



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

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



**Rapport**

**R45:1989**

# **Behov av kondensisolering i ventilationskanaler**

**Geron Johansson**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Ämne	
Plad	Sev

R/TL

**Byggforskningsrådet**

R45:1989

BEHOV AV KONDENSISOLERING  
I VENTILATIONSKANALER

Geron Johansson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
861102-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Statens provningsanstalt, Borås.

## REFERAT

Syftet med projektet har varit att undersöka om det under vissa förutsättningar går att utesluta kondensisolering i ventilationsinstallationer. Vid en asbetsanering måste befintligt kondensisoleringsmaterial ersättas med annat isolermaterial. Kan kondensisoleringen uteslutas i vissa applikationer erhålls en kostnadsbesparing.

I föreliggande rapport redovisas genomförda teoretiska beräkningar och praktiska prov i laboratoriemiljö för att verifiera beräkningsmetoderna. Resultaten visar att kondensisolering kan uteslutas om vissa parametrar är uppfyllda.

Rapporten innehåller också nomogram där yttemperaturen på oisolerade kanaler kan utläsas. Med hjälp av nomogrammen kan också maximalt tillåtet fuktillskott i lokalen bestämmas.

Arbetet har utförts vid Statens provningsanstalt, Energiteknik-VVS i Borås.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R45:1989

ISBN 91-540-5027-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989



INNEHÅLLSFÖRTECKNING		SIDA
1	SAMMANFATTNING	4
2	PROBLEMBESKRIVNING	5
2.1	Bakgrund	5
2.2	När uppstår kondens	6
3	BERÄKNINGAR	8
3.1	Beteckningar	8
3.2	Beräkningsexempel med invändig och utvändig isolering	9
3.3	Beräkningsexempel utan isolering	12
3.4	När uppstår kondens vid oisolerad kanal	14
3.5	Beräkning av inre och yttre värmemotstånd på en oisolerad ventilationskanal	16
4	LABORATORIEPROV	21
4.1	Beskrivning av laboratorie- och mätutrustning	21
4.2	Jämförelse mellan beräknade och uppmätta yttemperaturer vid oisolerad kanal	24
5	NOMOGRAM FÖR KONTROLL AV BEHOVET AV KONDENSISOLERING	25
5.1	Beskrivning av framtagna nomogram	25
6	REFERENSER	27
Bilaga 1 Beräkningsprogram		
Bilaga 2 Nomogram		

## 1 SAMMANFATTNING

Syftet med projektet har varit att undersöka om det under vissa förutsättningar går att utesluta kondensisolering i ventilationsinstallationer. Vid en asbestsanering måste befintligt kondensisoleringsmaterial ersättas med annat isolermaterial. Kan kondensisoleringen uteslutas i vissa applikationer erhålls en kostnadsbesparing.

I föreliggande rapport redovisas genomförda teoretiska beräkningar och praktiska prov i laboratoriemiljö för att verifiera beräkningsmetoderna. Resultaten visar att kondensisolering kan uteslutas om vissa parametrar är uppfyllda.

Rapporten innehåller också nomogram där yttemperaturen på oisolerade kanaler kan utläsas. Med hjälp av nomogrammen kan också maximalt tillåtet fukttillskott i lokalen bestämmas.

Arbetet har utförts vid Statens provningsanstalt, Energiteknik-VVS i Borås.

## 2 PROBLEMBESKRIVNING

### 2.1 Bakgrund

En omfattande inventering av ventilationsinstallationers tilluftssystem har genomförts i Sverige enligt särskilt beslut "Förordning om anmälningsskyldighet beträffande asbest i ventilationsanläggningar" (SFS 1985:997). I förordningen föreskrevs bl a att "fastighetsägare eller annan, som ansvarar för yrkesmässig användning av en ventilationsanläggning, ska anmäla asbestförekomst i denna till miljö- och hälsoskyddsnämnden i den kommun där anläggningen finns". Anmälan skulle vara utförd till 31 december 1986." Inventeringen visade att många installationer innehöll isolermaterial med asbestinnehåll.

Asbest har på grund av sina tekniska egenskaper använts i många olika produkter och applikationer. Orsaken är att materialet har tekniskt värdefulla egenskaper som ofta bidragit till att lösa problem. I ventilationsinstallationer har asbest använts som ett universalmaterial i brand-, värme-, kondens- och ljudisolerings-sammanhang. Asbestisolering kan förekomma i följande ventilationsdetaljer:

- intagskanaler till ventilationsaggregat
- invändigt i ventilationsaggregat
- invändigt i tilluftssystem
- ljuddämpare i tilluftskanaler
- ljuddämpare vid tilluftsdon, strypdon
- brandavskiljande delar i tilluftssystemet
- rotorn i roterande värmeväxlare

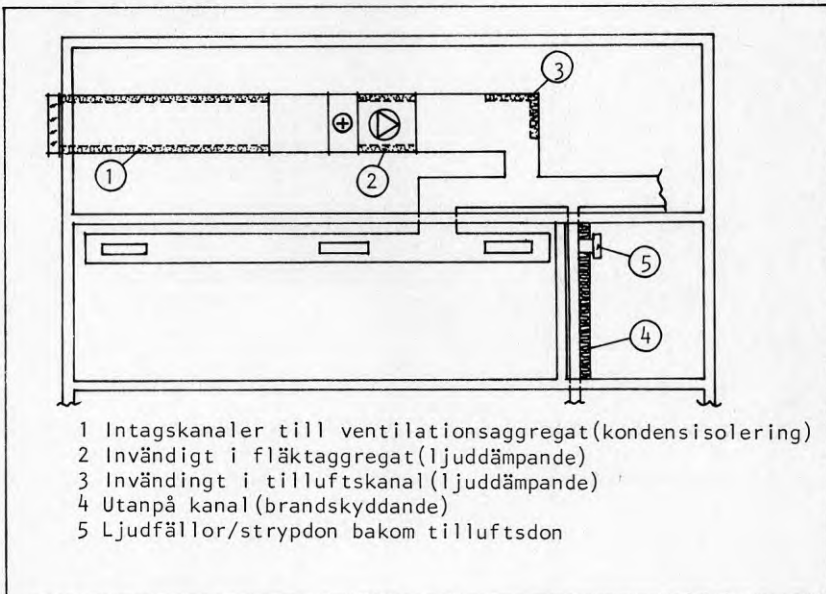


Fig 2.1.1. Asbestisolering i ventilationsinstallation (exempel)

Asbestisoleringen är i dåligt skick i många installationer vilket innebär att den inom en snar framtid kommer att saneras. Speciellt utsatt är asbestisoleringen som används i kondensskyddande sammanhang. Detta beror på att isoleringen bryts ned av bl a fukt och temperaturväxlingar.



Fig 2.1.2. Intagskanal med invändig asbestisolering.

Asbestisoleringen kan ersättas med andra lämpliga isoleringsmaterial. Det finns idag ett antal ersättningsmaterial på marknaden. Arbeten med att ta fram nya ersättningsmaterial pågår.

Kan man utesluta isolering i någon del av installationen efter en sanering erhålls en kostnadsbesparing. Praktiska prov har visat att kondensisolering i vissa applikationer kan uteslutas. Föreliggande projekt syftar till att undersöka detta ytterligare.

## 2.2 När uppstår kondens

Kondens uppstår när luftens temperatur når den s.k "daggpunkten". Enligt definition är daggpunkten den temperatur vid vilken vattenångans mättningsstryck är lika med det rådande ångtrycket. Detta åskådliggörs i ett sk Mollierdiagram nedan.

Ex. Vad är daggpunkten för luft av temperaturen 20 °C och relativa fuktigheten (RF) 30 % ?

Svar: 2 °C, se fig 2.2.1.

D v s kyls luft med +20 °C temperatur och 30 % RF så uppstår kondens vid +2 °C.

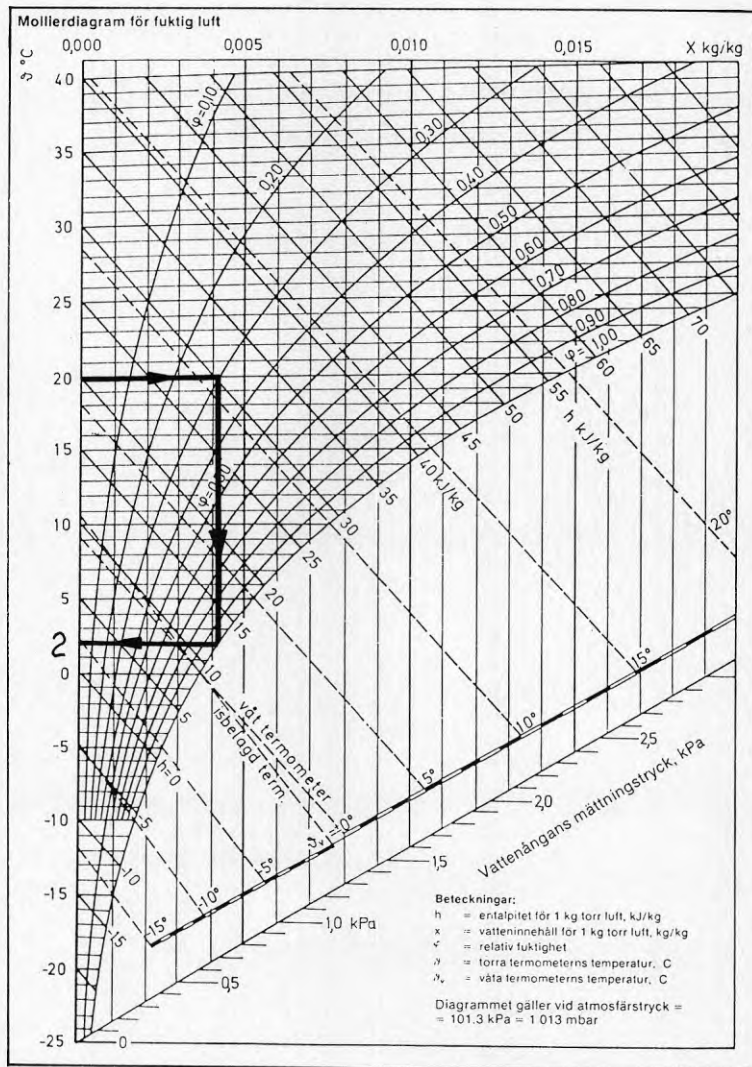


Fig 2.2.1. Kylning av luft tills daggpunkten nås.

För att kondens ska uppstå på en kanalyta krävs alltså att daggpunkten nås. I det givna exemplet innebär det att en kanal som är +2 °C, och går igenom ett utrymme som har 20 °C rumtemperatur får den relativa luftfuktigheten vara högst 30 % för att kondens inte skall uppstå på kanalytan.

## 3 BERÄKNINGAR

## 3.1 Beteckningar

d	= tjocklek, m
h	= värmeövergångskoefficient, $W/m^2 \cdot K$
L	= diameter, längd, m
R	= värmemotstånd, $m^2 \cdot K/W$
T	= temperatur, K
U	= värmegenomgångskoefficient, $W/m^2 \cdot K$
v	= lufthastighet, m/s
$\epsilon$	= emissionstal, l
$\lambda$	= värmekonduktivitet, $W/m \cdot K$
$\nu$	= kinematisk viskositet $m^2/s$
$\vartheta$	= temperatur, °C
$C_s$	= strålningskonstanten för svart yta $5,775 W/m^2 \cdot K$
$G_v$	= Grashofs tal, l
Nu	= Nusselts tal, l
Pr	= Prandtls tal, l

### 3.2 Beräkningsexempel med invändig och utvändig isolering

När en ventilationskanal kondensisoleras är det vanligtvis utfört på insidan. Invändig isolering medför att ett diffusions-tätt skikt ej behöver användas. Detta skikt är nödvändigt när isoleringen utförs på utsidan, eftersom kondensbildning annars uppstår i isoleringen. För att ytterligare beskriva konsekvensen av in- resp utvändig isolering ges exempel i fig 3.2.2 och 3.2.3.

För att beräkna temperaturerna genom en kanalvägg visas en principbild med temperaturändring genom de olika skikten, fig 3.2.1.

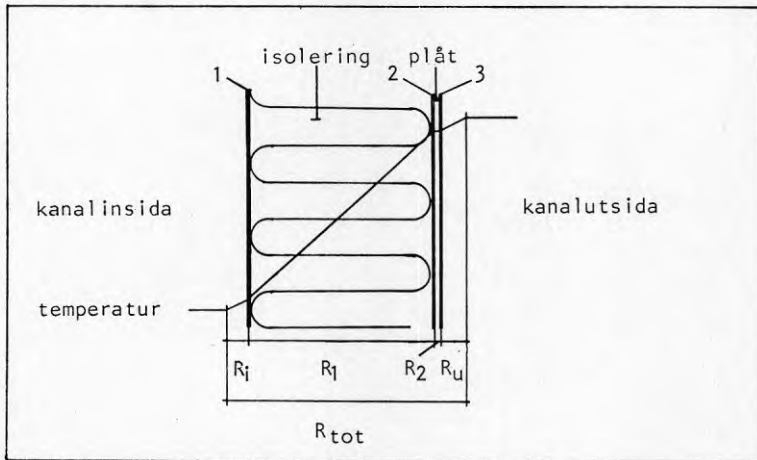


Fig 3.2.1. Temperaturförändring genom olika skikt.

Om väggens skikt numreras från utsidan och det totalt finns  $N$  skikt kan temperaturen i gränsen mellan skikt  $n$  och  $n+1$  beräknas med hjälp av ekvationen:

$$v_{n,n+1} = v_u + U (R_1 + R_2 + \dots + R_u) (v_1 - v_u)$$

I de två följande exemplen har realistiska värden för olika värmeövergångsmotstånd antagits.



Beräkna temperaturnivåerna i de olika skikten och yttemperaturen utvändigt samt max tillåten RF (%) vid rumstemperaturen 20 °C och invändig kanaltemperatur på -20 °C. Plåtkanalen antas vara 2 mm tjock och invändigt isolerad med 30 mm asbestisolering med  $\lambda$ -värdet 0,05 W/(m·K)

$$R_i = 0,06 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

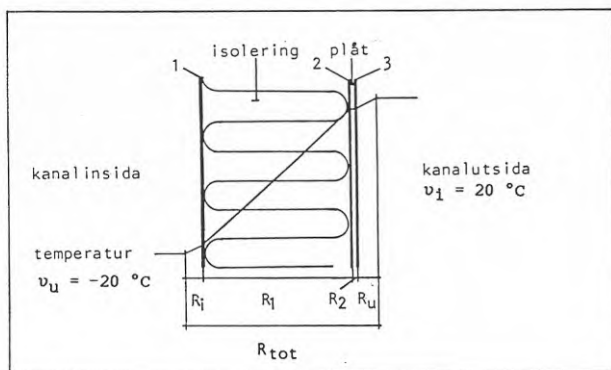
$$R_{\text{isolering}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,03}{0,05} = 0,6 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{plåt}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,002}{45} = 4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad (\lambda\text{-värde plåt} = 45 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}})$$

$$R_u = 0,17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{tot}} = 0,06 + 0,6 + 4 \cdot 10^{-5} + 0,17 = 0,83 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{0,83} = 1,20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$



$$v_1 = -20 + \frac{0,06}{0,83} \cdot (20 - (-20)) = -17,1$$

$$v_2 = -20 + \frac{(0,06+0,6)}{0,83} \cdot (20 - (-20)) = 11,8 \text{ °C}$$

$$v_3 = -20 + \frac{(0,06+0,6+4 \cdot 10^{-5})}{0,83} \cdot (20 - (-20)) = 11,8 \text{ °C (yttemperatur)}$$

Efter kontroll i Mollierdiagram fås att luft med 20 °C kan ha ett RF på 60 % innan kondens uppstår (se fig 2.2.1).

Fig 3.2.2. Exempel med invändig isolering.

Beräkna temperaturnivåerna i de olika skikten och yttemperaturen utvändigt samt max tillåten RF (%) vid samma förhållanden som i föregående exempel, fig 3.2.2, men med isoleringen på utsidan.

$$R_i = 0,06 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

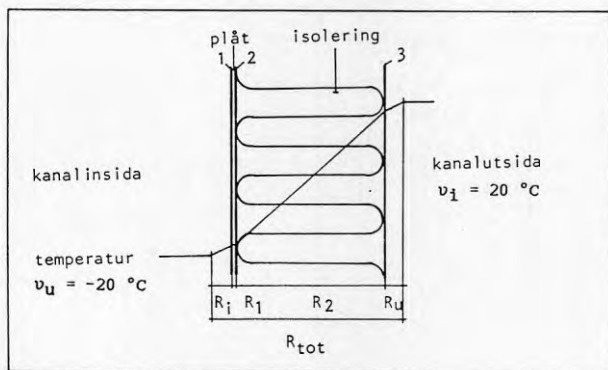
$$R_{\text{plåt}} = 4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{isolering}} = 0,6 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_u = 0,17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{tot}} = 0,06 + 4 \cdot 10^{-5} + 0,6 + 0,17 = 0,83 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{0,83} = 1,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$



$$v_1 = -20 + \frac{0,06}{0,83} \cdot (20 - (-20)) = -17,1$$

$$v_2 = -20 + \frac{(0,06 + 4 \cdot 10^{-5})}{0,83} \cdot (20 - (-20)) = -17,1$$

$$v_3 = -20 + \frac{(0,06 + 4 \cdot 10^{-5} + 0,6)}{0,83} \cdot (20 - (-20)) = 11,8 \text{ }^\circ\text{C (yttemperatur)}$$

Fig 3.2.3. Exempel med utvändig isolering.

