



Utredning om införande av indirekt evaporativ kyla inom LSFs fastigheter med tappkallvatten som köldmedium

-

Ett alternativ/komplement till konventionell kyla med fjärrkyla eller mekanisk kyla.



0	BAKGRUND	4
1	SAMMANFATTNING	5
1.1	SAMMANFATTNING FRÅN LCC OCH LCA BERÄKNINGAR	7
1.2	SAMMANSTÄLLNING AV INDATA AVSEENDE ENERGIBALANS OCH EKONOMI	10
1.3	FÖRSLAG TILL FÖRÄNDRING AV R20 ANGÅENDE STADSVATTEN FÖR KYLNING	11
2	METOD OCH OMFATTNING	12
3	HÄRLEDNING AV KYLBEHOVET FÖR EN REPRESENTATIV VÅRDAVDELNING	14
3.1	KYLBEHOVETS FÖRHÅLLANDE MOT UTMHUSTEMPERATUREN FÖR EN VANLIG VÅRDAVDELNING	17
3.2	EVAPORATIV KYLFÖRMÅGA VID HÖG RELATIV FUKTIGHET OCH UTE-TEMPERATUR	18
4	STEG 1	23
4.1	STEG 1A	23
4.1.1	Visa faktisk funktion utifrån data från Micasa	23
4.1.2	Mätdata från existerande luftbehandlingsaggregat i Micasa's fastigheter försedda med indirekt evaporativ kyla	27
4.2	STEG 1B	39
4.2.1	Göra justeringar för eventuellt ökat behov av kyld tilluft för LOCUM's normalbehov för vårdlokaler samt hur långt Adconair Pro luftbehandlingsaggregat hade klarat kylningen	39
4.2.2	Analysera relevanta skillnader i faktisk erhållen kylkapacitet för korsströmsväxlare med teoretisk jämförelse för motströmsväxlare med Mollierdiagram för Adconair Pro	41
4.2.3	Simulera på ett befintligt luftbehandlingsaggregat LB07 utrustat med indirekt evaporativ kyla hur elförbrukningen faktiskt förändras i driftlägen då by-pass-funktion tillämpas för frikyla	41
4.2.4	Analysera, förutsatt att dessa är dokumenterade, vattenförbrukningar vid de tidpunkter man använt evaporativ kyla	44
4.2.5	Jämförelser med en alternativ leverantör till Menerga	45
5	STEG 2 PARALLELLA. LCC JÄMFÖRELSE – DÄR NEDANSTÅENDE ALTERNATIV A)-D) JÄMFÖRS MED ETT VÄTSKEKOPPLAT SYSTEM	46
5.1	DATA SOM GRUND FÖR INDATA I BERÄKNINGAR AV FUKTTILLSKOTT I FRÅNLUFTEN VID SIN PASSAGE FRÅN INBLÅSINGSTILLSTÅND TILL FRÅNLUFTSTILLSTÅND I ETT VÅRDRUM	46
5.2	INDATAPARAMETRAR SOM ANVÄNTS I ALLA ENERGIANALYSBERÄKNINGAR	48
5.3	INDATAPARAMETRAR FÖR RESPEKTIVE ALTERNATIV A)-D)	48
5.4	ENERGIKOSTNADER OCH ENERGIPRISUTVECKLINGAR SOM ANVÄNTS I LCC-KALKYLERNA FÖR ATT KUNNA GÖRA JÄMFÖRELSE MELLAN DE OLIKA ALTERNATIVEN	48
5.5	LCA FÖR KYLENERGI OCH VATTENFÖRBRUKNING	49
6	DISKUSSIONER	49
7	SLUTSATSER-REKOMMENDATIONER	52



Förord

Vill rikta ett särskilt tack till Erik Dunkars, LOCUM, för kritiska synpunkter och tillägg samt analyser för genomförandet av denna utredning för att få alla detaljer på plats. Detta har varit mycket berikande och fungerat förträffligt med ett mycket väl fungerande och värdefullt samarbete för genomförandet av denna utredning.



0 Bakgrund

LOCUM AB som förvaltar Stockholms läns landstings fastigheter (SLL) har uppdragit åt punkt R AB att utreda förutsättningarna för alternativa kylsystem till fjärrkyla och mekanisk kyla. Fördjupningar har gjorts för Universitetssjukhuset i Huddinge (KUS Huddinge) i syfte att definiera förutsättningar för och emot praktisk tillämpning av adiabatisk kyla tillämpad i frånluften. Locums behov av allmän komfortkyla har definierats med hjälp av analysverktyget IDA som genomfört energi- och komfortsimuleringar från NKS.

