

## Frikyla med kyltorn

Utvärdering av pilotprojekt om frikyla från evaporativt kyltorn kopplat till vattenburen komfortkyla

*Utförd av*  
Bengt Bergsten  
CIT Energy Management

Göteborg  
juni 2008

Beställargruppen lokaler, BELOK, är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Sveriges största fastighetsägare med inriktning på kommersiella lokaler. BELOK initierades 2001 av Energimyndigheten och gruppen driver idag olika utvecklingsprojekt med inriktning på energieffektivitet och miljöfrågor.

Gruppens målsättning är att energieffektiva system och produkter tidigare kommer ut på marknaden. Utvecklingsprojekten syftar till att effektivisera energianvändningen samtidigt som funktion och komfort förbättras.

Gruppens medlemsföretag är:

- Akademiska Hus
- AP Fastigheter
- Castellum/Brostden
- Diligentia
- Fabege
- Fortifikationsverket
- Locum
- Lokalförsörjningsförvaltningen - LFF
- LFV
- Midroc
- Skolfastigheter i Stockholm - SISAB
- Specialfastigheter
- Statens Fastighetsverk
- Vasakronan
- Västfastigheter

Till gruppen är knutna även:

- Statens Energimyndighet
- Boverket
- Byggherrarna
- CIT Energy Management

## **Frikyla med kyltorn**

### Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b>	<b>4</b>
<b>1. Inledning</b>	<b>5</b>
<b>2. Bakgrund</b>	<b>6</b>
<b>3. Syfte</b>	<b>6</b>
<b>4. Kyltorn – introduktion</b>	<b>6</b>
<b>5. Legionella</b>	<b>8</b>
<b>6. System med frikyla från kyltorn</b>	<b>10</b>
6.1 Introduktion	10
6.2 Dimensioneringsprinciper för frikylsystem med kyltorn	11
6.2 Pilotanläggningen	13
<b>7. Resultat</b>	<b>15</b>
7.1 Resultat från simuleringar	15
7.2 Resultat från mätningar	18
7.2.1 Utomhusklimat	18
7.2.2 Inomhusklimat	20
7.2.3 Frikylsystem	23
<b>8. Slutsatser</b>	<b>25</b>
<b>Litteratur</b>	<b>27</b>
<b>Bilagor</b>	<b>27</b>

## Sammanfattning

De flesta kontorsbyggnader har normalt ett betydande kylenergibehov. Behovets storlek beror på ett flertal faktorer, exempelvis typ av kylsystem, byggnadens utformning, tekniska uppbyggnad och inneklimatekrav samt verksamheten i byggnaden (d.v.s. genereringen av internvärme från personer, belysning och apparater). Elbehovet för drift av kylmaskiner för komfortkyla är vanligen i storleksordningen 10-30 kWh<sub>el</sub>/(m<sup>2</sup> år). Det motsvarar ca. 10 - 30% av den totala elanvändningen i kontorsbyggnader. Beaktas enbart fastighetsel är andelen ca 20 – 50% (Stegvis Stil, 2005). Här finns en potential för energieffektivisering hos det befintliga beståndet av kommersiella fastigheter med komfortkyla

Ett forskningsarbete vid Chalmers (Bergsten, 2004), som bygger på simuleringar, visar att det finns goda förutsättningar att täcka kylbehovet i kontorsbyggnader med komfortkylsystem med kylbafflar och med enbart evaporativ kylning i kyltorn, dvs. helt utan maskinell kylning. Fördelen med ett sådant system är att det går att få ett rimligt inneklimate sommartid samtidigt som elenergianvändningen är betydligt lägre, i storleksordningen 3 – 5 ggr lägre än med ett konventionellt system.

BELOK initierade ett projekt som innebar byggande av en pilotanläggning i en av Vasakronan AB:s fastigheter i Göteborg. Projektet har finansierats av BELOK, Vasakronan och CIT Energy Management. Pilotanläggningen byggdes under 2006 och mätningar genomfördes under 2007. Denna rapport redovisar de praktiska resultaten av denna pilotanläggning bestående av ett vattenburet komfortkylsystem med frikyla genom att utnyttja ett evaporativt kyltorn som den enda kylkällan. Mätperioden är från 1 maj – 31 augusti.

När det gäller frikylsystemets förmåga att hålla ett rimligt inomhusklimat kan man säga att det har klarat sin uppgift tämligen väl. Innetemperaturen har hållits under 25°C vid utetemperaturer upp till drygt 27°C. En begränsning i styrsystemet innebär att frikylsystemet kopplas bort om innetemperaturen överskrider 25°C och då kopplas det konventionella kylsystemet in. Det har medfört att systemet inte kunnat prövas vid utetemperaturer upp mot 30°C och över. Begränsningen har införts på begäran av fastighetsägaren Vasakronan och hyresgästen ÅF-konsult Den tämligen svala sommaren under 2007 med få perioder av varmt väder har alltså, med denna begränsning i styr- och reglerstyret, inte påverkat utvärderingen nämnvärt.

Frikylsystemets energieffektivitet, i form av COP, har också undersökts. Under den undersökta perioden (1 maj – 31 aug) så har COP-värdet legat mellan 0,5 – 4,5. En evaporativ frikylare, typ kyltorn eller liknande, uppvisar de lägsta COP-värdena vid höga temperaturer på uteluften, så det är naturligt att de är låga. Emellertid har den undersökta frikylaren väl lågt COP jämfört med publicerade värden för kyltorn. Orsakerna handlar till största delen om att konstruktionen har optimerats för största kyleffekt till lägsta pris, inte till lägsta livscykelkostnad. Lägsta livscykelkostnad skulle innebära ett lägre eleffektbehov och därmed högre COP-värden.

Frikylsystemet konstruerades och utfördes med standardprodukter som finns på dagens marknad. Exempelvis valdes en standard kylmedelskylare som evaporativt kyltorn i systemet. Mätresultaten visar att det med standardprodukter finns goda möjligheter att

hålla ett rimligt inomhusklimat med ett frikylsystem som beskrivits ovan. Emellertid är energieffektiviteten i dagens standardprodukter inte tillfredsställande.

Här krävs en teknisk utveckling för att få evaporativa kylare att nå bättre värden på COP. För att få marknaden att installera frikylsystem med evaporativ kylning i högre utsträckning erfordras ytterligare produktutveckling liknande den som t.ex. enhetsaggregat i ventilationsbranschen genomgått. Då handlar det alltså om färdiga ”paket” med någon form av kyltornsapplikation med integrerad vattenbehandling och färdigt styr- och reglersystem. Möjlighet att koppla till en modul med kylmaskin för att stötta med maskinkyla måste finnas för byggnader med hög värmelast alternativt höga inneklimatekrav.

## 1. Inledning

Forskning och utveckling av energieffektiva byggnader och installationer har pågått under många år i Sverige. Området komfortkyla och dess energianvändning har dock behandlats i en relativt liten omfattning. En översikt av möjliga åtgärder för att effektivisera energianvändningen i befintliga komfortkylsystem har publicerats av EFFEKTIV (Aronsson och Bergsten, 2001).

Ett av många sätt att effektivisera energianvändningen i komfortkylsystem är att utnyttja möjligheter till frikyla. Ett flertal alternativa möjligheter för detta finns, t.ex. borrhål, akviferer, olika vattenkällor (sjö, hav och vattendrag), sorptiv kyla, evaporativ kyla, uteluftkylare, snölager. Implementeringen av frikyla över lag inom det befintliga lokalbyggnadsbeståndet är ännu tämligen litet. Den vanligaste formen av frikyla för luftburna kylsystem är helt enkelt att utnyttja den kalla uteluften och för vattenburna system att koppla köldbäraren till en uteluftkylare. Båda dessa alternativ kräver dock kylning från en konventionell kylmaskin under varma perioder.

Ett forskningsarbete vid Chalmers (Bergsten, 2004), som bygger på simuleringar, visar att det finns goda förutsättningar att täcka kylbehovet i kontorsbyggnader med kylbaffelsystem med enbart evaporativ kylning i kyltorn, dvs. helt utan maskinell kylning. Fördelen med ett sådant system är att det går att få ett rimligt inneklimatekrav sommartid samtidigt som energianvändningen är betydligt lägre, i storleksordningen 5 – 10 ggr lägre.

För att tekniken skall kunna komma till praktisk tillämpning, måste emellertid de teoretiska studierna i forskningsarbetet testas i praktisk drift. BELOK initierade därför ett projekt som innebar byggande av en pilotanläggning i en av Vasakronan AB:s fastigheter i Göteborg. Pilotanläggningen byggdes under 2006 och mätningar genomfördes under 2007. Projektet har finansierats av BELOK, Vasakronan och CIT Energy Management.

Denna rapport redovisar de praktiska resultaten från driften av denna pilotanläggning bestående av ett vattenburet komfortkylsystem med frikyla genom att utnyttja ett evaporativt kyltorn som den enda kylkällan.

## 2. Bakgrund

En stor majoritet av alla kontor i Sverige som byggts under 1980- och 1990-talen har rumskylning med kylbafflar. Under 1990-talet renoverades dessutom en mängd kontorsfastigheter av olika åldrar och då installerades ofta vattenburet komfortkylsystem. Det är inte känt hur stor andel av kommersiella fastigheter med komfortkyla som har ett vattenburet system med t.ex. kylbafflar. Uppskattningsvis ligger andelen inom intervallet 60 – 80% i Sverige. I övriga norra Europa växer användningen av vattenburna komfortkylsystem med kylbafflar eller kyltak i kontor stadigt. Ett energieffektivt alternativ med koppling till ett vattenburet komfortkylsystem har alltså en stor potential både installationstekniskt och marknadsmässigt.

De flesta kontorsbyggnader har normalt ett betydande kylbehov. Behovets storlek beror på ett flertal faktorer, exempelvis typ av kylsystemets, byggnadens utformning, tekniska uppbyggnad och inneklimatekrav samt verksamheten i byggnaden (d.v.s. genereringen av internvärme från personer, belysning och apparater). Elbehovet för drift av kylmaskiner är normalt i storleksordningen 10-30 kWh<sub>el</sub>/(m<sup>2</sup> år). Det motsvarar ca. 10 - 30% av den totala elanvändningen i kontorsbyggnader. Beaktas enbart fastighetsel är andelen ca 20 – 50% (Stegvis Stil, 2005).

Forskningsarbetet, Bergsten (2004), visar att det finns goda förutsättningar att täcka kylbehovet i kontorsbyggnader med kylbaffelsystem försörjda med enbart evaporativ kylning i kyltorn, dvs. helt utan maskinell kylning. Att kyla med kyltorn är mer energieffektivt än med konventionell kylmaskin. Detta skulle göra det möjligt att sänka årsbehovet av elektrisk energi från 10-30 kWh<sub>el</sub>/(m<sup>2</sup> år) ned till i storleksordningen 3-10 kWh<sub>el</sub>/(m<sup>2</sup> år). Systemet är i första hand intressant för nya byggnader genom att både anläggningskostnaden och driftskostnaden blir lägre än för system med konventionell kylmaskin. Det kan emellertid också vara intressant i befintliga kontorshus som ersättning av befintliga kylmaskiner eller vid komplettering av komfortkyla.

