



LUND UNIVERSITY

Isolering av kanalsystem

Jensen, Lars

2010

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2010). *Isolering av kanalsystem*. (TVIT; Vol. TVIT-7051). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Isolering av kanalsystem

Forskningsprojekt med stöd från Byggrådet

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2010
Rapport TVIT--10/7051



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

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 rök-spridning 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 golvvärmsystem, 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.

Isolering av kanalsystem

Forskningsprojekt med stöd från Byggrådet

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2010
ISRN LUTVDG/TVIT--10/7051--SE(75)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Innehållsförteckning

1	Inledning och problemställning	5
2	Totalt värmeövergångstal för en luftkanal	9
3	Temperaturändring i en luftkanal	15
4	Lägsta tilluftstemperatur i en luftkanal	21
5	Moduleffekt och tilluftstemperatur	25
	Kanalsystemets yta A	25
	Kanalsystemets relativa effektförlust $Ah/\rho c q$	26
	Kanalsystemets relativa temperaturförlust k_T	27
	Kanalsystemets minsta och största moduleffekt	27
6	Skattning högsta rumslufthastighet	31
7	Analys av effekt och tilluftstemperatur	37
	Totalt värmeövergångstal	38
	Isolertjocklek	39
	Isolering av stam- och grenkanal	40
	Dimensionerande friktionstryckfall	41
	Kanaldimensioneringssätt	42
	Specifikt luftflöde utan isolering	43
	Specifikt luftflöde med isolering	44
	Flödesminskning vid drift	45
	Modulstorlek och lokalstorlek	46
	Antal moduler och lokalstorlek	47
	Antal moduler och samma lokalstorlek	48
	Enjelsidigt och dubbelsidigt kanalsystem	49
	Rektangulär lokalyta med oisolerat kanalsystem	50
	Rektangulär lokalyta med isolerat kanalsystem	51
	Uppsummering	52
8	Arbetsgång och tillämpningsexempel	53
	Förenkling av lokalyta	53
	Direkt beräkning	56
	Tillämpningsexempel	57

9 Kallras under oisolerade luftkanaler	61
10 Kanalsystem i undertak	67
10 Sammanfattning och slutsatser	69
Sammanfattning avsnitt 1-10	69
Bedömningsgrunder	73
Förenklad bedömning	74
Slutsummering och slutsatser	75
Forskningsuppgifter	75

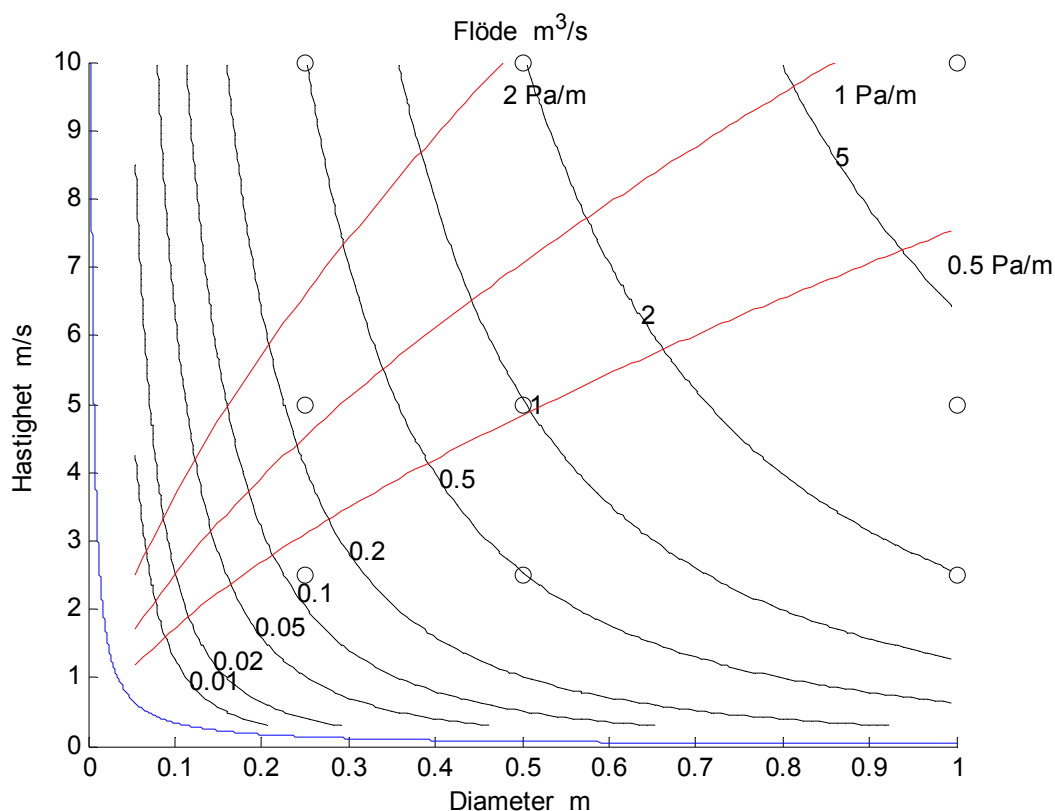
1 Inledning och problemställning

Syftet med denna arbetsrapport är att klargöra vid vilka tillfällen kanalsystemet skall isoleras och när det inte är nödvändigt, samt i vilken omfattning kanalsystemet skall isoleras.

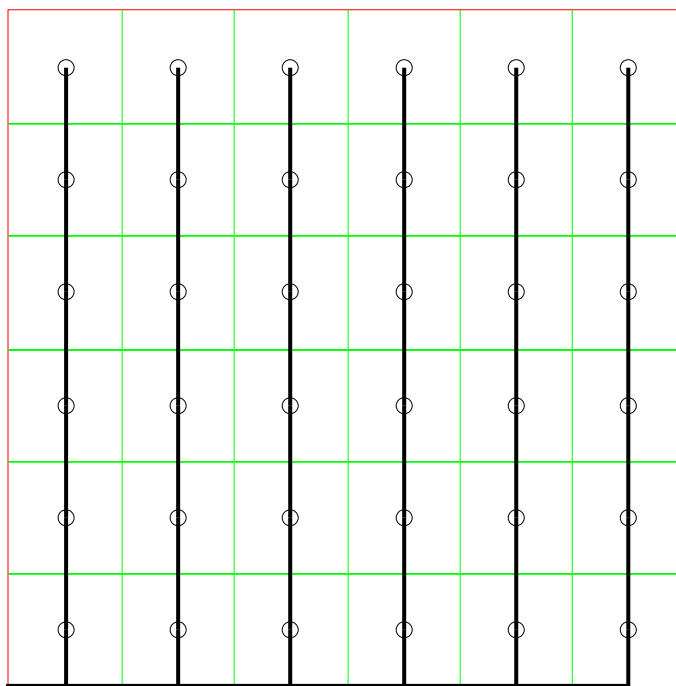
Detta arbete begränsas till att endast undersöka om ett öppet förlagt kanalsystem i och för en given lokal skall isoleras eller inte. Det är också underförstått att endast kylfallet kommer att behandlas. Isolering påverkar inte den totala tillförda kyleffekten utan endast hur den fördelas i lokalen. Långa kanaldragningar mellan fläktrum och lokaler måste isoleras om inte effekt- och temperaturförlusterna skall bli stora. Detta visas särskilt i avsnitt 3.

Undersökningen har skett för ett genomgående område för kanaldiametrar 0-1 m och kanalhastigheter 0-10 m/s. Flödet och tre kurvor för friktionstryckfallet 0.5, 1 och 2 Pa/m redovisas för detta område i Figur 1.1 och området för turbulentströmning avgränsas med en kurva för Reynolds tal 2300 närmast de två diagramaxlarna.

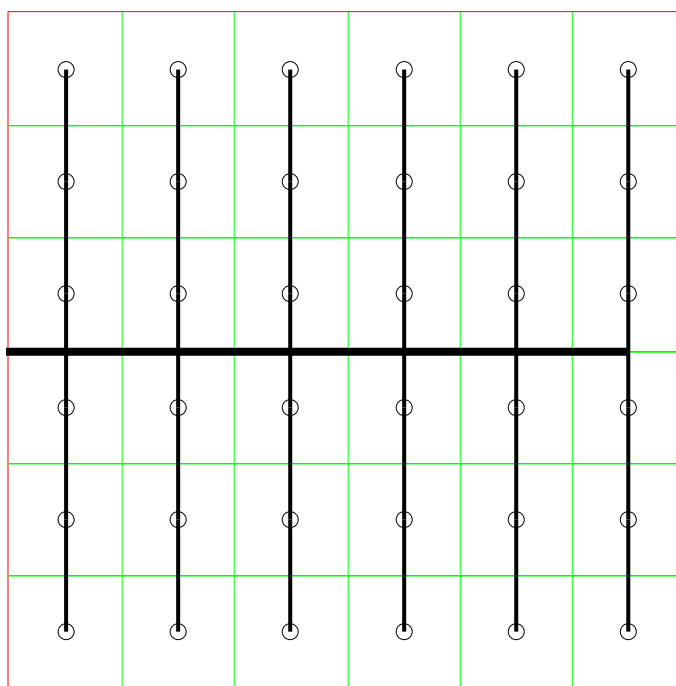
Två fall av modulära kanalsystem har undersökts och deras utformning visas med ett enkelsidigt fall i Figur 1.2 och ett dubbelsidigt fall i Figur 1.3.



Figur 1.1 Isodiagram för flöde m^3/s som funktion av diameter m och hastighet m/s med kurvor för friktionstryckfall 0.5, 1 och 2 Pa/m sam Reynolds tal 2300.

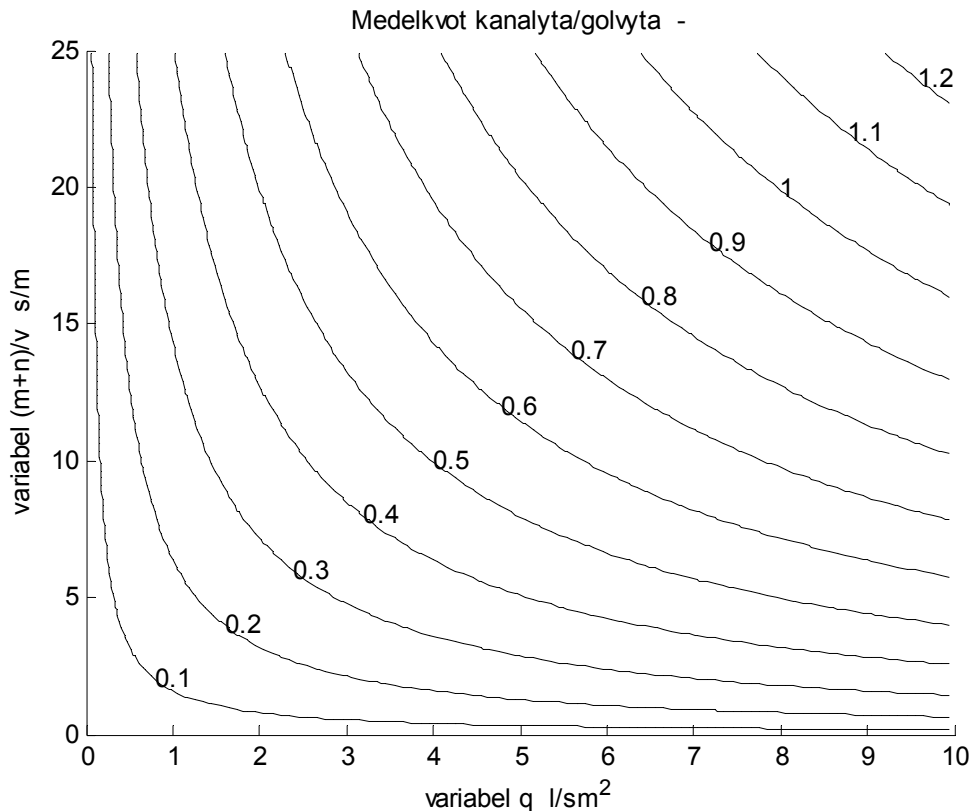


Figur 1.2 Enkelsidigt kanalsystem med en stamkanal med sex grenkanaler med sex don.



Figur 1.3 Dubbelsidigt kanalsystem med en stamkanal med tolv grenkanaler med tre don.

En naturlig fråga är följande: Hur mycket kanalyta finns det i förhållande till golvyta? Kanalsystemets yta beror på lokalens storlek, luftflödet och dimensioneringssätt. Det går att göra en enkel uppskattning av kanalyta i förhållande till golvyta, vilket redovisas i avsnitt 7 med uttryck (7.11). Denna kvot redovisas i Figur 1.4 som ett isodiagram med specifikt luftflöde q l/sm² som x-axel och som y-axel summan av antalet grenkanaler m och antalet don per grenkanal n dividerat med en dimensionerande lufthastighet v för hela kanalsystemet.



Figur 1.4 Kvot kanalyta/golvyta som funktion av specifikt luftflöde och summan av antalet grenkanaler m och don per grenkanal n dividerat med dimensionerande lufthastighet v .

Isolinjerna i Figur 1.4 visar att kanalytan kan bli förhållandevis stor för stora lokaler och med stora ventilationsbehov. Ett sifferexempel är en lokal med rumshöjden 6 m och 3 oms/h, vilket ger ett specifikt flöde på 5 l/sm². Antag vidare att den dimensionerande hastigheten är 4 m/s och två lokalstorlekar med $m = n = 5$ och $m = n = 10$. Kvoten $(m+n)/v$ blir 2.5 respektive 5 och kvoten kanalyta/golvyta blir avrundat 0.3 respektive 0.4.

Kanalytans kyleffekt kan enkelt räknas om till ett motsvarande luftflöde med samma kyleffekt att jämföras med det specifika luftflödet för den aktuella lokalen. Flödet fås som l/sm² genom att multiplicera den specifika arean med en omräkningsfaktor. För en oisolerad kanal med ett totalt värmeövergångstal på 6 W/Km² samt att luftflödet i l/sm² räknas om till W/K med en faktor 1.2 (baserat på värmekapacitet och densitet för luft) blir omräkningsfaktorn 5, (6/1,2). Uträknat flöde blir 1.5 respektive 2.0 l/sm² att jämföra med ett specifikt luftflöde 5 l/sm².

Värmeövergångstalet för kanaler med 30 mm isolering är omkring 1,2 W/Km². Detta ger omräkningsfaktorn 1 (1,2/1,2). Jämförelseflödet blir i detta fall 0.3 respektive 0.4 l/sm².

För att beräkna hur mycket tilluftstemperaturen ändras i kanalsystemet och hur den tillförda kyleffekten delas upp på donkyleffekt och kanalkyleffekt införs två storheter Ah och ρcq . Dessa beskriver kanalsystemets respektive totalflödets värmeöverföringsförmåga. De ingående parametrarna är kanalsystemets yta A och värmeövergångstal h samt luftflödets densitet ρ , specifika värme c och volymflöde q . Kanalsystemets medeltemperaturskillnad till omgivning både för kanalyta och donlufttemperatur betecknas ΔT_m och kanalsystemets inloppstemperatur och tilluftstemperaturen i förhållande till omgivningen ΔT_i . En effektbalanskvation för kanalsystemet och medeltemperaturen ΔT_m kan skrivas som:

$$\rho cq \Delta T_i = (Ah + \rho cq) \Delta T_m \quad (\text{W}) \quad (1.1)$$

$$\Delta T_m = [\rho cq / (Ah + \rho cq)] \Delta T_i \quad (^\circ\text{C}) \quad (1.2)$$

Hakparantesen anger andelen donkyla och kan tolkas som en relativ dontemperatur. Andelen kanalytkyla ges av $[Ah / (Ah + \rho cq)]$. Uttrycket (1.2) visar att höga luftflöden i små kanalsystem ger nästan samma donlufttemperatur som huvudmatningstemperatur. Detta gäller även för ett välisolerat kanalsystem med ett lågt värmeövergångstal h . Uttrycket (1.2) kräver indata kanalyta $A \text{ m}^2$, värmeövergångstalet h omkring 6 W/Km^2 om oisolerat och luftflödet $q \text{ m}^3/\text{s}$ samt produkten $\rho c = 1200 \text{ J/Km}^3$. Ett grundkrav är att $Ah < \rho cq$.

Vad som inte framgår av denna enkla analys är hur stora skillnader mellan olika modulers tillförda effekt kan bli. Detta undersöks detaljerat i avsnitt 7. En grov uppskattning är att temperaturförlusten fördubblas för de sämsta belägna modulerna jämfört med medelmodulen samt att temperaturförlusten är försumbar för de bäst belägna modulerna. Förutsättningen är att $Ah < \rho cq$. Om $Ah = \rho cq$ urartar skattningen med ingen kyleffekt för de sämsta modulerna.

Det totala värmeövergångstalet för en oisolerad eller isolerad luftkanal undersöks inledningsvis i avsnitt 2 för isolertjocklekarna 0, 30, 50 och 75 mm. Reduktionsfaktorer för hur mycket kylförlusten eller värmeövergångstalet minskar med olika isolertjocklek redovisas också. Vilka beräkningsuttryck som ligger bakom luftkanalens relativa temperaturändring och temperaturhalveringslängd redovisas ingående i avsnitt 3. Vilken tilluftstemperatur som kan tillåtas undersöks i avsnitt 4. Låg tilluftstemperatur medför risk för utvärdig kondens.

Moduleffekt och tilluftstemperatur skattas i avsnitt 5 med att antal beräkningsuttryck.

Ett oisolerat kanalsystem skapar en effektobalans i en lokal. Denna obalans skapar temperaturskillnader som i sin tur skapar utjämnande luftströmmar. Hur stora temperaturskillnaderna kan bli och hur höga lufthastigheter som kan uppstå undersöks förenklat i avsnitt 6.

Vad förluster innebär för den totalt överförda kyleffekten räknas igen för ett stort antal olika fall för olika parametrar och redovisas i avsnitt 7 för en lokal med ett tilluftsdon per kvadratisk modul. Alla tilluftsdon har samma luftflöde. Samtliga relativa moduleffekter och relativa tilluftstemperaturer beräknas och redovisas sorterade i storleksordning.

Arbetsgång och tillämpningsexempel beskrivs i avsnitt 8. Kallras under oisolerade luftkanaler undersöks i avsnitt 9. Kanalsystem i av undertak behandlas kortfattat i avsnitt 10. Resultaten och slutsatserna från de olika avsnitten sammanfattas sist i avsnitt 11.

Arbetsrapport har granskats och rättats av Jonas Lindhe och Björn Eldvall från Sydtotal.

2 Totalt värmeövergångstal för en luftkanal

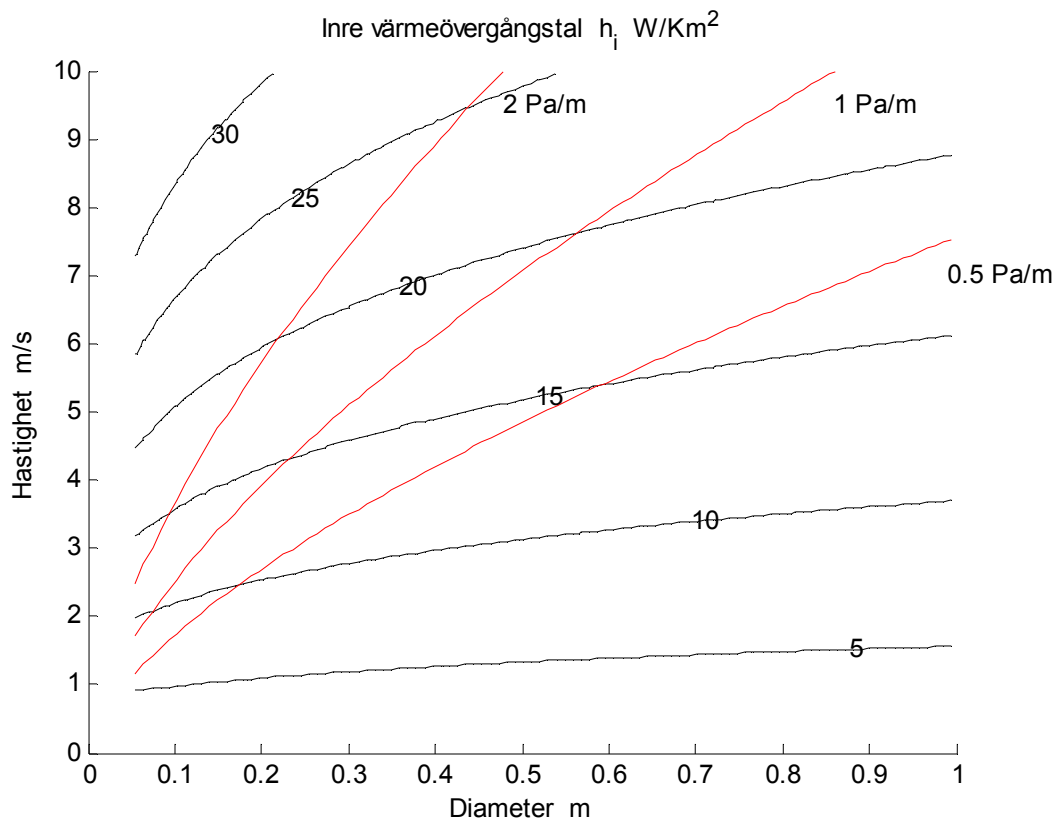
I detta avsnitt redovisas beräkning av totalt värmeövergångstal för isolerade och oisolerade luftkanaler. Det yttre värmeövergångstalet h_y har satts till 10 W/Km^2 . Det inre värmeövergångstalet h_i beräknas enligt uttrycken från Bejan (1993) Heat Transfer (3.93) med hjälp av lufthastighet v m/s, kanaldiameter d m, kinematisk viskositet ν , Reynolds tal Re , Nussels tal Nu , Prandtls tal Pr och luftens värmeledningsförmåga λ W/Km.

$$Re = v d / \nu \quad (-) \quad (2.1)$$

$$Nu = 0.0214 (Re^{0.8} - 100) Pr^{0.4} \quad (-) \quad (2.2)$$

$$h_i = Nu \lambda / d \quad (\text{W/Km}^2) \quad (2.3)$$

Det beräknade inre värmeövergångstalet h_i redovisas i Figur 2.1 med samma axlar som tidigare i Figur 1.1-9 och hjälpkurvor för tre tryckfall 0.5, 1 och 2 Pa/m. Tryckfallskurvan 1 Pa/m visar att det inre värmeövergångstalet h_i varierar från 10 till 30 W/Km^2 och som minst lika stort som det antagna yttre värmeövergångstalet h_y , som dock beskriver både värmeöverföring med både konvektion och strålning.



Figur 2.1 Isodiagram för inre värmeövergångstal W/Km^2 för diameter m och hastighet m/s.

Det totala värmeövergångstalet för en isolerad eller oisolerad kanal beräknas enligt uttryck nedan där isolertjockleken betecknas t m och en hjälpparametern k_{td} bestämd som:

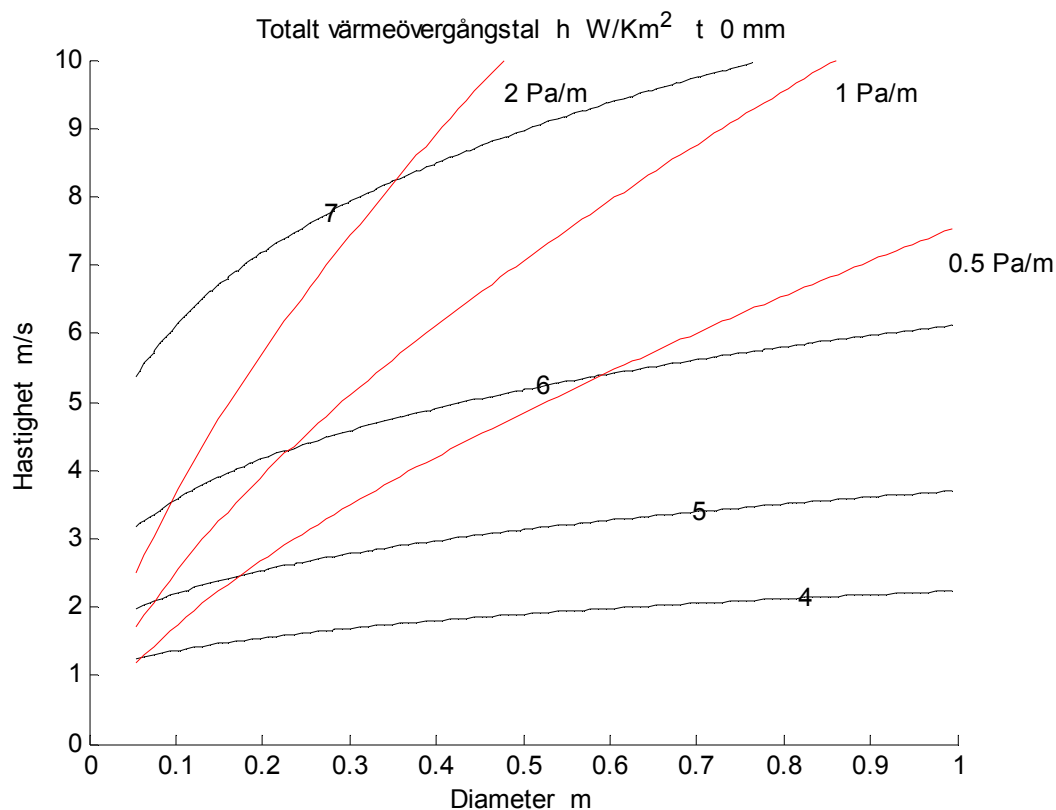
$$h = 1 / [1/h_i + d \ln(k_{td}) / (2 \lambda) + 1 / (k_{td} h_y)] \quad (\text{W/Km}^2) \quad (2.4)$$

$$k_{td} = 1 + 2 t / d \quad (-) \quad (2.5)$$

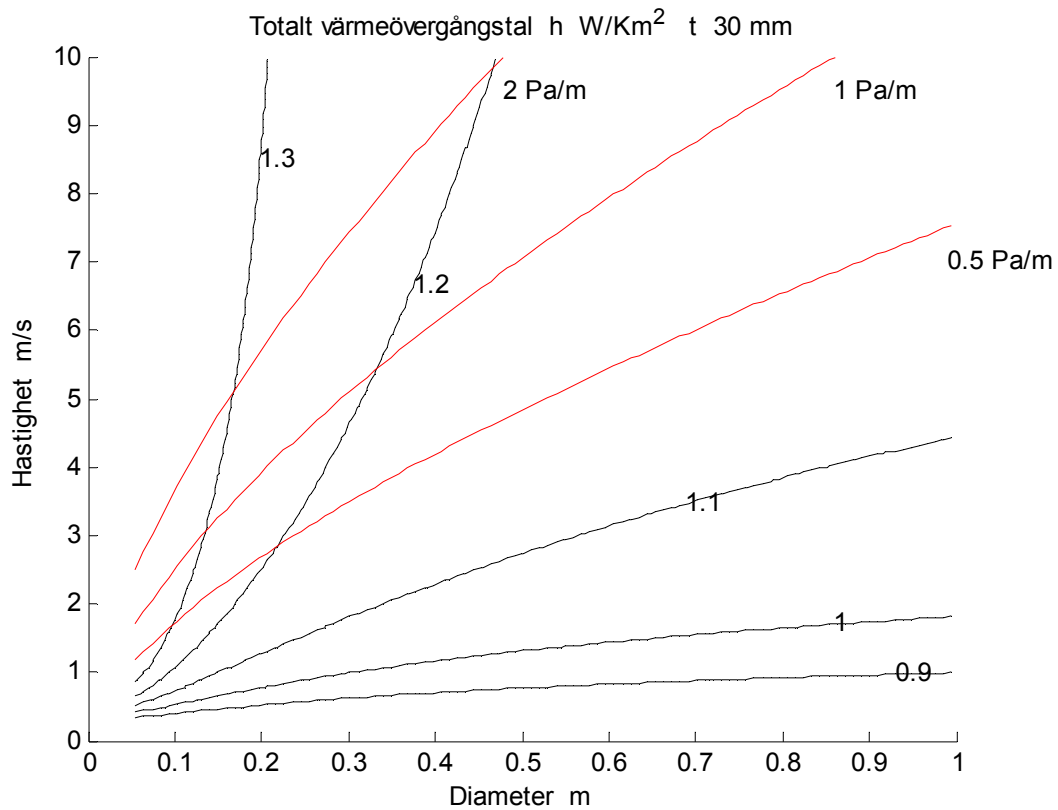
Det totala värmeövergångstalet h har beräknats för fyra isolertjocklekar 0, 30, 50 och 75 mm och ett värmeledningstal om 0.040 W/Km. Andra data för luft är $Pr = 0.72$ och $\nu = 0.000015$ m²/s.

De fyra isolerfallen redovisas i Figur 2.2-8 med totalt värmeövergångstal och för de isolerade fall med en reduktionsfaktor i förhållande till en oisolerad kanal med samma axlar som i tidigare Figur 2.1.

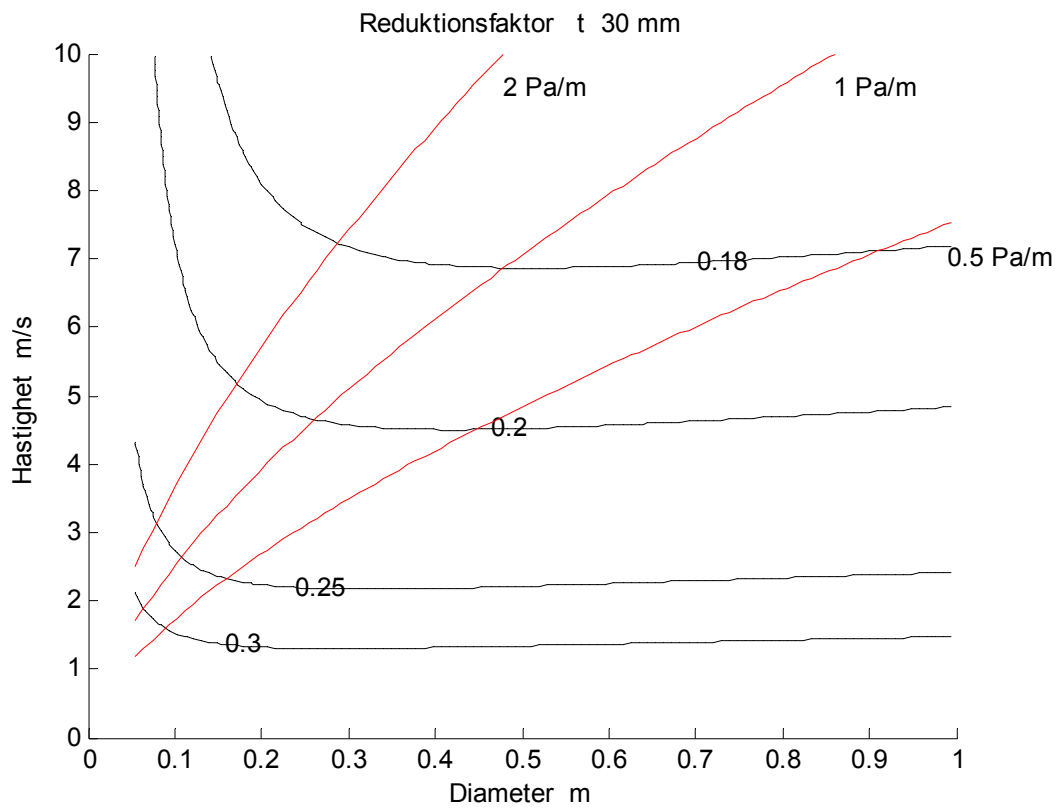
Kurvan för tryckfallslinjen 1 Pa/m visar att den oisolerade kanalen har ett totalt värmeövergångstal från 5 och något över 7 W/Km², vilket visar att det inre värmeövergångstalet h_i har viss betydelse utöver det yttre värmeövergångstalet h_y , om 10 W/Km². De tre isolerade fallen i Figur 2.3-8 visar att redan 30 mm isolering minskar värmeövergångstalet betydligt, men värme- eller kylförlusten minskar inte till noll. Den största isolertjockleken 75 mm halverar värme- eller kylförlusten jämfört med fallet med 30 mm isolering. En genomgående slutsats är att värme- eller kylförlusten avtar något med ökande luftflöde för samma dimensionerande tryckfall. Motsatsen gäller för en oisolerad kanal som i Figur 2.2. Reduktionsfaktorer beskriver förhållandet mellan värmeövergångstalen för aktuell isolerad och oisolerad kanal.



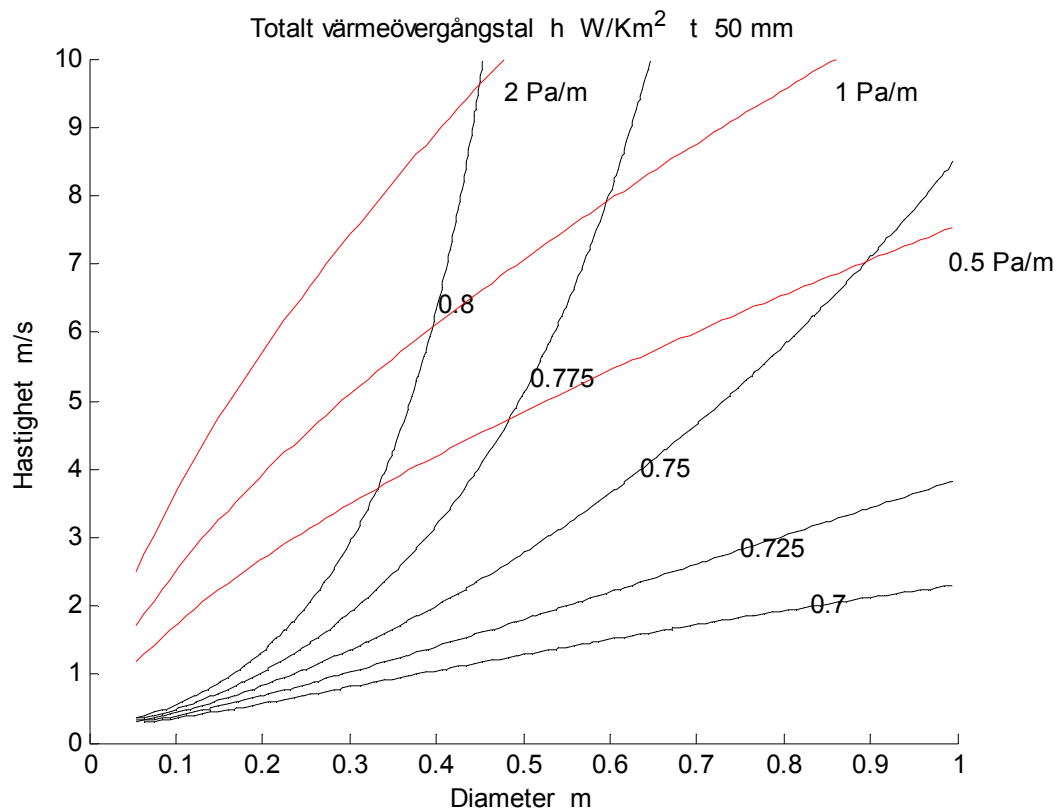
Figur 2.2 Värmeövergångstal W/Km² för diameter m och hastighet m/s samt utan isolering.