Den adiabatiska tekniken (indirekt evaporativ kyla) bygger på att frånluften befuktas med vattendimma innan den växlas i en rekuperativ högeffektiv värmeväxlare. När luften befuktas kyls den naturligt genom termodynamiska effekter och "kylan" överförs effektivt till tilluftsiden mha. en värmeväxlare.

Utifrån SLLs och Locums högt ställda Miljömål har också teknikens möjligheter att minska CO₂-belastningen i samband med kylning men även värmeåtervinning samt elanvändning till fläktar studerats.

- Kylenergin från evaporativa kylprocesser gynnas i stor utsträckning av BBR och Miljöbyggnadskraven genom att kylenergin frånräknas helt! De hårda kraven för energi leder till att stor andel frikyla behöver eftersträvas. Risker finns annars att suboptimeringar görs med höjda kostnader och alltför avancerade tekniklösningar!

En avgörande fråga för eller emot teknikens tillämpning som utreds är den restriktion kring användandet av stadsvatten i kylprocesser som framgår av LOCUMs tekniska riktlinjer R20 VVS & Kyla angående stadsvatten för kylning. Restriktionen finns av någon anledning trots att de termodynamiska förutsättningarna visar att det finns en stor potential i att utnyttja vattnets fasövergång för kylning. Det är troligtvis så att det krävs en särskrivning för att tydliggöra att restriktionen gäller för DIREKT KYLNING med vatten så som tidigare tillämpats för datahallar etc (och nu implementeras som en av flera reservlösningar i syfte att höja redundans).

Denna rapport ska därför ge svar på om tekniken ska rekommenderas eller förkastas genom att:

- utreda den evaporativa tekniken
- följa upp faktiska anläggningar i drift
- jämföra effektivitet, ekonomi och miljönyckeltal



1 Sammanfattning

Studier på ett antal Menerga Adsolairaggregat installerade inom MICASAs fastighetsbestånd har utförts utifrån flera aspekter.

Teoretiska kontrollräkningar med Mollierdiagram har även gjorts dels för de installerade systemen dels baserade på Locums flöden och kyllaster.

Som grund för definitionen av Locums allmänna komfortkylbehov har energibalanser från NKS använts (IDA beräknade av SWECO). Denna visar att $13,1 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$ är en applicerbar kyllast som luftbehandling behöver täcka då BELOKs klimatkrav $T_B=25^\circ\text{C}$ eftersträvas.

I syfte att identifiera förekomsten av höga relativa fukthalter och utomhustemperatur - som begränsar kylförmågan vid adiabatisk kyla har de fyra senaste årens förhållanden följts upp i avsnitt 5.

Utredningen visar bl.a. att:

Adsolairaggregaten har hög prestanda och klarar normalt att kyla till de värden som börvärden är inställda på. För sommaren 2014, som var ovanligt varm och fuktig, hade frikylning under morgontimmar underlättat kylningen under ett antal drifftfall. Vid utetemperaturer över 24°C hade det ibland varit nödvändigt att höja flödet med 25 % för att säkra kylningen sista biten. Det är endast få enstaka tillfällen med hög relativ fuktighet som gav mindre kylning än inställda behov.

- Ett av de vidareutvecklade aggregaten Adconair alternativt Adconair Pro kan, utan köpt kyla, leverera det kylbehov ($T_B=25^\circ\text{C}$)¹ som Locum har under ett normalår. Adconair Pro ger möjlighet att kyla till ett ännu tuffare inneklimatkrav vid motsvarande luftväxling.
- Väljs ett Adconair eller liknande system som leder förbi luft (bypass) när värme/kylbehovet är lägre blir effektiviteten (SFP) väsentligt lägre på årsbasis än om tillfället med högst tryckfall väljs - så som görs vid vanlig SFP avstämning.
- När eleffekten på till- och frånluftsfläktar för ett undersökt aggregat simulerades på årsbasis vid dimensionerande luftflöden erhöles en sammanvägd total lägre nivå om 18,3% vid möjlighet till by-pass-körning när så är möjligt jämfört med full återvinning och ingen by-passkörning. Skillnaden i LCC-kostnad för detta uppgår till 66 kkr. Orsaken är att luft delvis fördelas förbi växlarytorna, i by-pass-läge, när inte full återvinning krävs. Motsvarande by-pass-läge inträffar vid frikyla, dvs. då uteluft kan användas direkt då kylning krävs.

