.6 1:24,0 2:480,0 3:960,0
set PO=t,0,6,1410:hq
diagram BD p(iq) 0.6 0:5.4 1:28,8 2:364,8 3:724,8
fan PAX 10,5:17 7,5:19 2,5:22
diagram KL p(iq) 0.6 0:0,045 1:10,544
set KK=d,150,150,0,4:h
set UG=g,0,030929,2,2592:hq
set UD3=g,0,9858,1,9853 UD6=g,0,6152,1,8290 UD10=g,0,5496,1,7482
fan SP1 232,217:0,0 138,421:32,513 0,0:65,027
fan SP2 332,871:0,0 220,126:46,527 0,0:93,053
fan SP3 380,347:0,0 294,347:66,831 0,0:133,662
fan SP4 399,359:0,0 356,587:108,964 0,0:217,928
```



end

Figur A.1: PFS modell: grundfall, vinter, våning 1.

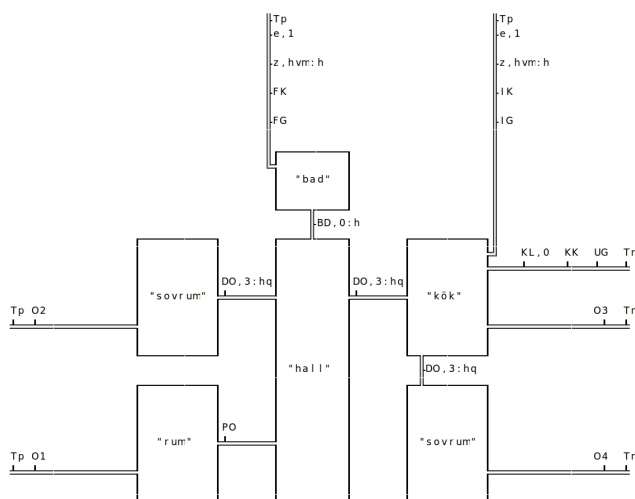


# Bilaga B

## Infiltration

Figur B.1 visar PFS-modellen för lägenheten på fjärde våningen med ett läckage 6,4 l/(s m<sup>2</sup>). Läckaget varieras genom att beräkna nya värden på O1, O2, O3 och O4 enligt avsnitt 9.3.2.

```
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 dencase=1 denz=1.255 bend=1
parameter hv4= 5.3 hv1= 14.5
compute hvp=hv4
compute hvm=-1*hvp
set FG=t, 1.0, 20.031:hq
set IG=t, 1.0, 34.794:hq
set FK=d, 150, 150, hvp IK=d, 150, 210, hvp
set Tp=T, 20 Tn=T, 20:<
set O1=t, 50, 0, 82, 118:hq
set O2=t, 50, 0, 48, 922:hq
set O3=t, 50, 0, 37, 565:hq
set O4=t, 50, 0, 40, 186:hq
set NF=g, 1.0, 0, 137, 1.258:hq
diagram DO p(iq) 0.6 0:0.6 1:24.0 2:480.0 3:960.0
set PO=t, 0.6, 1410:hq
diagram BD p(iq) 0.6 0:5.4 1:28.8 2:364.8 3:724.8
fan PAX 10.5:17 7.5:19 2.5:22
diagram KL p(iq) 0.6 0:0.045 1:10.544
set KK=d, 150, 150, 0.4:h
set UG=g, 0, 030929, 2.2592:hq
set UD3=g, 0.9858, 1.9853 UD6=g, 0.6152, 1.8290 UD10=g, 0.5496, 1.7482
fan SP1 232.217:0.0 138.421:32.513 0.0:65.027
fan SP2 332.871:0.0 220.126:46.527 0.0:93.053
fan SP3 380.347:0.0 294.347:66.831 0.0:133.662
fan SP4 399.359:0.0 356.587:108.964 0.0:217.928
```



end

Figur B.1: PFS modell: infiltration 6,4 l/(s m<sup>2</sup>), våning 4.

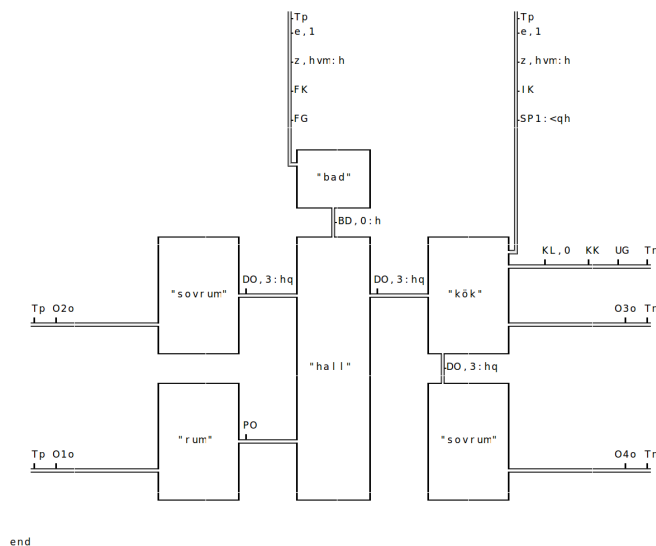


# Bilaga C

## Lokal forcering av luftflöde

Tabell 9.10 visar en sammanställning av det resulterande luftflödet i respektive rum med forcering i enbart kök, enbart badrum och både kök och badrum. Grundfallet inkluderas i tabellen som jämförelse. PFS-modellen med forcering i köket, då lägenheten är belägen på våning 4, visas i figur C.1.