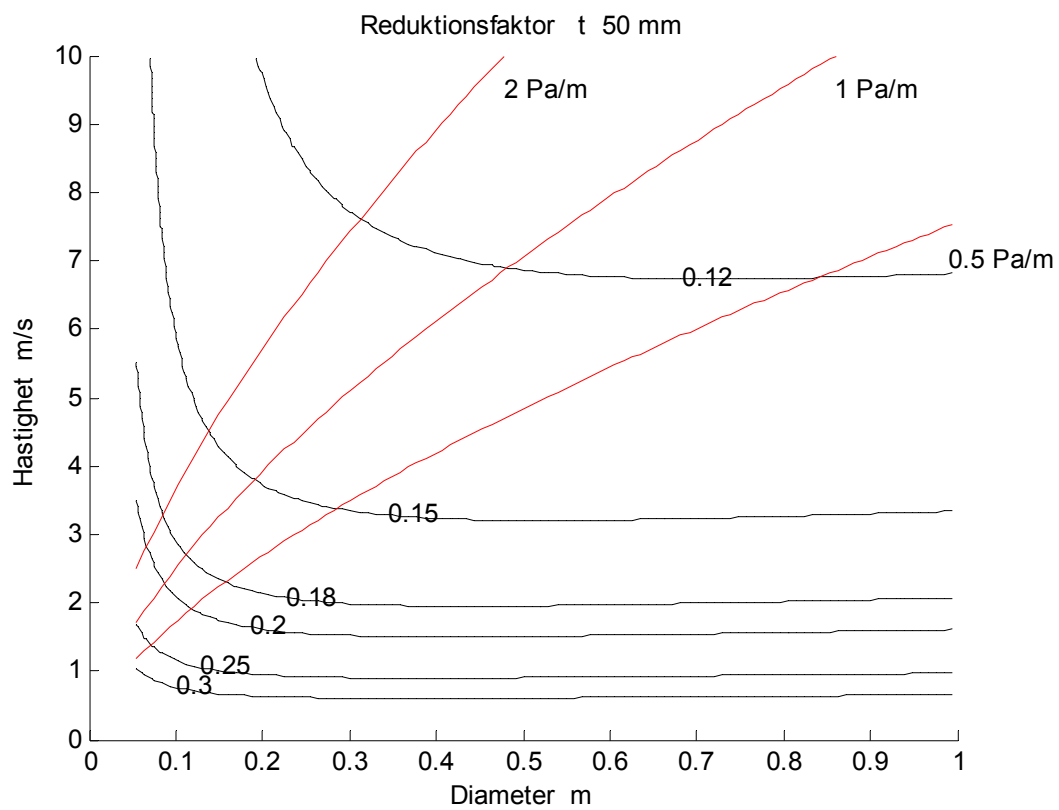
Figur 2.3 Värmeövergångstal W/Km^2 för diameter m och hastighet m/s samt 30 mm isolering.



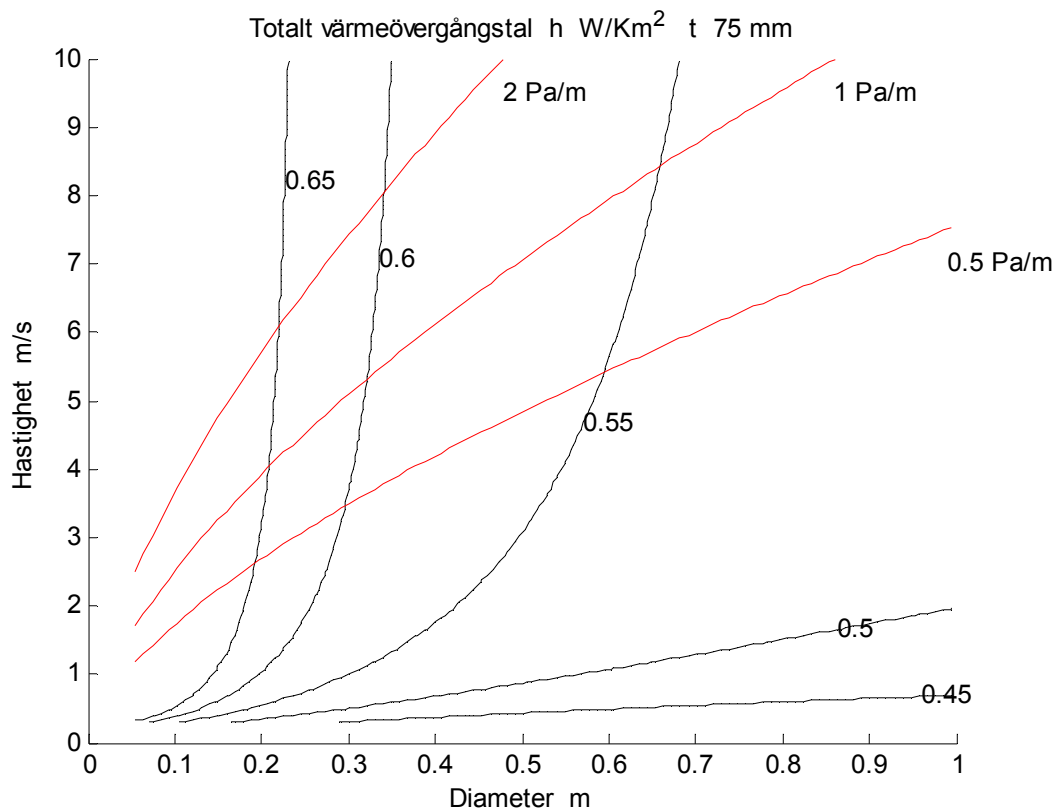
Figur 2.4 Värmeförlustreduktion för diameter m och hastighet m/s samt 30 mm isolering.



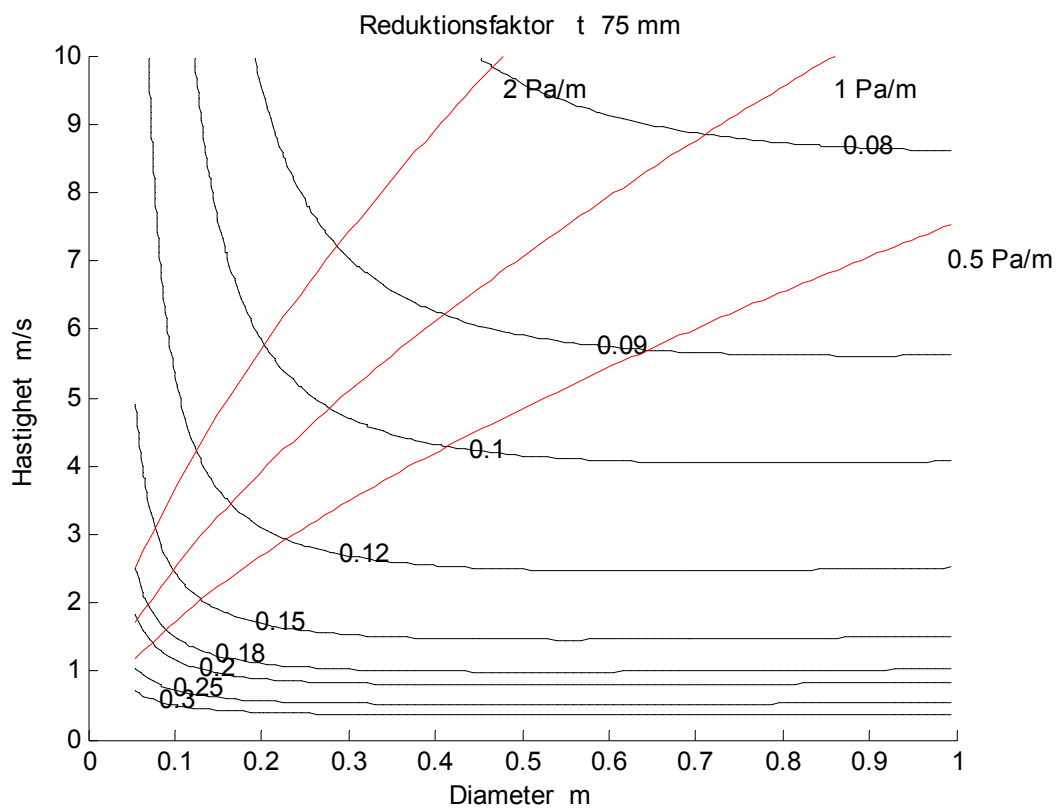
Figur 2.5 Värmeövergångstal W/Km² för diameter m och hastighet m/s samt 50 mm isolering.



Figur 2.6 Värmeförlustreduktion för diameter m och hastighet m/s samt 50 mm isolering.



Figur 2.7 Värmeövergångstal W/Km^2 för diameter m och hastighet m/s samt 75 mm isolering.



Figur 2.8 Värmeförlustreduktion för diameter m och hastighet m/s samt 75 mm isolering.

3 Temperaturändring i en luftkanal

I detta avsnitt redovisas den relativa temperaturändringen $\Delta T/m$ per meter kanal och kanallängden för halverad temperatur $x_{\Delta T/2}$ kan härledas från att temperaturen avtar exponentiellt med kanalsträckan x och kan skrivas som följer:

$$\Delta T(x) = \Delta T(0) e^{-\pi dxh/\rho cq} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3.1)$$

där πdx är kanalsträckans yta, h är kanalens totala värmegenomgångstal och ρcq är luftflödets värmeöverföringsförmåga. Uttrycket (3.1) kan förenklas genom att införa en karakteristisk längd L , vilket ger:

$$\Delta T(x) = \Delta T(0) e^{-x/L} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3.2)$$

$$L = \rho cq/\pi dh \quad (\text{m}) \quad (3.3)$$

Den karakteristiska längden L anger när temperaturskillnaden till omgivningen minskat till en faktor e^{-1} av den ursprungliga eller uträknat 0.368. Den relativa temperaturändringen $\Delta T/m$ per meter en derivata av $\Delta T(x)$ med avseende på x kan härledas tillföljande uttryck:

$$\Delta T/m = d\Delta T(x)/dx = -\pi dh/\rho cq = -1/L \quad (\text{m}^{-1}) \quad (3.4)$$

Ett mer informativt tal kan vara den kanallängd som medför att temperaturskillnaden halveras, vilket kan beräknas enligt uttrycket nedan.

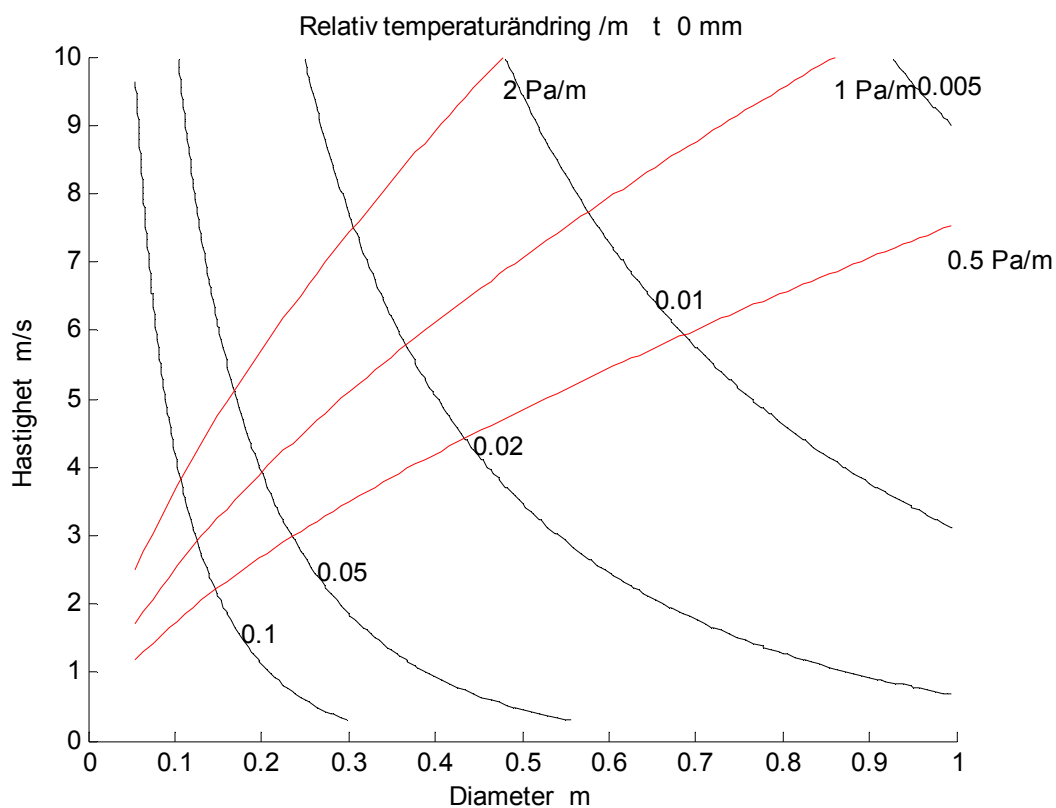
$$x_{\Delta T/2} = \ln(2) L \quad (\text{m}) \quad (3.5)$$

Ett allmännare uttryck för en temperaturreduktion med en faktor f kan skrivas som följer:

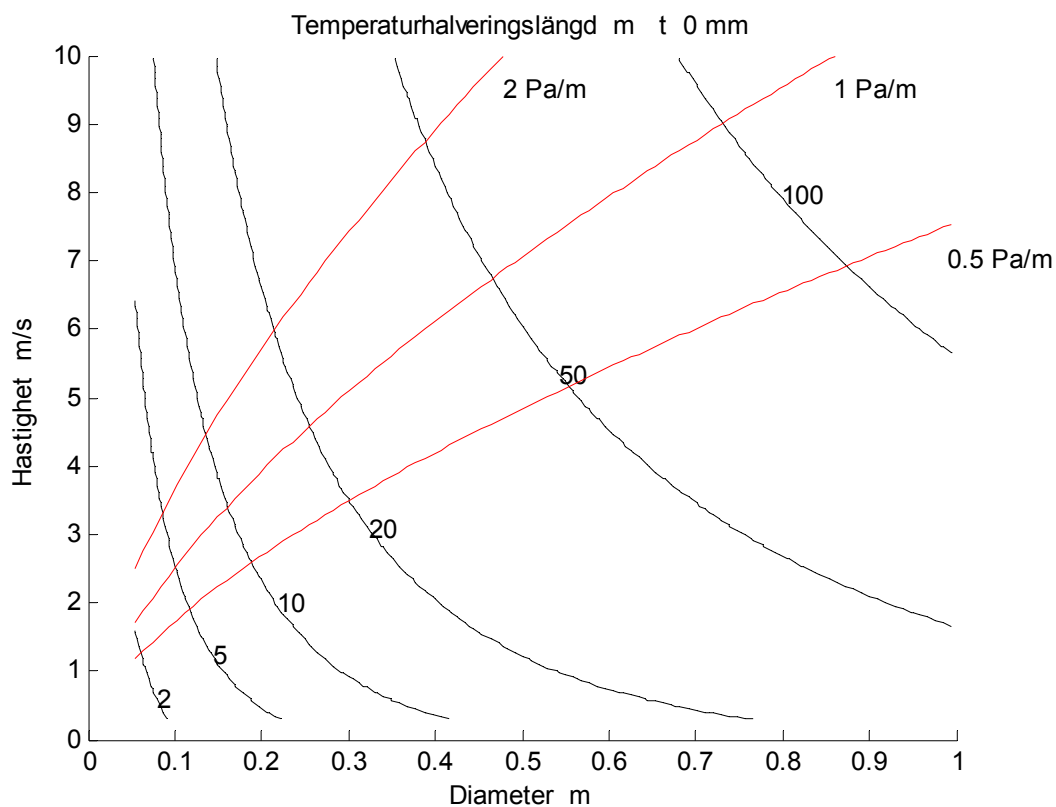
$$x_{f\Delta T} = \ln(1/f) L \quad (\text{m}) \quad (3.6)$$

Den relativ temperaturändringen och temperaturhalveringslängden redovisas parvis i Figur 3.1-8 för en luftkanal med isolertjockleken 0, 30, 50 och 75 mm. Isolermaterialets värmeledningstal har satts till 0.040 W/Km. Isolinjer i Figur 3.1-8 för den relativa temperaturändringen och temperaturhalveringslängden visar att den första avtar med ökande diameter och hastighet och omvänt för den andra. Ökande isolertjocklek minskar den relativa temperaturändringen per meter och ökar temperaturhalveringslängden.

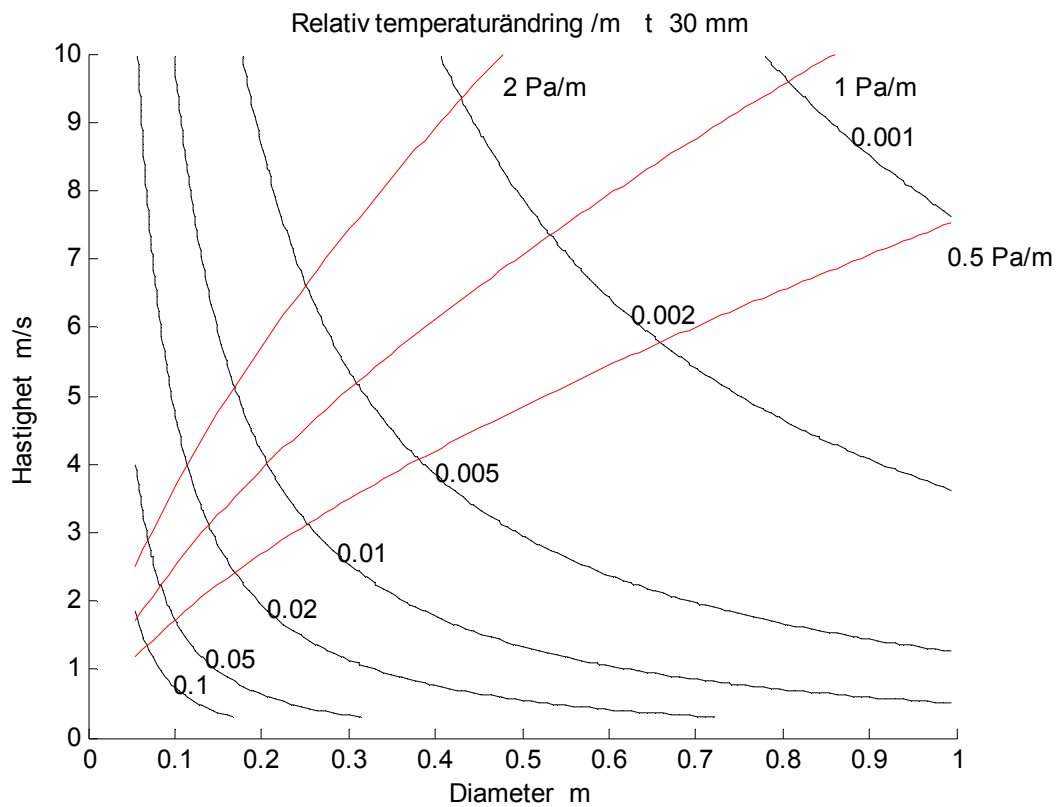
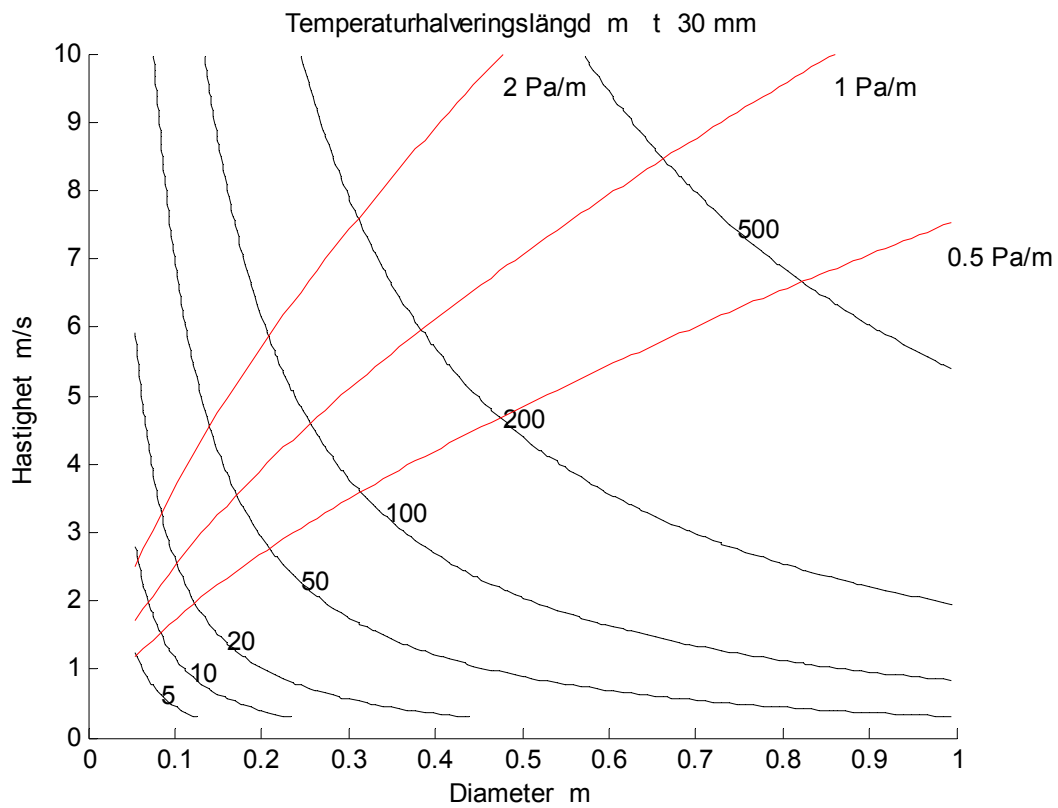
Temperaturhalveringslängden blir ganska kort för mindre oisolerade kanalstorlekar med rimliga hastigheter och tryckfall och blir inte mycket större för stora kanalstorlekar med stora flöden.

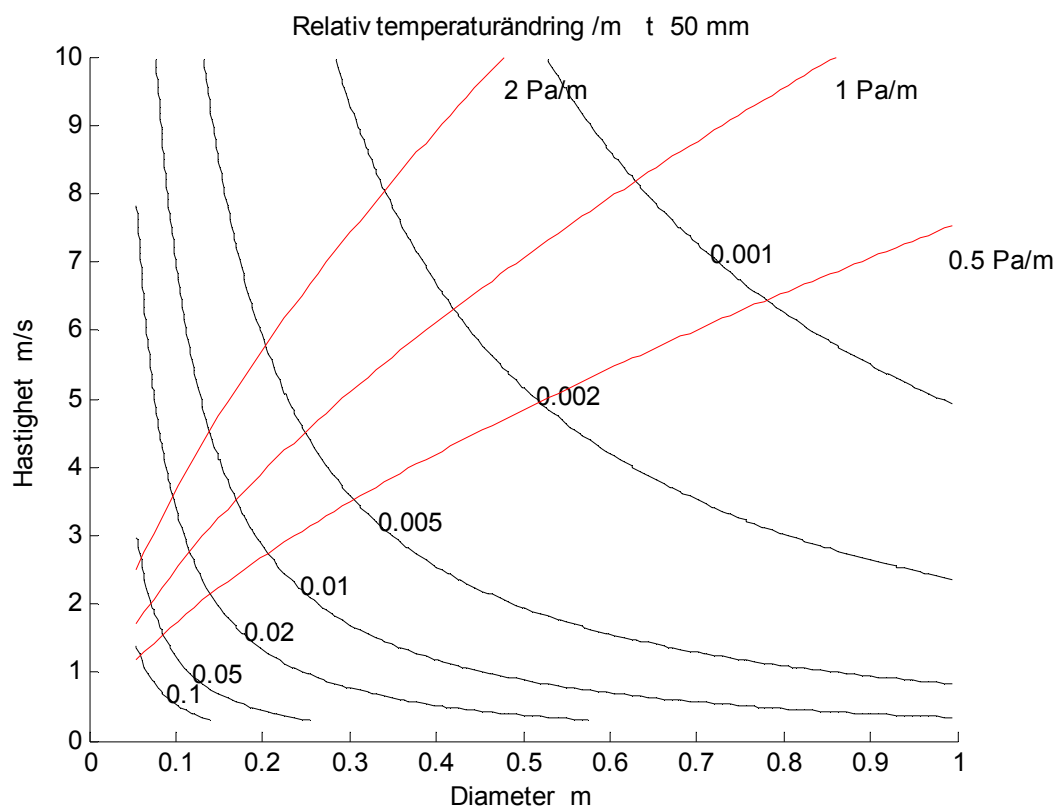


Figur 3.1 Relativ temperaturändring /m som funktion av diameter och hastighet för $t = 0$ mm.

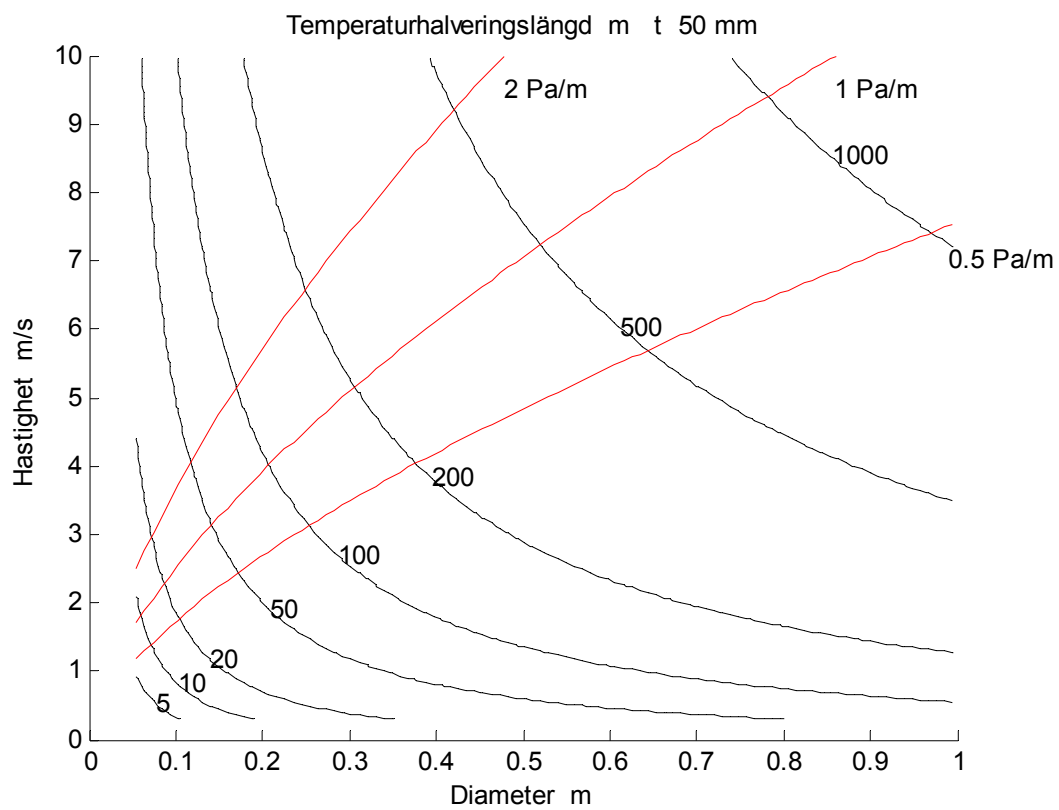


Figur 3.2 Temperaturhalveringslängd m som funktion av diameter och hastighet för $t = 0$ mm.

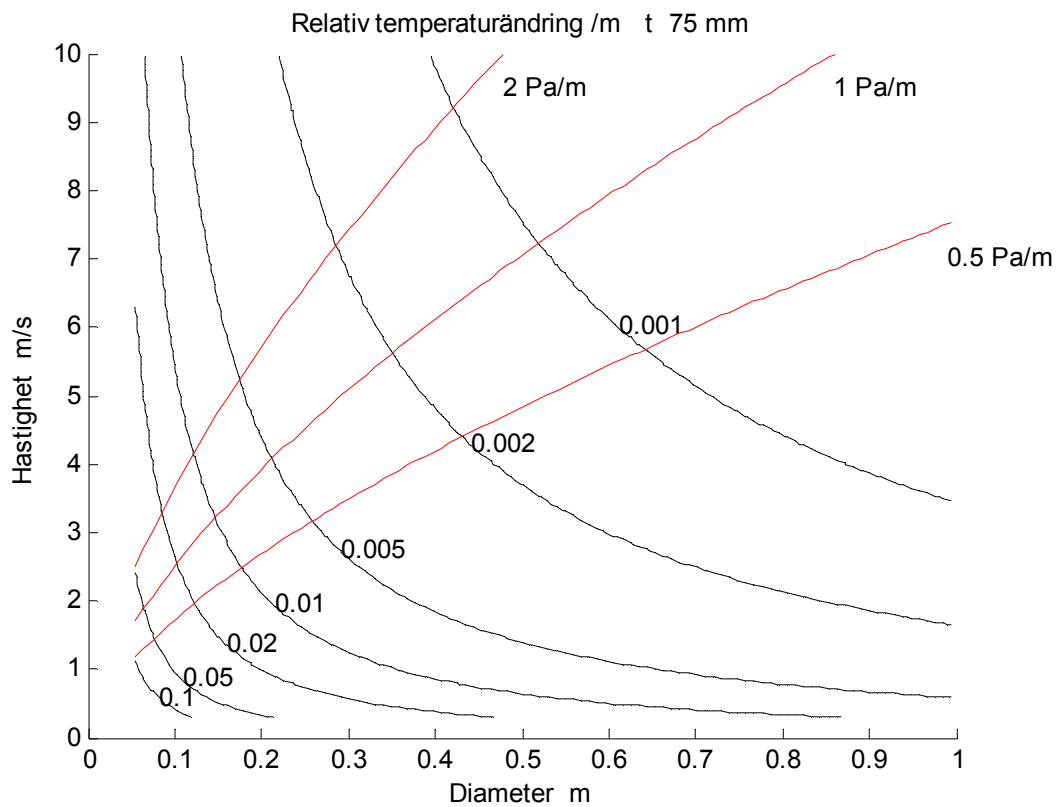
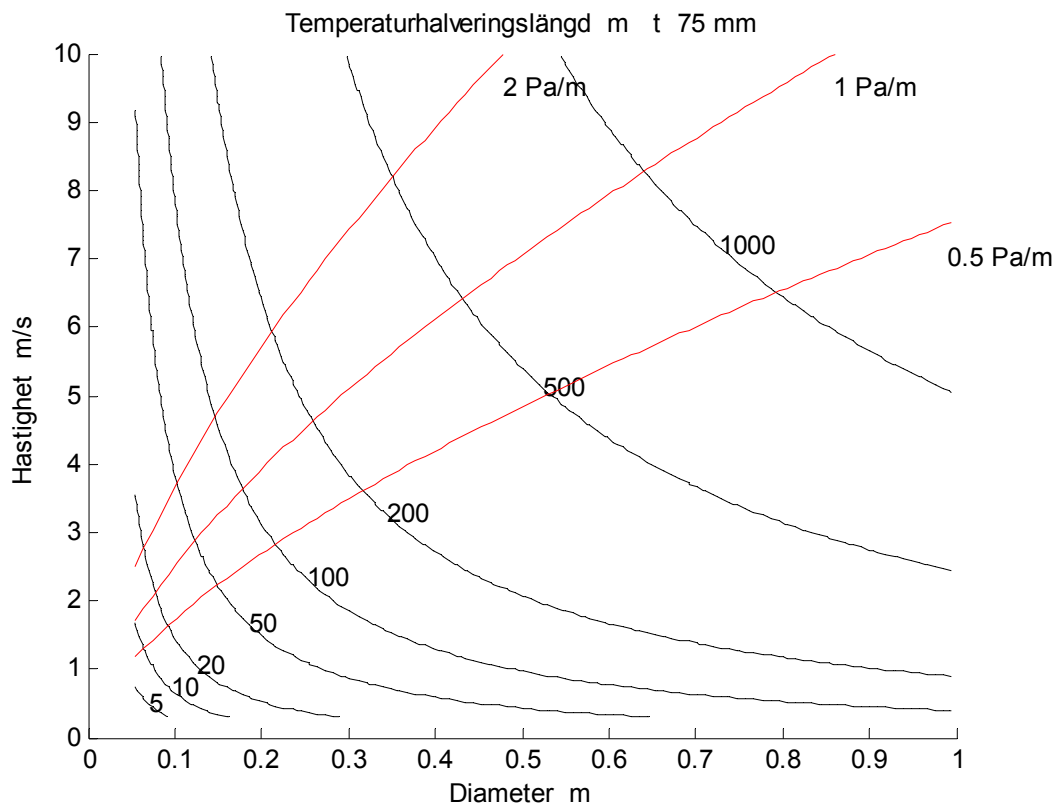
Figur 3.3 Relativ temperaturändring /m som funktion av diameter och hastighet för $t = 30$ mm.Figur 3.4 Temperaturhalveringslängd m som funktion av diameter och hastighet för $t = 30$ mm.



Figur 3.5 Relativ temperaturändring /m som funktion av diameter och hastighet för $t = 50$ mm.



Figur 3.6 Temperaturhalveringslängd m som funktion av diameter och hastighet för $t = 50$ mm.

Figur 3.7 Relativ temperaturändring /m som funktion av diameter och hastighet för $t = 75$ mm.Figur 3.8 Temperaturhalveringslängd m som funktion av diameter och hastighet för $t = 75$ mm.

Isolinjerna i diagram för temperaturhalveringslängden är inte helt enkla att läsa av exakt för att göra något sifferexempel för en mer detaljerad analys. Nio fall har räknats fram och redovisas i Tabell 3.1 för kombinationer mellan tre hastigheter 2.5, 5 och 10 m/s och tre kanaldiametrar 0.25, 0.5 och 1 m.

Siffrorna visar att en fyrdubbling av flödet fall 1-3, 4-6 och 7-9 fyrdubblar även temperaturhalveringslängden för en välisolerad kanal och ökningen är knappt en faktor tre för en oisolerad kanal, vilket beror på att det inre värmeövergångstalet ökar med ökande hastighet och därmed ökar kanalens specifika värmeförlust.

En fördubbling av kanalstorleken fall 1-4, 2-5, 3-6, 4-7, 5-8 och 6-9 mer än fördubblar temperaturhalveringslängden och oberoende av isolertjocklek.

Tabell 3.1 Diameter, hastighet, flöde, tryckfall och temperaturhalveringslängd för nio fall

fall	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d mm	250	250	250	500	500	500	1000	1000	1000
v m/s	2.5	5	10	2.5	5	10	2.5	5	10
q m ³ /s	0.123	0.245	0.491	0.491	0.982	1.963	1.963	3.927	7.854
R Pa/m	0.336	1.200	4.290	0.148	0.530	1.895	0.066	0.234	0.837
$l_{0\text{ mm}}$ m	13	21	35	29	44	72	62	93	151
$l_{30\text{ mm}}$ m	56	106	205	119	225	435	249	469	902
$l_{50\text{ mm}}$ m	80	154	301	175	336	656	369	707	1380
$l_{75\text{ mm}}$ m	106	207	407	239	464	913	512	994	1954

4 Lägsta tilluftstemperatur i en luftkanal

I detta avsnitt redovisas hur lägsta tilluftstemperatur kan bestämmas för en oisolerad luftkanal med given hastighet, diameter, torr temperatur och daggpunktstemperatur hos omgivningen. En för låg tilluftstemperatur medför att det sker kondens på luftkanalens ytsida genom att luftkanalens yttemperatur är lägre än daggpunktstemperaturen för den omgivande luften.

En säker dimensioneringsmetod är att se till tilluftstemperaturen alltid är högre än daggpunktstemperaturen för lokalluften. Detta kan vara en onödigt stor marginal, eftersom det inre värmeövergångstalet kan vara både mindre eller större än yttre värmeövergångstalet, som satts till 10 W/Km^2 . Om värmeövergångstalen är lika stora, blir den relativa yttemperaturen lika med medelvärdet av tilluftstemperatur och omgivningstemperatur. Detta framgår ganska väl i Figur 2.1 för det beräknade inre värmeövergångstalet.