¹ Definierat som BELOKs inneklimatkrav $T_B=25$ dvs. som tillåter att inomhustemperaturen överstiger 25°C under max 80 timmar. Beräknad dimensionerande kyleffekt och luftväxling framgår av Bilaga 5.



- Vattenanvändningen i de aktuella luftbehandlingsaggregaten är endast 2–2,5 m³/MWh_{kyla} – dvs. kylkostnaden är 40-50 kr/MWh_{kyla} att jämföra med 700–1400 kr/MWh_{kyla} om fjärrkyla från Fortums normaltaxa² används.
- Stadsvattenuttaget förväntas öka marginellt med ca 1,5 procent för att täcka beräknat kylbehov genom ventilation för referensbyggnaden. Det motsvarar en vattenförbrukning med 54 m³ per normalår till förmån för sänkt kylanvändning med motsvarande 27 000 MWh_{kyla}/år (35100-1080= 34 020 kr i årlig besparing jämfört med fjärrkyla).
- Trots att Menergas indirekt evaporativa aggregat är förhållandevis enkelt uppbyggda krävs att driftpersonal säkerställer att systemen körs som det förväntas för fastighetsägaren. I dagsläget sker service från leverantören Menerga endast på vinterhalvåret vilket bör kompletteras med ett servicebesök inför kylsäsongen för att säkerställa att den evaporativa kylan är fullt fungerande. Ett antal elementära avvikelser har kunnat identifieras vid besök på plats vid MICASAs anläggningar och vid granskning av driftdata.
- En generell synpunkt är att det förefaller som att den inköpta drifts- och underhållspartnern inte alltid är medveten om driftsstatus för luftbehandlingsaggregat som vi studerat. I två fall fann vi att luftbehandlingsaggregaten hade larmat i 14 dagar eller mer utan att någon åtgärd hade vidtagits.
- Emissionen av CO₂ är markant lägre för de system som använder indirekt evaporativ kyla jämfört med konventionella kylsystem som fjärrkyla respektive mekanisk kyla. Vidare ser man att den totala emissionen av CO₂ är påtagligt mycket lägre för de system som är utrustade med indirekt evaporativ kyla då man även tar hänsyn till påverkan av (vinterdrift) på årsbasis.

Att satsa på tekniken med indirekt evaporativ kyla i kombination med energieffektiva systemlösningar skulle för LOCUMs del innebära att man minimerar sina miljöutsläpp av CO₂. Användningen av värme-, el- och kylenergi hålls låg genom att tillåta att använda stadsvatten för komfortkyla i luftbehandlingsanläggningar enligt systemtekniken som Adconair eller Adconair Pro medger.

² Priset på fjärrkyla är helt beroende på hur baseffekten utbreder sig och av maxeffekten.



1.1 Sammanfattning från LCC och LCA beräkningar

Sammanställda LCC beräkningar som jämför kostnader för nedanstående investeringsalternativ visar att den evaporativa tekniken är mest förmånlig. Detta trots att investeringskostnaden för aggregaten är högre. I flera fall (då kylbehovet ska tillgodoses) kan kostnader för rördragning av kyla och värme undvikas till förmån för de evaporativa lösningsförslagen. I redovisade investeringskostnader ingår enbart aggregatkostnader med kringutrustningar för respektive kylsystem och återvinningssystem samt leverantörens lösning för styr och regler.

Bilaga 8 tar upp Locums krav på sk "Öppen styr" och hur väl den exemplifierade leverantören Menerga fyller kraven. Locums kravställningar gör dock att tillkommande kostnader för styr och regler blir svåra att skatta i det här tidiga behovsanalyskedet.

Indataparametrar för såväl energi, miljö och ekonomi framgår under nedanstående tabell.

Med indata och korrigeringar enligt BELOKs rumsklimatkrav $T_B=25^{\circ}\text{C}$ har följande resultat erhållits:



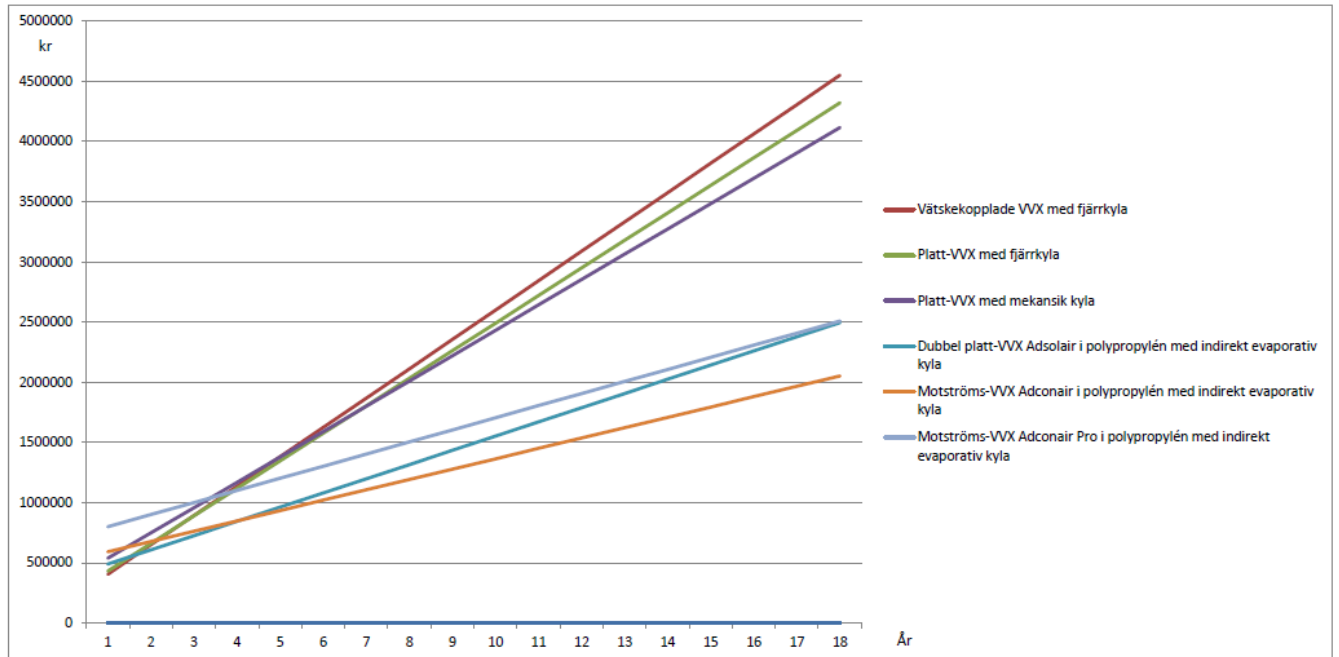
System-lösning	Investering	Värmeenergi	Elenergi	Kylenergi	LCC-kostnad	CO _{2,kyla}	CO _{2,tot}
	kr	kr/år	kr/år	kr/år	kr	kg/år	kg/år
Vätskekopplat med fjärrkyla	405 000	119 000	88 900	35 100	4 551 681	429	25 526
Platt-VVX med fjärrkyla	432 000	94 500	94 100	35 100	4 322 853	429	23 309
Platt-VVX med mek. Kyla	537 000	94 500	94 100	8 544	4 116 319	1130	24 009
Dubbel platt-VVX evaporativ kyla Adsolair	490 000	30 100	66 900	1 350	2 497 004	5	12 052
Motströms-VVX evaporativ kyla Adconair	590 000	1 190	57 000	1 080	2 052 634	4	7 297
Motströms-VVX evaporativ kyla Adconair Pro*	800 000	1 190	61 900	1 080	2 509 337	4	7 912

I nuvärdessumman för beräknade LCC-kostnader ingår också service- & underhållskostnader som antas uppgå till 5% av investeringskostnaden per år och uppräknas med 2% realt.

