



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

R35:1979

**Kyltorn för direkt
komfortkyllning**

John Rydberg

Byggforskningen

R35:1979

KYLTORN FÖR DIREKT KOMFORTKYLNING

John Rydberg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750304-2 från
Statens råd för byggnadsforskning till Ingenjörfirman John Rydberg,
Stockholm.

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
BYGGMANUSKRIPTER, VÄRME OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

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

R35:1979

ISBN 91-540-2995-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 952093

INNEHÅLL

BETECKNINGAR	4
ALLMÄNNA KRAV PÅ KYLTORNET	5
KLIMATISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	5
KRAV PÅ KYLTEMPERATURER	6
FÖRKYLNING AV LUFT OCH VATTEN	6
PROVANORDNINGAR	8
PROVENS UTFÖRANDE	9
PROVNINGSRESULTAT	10
KYLEFFEKTEN	13
DIREKTKYLNING MED KYLTORN MÖJLIG	14
ERFORDERLIGA VÄRMEVÄXLARE	14
TABELLER	17
SAMMANFATTNING	27

BETECKNINGAR

t_t	den torra termometerens temperatur i uteluften °C
t_v	den våta termometerens temperatur i uteluften °C
t_1	lufttemperatur före luftförkylaren °C
t_2	lufttemperatur efter luftförkylaren °C
t_I	vattentemperatur efter luftförkylare och före kyltorn °C
t_{II}	vattentemperatur efter kyltorn °C
t_{III}	vattentemperatur före luftförkylare °C
V	vattenflödet genom kyltornet kg/h
L	luftflödet genom kyltornet kg/h

I det följande hänvisas ofta till kyltornsdiagram. Härmed avses ett rätvinkligt diagram som anger sambandet mellan luftens entalpi i och vattentemperaturen t på olika höjder i kyltornet. I ett dylikt diagram följer luftens tillståndsförändringar alltid en rät linje.

KYLTORN FÖR DIREKT KOMFORTKYLNING

ALLMÄNNA KRAV PÅ KYLTORNET

Om man avser att använda kyltorn för direkt kylning, dvs utan kylmaskiner, när det gäller komfortändamål, så måste vissa speciella förutsättningar vara uppfyllda. Dels får uteluften inte ha för hög fuktighet och dels måste kyltornet ha en så hög effektivitet att vattnet kan kylas under de temperaturer som lokalerna eller luften skall ha. Dessa villkor är icke aktuella när det gäller det vanligaste användningsområdet för kyltorn nämligen kylning av kondensorer för ångkraft- eller kylmaskinanläggningar. Det ställs alltså extra stora krav på kyltorn som skall användas för direktylning i samband med komfortanläggningar.

KLIMATISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

I ett konventionellt kyltorn kan man teoretiskt kyla vatten ned till den våta termometerens temperatur i luften. Fig 1, 2 och 3 visar för tre svenska städer sambandet mellan den torra och våta termometerens temperaturer i uteluften, t_t resp t_v , för de dagar under de tio åren 1950-1959, då lufttemperaturen kl 13 på dagen överstigit 20°C. Det framgår av dessa diagram att den torra och den våta termometerens temperaturer nästan aldrig överskrider 30 resp 22°C i de orter som avses. Man kan för vissa ändamål bortse från de mest extrema värdena och räkna med exempelvis maximalt 28 resp 20°C.

Fig 4 visar efter ASHRAE sambandet mellan den torra och våta termometerens temperatur för ett stort antal orter fördelade över jordens flesta länder. Värdena är extremvärden valda så att de överskrides endast under en procent av den tidsperiod (vanligen sommarmånaderna) som avses.

Normalt har man en grundläggande differens mellan den torra och den våta termometerens temperatur beroende på att man på natten har låg utetemperatur med utfällning av dagg och på dagen genom solens inverkan högre lufttemperatur.

I de flesta av de prov som redovisas i det följande har förutsatts att den torra termometerens temperatur (t_t) i uteluften är omkring 30°C och den våta termometerens temperatur (t_v) omkring 20°C eller som ett andra alternativ $t_t = 25^\circ\text{C}$ och $t_v = 17^\circ\text{C}$. Förutsätter man att $t_t = 30$ och $t_v = 20^\circ\text{C}$ så gäller detta i stort sett som maximala eller rättare dimensionerande värden för norra Europa. Ligger utemperaturerna högre uppstår i regel inga svårigheter att erhålla en god kylning. Vid lägre utetemperaturer exempelvis $t_t = 25$ och $t_v = 17^\circ\text{C}$ fungerar fortfarande kylningen på ett acceptabelt sätt.

KRAV PÅ KYLTEMPERATURER

Vid konventionella kyltorn kan man teoretiskt kyla vatten till den s k kylgränsen som sammanfaller med den våta termometerens temperatur i luften. Man får dock vid konventionella kyltorn räkna med att man hamnar ett par grader över den teoretiska kylgränsen. Vidare får man vid distribution av kylan räkna med ett temperaturfall på några grader i en ofrånkomlig värmeväxlare mellan det kylda vattnet och luften eller lokalen som skall kylas. Man kan vid konventionella kyltorn kyla vatten 7-8°C i kyltornet men man får räkna med att förlora 4-5°C i temperaturfall i värmeväxlaren. Detta framgår i det följande av tab 31. Då återstår en möjlighet att kyla luft 2-4°C. Detta är icke acceptabelt särskilt som man kan få ytterligare temperaturfall i värmeväxlare, trummor o dyl. Den ytterligare temperatursänkning på vattnet som erfordras är dock ganska liten. Några graders förbättring skulle göra direktkylning med kyltorn praktiskt användbar.

Möjligheten att utnyttja låga temperaturer på vatten och luft är begränsad. Man kan icke hålla för stora skillnader mellan lufttemperaturen ute och inne. För att kontrasten under den varma delen av året icke skall bli för stor, brukar man begränsa temperaturskillnaden till 5 à 10°C. Vid kylning av lokaler med kalluft kan man dessutom på grund av risken för drag icke ha för stor temperaturskillnad mellan luften i lokalen och den inblåsta luften. Man brukar räkna med högst 8 à 10°C. Det är alltså tillräckligt om man kan kyla ned den inblåsta luften till 8°C under rumsluftens temperatur. I och för sig räcker det med mindre, exempelvis 4°C, men man får då distribuera ett dubbelt så stort luftflöde. Det hela fungerar om man vid exempelvis en utetemperatur på 30°C har 25°C inne och blandar uteluften med samma mängd returluft. Då får man en lufttemperatur av 27,5°C. Vill man kyla denna luft till 22,0°C och blåsa in densamma i den lokal det är fråga om så erfordras att man kyler vattnet i kyltornet till c:a 17°C eller 13°C under uteluftens temperatur. Kylningen kan genomföras till samma temperatur utan returluft, men då får man öka vattenmängden från kyltornet.

En första åtgärd när det gäller att åstadkomma en låg temperatur på det från kyltornet utgående vattnet är att göra kyltornsinsatsen effektiv bland annat genom att öka dess höjd.

FÖRKYLNING AV LUFT OCH VATTEN

En intressant möjlighet föreligger att sänka det från kyltornet utgående vattnets temperatur under vad som är teoretiskt möjligt vid ett konventionellt kyltorn. Detta sker genom att kyla den till kyltornet ingående luften i en värmeväxlare med en del av det från kyltornet utgående kylda vattnet. Teoretiskt kan man på detta sätt

kyla ned vattnet i tornet till luftens daggpunkt. Praktiskt kan detta leda till att temperaturen på det från kyltornet utgående vattnet kan sänkas 2 à 3°C under den våta termometers temperatur i luften, dvs kylgränsen för ett konventionellt kyltorn. Totalt kan temperaturensänkning på vattnet bli inemot 5°C större än i ett konventionellt kyltorn.

En annan intressant möjlighet innebär sänkning av temperaturen på det till kyltornet ingående vattnet. En dylik åtgärd slår igenom som en sänkning av det från kyltornet utgående kylda vattnets temperatur. Man kan därför förbättra kyltornets temperatursänkande verkan genom att kyla det till tornet inkommande vattnet med en del av det från tornet utgående kylda vattnet.

Detta kan ske genom inblandning av i kyltornet kylt vatten i det övriga till tornet ingående vattnet. När temperaturen på det ingående vattnet sänks, minskar värmeavgivningen från vattnet. Detta kan motverkas genom att minska det i kyltornet rådande förhållandet $\frac{V}{L}$, mellan vattenflödet V och luftflödet L. Den sistnämnda åtgärden verkar ökande på värmeavgivningen från vattnet. Den rubbade värmebalansen mellan vatten och luft blir återställd, när medelentalpidifferensen i kyltornet återtagit det värde den hade utan förkylning av vattnet. Då blir temperatursänkningen av vattnet i utloppet densamma som i inloppet. Det är alltså möjligt att få en temperatursänkning i inloppet att fortplanta sig till utloppet. Det är dock icke nödvändigt att driva återställandet av balansen så långt.

Vid en förkylning av luften erfordras en värmeväxlare. Förkylningen av vattnet kan som redan nämnts göras enkla och billigare genom inblandning av i kyltornet eller på annat sätt kylt vatten i det till kyltornet ingående vattnet. Detta sker genom en enkel rörledning. Man kan dock använda en värmeväxlare även till förkylning av vattnet. Detta medför den fördelen att vattenflödet i kyltornet icke direkt påverkas av vatteninblandningen.

Om ett konventionellt kyltorn är så effektivt och arbetar under sådana förhållanden att det kyler vattnet nästan till den våta termometers temperatur vinner man ingenting genom att kyla vattnet före inträdet i kyltornet. Se fig 5. Det måste finnas utrymme för en sänkning av vattentemperaturen. Detta kan uttryckas så att det i kyltornets vattenutlopp måste föreligga en entalpikillnad mellan den fuktighetsmättade luften vid vattenytan och den ingående luften. Om vattenflödet är så stort i förhållande till luftflödet att lutningen (vinkelkoefficienten) av luftens tillståndslinje i kyltornsdigrammet (dvs det diagram som visar sambandet mellan luftens entalpi i och vattnets temperatur t i kyltornet) blir större än mätningskurvans lutning så som visas i fig 6, då fungerar i regel metoden att kyla det ingående

vattnet med i tornet kylt vatten. Kyler man luften före inträdet i kyltornet sänker man emellertid den våta termometerns temperatur och då bereder man utrymme för en verkningsfull förkylning även av vattnet. Bästa resultatet får man därför ofta genom att förkyla både luft och vatten före inträdet i kyltornet med en del av det i tornet kylda vattnet.

Den effektivare luftförkylningen och den billigare vattenförkylningen genom direkt inblandning av kylt vatten kompletterar varandra på ett ändamålsenligt sätt.