Temperaturskillnaden över luftkanalens material är försumbar, eftersom kanalmaterialiets värmemotstånd kan skrivas som d/λ och för tjockleken 0.001 m och stål med värmelednings-talet 50 W/Km fås motståndet $0.00002 \text{ m}^2\text{K/W}$ att jämföra med motstånden för de två ytorna omkring $0.1 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Temperaturen för omgivning, tilluft och kanalyta definieras som T_y , T_i respektive T_k . Den överförda värmeeffekten för en kanalyta kan skrivas på tre sätt med användandet av de tre värmeövergångstalen h , h_i och h_y och motsvarande ytor A , A_i och A_y på formen:

$$A h (T_y - T_i) = A_i h_i (T_k - T_i) = A_y h_y (T_y - T_k) \quad (\text{W}) \quad (4.1)$$

Den absoluta kanalytttemperaturen T_k för en luftkanal kan nu beräknas på två sätt som följer med utnyttjande av (4.1) som:

$$T_k = T_y - (T_y - T_i) Ah / A_y h_y \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.2)$$

$$T_k = T_i + (T_y - T_i) Ah / A_i h_i \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.3)$$

En relativ kanalytttemperatur kan definieras med (4.3) som följer:

$$T_{kr} = (T_k - T_i) / (T_y - T_i) = Ah / A_i h_i \quad (-) \quad (4.4)$$

Uttrycket (4.2) eller (4.3) kan användas för att beräkna vilken tilluftstemperatur som lägst kan användas om kondens skall undvikas.

Den relativa yttemperaturen enligt (4.4) har beräknats och redovisas i Figur 4.1-4 i samma isodiagram som tidigare med diameter som x-axel och hastighet som y-axel och med fyra olika varianter med hjälplinjer.

Tryckfallslinjerna 0.5, 1 och 2 Pa/m visas i Figur 4.1. Den relativa yttemperaturen kan läsas av under dessa linjer om tryckfall skall ligga under de angivna värdena. Den relativa yttemperaturen är högre än 0.35 för 0.5 Pa/m och högre än 0.3 för 1 Pa/m. Tilluftstemperaturen kan ligga betydligt under daggpunktstemperaturen. Ett enkelt krav för de två fallen 0.5 och 1 Pa/m med tilluftstemperatur 10 °C och omgivningstemperatur 20 °C är att daggpunktstemperaturen skall ligga under 13.5 °C respektive 13.0 °C.

Om dimensionering sker kring dessa linjer lika mycket över som under sker dimensionering i tre områdena som begränsas med (0.25,0.75), (0.5,1.5) respektive (1,3) Pa/m, vilka redovisas i Figur 4.2-4. Kvoten mellan övre och undre gräns är 3, vilket en obetydlig avrundning av att tryckfallet ändras nästan en faktor tre vid dimensionsbyte för samma flöde. Exponenten för diametern i uttrycket för friktionstryckfallet är -4.8541 och minskning en standarddimension ger $0.8^{-4.8541} = 2.954 \approx 3$ och ökning med en standarddimension ger $1.25^{-4.8541} = 0.339 \approx 1/3$.

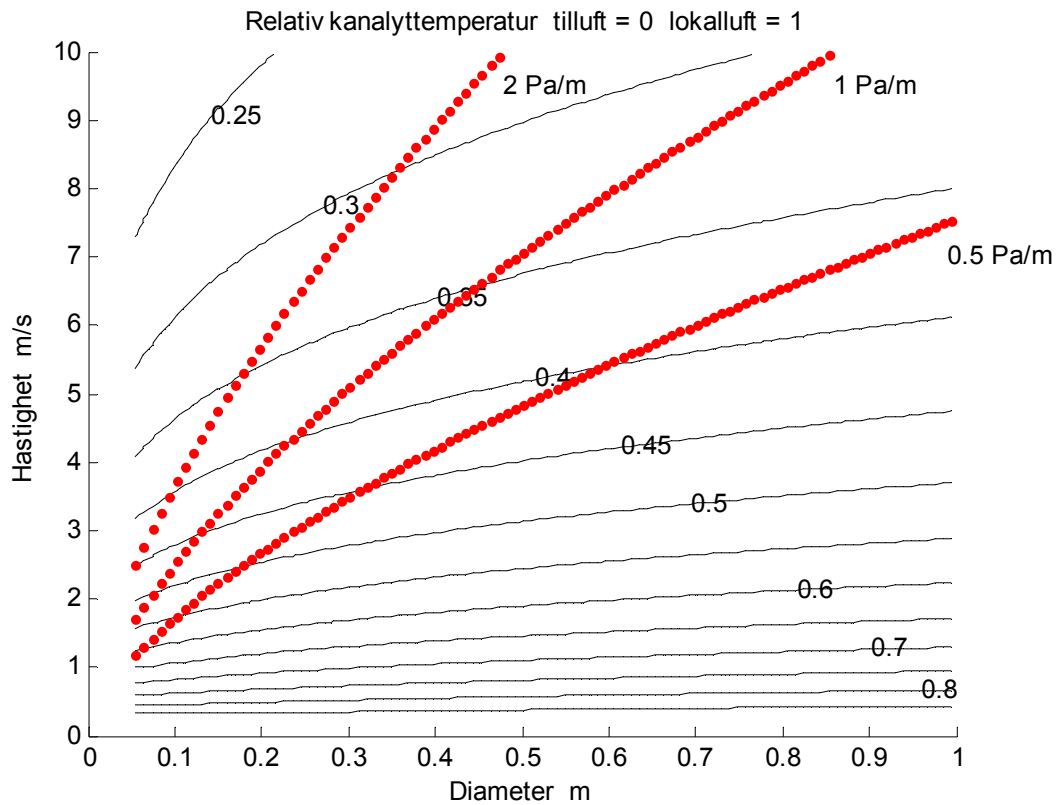
Ett första påpekande är att beräkningar har skett med beräkningsuttryck för en slät kanal. Dagens luftkanaler är rillade över storlek 20 eller 200 mm. Vad detta innebär för det inre och yttre värmeövergångstalet har inte utretts närmare. Ett tillägg är också att spirokanaler inte är helt släta utvändigt. Spiralfalsningen består fyra lager kanalplåt.

Ett andra påpekande är att om det finns en inre kylfläns i en luftkanal kan yttemperaturen bli lägre än för en helt slät kanal. Ett enkelt exempel är en utvändigt monterad plåtskruv som har en mycket större inre yta än yttre yta och bara med god termisk kontakt till luft. Ett annat exempel är en nippel som med tätningslister kan vara i dålig termisk kontakt med de kanaldelar som den sammanfogar och bara exponerar en liten del utåt. En muff är motsatsen. De raka kanaldelar som exponeras intill muffen kan nästan hålla tilluftstemperatur. Övergången mellan isolerad och oisolerad kanal (brandskyddsisolering) skapar liknande förhållanden.

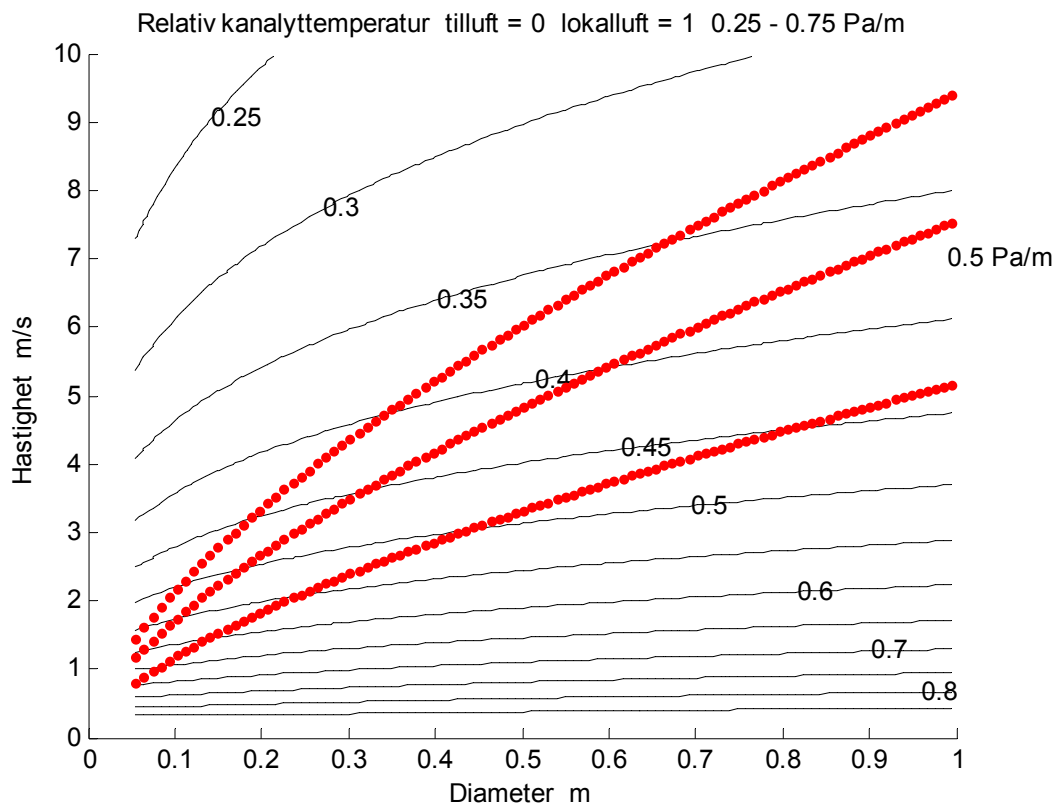
Ett tredje påpekande är att temperaturen ökar i kanalsystemet samtidigt som kanaldimensioner och hastigheter avtar efter olika avgreningar. Detta medför att den relativa yttemperaturen ökar enligt Figur 4.1-4 för samma tryckfall. Detta innebär att den absoluta yttemperaturen ständigt ökar längre ut i kanalsystemet. Slutsatsen är därför att det mest kritiska fallet är själva huvudkanalen.

Ett fjärde påpekande är att det kan finnas kanalsträckor i och efter olika böjar, grenstycken och spjäll med lokalt höga hastigheter, vilket ökar det inre värmeövergångstalet och därmed minskar yttemperaturen lokalt.

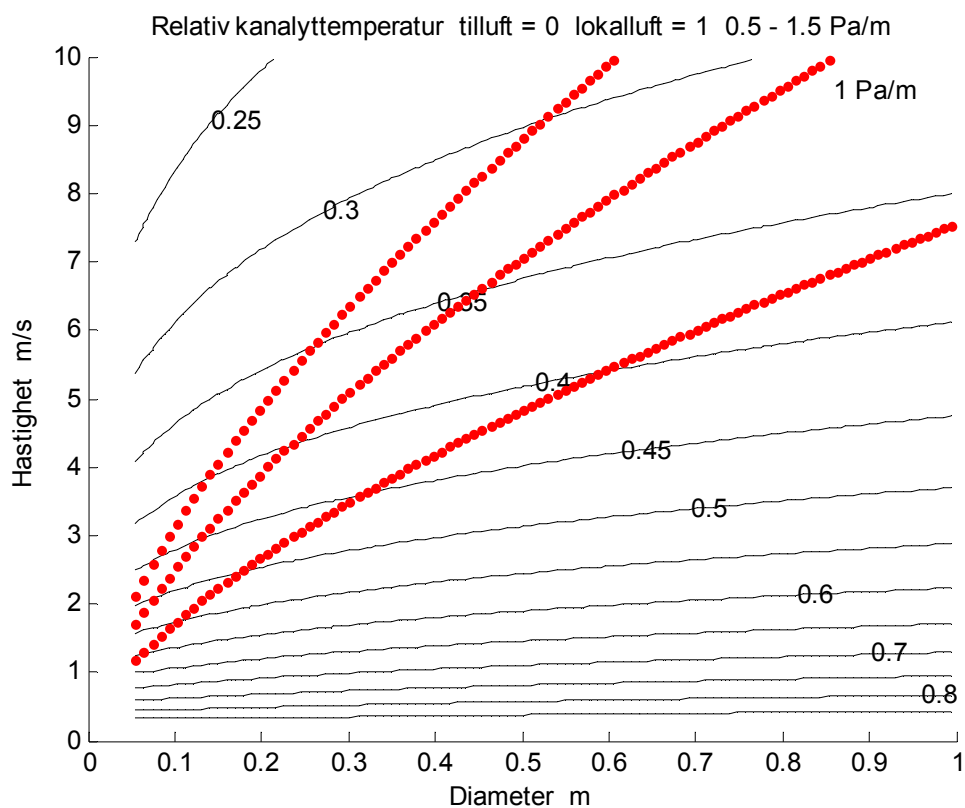
En slutsats är att tilluftstemperaturen i raka kanaler kan i princip vara lägre än lokalens daggpunktstemperatur, men med beaktande av påpekanden ovan finns det risk för lokalt låga yttemperaturer nästan lika med tilluftstemperaturen. Huvudslutsatsen är därför att tilluftstemperaturen inte bör understiga lokalens daggpunktstemperatur om inte en detaljerad undersökning visar att yttemperaturen även lokalt i hela kanalsystemet är klart högre än tilluftstemperaturen.



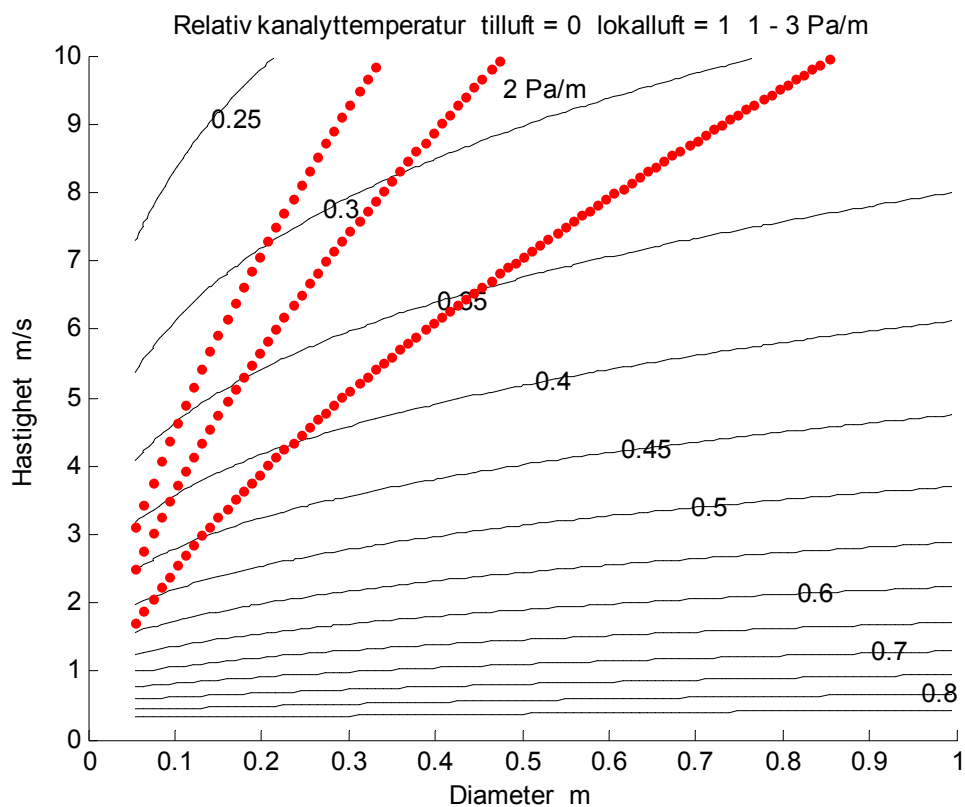
Figur 4.1 Relativ kanalytttemperatur funktion av diameter och hastighet.



Figur 4.2 Relativ kanalytttemperatur funktion av diameter och hastighet för 0.25-0.75 Pa/m.



Figur 4.3 Relativ kanalyttemperatur funktion av diameter och hastighet för 0.5-1.5 Pa/m.



Figur 4.4 Relativ kanalyttemperatur funktion av diameter och hastighet för 1-3 Pa/m.

5 Moduleffekt och tilluftstemperatur

Avsikten med detta avsnitt är att i första hand uppskatta temperaturskillnader och moduleffektskillnader i ett modulärt kanalsystem. Detta kräver inledningsvis även att hela kanalsystemets yta skattas, eftersom den bestämmer medeltemperaturen i kanalsystemet. Medeltemperaturen används för en enkel skattning av den minsta undertemperaturen. Den största undertemperaturen antas vara lika med skillnaden mellan lokalluft och tilluft. Minsta och största moduleffekt kan därefter skattas med motsvarande skattade undertemperaturer.

Kanalsystemets yta A

Kanalsystemet kan beskrivas med Figur 1.2. En stamkanal har m grenkanaler. Varje grenkanal har n don. Varje modul har ett mittplacerat don. Systemet har kvadratiska moduler med sidan s . Kanalsystemets totala längd L och luftens medelgångsväg L_q från ett hörn till lokalens mitt kan beräknas och skrivas som följer:

$$L = m n s + m s / 2 - s / 2 \quad (\text{m}) \quad (5.1)$$

$$L_q = (m + n) s / 2 \quad (\text{m}) \quad (5.2)$$

Lufthastigheten antas vara v i hela kanalsystemet oberoende av flöde och diameter. Detta är en förenkling. Hastigheten är högre i större kanaler än i mindre vid normal dimensionering. Medelgångstiden t och kanalsystemets volym V kan beräknas med totalflödet som:

$$t = L_q / v \quad (\text{s}) \quad (5.3)$$

$$V = q t \quad (\text{m}^3) \quad (5.4)$$

Medeldiametern D kan beräknas med hjälp av den skattade volymen V och skattade längden L som följer:

$$D = (4 V / \pi L)^{0.5} \quad (\text{m}) \quad (5.5)$$

Den sökta totala kanalytan A kan nu skattas som:

$$A = \pi D L = (4 \pi V L)^{0.5} \quad (\text{m}^2) \quad (5.6)$$

Förenkling med tidigare uttryck (5.3-4) ger följande:

$$A = (4 \pi L L_q q / v)^{0.5} \quad (\text{m}^2) \quad (5.7)$$

Insättning av (5.1) förenklat till $L = mns$ och (5.2) i (5.7) ger:

$$A = (2 \pi m n (m + n) s^2 q / v)^{0.5} \quad (\text{m}^2) \quad (5.8)$$

Totalflödet q kan ersättas med ett specifikt flöde per m^2 q' och hela golvarean mns^2 som betecknas q' . Den totala ytan för kanalsystemet kan nu skrivas som:

$$A = (2 \pi (m + n) q' / v)^{0.5} m n s^2 \quad (\text{m}^2) \quad (5.9)$$

Parentesen med kvadratroten i (5.9) är kanalarea per m^2 golvarea, vilket ger ett uttryck för relativ kanalarea mot golvarea på formen:

$$a = (2 \pi (m + n) q' / v)^{0.5} \quad (-) \quad (5.10)$$

En anmärkning är att det förekommer tre olika flöden i texten, donflödet q m^3/s , det specifika luftflödet q' m^3/sm^2 samt totalflödet q_t m^3/s .

Kanalsystemets relativ effektförlust $Ah/\rho c q$

Kvoten $Ah/\rho c q$ eller $ah/\rho c q'$ anger båda kanalsystemets värmeöverföringsförmåga i förhållande till luftflödets värmeöverföringsförmåga. Fördelen med (5.10) är att uttrycket är storleksoberoende och innehåller ett specifikt ventilationsflöde m^3/sm^2 golvarea q' , vilket är lättare att referera till än ett givet flöde $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Kvoten $Ah/\rho c q$ ingår i (1.2) som bestämmer medeltemperaturen i kanalsystemet. Denna kvot betecknas i fortsättningen k_t och kan med (5.10) skrivas som:

$$k_t = Ah/\rho c q = ah/\rho c q' = (2 \pi (m + n) / q' v)^{0.5} h/\rho c \quad (-) \quad (5.11)$$

Uttrycket (5.11) visar att ju fler moduler som kanalsystemet omfattar desto mer ökar ytkylförlusten och att en fyrdubbling av m och n fördubblar ytkylförlusten. En annan slutsats är att högre lufthastigheter minskar ytkylförlusten även om värmeövergångstalet bör motverka detta något. Ett högt specifikt luftflöde minskar ytkylförlusten.

Isoleringens betydelse framgår också enligt (5.11) för den nominella förlusten från en oisolerad kanal med värmeövergångstalet omkring $6 \text{ W}/\text{Km}^2$ till 1.2, 0.8 och 0.6 för isolertjocklekarna 30, 50 respektive 75 mm.

Något som inte framgår av (5.11) är det som saknas och därför inte har någon betydelse. Det är modulstorleken med den kvadratiske sidan s . En fördubblad modulsida och därmed en ytmässigt fyrdubblad lokalstorlek har samma ytkylförlust. Antalet grenkanaler och don per grenkanal är oförändrat.

Variabeln k_t redovisas som funktion av det specifika luftflödet q' i Figur 5.1 för ett fall utan isolering och ett fall med isolering. Lufthastigheten v är satt till $4 \text{ m}/\text{s}$. De två kurvorna visar att isolering eller inte har stor betydelse för värde på variabeln k_t . Det specifika luftflödet har också stor betydelse. Kanalsystem med låga specifika flöden resulterar i högre värden än ett. Detta innebär att kanalsystemets värmeöverföringsförmåga är större än luftflödets förmåga.

Kanalsystemets relativa temperaturförlust k_T

Den totala kyleffekten för en modul bestäms av hur mycket temperaturen ändras i kanalsystemet tillsammans med modulens kanalyta och donflöde. Hur mycket temperaturen skiljer mellan bästa och sämsta modul skall skattas i detta underavsnitt. De två temperaturskillnaderna ΔT_{max} och ΔT_{min} för bästa och sämsta modul kan uppskattas som följer:

$$\Delta T_{max} = \Delta T_i \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.12)$$

$$\Delta T_{min} = 2 \Delta T_m - \Delta T_i \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.13)$$

Uttrycket (5.13) bygger på att temperaturen ändras linjärt från inlopp och bästa utlopp över medelvärdet till sämsta utlopp. Medeltemperaturskillnaden ΔT_m kan skattas med (1.2) och en hjälpparameter k_t där parametrarna avser hela kanalsystemets yta A och dess totalflöde q_t på formen:

$$\Delta T_m = \Delta T_i / (1 + k_t) \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.14)$$

$$k_t = Ah / \rho c q_t \quad (-) \quad (5.15)$$

Insättning av (5.14) i (5.13) ger sambanden:

$$\Delta T_{min} = k_T \Delta T_i \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.16)$$

$$k_T = (1 - k_t) / (1 + k_t) \quad (-) \quad (5.17)$$

Variabeln k_T beskriver kvoten mellan högsta undertemperatur och lägsta undertemperatur och redovisas i Figur 5.2 som funktion av variabeln k_t .

Kanalsystemets minsta och största moduleffekt

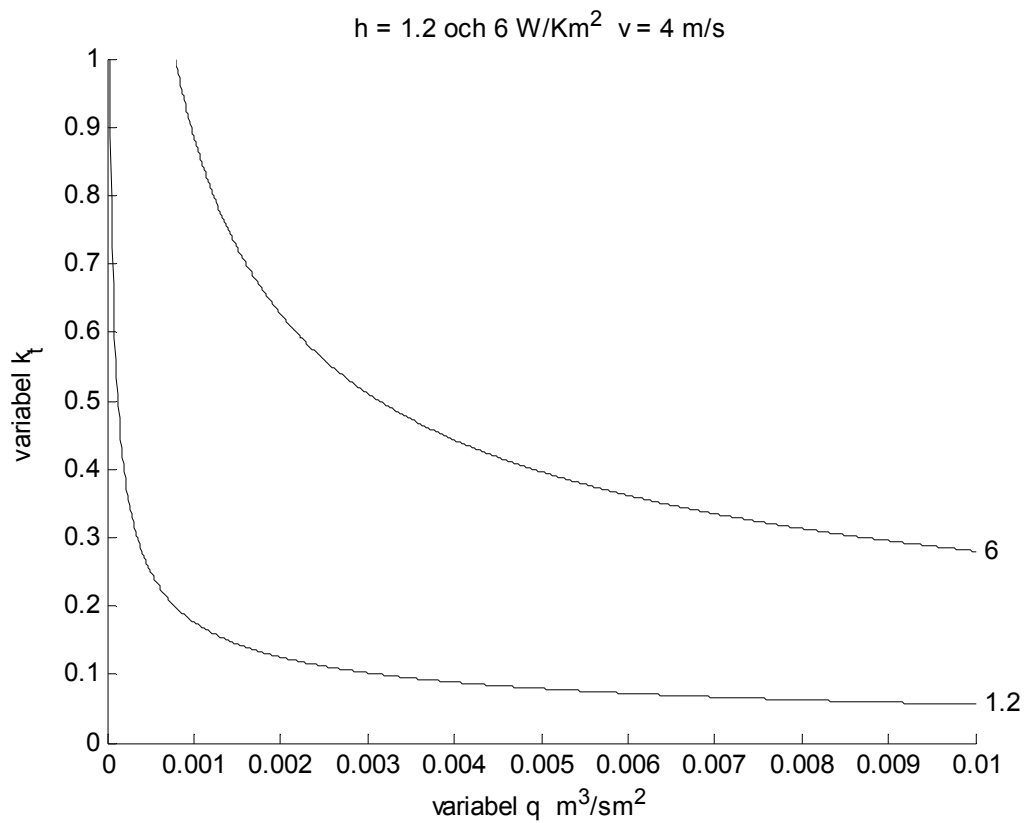
Kyleffekten för en modul består av luftflödets och kanalytans kyleffekt. Båda har nästan samma temperatur. Det är viktigt för ventilationssystemets kylfunktion att det inte finns för stora skillnader för olika moduler och särskilt mellan olika grupper av intilliggande moduler. Ett exempel är moduler intill huvudkanalen och längst bort från huvudkanalen. Den högsta och lägsta modulkyeffekten kan skattas som följer för ett kanalsystem med utformning enligt Figur 5.1 för kvadratiska moduler med sidan s och donflödet q :

$$P_{max} = (\rho c q + \pi h s (d_{smax} + d_{gmax})) \Delta T_{max} \quad (\text{W}) \quad (5.18)$$

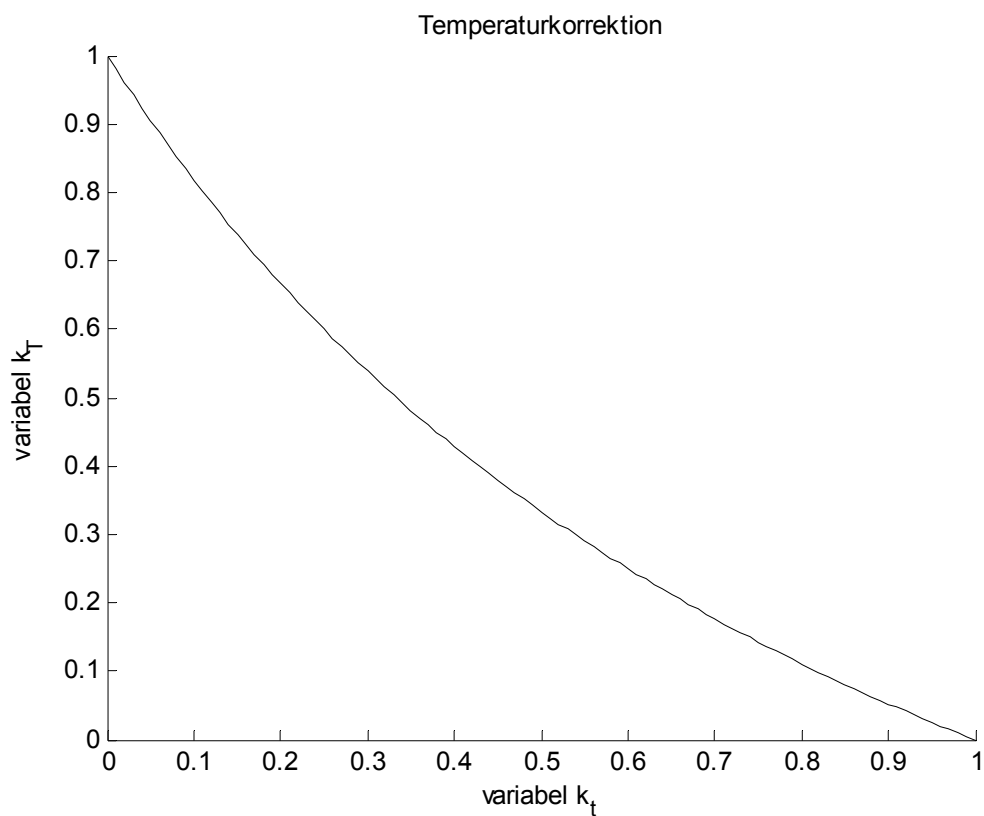
$$P_{min} = (\rho c q + \pi h s d_{gmin} / 2) \Delta T_{min} \quad (\text{W}) \quad (5.19)$$

där

$\rho c q$	donflödets värmeöverföringsförmåga W/K
h	kanalytans totala värmeöverföringstal, W/Km ²
s	modulsida, m
d_{smax}	största stamkanaldiameter, m
d_{gmax}	största grenkanaldiameter, m
d_{gmin}	minsta grenkanaldiameter, m
ΔT_{max}	temperaturskillnad omgivning och tilluft för bästa modul, °C
ΔT_{min}	temperaturskillnad omgivning och tilluft för sämsta modul, °C



Figur 5.1 Variabeln k_t som funktion av specifikt luftflöde q för olika isolering.



Figur 5.2 Variabeln k_T som funktion av variabeln k_t .

Kvoten mellan minsta och största moduleffekt k_P fås efter division av (5.19) med (5.18), vilket kan skrivas som en produkt av en temperaturkorrektur k_T och en areakorrektur k_A med hjälp av två variabler k_{min} och k_{max} :

$$k_P = P_{min} / P_{max} = k_A k_T \quad (-) \quad (5.20)$$

$$k_A = (1 + k_{min}) / (1 + k_{max}) \quad (-) \quad (5.21)$$

$$k_{min} = \pi h s d_{gmin} / 2\rho c q \quad (-) \quad (5.22)$$

$$k_{max} = [2(d_{smax} + d_{gmax}) / d_{gmin}] k_{min} \quad (-) \quad (5.23)$$

Hakparentesen i (5.23) kan uppskattas genom att de tre diametrarna i kvadrat är proportionella antalet anslutna don för aktuell kanal. Antalet grenkanaler antas vara m och antalet don per grenkanal n . Totala antalet don är mn . Förhållandet $d_{smax} : d_{gmax} : d_{gmin}$ kan skrivas som $m^{0.5}n^{0.5} : n^{0.5} : 1$ och (5.23) kan skrivas om till:

$$k_{max} = 2 (m^{0.5}n^{0.5} + n^{0.5}) k_{min} \quad (-) \quad (5.24)$$

Hur variabeln k_A beror på variablerna k_{min} och k_{max} enligt (5.21-23) redovisas i Figur 5.3 som funktion av variabeln k_{min} för några olika värden på m och n .

Variabeln k_{min} enligt (5.22) kan skrivas om genom att ersätta donflödet q med produkten s^2q' , (modulyta multiplicerad med specifikt luftflöde) och att ersätta diametern d_{gmin} med $(4q/\pi v)^{0.5}$, vilket ger efter förenkling ger:

$$k_{min} = (\pi / q' v)^{0.5} h / \rho c \quad (-) \quad (5.25)$$

Variabeln k_{min} redovisas i Figur 5.4 som funktion av specifikt luftflöde q' för olika isolering. Den tidigare beräknade variabeln k_t enligt (5.11) som beskriver medeltemperaturändringen är snarlik k_{min} som beskriver den största temperaturändringen och sambandet redovisas nedan:

$$k_t = (2m + 2n)^{0.5} k_{min} \quad (-) \quad (5.11)_{rev}$$

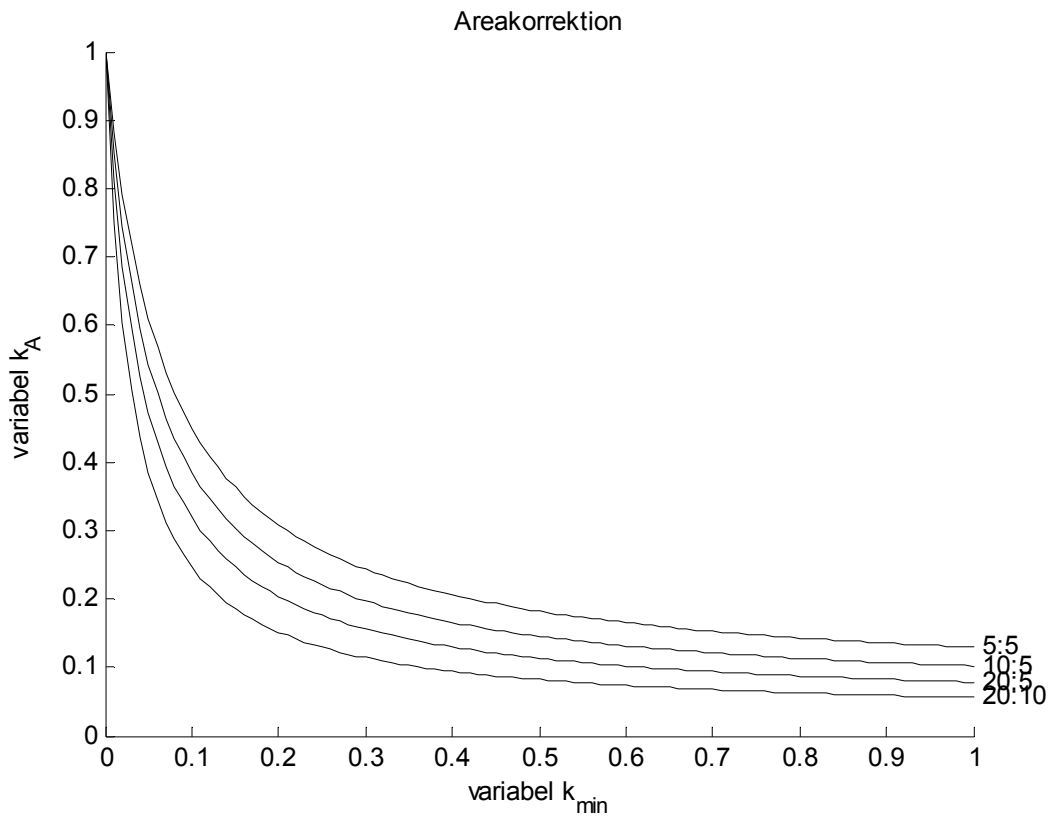
Det som skiljer är en faktor $(2m + 2n)^{0.5}$.