Vid en jämförelse mellan de två exemplen blir i dessa fall yttemperaturen på utsidan av kanalen eller isoleringen samma dvs 11,8 °C. Antag att RF i inomhusluften (20 °C) är 40 %, daggpunkten är då 6 °C.

I exemplet med invändig isolering uppstår ingen kondens eftersom yttemperaturen på kanalutsidan är högre (11,8 °C) än daggpunkten. På insidan av kanalen blir luften "uppvärmd" genom isoleringen vilket medför att relativa fuktigheten blir lägre närmare plåten.

Med utvändig isolering nås daggpunkten inne i isoleringen eftersom denna har samma vatteninnehåll som rumsluften såvida den inte är klädd med ett diffusionstätt skikt. Temperaturen inne i isoleringen varierar från -17,1 °C på insidan till 11,8 °C på utsidan.

En utvändig isolering med diffusionstätt skikt är komplicerad och därmed dyr att genomföra. Det finns dock uppenbara fördelar med en utvändig isolering, t ex

- lättare att rengöra en "ren" plåtkanal på insidan
- ingen risk att delar av olämpliga isoleringsmaterial följer med tilluften.

### 3.3 Beräkningsexempel utan isolering

När isolering av en ventilationskanal saknas får det inre ( $R_i$ ) och yttre ( $R_u$ ) värmemotståndets storlek större betydelse. Används isolering så får dessa värden en mindre betydelse, eftersom de relativt sett är små. Ett exempel ges i fig 3.3.1 med antagna värden enligt tidigare.

Beräkna temperaturnivåerna i de olika skikten och yttemperaturen samt max tillåten RF (%) vid rumstemperaturen 20 °C och invändig kanaltemperatur på -20 °C. Plåtkanal som är 2 mm tjock är oisolerad.

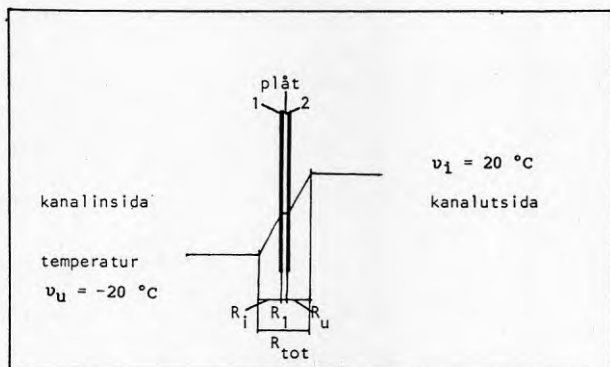
$$R_i = 0,06 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{plåt}} = 4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_u = 0,17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{tot}} = 0,06 + 4 \cdot 10^{-5} + 0,17 = 0,23 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{0,23} = 4,35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$



$$v_1 = -20 + \frac{0,06}{0,23} \cdot (20 - (-20)) = -9,6$$

$$v_2 = -20 + \frac{(0,06 + 4 \cdot 10^{-5})}{0,23} \cdot (20 - (-20)) = -9,5 \text{ (yttemperatur)}$$

Efter kontroll i Mollierdiagram fås att luft med 20 °C kan ha ett RF på 12 % innan kondens uppstår (se fig 2.2.1).

Fig 3.3.1. Exempel utan isolering.

### 3.4 När uppstår kondens vid oisolerad kanal

I det tidigare exemplet (fig 3.3.1) erhålls en yttemperatur på  $-9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  vid en invändig kanaltemperatur på  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  och en rumstemperatur på  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vid ett antagande av en invändig kanaltemperatur på  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  men med i övrigt samma förhållanden erhålls.

$$v_2 = -10 + \frac{(0,06+4 \cdot 10^{-5})}{0,23} \cdot (20 - (-10)) = -2,2 \text{ (yttemperatur)}$$

Om det antas (under stationära förhållanden) att luften i fläktrummet har samma ångkvot (vatteninnehåll)  $x$  som utomhusluften och att uteluften är  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  med RF = 70 % så kommer denna luft att få RF = 8 % vid  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

I exemplet ovan var yttemperaturen  $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  vilket innebär att RF skulle kunna vara 22 % vid  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  innan kondens skulle uppstå.

Detta innebär också att luften skulle kunna "fuktas upp" med  $\Delta x = 2\text{ g}$  vatten per kg torr luft innan kondens uppstår, se fig 3.4.1.

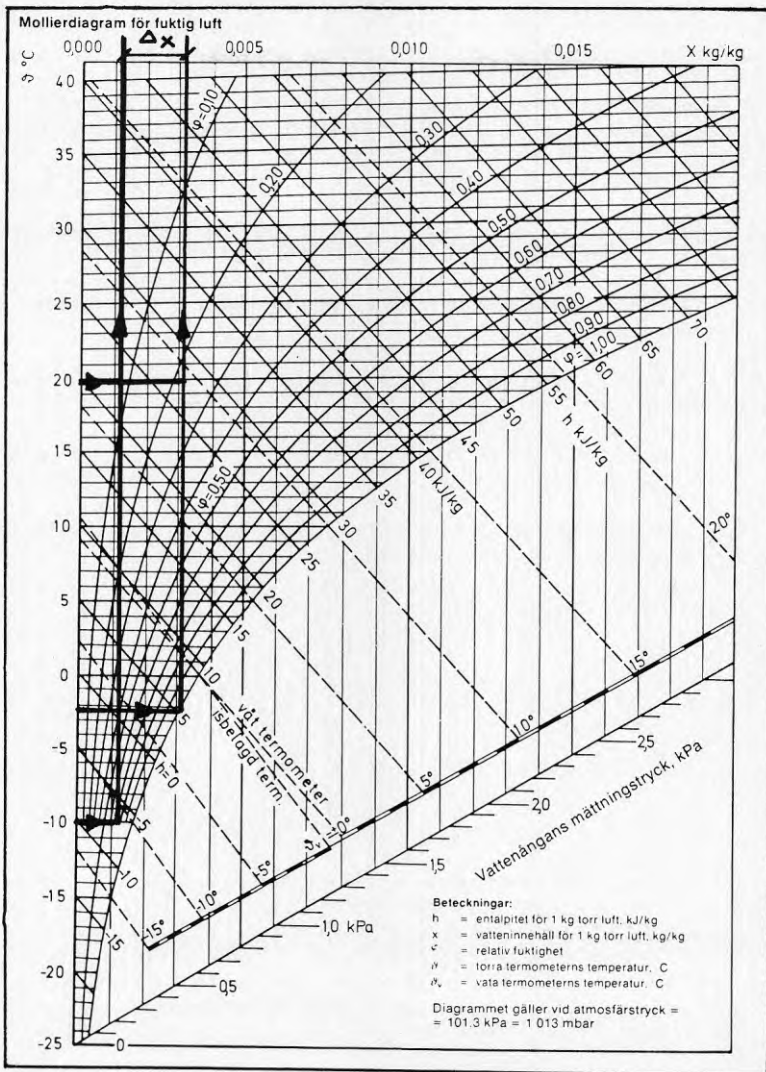


Fig 3.4.1. Exempel på olika RF och max  $\Delta x$ .

Under stationära förhållanden och vid samma vatteninnehåll  $x$  utomhus som inomhus skulle därför inte kondensutfällning behöva befaras på en oisolerad kanal, beroende på att ytemperaturen på utsidan alltid är något högre än temperaturen i luften på insidan. Detta beror på att  $R_i$  och  $R_u$  alltid ger ett visst värmemotstånd. Slutsatsen gäller enbart om det ej är för stort fuktillskott i fläktrummet men vanligtvis är det dock samma vatteninnehåll  $x$  i fläktrummet som utomhus.

Detta kan också exemplifieras genom att studera ett l-glas fönster vintertid. Här uppstår heller ingen kondens på insidan såvida det ej är något fuktillskott i rummet.

Av detta dras den slutsatsen att  $R_i$  och  $R_u$  måste studeras noggrannare för att om möjligt kunna beräkna vad som kan tillåtas i fuktillskott i vissa applikationer.

### 3.5 Beräkning av inre och yttre värmeövergångsmotstånd på en oisolerad ventilationskanal

Inre och yttre värmemotståndet är det inverterade värdet av värmeövergångskoefficienten  $d v s$

$$R_i = \frac{1}{h_i}$$

$$R_u = \frac{1}{h_u}$$

Värmeövergångskoefficienten  $h_i$  och  $h_u$  är summan av delvärdena för strålning och konvektion (inkl ledning).

$$h_i = h_{si} + h_{ki}$$

$$h_u = h_{su} + h_{ku}$$

Inre värmeövergångsmotstånd,  $R_i$

$$\text{Enligt tidigare är } R_i = \frac{1}{h_i}$$

$$\text{och } h_i = h_{si} + h_{ki}$$

Den inre värmeövergångskoefficienten är inte strålningsberoende  $h_{si}$  eftersom alla inre ytor är av samma material i en plåtkanal.

Enligt Jürges (Data och Diagram, Mörtstedt, Hellsten)

$$h_i = 5,8 + 3,95 \cdot v \quad v < 5 \text{ m/s}$$

$$h_i = 7,15 \cdot v^{0,78} \quad v > 5 \text{ m/s}$$

Yttre värmemotstånd,  $R_u$

$$\text{Enligt tidigare är } R_u = \frac{1}{h_u}$$

$$\text{och } h_u = h_{su} + h_{ku}$$



Enligt Nevander, Samuelsson (Elementär byggnadsfysik, LTH 1976) kan  $h_{su}$  förenklas till

$$h_{su} = 0,04 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot C_s \cdot \left(\frac{T_m}{100}\right)^3$$

$\epsilon_1$  = kanalytans emissionstal

$\epsilon_2$  = motstrålände ytans emissionstal

$C_s$  = strålningskonstanten för svart yta =  $5,77 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

$h_{ku}$  är beroende av den naturliga konvektionen runt en kanalvägg.

För att beräkna  $h_{ku}$  kan man vid en cirkulär kanal använda följande samband (Heat Transmission, Mc Adams).

$$h_{ku} = 1,022(T_i - T_y)^{1/3} \quad \text{för } 10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{12}$$

$$h_{ku} = 1,533 \left(\frac{T_i - T_y}{L}\right)^{1/4} \quad \text{för } 10^{-3} < Gr \cdot Pr < 10^9$$

$$\text{Grashofs tal } Gr = \frac{g \cdot \frac{1}{T_y} \cdot (T_i - T_y) \cdot L^3}{\nu^2}$$

Prandtls tal  $Pr$  kan sättas till 0,72 (-40 °C - +100 °C).

$g$  = tyngdaccelerationen,  $m^2/s$

$T_i$  = rumstemperatur, K

$T_y$  = yttemperatur, K

$L$  = diameter, längd, m

Kinematiska viskositeten,  $\nu$ , för luft är en funktion av temperaturen,  $\nu$ , och kan förenklas till

$$\nu = \nu \cdot 9,5 \cdot 10^{-8} + 13,4 \cdot 10^{-6}, \quad m^2/s$$

Vid beräkning av  $h_{ku}$  för en rektanqulär kanal finns inte lämpliga erfarenhetsvärden som för runda kanaler.  $h_{ku}$  måste därför beräknas ur sambandet med Nusselts tal:

$$Nu = \frac{h \cdot L}{\lambda}$$

efter omskrivning blir då i vårt fall

$$h_{ku} = \frac{Nu \cdot \lambda}{L}$$

$\lambda_{\text{luft}}$  är en funktion av temperaturen och kan förenklas till

$$\lambda_{\text{luft}} = v \cdot 7 \cdot 10^{-5} + 24,1 \cdot 10^{-3}$$

Nusselt tal kan bestämmas enligt följande (Formelsamling i tillämpad termodynamik och strömningslära, CTH 1979).

$$N_u = 0,55 (Pr \cdot Gr)^{1/4} \quad \text{för } Gr \cdot Pr < 10^9$$

$$N_u = 0,32 (Pr \cdot Gr)^{2/5} \quad \text{för } Gr \cdot Pr > 10^9$$

Ovanstående samband ger möjlighet att beräkna yttemperaturen vilket utnyttjas i exemplet nedan.

Som tidigare nämnts är det yttemperaturen på utsidan av kanalen som är av största intresse. Flera av sambanden är dock beroende av yttemperaturen varför handräkning är tidsödande. Ett data-program har därför arbetats fram för att underlätta beräkningarna (se bilaga 1).

Ex.

Yttemperaturen på en oisolerad plåtkanal bestäms under följande förutsättningar:

Kanaldimension =  $\varnothing$  0,5 m  
 Plåttjocklek = 2 mm  
 Lufthastighet = 6 m/s  
 Inre kanaltemp =  $-10$  °C  
 Rumstemp =  $20$  °C

$$R_i = \frac{1}{h_i}$$

$$h_i = 7,15 \cdot v^{0,78} = 7,15 \cdot 6^{0,78} = 28,92 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$R_i = \frac{1}{28,92} = 3,457 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{plåt}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,002}{45} = 4,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad (\lambda\text{-värde plåt} = 45 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}})$$

$$R_u = \frac{1}{h_u}; \quad h_u = h_{su} + h_{ku} \Rightarrow R_u = \frac{1}{h_{su} + h_{ku}}$$

$$h_{su} = 0,04 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot C_s \cdot \left(\frac{T_m}{100}\right)^3$$

$$\begin{aligned}\epsilon_1 &= 0,9 \quad (\text{Mörtstedts data och diagram}) \\ \epsilon_2 &= 0,93 \quad (\text{Mörtstedts data och diagram}) \\ C_S &= 5,77 \\ T_m &= \text{medeltemp mellan yta och omgivning}\end{aligned}$$

$$\text{Antag } T_m = \frac{270+293}{2} = 281,5$$

$$h_{su} = 0,04 \cdot 0,9 \cdot 0,93 \cdot 5,77 \cdot \left(\frac{281,5}{100}\right)^3$$

$$h_{su} = 4,309 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$h_{ku} = 1,022(T_1 - T_Y)^{1/3} \text{ för } 10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{12}$$

$$h_{ku} = 1,533 \left(\frac{T_1 - T_Y}{L}\right)^{1/4} \text{ för } 10^3 < Gr \cdot Pr < 10^9$$

$$Pr = 0,72$$

$$\text{Grashofs tal } Gr = \frac{g \cdot \frac{1}{T_Y} \cdot (T_1 - T_Y) \cdot L^3}{\nu^2}$$

$$g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_Y = 270 \text{ K enl tidigare antagande}$$

$$T_1 = 293 \text{ K enl tidigare antagande}$$

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$\nu = \nu \cdot 9,5 \cdot 10^{-8} + 13,4 \cdot 10^{-6}$$

$$\nu = \frac{T_1 + T_Y}{2} - 273 ; \nu = \frac{293 + 270}{2} - 273 = 8,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nu = 8,5 \cdot 9,5 \cdot 10^{-8} + 13,4 \cdot 10^{-6} = 14,21 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

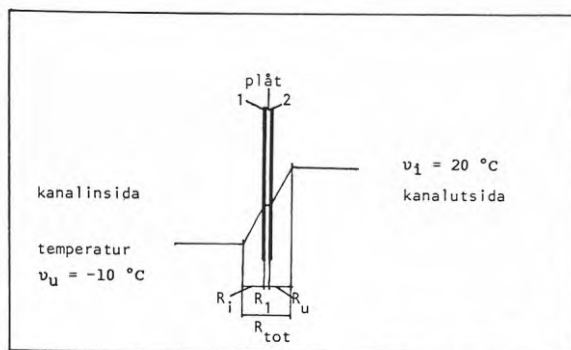
$$Gr = \frac{1}{(14,21 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{9,81 \cdot 270 \cdot (293 - 270) \cdot 0,5^3}{1} = 5,17 \cdot 10^8$$

$$Gr \cdot Pr = 0,72 \cdot 5,17 \cdot 10^8 = 3,72 \cdot 10^8$$

$$h_{ku} = 1,533 \left(\frac{T_1 - T_Y}{L}\right)^{1/4} = 1,533 \left(\frac{293 - 270}{0,5}\right)^{1/4} = 3,992 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$R_u = \frac{1}{h_{su} + h_{ku}} = \frac{1}{4,309 + 3,992} = 12,047 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_{\text{plåt}} + R_u = 3,457 \cdot 10^{-2} + 4,4 \cdot 10^{-5} + 12,047 \cdot 10^{-2} = 15,508 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$



Yttemperaturen på utsidan är då benämnd  $v_2$ .

$$v_2 = -10 + \frac{(3,457 \cdot 10^{-2} + 4,4 \cdot 10^{-5})}{15,508 \cdot 10^{-2}} (20 - (-10)) = -3,3\text{ °C}$$

Det antagna värdet på yttemperaturen stämmer väl med slutresultatet varvid omräkning ej erfordras.