PROVANORDNINGAR

För proven användes ett kommersiellt kyltorn av typ Fläkt RKCA 06. Provanordningens princip framgår av fig 7. Proven utfördes dels med det ursprungliga oförändrade kyltornet dels med samma kyltorn med kyltornsinsatsens höjd ökad från den ursprungliga 900 mm till det dubbla alltså 1800 mm. Kyltornsinsatsens ursprungliga höjd 900 mm användes under tiden 2/6-6/10 1977 och den fördubblade höjden 1800 mm under tiden 16/3 1976-2/6 1977. Kyltornet hade två luftintag 1 i fig 7. På vardera av dessa monterades två alternativt tre efter varandra i luftens strömningsriktning liggande kamflänsbatterier 2 som kylde luften före inträdet i kyltornet. I det första alternativet hade man alltså totalt 2x2 batterier och i det andra 2x3. Alternativet med 2x2 batterier användes under tiden 16/3-10/12 1976 och alternativet med 2x3 batterier under tiden 14/1-6/10 1977. Varje kamflänsbatteri hade tre rader kamflänsrör som luften fick passera. Kamflänsbatterierna var av typ Fläkt VBDB-08-04-03. De kylde i motström den till kyltornet ingående luften med i kyltornet kylt vatten som tillfördes genom rörledningarna 3. Från kamflänsbatterierna fördes vattnet genom ledningarna 4 tillbaka till kyltornets topp. Genom en särskild ledning 5 kunde i kyltornet kylt vatten ledas direkt till kyltornets vattenintag i kyltornstoppen och blandas med där ingående övrigt vatten. Från vattenbassängen 6 kunde alltså det från kyltornet kommande kylda vattnet dirigeras till luftkylarna 2 direkt till kyltornstoppens vatteninlopp eller till en elektrisk vattenvärmare 7 som representerade den värme som skulle kylas bort eller om man så vill den nyttiga kylan. Denna vattenvärmare bestod av tre elpatroner om vardera 15 kW alltså tillsammans 45 kW. Effekten kunde regleras stegvis med steg på 7,5 kW. Under varje prov hölls eleffekten konstant. Effekten (nyttig kyla) uppmättes på vattensidan.

Fläkten 8 var den till det ursprungliga kyltornet hörande originalfläkten. Den kunde drivas med två olika varvtal, hel- och halvfart. Med hänsyn till att höjden på kyltornet hade ökats till det dubbla och att tryckfallet i tornet dessutom hade ökats genom luftkylare i inloppet hade ännu en fläkt 9 inmonterats i luftutloppet. Man hade därmed möjlighet att använda fem olika fläktryck.

I alla vattenledningar som utgick från vattenbassängen 6 fanns både momentant visande vattenflödesmätare, önskvärda för inställning av vattenflöden, samt vattenmängdsmätare som tillsammans med tiden gav genomsnittsvärden på vattenflödet. I vattenledningar och bassäng fanns termometrar och i luftinlopp till och luftavlopp från kyltornet fanns psykrometrar för bestämning av luftens temperatur och fuktighet. Vattnet cirkulerades genom tornet med pumpen 10. Inställningen av vattenflödena sköttes med strypventilerna 11.

Provanordningen var inhyt i laboratoriet vid Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik vid Tekniska Högskolan i Stockholm. Den var uppbyggd i tre rum ovanför varandra i källarvåningen, bottenvåningen och våningen 1 trappa. I källarvåningen togs uteluften in och värmdes med reglerbara elvärmebatterier samt befuktades med en reglerbar ångpanna som blåste ut vattenånga i rumsluften. Några friblåsande propellerfläktar användes för att blanda luften. Den till önskat tillstånd värmda och befuktade luften passerade därefter till rummet i bottenvåningen genom en större öppning i bjälklaget mellan rummen. I bottenvåningen över nämnda öppning var kyltornet placerat så att luften på ett likvärdigt sätt kunde sugas till de två luftintagen på kyltornet. Luftavloppet från kyltornet stack upp genom en öppning i bjälklaget till rummet i våningen 1 trappa. Luftavloppet var tätat mot bjälklaget så att luft icke kunde läcka ned från rummet 1 trappa till bottenvåningen. Rummen i bottenvåningen och våningen 1 trappa var i övrigt avskilda från omgivningen genom stängda dörrar. Luften från tornet blåstes ut i rummet 1 trappa och passerade vidare ut genom ett öppet fönster. Luftflödet mättes i avloppet med pitotrör eller vinghjulsanemometrar.

PROVENS UTFÖRANDE

Som redan nämnts ligger det för kyltornet mest aktuella temperaturområdet mellan $t_t = 25$ med $t_v = 17^\circ\text{C}$ och $t_t = -30$ med $t_v = 20^\circ\text{C}$. Ovanför den övre temperaturgränsen erbjuder kylningen vanligen inga svårigheter, då differensen mellan t_t och t_v där ökar. Temperaturerna vid den undre temperaturgränsen kan i och för sig accepteras sommartid utan kylning. Från denna gräns och nedåt räcker kyltornet vid lämplig dimensionering till för att bortföra värme från sol, belysning m m. De här redovisade proven har av dessa skäl till största delen utförts vid eller nära intill nämnda två temperaturgränser.

Det är här fråga om ett stort antal mer eller mindre oberoende variabler och det är svårt att ställa in storheter som luft- och vattenflöden, temperaturer m m på exakt önskade värden. Det erbjuder därför vissa svårigheter att redovisa resultaten på ett enkelt och översiktligt sätt. Här har valts att göra prov där endast en eller ett fåtal storheter varierar. Det som här har

det största intresset är att få reda på till vilken temperatur vattnet kan kylas i kyltornet vid olika prov. Men skillnaden blir ofta liten mellan de olika proven. För att minska inflytandet av mätfel och fel som uppkommer genom svårigheter att ställa in önskade värden m m har flera prov utförts med samma inställningar, dock så att en omedelbar upprepning av prov undvikits. I vissa fall har vartannat prov varit av en typ och vartannat av en annan. Inställning av temperaturer, vattenflöden o dyl har alltid gjorts om för varje prov. Resultatet har blivit ett antal tabeller med medeltal från ett antal likvärdiga prov som medger jämförelser av olika slag. Normalt har ett prov kunnat utföras per dag, i ett fåtal fall två prov. Totalt har omkring 150 prov genomförts.

Hur man skall definiera kyltornets effektivitet kan diskuteras. Kyltornets effekt i energienheter per tidsenhet är naturligtvis av intresse men ej enbart tillräckligt upplysande. Vad man syftar till är att hålla "rumstemperaturen" i en lokal på ett visst ur komfortsynpunkt lämpligt värde. Approximativt och något förenklat kan man säga att man vill hålla lufttemperaturen i lokalen på ett visst värde. Detta kan åstadkommas med vatten kylt till en temperatur något under rumstemperaturen. Detta vatten kan användas för att kyla ventilationsluften från utetemperaturen till rumstemperaturen och även för att bortföra utifrån inläckt och i lokalen utvecklat värme. Det i kyltornet kylda vattnets temperatur är alltså en betydelsefull storhet. Det blir då ganska rimligt att åtminstone delvis som ett mått på kyltornets effektivitet eller kylförmåga använda skillnaden mellan uteluftens temperatur och vattentemperaturen efter kyltornet dvs $t_t - t_{II}$. Denna storhet användes i fortsättningen som ett mått på hur långt man kan sänka lokal- eller lufttemperaturen.

PROVNINGSRESULTAT

Resultat av prov med det i den allmänna marknaden inköpta kyltornet i sitt ursprungliga skick med kyltornsinsatsens höjd lika med 900 mm och alltså utan förkylning

Proven har utförts med ett för kyltornet ifråga stort och ett litet luftflöde motsvarande hel- och halvfart på fläkten. Tabell 1 visar att vid för kyltornet relativt stora luft- och vattenflöden och med ungefärliga värden på t_t och t_v av resp 30 och 20°C blir temperaturskillnaden mellan i kyltornet ingående luft och utgående vatten ($t_t - t_{II}$) i medeltal 8,3°C. Vid lågt luftflöde erhålles motsvarande värde enligt tab 2 till 5,8°C. Värdena för prov av den 2/6 och 9/6 har då förbigåtts, då temperaturerna på till kyltornet ingående vatten varit onormalt höga. Tab 3 och 4 visar motsvarande värden för t_t och t_v resp 25 och 17°C. Då sjunker värdet på $t_t - t_{II}$ till 6,7°C resp 3,9°C. Detta är en del av underlaget till

att här tidigare framhållits att ett konventionellt kyltorn ej ger tillfredsställande möjligheter till direktkyllning med kyltorn för komfortändamål.

Prov med kyltorn där enda ändringen i jämförelse med det ursprungliga kyltornet var att höjden på kyltornsinsatsen ökats från 900 till 1800 mm.

Med $t_t = 30$ och $t_v = 20^\circ\text{C}$ blev enligt tab 5 i medeltal $t_t - t_{II} = 4,1$ alltså ett lågt värde. Detta berodde på att luftflödet genom tornet var onormalt litet och mycket mindre än vattenflödet. När luftflödet ökades till ett mera normalt värde men vattenflödet var onormalt litet erhöles enligt tab 6 ett bättre värde på $t_t - t_{II}$ nämligen 10,0. När både luft- och vattenflödena som i tab 7 och 8 var mera normala men vattenflödet fortfarande mindre än luftflödet blev $t_t - t_{II} = 10,4$. Det är gynnsamt med ett lågt värde på förhållandet mellan vatten- och luftflödet när det gäller att få ett högt värde på $t_t - t_{II}$.

En jämförelse med tab 1 visar att en ökning av kyltornsinsatsens höjd och därmed dess yta till det dubbla medförde en ökning av $t_t - t_{II}$ från 8 till 10°C .

Med $t_t = 25$ och $t_v = 17^\circ\text{C}$ blev enligt tab 9 och 10 vid någorlunda normala luft- och vattenflöden $t_t - t_{II} = 8,1^\circ\text{C}$ och enligt tab 11 och 12 resp 7,4 och 8,3. Värdet på $t_t - t_{II}$ minskas alltså med sjunkande värden på t_t och t_v .

Prov med kyltorn där luften före inträdet i tornet kylades med i tornet kylt vatten genom 2 i vardera luftintaget insatta kamflänsbatterier (2x2 batterier)

Med $t_t = 30$ och $t_v = 20^\circ\text{C}$ erhöles enligt tab 22 $t_t - t_{II} = 11,3$.
 Med $t_t = 30$ och $t_v = 18^\circ\text{C}$ erhöles enligt tab 23 $t_t - t_{II} = 15,2$. Orsak, lågt värde på t_v samt litet vattenflöde.
 Med $t_t = 28$ och $t_v = 14^\circ\text{C}$ erhöles enligt tab 21 $t_t - t_{II} = 15,0$. Orsak, stor differens mellan t_t och t_v .
 Med $t_t = 25$ och $t_v = 17$ erhöles enligt tab 14 $t_t - t_{II} = 8,4$.

Prov med kyltorn där luften före inträdet i tornet kylades med i tornet kylt vatten genom 3 i vardera luftintaget insatta kamflänsbatterier (2x3 batterier)

Med $t_t = 30$ och $t_v = 20^\circ\text{C}$ erhöles enligt tab 13 vid normala värden på övriga storheter $t_t - t_{II} = 13,2$.
 Med $t_t = 25$ och $t_v = 20^\circ\text{C}$ erhöles enligt tab 15 $t_t - t_{II} = 8,9$.
 Se kommentar i samband med tab 31.

Prov med kyltorn där temperaturen på det till tornet ingående vattnet sänkts genom inblandning av i kyltornet kylt vatten

Det har tidigare framhållits att förkylning av det till kyltornet ingående vattnet blir verksam endast om det finns utrymme för en sänkning av det från kyltornet utgående vattnet. I proven enligt tab 17, 18 och 19 har det visat sig att dylikt utrymme saknas. Kyltornsdiagrammen blir då av den typ som visas i fig 5.