Lägsta och högsta moduleffekt kan skattas genom att anta att alla moduleffekter är jämnt fördelade mellan den lägsta och den högsta moduleffekten. Detta medför att den kända medel-, lägsta och högsta moduleffekten kan skrivas som:

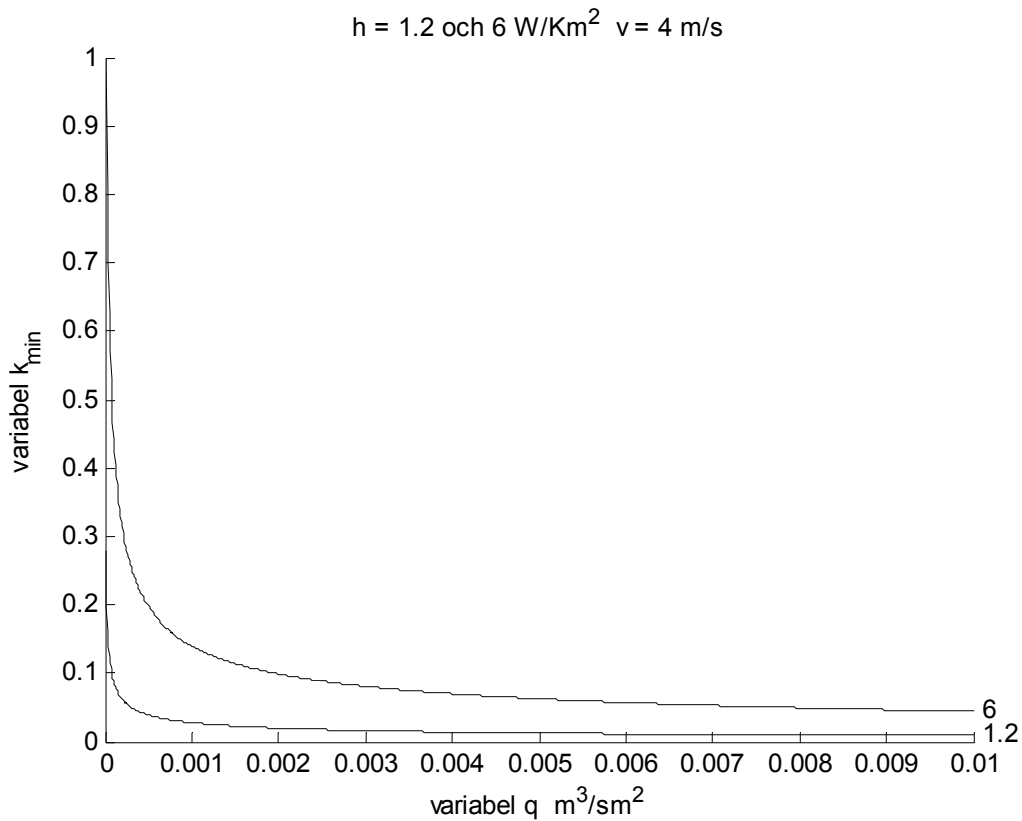
$$P_m = \rho c q' s^2 \Delta T_i = (P_{min} + P_{max}) / 2 \quad (W) \quad (5.26)$$

$$P_{min} = 2 k_P P_m / (1 + k_P) \quad (W) \quad (5.27)$$

$$P_{max} = 2 P_m / (1 + k_P) \quad (W) \quad (5.28)$$



Figur 5.3 Variabeln k_A som funktion av variabeln k_{min} och olika m och n .



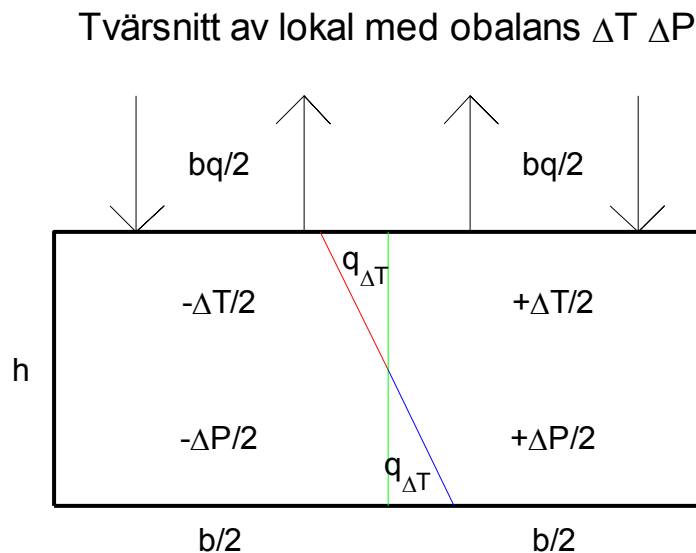
Figur 5.4 Variabeln k_{min} som funktion av specifikt luftflöde q' för 0 och 30 mm isolering.

6 Skattning av högsta rumslufthastighet

I detta avsnitt undersöks hur hög lufthastigheten och hur stor temperaturskillnaden kan bli mellan två halvor i en stor lokal med en given höjd, bredd och effektobalans. Principen för beräkningsmodellen visas i Figur 6.1 och omfattar endast 1 m vinkelrät tvärsnittet eller lokalens längdriktning. Modellparametrarna är följande:

b	lokalens bredd, m
h	lokalens höjd, m
q	lokalens specifika ventilationsflöde, m^3/sm^2
ΔT	lokalens temperaturobalans, K
ΔP	lokalens specifika effektobalans, W/m^2

Modellen förutsätter fullständig omblandning i varje halva av tvärsnittet. Modellens längd är godtycklig och kan därför både vara större eller mindre än lokalens bredd. Effektobalansen finns i lokalens breddriktning. Denna obalans skapar en temperaturobalans som i sin tur skapar en dubbelriktad luftström mellan de två halvorna. Luftflödet bestäms av temperaturskillnaden mellan de två halvorna och lokalens höjd. Temperaturskillnaden kan bestämmas genom att beskriva effektbalansen för de två halvorna.



Figur 6.1 Tvärsnitt av ventilerad lokal med effekt- och temperaturobalans.

Strömningen mellan den varma och den kalla halvan beräknas som för dubbelriktad strömningen genom en stor öppning mellan två volymer med olika temperatur. Strömning förlusten i öppningen är lika med strömningens dynamiska tryck och det drivande termiska trycket. Detta är en förenkling, eftersom öppningen inte är begränsad utan omfattar hela tvärsnittet de två halvorna. Strömning förlusten är inte en engångsförlust utan en friktionsförlust för strömningen längs golv och tak. Högsta lufthastighet, omblandande luftflöde och effekt mellan de två halvorna för 1 m i längdriktningen kan skrivas som följer där kvoten $d\rho/\rho_m$ är lika med kvoten $\Delta T/T_m$:

$$v_{\Delta T} = (d\rho gh/\rho_m)^{0.5} = (\Delta T gh/T_m)^{0.5} \quad (\text{m/s}) \quad (6.1)$$

$$q_{\Delta T} = h v_{\Delta T}/3 \quad (\text{m}^3/\text{sm}) \quad (6.2)$$

$$P_{\Delta T} = \rho_m c q_{\Delta T} \Delta T \quad (\text{W/m}) \quad (6.3)$$

Tillkommande parametrar är temperaturberoende densitetsskillnaden $d\rho$, gravitationen g , medeldensiteten för lokalluften ρ_m och luftens specifika värme c . Luftflödet bestäms av medelhastigheten som är 2/3 av högsta hastigheten räknat över halva höjden enligt (6.2).

Effektbalansen för den varmare halvan kan skrivas som följer:

$$0 = b \Delta P / 4 - \rho_m c q b \Delta T / 2 - \rho_m c q_{\Delta T} \Delta T \quad (\text{W/m}) \quad (6.4)$$

Det går inte att lösa ut den sökta temperaturobalansen ΔT explicit, eftersom sambandet är olinjärt. Detta har skett numeriskt och den sökta temperaturskillnaden och den högsta hastigheten redovisas för fyra fall med olika byggnadshöjd, byggnadsbredd samt utan och med ventilation parvis i Figur 6.2-9 som funktion av effektobalansen. Tre linjer för olika draggränser, 0.15, 0.20 samt 0.25 m/s, har ritats in som en jämförelse i diagram för högsta lufthastighet.

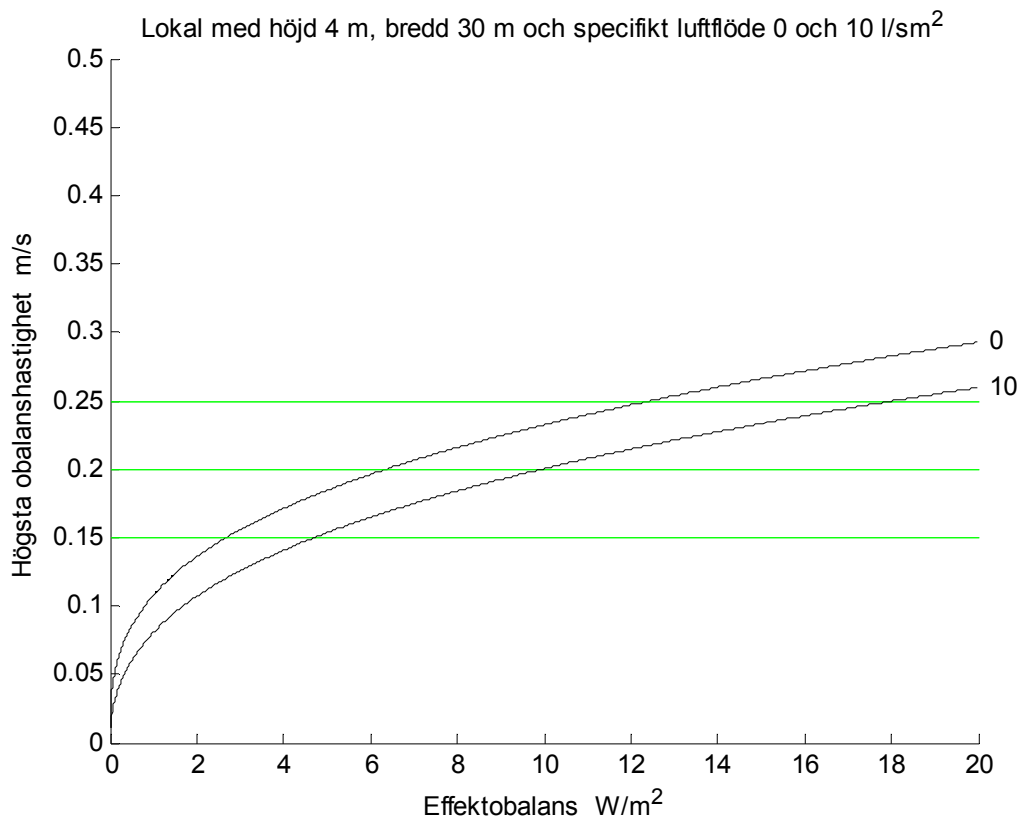
Kurvorna för högsta lufthastighet visar att höga hastigheter kan fås för måttliga effektobalanser. Lufthastigheten ökar med lokalens bredd och avtar något med lokalens höjd för fallet med ventilation. Lufthastigheten är oberoende av lokalens höjd för fallet utan ventilation.

Kurvorna för temperaturobalansen visar att den ökar med lokalens bredd och avtar med lokalens höjd. En större höjd vid samma temperaturskillnad ger ett större flöde, eftersom flödet är proportionellt mot höjden upphöjt till 1.5 enligt (6.1-2). Samma effektobalans kan därför motverkas med en mindre temperaturskillnad.

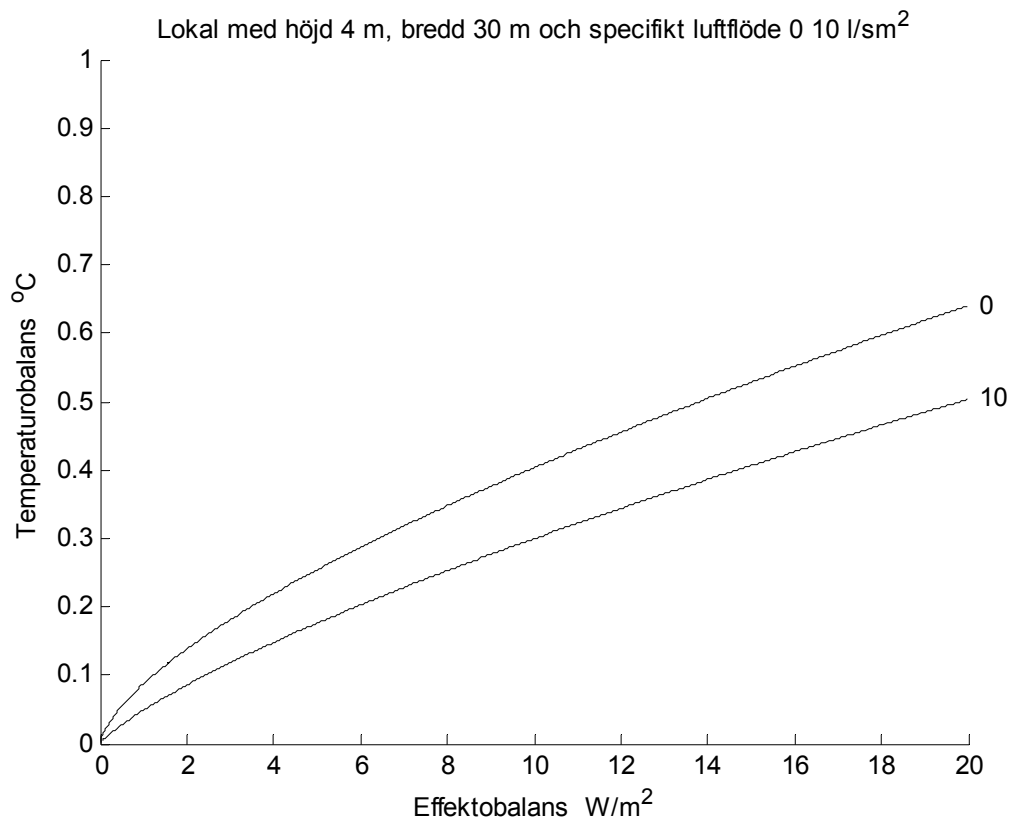
Alla kurvorna visar att ventilationsgraden 0 eller 10 l/sm² har liten inverkan på temperaturobalans och högsta hastighet.

De teoretiska beräkningarna visar att effektobalanser skapar luftrörelser i rummet som till viss del utjämnar obalansen. Effektobalanser kan skapa lufthastigheter i rummet större än vissa dragkriterier.

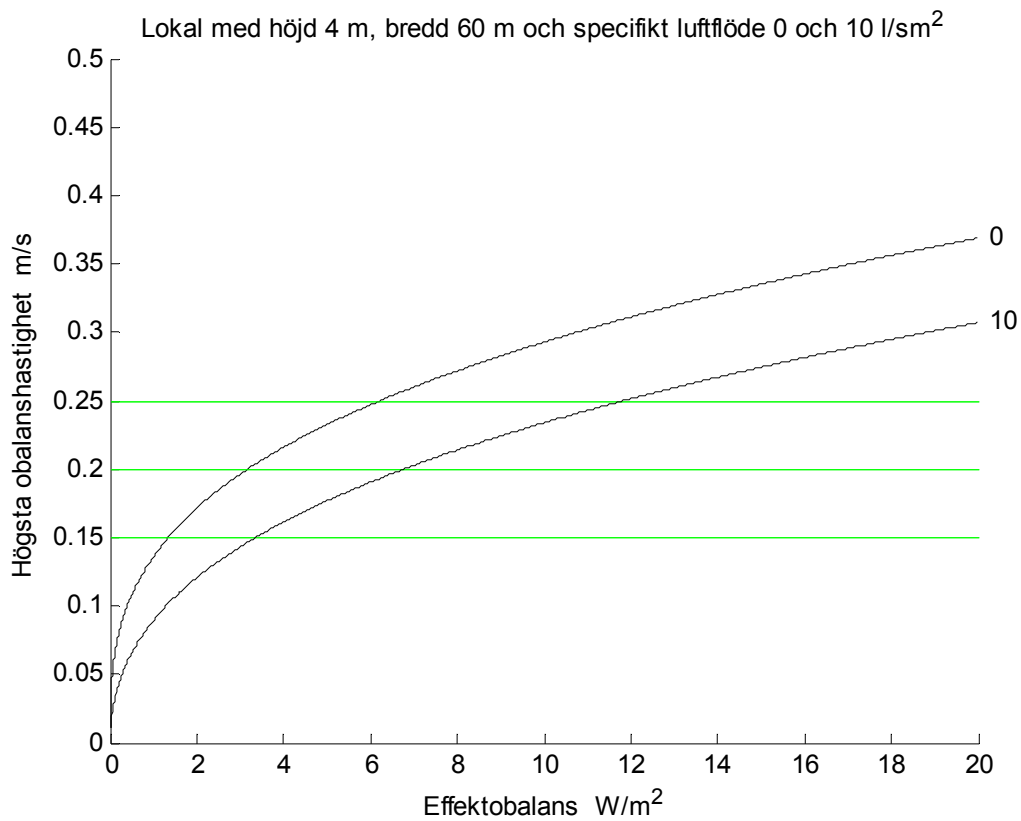
En annan slutsats från beräkningarna är att temperaturobalansen i rummet är klart mindre än 1 °C för effektobalanser upptill nästan 20 W/m² och att temperaturskillnaden med de två lokalhalvorna inte kan vara något stort problem.



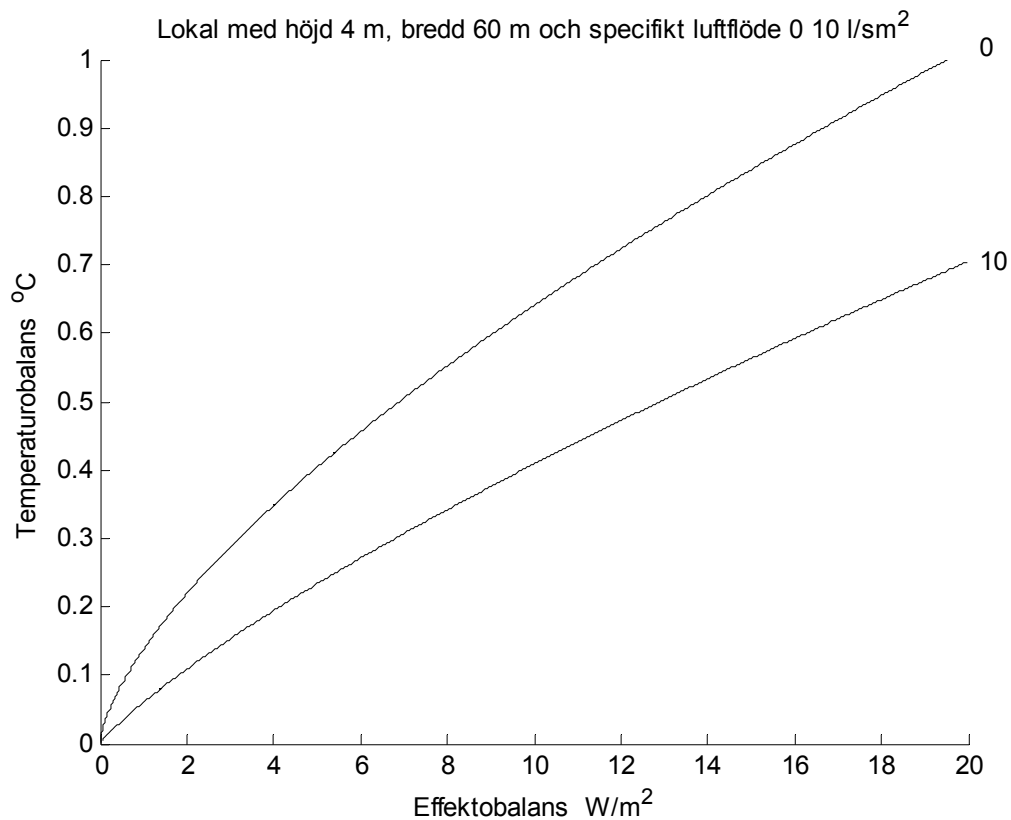
Figur 6.2 Högsta lufthastighet som funktion av effektobalans och olika ventilation.



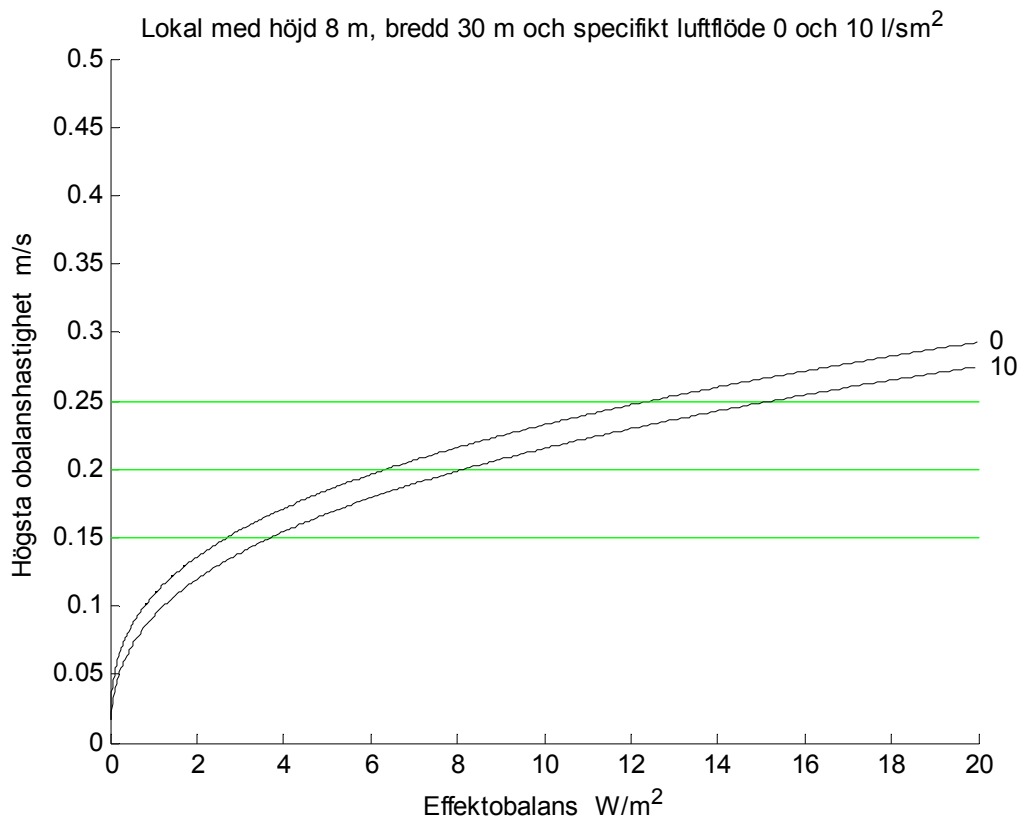
Figur 6.3 Temperaturobalans som funktion av effektobalans och olika ventilation.



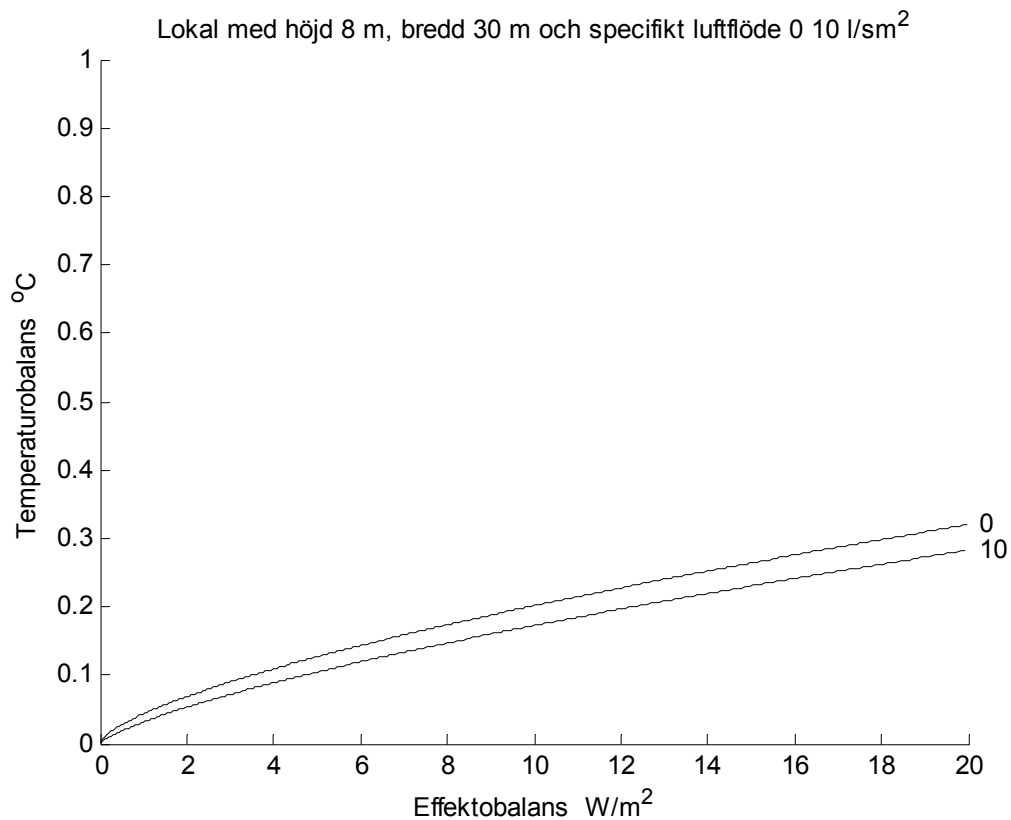
Figur 6.4 Högsta lufthastighet som funktion av effektobalans och olika ventilation.



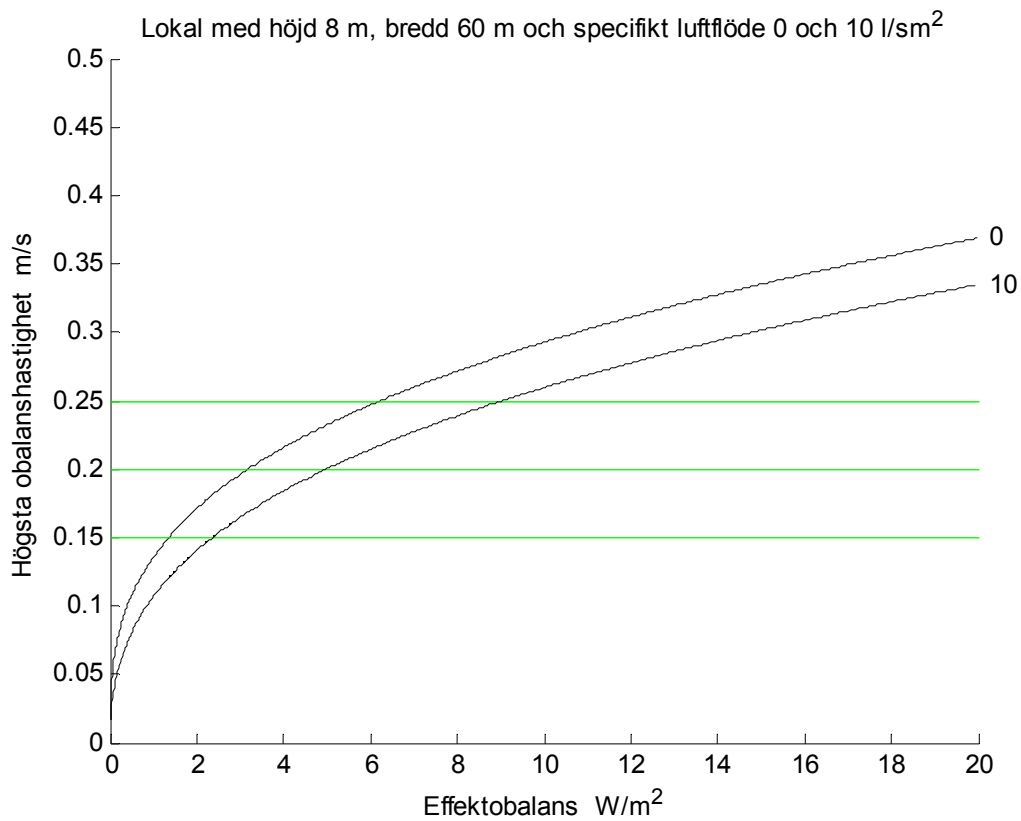
Figur 6.5 Temperaturobalans som funktion av effektobalans och olika ventilation.



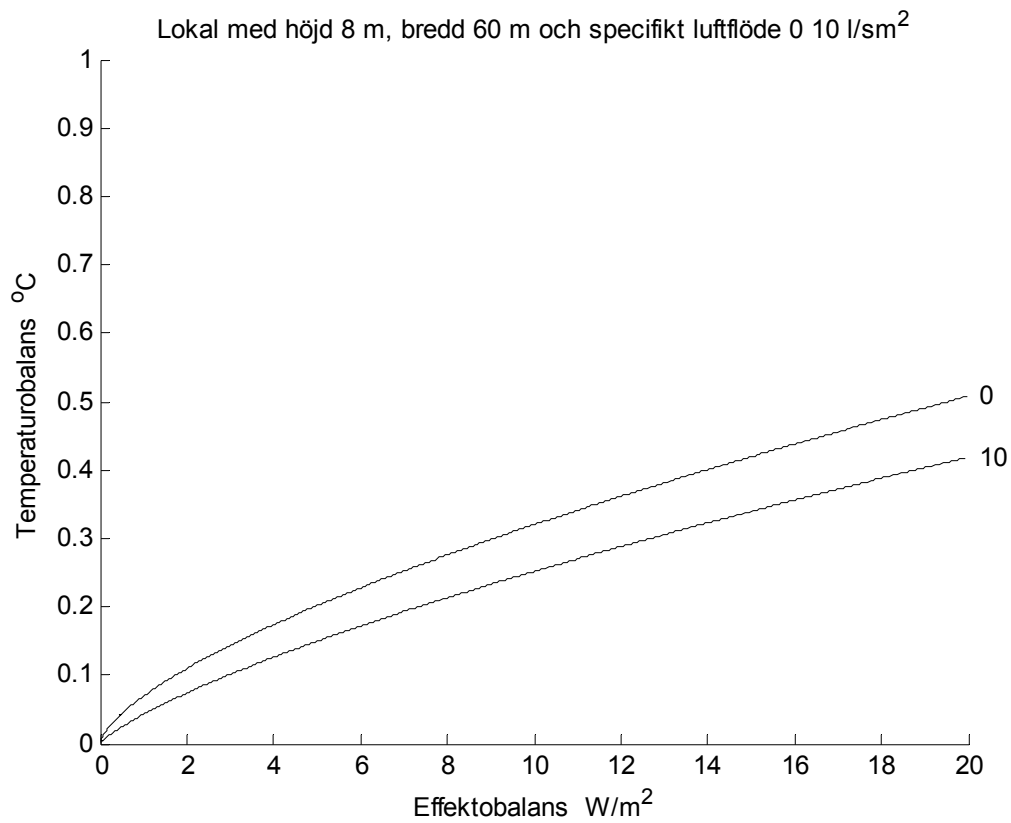
Figur 6.6 Högsta lufthastighet som funktion av effektobalans och olika ventilation.



Figur 6.7 Temperaturobalans som funktion av effektobalans och olika ventilation.



Figur 6.8 Högsta lufthastighet som funktion av effektobalans och olika ventilation.



Figur 6.9 Temperaturobalans som funktion av effektobalans och olika ventilation.

7 Analys av effekt och tilluftstemperatur

I detta avsnitt genomräknas fyrtioett olika fall och sammanställs i fjorton grupper för att visa parametrars betydelse. Ett basfall ingår i flera av jämförelsegrupperna. Varje gruppstudie redovisas på en sida med text och ett diagram med sorterade moduleffekter relativt medel-effekten och tilluftsundertemperaturer relativt den nominella tilluftsundertemperaturen. Moduleffekten är summan av kanalyteffekten och donluftereffekten. De relativa tilluftsundertemperaturerna är lika de relativa luftdoneffekterna, eftersom alla donflöden är lika.

Basfallets data anges över själva diagrammet och de data som skiljer sig från basfallet anges i diagrammet för varje fall på en rad. Den lägsta och högsta relativa moduleffekten anges under notationerna p_n och p_x tillsammans effektobalansen under notationen p_o . Denna obalans är skillnaden i relativ medelmoduleffekt för den övre halvan av alla moduleffekter och den undre halvan av alla moduleffekter. Kvoten mellan skattad kanalyta och verklig kanalyta anges också under notationen a_r .

Notera att de sista 6 modulerna i sorteringsordningen är de moduler där stamkanalen passerar. Detta är orsaken till den brytning i diagrammet som genomgående syns i figurerna.

Basfallet har följande data, antal grenkanaler m 6, antal don per grenkanal n 6, modulsida s 6 m, enkelsidigt kanalsystem enligt Figur 1.2, standardkanalstorlekar med högsta friktionstryckfall 1 Pa/m, oisolerade kanaler och specifikt luftflöde q' 1 l/sm². De fjorton gruppstudier-na är följande och redovisas i Figur 7.1-14:

	Figur
• Totalt värmeövergångstal 1, 2, 5 och 10 W/Km ²	7.1
• Isolertjocklek 0, 30, 50 och 75 mm	7.2
• Isolering av stam- och grenkanaler	7.3
• Dimensionerande tryckfall 0.5, 1 och 2 Pa/m	7.4
• Kanaldimensioneringssätt ideala, standard och två dimensioner	7.5
• Specifikt luftflöde 1, 2, 3, 4 och 5 l/sm ² utan isolering	7.6
• Specifikt luftflöde 1, 2, 3, 4 och 5 l/sm ² med 30 mm isolering	7.7
• Flödesminskning 1, 2, 3 och 4 l/sm ² för kanalsystem för 5 l/sm ²	7.8
• Modulsida 3, 6 och 12 m samt lokalstorlek	7.9
• Modulantal $m \cdot n$, 3·3, 6·6 och 12·12 samt lokalstorlek	7.10
• Modulantal $m \cdot n$, 3·3, 6·6 och 12·12 och samma lokalstorlek	7.11
• Enkelsidigt och dubbelsidigt kanalsystem enligt Figur 1.2-3	7.12
• Rektangulär lokalytan med oisolerat kanalsystem	7.13
• Rektangulär lokalytan med isolerat kanalsystem	7.14

En uppsummering görs sist.

Totalt värmeövergångstal

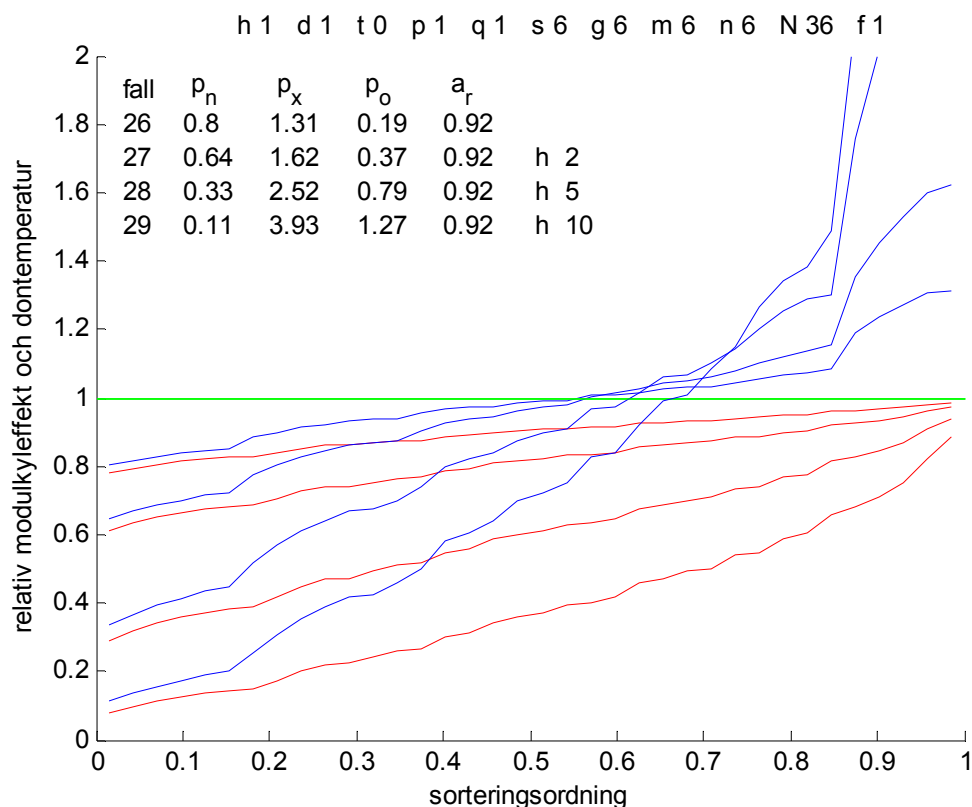
Fyra olika värmeövergångstal 1, 2, 5 och 10 W/Km² för kanalsystemet provas för basfallet. Värmeövergångstalet ligger mellan 5 och 10 W/Km² för en oisolerad kanal och mellan 0.6 och 1.2 W/Km² för en isolerad kanal. Detta har tidigare retts ut i avsnitt 2.