```
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 dencase=1 denz=1.255 bend=1
parameter hv4= 5.3 hv1= 14.5
compute hvp=hv4
compute hvm=-1*hvp
set FG=t, 1.0, 20.031:hq
set IG=t, 1.0, 34.794:hq
set FK=d, 150, 150, hvp IK=d, 150, 210, hvp
set Tp=T, 20 Tn=T, 20:<
set O1t=t, 50, 0, 10, 265:hq O1o=t, 50, 0, 20, 530:hq
set O2t=t, 50, 0, 6, 115:hq O2o=t, 50, 0, 12, 230:hq
set O3t=t, 50, 0, 4, 696:hq O3o=t, 50, 0, 9, 391:hq
set O4t=t, 50, 0, 5, 023:hq O4o=t, 50, 0, 10, 046:hq
set NF=g, 1.0, 0, 137, 1.258:hq
diagram DO p(iq) 0.6 0:0.6 1:24.0 2:480.0 3:960.0
set PO=t, 0.6, 1410:hq
diagram BD p(iq) 0.6 0:5.4 1:28.8 2:364.8 3:724.8
fan PAX 10.5:17 7.5:19 2.5:22
diagram KL p(iq) 0.6 0:0.045 1:10.544
set KK=d, 150, 150, 0.4:h
set UG=g, 0.030929, 2.2592:hq
set UD3=g, 0.9858, 1.9853 UD6=g, 0.6152, 1.8290 UD10=g, 0.5496, 1.7482
fan SP1 232.217:0.0 138.421:32.513 0.0:65.027
fan SP2 332.871:0.0 220.126:46.527 0.0:93.053
fan SP3 380.347:0.0 294.347:66.831 0.0:133.662
fan SP4 399.359:0.0 356.587:108.964 0.0:217.928
```



Figur C.1: PFS modell: lokal forcering i kök, våning 4.



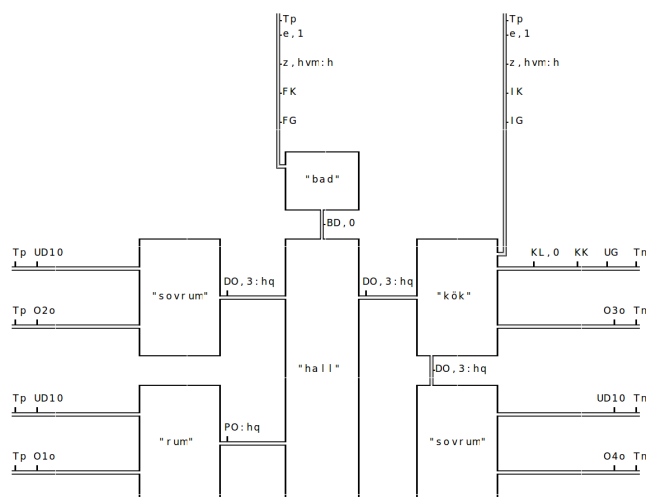


# Bilaga D

## Installation av uteluftsdon

Figur D.1 och D.2 visar två exempel på PFS modeller av lägenheten efter installation av uteluftsdon. I figur D.1 visas lägenheten på våning 4 med otäta väggar och fullt öppna uteluftsdon, dvs. UD10. Figur D.2 visar i sin tur, lägenheten på våning 1 med täta väggar och minimalt öppna uteluftsdon, dvs. UD3.