## 3. Syfte

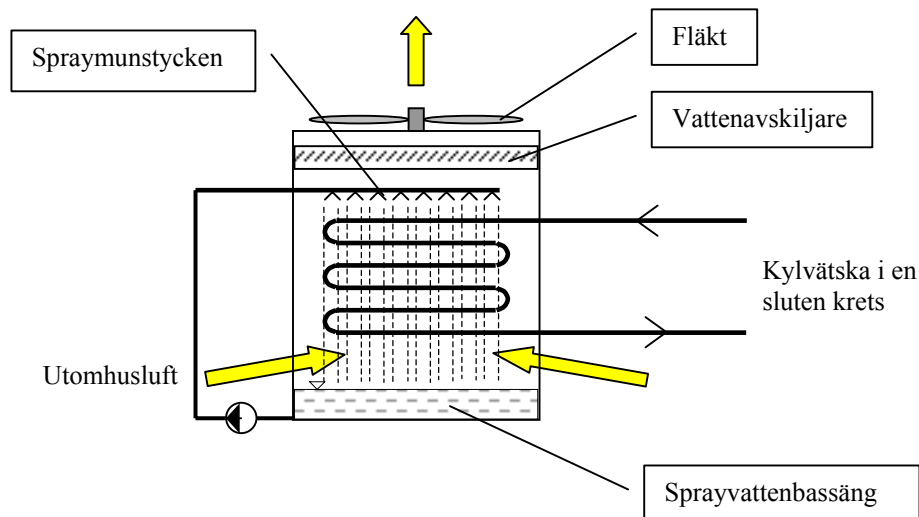
Syftet med projektet är att i praktisk drift dels undersöka det resulterande inomhusklimatet, dels pröva de möjligheter till minskning av elanvändningen med ett komfortkylsystem med kyltorn och kylbaffelsystem i kontor, som nämnda forskningsarbete (Bergsten, 2004) visar på. Projektet skall dessutom ge underlag för utformning av frikylningssystem med kyltorn för kontorsbyggnader med kylbafflar grundat på tillgänglig kunskap och praktisk drifterfarenhet.

## 4. Kyltorn – introduktion

Kyltorn används företrädesvis i industriella sammanhang. Där används kyltorn främst för att kyla processer som genererar överskottsvärme och dessa kyltorn har oftast en form som mer eller mindre likar ett torn. Därav namnet kyltorn.

Begreppet kyltorn innebär också att överskottsvärme kyls genom att vatten förångas till omgivningen, s.k. evaporativ kylning. Det innebär att värmeenergi tas från det varma mediet för att förånga vatten. På så sätt kyls det varma mediet. Denna kylprincip medför att det är möjligt att kyla ett medium, t.ex. vatten i ett vattenburet komfortkylsystem, till en temperatur som är lägre än den omgivande luftens temperatur. Det som avgör hur långt ned det är möjligt att kyla ett medium med evaporativ kyla är luftens våta temperatur. Den våta temperaturen bestäms av luftens torra temperatur och dess fuktighet. Principen om evaporativ kylning finns utförligt beskrivet i kapitel 4.3 i Bergsten (2004).

Kyltorn utförs utifrån ett antal olika principer och på en mängd olika sätt. För en överblick av de olika principer och typer som finns hänvisas till Bergsten (2004). Den kyltornsprincip som sannolikt passar bäst i detta sammanhang, med komfortkylning av byggnader, är s.k. slutet kyltorn, se figur 4.1. I ett slutet kyltorn kommer vattnet som skall kylas, kylvätskan, aldrig i direkt kontakt med uteluften, utan cirkulerar i ett rörpaket i kyltornet där det kyls och sedan transporteras tillbaka i rör till byggnaden. För att kylningen skall bli evaporativ vattenbegjuts rörpaketet i kyltornet med sprayvatten. Sprayvattnet antingen återcirkuleras eller leds direkt till avlopp. Återcirkulering är dock vanligast. Sprayvatten som återcirkuleras utsätts för föroreningar i utomhusluften och måste därför behandlas så att kyltornet skyddas mot korrosion och bevuxning.

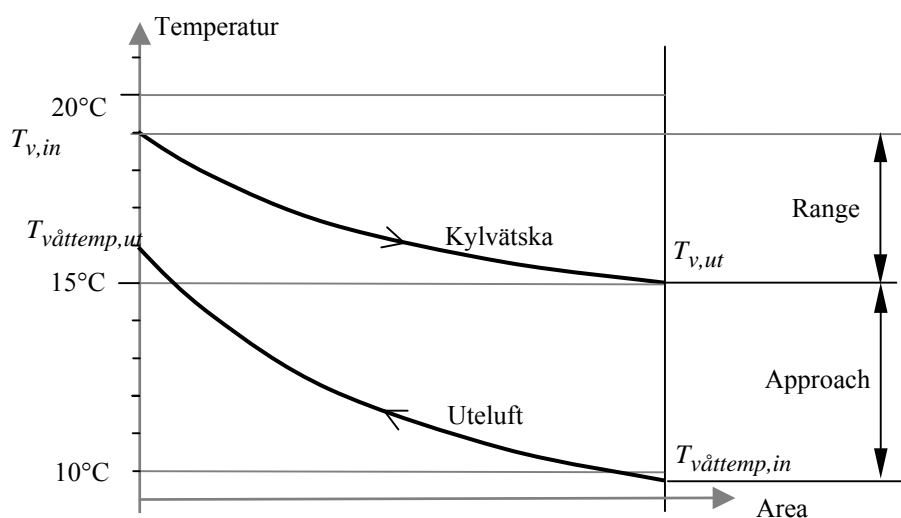


**Figur 4.1** Schematisk bild av ett slutet kyltorn

Det finns några begrepp som används för att dimensionera kyltorn, och som därmed anger kyltornets förmåga att kyla ett medium, t.ex. vatten. I figur 4.2 redovisas två viktiga begrepp som används i kyltornssammanhang. Figuren visar hur temperaturen på de två medierna, kylvätskan respektive uteluftens våta temperatur, förändras vid passagen i ett kyltorn. Tyvärr finns inga vedertagna svenska ord utan vi får använda de engelska uttrycken. Det första begreppet är *Approach*. Det uttrycket anger hur nära

uteluftens våta temperatur,  $T_{våttemp,in}$ , kyltornet kan kyla kylvätskan, d.v.s.  $T_{v,ut}$ . För ett kyltorn som skall kyla en kylvätska i ett komfortkylsystem, normalt benämnd köldbärare, med kylbafflar är det väsentligt att kyltornet har så liten *approach* som möjligt. Emellertid medför en mycket liten *approach* ett mycket stort kyltorn. Lämpliga värden på *approach* diskuteras i avsnitt 6.2. Begreppet *Approach* har samma definition som begreppet *Grädighet* i värmeväxlarsammanhang.

Det andra begreppet är *Range*. Detta är helt enkelt en temperaturdifferens mellan kylvätskans inkommande respektive utgående temperatur i kyltornet. Kylvätskans *range* tillsammans med dess massflöde anger den kyleffekt som kyltornet kan ge.



**Figur 4.2** Temperaturdiagram över principiellt temperaturförlopp i ett (motströmskopplat) kyltorn tillsammans med definitioner av *Approach* och *Range*.

## 5. Legionella

Problem med spridning av bakterier från kyltorn uppmärksammades på allvar 1976 i Philadelphia, USA, då det första kända utbrottet av legionellasjukan inträffade. Mycket forskning har genomförts sedan dess för att studera legionellabakterien och dess spridning från kyltorn.

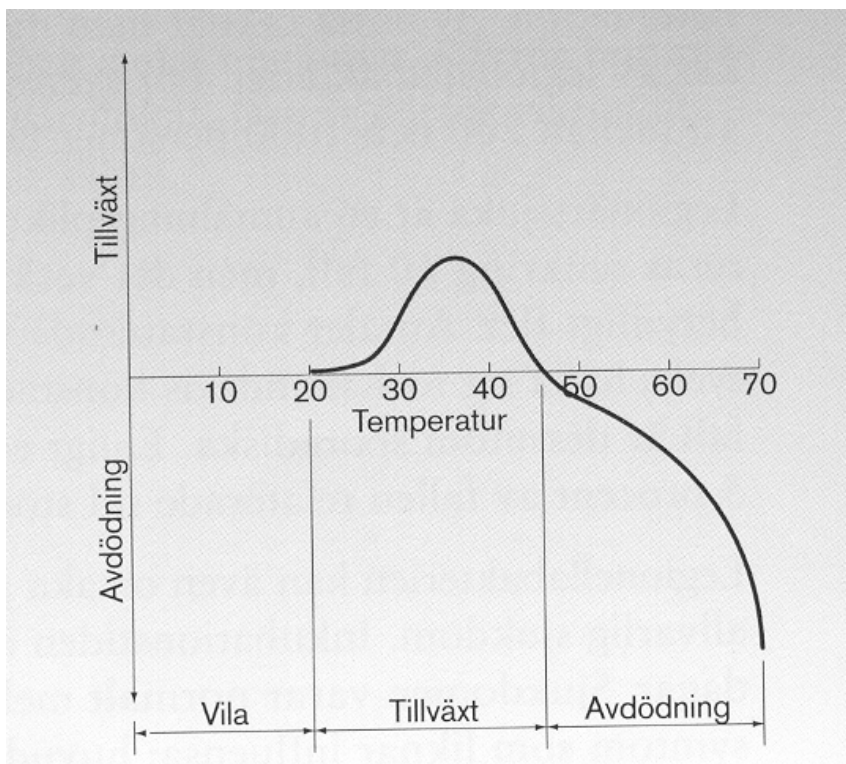
Legionellabakterien finns naturligt i vattendrag och vattensamlingar. Det är många faktorer som påverkar tillväxten av bakterien. Närvaron av vatten, helst stillastående vatten, näringsämnen, syre, mikrobiell biofilm på någon yta, ett pH-värde mellan 5,5 och 9,2 samt lämplig temperatur, idealt mellan 35 – 40°C, ger goda förutsättningar för tillväxt hos legionellabakterien.

I ett industriellt kyltorn kan många av dessa faktorer vara uppfyllda. Risken för spridning av legionella är i det fallet stor om driften av kyltornet inte inbegriper en effektiv vattenbehandling med bakteriedödande effekter.



I ett kyltorn som är avsett för att kyla en byggnad med vattenburna rumskylare, t.ex. kylbafflar, kommer temperaturen i köldbärarsystemet att ligga mellan 15 – 20°C. Vid dessa systemtemperaturer i ett kyltorn kommer legionellabakterierna att befinna sig i ett vilande stadium, d.v.s. de förökar sig inte.

Sambandet mellan legionellabakteriens tillväxt resp. avdödning och dess omgivningstemperatur kan ses i figur 5.1. Under 20°C varken dör eller förökar sig legionellabakterien.



**Figur 5.1** Samband mellan tillväxt/avdödning och temperatur för legionellabakterien (Stålbom and Kling, 2002).

Mot bakgrund av de förhållanden som ett kyltorn kopplat till en byggnads komfortkylsystem arbetar under, d.v.s. systemtemperaturer mellan 15 – 20 °C, måste risken för spridning av legionella anses som mycket liten. Med tanke på dessa temperaturförhållandena bör risken för legionellaspridning ligga i nivå eller under den för publika fontäner utomhus. De enstaka rapporter där fontäner har varit misstänkta källor till legionellautbrott har handlat om fontäner inomhus där vattnet blivit oavsiktligt uppvärmt (av t.ex. undervattensbelysning) och där man samtidigt brutit i underhåll och vattenbehandling. Utomhusplacerade fontäner har till dags dato inte blivit knutna till spridning av legionella.