Fig 3.5.1. Exempel utan isolering men med beräknade värmemotstånd.

## 4 LABORATORIEPROV

## 4.1 Beskrivning av laboratorie- och mätutrustning

För att verifiera den framtagna beräkningsmodellen (datorprogrammet) har ett flertal mätningar genomförts i laboratorium.

En speciell kammare har byggts upp med en invändigt placerad oisolerad kanal. Invändig kanaltemperatur och omgivande lufttemperatur har kunnat varieras med hjälp av laboratoriets luftflödesanläggning, se fig 4.1.1.

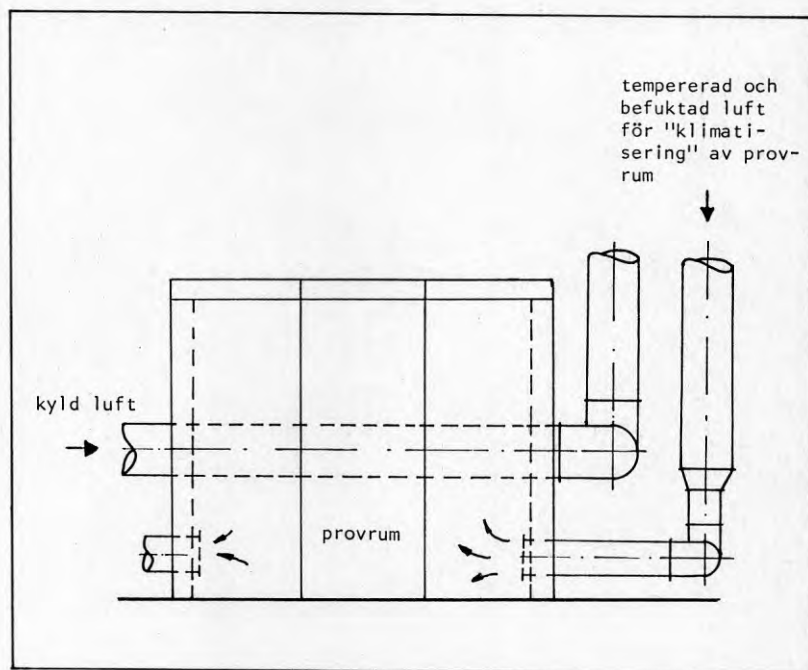


Fig 4.1.1. Skiss över provrum.

Temperaturen i kanalen har varierats från ca  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  till  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Omgivande lufttemperatur har kunnat varieras från ca  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  till  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , med varierande luftfuktighet.

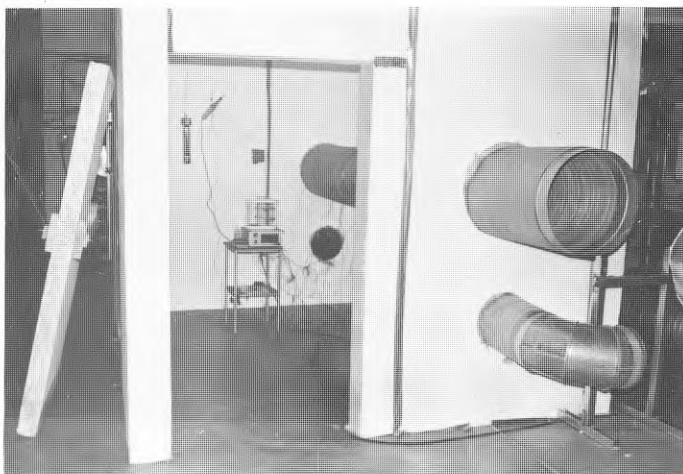


Fig. 4.1.2. Foto över provrum.

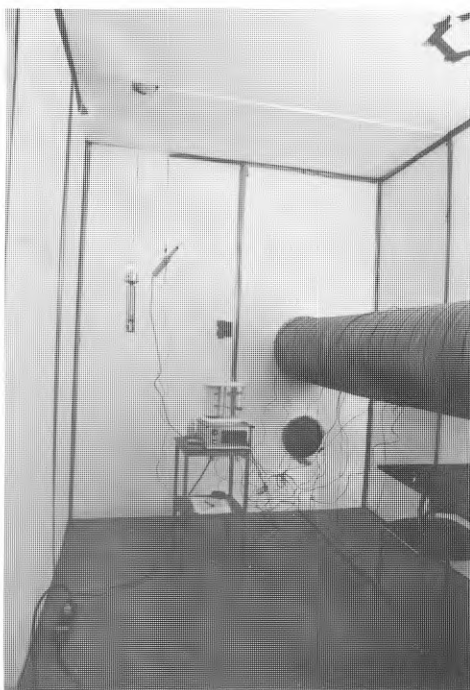


Fig 4.1.3. Foto på mätutrustning i provrum.

Vid proven har följande mätningar genomförts:

- lufttemperatur i kanal
- lufthastighet i kanal
- lufttemperatur i provrum
- luftfuktighet i provrum
- yttemperatur på kanaler

Följande mätutrustning har använts:

lufttemperatur, kanaltemperatur, yttemperatur	Termoelement typ CuKo kopplades till temperaturmätning-instrument typ 12-kanals fabrikat Pentronic.
lufthastighet	Luftflödesmätare typ mättdysa enligt ISO 1932 och mikro-manometer typ Betz.
luftfuktighet	Slungpsykrometer typ 761 fabrikat Lambrecht.



#### 4.2 Jämförelse mellan beräknade och uppmätta yttemperaturer vid oisolerad kanal

Vid provningarna har ett flertal mätningar genomförts. Resultaten har jämförts med tidigare nämnd beräkningsmetod. I tabell 4.2.1 ges exempel på mätresultat jämförda med beräknade värden.

Invändig kanaltemp. (uppmätt) °C	Luft- hastighet m/s	Uppmätt yttemp. °C	Beräknad yttemp. °C	Differens uppmätt-beräknat $\Delta$ °C
4,6	2,6	10,5	9,3	+1,2
9,9	5,1	12,2	12,1	+0,1
6,1	5,1	10,0	9,5	+0,5
3,5	5,1	7,5	7,1	+0,4
-0,5	5,1	5,5	4,6	+0,9
-5,3	5,1	2,0	0,5	+1,5
-10,9	5,1	-1,5	-3,3	+1,8
9,1	7,6	11,7	11,6	+0,1
5,0	7,6	8,8	8,1	+0,7
-1,6	7,6	2,8	2,2	+0,6
-6,4	7,5	-0,8	-1,6	+0,8
-12,5	7,6	-6,0	-6,8	+0,8
-18,9	7,7	-10,7	-11,8	+1,1
9,9	10,2	12,5	11,8	+0,7
-1,2	10,1	2,3	1,9	+0,4

Tabell 4.2.1. Exempel på mätresultat jämförda med teoretiska beräkningar.

Omgivningstemperaturen har varit ca 20 °C men exakt temperatur har använts vid jämförelse mellan beräknat och uppmätt resultat.

Uppmätta och beräknade värden för yttemperatur överensstämmer inte exakt och detta beror på osäkerhet vid yttemperaturmätning och att förutsättningarna i de teoretiska resonemangen ej är helt uppfyllda.

Det viktiga är dock att de beräknade värdena ger en något lägre yttemperatur än de uppmätta. På så vis ges en säkerhetsmarginal om beräkningsmetoden används för att avgöra om kondensisolering erfordras eller ej.

## 5 NOMOGRAM FÖR KONTROLL AV BEHOVET AV KONDENSISOLERING

### 5.1 Beskrivning av framtagna nomogram

Med hjälp av ovan beskriven beräkningsmetod har yttemperaturen som funktion av

- inre kanaltemperatur
- luft hastighet
- kanalgeometri (rund eller rektangulär)
- kanaldimension

kunnat beräknas. Med utgångspunkt från dessa värden har ett nomogram konstruerats för olika kanaldimensioner och geometrier. Nomogrammet ger förutom yttemperaturen också ett mått på hur stort fuktillskott som kan tillåtas i lokalen (fläktrummet) vid oisolerad kanal. Genom att mäta fuktinnehåll inom- och utomhus kan det konstateras om det finns något extra fuktillskott. Enklast görs detta genom att mäta torr och våt temperatur med en slungpsykrometer. Efter mätningarna kan det i Mollier-diagram konstateras om det finns något fuktillskott i lokalen.

Ex. Vid mätning konstateras att det är +3 °C i torr temperatur och +1 °C i våt temperatur utomhus. Inomhus är det +20 °C i torr temperatur och +11 °C i våt temperatur. Fuktinnehållet är då 3,2 gram/kg torr luft ute och 4,2 gram/kg torr luft inne. Fuktillskottet i inomhusluften är då 1 gram/kg torr luft (4,2-3,2).

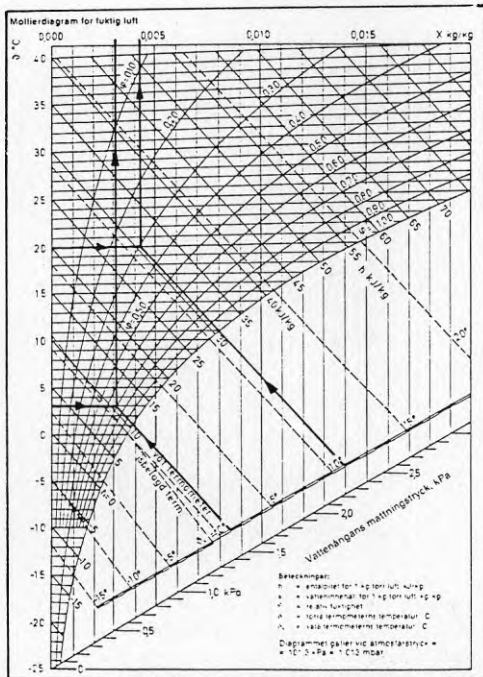


Fig 5.1.1. Exempel på mätning av vatteninnehåll i luft inomhus och utomhus.

När man känner fukttillskottet kan det med hjälp av nomogrammet, se fig 5.1.2 konstateras om det är nödvändigt med isolering i detta speciella fall. I exemplet antas att lufthastigheten är 4 m/s och att kanalen är rund med diameter 500 mm.

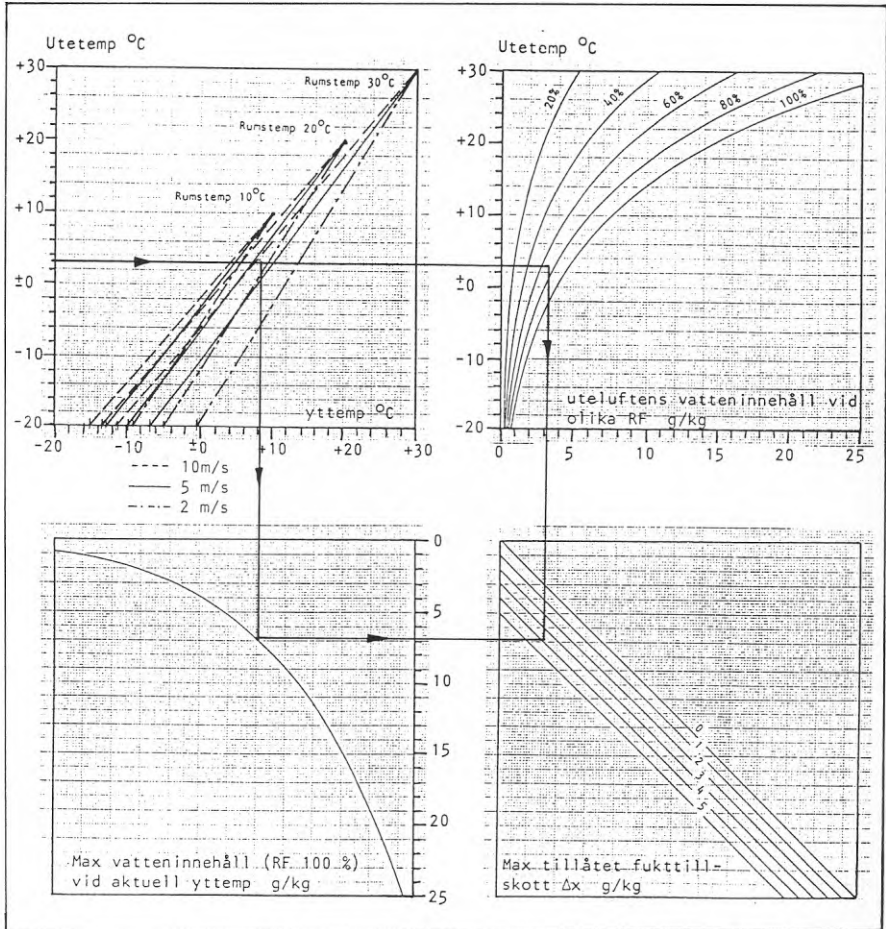


Fig 5.1.2. Nomogram för  $\varnothing$  500 mm kanal.

Diagrammet visar att det i detta exempel kan tolereras ett fukttillskott på drygt 3 g/kg torr luft innan kondens uppstår.

Av diagrammet framgår också att en lägre lufthastighet i kanalen minskar risken för kondens. Vidare kan det konstateras att så länge det ej är ett fukttillskott i lokalen, där kanalen passerar, så kan ej kondens uppstå.

I bilaga 2 finns nomogram för olika kanalstorlekar och kanalgeometrier.

## 6 REFERENSER

1. Nevander, Samuelson, Elementär byggnadsfysik
2. Mc Adams, Heat Transmission
3. Mörtstedt, Hellsten, Data och Diagram
4. Chalmers Tekniska Högskola, Formelsamling i tillämpad termodynamik, nr 71/8
5. Nevander, Elmarsson, Fukthandboken
6. VVS-Handboken, Tabeller och diagram



**BILAGA 1**

**Beräkningsprogram för beräkning av yttemperaturer på oisolerad ventilationskanal.**



```
10 REM Program for beräkning av yttemperaturer på oisolerad
kanal
20 CLEAR
30 DIM V(30),T1(30),Q2(30),L(30),R(30),D(30),T2(30),E1(30),E
2(30),A1(30)
40 DIM M1(30),M2(30),T3(30),A2(30),T4(30),T5(30),T6(30),V1(3
0),G1(30),G2(30)
50 DIM A3(30),N1(30),T7(30),L2(30),M3(30),M4(30),T8(30),T9(3
0),Q1(30)
60 GOSUB 460
70 GOSUB 700
80 GOSUB 790
90 FOR I=1 TO N
100 GOSUB 840
110 GOSUB 880
120 IF R(I)=1 THEN GOSUB 970
130 IF R(I)=2 THEN GOSUB 1070
140 GOSUB 1160
150 M4(I)=M1(I)+M2(I)+M3(I)
160 T8(I)=T1(I)+M1(I)/M4(I)*(T2(I)-T1(I))
170 T9(I)=T1(I)+(M1(I)+M2(I))/M4(I)*(T2(I)-T1(I))
180 Q1(I)=T1(I)+(M1(I)+M2(I)+M3(I))/M4(I)*(T2(I)-T1(I))
190 IF T9(I)<Q2(I)-.02 THEN 220
200 IF T9(I)>Q2(I)+.02 THEN 240
210 GOTO 260
220 Q2(I)=Q2(I)-.01
230 GOTO 250
240 Q2(I)=Q2(I)+.01
250 GOTO 100
260 PRINTER IS 701,75
270 PRINT "Invändig kanaltemp.=";T1(I)
280 PRINT "Lufthastighet i kanal=";V(I);" m/s"
290 IF R(I)=2 THEN 320
300 PRINT "Rund kanal Diameter=";L(I);" m"
310 GOTO 330
320 PRINT "Rektangulär kanal Hjd=";L(I);" m"
330 PRINT "Gr*Pr=";G2(I)
340 PRINT "Kanalytans emissionstal=";E1(I)
350 PRINT "Vggens(i rummet) emissionstal=";E2(I)
360 PRINT "Rumstemp.=";T2(I)
370 PRINT "Yttemp. kanalinsida=";T8(I)
380 PRINT "Yttemp. kanalutsida=";T9(I)
390 PRINT "Koll=";Q1(I)
400 PRINT "Q2=";Q2(I)
410 PRINT
420 PRINT
430 NEXT I
440 DISP "Berkning klar"
450 END
460 REM SUBROUTIN Inmatning av data
470 DISP "Antal beräkningar (max 30)";
480 INPUT N
490 FOR I=1 TO N
500 DISP "Lufthastighet i kanal m/s";
510 INPUT V(I)
520 DISP "Temperatur i kanal grad C";
530 INPUT T1(I)
540 DISP "Antagen temperatur kanalutsida grad C";
550 INPUT Q2(I)
560 DISP "Kanal diameter/hjd m";
570 INPUT L(I)
580 DISP "Rund eller rekt. kanal 1/2";
```