```
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 dencase=1 denz=1.293 bend=1
parameter hv4= 5.3 hv1= 14.5
compute hvp=hv4
compute hvm=1*hvp
set FG=t, 1.0,20.031:hq
set IG=t, 1.0,34.794:hq
set FK=d, 150,150,hvp IK=d,150,210,hvp
set Tp=T, 20 Tn=T, 20:<
set O1t=t, 50,0,10,265:hq O1o=t, 50,0,20,530:hq
set O2t=t, 50,0,6,115:hq O2o=t, 50,0,12,230:hq
set O3t=t, 50,0,4,696:hq O3o=t, 50,0,9,391:hq
set O4t=t, 50,0,5,023:hq O4o=t, 50,0,10,046:hq
set NF=g, 1.0,0.137,1.258:hq
diagram DO p(i,q) 0.6 0:0.6 1:24.0 2:480.0 3:960.0
set PO=t, 0.6,1410
diagram BD p(i,q) 0.6 0:5.4 1:28.8 2:364.8 3:724.8
fan PAX 10,3:17 7,5:19 2,5:22
diagram KL p(i,q) 0.6 0:0.045 1:10.544
set KK=d, 150,150,0.4:h
set UG=g, 0.030929,2.2592:hq
set UD3=g, 0.9858,1.9853:hq UD6=g, 0.6152,1.8290:hq UD10=g, 0.5496,1.7482:hq
fan SP1 232,217:0.0 138,421:32,513 0.0:65,027
fan SP2 332,871:0.0 220,126:46,527 0.0:93,053
fan SP3 380,347:0.0 294,347:66,831 0.0:133,662
fan SP4 399,359:0.0 356,587:108,964 0.0:217,928
```



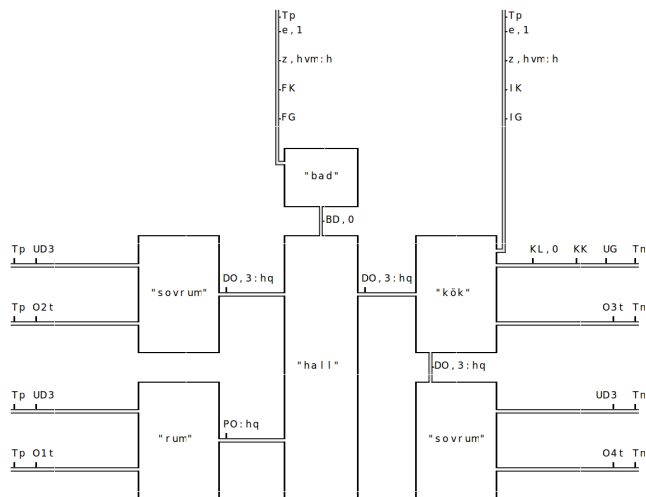
end

Figur D.1: PFS modell: 10 mm öppna uteluftsdon och otäta väggar, vintertid, våning 4.

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 dencase=1 denz=1.217 bend=1
parameter hv4= 5.3 hv1= 14.5
compute hvp=hv1
compute hvm=1*hvp
set FG=t,1.0,20.031:hq
set IG=t,1.0,34.794:hq
set FK=d,150.150,hvp IK=d,150.210,hvp
set Tp=T,20 Tn=T,20:<
set O1t=t,50.0,10.265:hq O1o=t,50.0,20.530:hq
set O2t=t,50.0,6.115:hq O2o=t,50.0,12.230:hq
set O3t=t,50.0,4.696:hq O3o=t,50.0,9.391:hq
set O4t=t,50.0,5.023:hq O4o=t,50.0,10.046:hq
set NF=g,1.0,0.137,1.258:hq
diagram DO p(iq) 0.6 0:0.6 1:24.0 2:480.0 3:960.0
set PO=t,0.6,1410
diagram BD p(iq) 0.6 0:5.4 1:28.8 2:364.8 3:724.8
fan PAX 10.5:17.7.5:19.2.5:22
diagram KL p(iq) 0.6 0:0.045 1:10.544
set KK=d,150.150,0.4:h
set UG=g,0.030929,2.2592:hq
set UD3=g,0.9858,1.9853:hq UD6=g,0.6152,1.8290:hq UD10=g,0.5496,1.7482:hq
fan SP1 232.217:0.0 138.421:32.513 0.0:65.027
fan SP2 332.871:0.0 220.126:46.527 0.0:93.053
fan SP3 380.347:0.0 294.347:66.831 0.0:133.662
fan SP4 399.359:0.0 356.587:108.964 0.0:217.928