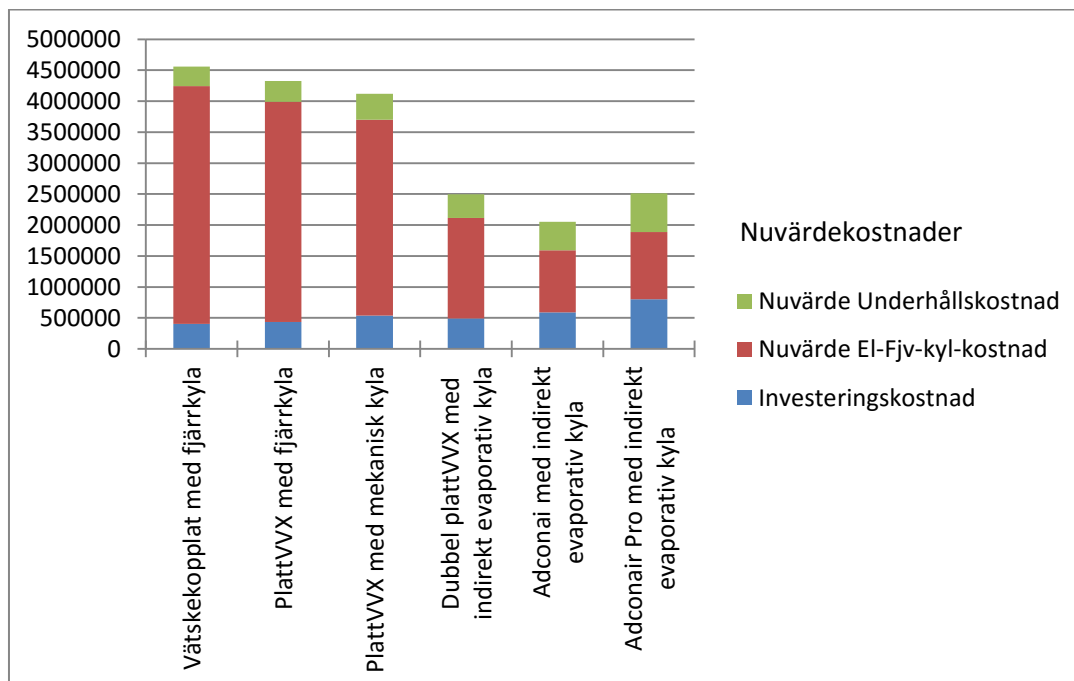
*Anmärkning:
Adconair Pro kan till skillnad från Adconair klara lägre inblåsnings-temperaturer eftersom den har en vatten/luft-VVX i frånluften som ytterligare sänker frånluften innan den anträder motströms-VVX. Därav det totalt högre elenergibehovet sfa. det högre tryckfallet totalt sett över aggregatet. I undersökt exempel för Huddinges del ökar elenergibehovet med 8%. Elanvändningen (genomsnittligt tryckfall) per år är dock fortfarande lägre än ordinära alternativ med platt-VVX och kylbatteri.



Akkumulerade årskostnader för studerade alternativ.



Ovanstående graf visar på inbördes förhållanden map. ackumulerade årskostnader för de olika studerade alternativen för luftbehandlingssystem med olika systemlösningar för kyla.



Stapeldiagram som visar nuvärdekostnader redovisat med investering, driftskostnader (el+fjärrvärme+kyla) samt underhållskostnader för de olika studerade alternativen för luftbehandlingssystem med olika systemlösningar för kyla.



1.2 Sammanställning av indata avseende energibalans och ekonomi

Indataparametrar som använts i alla jämförande energianalysberäkningar:

$$T_{\text{tilluft}}=19^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{frånluft}}=23^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Till- och frånluftsflöde}=5\text{m}^3/\text{s}$$

$$A_{\text{temp}}=4.425\text{m}^2$$

Specifikt luftflöde= $1,13 \text{ l/s, m}^2_{A_{\text{temp}}}$ motsvarande $5 \text{ m}^3/\text{s}$ för till- och frånluft

Maximalt kylbehov för luftbehandling= 58 kW ger specifik maximal

kyla= $13,1 \text{ W/m}^2$ enligt BELOK's klimatkrav $T_B=25^{\circ}\text{C}$.

Uteluftens dimensionerande tillstånd för kyla: $T_{\text{ute}}=27^{\circ}\text{C}$; $RH_{\text{uteluft}}=50 \%$;

$10,2 \text{ gr/kg}$;

Frånluftens dimensionerande tillstånd för kyla: $T_{\text{frånluft}}=23^{\circ}\text{C}$;

$RH_{\text{frånluft}}=60 \%$; $10,7 \text{ gr/kg}$

Uteluftens Dimensionerande utetemperatur DUT: $T_{\text{ute}}=-18,6^{\circ}\text{C}$

Totalt kylbehov har beräknats till $27\text{MWh}/\text{år}$

Energikostnader och energiprisutvecklingar som använts i LCC-kalkylerna:

Fjärrvärmepris: 700 kr/MWh ; Energiprisutveckling: $1,5 \%$ /år reall

Elpris: 1.000 kr/MWh ; Energiprisutveckling: $3,0 \%$ /år reall

Fjärrkyla²: 1.300 kr/MWh ; Energiprisutveckling: $2,0 \%$ /år reall

Mekanisk kyla: 333 kr/MWh ; Energiprisutveckling: $3,0 \%$ /år reall

Indirekt evaporativ kyla: $40\text{-}50 \text{ kr/MWh}$; 20 kr/m^3 ; Energiutveckling: 2% /år reall

Underhållskostnad: 5% av investeringskostnaden i $\text{kr}/\text{år}$;

Underhållskostnadsutveckling: 2% /år reall

Kalkylränta: 3% /år reall

Ekonomisk livslängd: 17 år

² Priset på fjärrkyla är helt beroende på hur baseffekten utbreder sig och av maxeffekten.