Vid kyltorn utrustade med anordningar för förkylning av vattnet före inträdet i tornet jämfördes ett och samma torn med och utan förkylning. Fig 8 visar förloppen i ett kyltornsdiagram för två prov av den 18/4 77 (tab 5) och den 19/4 77 (tab 24). Båda proven ger låga värden på storheten $t_t - t_{II}$ beroende på att luftflödet av försökstekniska orsaker varit lågt. De med förkylningen av vattnet avsedda förloppen framgår dock tydligt. Provet den 18/4 avsåg ett konventionellt kyltorn utan någon förkylning. Den nyttiga kyleffekten var här omkring 32 kW. Vattnet kylde i kyltornet från 33,7 till 26,2 °C. Provet den 19/4 77 hade samma förutsättningar med undantag av att hälften av det i kyltornet kylda vattnet användes till förkylning av det i kyltornet ingående vattnet från 33,7 till 27,5°C genom inblandning. Denna kylningsprocess ligger utanför kyltornet och framgår icke av fig 8 som endast avser förloppen i kyltornet. Vattnet kylde därefter i kyltornet från 27,5 till 23,4°C. Vattnet kylde alltså i förra fallet från 33,7 till 26,2°C och i andra fallet från 33,7 till 23,4°C. Förkylningen av vattnet sänkte alltså det från kyltornet utgående vattnets temperatur med 2,8°C. Även vid förkylning av vattnet med i kyltornet kylt vatten får man alltså en sänkning av det från kyltornet utgående vattnets temperatur. Sänkningen beror dels på att sänkningen i inloppet delvis fortplantas till utloppet men dels även på mättningskurvans krökning. Av fig 8, 9 och 10 framgår att när vattentemperaturen i kyltornets inlopp förskjuts mot lägre värden längs mättningskurvan så parallellförskjuts linjerna för luftens tillståndsförändring mot lägre vattentemperaturer. Därmed förskjuts även vattentemperaturen i kyltornets utlopp mot lägre värden. Denna temperatursänkning erhålles emellertid på bekostnad av kyltornets kyleffekt som i detta speciella fall minskas till hälften (se tab 5 och 24).

Fig 9 visar motsvarande kyltornsdiagram för två prov från den 13/9 77 (tab 28) och den 15/9 77 (tab 29). Dessa prov avser ett lägre temperaturområde. Provet från den 15/9 77 med förkylning av vattnet gav en temperatur på det avgående kylda vattnet som var 2,4°C lägre än vid det konventionella kyltornet från provet den 13/9 77.

Fig 10 visar ett kyltornsdiagram för två prov från den 22/9 77 (tab 28) och 21/9 77 (tab 29). Dessa två prov skiljer sig från de närmast föregående genom att de hade ett större luftflöde eller om man så vill ett lägre värde på förhållandet $\frac{V}{L}$ mellan vatten - och luftflödena i kyl-

tornen. Provet från den 21/9 77 med förkylning av vatt-
net gav här en temperatur på det avgående vattnet som
var 1,1°C lägre än vid provet den 22/9 77.

I fig 8, 9 och 10 utgår linjerna för luftens tillstånds-
förändring från skärningspunkterna mellan linjerna för
de utgående vattentemperaturerna och linjerna för den
ingående luftens entalpi. Dessa skärningspunkter har be-
stämts genom proven. Lutningen eller vinkelkoefficien-
ten avseende linjerna för luftens tillstånds-förändring
blir lika med förhållandet $\frac{V}{L}$ som framgår av förutsätt-
ningarna för proven.

Prov avseende kyltorn med förkylning av den ingående
luften i en värmeväxlare och samtidig förkylning av
ingående vatten genom inblandning av i tornet kylt
vatten

Som förut framhållits bereder en förkylning av till kyl-
tornet ingående luft utrymme för att även en förkylning
av ingående vatten skall kunna medföra önskat resultat.
Detta om nämnda utrymme eventuellt skulle saknas.

Prov enligt tab 25 ger jämfört med prov enligt tab 24
besked om att dylik dubbel förkylning förbättrar kyl-
ningen.

Prov enligt tab 19 visar att förkylning av både luft
och vatten ger bland de högsta temperatursänkningar som
konstaterats vid dessa prov. Enskilda prov i tab 19 ger
värden på $t_t - t_{II}$ över 13°C.

KYLEFFEKTEN

Man skulle kunna tro att man genom att utnyttja en del
av det i kyltornet kylta vattnet för kylning av den till
kyltornet ingående luften skulle minska den nyttiga kyl-
effekten (uttryckt i energienheter per tidsenhet). I
princip är detta emellertid icke fallet. När kylning av
den till kyltornet ingående luften förekommer uppdelas
vattnet efter kyltornet på ett flöde som direkt utnytt-
jas för nyttig kylning, och ett flöde som kyler den in-
gående luften. Luftens kyla återföres sedan i kyltornet
till vattnet. Bortsett från förluster i form av nödvän-
diga temperaturfall o dyl utnyttjas därför den kyleffekt
som åstadkommes i kyltornet helt för nyttiga ändamål.

Detta bekräftas vid en jämförelse av tab 7 och 13 där
det är fråga om totalt samma vattenflöde genom kyltornet.
Vid prov enligt tab 7 går hela vattenflödet direkt till
nyttig kyla. I tab 13 går ena hälften av vattenflödet
direkt till nyttig kyla och den andra hälften till för-
kylning av luften. Vid proven enligt tab 13 blir tempe-
ratur-sänkningen på vattnet i kyltornet nästan dubbelt
så stor som enligt tab 7. Kyleffekten i energienheter

per tidsenhet blir därför i båda fallen i stort sett densamma. Detta medför att man i tab 13 får en temperaturskillnad mellan ingående luft och utgående vatten ($t_t - t_{II}$) av 13,2°C men i tab 7 endast 10,4. Man får ungefär samma förhållande vid en jämförelse mellan tab 10 och 16 m fl.

Vid förkylning av vattnet blir förhållandena annorlunda. Fig 8, 9, 10 med tillhörande tabeller visar att man får en sänkt vattentemperatur i kyltornets utlopp vid förkylning av vattnet. Samtidigt får man emellertid en minskning av kyleffekten i jämförelse med vad man får vid förkylning av luften. Detta hindrar dock icke att metoden även innebär fördelar. Den är billig och kan i kombination med luftförkylning ge en totalt sett förmånlig process.

DIREKTKYLNING MED KYLTORN MÖJLIG

Det har av det föregående framgått att det vid en ingående lufttemperatur av 30°C är möjligt att använda kyltorn för direkt kylning utan användande av kylmaskiner, när det gäller komfortändamål och om kylningen av vattnet i kyltornet kan drivas till cirka 15°C under den ingående luftstemperatur. Proven har visat att man vid flera av de provade kyltornsvarianterna uppnår denna nedkylning av vattnet. Det är också klarlagt att man genom intrimning och genom vissa förbättringar torde kunna driva nedkylningen till c:a 15°C under den ingående luftens temperatur. Det har även framgått att man vid en ingående lufttemperatur över och under nämnda 30°C får förändringar i förutsättningarna som gör att kylningsförloppet fungerar tillfredsställande även där.

ERFORDERLIGA VÄRMEVÄXLARE

I de värmeväxlare som erfordras när man skall använda det kylda vattnet för att kyla ventilationsluft eller luft i lokaler blir värmeöverföringen icke så god som i kyltornet utan man får räkna med en större temperaturskillnad mellan luft och vatten än man har i kyltornet.

Vid de prov som här redovisas har vid förkylningen av luften använts kamflänsbatterier som beskrives på annat ställe i denna redogörelse. Två alternativ har undersökts med två resp tre kamflänsbatterier efter varandra som luften fick strömma igenom i motström mot vattnet. Resultatet framgår av tab 31. Som underlag för denna tabell har valts prov med ett luftflöde genom kylaren av c:a 5500 kg/h och ett vattenflöde av c:a 3500 kg/h. Siffrorna i tabellen är medeltal av mätningar i ett förhållandevis stort antal prov. Spridningen av primärvärdena har varit liten.

Den ökade kylning av luften som man får genom att öka antalet kamflänsbatterier i vardera luftinloppet från

från 2 till 3 framgår av tab 31. Med $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ökar luftens nedkylning från 6,0 till 7,7 $^\circ\text{C}$ eller 1,7 $^\circ\text{C}$. Med $t_1 = 25^\circ\text{C}$ ökar luftens nedkylning från 3,8 till 5,7 $^\circ\text{C}$ eller 1,9 $^\circ\text{C}$. Då det i dessa sammanhang gäller att ta tillvara förbättringar även i form av små temperaturskillnader är detta icke betydelselöst. Ännu ett kamflänsbatteri, alltså ett 4:de i vardera luftintaget, kan vara berättigat. Ett sådant skulle ge en ytterligare kylning av luften på 1,5 resp 1,8 $^\circ\text{C}$ med nyss använda definitioner.

Den förlust i form av temperaturfall i de värmeväxlare som användes vid distributionen av den kyla som utvinnes i det centrala kyltornet framgår av tab 31. Ifrågavarande temperaturfall är då värmeväxlarna arbetar med motström lika med temperaturskillnaden mellan utgående luft och ingående vatten eller med beteckningar enligt tabellen $t_2 - t_1$. Som synes får man räkna med ett temperaturfall av 4 till 5 $^\circ\text{C}$ inom avsett temperaturområde och med vid provningarna använda värmeväxlare.

Vid kylning av uteluft för ventilationsändamål blir de erforderliga värmeväxlarna och deras funktion helt överensstämmande med vad som gäller för luftförkylarna vid kyltornet. Vid kylning direkt av rumsluft som har lägre temperatur än uteluften blir kraven på värmeväxlaren mindre.