Även om risken för legionella är mycket liten bör cirkulerande vatten i en evaporativ kylare behandlas för att döda bakterier och bioaktiva ämnen för att försvåra tillväxt av t.ex. bakterier och alger i allmänhet då dessa bildar beläggningar som minskar värmeöverföringen. Behandling av vattnet görs också för att minska risken för korrosion

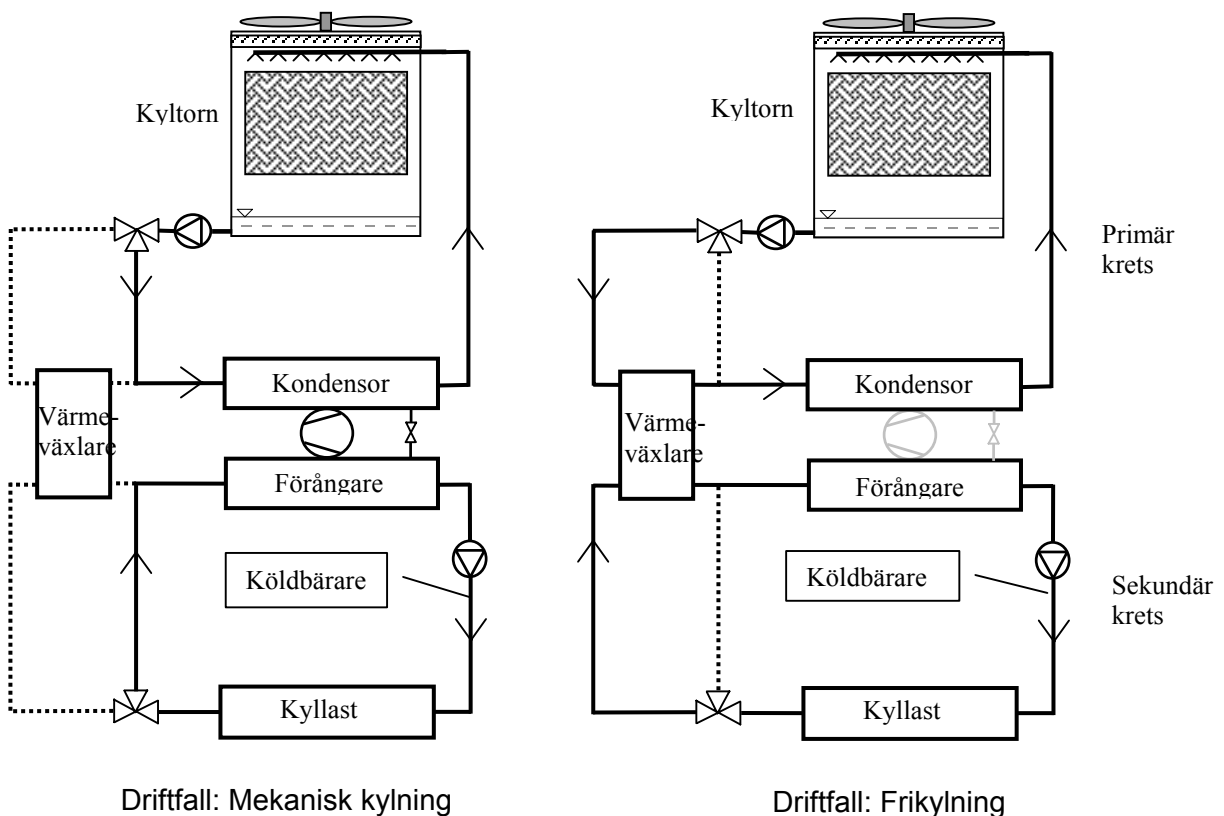
och avlagringar av t.ex. kalk. Vattenbehandlingen syftar alltså främst till att hålla systemet rent från påväxning och avlagringar för att kunna bibehålla god värmeöverföring.

## 6. System med frikyla från kyltorn

### 6.1 Introduktion

Principiellt kan ett komfortkylsystem med frikylning från kyltorn antingen utföras med enbart ett kyltorn som ensam kylkälla eller kombineras med en kylmaskin. Komplettering med en kylmaskin i systemet kan göras för att försäkra sig om tillräcklig kyleffekt oavsett uteluftens tillstånd (temperatur och luftfuktighet) eller om det ställs höga krav på inomhusklimatet, d.v.s. stränga krav på maxtemperaturen inomhus.

I forskningsarbetet, Bergsten (2004), redovisas de olika tekniskt möjliga sätt som finns att bygga upp ett kylsystem med kylmaskin och kyltorn för att kunna utnyttja frikyla från kyltornet. Det sätt att konfigurera ett komfortkylsystem som ger störst möjlighet till frikylning är genom seriekoppling av frikylningsfunktionen (värmeväxlare) och kylmaskinen, se figur 6.1.



**Figur 6.1** Principschema för kylsystem med frikylning via ett gemensamt kyltorn. Streckade linjer anger ledning utan flöde och grå linjer eller objekt indikerar drift/användning vid behov. Observera att principschemaet avsiktligt gjorts förenklat för bättre översikt.

Kyltornet i figur 6.1 är ritat som ett öppet kyltorn men kan naturligtvis också vara ett kyltorn med slutet system.

Nedan förklaras några begrepp som förekommer i denna rapport. Vissa av dessa begrepp ligger nära varandra och det är därför väsentligt att förstå eventuella skillnader.

- Evaporativ kylning En kylprincip som inbegriper att ett medium kyls genom förångning av mediet självt eller via en annan vätska (sprayvatten) till omgivande luft. Genom att utnyttja förångning kan stora mängder värme överföras. Kylningen kan normalt ske till en temperatur som ligger under luftens (torra) temperatur. Den undre temperaturgränsen för evaporativ kylning utgörs av luftens våta temperatur.
- Våt temperatur Den temperatur en våt yta/kropp erhåller vid termisk jämvikt då luft passerar ytan/kroppen. Den våta temperaturen är lägre (normalt ca 1 – 10°C) än den torra och bestäms av luftens torra temperatur och dess luftfuktighet
- Kyltorn Anordning för kylning av vätska via evaporativ (våt) kylning mot uteluft. Beskrivs allmänt i kapitel 4.
- Kylmedelskylare Anordning för kylning av vätska genom kylning mot uteluft, vanligtvis i kylmedelskrets för kylning av kondensorvärme från kylmaskin. Kylningen sker oftast utan vätning av kylaren, s.k. torr kylning mot uteluft
- Uteluftkylare I huvudsak ungefär samma sak som en kylmedelskylare men mer ett generellt begrepp för vilken typ av värmeväxlare med fläkt som koler en vätska mot uteluften. Värmeöverföringen är alltid s.k. torr kylning.
- Frikylare Kylare, med våt eller torr kylning, som har som funktion att helt eller delvis ersätta maskinell kylning. I denna rapport benämns den aktuella kylaren i pilotanläggningen som frikylare i stället för kyltorn, då den aktuella kylaren är av typ evaporativ kylmedelskylare

## 6.2 Dimensioneringsprinciper för frikylsystem med kyltorn

I nuläget finns inga vedertagna principer för dimensionering av kyltorn för frikyla till komfortkylsystem. Tills vidare får de dimensioneringsprinciper som finns för kyltorn i allmänhet gälla även för den applikationen som avses i denna rapport. När det gäller kyltornet eftersträvas ett lågt värde på *Approach*-temperaturen (se figur 4.2) för att kunna erhålla ett tillräckligt lågt värde på temperaturen i köldbärarsystemet. Den ekonomiska gränsen för dimensionerande approach i ett kyltorn brukar anges till mellan 3 – 4°C och ett passande värde borde vara ca. 4°C för att inte kyltornet skall bli onödigt stort och kostsamt men samtidigt kunna kyla köldbäraren tillräckligt bra. Lämpligt värde på *Range*-temperaturen (se figur 4.2) i primärkretsen kan vara i storleksordningen lika som temperaturdifferensen i sekundärkretsen, köldbärarkretsen, d.v.s. typiskt mellan 3 –4°C.

Dimensionerande tillståndet för den omgivande luften kan definieras i ett enda värde; luftens våta temperatur. En sammanställning av dimensionerande våt temperatur för ett antal nordiska orter enligt ASHRAE (2005) redovisas i tabell 6.1. Temperaturen som redovisas är den temperatur som statistiskt överskrids under 0,4% av ett år (ca. 35 h/år).

Ort	Dimensionerande våt temperatur (ASHRAE 0,4%)	Samtidig torr temperatur (ASHRAE 0,4%)
Kiruna	14,7	18,8
Umeå	17,8	21,3
Sundsvall	17,8	21,3
Östersund	16,2	21,0
Stockholm/Bromma	19,1	23,9
Karlstad	19,2	23,3
Linköping	18,7	23,9
Göteborg/Säve	19,1	23,0
Jönköping/flpl	17,9	23,4
Kalmar	19,1	24,4
Malmö	19,3	23,3
Köpenhamn	19,2	23,5
Oslo/Fornebu	19,2	24,0
Helsingfors	18,9	23,9

**Tabell 6.1** Dimensionerande våt temperatur för ett antal svenska och nordiska orter enligt ASHRAE (0,4%)

Kyltornets dimensionerande kyleffekt, vid de dimensionerande parametrar som angivits ovan, kan lämpligtvis utgöras av den totalt installerade kyleffekten i komfortkylsystemet. Eventuellt kan den sammanlagda installerade kyleffekten i komfortkylsystemet multipliceras med en sammanlagringsfaktor (normalt mellan 0,6 – 0,9) för att ta hänsyn till att alla installerade komponenter med stor sannolikhet inte erfordrar max kyleffekt vid samma tidpunkt.

Sammanfattningsvis är det i huvudsak följande faktorer som påverkar storleken, och därmed priset för ett kyltorn:

1. *Approach*-temperaturen i primärkretsen
2. *Range*-temperaturen i primärkretsen
3. Dimensionerande våt temperatur i omgivande luft
4. Dimensionerande kyleffekt (vid parametrarna i pkt. 1 – 3 ovan)

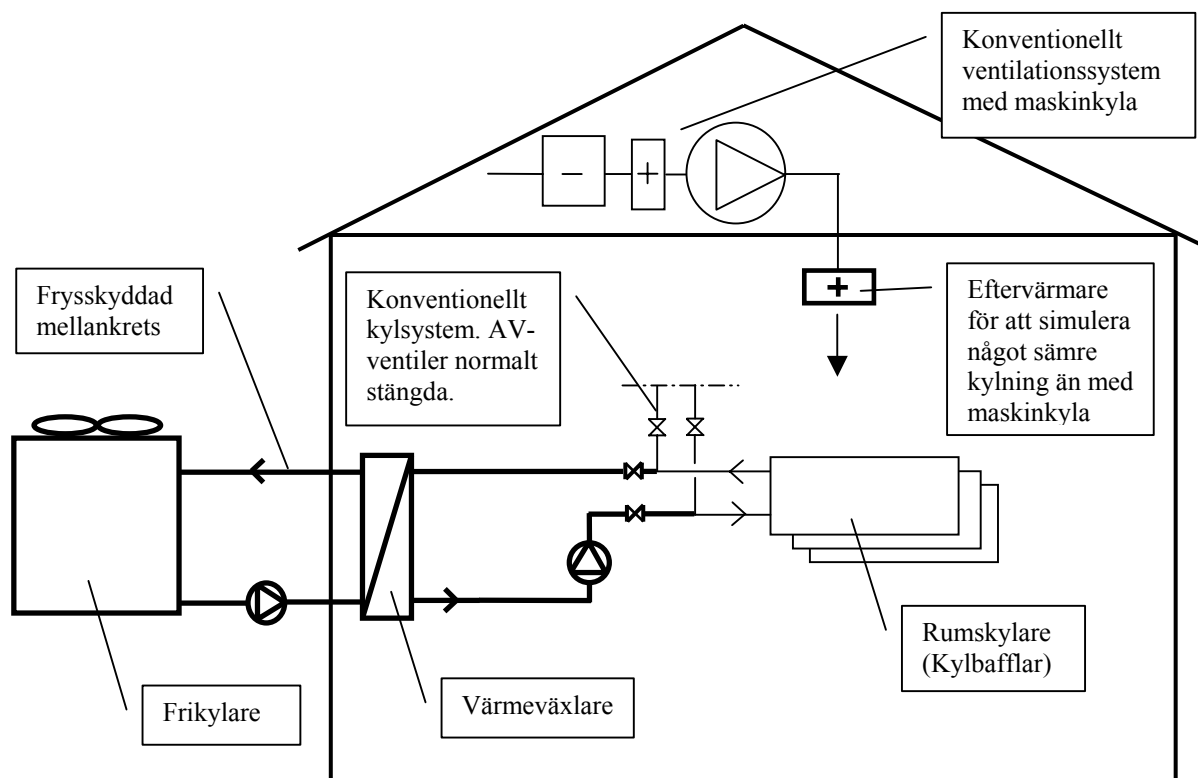
När det gäller komponenterna i komfortkylsystemet, t.ex. kylbafflar, kyltak, induktionsapparater, fancoils etc., så kan de i stort sett dimensioneras på sedvanligt sätt. Det innebär att dimensionerande värde på temperaturdifferensen mellan rumsluften och medeltemperaturen i köldbäraren,  $\Delta T_m$ , kan vara typiskt mellan 7 – 9°C och dimensionerande temperaturdifferens mellan tillopp och retur i köldbäraren är typiskt

mellan 3 – 4°C. Dimensionerande kyleffekt för respektive rum eller zon i byggnaden kan antingen beräknas med ett datorprogram (t.ex. TeknoSim eller IDA) eller så används schablonvärden, t.ex. 50W/m<sup>2</sup>.