De presenterade beräkningarna för de olika systemlösningarna för luftbehandling och de referensanläggningar som redovisats visar att de evaporativa kylsystemen med hög värmeåtervinning och hög eleffektivitet ger avsevärt bäst ekonomi (LCC) och miljöprestanda (LCA). Detta trots att de förutsätter högre investeringskostnader per aggregat.

1.3 Förslag till förändring av R20 angående stadsvatten för kylning

Utkomsten av denna utredning ger härmed underlag för att starkt rekommendera en justering av LOCUMs tekniska riktlinjer R20 VVS & Kyla angående stadsvatten för kylning. Ett förslag till justering lyder:

Förändring av R20 VVS & kyla angående Stadsvatten för kylning:

”Stadsvatten får inte användas för direkt kylning. Möjligheterna att utnyttja vattnets förmåga att kyla ges dock för t.ex. adiabatiska processer, såsom indirekt evaporativ kyla. I processerna nyttjas stadsvatten i fasövergången mellan flytande vatten till vattenånga för att kyla tilluft med vattenbegjutning av frånluften i en rekuperativ systemlösning för ett luftbehandlingsaggregat.”

Fördjupningsfrågor som bör utredas vidare:

- Att ytterligare inventera och dokumentera driftsituationen för ett par aggregat utrustade med indirekt evaporativ kyla för att säkra upp dokumenterad funktionalitet för anläggningar där luftbehandlingsaggregaten har ett bättre uppföljt drifts- och underhållsarbete.
- Detaljstudera driftdata för hur långt ett Adconair Pro aggregat klarar topplasten i förhållande till BELOKs rumsklimatkrav för $T_B=25^{\circ}\text{C}$. Detta för att hitta brytpunkten för T_B -nivån för aktuellt kyleffektfall från NKS allt för att slippa att överväga toppkyla med fjärr- eller mekanisk kyla för ”normal verksamhet map. kylbafflar installerade på lokal nivå eller spetskylbatterier på central nivå för luftbehandlingsaggregat”.
- Även göra detaljerade studier på rumsnivå för att se hur den indirekta evaporativa kylan med systemlösningen Adconair Pro kan täcka den största delen av kylbehovet där man endast installerar och använder kylbafflar enbart vid toppkyleffekter där den indirekta evaporativa kylan står för bas och mellanlast vilken har den största varaktigheten sett över ett år.



2 Metod och omfattning

Steg 1a:

- Visa faktisk funktion för indirekt evaporativ kyla, gärna för två system, utifrån data från Micasa. Fokus på kylfunktion men även dokumentation av energianvändning för luftbehandlingsaggregaten.
- Mätdata från existerande luftbehandlingsaggregat i Micasa's fastigheter försedda med indirekt evaporativ kyla. Analysera hur värmeåtervinningen fungerar.

Steg 1b:

- Göra justeringar för eventuellt ökat behov av kyld tilluft för LOCUM's normalbehov för vårdlokaler samt hur långt MENERGAs Adconair Pro luftbehandlingsaggregat hade klarat kylningen.
- Analysera relevanta skillnader i kylkapacitet genom att kontrollera vilken den eventuella skillnaden är mellan kylning enligt Mollier-diagramberäkningar och vad som faktiskt erhöles i Micasa utdataunderlaget för ett antal driftpunkter och därefter justera med differensen för Adconair Pro genom simuleringar i Mollier diagram. Utredda kylbehov under en sommar enligt tidigare energibalanser på ett par av LOCUM's strategiska investeringsprojekt som hämtas från underlag som levereras från NKS för ett representativt våningsplan för att få fram relevanta kylaster för internbelastning, solinstrålning samt klimatpåverkan från uteluften.
- Simulera på ett befintligt luftbehandlingsaggregat utrustad med indirekt evaporativ hur elförbrukningen faktiskt förändras i driftlägen då by-pass-funktion tillämpas för frikyla genom att notera strömförbrukning på frekvensomformaren dels med stängda spjäll dels öppna spjäll med bibehållet statiskt tryck i kanalsystemet för att få en uppskattning av förändrade sfp-värden över luftbehandlingsaggregatet.
- Analysera, förutsatt att dessa är dokumenterade, vattenförbrukningar vid de tidpunkter man använt evaporativ kyla sfa. yttertemperatur och eventuella interna värmelaster.