REFERENS

ASHRAE, Am. SOC. Heat. Refrig. and Air Cond.
Eng. Handbook of Fundamentals 1967

Tabell nr	Datum	Luftflöde genom kyltorn	Vattenflöde kg/h			Ingående luftens temperatur °C			Vattentemperatur °C			Temp.-skillnad mellan ing. luft och utg. vatten °C	Nyttig kyl-effekt
			till luftkylare	till nyttig kyla	direkt till kyltornets topp	torr	våt	termometer	tur	före	efter		
		kg/h	t _t	t _v	t _t	t _I	t _{II}	t _t -t _{II}	kw				
1	7/6 77	5600	-	3600	-	3600	30,3	20,3	29,9	21,6	8,7	34,4	
	13/6	4700	-	3600	-	3600	30,0	20,0	35,2	21,5	8,5	15,9	
	13/6	4700	-	3600	-	3600	30,0	20,5	21,9	21,9	8,1	15,9	
	14/6	4700	-	3600	-	3600	30,2	20,5	25,7	21,9	8,3	16,8	
	16/6	5050	-	3600	-	3600	30,6	20,2	30,3	22,6	8,0	32,6	
Medeltal	4950	-	3600	-	3600	30,2	20,3	27,4	21,9	8,3	-	-	
2	2/6 77	2080	-	3600	-	3600	31,2	21,2	35,6	28,0	(3,2)	32,6	
	9/6	2160	-	3600	-	3600	30,0	20,0	35,2	27,5	(2,5)	34,4	
	20/6	2060	-	3600	-	3600	30,3	19,9	28,6	24,5	5,8	17,1	
	Medeltal	2100	-	3600	-	3600	30,2	20,4	33,1	26,7	5,8	-	
3	8/6 77	5600	-	3600	-	3600	25,0	17,0	26,5	18,3	6,7	33,8	
	15/6	4700	-	3600	-	3600	25,8	18,1	23,6	19,5	6,3	16,8	
	17/6	4700	-	3600	-	3600	26,2	17,2	25,6	19,2	7,0	25,2	
	Medeltal	5000	-	3600	-	3600	25,7	17,4	25,2	19,0	6,7	-	
4	21/6 77	2140	-	3600	-	3600	26,6	17,5	26,8	22,5	4,1	18,0	
	22/6	2110	-	3600	-	3600	25,6	17,6	25,7	22,0	3,6	16,0	
	Medeltal	2120	-	3600	-	3600	25,6	17,5	26,8	22,2	3,9	17,0	

Tabell nr	Datum	Luftflöde genom kyltorn	Vattenflöde kg/h			Ingående luftens temperatur °C			Vattentemperatur °C			Temp.-skillnad mellan ing. luft och utg. vatten °C	Nyttig kyl-effekt
			till luftkylare	till nyttig kyla	direkt till kyltornets topp	till genom kyltornet	torr termometer	våt termometer	torr före kyltorn	efter kyltorn	t _I		
		kg/h				t _t	t _v	t _I	t _{II}				kg/h
5	13/4	2000	-	3600	-	3600	30,0	20,0	33,1	25,4	4,6	31,4	
	18/4	2020	-	3600	-	3600	30,0	20,1	33,7	26,2	3,8	31,9	
	21/4	2040	-	3600	-	3600	30,0	20,0	34,0	26,1	3,9	32,6	
	Medel-tal	2030	-	3600	-	3600	30,0	20,0	33,8	25,9	4,1	32,0	
6	2/12	5500	-	2100	-	2100	30,0	20,0	25,1	20,2	9,8	12,0	
	6/12	5500	-	1800	-	1800	30,0	20,0	26,0	20,0	10,0	12,6	
	7/12	5500	-	2100	-	2100	30,4	20,1	25,6	20,3	10,1	12,9	
	Medel-tal	5500	-	2000	-	2000	30,1	20,0	25,6	20,2	10,0	12,5	
7	3/3	5100	-	3600	-	3600	30,0	20,2	24,2	20,0	10,0	18,0	
	8/3	5300	-	2400	-	2400	30,2	20,1	26,1	19,5	10,7	17,1	
	Medel-tal	5200	-	3000	-	3000	30,1	20,1	25,1	19,5	10,4	17,6	
8	3/3	5100	-	3600	-	3600	30,0	20,2	24,2	20,0	10,0	18,0	
	8/3	5300	-	2400	-	2400	30,2	20,1	26,1	19,5	10,7	17,1	
	Medel-tal	5200	-	3000	-	3000	30,1	20,1	25,1	19,7	10,4	17,6	

Tabell nr	Datum	Luft-flöde genom kyltorn	Vattenflöde kg/h			Ingående luftens temperatur °C			Vattentemperatur °C			Temp.-skillnad mellan ing.-luft och utg. vatten °C	Nyttig kyl-effekt											
			till luft-kylare	till nyttig kyla	direkt till kyl-tornets topp	till torr termo-meter	våt termo-meter	torr före kyl-torn	före efter kyl-torn	t _t	t _v			t _I	t _{II}	t _t -t _{II}								
		kg/h																						
9	b 16/2	77	-	3600	-	-	3600	25,1	17,0	21,9	17,4	8,7	17,6											
	b 23/2		-	3600	-	-	3600	25,0	16,9	21,5	17,4	7,6	17,2											
	Medel-tal		-	3600	-	-	3600	25,0	16,9	21,7	17,4	8,1	17,4											
10	b 27/1	77	-	2400	-	-	2400	25,0	17,1	23,3	17,0	8,0	18,0											
	b 31/1		-	2400	-	-	2400	24,9	16,8	23,0	16,8	8,1	17,8											
	b 1/2		-	2400	-	-	2400	25,1	16,9	22,9	16,8	8,3	17,6											
	b 2/2		-	2400	-	-	2400	25,1	17,0	23,4	16,8	8,3	18,1											
	b 3/2		-	2400	-	-	2400	24,9	17,0	23,2	16,9	8,0	17,3											
	b 4/2		-	2400	-	-	2400	25,1	17,2	23,7	17,1	8,0	17,3											
	Medel-tal		-	2400	-	-	2400	25,0	17,0	23,3	16,9	8,1	17,7											
11	8/12	76	-	2100	-	-	2100	25,6	17,8	23,3	18,0	7,6	12,9											
	9/12		-	1970	-	-	1970	25,0	17,5	23,3	17,6	7,4	13,0											
	10/12		-	1800	-	-	1800	24,6	17,2	23,6	17,4	7,2	13,0											
	Medel-tal		-	1960	-	-	1960	25,1	17,5	23,4	17,7	7,4	13,0											
12	b 14/1	77	-	1800	-	-	1800	25,2	16,9	24,8	16,6	8,6	17,6											
	b 17/1		-	1800	-	-	1800	25,1	17,0	25,6	17,0	8,1	17,8											
	b 19/1		-	1800	-	-	1800	25,0	17,2	25,0	16,7	8,3	17,2											
	Medel-tal		-	1800	-	-	1800	25,1	17,0	25,1	16,8	8,3	17,5											

Tabell nr	Datum	Luftflöde genom kyltorn	Vattenflöde kg/h			Ingående luftens temperatur °C			Vattentemperatur °C		Temp.-skillnad mellan ing. luft och utg. vatten °C	Nyttig kyl-effekt
			till luft-kylare	till nyttig kyla	direkt till kyl-tornets topp	genom kyl-tornet	torr vättermeter	våttermeter	före kyltorn	efter kyltorn		
		kg/h				t _t	t _v	t _I	t _{II}	t _t -t _{II}	kW	
13	28/2	77	1800	1800	-	3600	30,1	18,9	24,3	16,5	13,6	16,8
	1/3		1200	1200	-	2400	30,2	19,4	27,2	16,5	13,7	17,0
	2/3		1800	1800	-	3600	30,1	20,0	25,3	17,6	12,5	17,0
	7/3		1200	1200	-	2400	30,0	19,6	27,2	17,2	12,8	16,8
	Medel-tal		1500	1500	-	3000	30,1	19,5	26,0	16,9	13,2	16,9
14	14/10	76	5400	9300	1120	2820	25,0	17,4	21,9	16,5	8,5	7,0
	18/10		5270	930	900	1830	25,0	17,4	24,9	16,5	8,5	13,0
	19/10		5290	1860	900	2760	25,6	17,2	23,1	17,0	8,8	12,9
	20/10		5660	600	600	1200	25,2	18,0	28,5	17,2	8,0	12,6
	21/10		5210	1800	1800	3600	25,4	18,0	22,4	17,3	8,1	13,7
	27/10		5500	870	900	1770	25,6	18,4	23,8	17,5	8,1	8,0
	28/10		5630	600	600	1200	25,0	17,3	24,8	16,4	8,6	7,9
	1/11		5520	1860	900	2760	25,1	17,8	21,6	16,5	8,6	8,0
	Medel-tal		5400	1200	960	2200	25,2	17,7	23,9	16,9	8,4	
	15	a 14/1	77	5200	1800	1800	3600	25,1	17,0	22,2	16,2	8,9
	a 17/1		5000	1800	1800	3600	25,0	17,2	22,7	16,1	8,9	17,6
	a 19/1		5000	1800	1800	3600	25,0	17,0	22,5	16,0	9,0	18,3
	Medel-tal		5100	1800	1800	3600	25,0	17,1	22,5	16,1	8,9	17,7

Tabell nr	Datum	Luft-flöde genom kyltorn kg/h	Vattenflöde kg/h			Inngående luftens temperatur °C			Vattentemperatur °C			Temp.-skillnad mellan ing. luft och utg. vatten °C	Nyttig kyl-effekt
			till luft-kylare	till nyttig kyla	direkt till kyl-tornets topp	genom kyl-tornet	torr termometer	våt termometer	turr °C	före kyltorn	efter kyltorn		
		kg/h	t _t	t _v	t _I	t _{II}	t _t	t _v	t _I	t _{II}	t _t -t _{II}	kW	
19	19/11 76	5300	1080	1080	1080	3300	29,5	20,0	23,9	18,2	11,3	13,2	
	23/11	5300	1140	1140	1140	3420	30,6	19,5	23,9	18,0	12,6	13,6	
	24/11	5200	990	1020	1410	3420	30,9	19,2	23,3	17,7	13,2	12,2	
	25/11	5300	1380	1020	1020	3420	30,8	18,8	22,7	17,1	13,7	11,4	
	Medel-tal	5300	1150	1060	1160	3400	30,5	19,4	23,5	17,8	12,7	12,6	
20	11/11 76	5400	-	2400	-	2400	29,1	21,0	24,3	20,6	8,5	10,5	
	2/12	5500	-	2100	-	2100	30,0	20,0	25,1	20,2	9,8	12,0	
	6/12	5500	-	1800	-	1800	30,0	20,1	26,0	20,0	10,0	12,6	
	7/12	5500	-	2100	-	2100	30,4	20,1	25,6	20,3	10,1	12,9	
	Medel-tal	5500	-	2100	-	2100	29,9	20,3	25,3	20,3	9,6	12,0	
21	16/3 76	6800	2100	1560	-	3660	28,2	14,2	23,7	12,1	16,1	32,5	
	17/3	6900	2010	1560	-	3570	28,2	14,2	23,9	12,2	16,0	32,5	
	18/3	5460	1920	1590	-	3510	28,2	14,8	24,6	13,7	14,5	32,5	
	22/3	5200	1920	1590	-	3510	28,6	14,4	24,7	14,1	14,5	30,3	
	23/3	4450	2040	1530	-	3570	28,5	14,4	25,1	14,8	13,7	29,6	
Medel-tal	5760	1960	1567	-	3564	28,3	14,2	24,4	13,4	15,0	31,5		