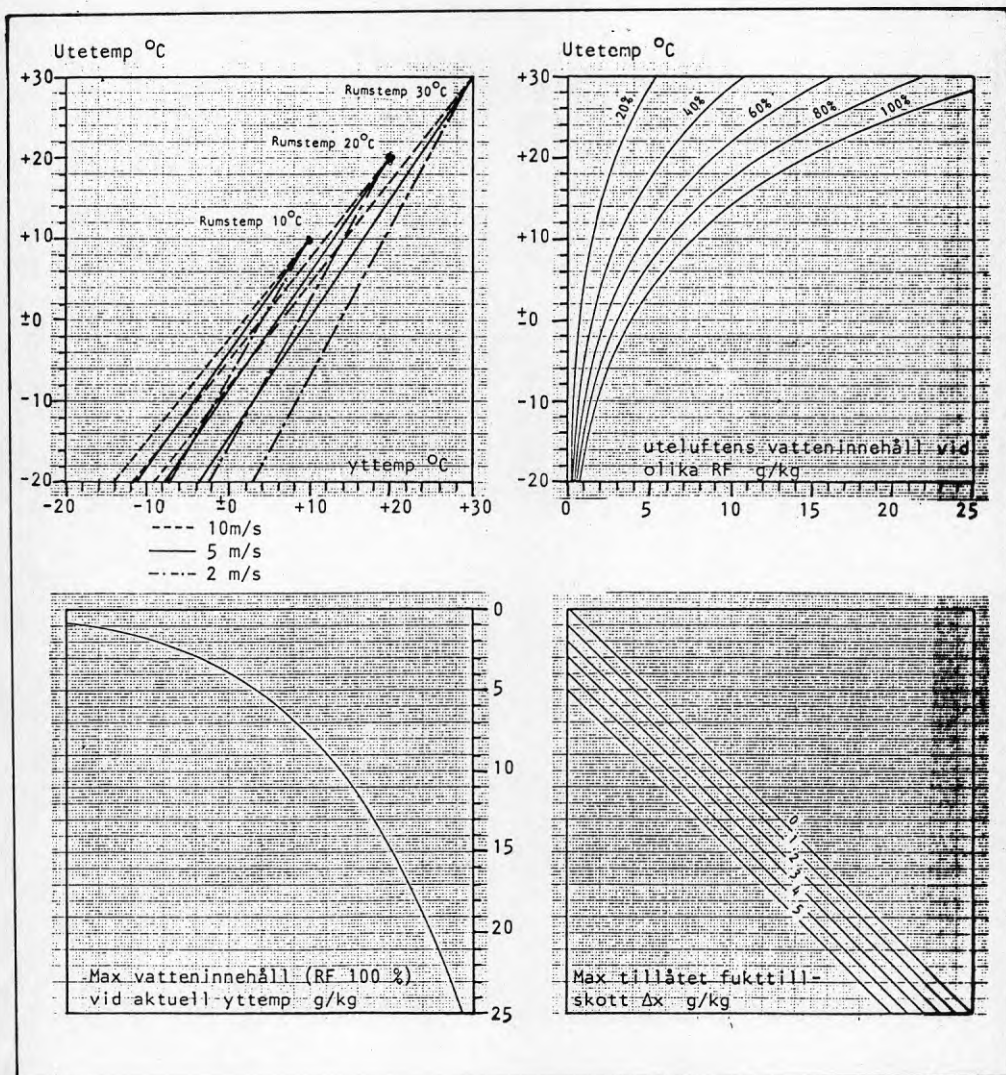




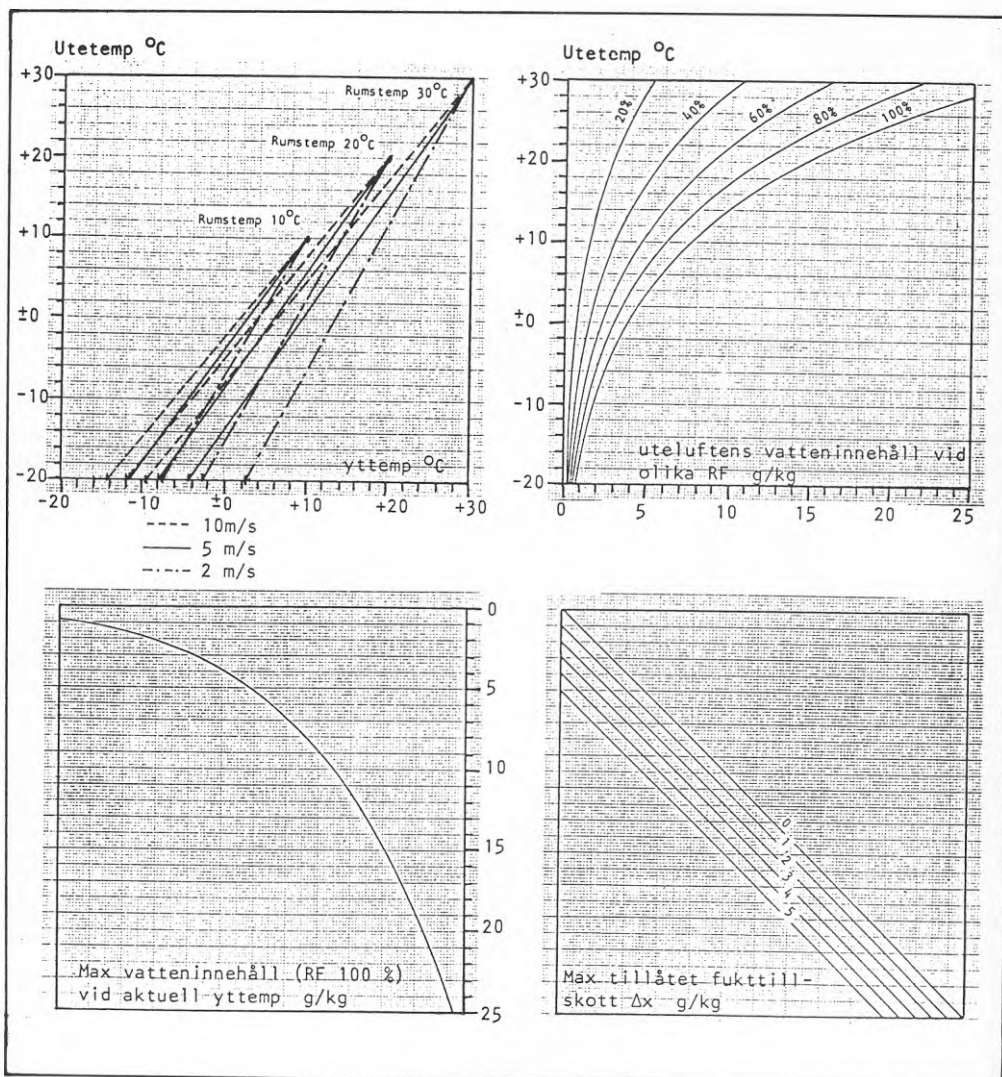
```
590 INPUT R(I)
600 DISP "Plttjocklek mm";
610 INPUT D(I)
620 DISP "Rumstemperatur grad C";
630 INPUT T2(I)
640 DISP "Kanalytans emissionstal";
650 INPUT E1(I)
660 DISP "Vggens(i rummet) emissionstal";
670 INPUT E2(I)
680 NEXT I
690 RETURN
700 REM SUBROUTIN Berkning av mi
710 FOR I=1 TO N
720 IF V(I)<5 THEN 750
730 A1(I)=7.15*V(I)^.78
740 GOTO 760
750 A1(I)=5.8+3.95*V(I)
760 M1(I)=1/A1(I)
770 NEXT I
780 RETURN
790 REM SUBROUTIN Berkning av mplt
800 FOR I=1 TO N
810 M2(I)=D(I)*1/1000*1/45
820 NEXT I
830 RETURN
840 REM SUBROUTIN Berkning av yttre strlning
850 T3(I)=(T2(I)+Q2(I))/2+273
860 A2(I)=.2308*E1(I)*E2(I)*(T3(I)/100)^3
870 RETURN
880 REM SUBROUTIN Berkning av Gr*Pr
890 P=.72
900 T4(I)=T2(I)+273
910 T5(I)=Q2(I)+273
920 T6(I)=(T5(I)+T4(I))/2-273
930 V1(I)=T6(I)*9.5*10^-8+13.4*10^-6
940 G1(I)=9.81/T5(I)*(T4(I)-T5(I))*L(I)^3/V1(I)^2
950 G2(I)=G1(I)*P
960 RETURN
970 REM SUBROUTIN Berkning av yttre konvektion rund kanal
980 IF G2(I)<10^3 THEN 1050
990 IF G2(I)>10^12 THEN 1050
1000 IF G2(I)>10^9 THEN 1030
1010 A3(I)=1.53141*((T2(I)-Q2(I))/L(I))^-.25
1020 GOTO 1060
1030 A3(I)=1.022094*(T2(I)-Q2(I))^-.3333
1040 GOTO 1060
1050 STOP
1060 RETURN
1070 REM SUBROUTIN Berkning av yttre konvektion rektangulär
    kanal
1080 IF G2(I)>10^9 THEN 1110
1090 N1(I)=.55*G2(I)^.25
1100 GOTO 1120
1110 N1(I)=.021*G2(I)^.4
1120 T7(I)=(T2(I)+Q2(I))/2
1130 L2(I)=T7(I)*7*10^-5+24.1*10^-3
1140 A3(I)=N1(I)*L2(I)/L(I)
1150 RETURN
1160 REM SUBROUTIN Berkning av myttre
1170 M3(I)=1/(A2(I)+A3(I))
1180 RETURN
```

BILAGA 2

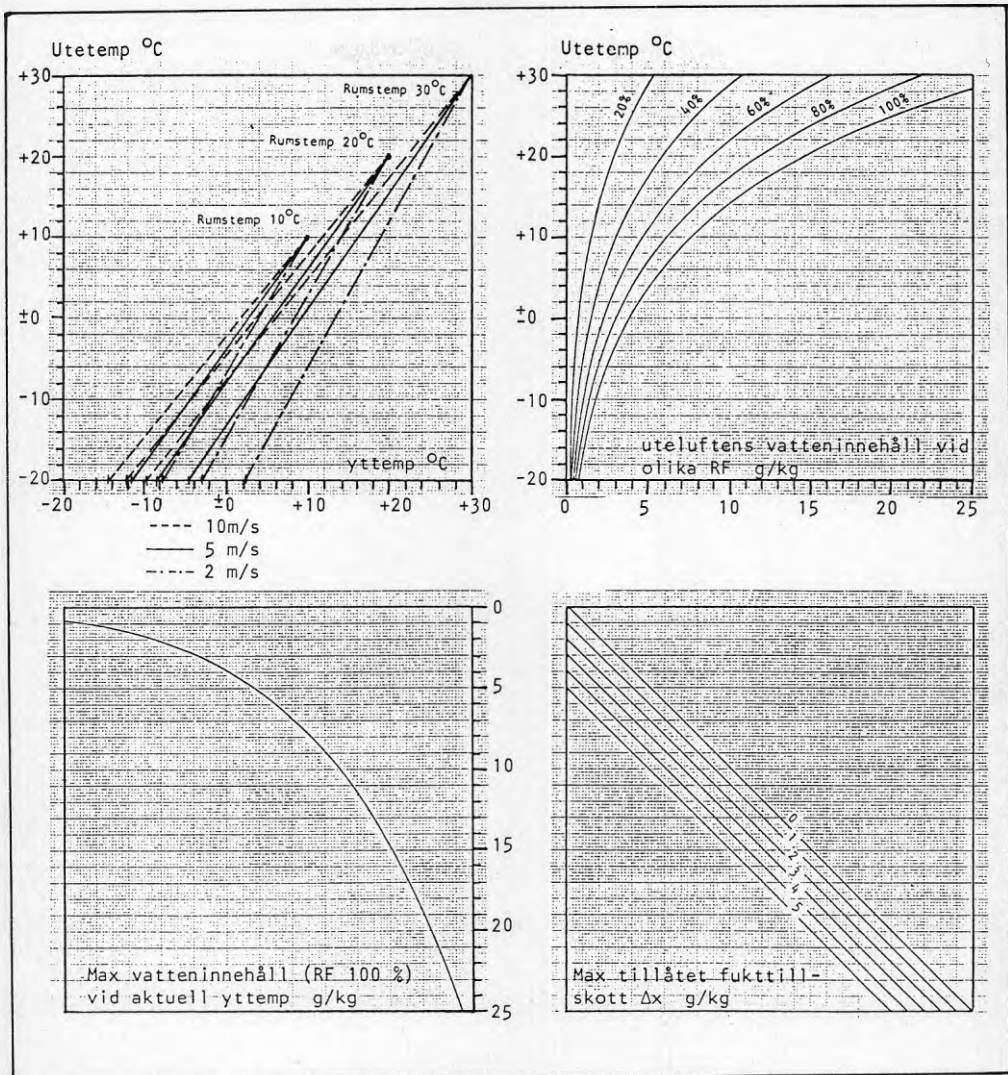
Nomogram för bestämning av yttemperatur och maximalt tillåtet fuktillskott för olika kanaldimensioner.