```



end

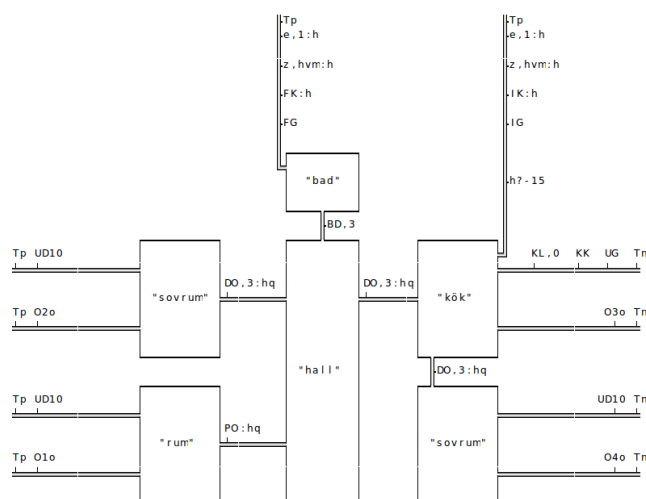
Figur D.2: PFS modell: 3 mm öppna uteluftsdon och täta väggar, sommartid, våning 1.

# Bilaga E

## Optimering av luftflöde

Här exemplifieras PFS-indata för optimering av självdragets funktion i lägenheten. I exemplen är lägenheten belägen på våning 1. Dessutom är utomhustemperaturen lika med årsmedeltemperaturen och väggarna antas vara otäta. Figur E.1 visar PFS modellen av lägenheten med en strypning införd i imkanalen så att flödet begränsas till 15 l/s. Figur E.2 visar PFS modellen med optimerade uteluftsdon.

```
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 dencase=1 denz=1.255 bend=1
parameter hv4= 5.3 hv1= 14.5
compute hvp=hv1
compute hvm=1*hvp
set FG=t,1.0.20.031:hq
set IG=t,1.0.34.794:hq
set FK=d,150.150,hvp IK=d,150.210,hvp
set Tp=T,20 Tn=T,20:<
set O1t=t,50.0.10.265:hq O1o=t,50.0.20.530:hq
set O2t=t,50.0.6.115:hq O2o=t,50.0.12.230:hq
set O3t=t,50.0.4.696:hq O3o=t,50.0.9.391:hq
set O4t=t,50.0.5.023:hq O4o=t,50.0.10.046:hq
set NF=g,1.0.0.137,1.258:hq
diagram DO p(i,q) 0.6 0:0.6 1:24.0 2:480.0 3:960.0
set PO=t,0.6,1410
diagram BD p(i,q) 0.6 0:5.4 1:28.8 2:364.8 3:724.8
fan PAX 10.5:17.7.5:19.2.5:22
diagram KL p(i,q) 0.6 0:0.045 1:10.544
set KK=d,150.150,0.4:h
set UG=g,0.030929,2.2592:hq
set UD3=g,0.9858,1.9853:hq UD6=g,0.6152,1.8290:hq UD10=g,0.5496,1.7482:hq