Tabell nr	Datum	Luftflöde genom kyltorn	Vattenflöde kg/h			Ingående luftens temperatur °C			Vattentemperatur °C			Temp. skillnad mellan ing. luft och utg. vatten	Nyttig kyl-effekt
			till luftkylare	till nyttig kyla	direkt till kyltornets topp	genom kyltornet	torr-temperatur	våt-temperatur	före kyltorn	efter kyltorn	t _t		
kg/h													
22	12/4	5000	1930	1440	-	3370	30,2	20,0	25,2	19,0	11,2	15,7	
	13/4	5450	1950	1440	-	3390	31,0	20,0	25,5	19,1	11,9	14,1	
	27/9	5400	1500	1470	-	2970	29,4	20,2	26,2	18,4	11,0	14,9	
	30/9	5150	1710	1680	-	3390	30,0	19,7	24,9	18,6	11,4	15,5	
	1/10	5350	1290	1260	-	2550	29,8	19,7	26,2	18,5	11,3	14,8	
	6/10	5400	1860	930	-	2790	29,2	20,6	26,4	18,0	11,2	14,5	
Medel-tal		5290	1710	1370	-	3080	29,9	20,0	25,8	18,6	11,3	14,9	
23	21/4	4840	1080	840	-	1920	30,4	18,0	30,4	14,5	15,9	24,8	
	22/4	4800	1020	900	-	1920	30,4	18,6	30,2	15,9	14,5	23,0	
	Medel-tal		4820	1050	870	-	1920	30,4	18,3	30,3	15,2	23,9	
24	14/4	2070	-	1800	1800	3600	30,0	20,0	27,1	23,2	6,8	15,9	
	19/4	2020	-	1800	1800	3600	30,0	20,0	27,5	23,4	6,6	15,9	
	22/4	2040	-	1800	1800	3600	30,0	20,0	27,7	23,6	6,4	15,9	
Medel-tal		2040	-	1800	1800	3600	30,0	20,0	27,4	23,4	6,6	15,9	
25	15/4	2040	1200	1200	1200	3600	30,0	20,0	26,9	22,1	7,9	15,9	
	20/4	2070	1200	1200	1200	3600	30,0	20,0	27,4	22,5	7,5	15,1	
	25/4	2040	1200	1200	1200	3600	30,0	20,0	27,2	22,2	7,8	15,7	
Medel-tal		2050	1200	1200	1200	3600	30,0	20,0	27,2	22,3	7,7	15,6	

Tabell nr	Datum	Luftflöde genom kyltorn	Vattenflöde			kg/h	Ingående luftens temperatur °C				Vattentemperatur °C		Temp.-skillnad mellan ing. luft och utg. vatten °C	Nyttig kyl-effekt
			till luftkylare	till nyttig kyla	direkt till kyltornets topp		genom kyltornet	torr termometer	våt termometer	före kyltornet	efter kyltornet	t _I		
26	a 16/2	77	1200	1200	1200	3600	25,0	16,9	21,7	15,5	9,5	16,8		
	a 18/2		1800	1200	600	3600	25,0	16,5	21,7	15,0	10,0	16,0		
	b 18/2		900	900	1800	3600	25,0	16,5	22,0	15,9	9,1	16,7		
Medel-tal			1300	1100	1200	3600	25,0	16,6	21,8	15,5	9,5	16,5		
27	a 21/2	77	1320	1320	1320	3960	24,9	17,0	22,1	16,3	8,6	16,5		
	b 21/2		1320	1320	1320	3960	25,1	17,0	22,2	16,8	8,3	16,7		
	a 22/2		1200	1200	1200	3600	25,0	17,0	22,0	16,0	9,0	16,2		
	b 22/2		1800	1200	600	3600	24,9	16,9	22,2	16,0	8,9	16,6		
	a 23/2		1800	900	900	3600	25,0	17,0	22,2	15,8	9,2	16,0		
Medel-tal			1480	1190	1070	3740	25,0	17,0	22,1	16,2	8,8	16,4		
28	7/9	77	-	3600	-	3600	30,0	20,0	28,3	24,5	5,5	16,3		
	9/9		-	3600	-	3600	30,0	20,0	28,9	25,2	7,9	15,5		
	13/9		-	3600	-	3600	30,0	20,0	28,5	24,7	5,3	15,9		
	22/9		-	3600	-	3600	30,0	20,0	26,8	22,6	7,4	16,7		
Medel-tal			-	3600	-	3600	30,0	20,0	28,6	24,3	6,5	16,1		

Tab 31 Temperaturer i värmväxlaren

Antal kam- fläns- batte- rier	Lufttemperatur		Vattentemperatur		Tempe- ratur- fall mellan utgåen- de luft och in- gående vatten	Ned- kyl- ning av luf- ten
	Före luft- för- kylare	Efter luft- för- kylare	Före luft- för- kylare	Efter luft- för- kylare		
	t_1	t_2	t_{III}	t_I	$t_2 - t_I$	$t_1 - t_2$
2x2	29,8	23,8	18,8	23,9	5,0	6,0
2x3	30,1	22,4	17,6	25,0	4,8	7,7
2x2	25,2	21,4	16,9	21,2	4,5	3,8
2x3	25,0	19,3	15,4	20,9	3,9	5,7

SAMMANFATTNING

Skall man kyla vatten för komfortändamål direkt med kyltorn utan användning av kylmaskiner uppkommer krav på att vattnet åtminstone skall kylas några grader under 20°C. Detta krav erbjuder vissa svårigheter och uppfylls icke av konventionella kyltorn.

Man kan i ett konventionellt kyltorn vid utetemperaturer mellan 25 och 30°C kyla vatten 7-8°C under uteluftens temperatur. Om det kylda vattnet skall användas för kylning av lokaler eller ventilationsluft får man emellertid i nödvändiga värmeväxlare temperaturfall på minst 4 à 5°C. Då återstår en temperaturdifferens på 2-4°C för kylning av luft och lokaler. Detta är icke tillfredsställande. Det erfordras emellertid en ganska liten ökning av vattnets nedkylning för att metoden skall bli praktiskt användbar för komfortkylning.

Man kan nämligen icke tillåta för stora temperaturskillnader mellan ute och inne. För att inte kontrasterna skall bli för stora sommartid brukar man begränsa skillnaden till 5 à 10°C. Man kan heller inte på grund av risk för drag blåsa in kallluft med alltför låg temperatur. Man brukar räkna med en maximal undertemperatur på inblåsningssluffen av 8 à 10°C.

Om man kunde i ett kyltorn kyla vattnet c:a 13°C under uteluftens temperatur skulle detta möjliggöra användning av kyltorn för direkt kylning av lokaler och ventilationsluft utan användning av kylmaskiner.

Vid ett konventionellt kyltorn kan man kyla vattnet ett par grader från den våta termometerens temperatur, även kallad kylgränsen. Genom att förkyla den till kyltornet ingående luften med en del av det i kyltornet kylda vattnet kan vattentemperaturen på det från kyltornet utgående vattnet sänkas ytterligare omkring 5°C.

Man kan även få en sänkning av det från kyltornet utgående vattnet genom att förkyla det till kyltornet ingående vattnet med en del av det i kyltornet kylda vattnet. Det kan dock förekomma att det icke finns utrymme för en dylik kylning. Då kan utrymme beredas genom att även luften förkyls samtidigt. De bägge metoderna kompletterar varandra.

Förkylningen av det ingående vattnet sker mycket enkelt genom att kylt vatten från kyltornet blandas in i det till kyltornet ingående varmare vattnet. För detta behövs endast en enkel rörledning. Förkylning av luften kräver en värmeväxlare.

För en närmare experimentell undersökning av de olika förfaringssätten har en försöksanläggning byggts upp vid KTH där prov kunnat utföras i full skala med ett kommersiellt kyltorn som modifierats i olika avseenden. Med

olika varianter av kyltornet har utförts c:a 150 prov.

Som värde­mätare på provningsresultaten har till en del använts skillnaden mellan den till kyltornet ingående luftens temperatur (t_t) och temperaturen (t_{II}) på det från kyltornet utgående vatt­net. I texten betecknas denna skillnad med $t_t - t_{II}$.

Vid prov med det ursprungliga kyltornet blev $t_t - t_{II}$ ungefär 8°C.

Sedan höjden och därmed även ytan på kylinsatsen i kyltornet fördubblats ökade $t_t - t_{II}$ till ungefär 10°C.

Det visade sig vid flera prov med förkylning av luften och vid prov med kombinerad förkylning av både luft och vatten att man erhö­ll värden på $t_t - t_{II}$ som låg över 13°C. Detta när den torra termometerens temperatur i uteluften var 30°C och den våta termometerens temperatur 20°C. Genom intrimning och smärre förändringar går säkerligen dessa värden att förbättra. Redan prov med de använda värmeväxlarna visar att man genom utökning av antalet kamflänsbatterier i luftintagen från tre till fyra kan höja värdet på $t_t - t_{II}$ till c:a 15°C vid nyss­nämnda temperaturer på den ingående luften.

Det nämnda gör det praktiskt möjligt att använda kyltorn för direktkylning av komfortanläggningar.

Man kan tänka sig en kylanläggning som fungerar på exempelvis följande sätt. Utetempera­turen är 30°C och inne­temperaturen 25°C. Man blandar lika mängder uteluft och returluft från lokalerna som skall kylas. Då blir blandningens temperatur 27,5°C. Denna luft kyls sedan i en värmeväxlare till 22,0°C och blåses in i de lokaler som skall kylas. Kylningen av luften kan göras med vatten kylt i kyltornet till 17°C eller 13°C under uteluftens temperatur. Detta kan ske med god säkerhetsmarginal. Kylningen kan genomföras med eller utan returluft.

Man skulle kunna tro att man genom att utnyttja en del av det i kyltornet kylda vatt­net till förkylning av den ingående luften skulle minska den nyttiga kyleffekten. Detta är icke fallet. Den kyla som åtgår för luftens förkylning återföres, bortsett från smärre förluster, till vatt­net i kyltornet.

Vid en anläggning av det slag som här avses sparar man in kylkompressorn med tillbehör och service samt dessutom elkraftkostnaden för kompressordriften. Merkostnader uppkommer för luftförkylarna samt en modifiering av det redan förefintliga kyltornet men dessa merkostnader är små.

Besparingen på den totala årskostnaden för kylanläggningen, avseende både kapital- och driftkostnader, kan uppskattningsvis röra sig om 70 %.