Steg 2:

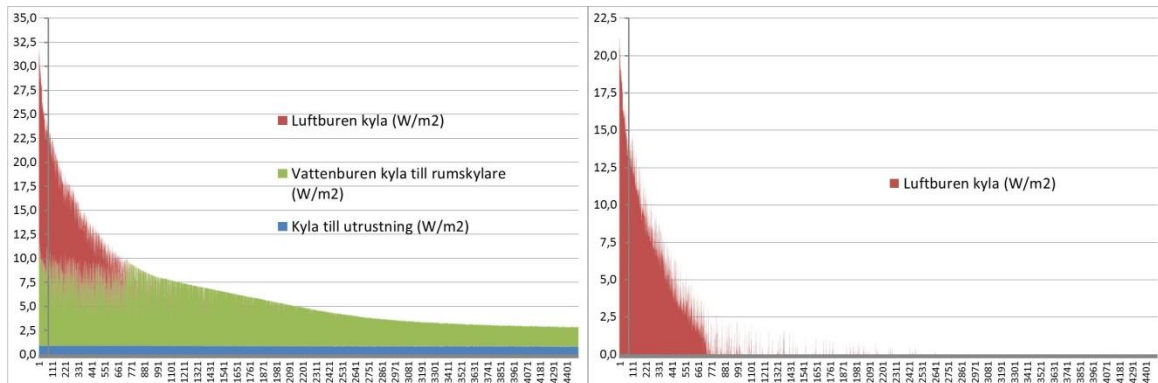
- Ta fram parallella. LCC jämförelser – där nedanstående alternativ a)-d) jämförs med ett vätskekopplat luftbehandlingssystem med fjärrkyla som utgör referensalternativet.
- LCC-analyser genomförs enligt LOCUM's LCC-modell för total energianvändning under ett normalår med dels uppvärmd dels kyld luft för ett luftbehandlingsaggregat med en inblåsningstemperatur om 19°C tilluft under en säsong för ett normalår. Enligt BELOK's T_B-krav på inomhusklimat kan tilluftstemperaturen tillåtas öka till 25°C under maximal 80 timmar/år.
- Följande alternativ skall analyseras och redovisas mot referensalternativet enligt ovan:
 - a) fjärrkyla med plattvärmväxlare i metall*
 - b) mekanisk kyla med plattvärmväxlare i metall*
 - c) indirekt evaporativ kyla med dubbel plattvärmväxlare*
 - d) indirekt evaporativ kyla för ett Adconair*
 - e) indirekt evaporativ kyla för ett Adonair Pro*
- Emission av CO₂ för el-, kyl- och värmeenergi samt vattenförbrukning hämtas från SWECO LCA-analys.



3 Härledning av kylbehovet för en representativ vårdavdelning

Data har inhämtats från de energibalanser över NKS som SWECO upprättat avseende ett representativt plan 9 för västlig fasad med en vanligt förekommande mix av vårdlokaler (vårdrum, expeditioner, grupprum mm). Sista diagrammet i avsnittet visar hur alla ingående värme- / kylaster och trögheter i byggnaden fördelas under ett dygn med dimensionerande laster.

Nedanstående diagram till vänster visar hur totala kylbehovet (W/m^2 , BRA) fördelar sig under de 4500 timmarna som har störst kylbehov. Diagrammet visar att högsta förväntade kyleffekten är beräknad till $31,0 W/m^2$ medan kylbehovet enligt BELOKs krav för inneklimat $T_B=25^\circ C$ endast uppgår till $22,6 W/m^2$. Kravnivån T_B utgår från att kylsystemen dimensioneras för att inomhustemperaturen kan tillåtas överskridas under 80 timmar för ett normalår. T_B kravet används för att säkra önskad komfortnivå och minska och undvika fördyrande och onödig överdimensionering.



Total kyla: (T_{b25} effekten inträffar där Yaxeln korsar effektkurvan dvs $22,6 W/m^2$)

Luftburen kyla – kyla behövs få timmar men effektbehovet är stort - ca 65% av total last!!