Bilaga 2.1. Kanaldimension  $\varnothing$  63 mm

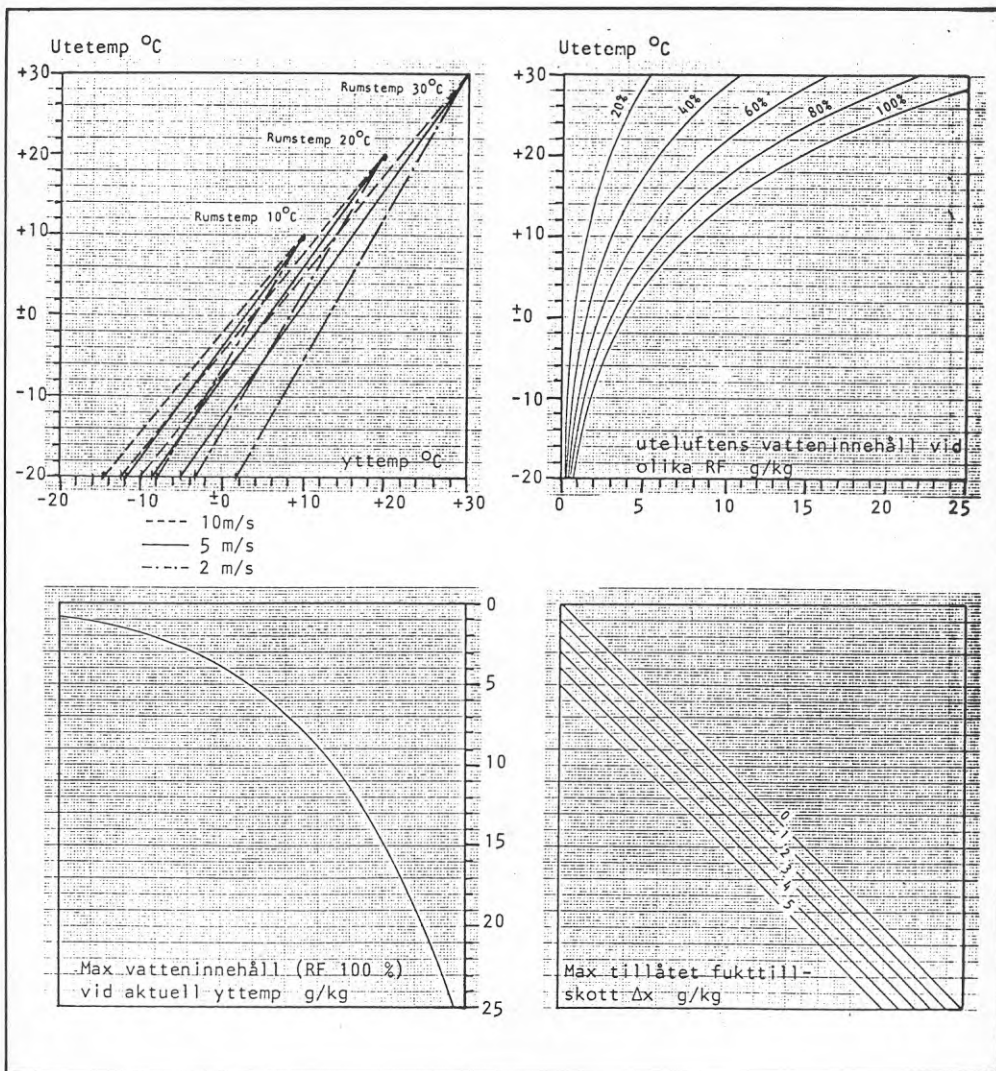


Bilaga 2.2. Kanaldimension  $\varnothing$  80 mm

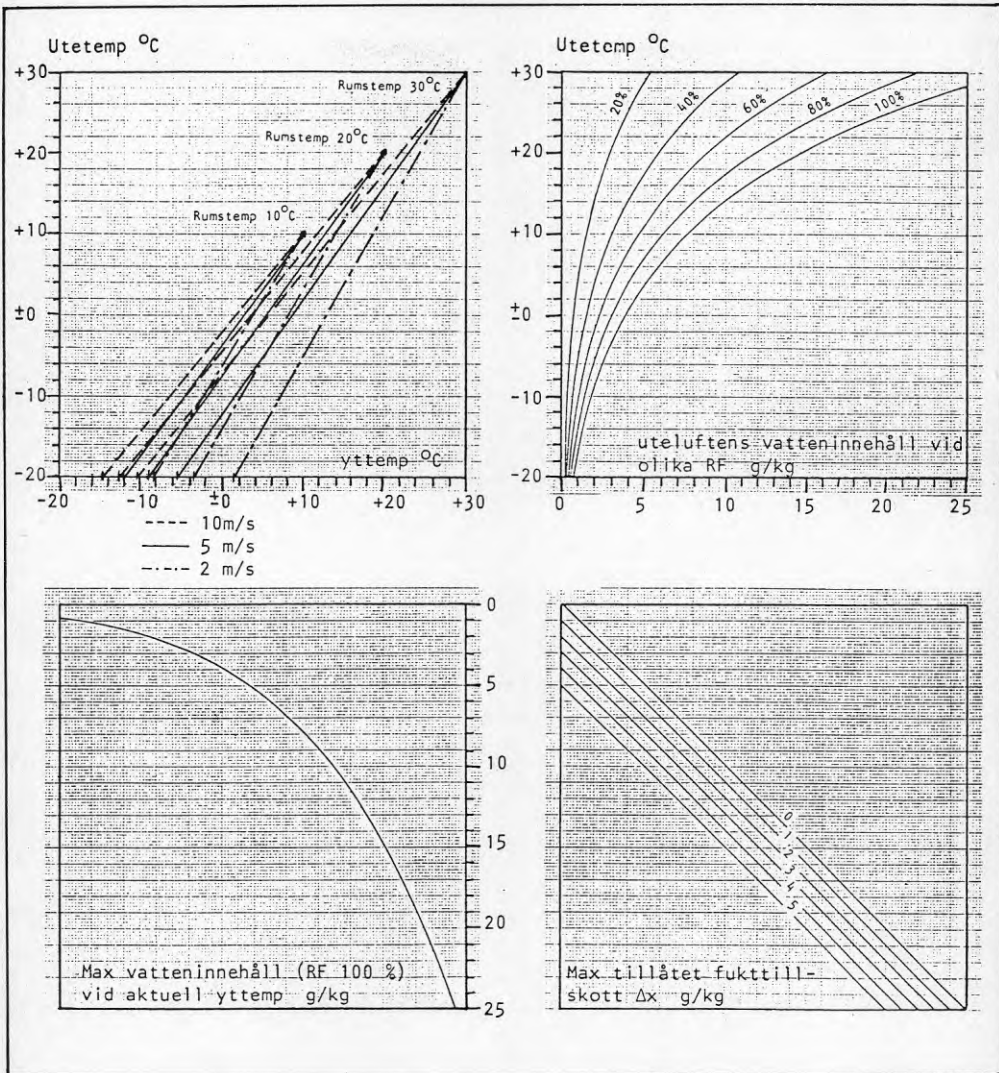


Bilaga 2.3. Kanaldimension  $\varnothing$  100 mm

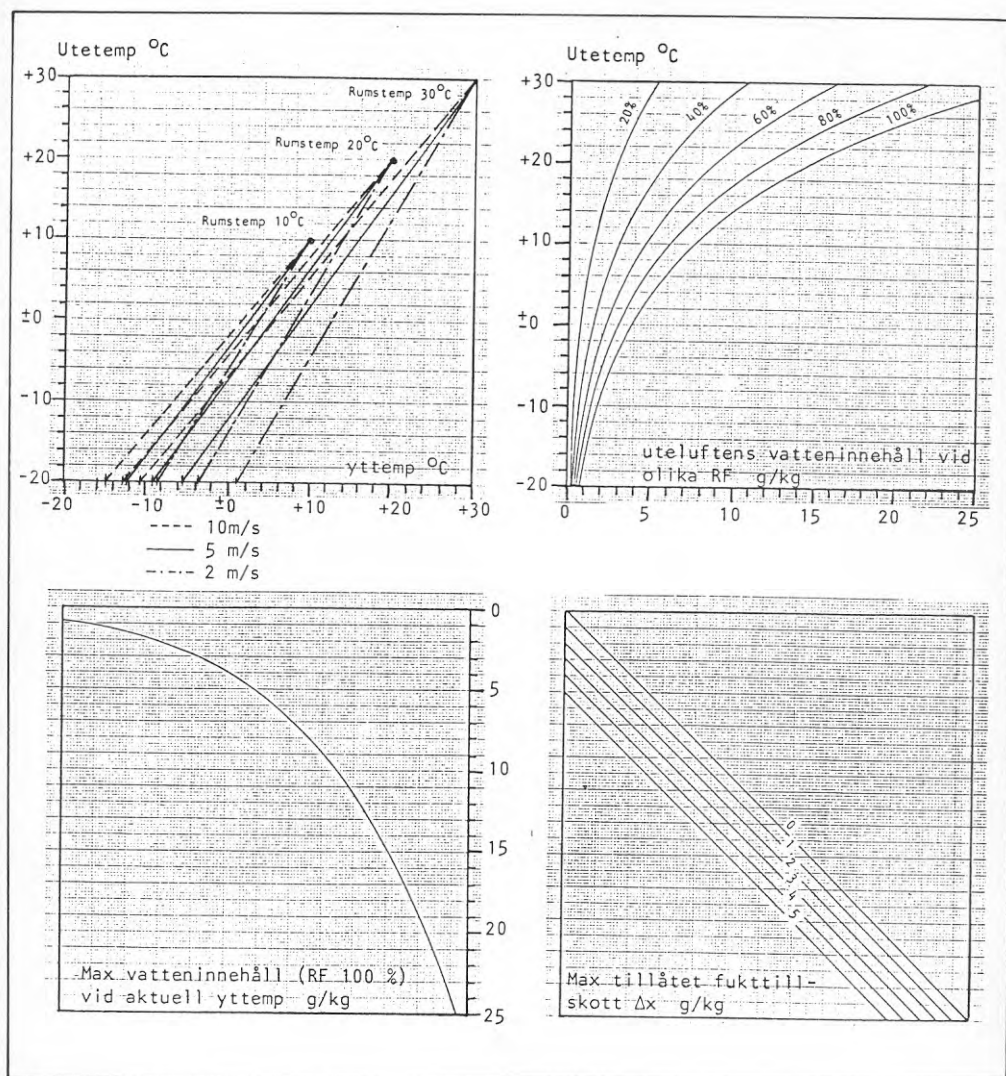




Bilaga 2.4. Kanaldimension  $\varnothing$  125 mm

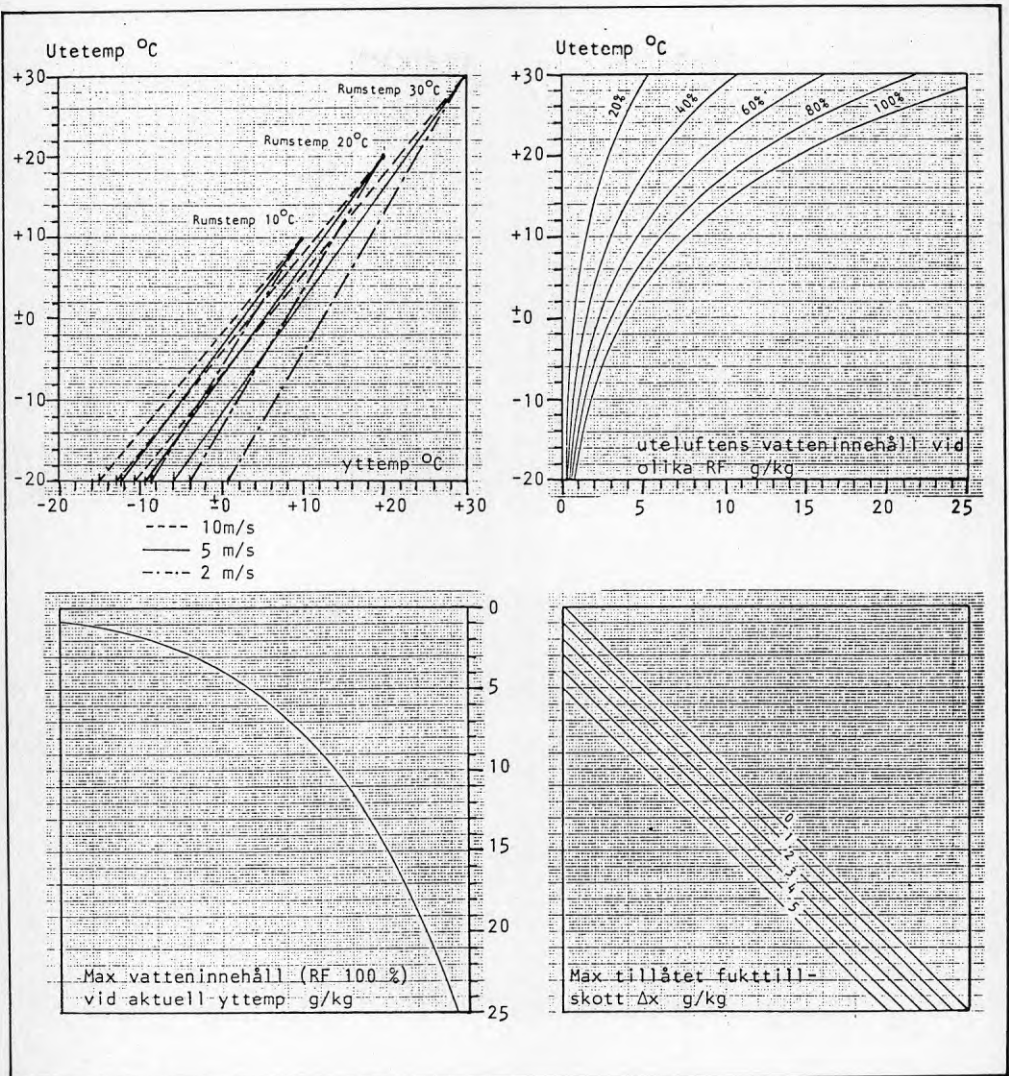


Bilaga 2.5. Kanaldimension  $\varnothing$  160 mm

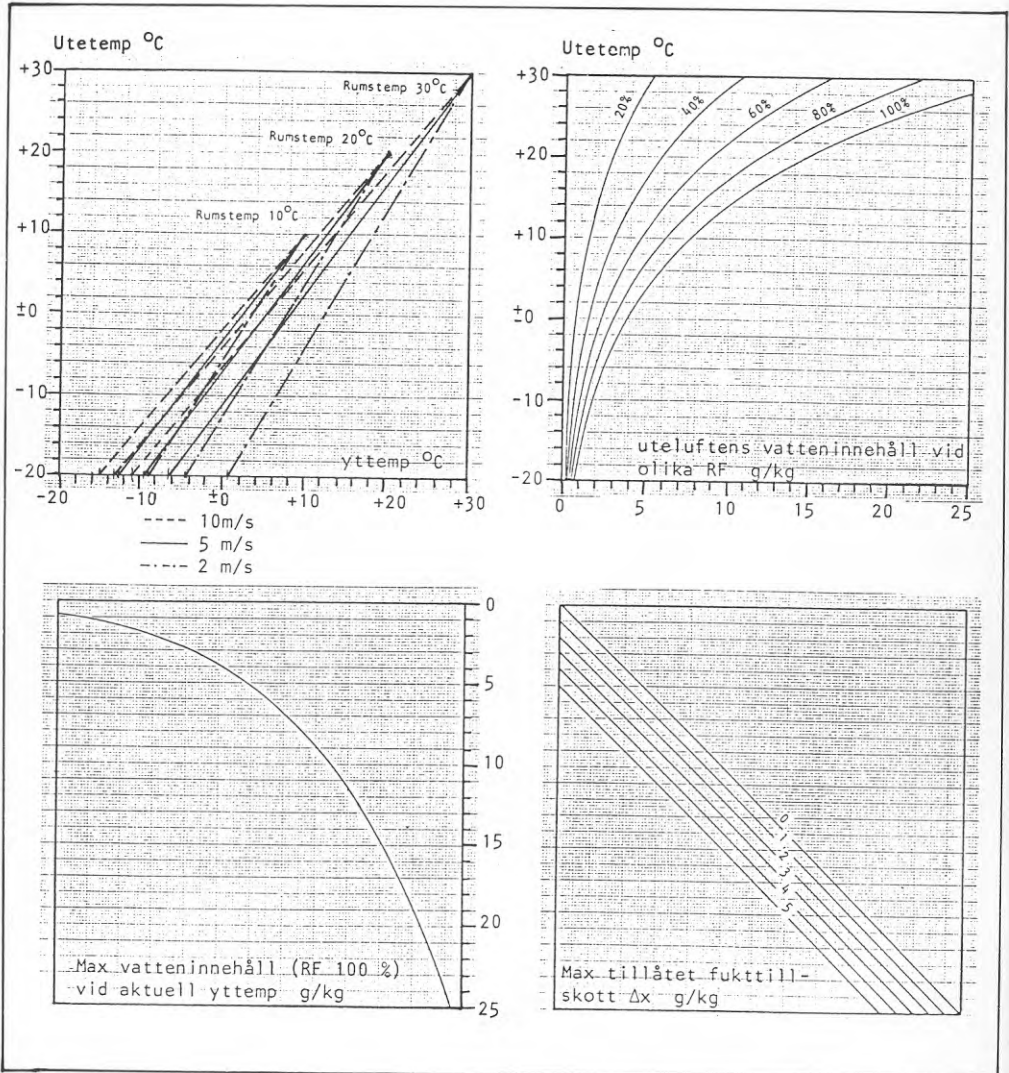


Bilaga 2.6. Kanaldimension  $\varnothing$  200 mm