För att ett komfortkylsystem med kyltorn skall tillgodose en byggnads behov av tillräcklig kyleffekt behövs alltså *inte* att kylbafflar eller liknande apparater görs större (och därmed dyrare) än normalt. Emellertid tillämpar några fastighetsföretag, bl.a. Skanska fastigheter, numera en annan dimensioneringspolicy än normalt. De använder en  $\Delta T_m$  på mellan 3 – 5°C, vilket medför att kylbafflarna i ett rum blir större. Däremot erfordras ingen separat temperaturstyrning då bafflarnas kyleffekt går mot noll då rumstemperaturen närmar sig ca 21 – 23°C, d.v.s. de är i princip självreglerande. På det hela taget blir investeringskostnaden för en sådan dimensioneringspolicy inte högre än det traditionella sättet att dimensionera. En trevlig effekt av detta sätt att dimensionera är att möjligheten att utnyttja frikyla via t.ex. ett kyltorn blir ännu större.

## 6.2 Pilotanläggningen

Pilotanläggningen projekterades och uppfördes under 2006 och mätningar genomfördes under sommarhalvåret 2007. Projekteringen genomfördes av ÅF-konsult i samråd med representant från Vasakronan och projektledare Bengt Bergsten. Frikylanläggningen placerades vid Vasakronans fastighet vid Kvarnberget i Göteborg (gamla Sjöbefälsskolan). I figur 6.2 redovisas ett systemschema som visar systemets uppbyggnad.



**Figur 6.2** Förenklat principalschema över pilotanläggningen vid Kvarnberget, Göteborg. Tunna linjer anger befintligt system.



Systemet är inkopplat på ett befintligt köldbärarsystem med kylbafflar i ett plan i en del av byggnaden. Försörjningen från det befintliga komfortkylsystemet behålls men hålls frånkopplat med tvåläges avstängningsventiler och används endast som reservkyla om inomhustemperaturen skulle bli för hög eller om frikylsystemet har driftstörningar.

Eftervärmaren på tilluften till det plan som kyls av pilotanläggningen skall simulera att kylningen av tilluften sker via pilotanläggningen. Tilluften kyls i det befintliga ventilationsaggregatet med konventionell kylmaskin. Kylningen av tilluften via ett evaporativt frikylsystem skulle medföra en högre tilluftstemperatur och är dessutom beroende av utlufttillståndet. Eftervärmaren styrs på ett sätt som skall efterlikna hur tilluftstemperaturen skulle vara om pilotanläggningen skulle kyla tilluften.

Kyltornet i systemet är inte ett kyltorn i traditionell mening utan en utluftkylare, s.k. kylmedelskylare som normalt används för att kyla bort kondensorvärme i kompressorkylsystem, se figur 6.3. Utluftkylaren är försedd med en dysanordning för spray-vätning av värmeväxlarpaketet och får då funktionen av ett traditionellt evaporativt kyltorn. Vätning sker med färskvatten (stadsvatten) och därigenom finns ingen risk för tillväxt av bakterier i sprayvattnet. I fortsättningen kallas kylmedelskylaren inte för kyltorn i denna rapport, för att undvika misstag och förväxling, utan benämns istället frikylare.



**Figur 6.3** Frikylaren i pilotanläggningen. En traditionell kylmedelskylare med dysanordning för spray-vätning av värmeväxlarpaketet

Orsaken till att denna typ av kylare valdes i stället för ett traditionellt kyltorn är dels kostnadsrelaterat och dels utbudsrelaterat. Kostnaden för en kylmedelskylare är lägre än för motsvarande effektstorlek hos ett kyltorn (ett slutet kyltorn se figur 4.1). Utbudet av slutna kyltorn med den kyleffekt som erfordras i detta fallet ( $< 20\text{kW}$ ) är näst intill

obefintligt då den dominerande marknaden utgörs av kraftverk och industrier. Det senare skälet var i stort sett avgörande för att en kylmedelskylare valdes i stället i detta fallet. Kylmedelskylare utan sprayvattning används i en del fall som frikylare i konventionella komfortkylsystem. Av den anledningen är det också intressant att analysera en etablerad produkt på marknaden för att se dess funktion och prestanda, både utan och med sprayvattning.

Detaljerade data om pilotanläggningen redovisas i bilaga 1.

Frikylaren i figur 6.2 kyler en primärkrets innehållande glykollösning (40%) för frysskydd, och möjliggör drift vid utetemperaturer under 0°C. Primärkretsen kyler i sin tur en sekundärkrets, köldbärarkrets, via en plattvärmväxlare. Plattvärmväxlaren dimensionerades för en approach/grädigkeits på 1°C och en temperaturdifferens på 3°C i såväl primär- som sekundärkretsen. I sekundärkretsen finns befintliga kylbafflar installerade. Kylbafflarna är dimensionerade för en  $\Delta T_m$  på 8°C och en kyleffekt på 50 W/m<sup>2</sup> golvarea.

Cirkulationen i primär- respektive sekundärkrets upprätthålls av varvtalsstyrda cirkulationspumpar.

Styrsystemet försöker konstanthålla framledningstemperaturen i sekundärkretsen, d.v.s. köldbärarkretsen. Konstanthållningen åstadkoms genom en sekventiell styrning där, vid ökande kylbehov, cirkulationspumpen i primärkretsen varvas först upp, därefter varvas fläktarna i frikylaren upp och sist släpps sprayvattnet på. I styrsystemet finns också en funktion som kopplar ifrån frikylsystemet och istället aktiverar konventionell maskinkyla om inomhustemperaturen överstiger 25°C. Denna funktion infördes genom direkt önskemål från både Vasakronan och hyresgästen ÅF-konsult.

Byggnaden som rymmer kontorsdelen där pilotanläggningen kopplades in är uppförd under 1970-talet med motsvarande byggnadstekniska standard. Kontorsdelen som pilotanläggningen förser med frikyla är på ca 450 m<sup>2</sup> med en fasad som vetter mot sydost. Personbelastningen är nominellt ca. 14 m<sup>2</sup>/person och vid normal beläggning i storleksordningen 16 – 20 m<sup>2</sup>/person. Installerad eleffekt för belysningen är ca. 15 W/m<sup>2</sup>. Det finns inga yttre solskydd för fönstren i fasaden.

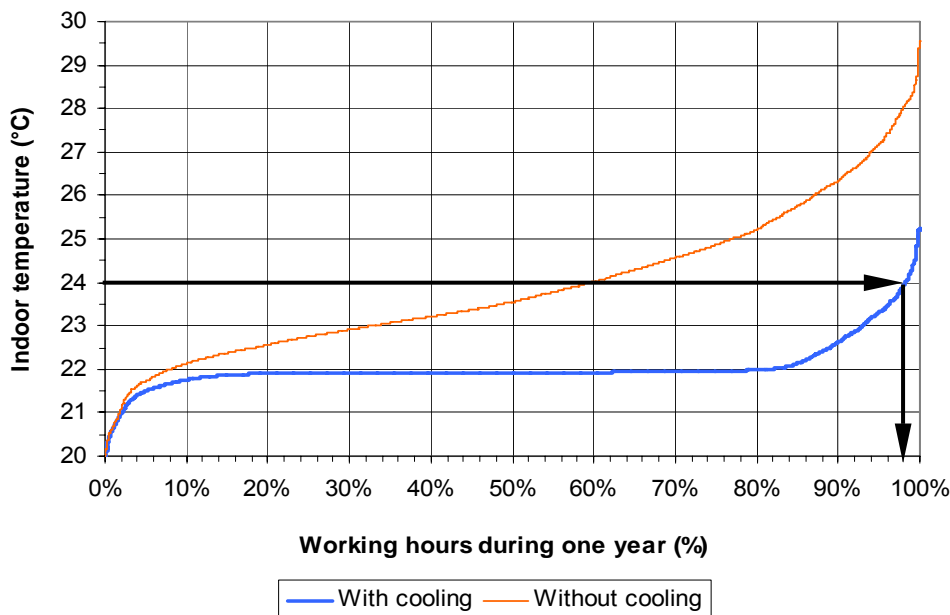
## 7. Resultat

### 7.1 Resultat från simuleringar

Simuleringarna gjordes under 2002 – 2003 och avsåg en tänkt kontorsbyggnad med ett vattenburet komfortkylsystem anslutet till ett evaporativt kyltorn. Byggnad och system modellerades i byggnadssimuleringsprogrammet IDA ICE v 3.0. Det simulerade systemet har stora likheter med systemet i Pilotanläggningen men de två systemen med tillhörande byggnader har dock inte exakt samma förutsättningar bl.a. vad gäller installerad kyleffekt, styr- och reglersystem, samt internvärmegenring.

Simuleringarna avsåg ett utomhusförlagt slutet kyltorn kopplat på samma sätt som i figur 6.2. Det simulerade frikylsystemet var dock inte anslutet på något sätt till en konventionell kylmaskin utan det anslutna kyltornet utgjorde den enda kylkällan i

systemet. Byggnaden och den antagna verksamheten i den antogs till så normala värden som möjligt, d.v.s. byggnaden var tekniskt sett i 70-talsstandard och i varje kontorsrum fanns en person, en dator och normal belysningsnivå samt ett normalt dimensionerat vattenburet komfortkylsystem. Byggnaden var placerad i London och hade klimatdata för London Gatwick (flygplatsen) som ett medelklimat för norra Europa. Klimatet, vad avser den dimensionerande våta temperaturen (ASHRAE, 2005), i London Gatwick är ca 0,5°C högre än i Göteborg. Det innebär att London-klimatet är något varmare och fuktigare, d.v.s. något svårare för ett kyltorn att kyla en byggnad, än i Göteborg. För mer detaljer om förutsättningarna för simuleringarna hänvisas till Bergsten (2004).