Resultatet redovisas i Figur 7.1 i form av sorterad relativ moduleffekt och dito doneffekt. Den relativa doneffekten är lika med den relativa undertemperaturen i donet.

Den relativa doneffekten är alltid mindre än ett på grund av kanalförluster. Skillnaderna är stora för ett oisolerat kanalsystem och de avtar betydligt för isolerade kanalsystem.

Spridningen för den relativa moduleffekten är stor, eftersom till doneffekten adderas även själva kanalförlusten. Kurvornas lutning ökar betydligt för de sista sex modulerna utav trettiosex moduler. Dessa sex moduler är alla moduler med en stamkanal.

Några sifferexempel för lägsta och högsta relativa moduleffekt i Figur 7.1 och för fallet utan isolering med värmeövergångstalet 10 W/Km² fås 0.11 respektive 3.93 samt för fallet med isolering med värmeövergångstalet 1 W/Km² fås 0.80 respektive 1.31. Effekttobalansen ökar betydligt med ökande värmeövergångstal.



Figur 7.1 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

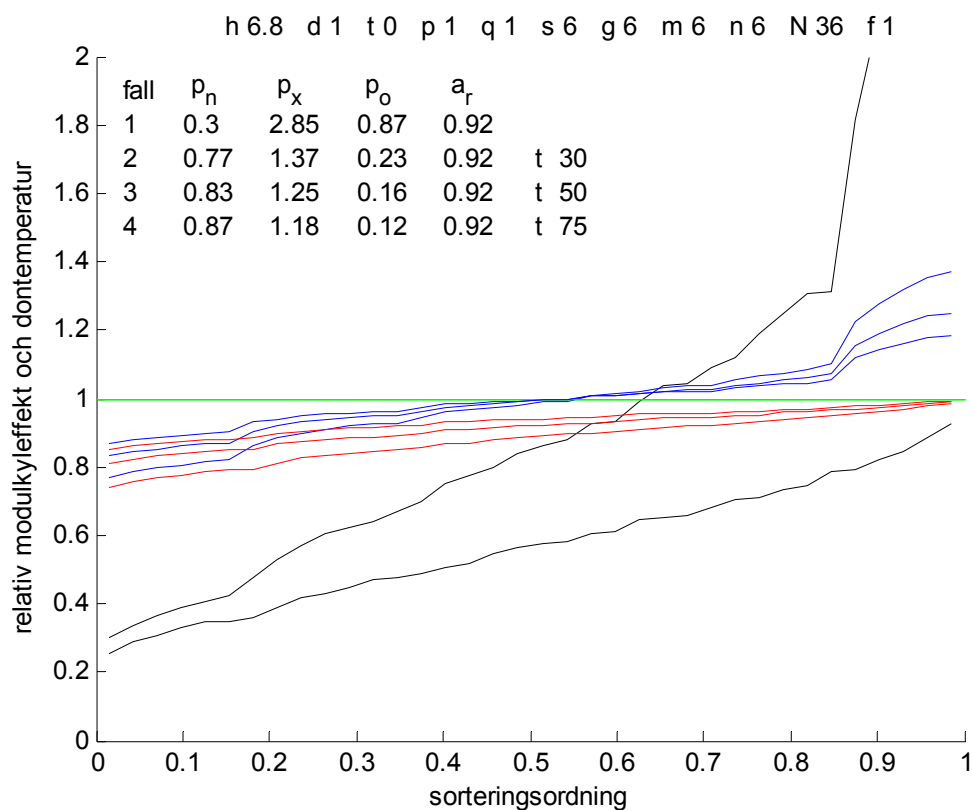
Isolertjocklek

Fyra olika isolertjocklekar 0, 30, 50 och 75 mm för kanalsystemet provas för basfallet. Resultatet redovisas i Figur 7.2 i form av sorterad relativ moduleffekt och dito doneffekt. Den relativa doneffekten är lika med den relativa undertemperaturen i donet.

Den relativa doneffekten är alltid mindre än ett på grund av kanalförluster. Skillnaderna är stora för ett oisolerat kanalsystem och de avtag betydligt för isolerade kanalsystem.

Spridningen för den relativa moduleffekten är mycket stor, eftersom till doneffekten adderas även själva kanalförlusten. Kurvornas lutning ökar betydligt för de sista sex modulerna utav trettiosex moduler. Dessa sex moduler är alla moduler med en stamkanal.

Några sifferexempel för lägsta och högsta relativa moduleffekt i Figur 7.2 och för fallet utan isolering fås 0.30 respektive 2.85 samt för fallet med 30 mm isolering fås 0.77 respektive 1.37. Effekttobalansen avtar med ökande isolertjocklek.



Figur 7.2 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

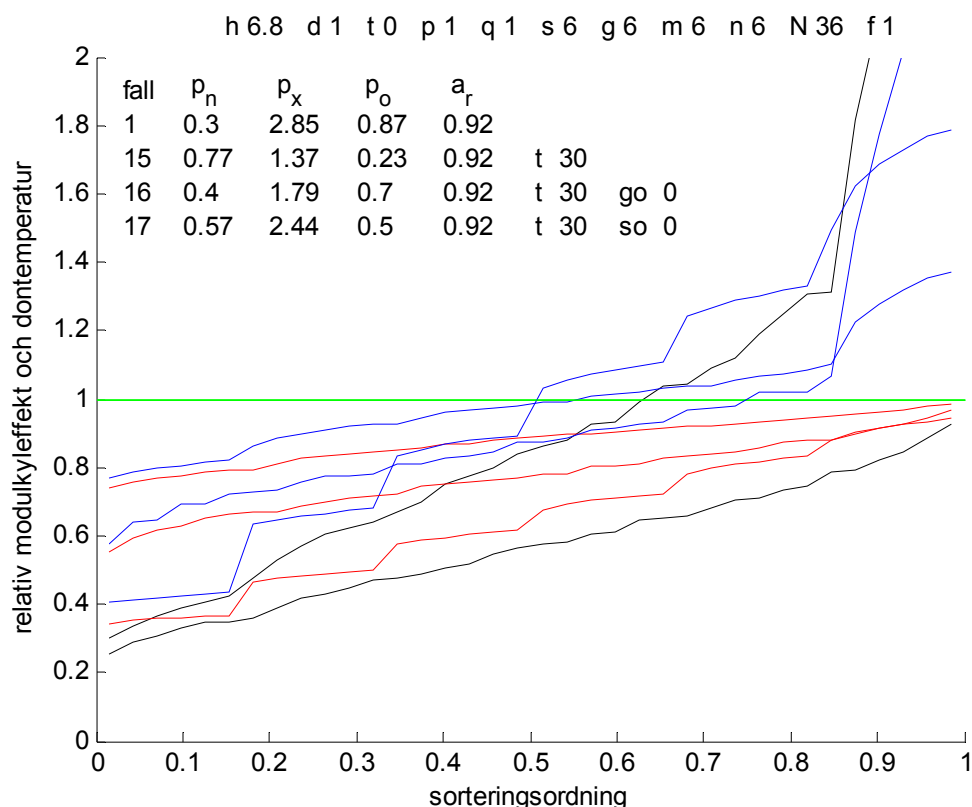
Isolering av stam- och grenkanal

Fyra olika isoleringssätt för kanalsystemet provas för basfallet. De fyra fallen är alla kombinationer mellan isolerade och oisolerad stam- och grenkanaler. Fall 1 är oisolerat och fall 15 är helt isolerat, medan fall 16 och 17 har isolerad stamkanal respektive isolerade grenkanaler. Resultatet redovisas i Figur 7.3 i form av sorterad relativ moduleffekt och dito doneffekt. Den relativa doneffekten är lika med den relativa undertemperaturen i donet.

Den relativa doneffekten är alltid mindre än ett på grund av kanalförluster. Skillnaderna är stora för ett oisolerat kanalsystem och de avtar betydligt för isolerade kanalsystem.

Spridningen för den relativa moduleffekten är mycket stor, eftersom till doneffekten adderas även själva kanalförlusten. Kurvornas lutning ökar betydligt för de sista sex modulerna utav trettiosex moduler. Dessa sex moduler är alla moduler med en stamkanal.

Fallet helt oisolerat och helt isolerat har också redovisats tidigare i Figur 7.2. Några siffer-exempel för lägsta och högsta relativa moduleffekt i Figur 7.3 och för fallet utan stamisolering är 0.57 respektive 2.44 och utan grenkanalisolering 0.40 respektive 1.79.



Figur 7.3 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

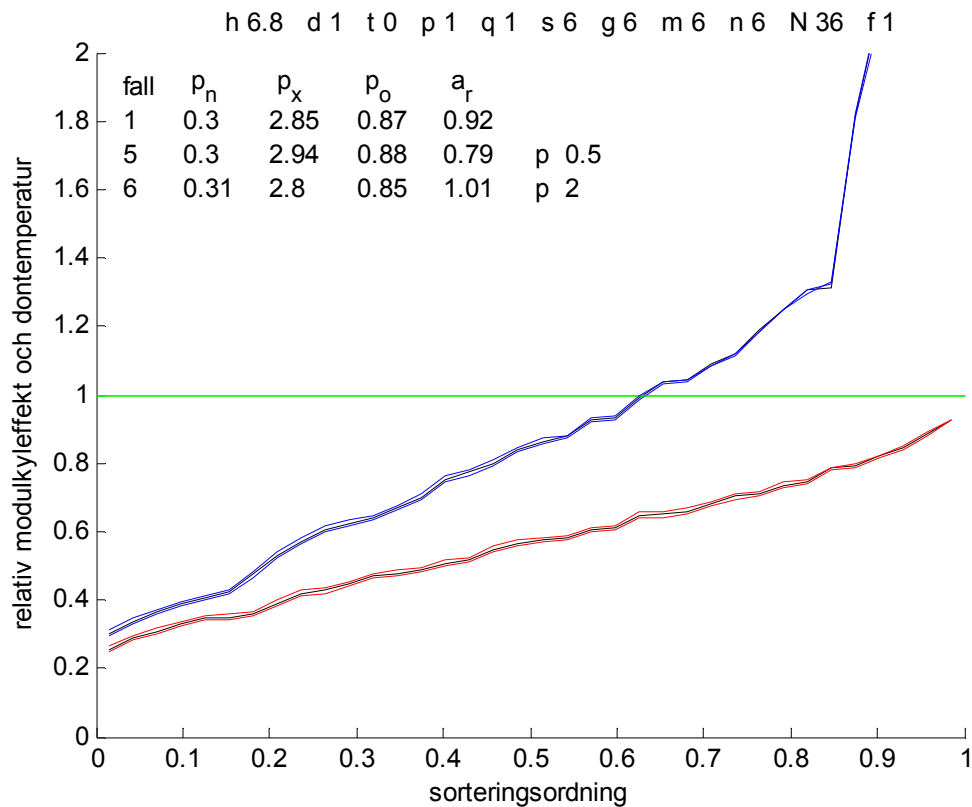
Dimensionerande tryckfall

Kanaldimensionering av basfallet har skett med tre olika friktionstryckfall 0.5, 1 och 2 Pa/m. Standardkanalstorlekar har valts som ligger under de angivna tryckfallen.

Kurvorna för både relativ moduleffekt och doneffekt i Figur 7.4 skiljer sig knappast åt för de tre fallen. En förklaring är att ett högre friktionstryckfall ger mindre kanaler med en mindre yta, men samtidigt ökar hastigheten och därmed även det inre värmeövergångstalet.

Ett påpekande är att de tre kanalsystemen är bitvis lika, eftersom kvoten mellan största och minsta tryckfall är högst 4. Friktionstryckfallet ändras i stort sett en faktor 3 vid byte till en mindre standarddimension. Fallen 0.5 och 2 Pa/m bör därför vara helt olika medan fallet 1 Pa/m har stora likheter med både 0.5 Pa/m och 2 Pa/m.

Spridningen för relativ moduleffekt och doneffekt är stor.



Figur 7.4 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

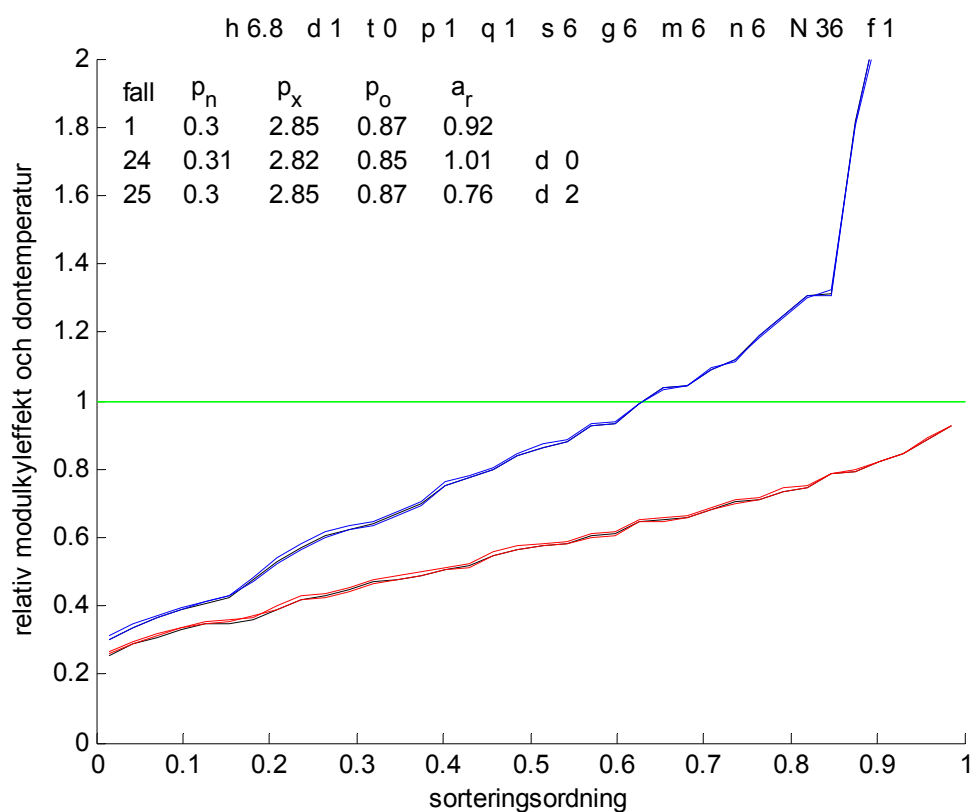
Kanaldimensioneringsätt

Kanalsystemet har dimensionerats enligt tre metoder. Den första metoden tillåter ideala dimensioner som ger exakt önskat tryckfall Pa/m. Den andra metoden rundar av de ideala dimensionerna till närmaste standarddimensioner uppåt. Standarddimensionerna utgörs av en Renard-serie med start 63 mm och en öknings-faktor 1.25 (egentligen $10^{1/10}$), vilket ger 80, 100, 125, 160 och 200 mm o s v. Den tredje metoden är en förenkling av den andra metoden genom att använda en och samma dimension för stamkanalen lika med den största stamkanalen enligt metod 2 och en och samma dimension för alla grenkanaler lika med den största grenkanalen enligt metod 2.

Skillnaderna mellan de tre metoderna är försumbara, vilket kurvorna i Figur 7.5 för sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt. Den första metoden har minsta kanalyta, men samtidigt också högst hastighet, vilket ökar det totala värmeövergångstalet. Den tredje metod-en har störst kanalyta med lägst hastighet, vilket minskar det totala värmeövergångstalet.

Slutsatsen är att ökande kanalyta kompenseras med minskade totalt värmegeomgångstal och därför blir skillnaden liten mellan de tre metoderna.

Spridningen i moduleffekt och lufteffekt är stor, eftersom isolering saknas.

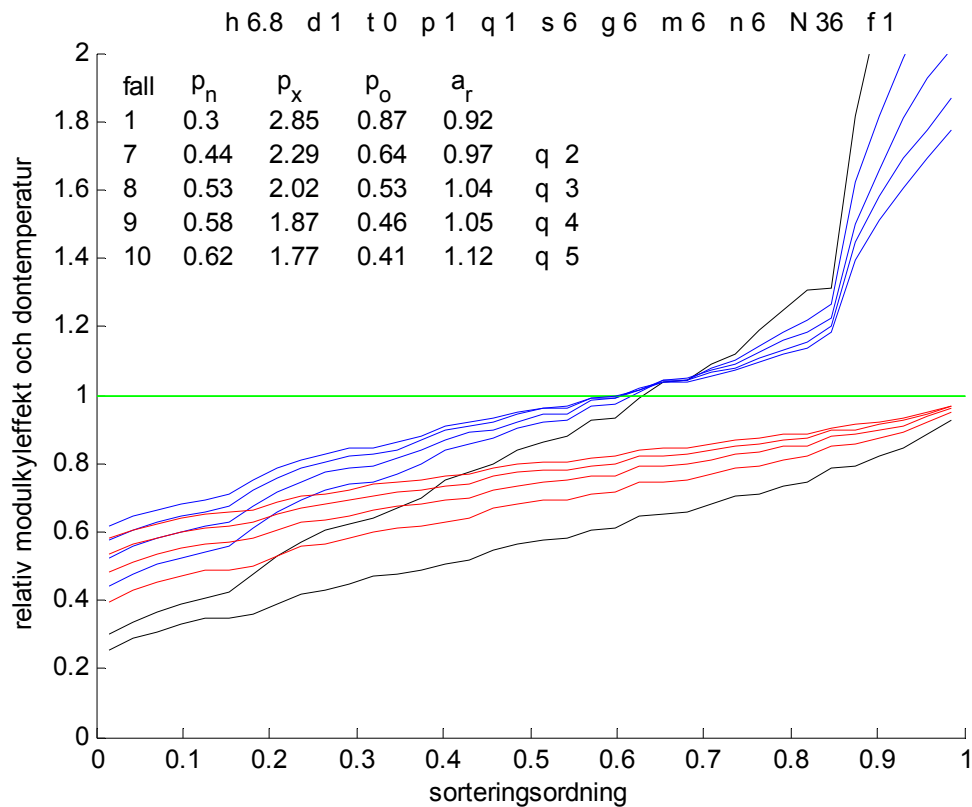


Figur 7.5 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

Specifikt luftflöde utan isolering

Fem olika specifika luftflöden från 1 till 5 l/sm² har testats för basfallets kanalsystem. Resultatet visas i Figur 7.6. Spridningen för både den relativa moduleffekten och doneffekten avtar med ökande specifikt luftflöde och är stor även för ett stort ventilationsflöde.

Relativ moduleffekt, relativ dontemperatur eller relativ doneffekt och effektobalans avtar med ökande ventilation, men är ganska stor även för stora ventilationsflöden.



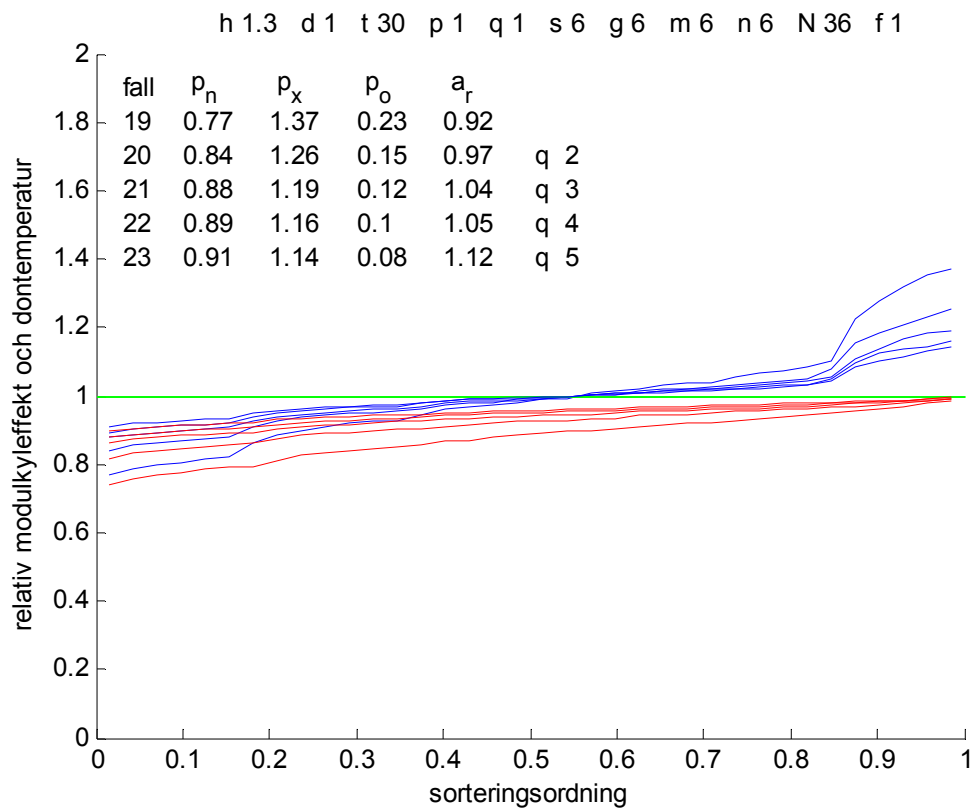
Figur 7.6 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

Specifikt luftflöde med isolering

Detta fall i Figur 7.7 skall jämföras med Figur 7.6 och visar vad måttlig isolering 30 mm betyder för spridning i relativ moduleffekt, doneffekt samt dontemperatur.

Effektobalansen är betydligt mindre än för de oisolerade fallen i Figur 7.6.

Ett påpekande är att stamkanalens förlust trots isolering syns tydligt för den sorterade moduleffekten.



Figur 7.7 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

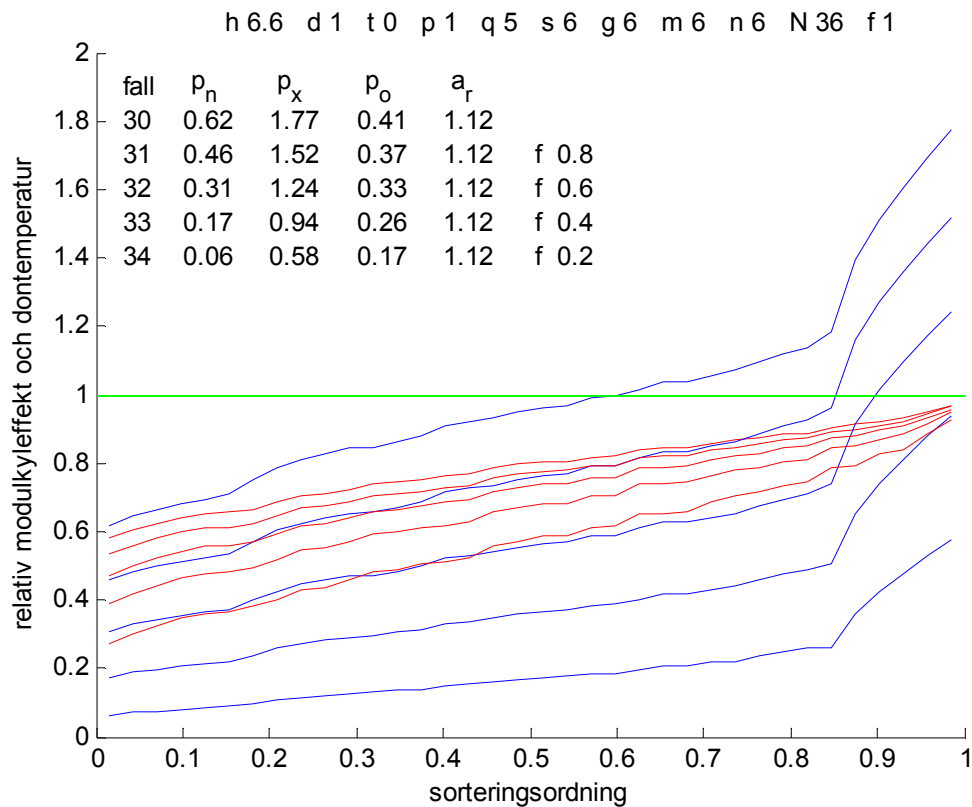
Flödesminskning vid drift

Ventilationskyla kan regleras med flödet för att spara fläktarbete. Hur den relativa moduleffekten och doneffekten eller donttemperaturen påverkas av flödesminskningen från dimensionerande 5 l/sm^2 nertill 1 l/sm^2 visas i Figur 7.8. Kanalsystemet är oisolerat. Figuren visar den nominella effekten för varje fall, dvs. fall 31 till fall 34 ställs i relation till fall 30.

De relativa moduleffekternas spridning avtar inte i proportion till totalflödet utan spridning ökar på grund av att kanalsystemet är dimensionerat för ett stort flöde.

Effektobalansen avtar från 0.41 till 0.17 samtidigt som den nominella kyleffekten avtar från 1 till 0.2.

Detta exempel visar att effektregering inte skall ske med flödet utan med tilluftstemperaturen, vilket inte påverkar spridningen mellan olika moduler.



Figur 7.8 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

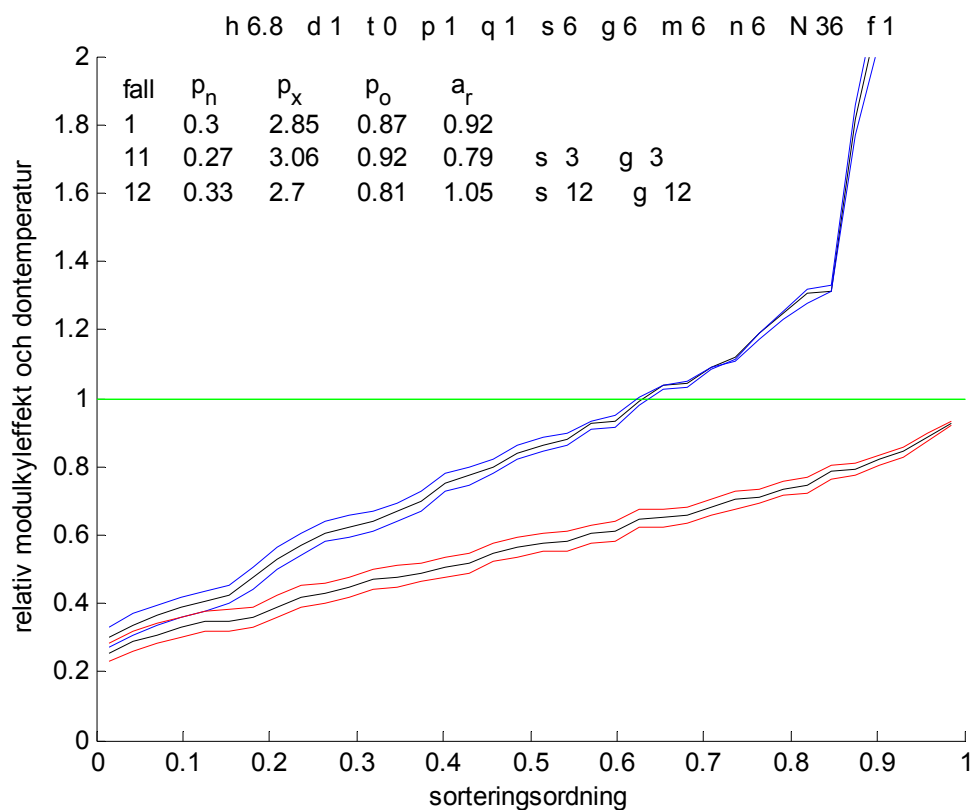
Modulstorlek och lokalstorlek

Kurvorna i Figur 7.9 visar att modulstorlek inte har någon nämnvärd betydelse. Den kvadratiska modulsidan är 3, 6 och 12 m. Antalet moduler är de samma, vilket innebär att lokalens sida ändras en faktor 0.5 och 2 utgående från basfallet.

En enkel analys är att kvoten $Ah/\rho c q$ är nästan oförändrad för de tre fallen. Antag att längdskalan ändras en faktor f . Flödet ändras en faktor f^2 . Om konstant friktionstryckfall gäller, ändras diametern en faktor flödet^{0.4} eller $(f^2)^{0.4}$. Kvoten $Ah/\rho c q$ är därför proportionell mot $f(f^2)^{0.4} / f^2 = f^{-0.2}$. Det totala värmeövergångstalet påverkas och ökar också, eftersom det inre ökar med ändrad diameter och hastighet och kvoten $Ah/\rho c q$ blir ännu mindre beroende av längdskalans parameter f .

Det inre värmeövergångstalet kan med (2.1-3) skattas som $h_i \sim Nu/d \sim Re^{0.8}/d \sim v^{0.8} d^{0.8}/d \sim v^{0.8} d^{0.2}$ och för konstanttryckfall gäller att $d \sim q^{0.4}$ och att $v \sim q^{0.2}$. Insättning av att $q \sim f^2$ ger att $h_i \sim f^{0.16}$, vilket till en del påverkar det totala värmeövergångstalet h i kvoten $Ah/\rho c q$.

En enkel slutsats är att modulstorleken inte har någon nämnvärd betydelse.



Figur 7.9 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

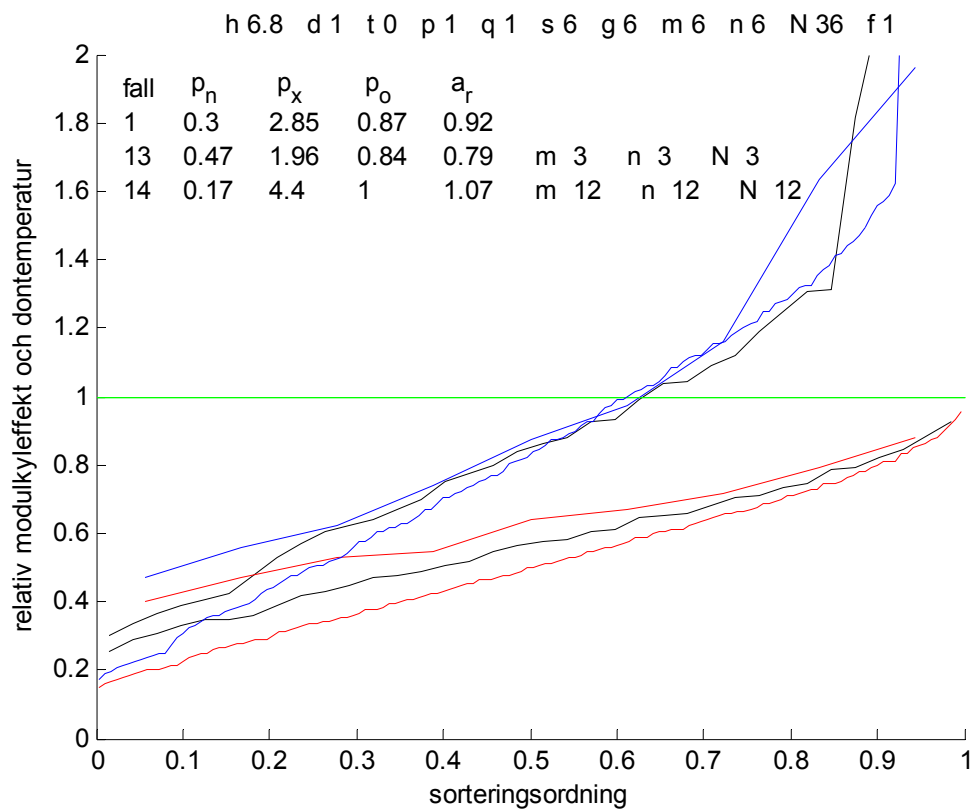
Antal moduler och lokalstorlek

Hur olika antal moduler påverkar den relativa moduleffekten och doneffekten eller dontemperaturen redovisas i Figur 7.10 för en och samma modulstorlek med sidan 6 m.

Tabellsiffrorna i Figur 7.10 visar att spridningen ökar med ökande antal moduler, vilket stämmer väl med teorin enligt samband (5.11), (5.17) och (5.20-23).

Notera att obalansen mellan den övre och undre halvan för moduleffekter är lika stor som den nominella effekten.

Spridningen för moduleffekt och dontemperatur är stor, eftersom kanalsystemen är oisolerade.

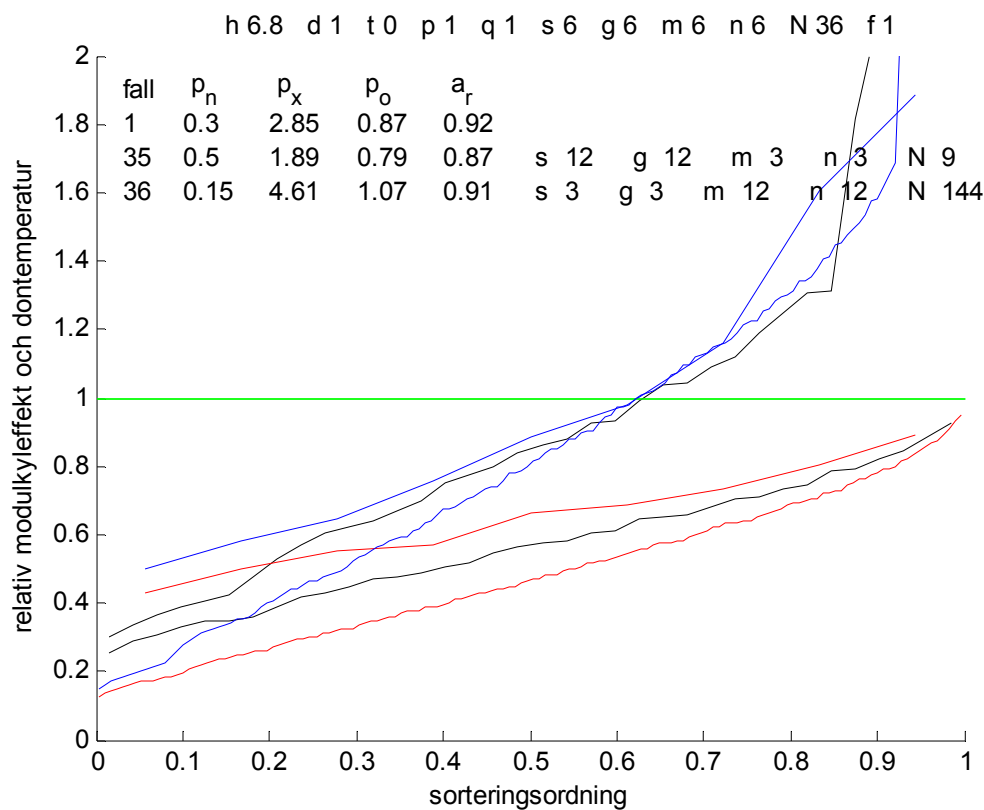


Figur 7.10 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

Antal moduler och samma lokalstorlek

Tidigare har två fall undersökts med olika modulstorlek i Figur 7.9 och med olika antal moduler i Figur 7.10. Lokalstorleken har följt med dessa ändringar och därför varierat. Här undersöks fallet med en samma lokalstorlek, men med olika antal moduler med anpassad storlek. De tre fallen har modulsidan 3, 6 och 12 m och med motsvarande modulantal 144, 36 respektive 9.