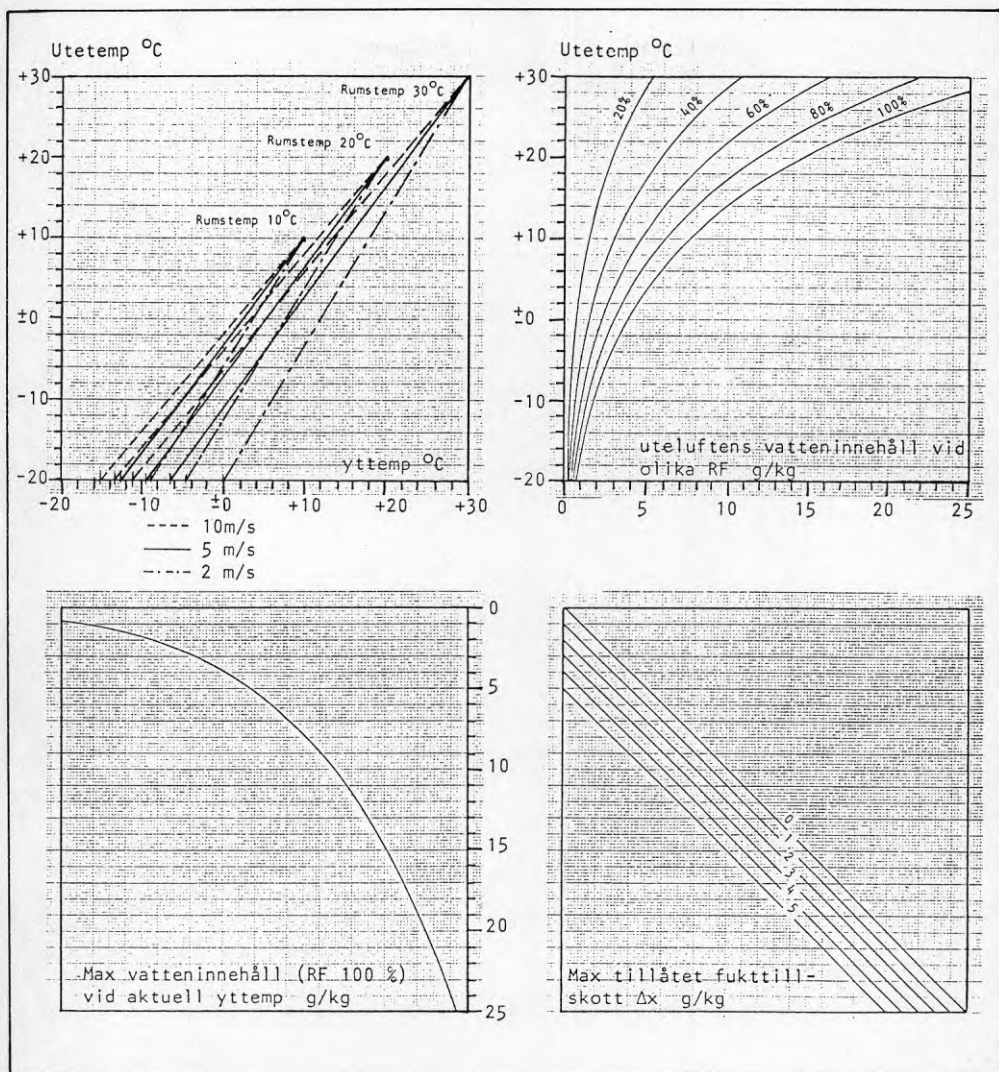




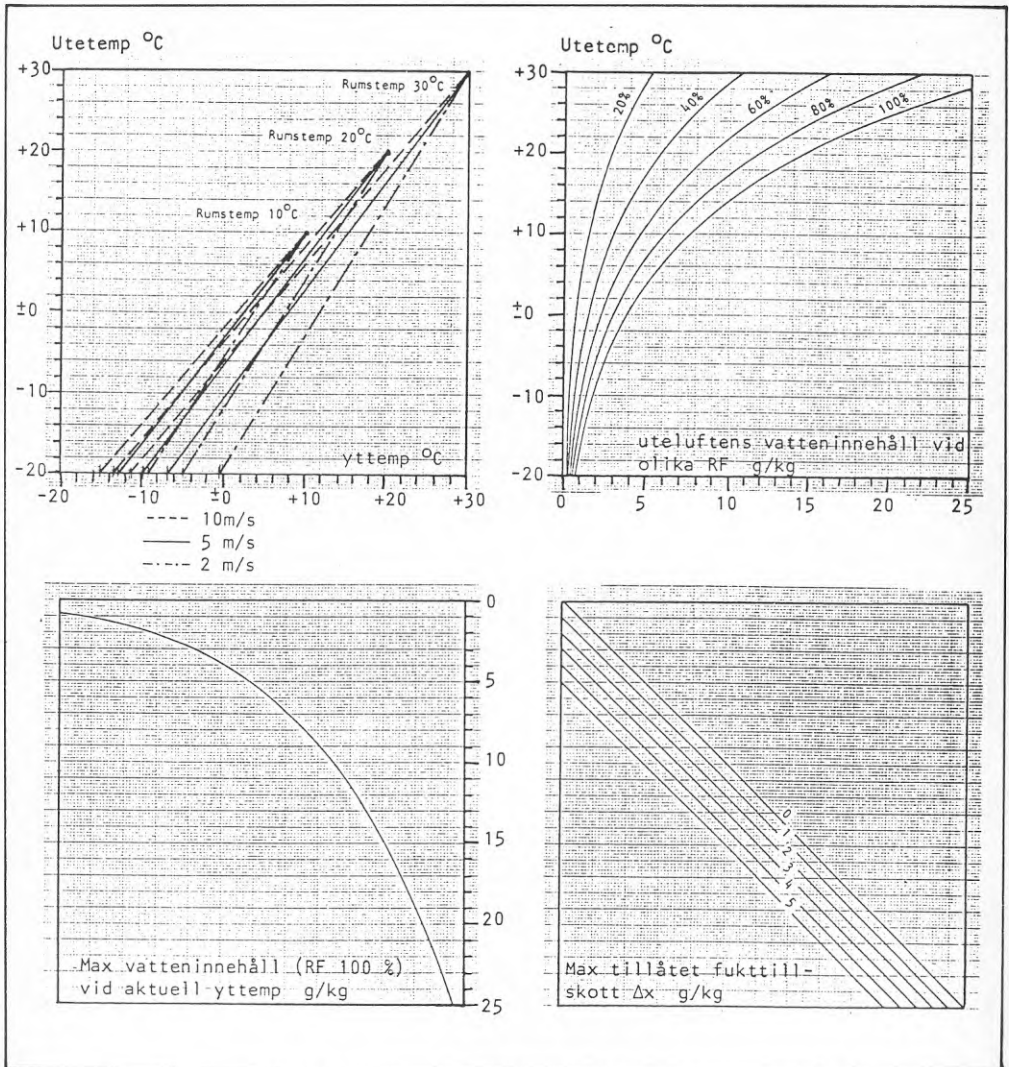
Bilaga 2.7. Kanaldimension  $\varnothing$  250 mm



Bilaga 2.8. Kanaldimension  $\varnothing$  315 mm

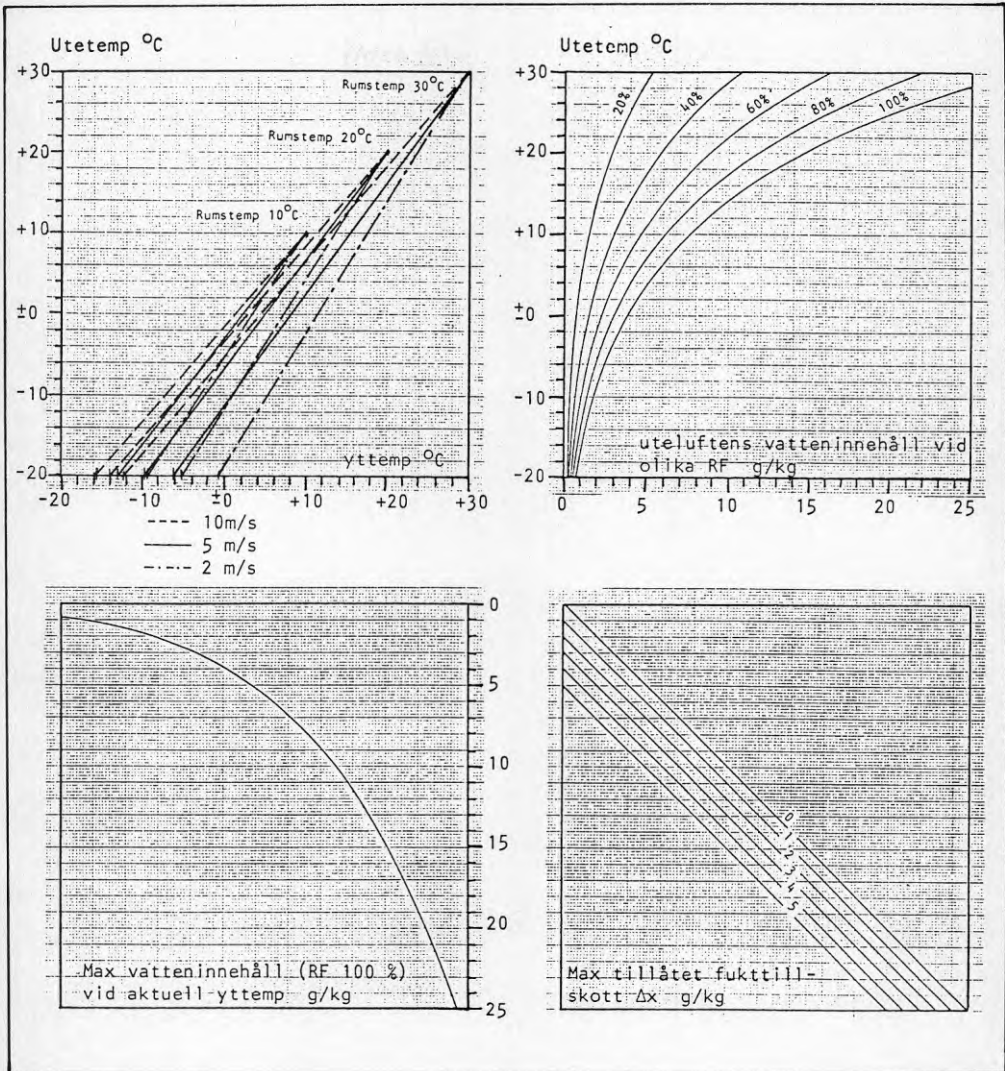


Bilaga 2.9. Kanaldimension  $\varnothing$  400 mm

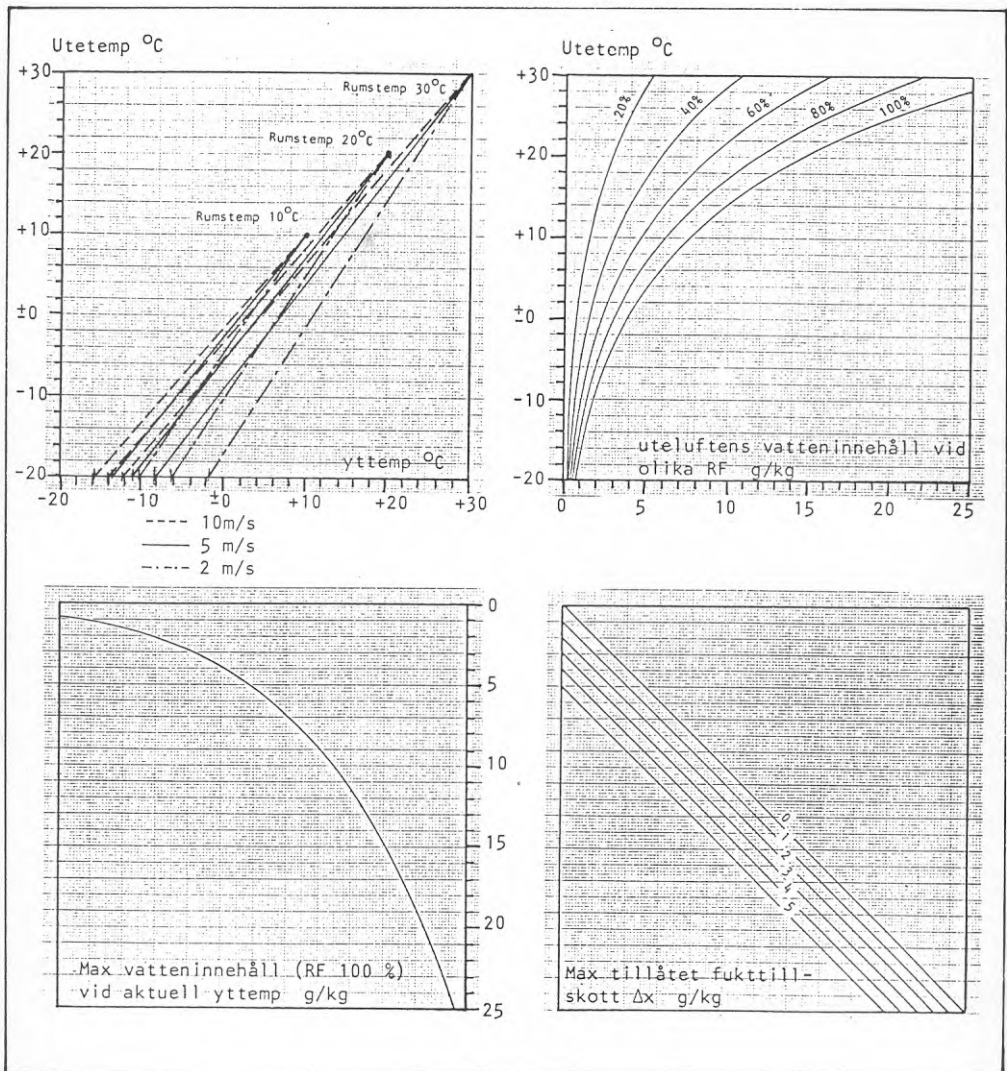


Bilaga 2.10. Kanaldimension  $\varnothing$  500 mm

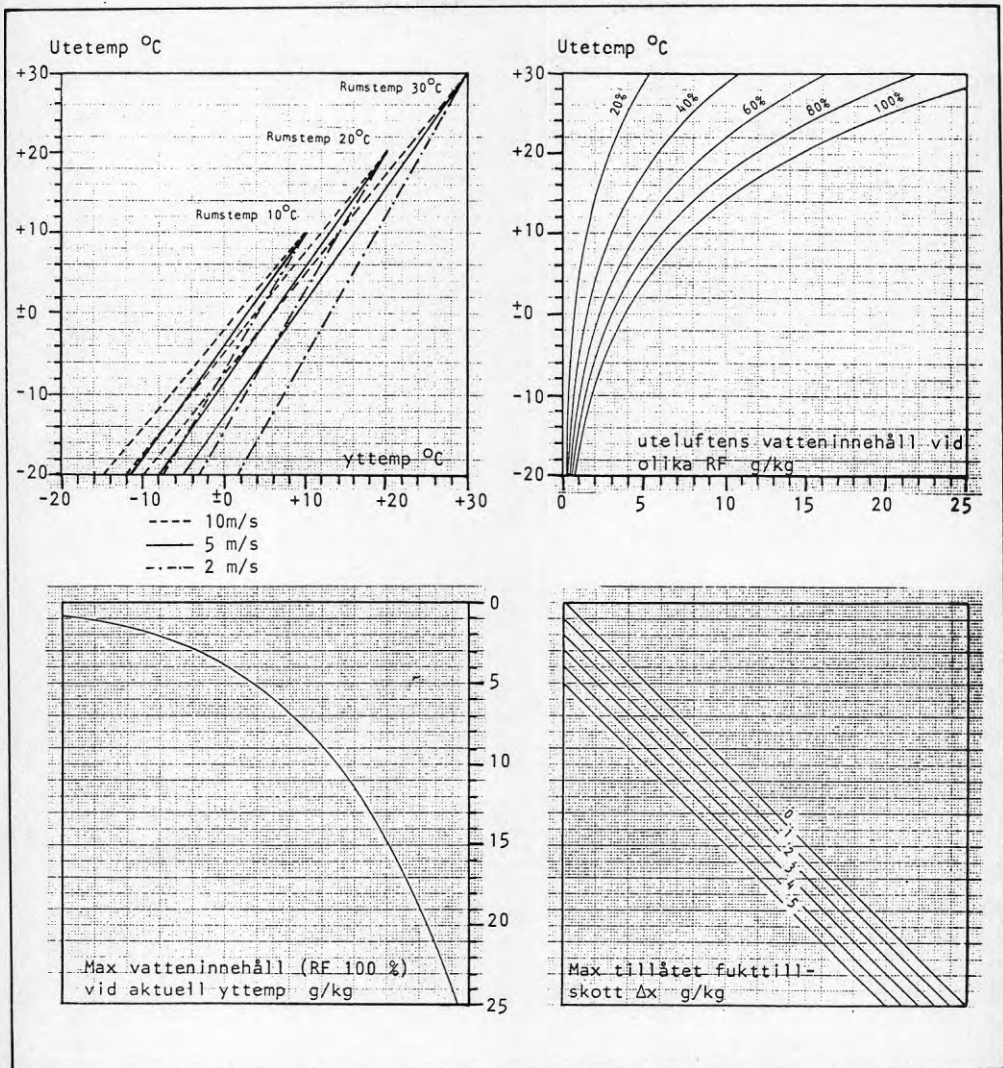




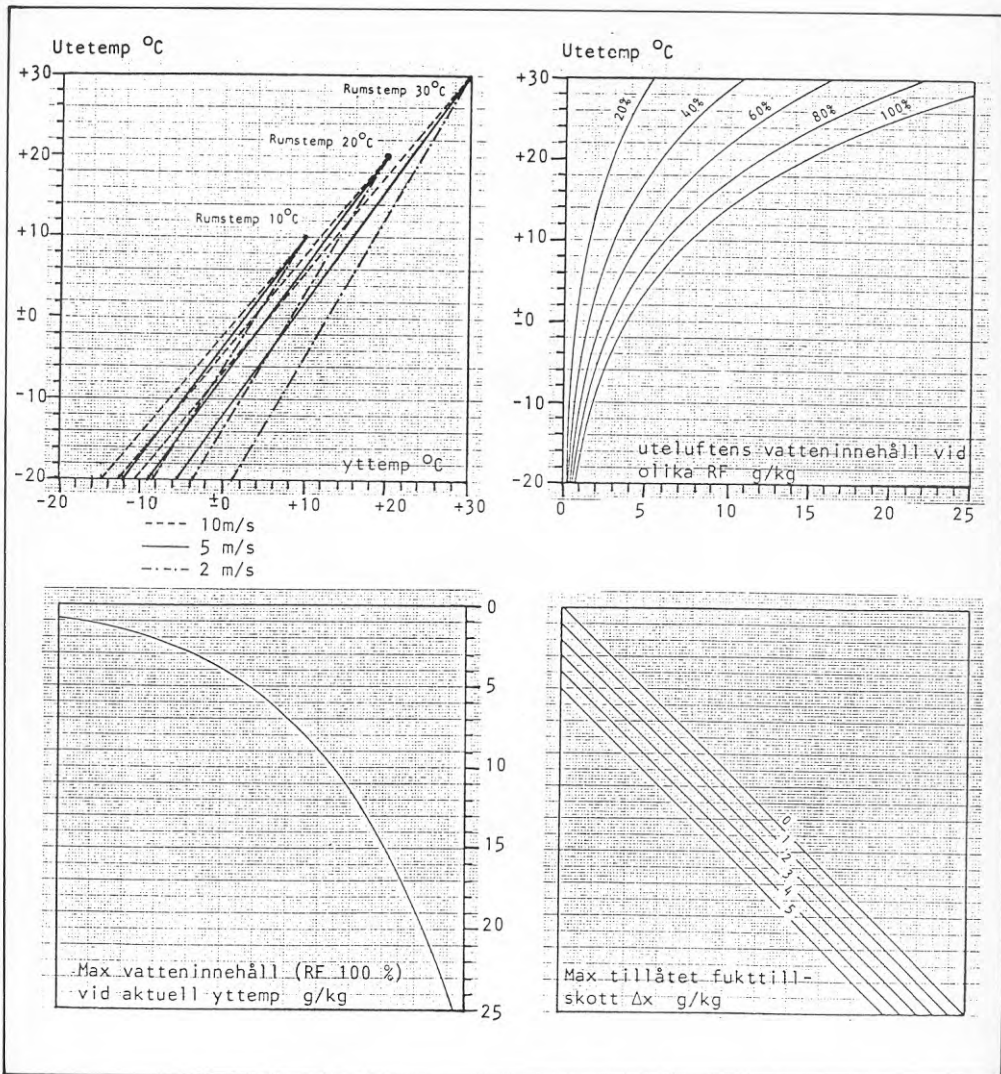
Bilaga 2.11. Kanaldimension  $\varnothing$  630 mm