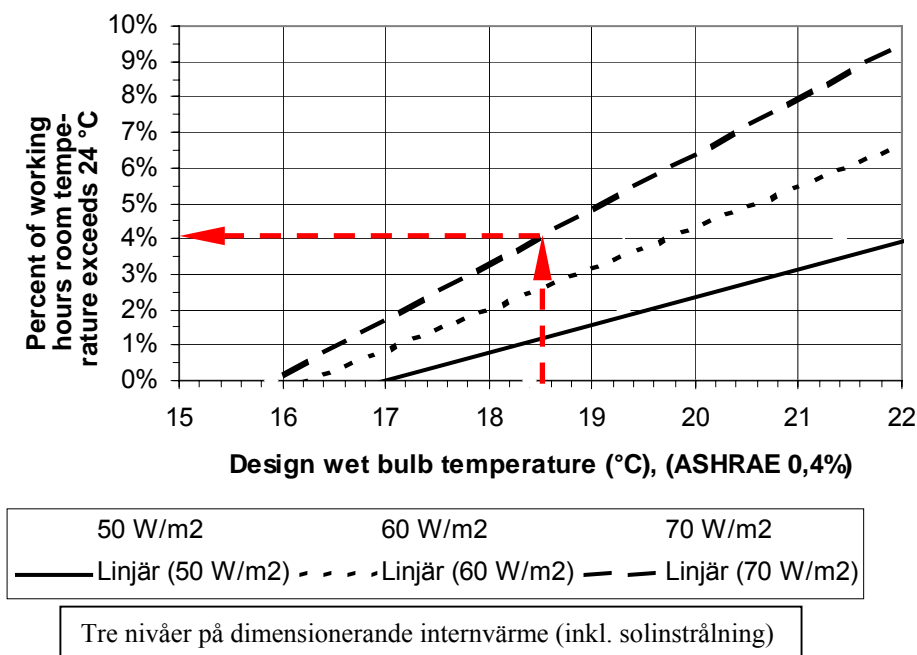


**Figur 7.1** Varaktigheten för inomhustemperaturen under arbetstid, hela året. Den mörka (undre) linjen är med frikylsystemet aktiverat och den ljusa (övre) linjen är utan någon komfortkyla aktiverad. Diagrammet avser resultat från simuleringar (Bergsten, 2005)

Figur 7.1 visar varaktigheten för inomhustemperaturen under arbetstid, hela året. Den tjockare linjen är med frikylsystemet aktiverat och den tunnare linjen är utan någon komfortkyla aktiverad. Inomhustemperaturer över 24°C inträffar endast ca 2% av arbetstiden under ett helt år och den maximala temperaturen blir strax över 25°C.

Figur 7.2 redovisar antal procent som inomhustemperaturen överskrider 24°C vid olika värden på dels dimensionerande våt temperatur, dels dimensionerande internvärme inklusive solinstrålning. Den dimensionerande våta temperaturen kan sägas representera olika orter med olika klimat. Dessa olika orters klimat definieras alltså utifrån den dimensionerande våta temperaturen. Den dimensionerade våta temperaturen avsätts på x-axeln i diagrammet. De tre linjerna i diagrammet representerar olika nivåer på den dimensionerande internvärmeeffekten, inklusive solinstrålning, uttryckt i  $W/m^2$  golvarea.





**Figur 7.2** Antal procent som inomhustemperaturen överskrider 24°C vid olika värden på dels dimensionerande våt temperatur, dels dimensionerande internvärme inklusive solinstrålning.

Exempel: Utgående från en dimensionerande våt temperatur på t.ex. 18,5°C följer man den streckade (röda) pilen uppåt till den översta streckade linjen som motsvarar en dimensionerande internvärmenivå på 70 W/m<sup>2</sup>. Därefter kan man avläsa siffran 4% på y-axeln, vilket innebär att rumstemperaturen 24°C kommer att överskridas under 4% av årets arbetstid om byggnaden, med dess förutsättningar, placeras i ett klimat som har en dimensionerande våt temperatur på 18,5°C och en dimensionerande internvärmeeffekt, inklusive solinstrålning, på 70 W/m<sup>2</sup>.

När det gäller hur energieffektivt det undersökta systemet är, ger simuleringarna att ett kyltorn inklusive köldbärarsystemet har en COP-faktor (kylfaktor) som varierar med ett antal faktorer, främst kyllasten och uteklimatet inom ett stort intervall. COP är lägst sommartid, mellan ca 1 – 10, och betydligt högre, från ca 10 och långt uppåt, när utetemperaturen går under 10 – 15°C. Det årliga medelkylfaktorn, SPF, var ca 7, dvs. årlig bortkyld energi dividerad med årlig elenergi för att driva systemet. SPF-talet kan dock ytterligare förbättras genom att konstruera kyltorn med låga tryckfall och energieffektiva fläktar och pumpar.

Sammanfattningsvis kan man konstatera resultaten från simuleringarna indikerar att rumsklimatet i ett normalt kontor med tämligen normala interna värmelaster, inklusive solinstrålning, kan hållas inom rimliga gränser med ett vattenburet komfortkylsystem som enbart försörjs med ett evaporativt kyltorn. Detta gäller för utomhusklimat som omfattar större delen av norra Europa. Systemet är betydligt mer energieffektivt än ett konventionellt system.

## 7.2 Resultat från mätningar

Mätningar av pilotanläggningen genomfördes under sommaren 2007. De punkter som har mätts är följande:

### Utomhus:

- Lufttemperatur (1 punkt)
- Relativ fuktighet (1 punkt)
- Solinstrålning (1 punkt, mätning av både direkt och diffus strålning)

### Inomhus:

- Lufttemperatur (3 punkter)
- Relativ fuktighet (1 punkt)
- Temperaturgradient i rum (3 punkter)
- Elanvändning i kontor (1 punkt i el-centralen)
- Temperatur i köldbärare (2 punkter, tillopp och retur)
- Flöde i köldbärare (1 punkt)

### Frikylsystemet:

- Vätsketemperaturer (4 punkter i primär- och sekundärkrets)
- Vätskeflöden (3 punkter, primär- och sekundärkrets samt sprayvatten)
- Kyleffekter (2 punkter, primär- och sekundärkrets)
- Elanvändning i pumpar och fläktar (3 punkter, fläktar i frikylare samt pump i primär- respektive sekundärkrets)

Varje mätpunkt har loggats var 10:e minut och därefter har timmedelvärden skapats. I redovisningen i denna rapport visas timmedelvärden. Mer information om mätsystemet redovisas i bilaga 2

### 7.2.1 Utomhusklimat

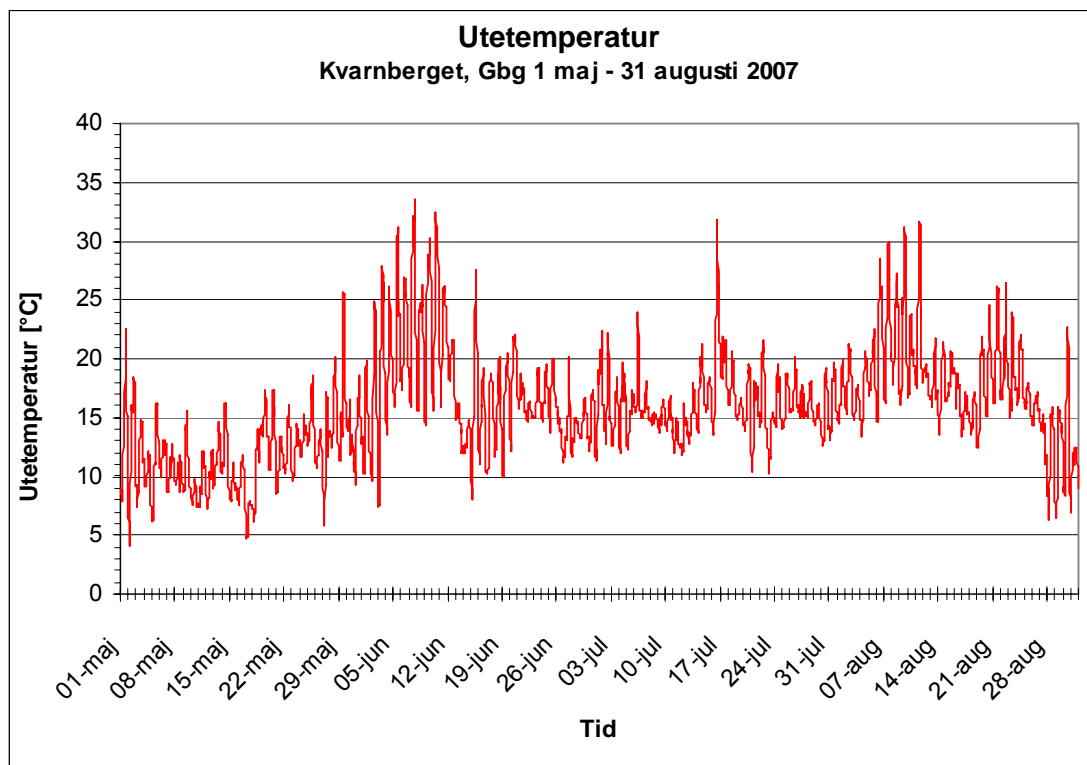
Utomhusklimatet under sommarperioden, 1 maj – 31 augusti, 2007 uppfattades av de flesta inte som normalt. Under en tämligen stor del av denna period var klimatet svalare och molnigare än vad som anses som normalt. Vad som är normalt väder är emellertid inte självklart. Om den uppmätta utetemperaturens medelvärde för respektive månad jämförs med normalvärden för Göteborg från SMHI gällande perioden 1961-1990 så är skillnaderna ganska små för hela perioden maj – augusti, se tabell 7.1 .

I tabellen (7.1) är de uppmätta värdena mellan några tiondelar upp till två grader högre månadsmedeltemperatur än normalvärdena för maj, juni och augusti. I juli ligger uppmätta värden en grad under i månadsmedeltemperatur. För hela perioden maj till och med augusti ligger medelvärdet av de uppmätta värdena 0,7°C över det normala medelvärdet. I kontrast till normaltemperaturerna från SMHI mellan 1961 – 1990, står den period av varma eller relativt varma somrar som förekommit i Sverige från andra halvan av 1990-talet fram till nu. Här finns inga officiella siffror men de flesta människor betraktar nog sommarperioden 2007 som svalare än normalt och relaterar då till den period på ca 10 år som finns närmast i minnet.

**Tabell 7.1** Jämförelse mellan månadsmedelvärden på mätta utetemperaturer och normalvärden (Göteborg, 1961 – 1990 SMHI)

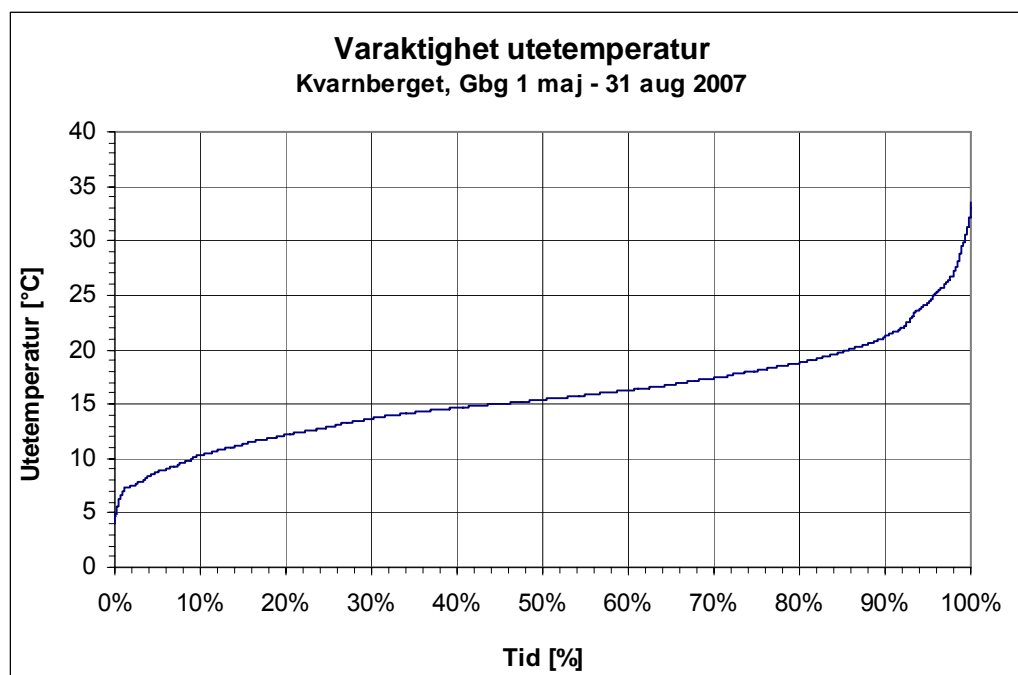
Period	Månadsmedelvärden utetemperatur	
	Mätta värden, Kvarnberget Gbg	Normalvärden, Göteborg (1961-1990) SMHI
Maj	11,8	11,5
Juni	17,6	15,6
Juli	16,0	17,0
Augusti	17,6	16,2
<b>Maj - Aug</b>	<b>15,8</b>	<b>15,1</b>

I figur 7.3 redovisas utetemperaturen under perioden 1 maj - 31 augusti, 2007. Under cirka en vecka i början av juni inträffade sommarens enda egentliga värmebölja med temperaturer över 30°C under flera dagar. I första halvan av augusti inträffade en kortare period av varmt och soligt väder. I övrigt kännetecknas hela perioden av varierande temperaturer mellan 10 – 25°C.