Resultatet blir nästan det samma som för fallet med olika antal moduler redovisat i Figur 7.10.



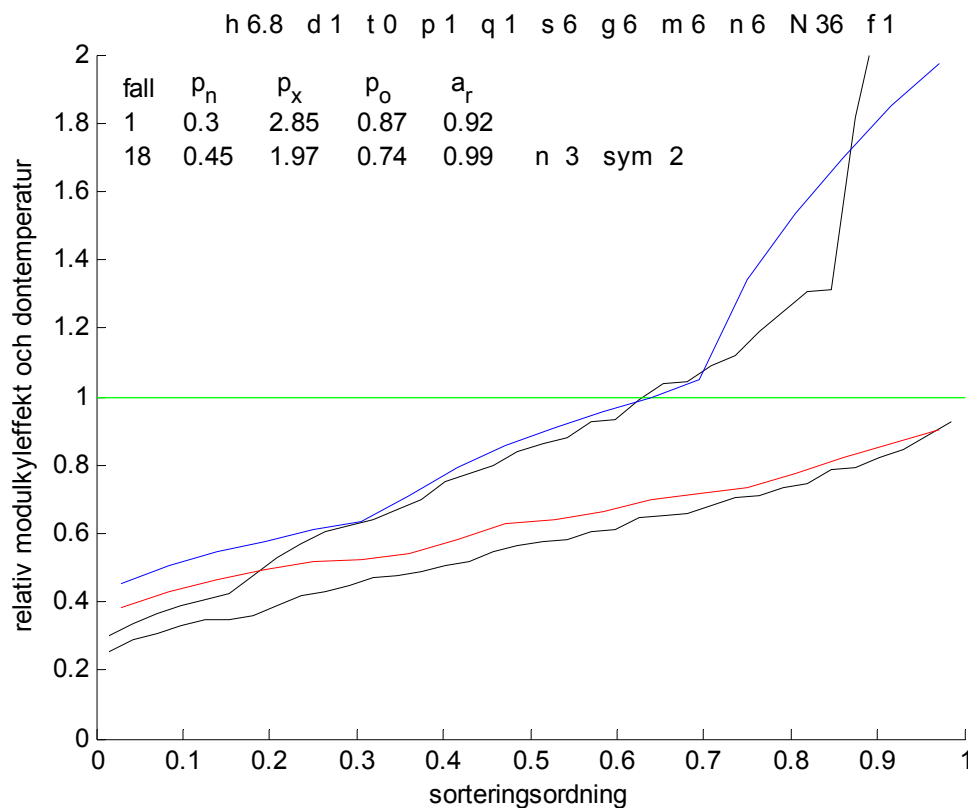
Figur 7.11 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

Enkelsidigt och dubbelsidigt kanalsystem

En enkel jämförelse mellan ett enkelsidigt kanalsystem i Figur 1.2 och ett dubbelsidigt kanalsystem i Figur 1.3 visar att det finns en skillnad i relativ moduleffekt som är störst i extrempunkterna. De bästa modulerna i Figur 1.2 tillgodoses hela stamkanalen, medan endast halva stamkanalytan med en något större kanaldiameter för det dubblade flödet för det dubbelsidiga fallet i Figur 1.3.

Det symmetriska fallet har något mindre spridning, eftersom grenkanalerna är kortare än för det asymmetriska fallet. Tabellsiffrorna i Figur 7.12 visar som väntat att både spridning och effektobalans avtar något för det symmetriska fallet.

Ett viktigt påpekande är att lokalens bredd skall halveras för det dubbelsidiga fallet när inverkan av obalans skall undersökas. Lokalens kan delas i två halvor längs stamkanalen. Lokalen har högst kyleffekt närmast stamkanalen och lägst kyleffekt längst bort från stamkanalen och ytterst på grenkanalerna.

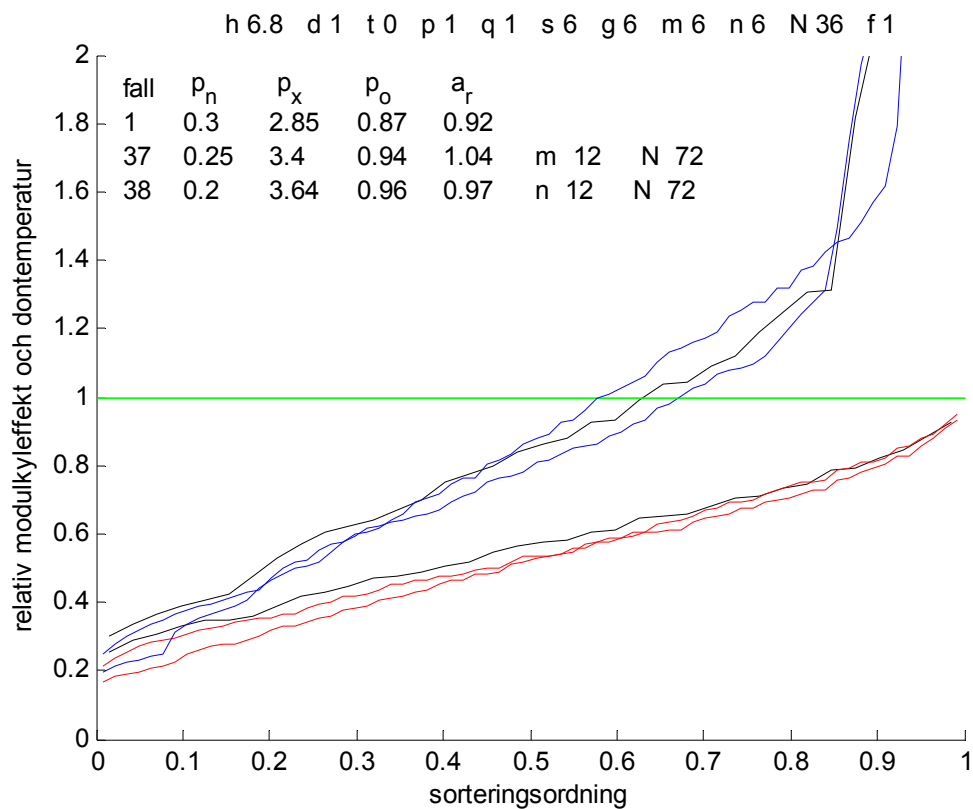


Figur 7.12 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

Rektangulär lokalyta med oisolerat kanalsystem

Alla exempel i Figur 7.1-12 har haft kvadratisk lokalyta med kvadratiska moduler och med lika många grenkanaler som don per grenkanal. Två fall med en rektangulär lokalyta lika med två kvadrater undersöks och jämförs med basfallet med kvadratisk lokalyta i Figur 7.13. Fall 37 har en stamkanal som matar 12 grenkanaler med 6 don. Fall 38 är omvändningen med en stamkanal som matar 6 grenkanaler med 12 don. Alla tre kanalsystem är oisolerade.

Beräkningsresultatet i Figur 7.13 visar att skillnaderna gentemot basfallet är små.



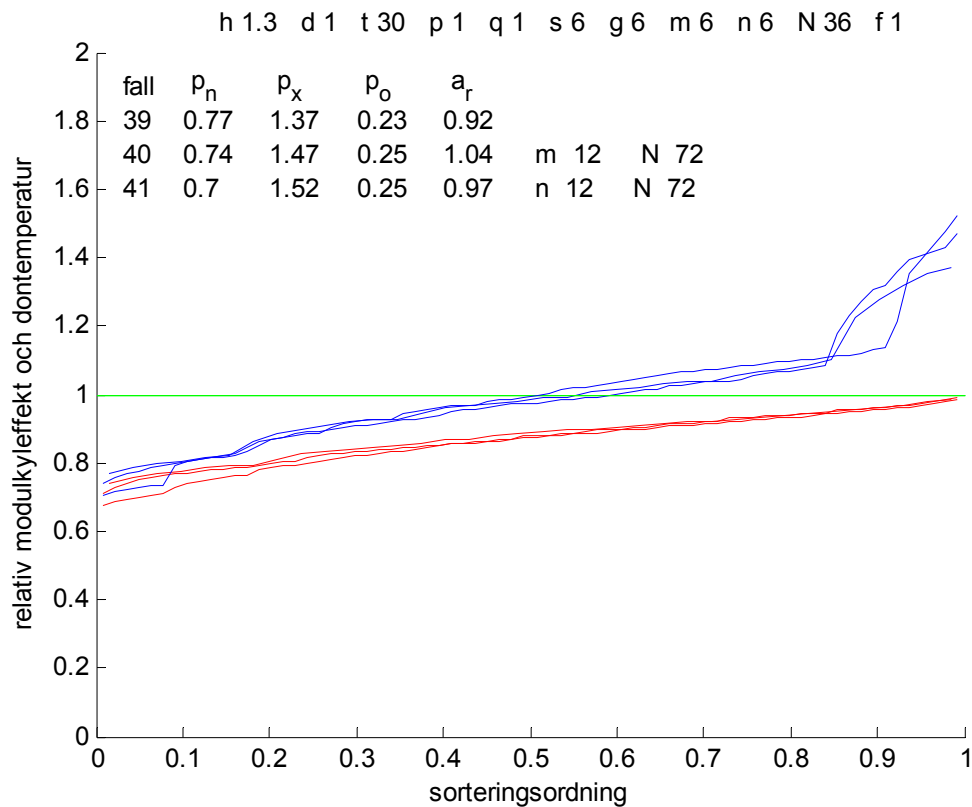
Figur 7.13 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

Rektangulär lokalyta med isolerat kanalsystem

Denna grupp är samma som föregående grupp bortsett från att 30 mm isolering tillkommit. Resultatet blir som väntat att spridningen avtar betydligt, men det finns dock påtagliga skillnader i såväl moduleffekt och tilluftstemperatur. Moduler med stamkanaldragning avviker givetvis även för det isolerade fallet.

Siffervärdena visar att spridningen ökar något med längre stamkanal (fall 40) och ytterligare med längre grenkanal (fall 41). Obalansen mellan den bättre och den sämre halvan skiljer dock obetydligt.

Skattningen av kanalytan är bättre för de två rektangulära fallen än för basfallet.



Figur 7.14 Sorterad relativ moduleffekt och sorterad relativ lufteffekt för fall enligt ovan.

Uppsummering

Isoleringens betydelse redovisas för basfallet i Figurerna 7.1-3 med isolering av hela och delar av kanalsystemet. Spridningen av moduleffekt, lufteffekt och tilluftstemperatur vid don är störst för oisolerade fall och betydligt mindre för de välisolerade fallen. Resultaten tyder på att bäst placering för en given mängd isolering fås genom att isolera stamkanalerna före grenkanalerna för att hålla nere spridningen av relativ moduleffekt.

Dimensionering av kanalsystem efter olika tryckfall har liten betydelse för spridningen i moduleffekt, lufteffekt och tilluftstemperatur enligt Figur 7.4. Detta gäller även för fall med ideala dimensioner, standarddimensioner och endast en stamkanaldimension och en grenkanaldimension enligt Figur 7.5. Detta beror på värmeledningstalet ökar vid högre lufthastighet samtidigt som kanalytan minskar och effekten av dessa mekanismer tar ut varandra.

Ett högt specifikt luftflöde minskar skillnader i moduleffekt, lufteffekt och tilluftstemperatur för ett oisolerat kanalsystem enligt Figur 7.6. Skillnaderna blir betydligt mindre för ett fall med 30 mm isolering enligt Figur 7.7.

Ett kanalsystem kan vara dimensionerat för ett flöde och tidvis arbeta med ett betydligt lägre flöde. Utgångsfall och fyra flödesminskningsfall redovisas i Figur 7.8. Spridningen i tilluftstemperatur ökar med avtagande driftsflöde. Detta gäller även för moduleffekten. Om basfallets modulsida, som är 6 m, dubblas eller halveras påverkar det ej spridningen i moduleffekt, lufteffekt och tilluftstemperatur i någon större omfattning, vilket visas i Figur 7.9. Notera att lokalstorleken också dubblas och halveras. För olika lokalstorlek erhålls en större spridning av de relativa moduleffekterna i extrempunkterna, vilket visas i figur 7.10. Detta gäller även för en given lokalstorlek, med ett ökat antal moduler vilket redovisa i Figur 7.11.

Basfallets enkelsidiga kanalsystem enligt Figur 1.2 har jämförts med ett dubbelsidigt kanalsystem enligt Figur 1.3. Spridningen i moduleffekt, lufteffekt och tilluftstemperatur är mindre för det dubbelsidiga kanalsystem enligt jämförelsen i Figur 7.12.

Basfallet har en kvadratisk lokalform och modul. Vad lokalformen betyder har undersökts med två rektangulära lokalytor med eller utan oisolering. Jämförelse har skett mellan basfallet och två enkelsidiga kanalsystem med en stamkanal som matar 12 grenkanaler med 6 don respektive omvändningen med en stamkanal som matar 6 grenkanaler med 12 don. Skillnaderna i moduleffekt, lufteffekt och tilluftstemperatur är stora för det oisolerade fallet i Figur 7.13 och betydligt mindre för det isolerade fallet i Figur 7.14.

Alla fjorton undersökningsgrupper visar att spridning i moduleffekt, lufteffekt och tilluftstemperatur blir stor för alla oisolerade fall. Ett högt specifikt luftflöde minskar spridningen betydligt. Hur kanalsystemets dimensionerats har liten betydelse för spridningen vad avser friktionstryckfall eller kanalvalsmöjligheter. Kanalsystemets storlek, form och modulstorlek påverkar inte heller spridningen mycket för samma specifika luftflöde. Ett dubbelsidigt kanalsystem ger en mindre spridning än ett enkelsidigt kanalsystem.

8 Arbetsgång och tillämpningsexempel

Arbetsgången är att bestämma minsta och största moduleffekt, doneffekt och donunder-temperatur för ett givet kanalsystem med givna luftflöden. Dessa tre variabler kan användas för att bedöma ventilationsystemets funktion. Moduleffekten är summan av tilluftsdonets kyleffekt och kyleffekten från alla kanalytor inom samma modul. Moduleffekternas spridning bestämmer effektobalansen mellan olika delar av en lokal, som i sin tur kan omräknas till en högsta lufthastighet och lufttemperatur mellan olika delar av en lokal. Detta avsnitt avslutas med ett tillämpningsexempel.

Moduleffekter, doneffekter och donunder-temperatur kan bestämmas på tre sätt:

- enligt avsnitt 5 med sambanden (5.1-20) och med total kanalarea enligt Figur 1.4
- enligt avsnitt 5 med sambanden (5.1-20) och med verklig total kanalarea
- direkt genomräkning av hela kanalsystemet

Direkt beräkning

Lokaltemperaturen och tilluftstemperaturen är givna som T_s och T_t . Alla kanalsträckors flöden, diametrar, längder och totala värmeövergångstal är givna som parameterarna q_k , d_k , l_k och h_k för kanalsträcka med index k . Det totala värmeövergångstalet h_k för en kanalsträcka beräknas enligt avsnitt 2 och sambanden (2.1-5). En unik hjälpvariabel k för varje kanalsträcka beräknas som:

$$k = \pi d_k l_k h_k / \rho c q_k \quad (-) \quad (8.1)$$

Alla kanalsträckors utloppstemperatur ΔT_{ko} relativt lokaltemperaturen T_s beräknas med given inloppstemperatur ΔT_{ki} också relativt lokaltemperaturen T_s enligt samband (3.1) och nedan:

$$\Delta T_{ko} = \Delta T_{ki} e^{-k} \quad (K) \quad (8.2)$$

Kanalsystemet räknas igenom tills alla kanalsträckors relativa utloppstemperaturer är kända och för den första stamkanalsträckan gäller att $\Delta T_{ki} = T_s - T_t$. Alla relativa utloppstemperaturer är relativa inloppstemperaturer till anslutande kanalsträckor och tilluftsdon. Alla kanalsträckors kylförluster beräknas som kanalflödets temperaturändring enligt:

$$P_{kk} = \rho c q_k (\Delta T_{ki} - \Delta T_{ko}) \quad (W) \quad (8.3)$$

Kyleffekten för ett tilluftsdon med index j ansluten med kanalsträcka med index k beräknas för donflödet q som:

$$P_{ij} = \rho c q \Delta T_{ko} \quad (W) \quad (8.4)$$

Alla modulers totala kyleffekt P_{mj} beräknas som summan av tilluftens kyleffekt P_{ij} och alla kanalsträckors kyleffekt $P_{k?}$ som genomgående finns till hälften inom en modul och till hälften inom en annan modul. Ett undantag är stamkanalsträckor i dubbelsidiga kanalsystem enligt Figur 1.3 vilka delas lika mellan fyra moduler.

Effektobalans W/m^2

Effektobalansen mellan en lokals två halvor kan skattas med minsta och största moduleffekt och används för att undersöka vilka lufthastigheter och temperaturskillnader som kan uppstå mellan den bättre och den sämre kylda halvan av lokalen enligt metodiken i avsnitt 6.

Effektobalansen ΔP W/m^2 mellan en lokals två halvor skattas med antagande att alla moduleffekter är jämt fördelade mellan minsta P_{min} W och största moduleffekt P_{max} W . Sambandet kan för en modul med sidan s skrivas som:

$$\Delta P = (P_{max} - P_{min})/2s^2 \quad (W/m^2) \quad (8.5)$$

Effektobalansen ΔP W/m^2 för ett fullständigt genomräknat fall beräknas som skillnaden mellan medelvärdet för den övre och nedre kvantilen för alla moduleffekter med omräkning till per m^2 på formen där modulytan är s^2 m^2 :

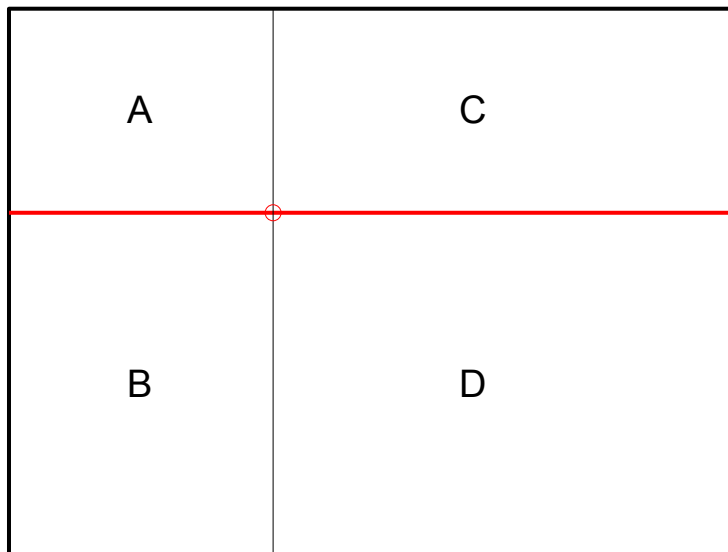
$$\Delta P = (P_{övre} - P_{nedre})/s^2 \quad (W/m^2) \quad (8.6)$$

Den framräknade effektobalansen ΔP W/m^2 används nu för att skatta temperaturskillnad och högsta lufthastighet mellan lokalens två halvorna enligt avsnitt 6 med sambanden (6.1-4). Högsta lufthastighet bör inte överskrida tillämpliga draggränser. Det finns inte något direkt krav för högsta temperaturskillnad mellan olika delar av en lokal, eftersom man kan endast befinna sig på ett ställe åt gången. Högsta temperaturskillnad kan därför inte vara större än skillnaden mellan lägsta tillåtna och högsta tillåtna temperatur.

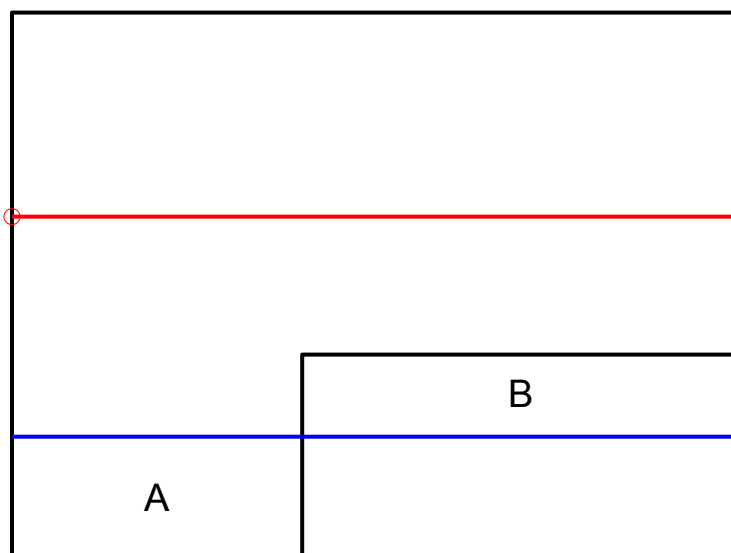
Förenkling av lokalyta

Alla lokalytor och kanalsystem stämmer inte överens med de två fall som redovisas i Figur 1.2 och 1.3. En enkel princip kan vara att undersöka den största delytan D som för ett fall som visas i Figur 8.1 med ett något asymmetriskt kanalsystem med anslutningspunkt angiven med en ring. Detta är dock en förenkling, eftersom det sker utjämnande luftströmningar mellan de fyra delytorna A-D från A till B och C samt från B och C till D. En överskattning fås om delyta D undersöks oberoende av de övriga delytorna som ett enkelsidigt kanalsystem enligt Figur 1.2.

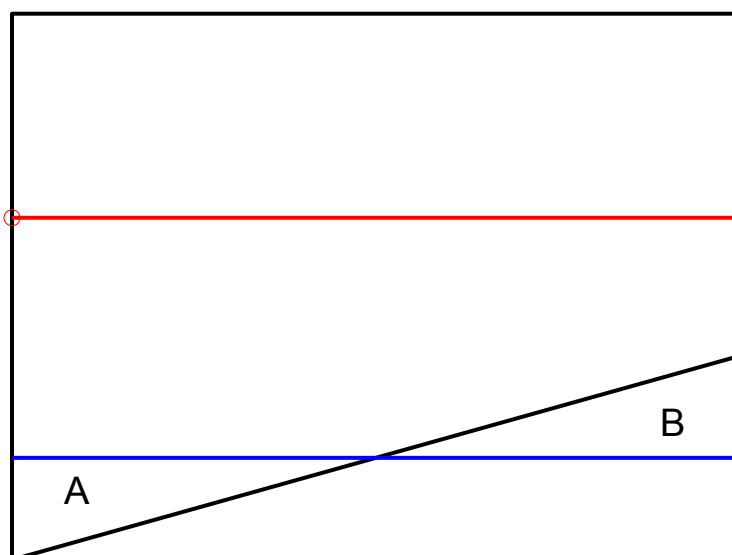
Tre andra exempel på hur en lokalyta kan omformas till en bättre hanterbar lokalyta visas i Figur 8.2-4 med anslutning av kanalsystemet längst till vänster, vilket anges med en ring. Principen är att inte ändra lokalytan genom att byta ut en yta A mot en lika stor yta B. Det två fallen i Figur 8.2-3 blir nästan symmetriska dubbelsidiga kanalsystem efter omformningen och fallet i Figur 8.4 blir exakt ett symmetriskt dubbelsidigt kanalsystem enligt Figur 1.3.



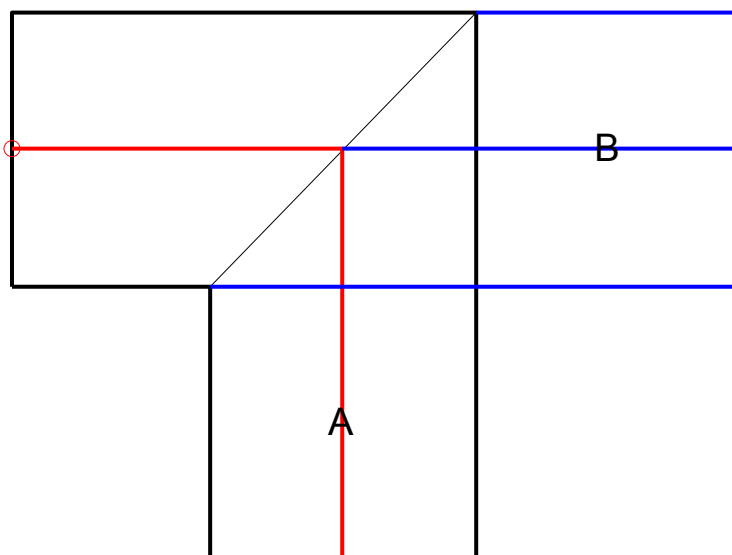
Figur 8.1 Lokalyta med stamkanal och anslutningspunkt (ring) och delytor A-D.



Figur 8.2 Lokalyta med stamkanal och anslutningspunkt (ring) och byte A mot B.



Figur 8.3 Lokalyta med stamkanal och anslutningspunkt (ring) och byte A mot B.



Figur 8.4 Lokalyta med stamkanal och anslutningspunkt (ring) och byte A mot B.

Tillämpningsexempel

Metodik skall redovisas med ett exempel. Lokalen har måtten 72 m, 36 m och 6 m samt med en byggmodul med sidan 6 m. Det specifika luftflödet är 5 l/sm^2 . Varje byggmodul har ett mittplacerat tilluftsdon. Lokaltemperaturen är $21 \text{ }^\circ\text{C}$ och tilluftstemperaturen är $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Medelmoduleffekten är 36 W/m^2 . Den nominella donundertemperaturen är $6 \text{ }^\circ\text{C}$. Kanalsystemet är enkelsidigt och oisolerat samt byggt med cirkulära standardkanaler anpassat för högst 1 Pa/m . Kanalsystemets stamkanal följer en långsidan, vilket ger tolv stamkanalsträckor m och sex grenkanalsträckor n . Dimensionerande hastighet antas vara 5 m/s .

Steg 1 är att den relativa kanalarean a skattas med samband (5.10) och insättning ger 0.3363. Detta stämmer överens med avläsning i Figur 1.4. Ett mer arbetskrävande alternativ är att bestämma den verkliga kanalarea dividerat med golvarean.

Steg 2 är att beräkna hjälpparametern k_t med samband (5.11) och med totalt värmeövergångstal 6 W/Km^2 och produkten $\rho c q'$ 6 W/Km^2 fås 0.3363.

Steg 3 är att beräkna hjälpparametern k_T med samband (5.17) med hjälpparametern k_t , vilket ger siffervärdet 0.4967. Största undertemperatur skattas som om luftflödet till bästa don inte har några kylförluster, vilket blir $6 \text{ }^\circ\text{C}$. Minsta undertemperatur skattas med (5.16), vilket ger $3 \text{ }^\circ\text{C}$ (2.9802). Beräkningsgången kan avbrytas här om denna spridning i tilluftsundertemperatur inte kan godtas. Isolering eller någon annan åtgärd krävs.

Steg 4 är att beräkna hjälpparametern k_{min} och k_{max} med samband (5.25) respektive (5.24), vilket ger $k_{min} = 0.0485$ och $k_{max} = 1.0616$.

Steg 5 är att beräkna hjälpparametern k_A och k_P med samband (5.21) respektive (5.20), vilket ger $k_A = 0.5086$ och $k_P = 0.2526$.

Steg 6 är att beräkna lägsta och högsta moduleffekt med sambanden (5.26-28), vilket ger $P_m = 1296 \text{ W}$, $P_{min} = 523 \text{ W}$ och $P_{max} = 2069 \text{ W}$. Omräkning till kyleffekt per m^2 ger siffervärdena $p_m = 36.0 \text{ W/m}^2$, $p_{min} = 14.5 \text{ W/m}^2$ och $p_{max} = 57.5 \text{ W/m}^2$. Effektoabalansen mellan två lokalhalvor kan avslutningsvis beräknas enligt (8.5), vilket ger 21.5 W/m^2 .

Ett försök att skatta lufthastighet och temperaturskillnad enligt avsnitt 6 kan göras genom att interpolera mellan extrapolerade kurvor förbi 20 W/m^2 till 21.5 W/m^2 i Figur 6.2 och 6.4 med lokalbredd 30 m och lokalhöjd 4 respektive 8 m, vilket ger en lufthastighet högre än 0.25 m/s och en temperaturobalans på $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$. Slutsatsen är att lufthastigheten överskrider normala draggränser, medan temperaturobalansen är liten och utan betydelse. Slutsatsen blir att kanalsystemet måste åtgärdas.

Den framräknade temperaturobalansen på $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$ kan jämföras med ett fall utan utjämnande luft rörelser. Skillnaden i kyleffekt i 21.5 W/m^2 . Temperaturskillnaden ΔT kan beräknas som $\Delta P/\rho c q'$ där det specifika luftflödet ges av q' lika med 5 l/sm^2 eller $0.005 \text{ m}^3/\text{sm}^2$. Resultat för ΔT blir avrundat $3.6 \text{ }^\circ\text{C}$ och visar att omblandningen är betydande.

Tillämpningsfallet (fall 42) har genomräknas och redovisas på samma sätt som i avsnitt 7 med sorterad relativ moduleffekt och lufteffekt eller donundertemperatur i Figur 8.5.

Kurvorna visar att alla moduler med stamkanalen har betydligt högre moduleffekt. Lufteffekterna eller donundertemperaturerna uppvisar nästan en linjär fördelning.

Framräknade värden för minsta och största moduleffekt, lufteffekt och donundertemperatur redovisas tillsammans med motsvarande tidigare skattade värde i Tabell 8.1. Siffrorna i Tabell 8.1 visar att lufteffekt och donundertemperatur stämmer väl överens. Det skiljer endast en faktor mellan lufteffekt och donundertemperatur.

Moduleffekterna stämmer sämre överens. Både minsta och största skattade moduleffekt ligger under beräknad moduleffekt. En förklaring till skillnaden är att skattningen bygger på jämnt fördelade moduleffekter från minsta till största med ett medelvärde halvägs. Denna fördelning gäller inte för de beräknade värdena, eftersom moduler med stamkanalsträckor avviker betydligt från övriga moduler, vilket visas i Figur 8.5.

En konstighet är att skattad minsta moduleffekt är mindre än mindre är skattad lufteffekt. Det borde vara tvärtom, men minsta och största moduleffekt skattas i förhållande till medelmoduleffekten och det sker ingen addition av en skattad lufteffekt och dito kanalyteffekt.

Den skattade kanalarean är betydligt högre än den beräknade. Om den beräknade area 688 m² används för att skatta minsta och största moduleffekterna fås värden 17.8 respektive 54.2 W/m². En mindre kanalarea minskar som väntat spridningen.

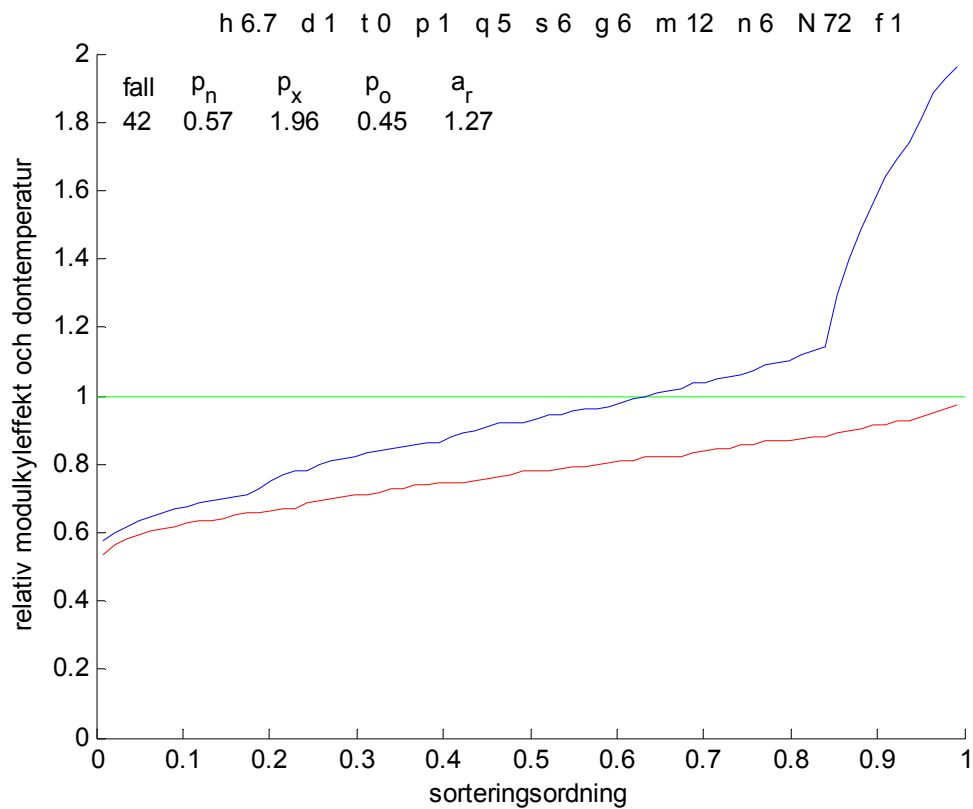
Tabell 8.1 Skattade och beräknade värde för tillämpningsexempel

variabel	sort	skattat	beräknat
minsta moduleffekt	W/m ²	14.5	20.6
största moduleffekt	W/m ²	57.5	70.7
minsta lufteffekt	W/m ²	18.0	19.4
största lufteffekt	W/m ²	36.0	35.0
minsta donundertemperatur	°C	3.0	3.2
största donundertemperatur	°C	6.0	5.8
kanalarea	m ²	872	688
relativ kanalarea	m ² /m ²	0.3363	0.2655

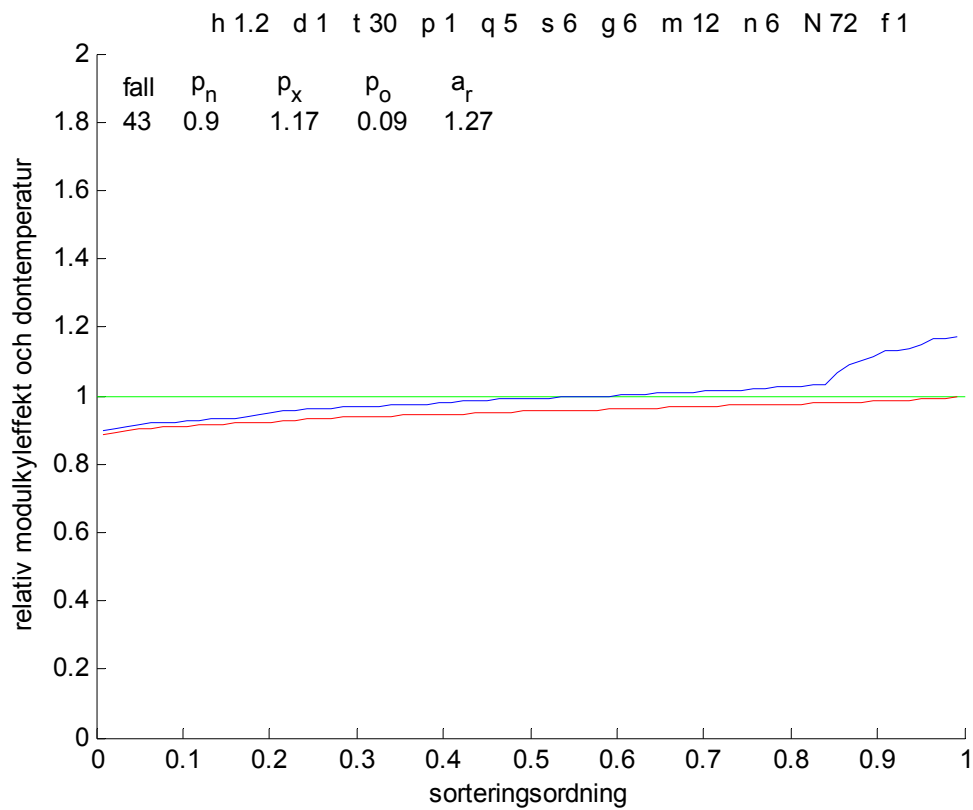
Spridningen i moduleffekt kan minskas med isolering. Resultatet för isolering av alla kanaler (fall 43) och enbart stamkanal (fall 44) redovisas i Figur 8.6-7. Resultatet för ett oisolerat system med inmatning mitt i lokalen, fall 46, visas i Figur 8.8 med ett dubbelsidigt system med tolv grenkanaler med tre don per grenkanal för halva lokalen med en kvadratisk yta. Minsta p_n och största relativa moduleffekt p_x samt dito obalans p_o redovisas i Tabell 8.2. Siffrorna visar att isolering med 30 mm ger en stor förbättring och att isolering av endast stamkanal är likvärdigt med ett oisolerat symmetriskt system. Kvoten mellan minsta och största moduleffekt kan beräknas till 0.29, 0.77, 0.51 och 0.52 för de fyra fallen.