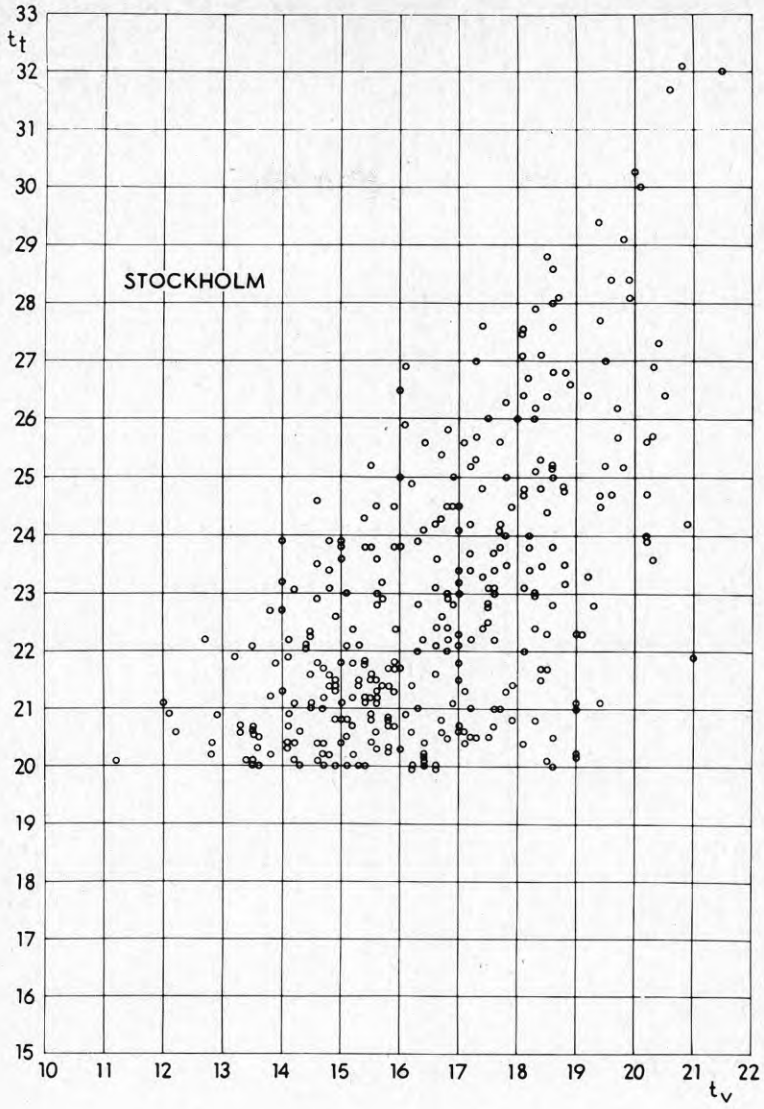


Fig.1

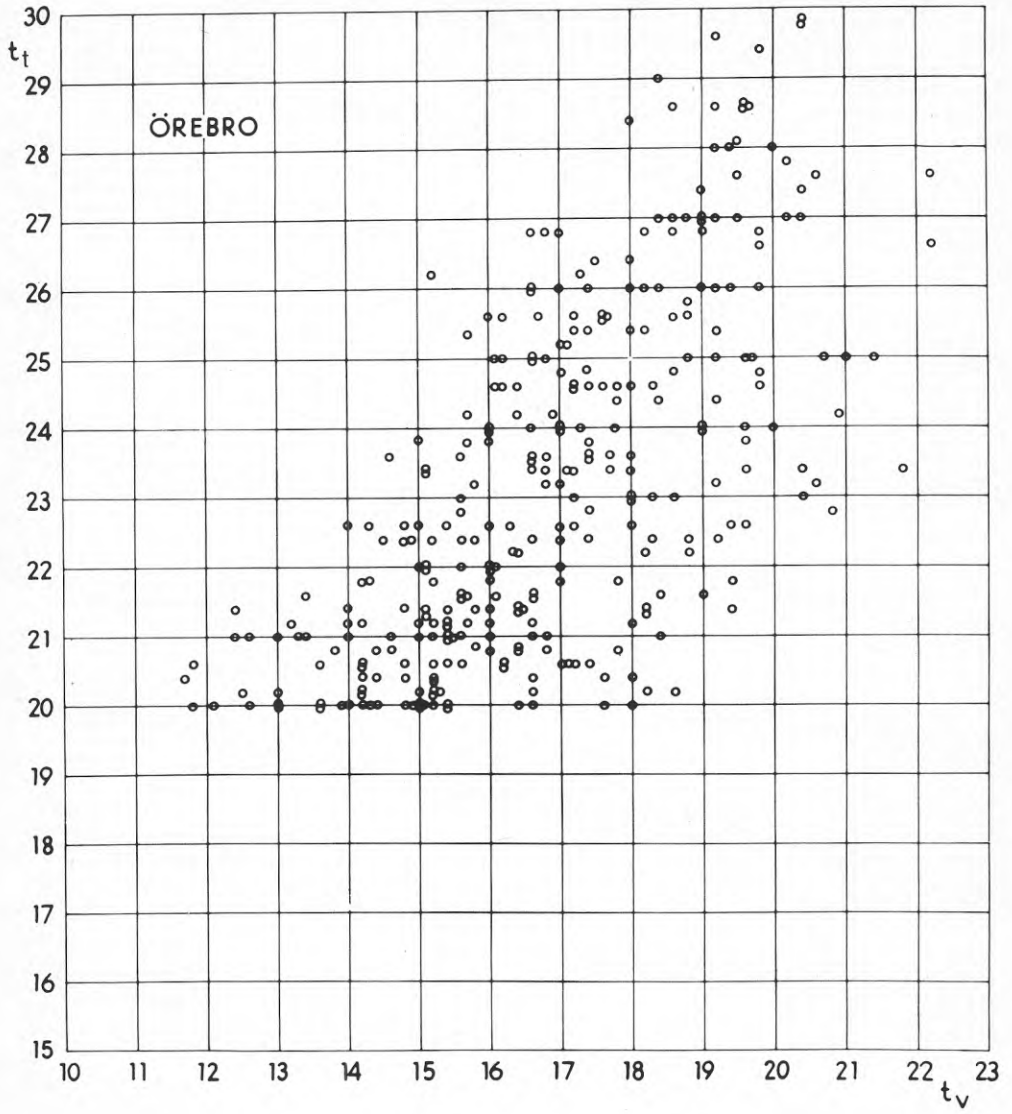


Fig.2

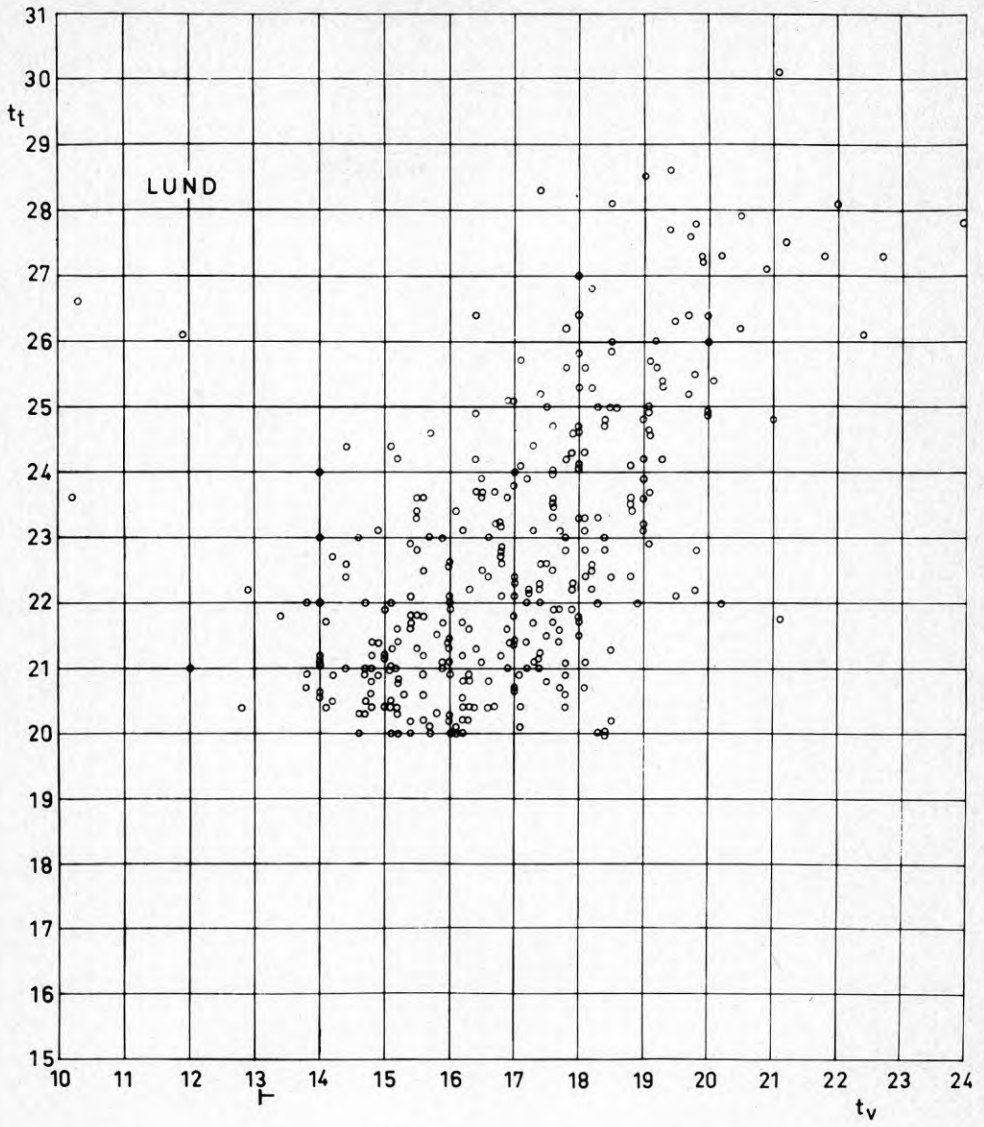


Fig.3

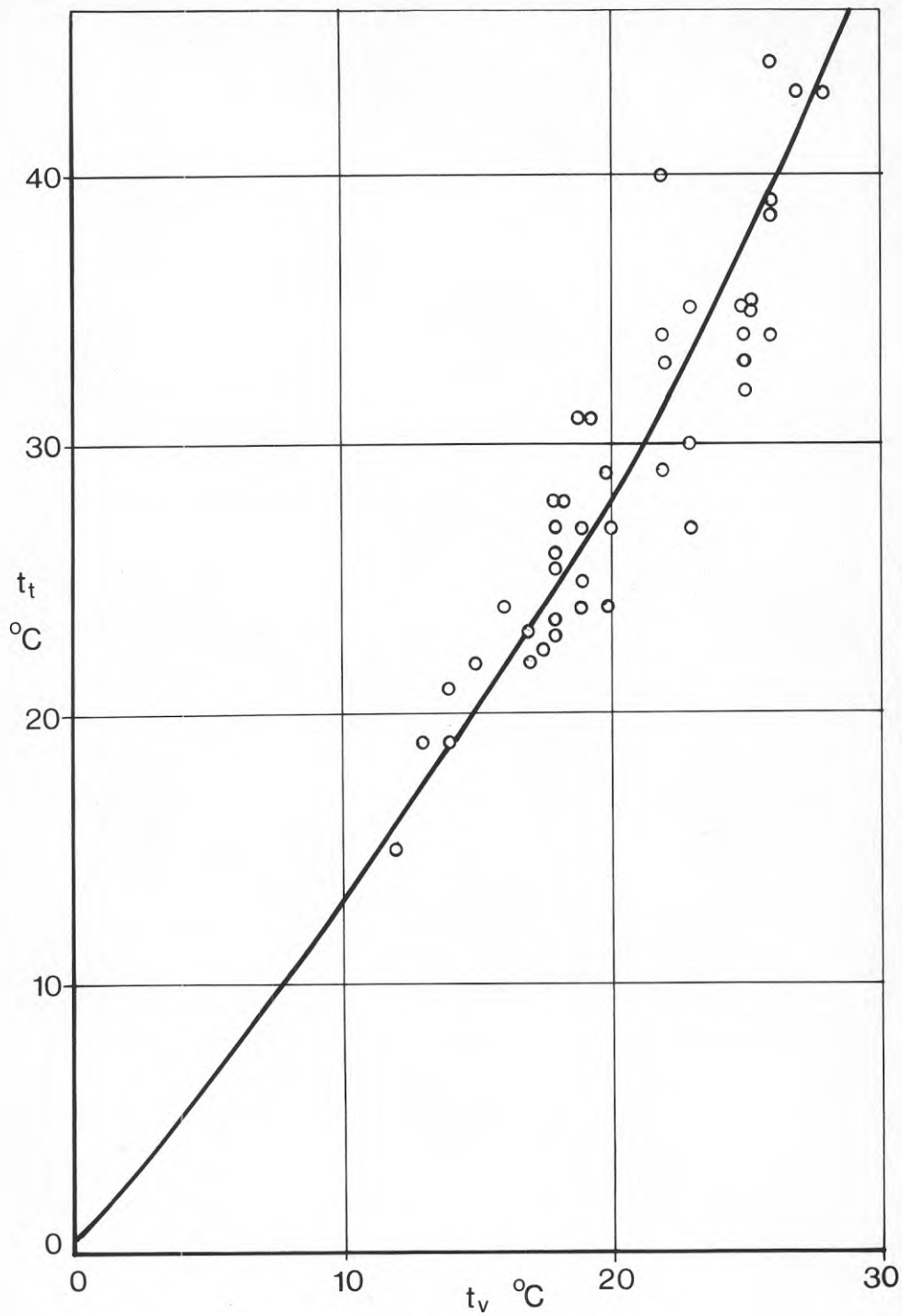


Fig. 4

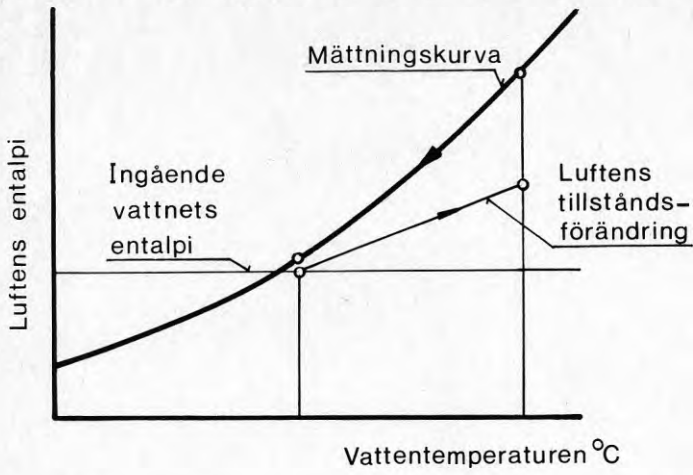


Fig. 5

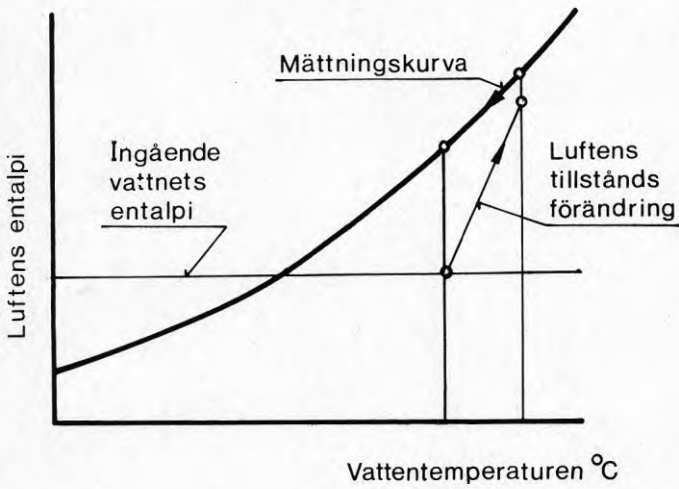


Fig. 6

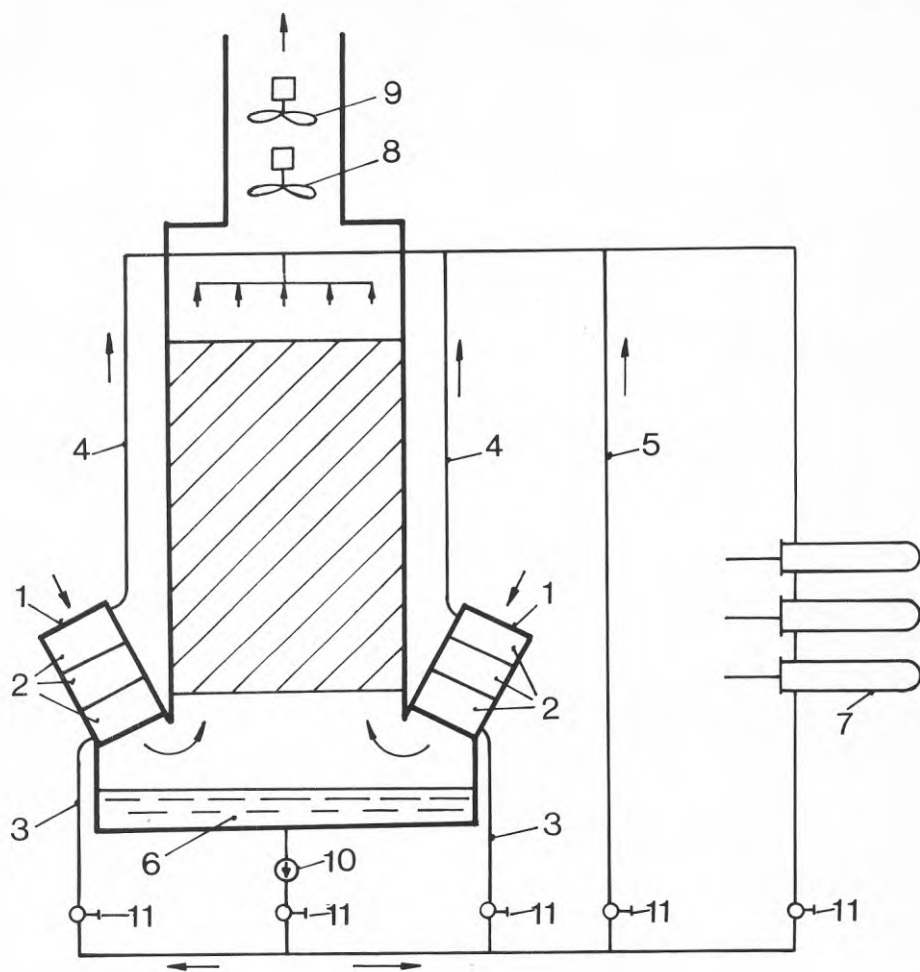