**Figur 7.3** Uppmätt utetemperatur vid Kvarnberget, Göteborg, under perioden 1 maj – 31 augusti, 2007.

I figur 7.4 redovisas varaktigheten av uppmätt utetemperatur på Kvarnberget under maj – augusti. Under ca 85% av tiden var utemperaturen under 20°C.



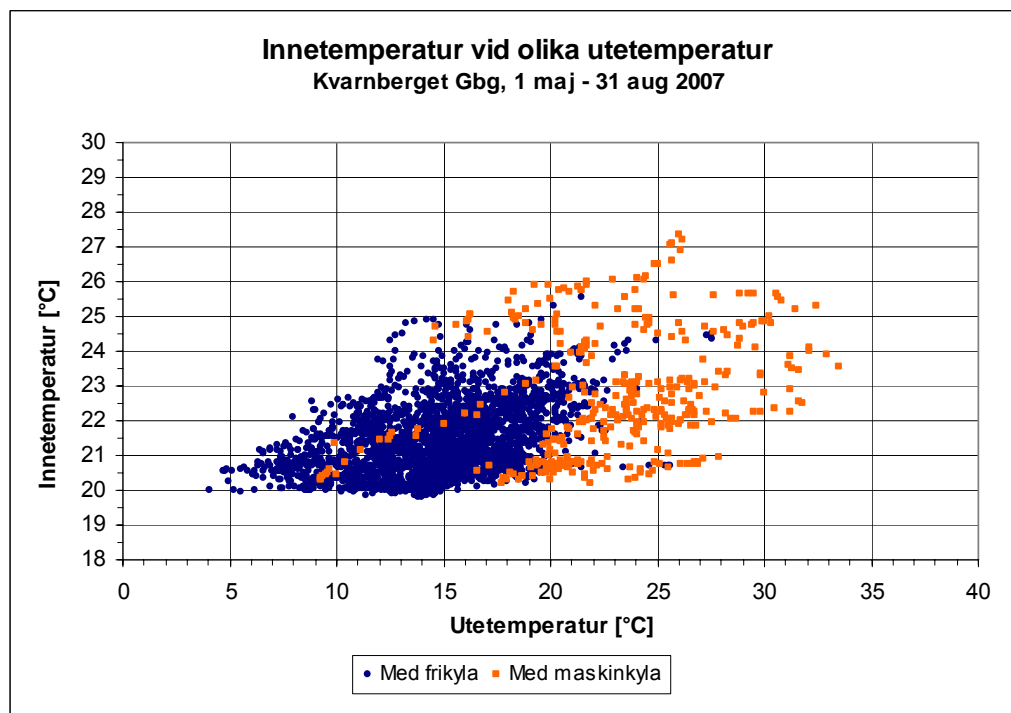
**Figur 7.4** Varaktigheten av uppmätt utetemperatur vid Kvarnberget, Göteborg, under perioden 1 maj – 31 augusti, 2007.

### 7.2.2 Inomhusklimat

Det resulterande inneklimatet beror inte enbart på uteklimatet, i form av temperatur och solstrålning, utan också i hög grad på hur stor den interna värmegenereringen är i form av belysning, apparater och personer. Dessutom beror naturligtvis inneklimatet på hur väl komfortkylsystemet klarar av att transportera bort överskottsvärme för att hålla innetemperaturen på en rimlig nivå.

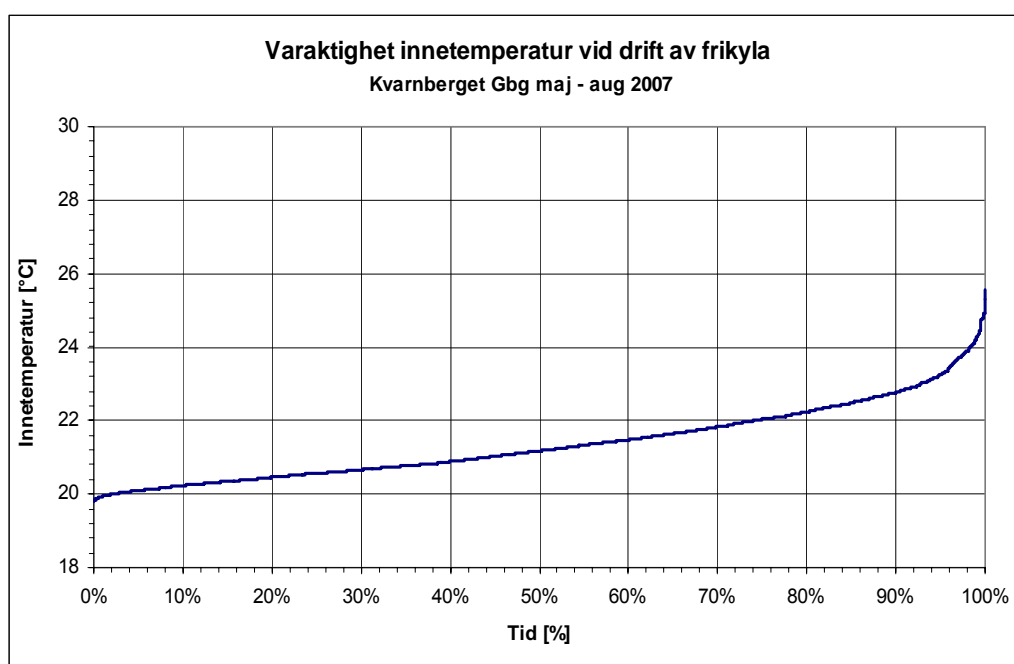
Figur 7.5 redovisar innetemperaturen i relation till utemperaturen. De mörka (blå) punkterna representerar innetemperaturen då frikylsystemet var aktivt. De ljusare (orange) punkterna representerar innetemperatur då det konventionella komfortkylsystemet med maskinkyla var aktivt. Som beskrivits i avsnitt 6.2 *Pilotanläggningen* finns en funktion som kopplar bort frikylsystemet då innetemperaturen överstiger 25°C. Det medför att det inte finns några registrerade innetemperaturer över 25°C då frikylsystemet varit aktivt. Dessutom har frikylsystemet vid några tillfällen haft driftproblem och då har det konventionella komfortkylsystemet kopplat in.

Man kan dock konstatera att frikylsystemet har kunnat hålla inomhustemperaturen under 25° vid utomhustemperaturer upp till 27°C

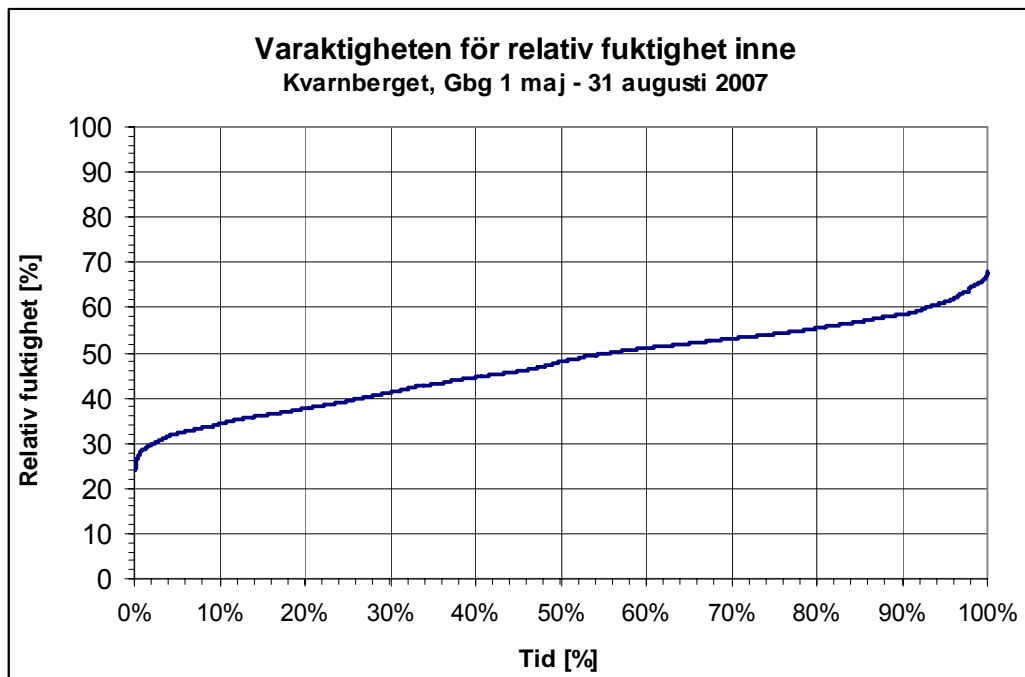


**Figur 7.5** Innetemperaturen i relation till utetemperaturen vid Kvarnberget, Göteborg, under perioden 1 maj – 31 augusti, 2007.

I figur 7.6 redovisas varaktigheten av innetemperaturen vid drift av frikylanläggningen. Frikylanläggningen har varit i drift i 2585 h under perioden 1 maj – 31 augusti, vilket motsvarar 88% av denna period. Tiden 100% i figur 7.6 motsvarar alltså 2585 h.



**Figur 7.6** Varaktighet av innetemperaturen vid drift av frikylanläggningen vid Kvarnberget, Göteborg, under perioden maj – augusti 2007.



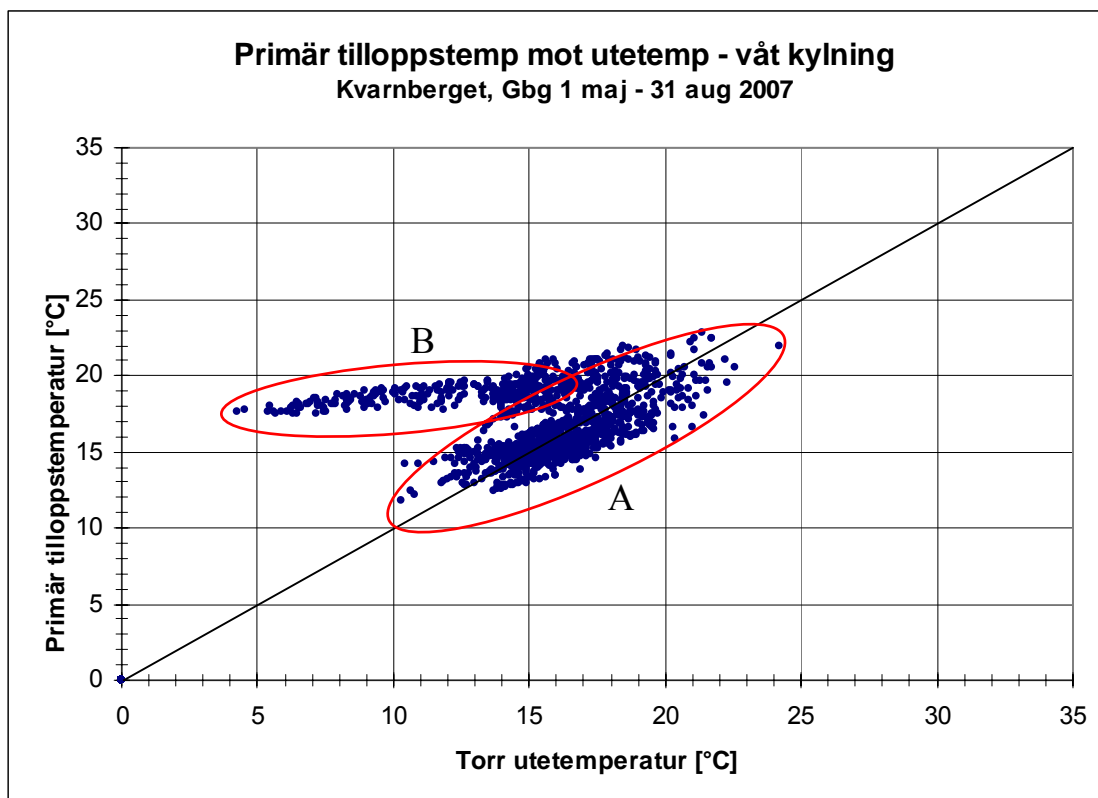
**Figur 7.7** Varaktighet av relativa fuktigheten vid drift av frikylanläggningen vid Kvarnberget, Göteborg, under perioden 1 maj – 31 augusti, 2007.