Tabell 8.2 Minsta p_n och största relativa moduleffekt p_x samt dito obalans p_o

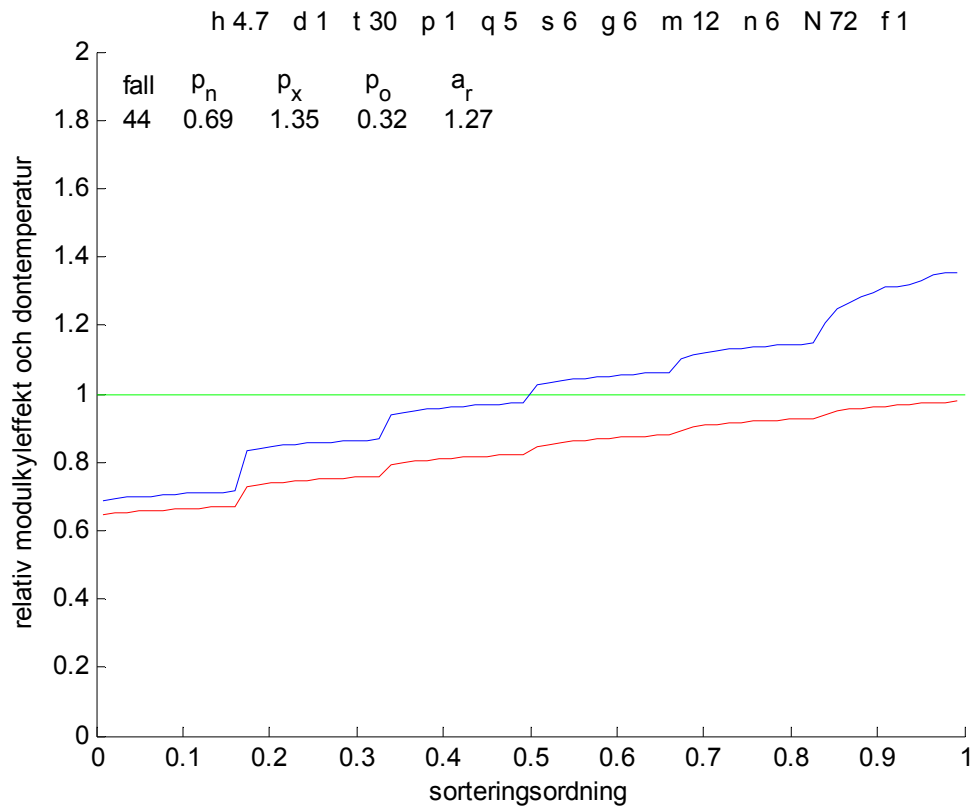
fall	Figur	egenskap	p_n	p_x	p_o
42	8.5	oisolerat	0.57	1.96	0.45
43	8.6	isolerat	0.90	1.17	0.09
44	8.7	isolerad stamkanal	0.69	1.35	0.32
46	8.8	oisolerat och symmetrisk	0.73	1.41	0.34



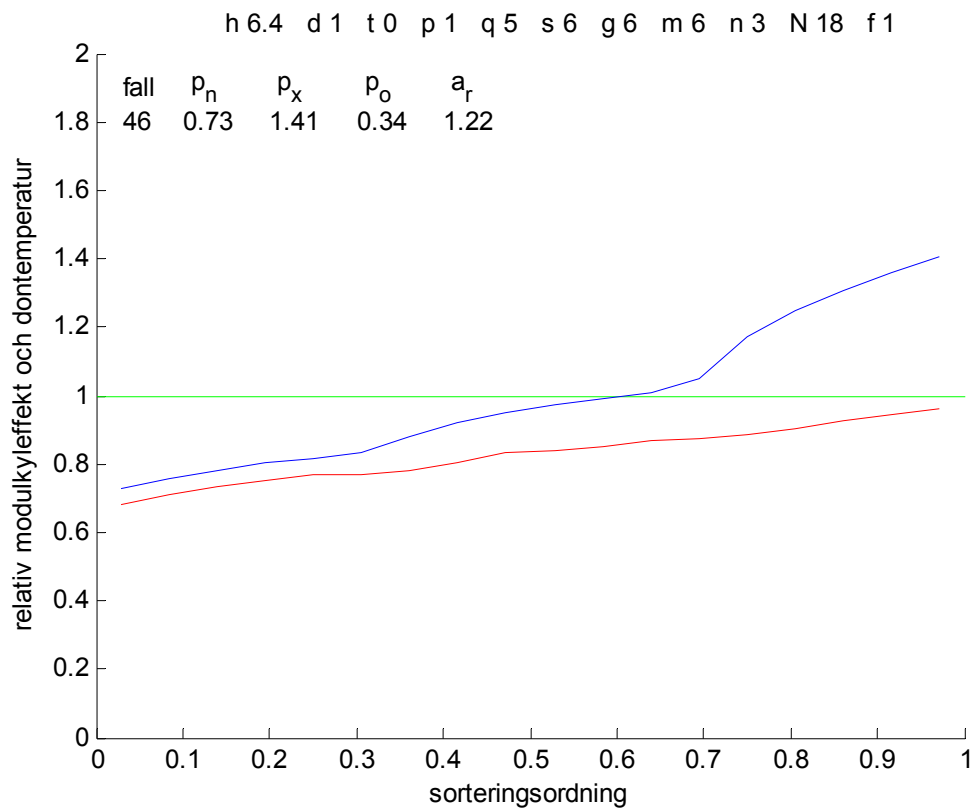
Figur 8.5 Sorterad relativ moduleffekt och luftteffekt eller undertemperatur för fall 42.



Figur 8.6 Sorterad relativ moduleffekt och luftteffekt eller undertemperatur för fall 43.



Figur 8.7 Sorterad relativ moduleffekt och luftteffekt eller undertemperatur för fall 44.



Figur 8.8 Sorterad relativ moduleffekt och luftteffekt eller undertemperatur för fall 46.

9 Kallras under oisolerade luftkanaler

Detta avsnitt undersöker vilka lufthastigheter och temperaturskillnader som uppstår under en kall oisolerad luftkanal. Det inre konvektiva värmeövergångstalet h_i beräknas som tidigare i avsnitt 2 redovisat i Figur 2.1. Det yttre konvektiva värmeövergångstalet h_{yk} beräknas enligt Bejan (1993) Heat Transfer (Example 7.3) enligt (9.1-3) som avser laminär strömning. Först beräknas Rayleigh och Nusselts tal som följer:

$$Ra_d = (g\beta/\alpha\nu) d^3 (T_s - T_y) \quad (-) \quad (9.1)$$

$$Nu_d = (0.6 + 0.322 * Ra_d^{1/6})^2 \quad (-) \quad (9.2)$$

$$h_{yk} = Nu_d \lambda / d \quad (\text{W/Km}^2) \quad (9.3)$$

där

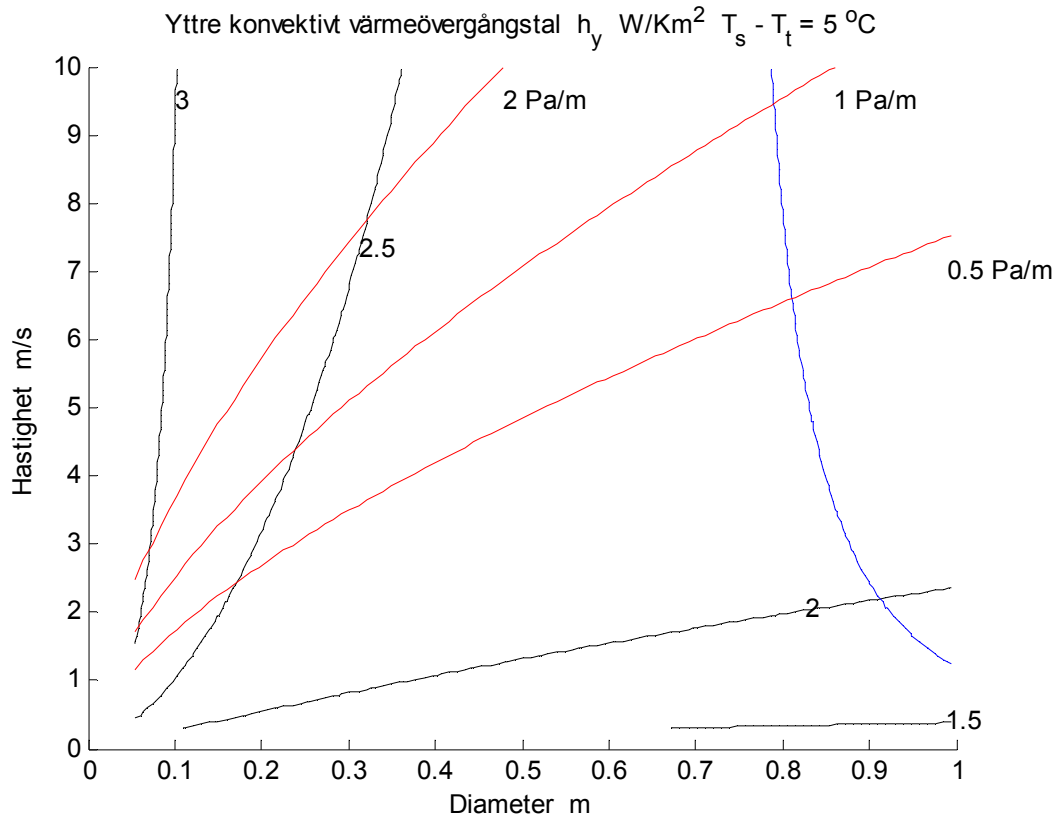
$g\beta/\alpha\nu$	konstant $107 \cdot 10^6 \text{ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$ vid $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (Appendix D page 646)
d	kanaldiameter, m
T_s	omgivningstemperatur, $^\circ\text{C}$
T_y	kanalutttemperatur, $^\circ\text{C}$
λ	värmeledningstal för luft, W/Km

Värmeövergångstalet för strålning sätts till 5 W/Km^2 . Beräkningar har skett med omgivningstemperaturen T_s $20 \text{ }^\circ\text{C}$ och två tilluftstemperaturer T_i $10 \text{ }^\circ\text{C}$ respektive $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Det yttre konvektiva värmeövergångstalet redovisas i Figur 9.1-2 för de två tilluftfallen. Kurvorna visar att värmeövergångstalet ligger något under det tidigare använda 5 W/Km^2 . Värmeövergångstalet ökar med temperaturskillnad.

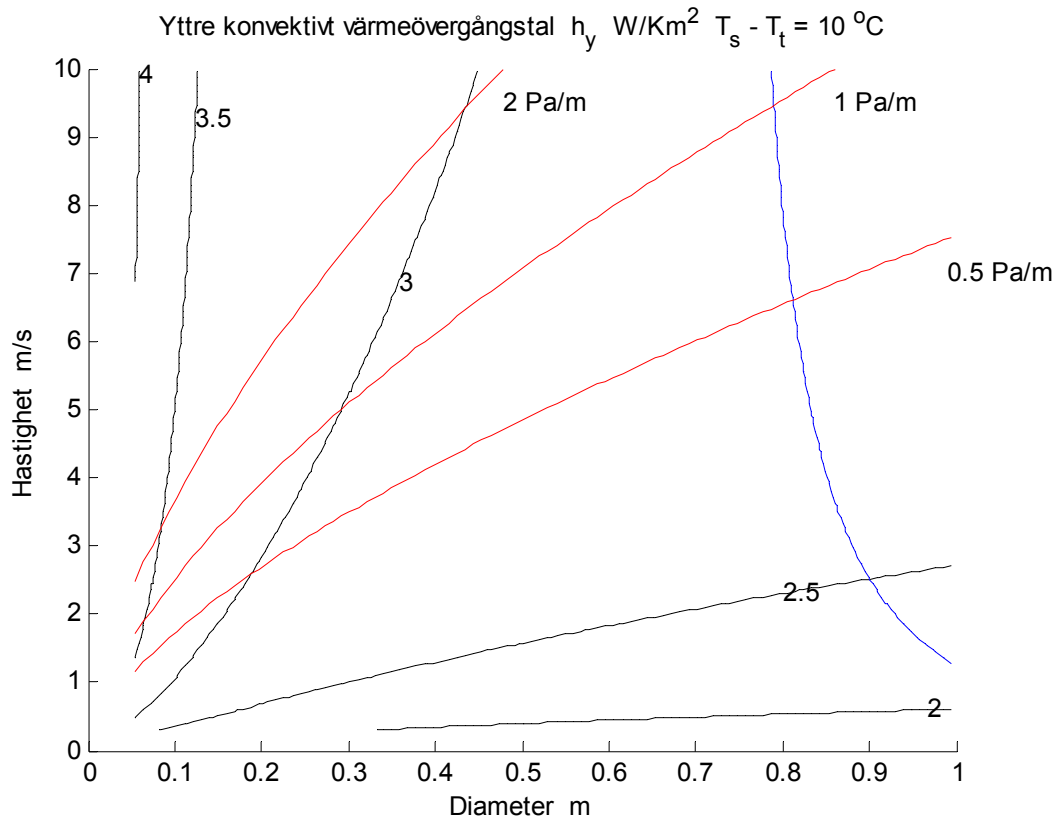
Det totala värmeövergångstalet redovisas i Figur 9.3-4 för de två tilluftfallen. Kurvorna visar att värmeövergångstalet ligger något under det tidigare använda som visas i Figur 2.2. Värmeövergångstalet ökar med temperaturskillnad. Beräknad konvektiveffekt för 1 m luftkanal redovisas i Figur 9.5-6 för de två tilluftfallen. Kurvorna visar att effekten mer än fördubblas för den lägre tilluftstemperaturen beroende på ett något ökat värmeövergångstal och en fördubblad temperaturskillnad.

Kontroll av att strömning är laminär enligt förutsättningarna görs med att Grashofs tal $< 10^9$ och att strömningens tjocklek är liten i förhållande till kanalens diameter. Det första kravet är uppfyllt utom för stora diametrar över 1 m. Gränslinjen finns inritad i samtliga diagram. Det andra kravet är alltid uppfyllt med god marginal.

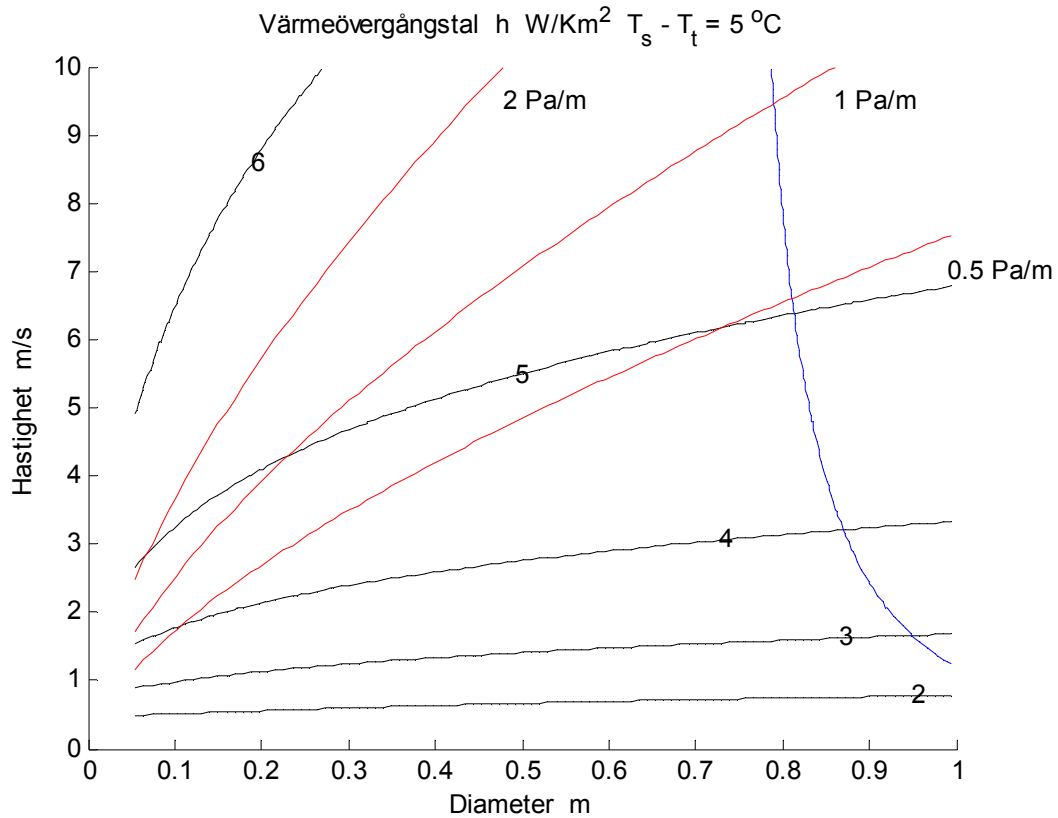
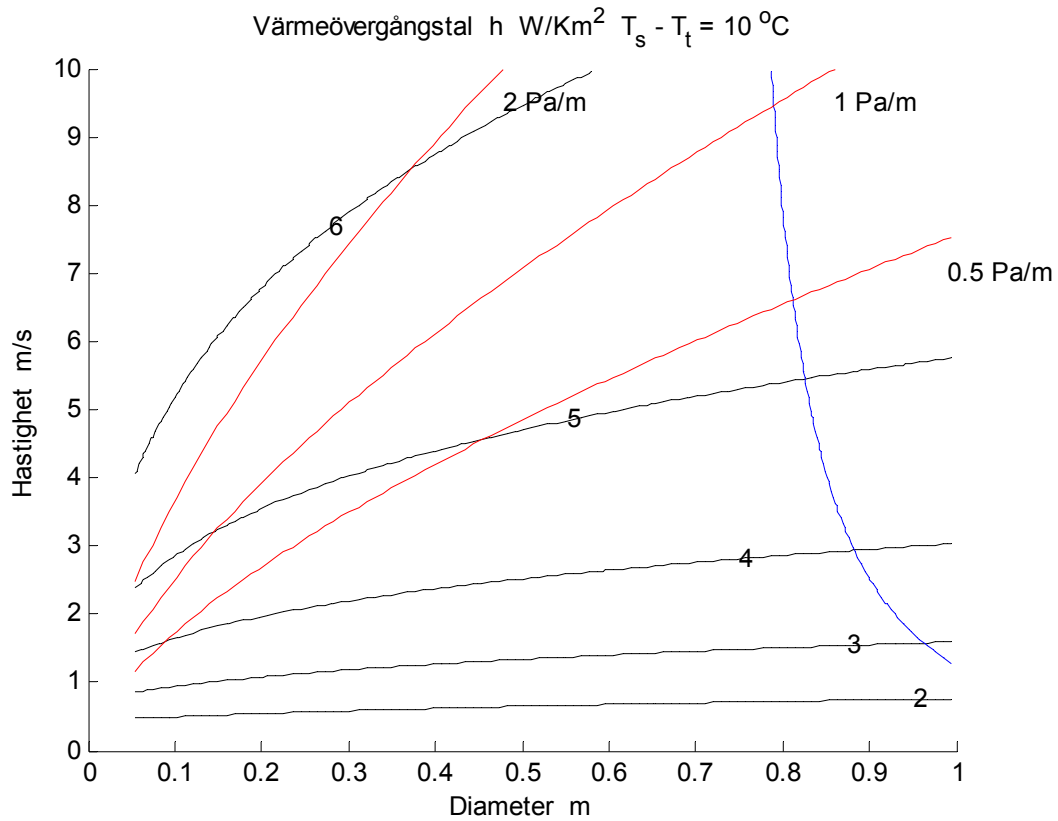
Mindre strålning från en oisolerad kall luftkanal än från omgivningen kan uppfattas som kallras. Denna strålningsasymmetri för ett plan vinkelrätt mot kanalen kan överskattas med den vinkel ν som en oändligt lång luftkanal upptar, tilluftstemperaturen T_i och omgivningens temperatur T_s . Strålningsasymmetrin anges som temperaturskillnaden mellan det vinkelräta planets två sidor, vilket blir $\Delta T = \nu (T_i - T_s) / 180$. Denna temperaturskillnad blir mindre än $(T_i - T_s) / 5$ och $(T_i - T_s) / 10$ på avstånd större än två respektive fyra kanaldiametrar från luftkanalens centrum motsvarande vinklar mindre än 36 respektive 18 $^\circ$. Högsta tillåtna strålningsasymmetri enligt BBR är $5 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket i praktiken är uppfyllt med god marginal.

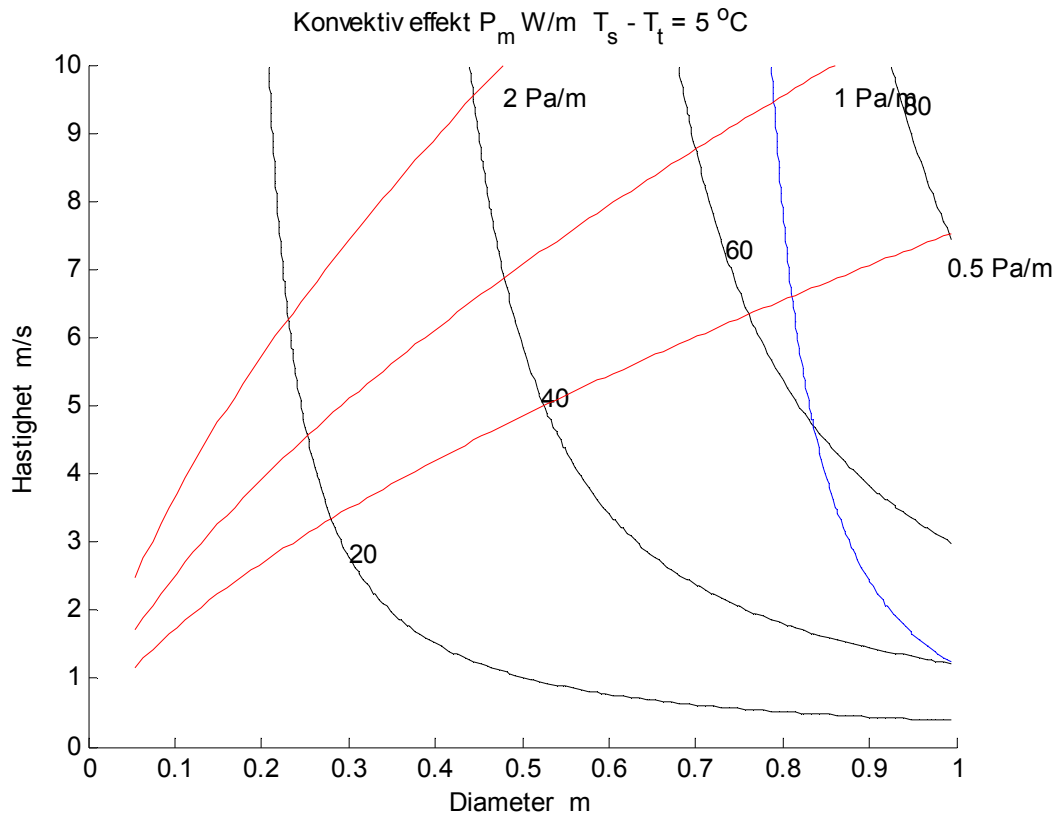


Figur 9.1 Yttre konvektiv värmeövergångstal h_{yk} W/Km² vid $T_s - T_t = 5$ °C.

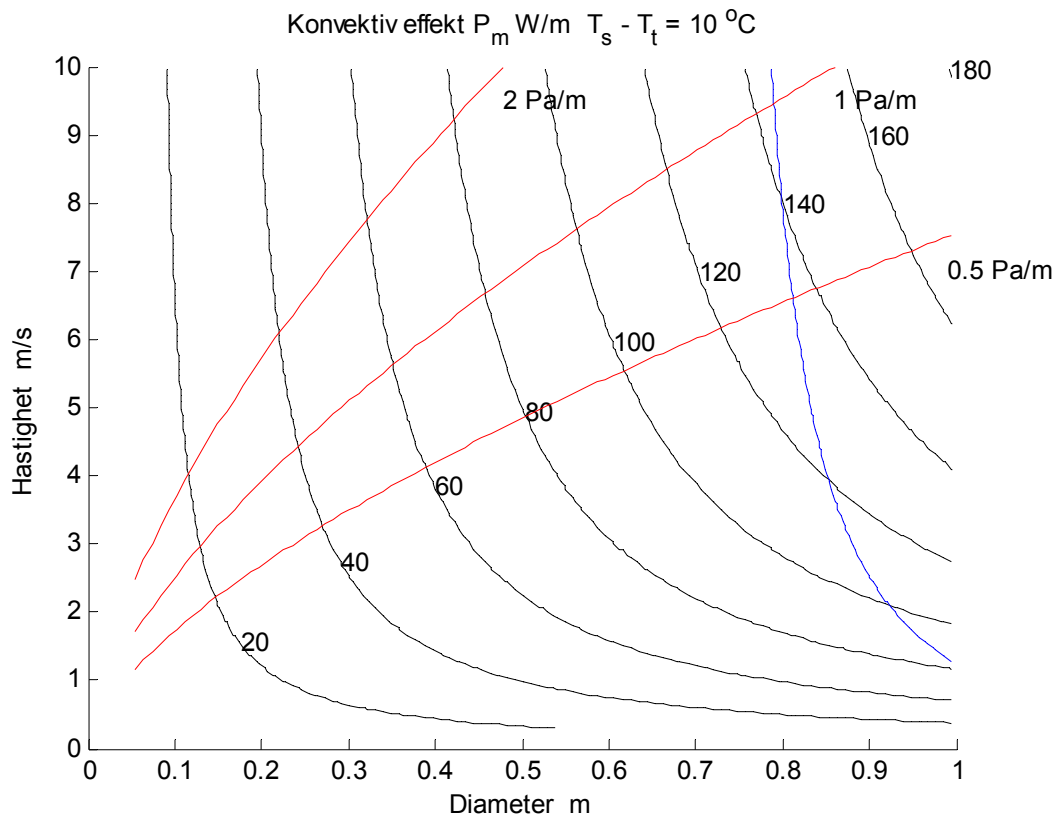


Figur 9.2 Yttre konvektiv värmeövergångstal h_{yk} W/Km² vid $T_s - T_t = 10$ °C.

Figur 9.3 Värmeövergångstal h W/Km² vid $T_s - T_t = 5$ °C.Figur 9.4 Värmeövergångstal h W/Km² vid $T_s - T_t = 10$ °C.



Figur 9.5 Konvektiv effekt för 1 m kanal P_m W/m vid $T_s - T_t = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figur 9.6 Konvektiv effekt för 1 m kanal P_m W/m vid $T_s - T_t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Vilken lufthastighet $v(z)$, undertemperatur $\Delta T(z)$ och flöde $q(z)$ som råder under en horisontell oisolerad luftkanal med en given effekt per meter P/m och på ett givet avstånd z under den samma redovisas i Figur 9.7-9. Med lufthastighet avses här centrumhastigheten för strömningen. Beräkningar har skett enligt beräkningsuttryck i Danvaks grundbog (1997) med:

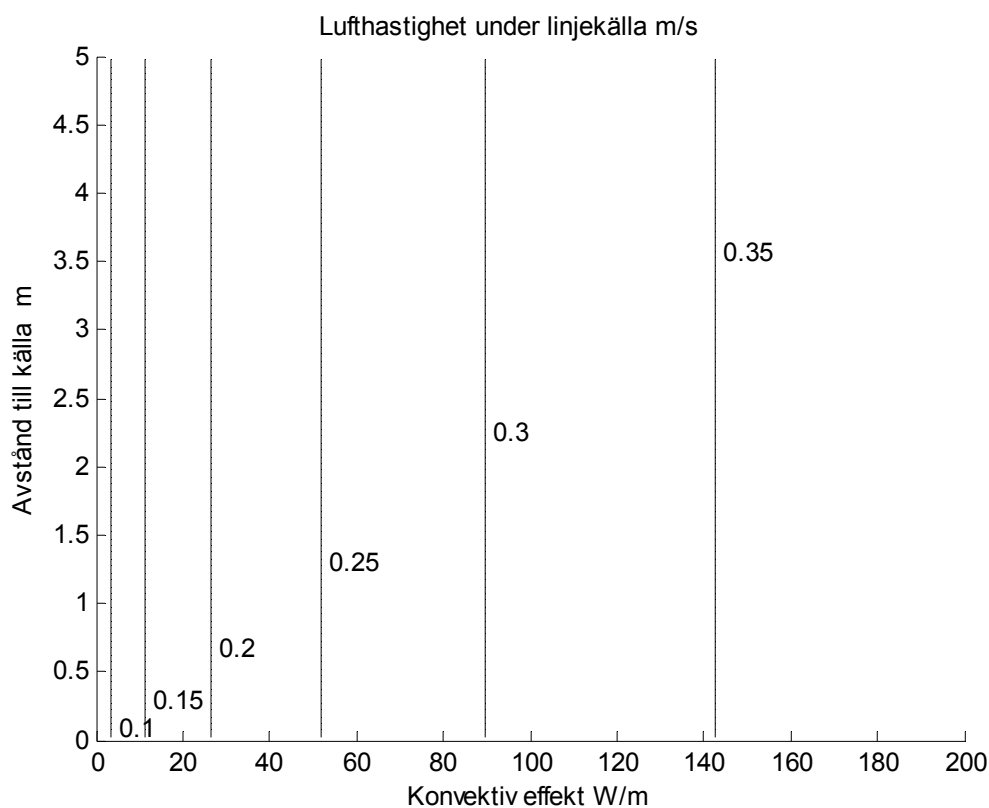
$$v(z) = 0.067 P/m^{1/3} \quad (\text{m/s}) \quad (9.4)$$

$$\Delta T(z) = 0.072 P/m^{2/3} / z \quad (^\circ\text{C}) \quad (9.5)$$

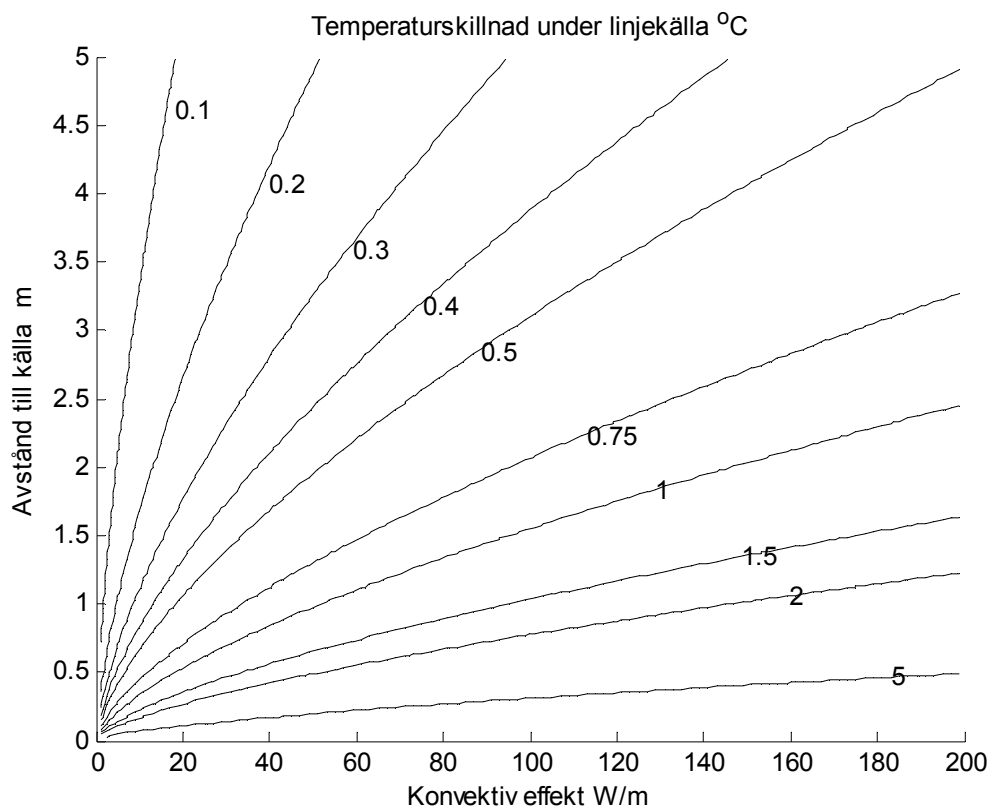
$$q(z) = 0.014 P/m^{1/3} z \quad (\text{m}^3/\text{sm}) \quad (9.6)$$

Intervallerna för den konvektiva effekten är (0,200) W/m. Avståndsintervallerna är (0,5) m och det utgår från centrum från luftkanalen. Kurvorna i Figur 9.7 visar att lufthastigheten endast beror på linjekällans storlek, vilket även framgår av (9.4). Lufthastigheten ligger över olika draggränser som 0.15, 0.20 och 0.25 m/s. Detta sker för konvektiva linjeeffekter över 12, 26 respektive 52 W/m. Slutsatsen är att det kan uppstå dragproblem på grund av detta kallras. Ett tillägg är att den större strålningseffekten tillkommer. Temperaturskillnaden är ganska måttlig enligt Figur 9.8 och minskar mot noll för stora avstånd. En anmärkning är att omblandande ventilation kan minska kallraset.