Bilaga 2.12. Kanaldimension  $\varnothing$  800-1250 mm

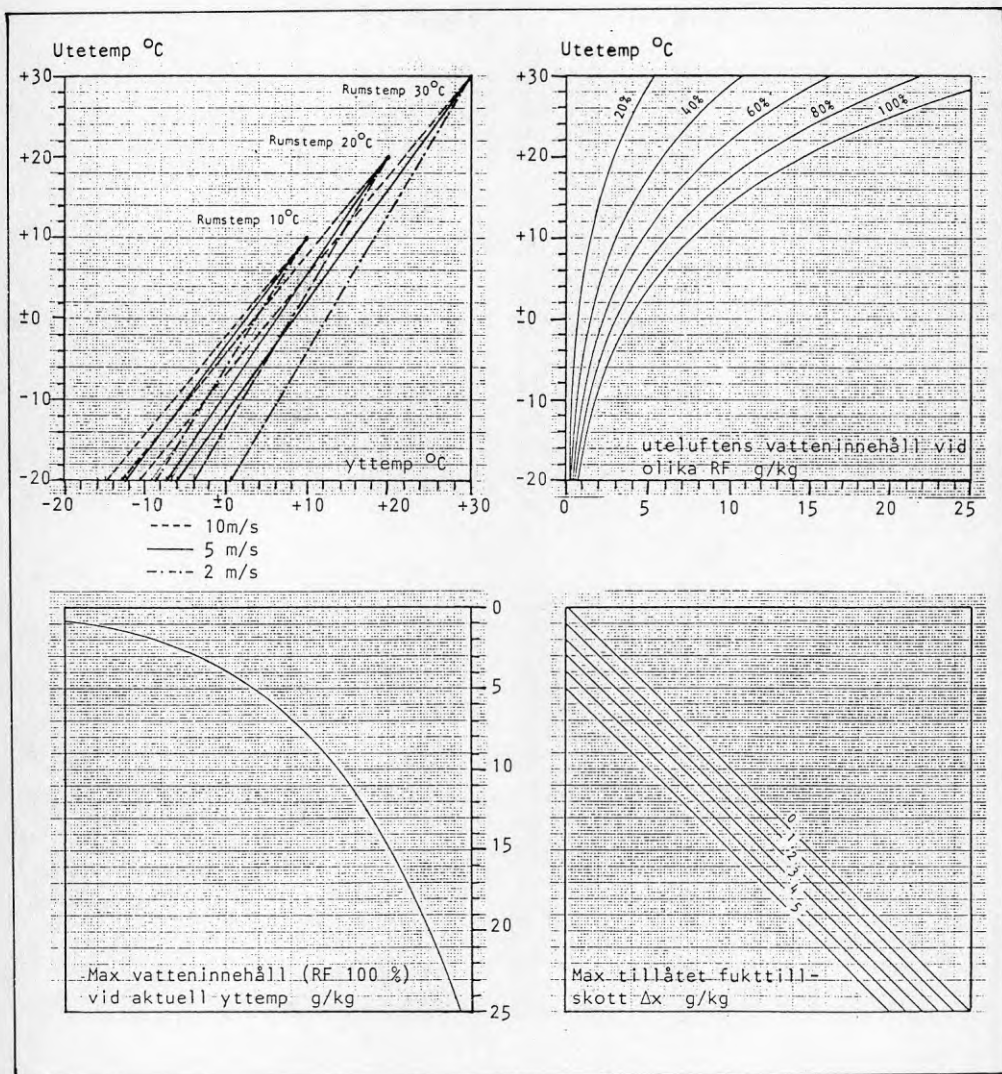


Bilaga 2.13. Rektangulär kanal med höjden 100 mm

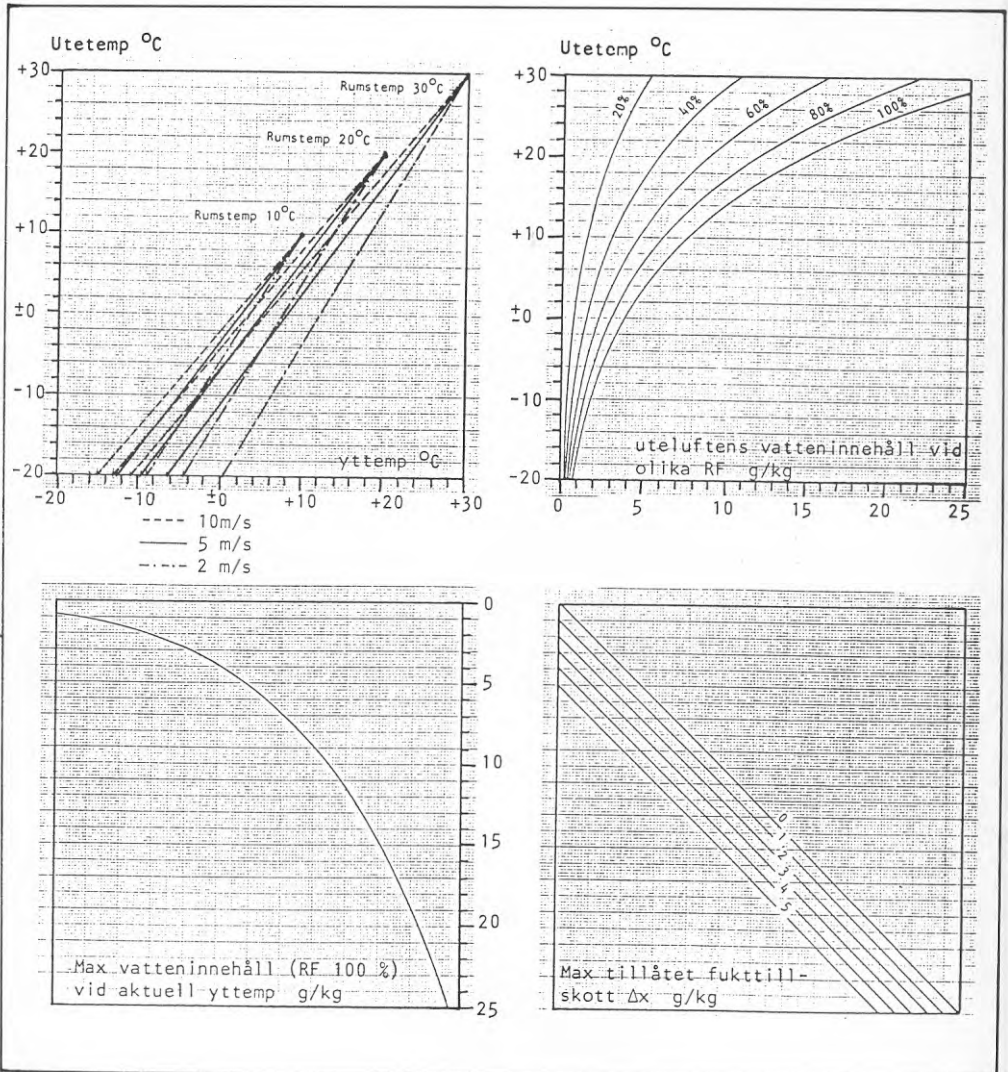


Bilaga 2.14. Rektangulär kanal med höjden 150 mm

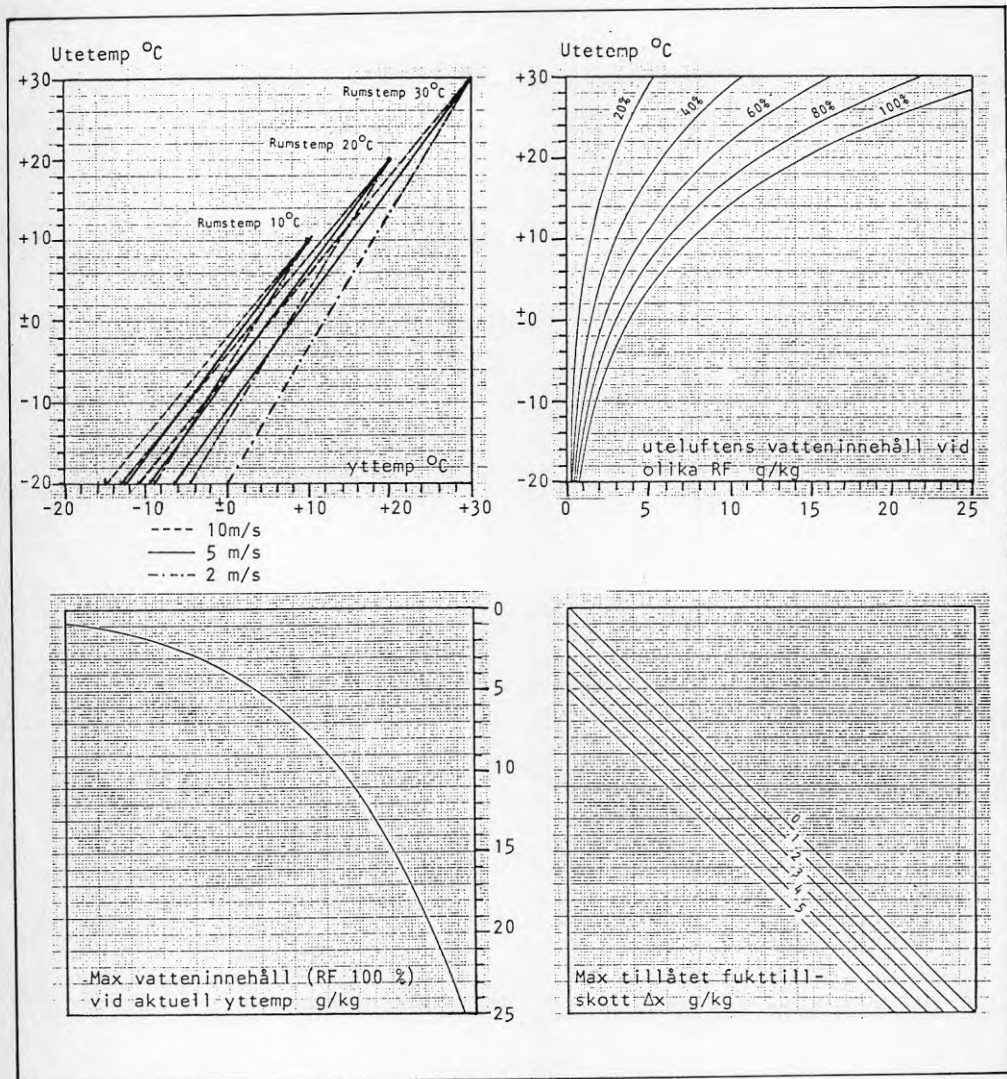




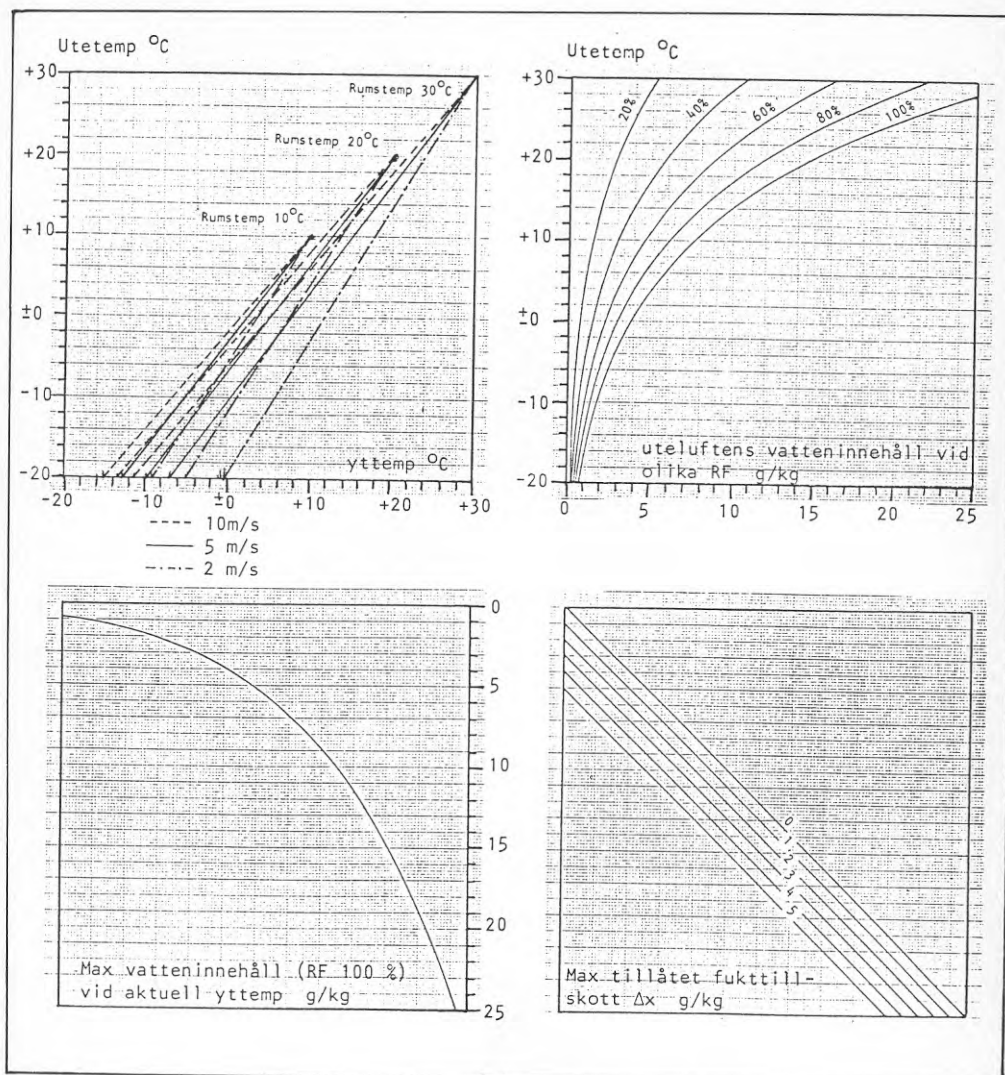
Bilaga 2.15. Rektangulär kanal med höjden 200 mm