I figur 7.7 redovisas varaktigheten för relativa fuktigheten inomhus under perioden 1 maj – 31 augusti, 2007. I detta fallet redovisas den relativa fuktigheten för samtliga timmar under perioden 1 maj – 31 augusti, 2007 (totalt 2952 h). Detta för att tilluften till det aktuella kontorsplanet kom från det centrala luftbehandlingsaggregatet där tilluften bl.a. kyls och i viss utsträckning även avfuktas. Den relativa fuktigheten har under perioden legat i stort sett mellan 30 – 70%

## 7.2.3 Frikylsystem

Förutom att undersöka hur inomhusklimatet blir med ett vattenburet frikylsystem med evaporativt kyltorn, är syftet med denna studie även att analysera hur själva frikylaren med tillhörande system fungerat.

Figur 7.8 visar den primära tilloppstemperaturen (PTT) i relation till utetemperaturen. Den primära tilloppstemperaturen är temperaturen i primärkretsen direkt efter passage genom frikylaren. I område A styr frikylsystemet mot ett inställt börvärde på 12°C. Under den perioden var utetemperaturen över 12°C. I A-området finns en spridning i PTT omkring den diagonala linjen som indikerar att PTT är lika med utetemperaturen. De PTTer som ligger ovanför den diagonala linjen, d.v.s. är högre än korresponderande utetemperatur, inträffar till största delen under natt eller tidig morgon då den relativa fuktigheten är nära 100%. De PTTer som ligger under den diagonala linjen, d.v.s. är lägre än korresponderande utetemperatur, inträffar under dagtid då den relativa fuktigheten är en bra bit under 100%. Under dessa förhållanden är den våta temperaturen (som beskrivs under avsnitt 6.1) flera grader under uteluftens torra temperatur och följaktligen är det möjligt att kyla PTT till en temperatur under den (torra) utetemperaturen.



**Figur 7.8** Primär tilloppstemperatur (temperatur från kyltornet) i relation till utetemperaturen vid Kvarnberget, Göteborg, under perioden 1 maj – 31 augusti, 2007.

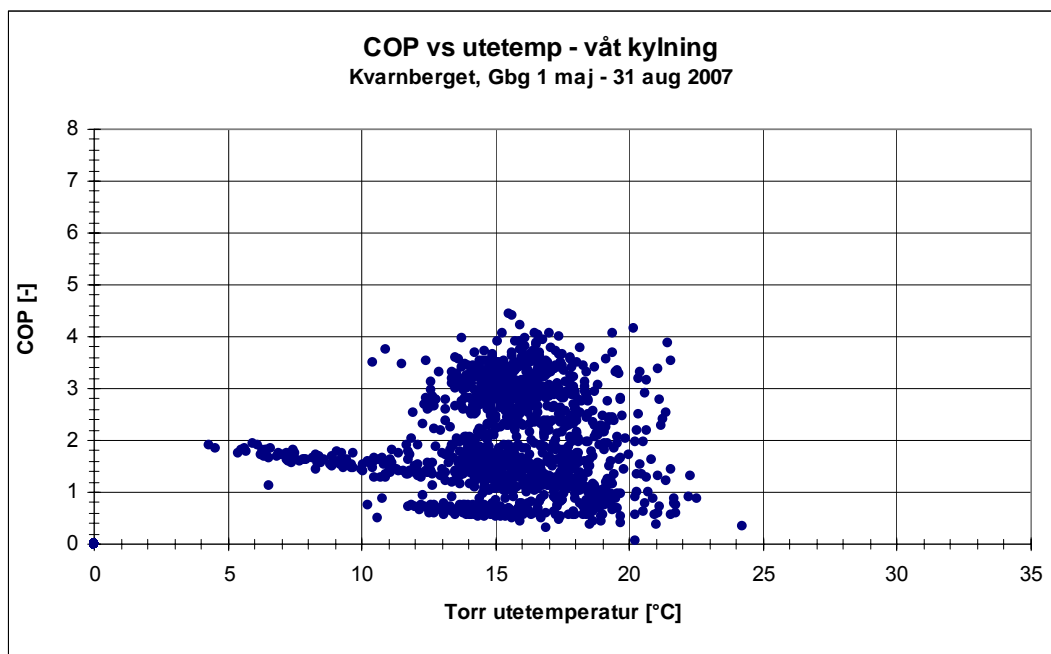
I område B är styrningen av PTT inställd på 17°C för att undersöka frikylaren och dess energianvändning vid ett högre börvärde på PTT.

En viktig faktor att undersöka i frikylsystemet är dess ”verkningsgrad”, d.v.s. hur mycket kyleffekt det kan leverera i förhållande till den energi i form av elektricitet som krävs för att driva systemet. Strikt termodynamiskt betecknas detta tal inte som en verkningsgrad utan som ett godhetstal. Detta godhetstal betecknas vanligtvis som COP (Coefficient of Performance). COP definieras enligt följande:

$$\text{COP} = \frac{\text{Avgiven kyleffekt (kW)}}{\text{Tillförd eleffekt (kW)}}$$

En frikylare är mer energieffektiv ju högre COP den har, d.v.s. ju lägre eleffekt som erfordras för att avge en viss kyleffekt desto bättre. Erforderlig eleffekt vid en given kyleffekt bestäms av tre faktorer, tryckfallet över frikylaren (luftsidan), luftflödet genom frikylarens värmeväxlarbatteri samt fläktarnas och varvtalsstyrningens totalverkningsgrad.

I figur 7.9 redovisas COP för den aktuella frikylaren i relation till utetemperaturen. En orsak till den relativt stora spridningen vid en given utetemperatur är en variation i kyleffektbehovet i kontorsdelen ansluten till frikylsystemet. Det innebär att avgiven kyleffekt från frikylaren varierar relativt mycket samtidigt som tillförd eleffekt i stort sett är konstant, då frikylaren försöker kyla PTT till börvärdet 12°C. Därav den relativt stora variationen i COP.



**Figur 7.9** COP för frikylsystemet i relation till utetemperaturen vid Kvarnberget, Göteborg, under perioden 1 maj – 31 augusti, 2007.

För en evaporativ frikylare varierar COP-värdet inte enbart på grund av variationer i kyleffektbehovet utan COP-värdet blir vanligtvis högre vid lägre utetemperaturer då



inställt börvärde på PTT kan uppnås utan att frikylarens fläktar går för fullt. Vid lägre utomhustemperaturer blir alltså erforderlig tillförd eleffekt lägre samtidigt som kyleffektbehovet kan ligga på högre värden (och naturligtvis variera). I sådana fall kan COP-värdet ligga över 10 och ju kallare det blir öka till långt över 20 – 30.

När det gäller nivån på COP för den aktuella frikylaren är den tämligen låg. Den ligger mestadels av tiden i nivå med eller under COP för en konventionell kylmaskin. Det är dock viktigt att veta att COP-värdet för en evaporativ frikylare varierar över året (med uteluftens våta temperatur). Detta innebär att dess COP är som lägst vid högre utetemperaturer och högre vid lägre utetemperaturer. Det årliga COP-värdet (även kallad SPF, Seasonal Performance Factor) är därför högre än de COP värden som redovisats i figur 7.9. En konventionell kylmaskin för komfortkyla har oftast ett relativt konstant COP över året.

Som tidigare nämnts är frikylaren av typ kylmedelskylare med sprayvattenbefuktning. Den är dock primärt konstruerad för kylning utan sprayvatten, d.v.s. utan evaporativ kylning. Vid sprayning av värmeväxlarpaketet sker detta underifrån och våtning sker ej av hela värmeväxlarytan (flänsar på rör). Dessutom är delningen mellan kylflänsarna endast några millimeter varför vattnet häftar fast i båda flänsarna (pga. ytspänningen). Det medför att luften får svårare att passera mellan flänsarna vilket både påverkar värmeöverföringen och tryckfallet över värmeväxlarpaketet negativt.

Kylmedelskylare är primärt konstruerade för att ha en hög kyleffekt till ett lågt pris, inte till lägsta livscykelkostnad. Av de större tillverkarnas av kylmedelskylare finns ingen, såvitt känt, som redovisar COP-värdet för deras sortiment av kylmedelskylare, vare sig vid torr kylning eller evaporativt läge.

## 8. Slutsatser

Forskningsarbetet, Bergsten (2004), visar att det finns goda förutsättningar att täcka kylbehovet i kontorsbyggnader med kylbaffelsystem försörjda med enbart evaporativ kylning i kyltorn, dvs. helt utan maskinell kylning. Detta skulle göra det möjligt att sänka årsbehovet av elektrisk energi från 10-30 kWh<sub>el</sub>/(m<sup>2</sup> år) ned till i storleksordningen 3-10 kWh<sub>el</sub>/(m<sup>2</sup> år). Systemet är i första hand intressant för nya byggnader genom att både anläggningskostnaden och driftskostnaden blir lägre än för system med konventionell kylmaskin. Det kan emellertid också vara intressant i befintliga kontorshus som ersättning av befintliga kylmaskiner eller vid komplettering med komfortkyla.

De risker för spridning av legionella som förekommit i industriella kyltorn kan inte återfinnas i komfortkylsystem med kyltorn. Tvärtom är risken obefintlig för legionellaspridning vid denna tillämpning av kyltorn. Den främsta orsaken till detta är att detta system arbetar med temperaturer mellan 15 – 20°C i vattnet och vid dessa temperaturer förökar sig inte legionellabakterier.

När det gäller pilotanläggningen och dess förmåga att hålla ett rimligt inomhusklimat kan man konstatera att det har klarat sin uppgift tämligen väl. I figur 7.5 kan man utläsa att innetemperaturen hållits under 25°C vid en utetemperatur upp till drygt 27°C. Som nämnts tidigare har en begränsning lagts in i styr- och reglersystemet på begäran av

fastighetsägaren Vasakronan och hyresgästen ÅF-konsult. Begränsningen innebär att frikylsystemet kopplas bort om innetemperaturen överskrider 25°C och då kopplas det konventionella kylsystemet in. Det har medfört att systemet inte kunnat prövas vid utetemperaturer upp mot 30°C och över. Den tämligen svala sommaren med få perioder av varmt väder har alltså, med denna begränsning i styr- och reglersystemet, inte påverkat utvärderingen nämnvärt.

Frikylsystemets energieffektivitet, i form av COP, har också undersökts. Under den undersökta perioden (1 maj – 31 aug) så har COP-värdet legat på mellan 0,5 – 4,5. En evaporativ frikylare, typ kyltorn eller liknande, uppvisar de lägsta COP-värdena vid höga temperaturer på uteluften, så det är naturligt att de är låga. Emellertid har den undersökta frikylaren väl lågt COP jämfört med publicerade värden för kyltorn, se avsnitt 7.1 *Resultat av simuleringar*. Orsakerna har beskrivits i avsnitt 7.2.3 *Frikylsystemet*, och handlar till största delen om att konstruktionen har optimerats för största kyleffekt till lägsta pris, inte till lägsta livscykelkostnad vilket innebär ett väsentligt lägre eleffektbehov och därmed högre COP-värden.