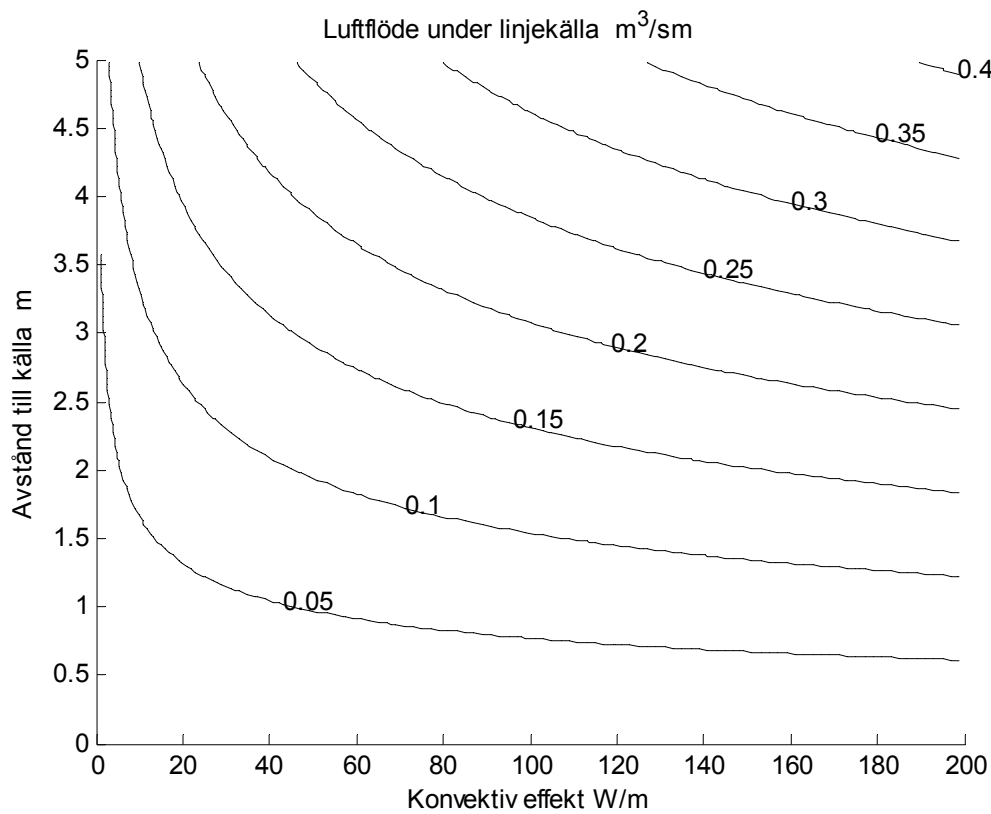
Luftflödet ökar med avståndet enligt (9.6) och i Figur 9.9. Luftflödets bredd kan skattas genom att dividera flödet enligt (9.6) med hastigheten enligt (9.4), vilket ger avrundat $z/5$.



Figur 9.7 Lufthastighet under linjekälla $v(z)$ m/s.



Figur 9.8 Temperaturskillnad under linjekälla $\Delta T(z)$ °C.



Figur 9.9 Luftflöde under linjekälla $q(z)$ m³/sm.

10 Kanalsystem i undertak

Tilluftskanalsystem förläggs ofta i undertak, som kan utgöras av värmeisolerande akustikplattor. Detta innebär att ett kanalsystem i ett undertaksutrymme isoleras något, vilket minskar spridningen i tilluftsundertemperatur, doneffekt och moduleffekt.

Kanalsystemets specifika värmeöverföringsförmåga h W/Km² kan justeras för placering i ett undertak som följer. Undertakets och ovanliggande bjälklags eller taks U-värden betecknas med U_u respektive U_b W/Km². En annan tidigare använd variabel är andelen kanalyta i förhållande till golvyta som betecknas a -, vilken kan uppskattas med kurvor i Figur 1.4 eller beräknas med känd kanalyta. Om andelen kanalyta är liten relativt golvytan, blir reduktionen liten, eftersom undertaket har en mycket större ytan än själva kanalsystemet.

Kanalsystemets specifika värmeövergångstal med korrektion för förläggning i undertak h_k W/Km² kan med de angivna parametrarna ovan skrivas som:

$$h_k = 1 / [1 / h + a / (U_u + U_b)] \quad (\text{W/Km}^2) \quad (10.1)$$

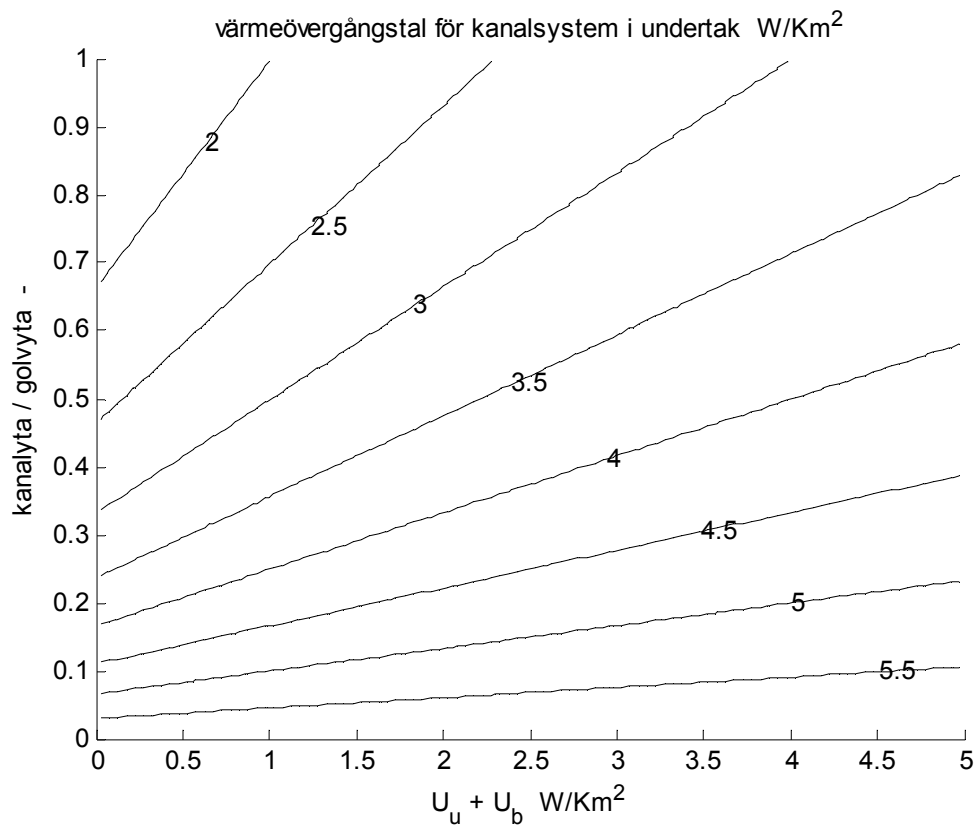
Hur mycket överslagsvärdet för $h = 6$ W/Km² för ett oisolerat kanalsystem ändras redovisas med isolinjer i Figur 10.1 där x-axel är undertakets sammanlagda U-värde, neråt och uppåt, och y-axeln är parametern a , kanalsystemets yta relativt golvytan. Den relativa förändringen eller reduktionen redovisas på samma sätt i Figur 10.2 som i Figur 10.1.

Isolinjerna i Figur 10.1 och 10.2 visar att undertakets isolerande förmåga är liten för låga värden på den relativa kanalytan a .

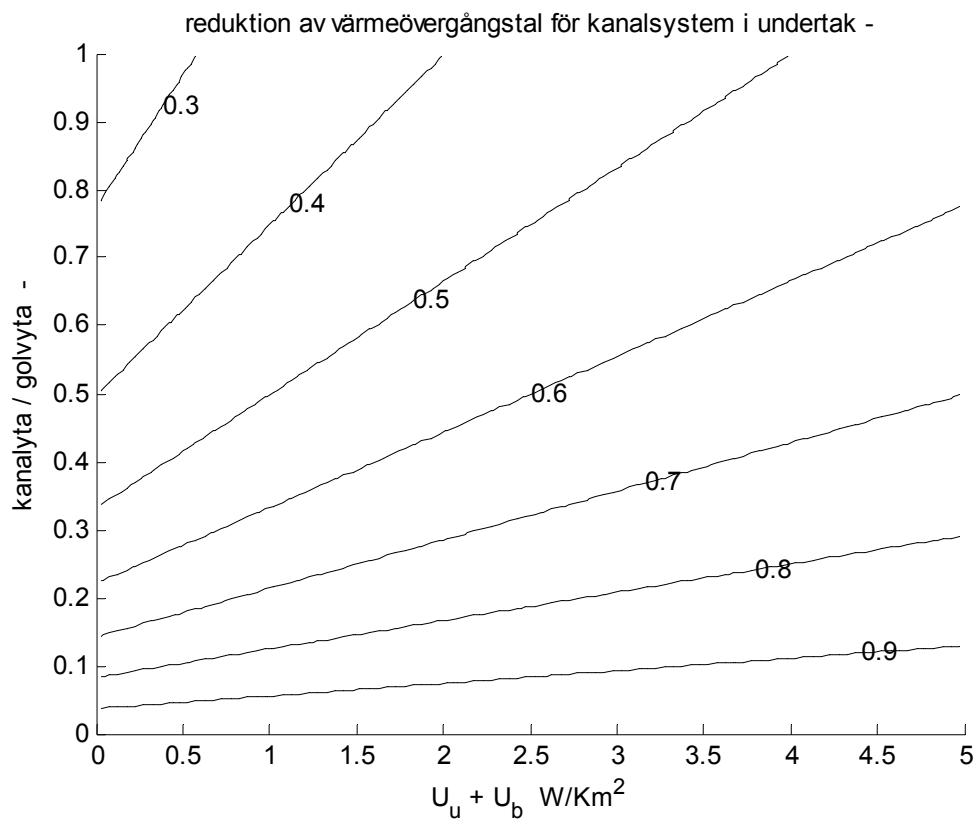
Undertakets sammanlagda U-värde kan uppskattas för några fall. U-värdet U_u är minst 1 W/Km² (isolering med $\lambda/d = 2$ W/Km² plus övergångsmotstånd) och högst 5 W/Km² (enbart plåt utan isolering och enbart övergångsmotstånd). Bjälklagets eller takets U-värde U_b är minst 0.2 W/Km² (200 mm isolering) och högst 3 W/Km² (oisolerat betongbjälklag). Detta ger sammanlagt ett variationsintervall om (1,2,8) W/Km² för alla undertaksfall.

En anmärkning är att ovanstående är en ytterst enkel analys. Luftläckage mellan lokal och undertaksutrymme försummas. Luften i undertaksutrymmet antas vara helt omblandad.

En förenklad slutsats är att kanalsystem i undertak under ett yttertak isoleras något och detta bör beaktas, medan kanalsystem i undertak under ett oisolerat våningsskiljande bjälklag isoleras betydligt mindre.



Figur 10.1 Värmeövergångstal för oisolerad luftkanal i undertak enligt (10.1).



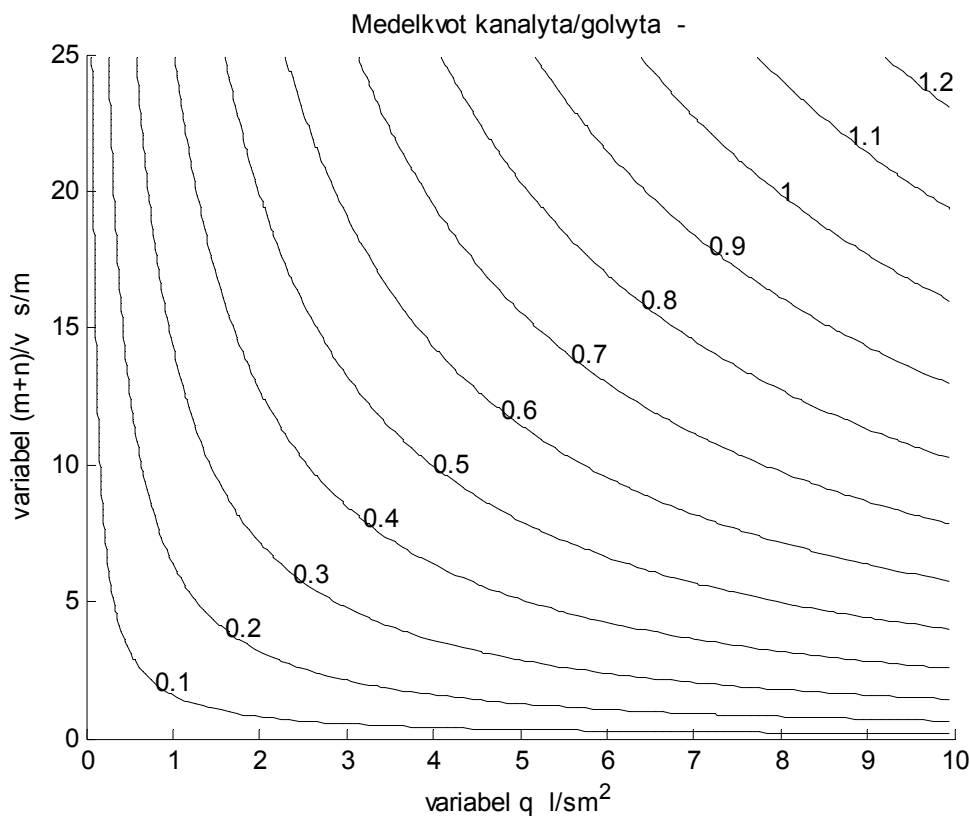
Figur 10.2 Reduktion av värmeövergångstal för oisolerad luftkanal i undertak enligt (10.1).

11 Sammanfattning och slutsatser

Denna arbetsrapport beskriver en arbetsgång för att bedöma om ett kanalsystem inne i en lokal skall isoleras eller inte. Ventilationssystemet används för att kyla lokalen. Lokalytan antas vara rektangulär uppbyggd med kvadratiska moduler med ett tilluftsdon i varje modul. Frånluftskanalsystemet för lokalen beaktas inte, eftersom det oftast har ett eller några få ut-sugningsdon. Ventilationskanaler mellan fläktrum och olika lokaler måste isoleras för att hålla kyl- eller värmeförluster på en rimlig nivå. En kort sammanfattning görs först av arbetsrapportens avsnitt 1-10 och därefter redovisas några bedömningsgrunder och slutsatser.

Sammanfattning avsnitt 1-10

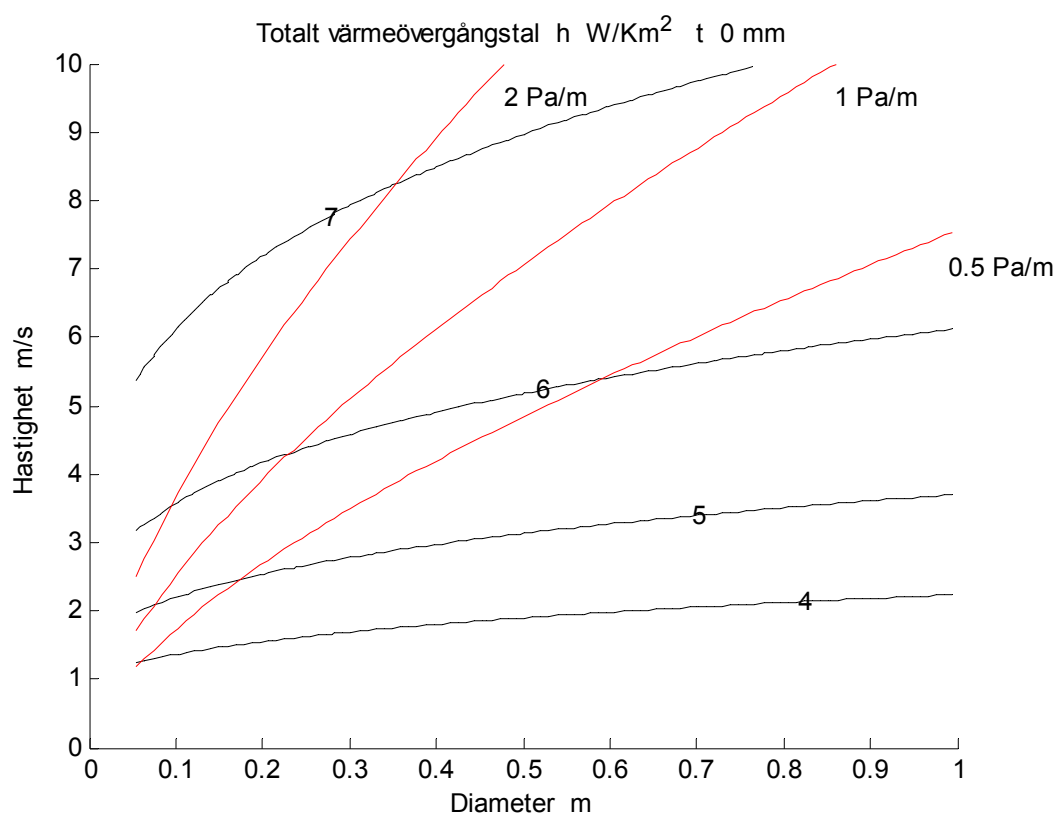
I avsnitt 1 visas att kanalytan kan bli stor i förhållande till golvytan enligt Figur 11.1 som funktion av det specifika luftflödet, antalet grenkanaler, antalet don per grenkanal och över-slagshastighet. Överslagshastigheten används för att bestämma kanaldimensioner. Det visas också att medeltemperaturen för tilluften i alla tilluftdon kan skattas enkelt med uppgifter om total kanalyta och totalflöde eller relativ kanalyta och specifikt luftflöde enligt (1.2).



Figur 11.1 Kvot kanalyta/golyta a som funktion av specifikt luftflöde och summan av antalet grenkanaler m och don per grenkanal n dividerat med dimensionerande lufthastighet v .

En kanalyta kan räknas om till ett motsvarande förlustflöde. Värmeövergångstalet är omkring 6 W/Km^2 för en oisolerad luftkanal, vilket ger ett påtagligt förlustflöde om 5 l/sm^2 .

I avsnitt 2 redovisas beräkningsuttryck för att beräkna en luftkanals totala värmeövergångstal. Hur det totala värmeövergångstalet varierar med diameter, hastighet och olika isolertjocklek redovisas i Figur 11.2 (2.2), 2.3, 2.5 och 2.7 för isoleringstjocklekarna 0, 30, 50 respektive 75 mm. Det yttre värmeövergångstalet har satts till 10 W/Km^2 , vilket gäller för friliggande kanaler. Det totala värmeövergångstalet kan förenklat anges som 6, 1.2, 0.8 och 0.6 W/Km^2 för isolertjocklekarna 0, 30, 50 respektive 75 mm. Isolermaterialets värmeledningstal har satts till 0.040 W/Km .



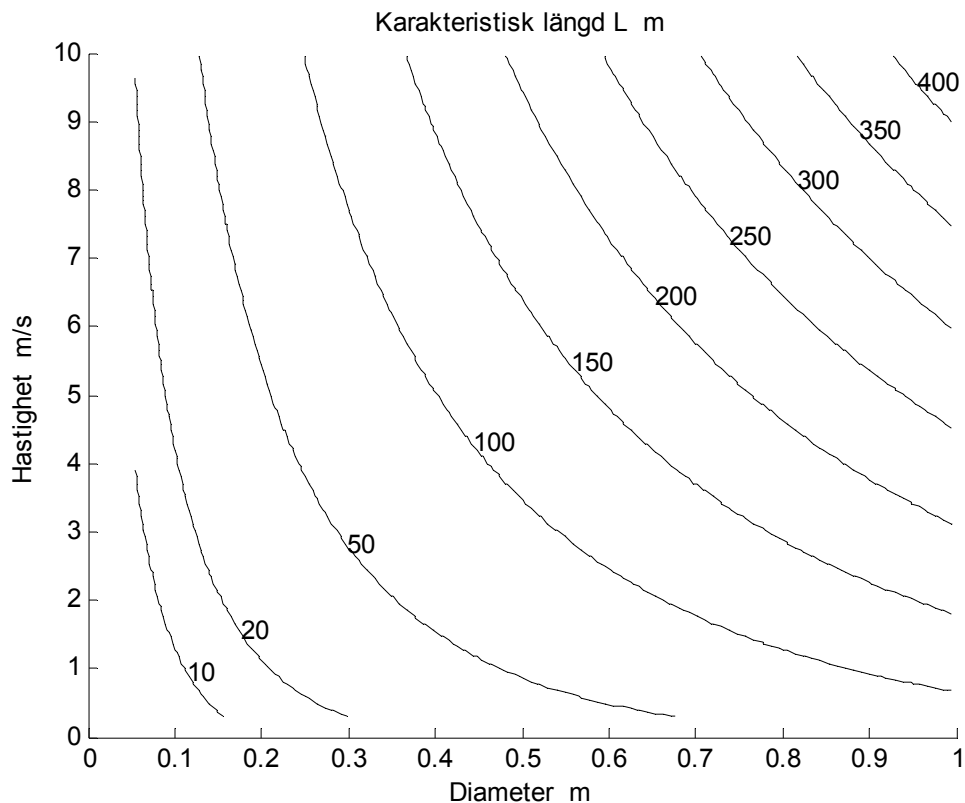
Figur 11.2 Värmeövergångstal W/Km^2 för diameter m och hastighet m/s samt utan isolering.

I avsnitt 3 redovisas hur mycket temperaturen kan ändras dels med relativ ändring per meter och den kanallängd som ger en halvering av temperaturskillnaden till omgivningen. Isolering av luftkanaler kan inte eliminera förlusten helt och för det tre isolertjocklekarna 30, 50 och 75 mm minskar förlusten med en faktor 5, 7.5 respektive 10. Några siffervärden på vad olika isoleringsgrad innebär för halveringslängden återfinns i Tabell 3.1. En snarlik och enklare variabel till halveringslängden är den karakteristiska längden för en luftkanals temperaturavtagande i förhållande till omgivningen, vilket kan beräknas enligt (3.3) nedan där $\rho c q$ är luftflödets värmeöverföringsförmåga W/K , $\pi d h$ är luftkanalens värmeöverföringsförmåga per meter W/K .

$$L = \rho c q / \pi d h \quad (\text{m}) \quad (3.3)$$

Temperaturskillnaden till omgivningen har efter en karakteristisk längd L minskat med en faktor e^{-1} eller 0.368. Den karakteristiska längden L redovisas här i Figur 11.3 som funktion av diameter och hastighet för en oisolerad luftkanal. Halvering av temperaturskillnaden till omgivningen sker efter kanalsträckan $\ln(2)$ eller avrundat 0.7 av den karakteristiska längden L .

Den karakteristiska längden ökar något avrundat med en faktor 5, 7.5 och 10 för isolertjocklekarna 30, 50 och 75 mm, eftersom det totala värmeövergångstalet kan förenklat anges som 6, 1.2, 0.8 och 0.6 W/Km^2 för isolertjocklekarna 0, 30, 50 respektive 75 mm



Figur 11.3 Karakteristisk längd som funktion av diameter och hastighet för en oisolerad kanal.

I avsnitt 4 undersöks vilken lägsta tilluftstemperatur som kan användas i ett oisolerat kanalsystem. Tilluftstemperaturen behöver inte vara högre än lokalluftens daggpunktstemperatur bara högre än luftkanalens yttemperatur. Detta beror på att det inre värmeövergångstalet bara är något större än det yttre för vilket även strålning ingår. Den relativa yttemperaturen redovisas som funktion av diameter och hastighet för olika dimensionerande friktionstryckfallsintervall. Detta gäller för släta kanaler, men det finns rillade kanaler och olika komponenter som nipplar, muffar, böjar, grenstycken, spjäll och övergång mellan oisolerad och isolerad luftkanal, vilka kan lokalt skapa yttemperaturer nära tilluftstemperaturen i kanalsystemet. Den mest kritiska kanalsträckan är själva huvudkanalen med lägsta tilluftstemperatur och högsta inre värmeövergångstal, vilket ger lägsta kanalyttemperatur. Slutsatsen är att låg tilluftstemperatur lägre än lokalens daggpunktstemperatur fungerar i raka släta kanaler, men inte alltid lokalt i resten av kanalsystemet.

I avsnitt 5 skattas högsta och lägsta tillförda kyleffekt och tilluftstemperatur i ett kanalsystem. Detta görs för en modul med ett tilluftsdon. Kanalsystemets yta skattas först och därefter en temperaturfaktor som anger kvoten mellan sämsta och bästa dons undertemperatur. Nästa steg är att skatta en ytfaktor mellan sämsta och bästa modul för att beräkna ytkyleffekt. Sammantaget kan kvoten mellan sämsta och bästa moduleffekt skattas med (5.11), (5.17) och (5.20-25). Jämförelse med direkt beräkning som görs i avsnitt 7 visar på god överensstämmelse.

I avsnitt 6 undersöks hur effektobalansen i en lokal kan skapa utjämnande luftrörelser mellan den mest kylda halvan av lokalen och den minst kylda delen av lokalen. Lufthastigheten i vistelsezonen bör inte överstiga draggränsen. Högsta lufthastighet och temperaturobalans redovisas för fyra fall parvis i Figur 6.2-9 som funktion av effektobalans och för två lokalhöjder 4 och 8 m och två lokalbredder 30 och 60 m. Ventilationens betydelse redovisas i samtliga diagram med två ytterlighetsvärden 0 (ingen ventilation) och 10 l/sm^2 (kraftig ventilation).

Vad resultatet blir om det inte finns utjämnande luftrörelse mellan olika moduler och delar av lokalen kan beräknas som följer för att visa vilken temperaturavvikelse ΔT en given effektobalans ΔP betyder tillsammans med ett givet specifikt tilluftsflöde q oberoende av omgivningen. Temperaturavvikelsen ΔT kan beräknas som $\Delta P/\rho c q$. Ett sifferexempel med ΔP 12 W/m^2 , ρc 1200 J/Km^3 och q 5 l/sm^2 eller $0.005 \text{ m}^3/\text{sm}^2$ ger ΔT 2 K eller $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Det sker inga utjämnade luftströmningar och frånluften är därför helt lokal för varje m^2 . Ett lägre tilluftsflöde 2 l/sm^2 ger ΔT 5 K eller $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

I avsnitt 7 genomräknas ett antal fall och redovisas gruppvis för att visas på olika parametrars inverkan. Den relativa moduleffekten och lufteffekten redovisas i samma diagram och den senare är även lika med den relativa tilluftstemperaturen. Spridningen i relativ moduleffekt och lufteffekt är mycket stor för många av de genomräknade fallen. Ett basfall finns med i de flesta jämförelserna. Basfallet har 6 grenkanaler, 6 don per grenkanal och ett don per modul vars sida är 6 m. Olika isolering, dimensioneringssätt, friktionstryckfall, specifikt luftflöde, modulantal, modulsida undersöks. Siffervärden för lägsta och högsta kyleffekt redovisas relativa den nominella kyleffekten.

Alla fjorton undersökningsgrupper i avsnitt 7 visar att spridning i moduleffekt, lufteffekt och tilluftstemperatur blir mycket stor för alla oisolerade fall. Ett högt specifikt luftflöde minskar spridningen betydligt. Detta gäller även vid drift med lägre flöde än vad kanalsystemet dimensionerats för. Hur kanalsystemets dimensionerats har liten betydelse för spridningen vad avser friktionstryckfall eller möjligheter för val av kanalstorlek. Kanalsystemets storlek, form och modulstorlek påverkar inte heller spridningen mycket för samma specifika luftflöde. En förklaring är att en fördubblad längd och bredd medför att alla luftflöden ökar en faktor 4 samtidigt ökar alla kanaldiametrar, kanallängder och kanalytor en faktor 2, 2 respektive 4. Detta medför att temperaturförlusterna blir de samma för samma värmeövergångstal. I praktiken kan en dimension mindre kanaler väljas i några fall om friktionstryckfallet är dimensionerande. Detta motverkas något av att värmeövergångstalet ökar med de högre lufthastigheterna. Ett dubbelsidigt kanalsystem ger en mindre spridning än ett enkelsidigt kanalsystem.

I avsnitt 8 sätts beräkningsgången samman från de övriga avsnitten 1-6. Ett tillämpningsexempel utan isolering med anslutning av kanalsystem i ett lokalhörn genomräknas enligt arbetsgången. Jämförelse sker med ett helisolerat fall, ett fall med endast isolerade stam-

kanaler och ett oisolerat symmetriskt fall med anslutning av kanalsystem i lokalens mitt. Isolering av stamkanal eller ett symmetriskt oisolerat fall kan vara tillräcklig.

I avsnitt 9 beräknas lokalt kallras under en oisolerad och kall luftkanal. Den konvektiva kyl-effekten bestäms först som funktion av diameter och lufthastighet för två undertemperaturer. Erhållen linjeeffekt kan enkelt räknas om till centrumlufthastighet under luftkanalen oberoende av avstånd. De normala draggränserna 0.15, 0.2 och 0.25 m/s överskrids för linjeeffekt-erna 12, 26 respektive 52 W/m, vilka inte är några omöjliga värden.

I avsnitt 10 behandlas kanalsystem förlagda i undertak. En förenklad slutsats är att kanalsystem i undertak under ett yttertak isoleras något och detta bör beaktas, medan kanalsystem i undertak under ett oisolerat våningsskiljande bjälklag isoleras betydligt mindre.

Bedömningsgrunder

Beräkningsgången som återfinns i avsnitt 8 resulterar i ett antal siffervärden, vilka måste granskas på något sätt för att bedöma om kanalsystemets funktion kan godtas eller inte. Det går att ställa ett antal frågor som följer:

- Hur stora skillnader i moduleffekt kan tillåtas?
- Hur stor kvot mellan lägsta och högsta moduleffekt kan tillåtas?
- Hur låg och hur hög moduleffekt kan tillåtas?

- Hur stora skillnader i doneffekt kan tillåtas?
- Hur stor kvot mellan lägsta och högsta doneffekt kan tillåtas?
- Hur låg och hur hög doneffekt kan tillåtas?

- Hur stora skillnader i donundertemperatur kan tillåtas?
- Hur stor kvot mellan lägsta och högsta donundertemperatur kan tillåtas?
- Hur låg och hur hög donundertemperatur kan tillåtas?

De två sista tregrupperna är egentligen samma sak, eftersom det bara skiljer en konstant för omräkning från doneffekt till donundertemperatur. Ovanstående tolv frågor är ett sätt att indirekt formulera frågan:

- Kan ventilationssystemets funktion godtas?

Ett förenklat sätt att bedöma ventilationssystemets funktion har redovisats i avsnitt 6 genom att skatta vilka lufthastigheter och lufttemperaturer som finns mellan olika delar av lokalen orsakade av ojämnt fördelad kyleffekt.

Ventilationssystemets funktion bedöms därför med följande frågor:

- Överskrider lufthastigheten draggränsen?
- Vad blir lägsta och högsta lokaltemperatur?
- Vad blir skillnaden i lokaltemperatur?

Förenklad bedömning

En förenklad bedömning kan vara att bara granska donundertemperaturer, vilka kan enkelt räknas om till donkyleffekt eller specifik donkyleffekt. Detta minskar och förenklar beräkningsarbetet betydligt och endast steg 1-3 krävs. Beräkningsgången för att skatta minsta, största och medelundertemperatur är enkelt och återges därför i sin helhet nedan med en hjälpvariabel k_t enligt (5.11).

$$\Delta T_{min} = (1 - k_t) (T_s - T_t) / (1 + k_t) \quad (^\circ\text{C}) \quad (11.1)$$

$$\Delta T_{max} = T_s - T_t \quad (^\circ\text{C}) \quad (11.2)$$

$$\Delta T_m = (T_s - T_t) / (1 + k_t) \quad (^\circ\text{C}) \quad (11.3)$$

$$k_t = Ah / \rho c q_t = ah / \rho c q' \quad (-) \quad (11.4)$$

där

ρc	1200 J/Km ³
q_t	totalflödet, m ³ /s
q'	specifikt luftflödet, m ³ /sm ²
A	kanalsystemets yta, m ²
a	kanalarea relativt golvarea, -
h	kanalsystemets värmeövergångstal, W/Km ²
T_s	lokaltemperatur, °C
T_t	tilluftstemperatur, °C

Beräkningsuttryck (11.1-4) förutsätter att hjälpvariabeln $k_t < 1$ annars fås orimliga resultat med negativ lägsta undertemperatur. Detta beror på att först skattas medelundertemperaturen och därefter extrapoleras den lägsta undertemperaturen. Vad krävs för att detta inte skall inträffa? Sämsta fallet är ett oisolerat kanalsystem med värmeövergångstalet h till 6 W/Km², vilket efter insättning och omskrivning av (10.4) ger kravet $q' > 0.005a$ m³/sm². Flödena 0.001 och 0.010 m³/sm² eller 1 och 10 l/sm² kräver att $a < 0.2$ respektive $a < 2$. Kurvorna i Figur 11.1 för parametern a visar att högflödesfallet uppfylls nog, medan lågflödesfallet är mer osäkert.

Hur kanalsystemets totaleffekt delas upp mellan ytkyla och luftkyla kan skattas med följande uttryck där även den totala kyleffekten anges för att öka tydligheten.

$$P_{kanal} = Ah (T_s - T_t) / (1 + k_t) \quad (\text{W}) \quad (11.5)$$

$$P_{luft} = \rho c q_t (T_s - T_t) / (1 + k_t) \quad (\text{W}) \quad (11.6)$$

$$P_{total} = \rho c q_t (T_s - T_t) \quad (\text{W}) \quad (11.7)$$

Enda svårigheten med ovanstående beräkningsuttryck är att bestämma två parametrar, nämligen kanalsystemets totala yta A eller relativa area a och värmeövergångstalet för kanalytorna h . Några tumvärden för den senare parametern är 6, 1.2, 0.8 och 0.6 W/Km² för isolertjock-lekarna 0, 30, 50 respektive 70 mm.

Summering av slutsatser

Det finns inget enkelt svar på när ett kanalsystem inuti en lokal skall isoleras eller ej. Det förutsätts att ventilationsystemet skall kyla lokalen med omblandande ventilation. Ett oisolerat kanalsystem resulterar i stora skillnader i kyleffekt för olika moduler av lokalen. Detta kan i princip skapa stora temperaturskillnader mellan olika delar av lokalen, men detta inträffar inte, eftersom det sker temperaturstyrd och utjämnande luftströmning. Kanalsystem i ett undertak isoleras något särskilt om kanalytan är stor i förhållande till golvytan.

Det går att skatta och beräkna både minsta och största moduleffekt, dito lufteffekt och don-undertemperatur. Dessa värden kan användas direkt för att testa mot tillåtna intervall utan någon direkt koppling till något funktionskrav.

Ett direkt funktionskrav är att moduleffekterna kan användas för att skatta största lufthastighet och temperaturskillnad mellan lokalens två delar med kyleffekt över respektive under den nominella medeleffekten.

En förenklad bedömning helt beskriven i föregående underavsnitt på sidan 74 kan vara tillräckligt att genomföra för att få en uppfattning och spridningen i enbart donundertemperatur, doneffekt och uppdelning av totaleffekt i ytkyla och luftkyla.

Kallras under oisolerade luftkanaler med lufthastigheter över draggränser på 0.15, 0.20 och 0.25 m/s kan inträffa. Omblandande ventilation kan försvaga detta kallras. Strålning från oisolerade luftkanaler är utan betydelse på avstånd större än två kanaldiametrar.

En anmärkning överslagsvärdet för h om 6 W/Km^2 för en oisolerad luftkanal har beräknats med ett yttre övergångstal om 10 W/Km^2 . Strålningsdelen kan vara 1.5 W/Km^2 för en omålad galvaniserad kanalyta. Den konvektiva delen ligger omkring 2.5 W/Km^2 enligt Figur 9.1 och 9.2. Detta minskar överslagsvärdet för h till hälften eller siffermässigt till 3 W/Km^2 .

Forskningsuppgifter

Detta forskningsarbete har blivit mer omfattande än vad som det fanns ekonomi för. En del frågor har besvarats, men det återstår många andra forskningsuppgifter att lösa. Några frågeställningar angående ventilationssystemets funktion är följande:

- Hur påverkar luftströmning till ett fåtal frånluftsdon?
- Hur påverkar eventuella frånluftskanalsystem?
- Hur påverkar en lokals inredning luftströmningen?
- Hur påverkas deplacerande ventilation med lägre kylförmåga?
- Kan lufthastighet och temperaturskillnad mellan olika lokaldelar skattas bättre?
- Kan CFD (datorprogram för luftströmning) användas för att få säkrare resultat?

- Finns det någon litteratur eller erfarenheter från mätningar?
- Finns det några angivna överväganden om isolering skall väljas eller inte?
- Finns det möjligheter att tilluftstemperaturer lägre än lokalens daggpunktstemperatur?