fan SP1 232.217:0.0 138.421:32.513 0.0:65.027
fan SP2 332.871:0.0 220.126:46.527 0.0:93.053
fan SP3 380.347:0.0 294.347:66.831 0.0:133.662
fan SP4 399.359:0.0 356.587:108.964 0.0:217.928
```



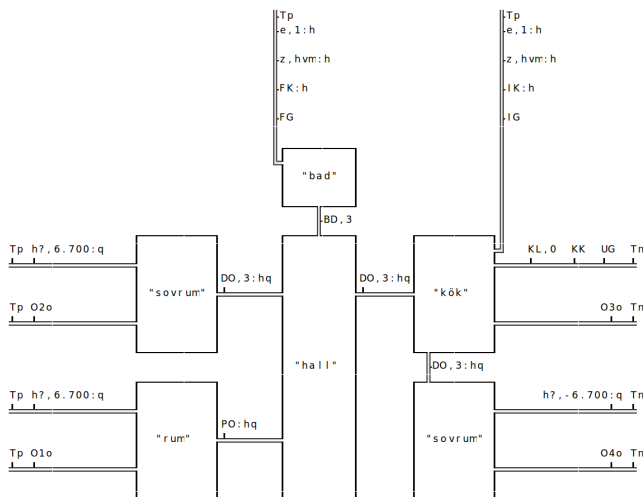
end

Figur E.1: PFS modell: uteluftsdon, våning 1, strypning i imkanal.

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 dencase=1 denz=1.255 bend=1
parameter hv4= 5.3 hv1= 14.5
compute hvp=hv1
compute hvm=1*hvp
set FG=t,1.0,20.031:hq
set IG=t,1.0,34.794:hq
set FK=d,150.150,hvp IK=d,150.210,hvp
set Tp=T,20 Tn=T,20:<
set O1=t,50.0,10.265:hq O1o=t,50.0,20.530:hq
set O2=t,50.0,6.115:hq O2o=t,50.0,12.230:hq
set O3=t,50.0,4.696:hq O3o=t,50.0,9.391:hq
set O4=t,50.0,5.023:hq O4o=t,50.0,10.046:hq
set NF=g,1.0,0.137,1.258:hq
diagram DO p(iq) 0.6 0:0.6 1:24.0 2:480.0 3:960.0
set PO=t,0.6,1410
diagram BD p(iq) 0.6 0:5.4 1:28.8 2:364.8 3:724.8
fan PAX 10.5:17.7.5:19.2.5:22
diagram KL p(iq) 0.6 0:0.045 1:10.544
set KK=d,150.150,0.4:h
set UG=g,0.030929,2.2592:hq
set UD3=g,0.9858,1.9853:hq UD6=g,0.6152,1.8290:hq UD10=g,0.5496,1.7482:hq
fan SP1 232.217:0.0 138.421:32.513 0.0:65.027
fan SP2 332.871:0.0 220.126:46.527 0.0:93.053
fan SP3 380.347:0.0 294.347:66.831 0.0:133.662
fan SP4 399.359:0.0 356.587:108.964 0.0:217.928

```



end

Figur E.2: PFS modell: optimala uteluftsdon, våning 1.