Fig. 7

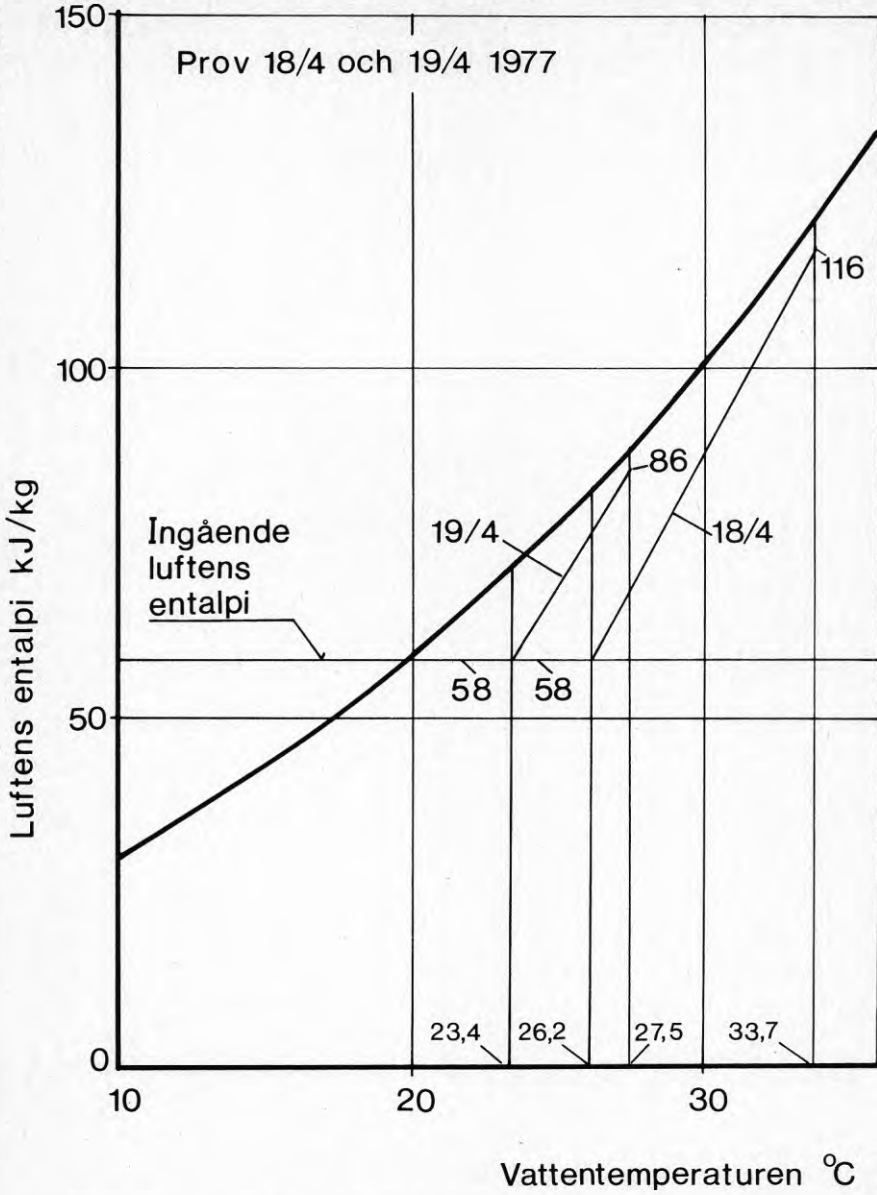


Fig. 8

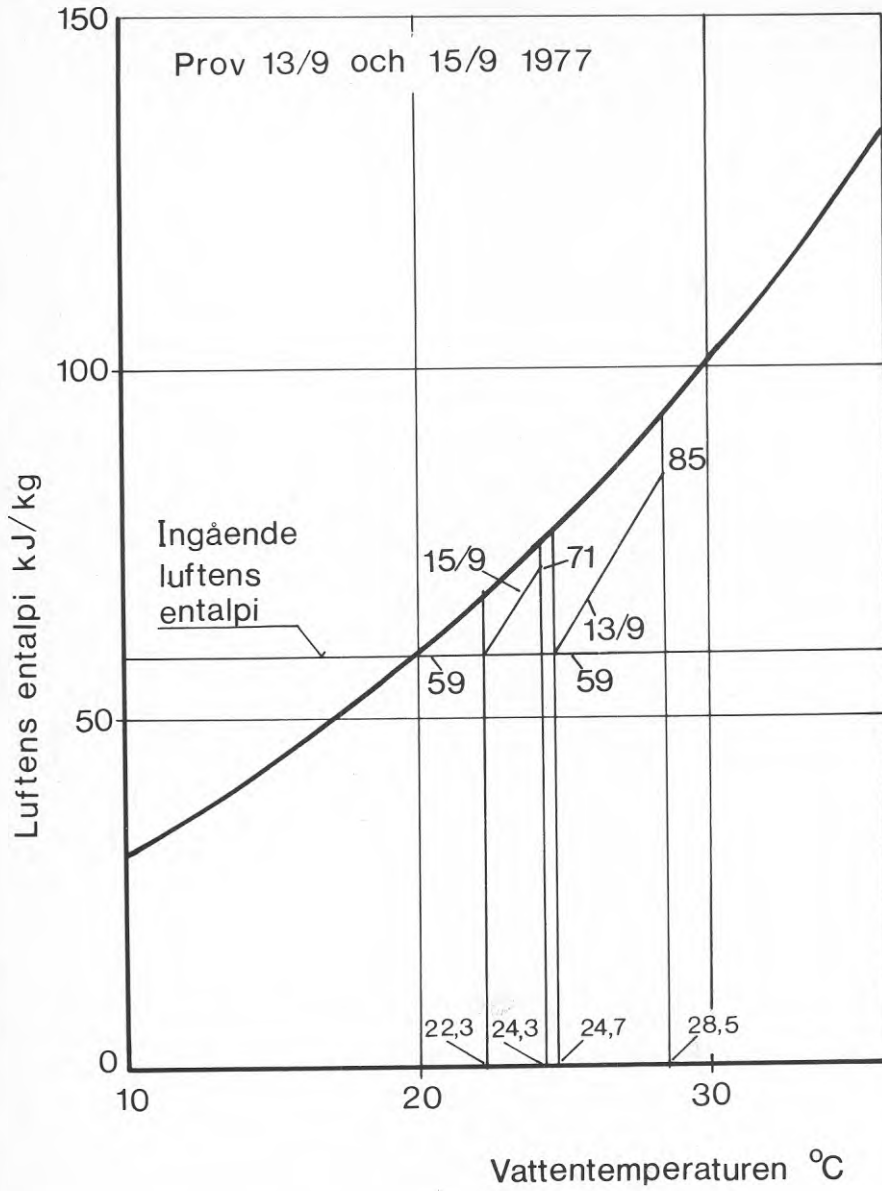


Fig. 9

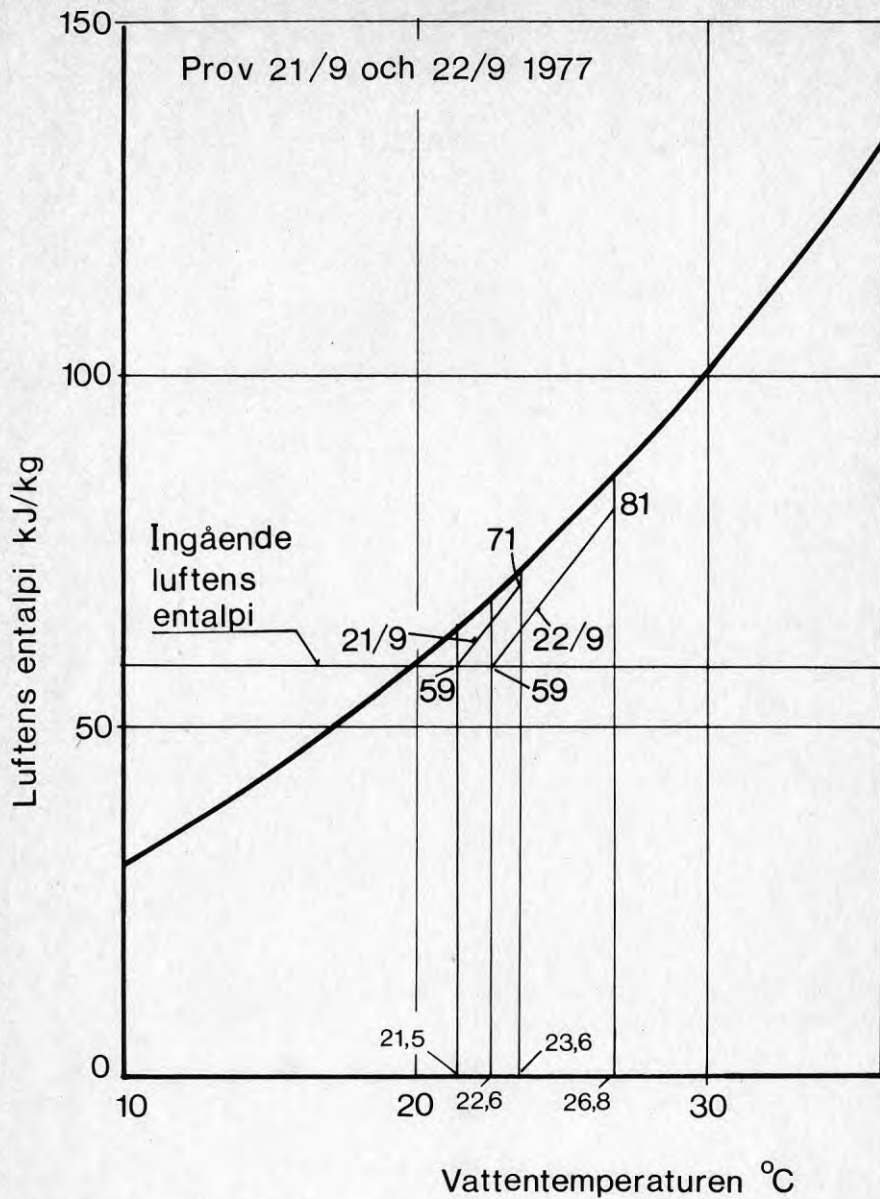


Fig. 10

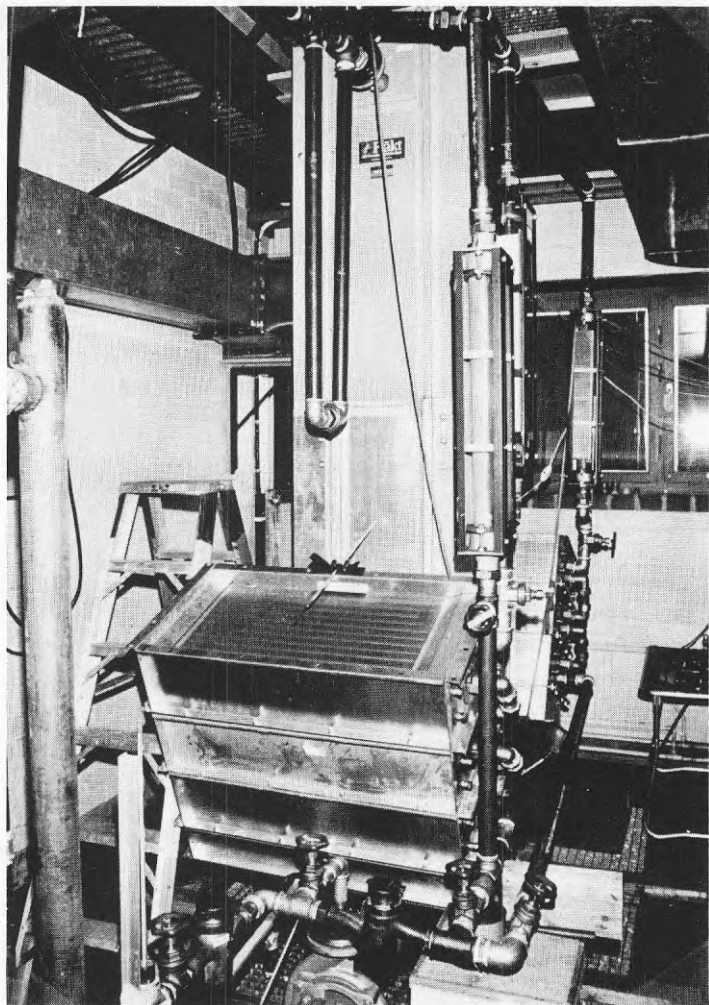
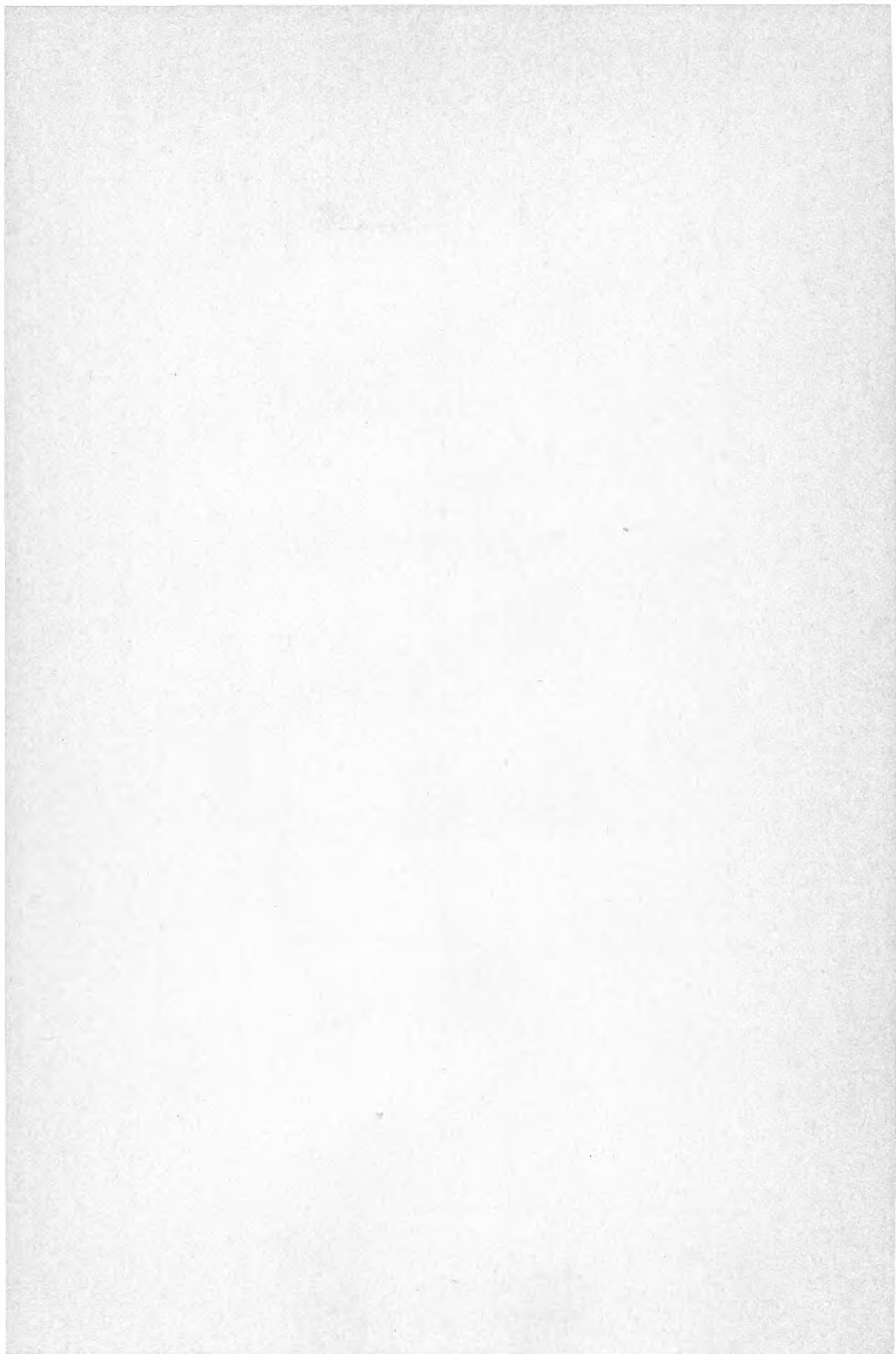


FIG 11 Försöksanordningen vid KTH



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750304-2 från
Statens råd för byggnadsforskning till Ingenjörfirman
John Rydberg, Stockholm**

R35:1979

**ISBN 91-540-2995-3
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

Art.nr: 6600935

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst
Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirkapris: 20 kr exkl moms