Bilaga 2.16. Rektangulär kanal med höjden 250 mm

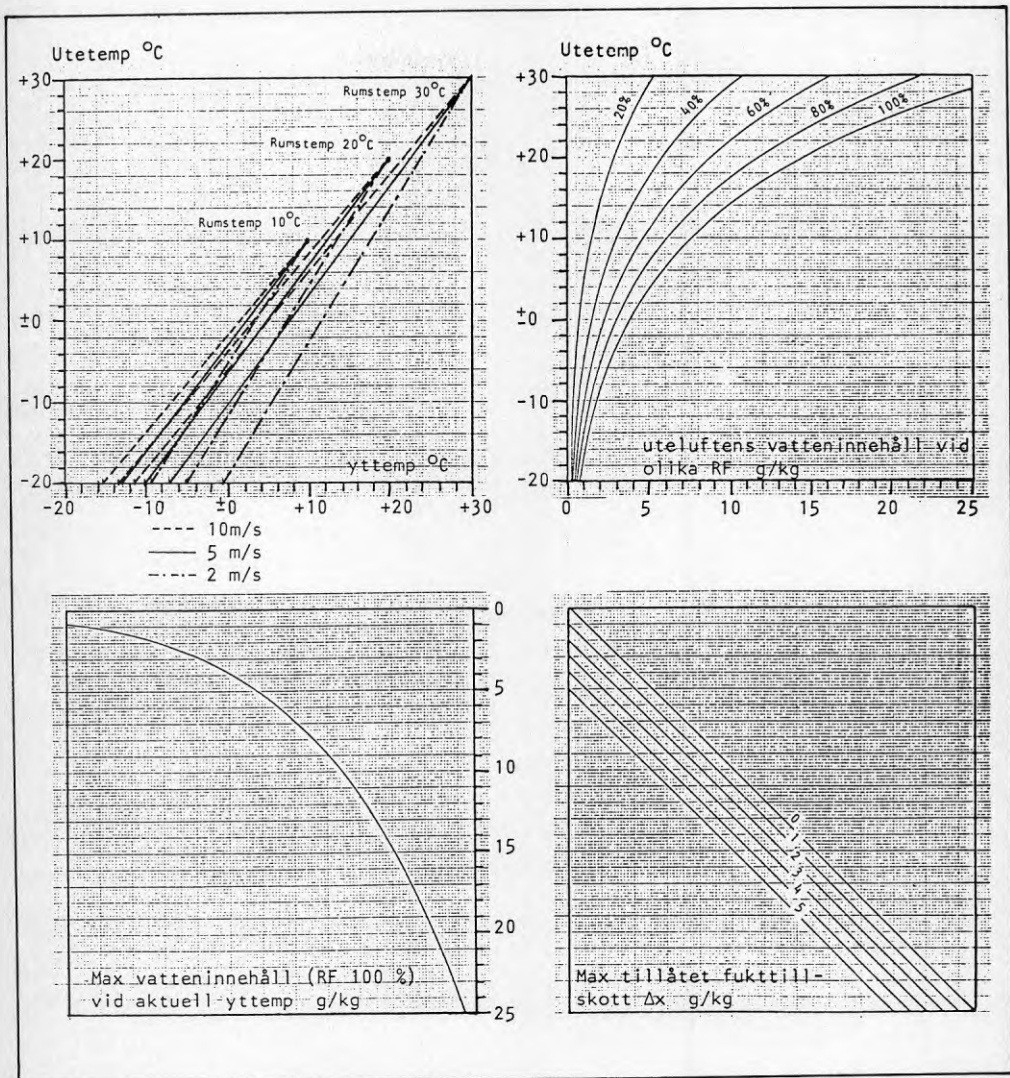


Bilaga 2.17. Rektangulär kanal med höjden 300 mm

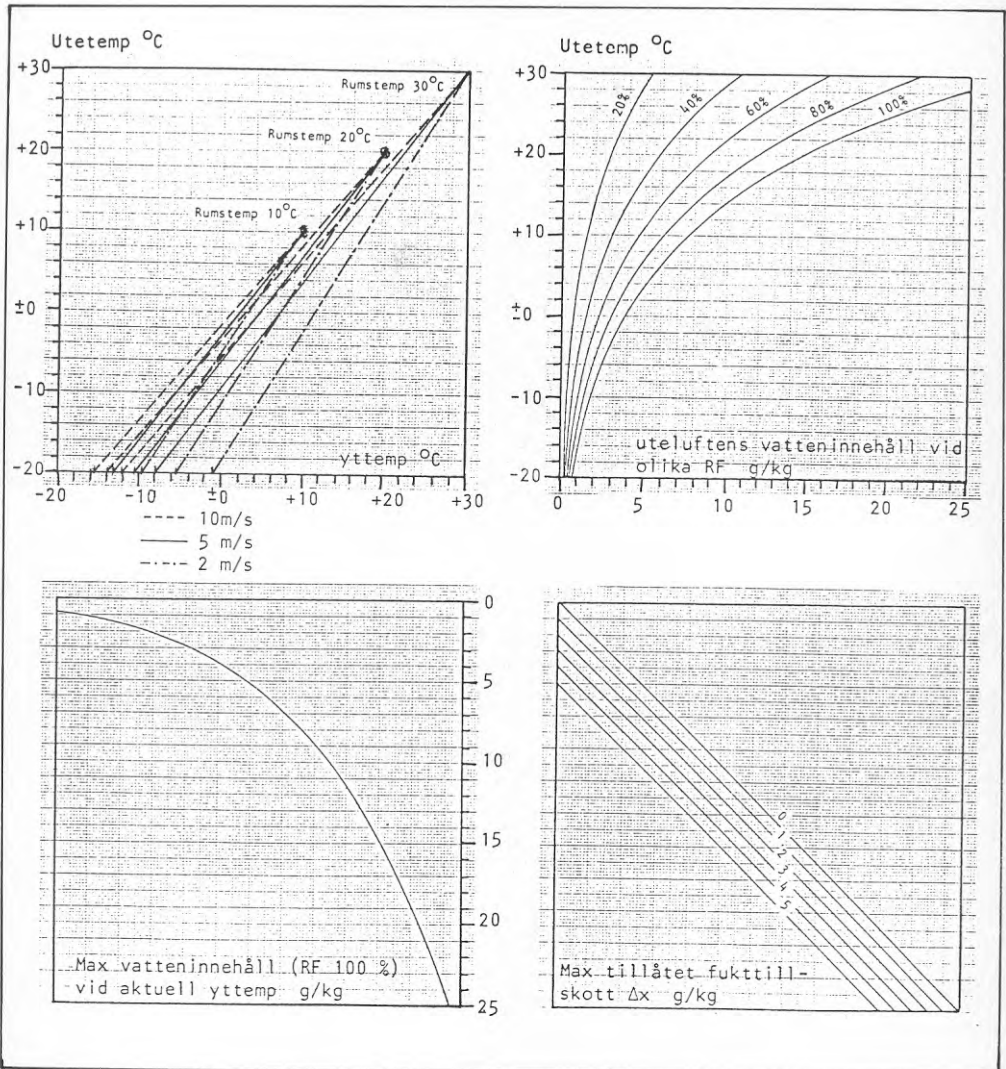


Bilaga 2.18. Rektangulär kanal med höjden 400 mm

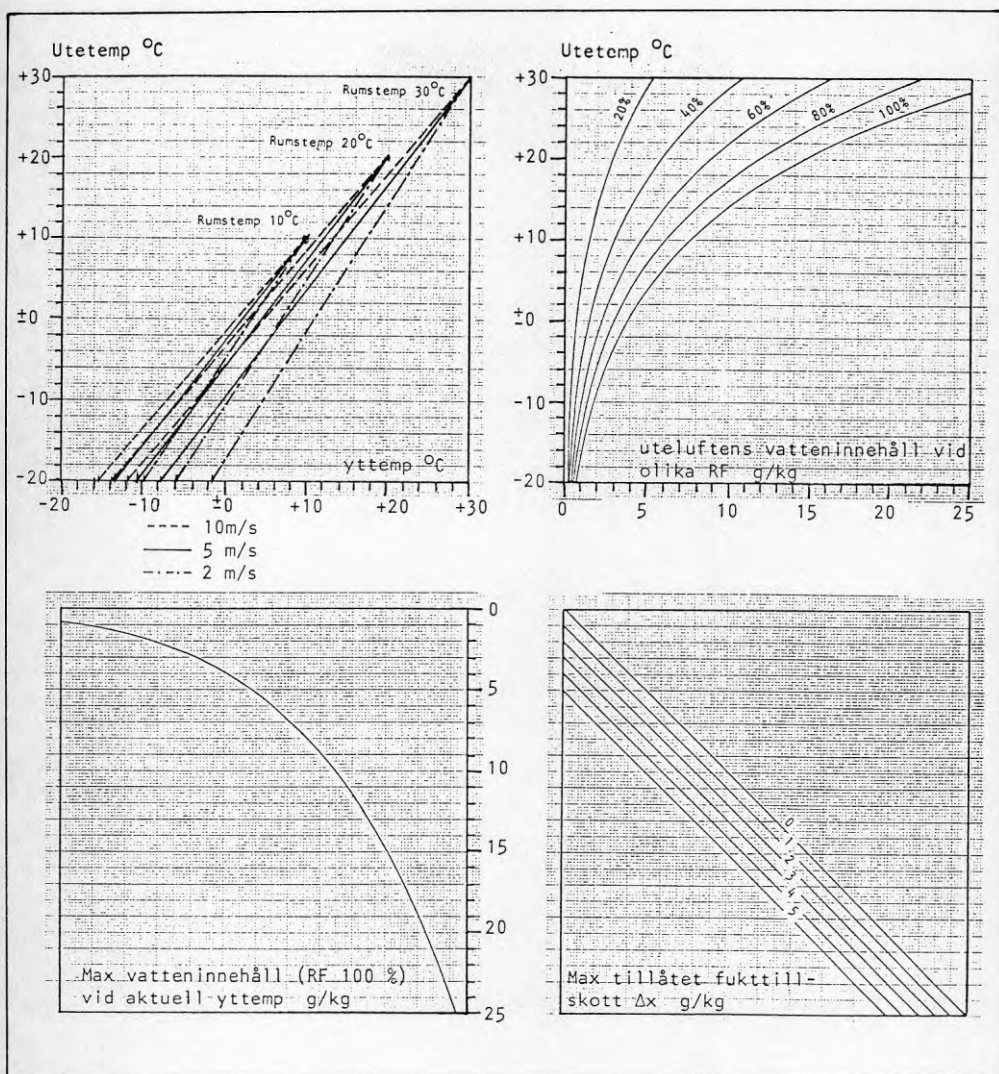




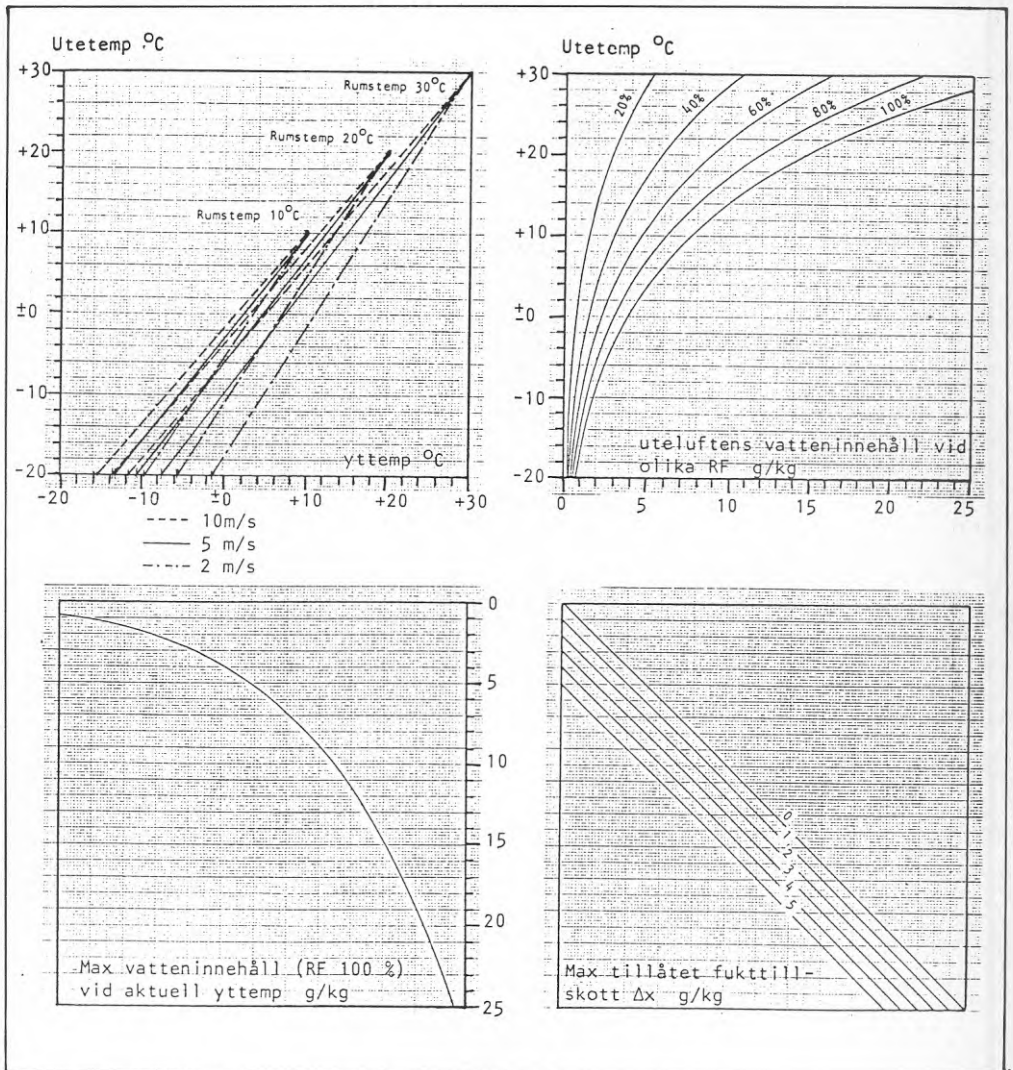
Bilaga 2.19. Rektangulär kanal med höjden 500 mm



Bilaga 2.20. Rektangulär kanal med höjden 600 mm

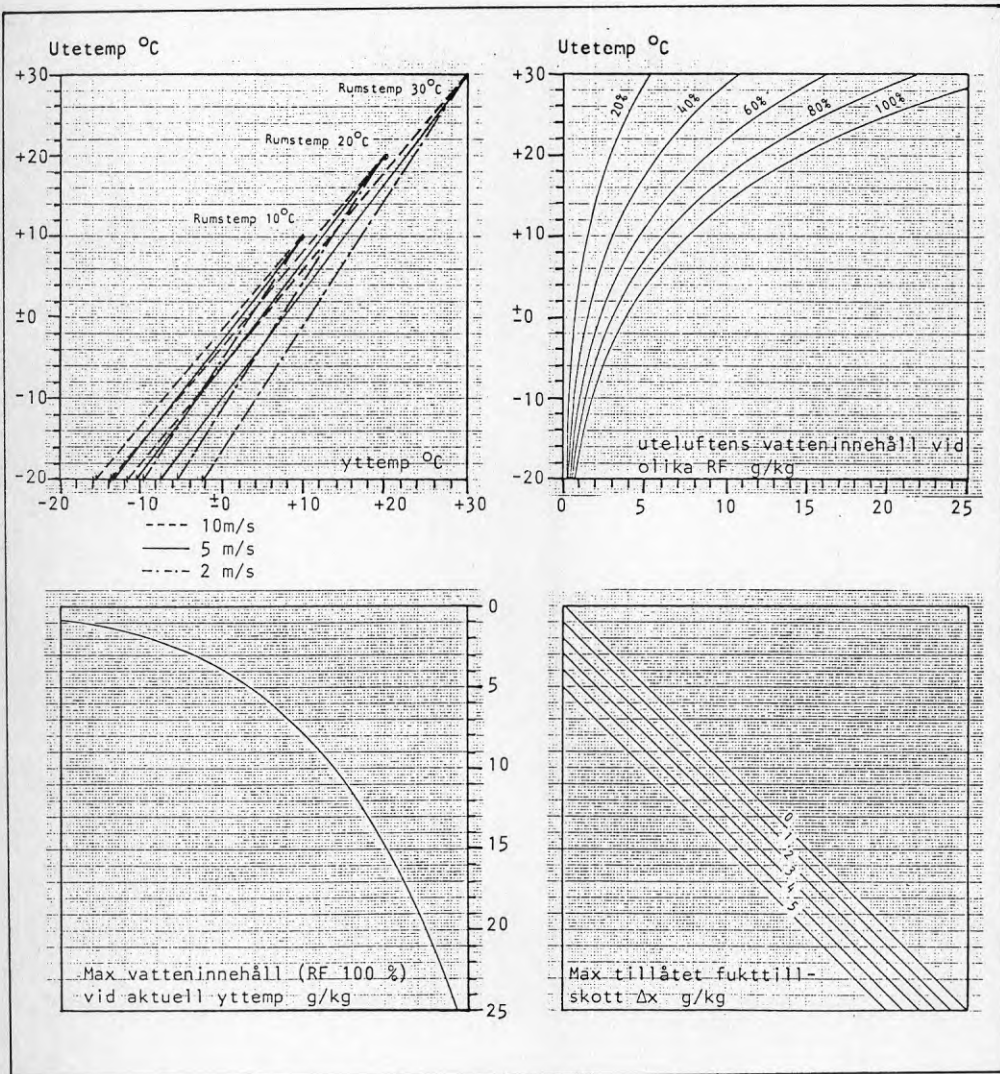


Bilaga 2.21. Rektangulär kanal med höjden 800 mm



Bilaga 2.22. Rektangulär kanal med höjden 1000 mm





Bilaga 2.23. Rektangulär kanal med höjden 1200 mm



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 861102-5  
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens provningsanstalt,  
Borås.**

**R45: 1989**

**ISBN 91-540-5027-8**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6709045**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna**

**Cirkapris: 40 kr exkl moms**