Frikylsystemet konstruerades och utfördes med standardprodukter som finns på dagens marknad. Exempelvis valdes en standard kylmedelskylare som evaporativt kyltorn i systemet. Mätresultaten visar att det med standardprodukter finns goda möjligheter att hålla ett rimligt inomhusklimat med ett frikylsystem som beskrivits ovan. Emellertid är energieffektiviteten i standardprodukter inte tillfredsställande. Här krävs en teknisk utveckling för att få evaporativa kylare att nå bättre värden på COP.

Ett platsbyggt system med lösa komponenter och specialanpassat styr- och reglersystem kräver både kunskap och erfarenhet av denna typ av frikylsystem hos både beställare och konsulter. Den kunskapen och erfarenheten finns idag i väldigt begränsad omfattning. För att få marknaden att skaffa och installera frikylsystem med evaporativ kylning i högre utsträckning erfordras ytterligare produktutveckling, utöver förbättring av energieffektiviteten (COP), liknande den som t.ex. enhetsaggregat i ventilationsbranschen genomgått. Då handlar det alltså om att utveckla färdiga ”paket” med någon form av evaporativ kyltornslösning med integrerad vattenbehandling och färdigt styr- och reglersystem. Möjlighet att koppla till en modul med kylmaskin för att stötta med maskinkyla måste också finnas för applikationer med hög värmelast alternativt höga inneklimatekrav.

Mot bakgrund av ovanstående resonemang kan följande konstateras

- Att potentialen för besparing av elektrisk energi i kommersiella byggnader med komfortkyla är påtaglig.
- Att systemet har förutsättningar att bli ett starkt alternativ eller komplement till kylmaskiner i såväl Sverige som i norra Europa i övrigt.
- Systemet kan appliceras både vid ny- och ombyggnation.
- Frikylsystem med dagens standardprodukter har inte tillfredsställande energieffektivitet (för lågt COP)
- Det krävs produktutveckling av evaporativa frikylsystem. En utveckling mot enhetsaggregat med någon form av evaporativ kyltornslösning med integrerad vattenbehandling och färdigt styr- och reglersystem är nödvändig för att öka möjligheterna till större utbredning på marknaden.

## Litteratur

**Aronsson S., Bergsten B. (2001)**, *Energieffektivisering i komfortkylsystem*, EFFEKTIV Rapport 2001:06, 2001, ISBN 91-7848-876-1

**ASHRAE (2005)**, *2005 ASHRAE Handbook – Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), Atlanta USA, 2005.

**Bergsten B. (2004)**, *Free Cooling in Commercial Buildings – Application with Evaporative Cooling Tower and Chilled Beams*, Avd. för Installationsteknik, Institutionen för Byggnadsteknologi, Chalmers Tekniska Högskola, 2004. Dokument D2004:05

**Stegvis Stil (2005)**, *Förbättrad energistatistik för lokaler – ”Stegvis STIL” Rapport för år 1*, Energimyndigheten, 2005

**Stålbom G., Kling R. (2002)**, *Legionella – Risker i VVS-installationer (Legionella – Risks in HVAC systems)*, VVS-Installatörerna, 2002. ISBN 91-631-2265-0

## Bilagor

Bilaga 1 Detaljerade data om pilotanläggningen

Bilaga 2 Mätssystem och förutsättningar

## Bilaga 1      Detaljerade data om pilotanläggningen

### **Värmeväxlare** (mellan frysskyddad primärkrets och köldbärarkrets)

#### **VVX1 Frikyla**

1 st.

Plattvärmeväxlare för frikylning, fabrikat Alfa Laval typ CB76-100E eller likvärdig.

Tillbehör:

1 st. Golvstativ

1 st. Rostfritt uppsamlingskärl med utlopp DN10, av kondens, monteras under VVX.

Dimensionerande data:

Effekt 16,5 kW

konstruktionstryck 10 bar

#### **Varma sidan**

KB1 flöde, vatten 1,3 l/s

Temperatur in/ut 25,6/22,6 °C

Max tryckfall 10 kPa

#### **Kalla sidan Propylen Glykol - 40%**

KYM1 flöde 1,45 l/s

Temperatur in/ut 21,6/24,6°C

Max tryckfall 10 kPa

### **Kyltorn: Evaporativ kylare för kylmedel**

#### **KMK1**

1 st.

Kylmedelskylare, fabrikat Asarums Industrier AB modell XP90-5 460 rpm-15 Vertikal luftriktning. Lamellmaterial Epoxi behandlat.

Data:

Önskad effekt 17 kW

Luftflöde 8,61 m<sup>3</sup>/s

Flöde lufttemp in 23°C 70% RF

Flöde lufttemp ut 21,7°C

Torr lufttemp 20 °C

Vätskeflöde 1,58 l/s prop glykol 40 %

Flöde vätketemp in 24,6°C

Flöde vätsketemp ut 21,6°C

Tryckfall vätska 54 kPa

Dri-Batic flöde 1,35 l/s användn.tid ≈700tim/år

Fläktar 3 st./ 890mm

Motordata 3 230 V 0,34kW 1,64A

Motorer är utrustade med temistorer – avsedda för frekvensstyrning.

Ljudtrycksnivå Lp 42 dB(A), 10 m frittält

## Bilaga 2      Mätssystem och förutsättningar

### Preliminärt mätprogram för pilotanläggning kyltorn – sommaren 2006

Syftet med mätningen under sommaren 2006 är dels att klarlägga hur det termiska inomhusklimatet är i den utvalda byggnaden, ÅF:s kontor vid gamla sjöbefälsskolan, Kvarnberget i Göteborg, dels hur det nya kylsystemet med kyltorn klarar att leverera erforderlig kyla till det befintliga vattenburna komfortkylsystemet. För att kunna i någon mån fastställa hur stora de olika värmelasterna är måste dessa mätas eller uppskattas. Preliminärt mäts inneklimatet i kontorslandskap på första planet där ÅF Installation sitter.

Mätningar i detta system genomförs under sommarmånaderna, ungefär maj – september. Preliminärt skall följande punkter mätas:

#### Uteklimat

**Solinstrålning:** Mätning av total och global diffus solinstrålning. Samplingsintervall 30 sek och medelvärdesbildning av alla värden under 60 minuter före hel timma. Placering på taket av byggnaden. Loggningsutrustning kan placeras i ett förråd intill en större plan takyta.

**(Ute)lufttemperatur:** En givare, placeras på taket. Samplingsintervall 6 minuter och medelvärdesbildning under 60 minuter före hel timma.

**(Ute)luftfuktighet:** En givare, placeras på taket. Samplingsintervall 6 minuter och medelvärdesbildning under 60 minuter före hel timma.

#### Inneklimat

**Flöde:** Flöde mäts i grenledning på köldbärarledning i det plan som skall mätas. Pulser räknas i 15 minuters intervall. Flödesmätare installeras i befintlig köldbärarledning.

**Vätsketemperatur:** Två givare. I köldbärarledningens tillopp respektive retur mäts temperaturen i köldbäraren. Givare placeras i dykficka i rörledning. Dykficka får sannolikt installeras i befintlig köldbärarledning. Samplingsintervall 15 minuter.

**(Rums)lufttemperatur:** Tre givare monterade med en i varje av de rum som kontorslandskapet består av. Givarna placeras mot innervägg på 1,1 meter över golv. Dessutom skall rumstemperaturgradienten mätas i en punkt. Här utnyttjas en av givarna och dessutom mäts lufttemperaturen en decimeter under undertaksnivå samt en decimeter över golvnivå. Samplingsintervall 15 minuter för samtliga mätare.

**(Tilluft)lufttemperatur:** En givare monterad i tilluftskanal. Samplingsintervall 15 minuter.

**(Rums)luftfuktighet:** En givare monteras i ett av kontorslandskapets rum på 1,1m över golv. Samplingsintervall 15 minuter.

**Elenergianvändning:** Eleffekt (aktiv) mäts i undercentral för säkringar för hela planet. Elenergi integreras under 15 minutersintervall och registreras.

## Kyltorn

**Flöde:** En mätare. Flöde mäts i frysskyddad primärkrets. Flödesmätare installeras i samband med installation av kyltornet. Pulser räknas i 15 minuters intervall. Preliminärt har frysskyddskretsen en glykolblandning på ca. 40%

**Vätsketemperatur:** Totalt fyra givare. Två givare i frysskyddad primärkrets i tillopp och retur, monteras i dykfickor. Två givare i (sekundär) köldbärarkrets i tillopp och retur, monteras i dykfickor intill plattvärmeväxlare. Samplingsintervall 15 minuter.

**Elenergianvändning:** Eleffekt (aktiv) mäts för matning av el till kyltornsfläktar samt pump i frysskyddad primärkrets och pump i (sekundär) köldbärarkrets. Elmätare installeras i samband med installation av kyltornet. Elenergi integreras under 15 minutersintervall och registreras.

**Färskvattenflöde:** En mätare. Flöde mäts i färskvattenmatningen till kyltornet. Flödesmätare installeras i samband med installation av kyltornet. Pulser räknas i 15 minuters intervall.

## Givarlista kontorsdel

Givare	Kanal	Beskrivning	Anm	Givare
<b>Analoga givare</b>				
REFRES	A00	Ref. resistans	100 Ohm	
GT01	A01	Rumstemp sydväst	Pt100	rums#1
GT02	A02	Rumstemp mitt, tak	Pt100	rums#4
GT03	A03	Rumstemp mitt, mellan	Pt100	rums#5
GT04	A04	Rumstemp mitt, golv	Pt100	rums#6
GT05	A05	Rumstemp nordost	Pt100	rums#2
GT06	A06	Temp köldbärare, tillopp	Pt100	#309046
GT07	A07	Temp köldbärare, retur	Pt100	#309050
GT08	A08	Temp tilluft	Pt100	kanal#2
GF09	A09	Rel fukt i rum	Vaisala	A
<b>Digitala givare</b>				
EL00	D00	Eleffekt	Ackr elmätare	
FL01	D01	Flöde köldbärare	Krohne	
<b>Beräknade data</b>				
QE00	E00	Kyleffekt	GT06, GT07, FL01	

**Givarlista uteklimat**

Givare	Kanal	Beskrivning	Anm	Givare
<b>Analoga givare</b>				
REFRES	A00	Ref. resistans	100 Ohm	
GTU01	A01	Utetemp	Pt100	
GFU02	A02	Rel fukt	Vaisala	B
GST03	A03	Solinstrålning total	Kipp&Zonen	#850918
GSD04	A04	Solinstrålning, diffus	Kipp&Zonen	#850870

**Digitala givare**

Inga

**Beräknade data**

Inga

**Givarlista kylanläggning**

Givare	Kanal	Beskrivning	Anm	Givare
<b>Analoga givare</b>				
REFRES	A00	Ref. resistans	100 Ohm	
GTK01	A01	T till VVX primär	Pt100	#309045
GTK02	A02	T från VVX primär	Pt100	#309048
GTK03	A03	T till VVX sekundär	Pt100	#309052
GTK04	A04	T från VVX sekundär	Pt100	#309053

**Digitala givare**

FLK01	D00	Flöde köldbärare	Krohne	
FLK02	D01	Flöde färskvatten		
ELK01	D02	El kyltornsfläkt		
ELK02	D03	El pump primärkrets		
ELK03	D04	El pump sekundärkrets		
XK01	D05	Status kylsystem		

**Beräknade data**

QEK00	E00	Kyleffekt primär	A01, A02, D01	
-------	-----	------------------	---------------	--