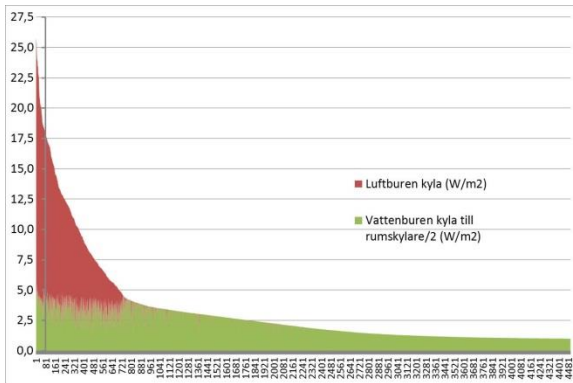
Motsvarande kyleffekt för endast luftburen kyla uppgår till $13,1 W/m^2$ enligt T_{B25} kravet ($20,5 W/m^2$ för maxeffekten) – Se diagrammet ovan till höger.

I flera fall kan det vara möjligt och lämpligt att ersätta en del av den vätskeburna kyla som distribueras med lägre temperaturer till rumskylare (som kräver mer förädlad energi) med luftburen kyla framställd med adiabatiska processer.

Vår bedömning är att hälften av kyleffekten till rumskylare kan ersättas med luftburen adiabatisk, indirekt evaporativ, kylenergi. För vårdplanet på NKS betyder det att kyleffekten når upp till $18,0 W/m^2$ enligt T_{B25} kravet ($26 W/m^2$ om dimensionering görs för maxeffekten). Det motsvarar en höjning av kyleffekten med, $(1-(18/13,1))*100=37\%$, vilket ofta kan justeras upp genom att höja flödet med nära motsvarande nivå, genom att lägga in denna funktion i dimensioneringsförutsättningar för luftbehandlingsaggregaten.

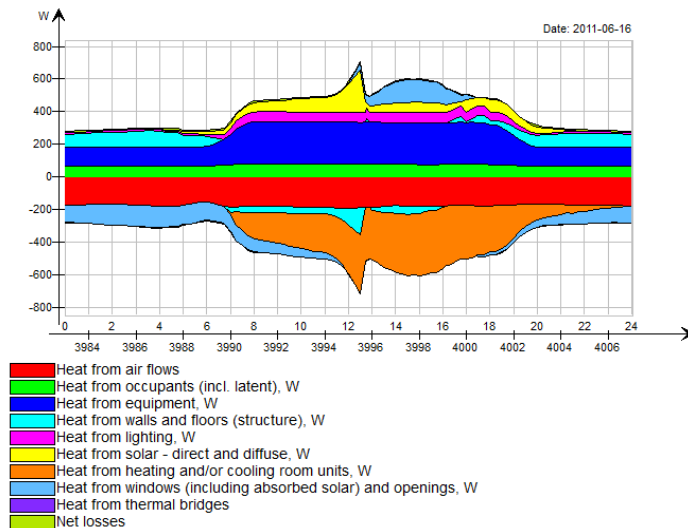


Det handlar då om att kontrollera om kylbehovet blir dimensionerande för luftflödet vid val av komponenter för luftväxlingen i aggregat och kanalsystem. R20 anger parametrar för överdimensionering men genom att det eventuellt ökade flödet till följd av kylbehovet endast uppehåller sig ett fåtal timmar under ett år och än färre för heta sommark dagar kan kortvarigt högre tryckfall accepteras.



Systemvalet med minskad vätskeburen kyla leder till färre servicepunkter, lägre installationskostnader, då färre luftkylare behöver installeras, lägre energikostnader och större möjligheter att nå tuffa energi- och miljömål (Miljöbyggnad Guld tex). Vattenanvändningen kan dock öka något, men det låga kylpriset för indirekt evaporativ kyla och CO₂ emissionen för den adiabatiska kylan är markant mycket lägre i förhållande till motsvarande användning vid mekanisk- eller fjärrkyla.

Från datasammanställningen finns bl.a. utdrag för enskilda rums energibalanser - ett exempel för vårdlokal i ytterfasad mot väst vid dimensionerande fall framgår av figur nedan.





Mot bakgrund av ovanstående effektbalansdiagram kan man se sambandet mellan hur effektvariationen för kyla ser ut vid det dimensionerande fallet för somrardriften med 27°C och $\text{RH}=50\%$. Den maximala effekten har sitt maximum strax efter lunch för denna studerade vårdavdelning med ca 700 W/m^2 och med en varaktighet på några få timmar per år.

Här skall givetvis kylbafflar och lokala kylare ta den sista toppkyleffekten för rum som har den största kyleffektbelastningen. De andra lokalerna som ingår i denna vårdavdelning med lägre kyleffekter kan man differentiera ut att inte behöva installera kylbafflar eller liknade för att täcka kyleffektbehovet. Det kan den indirekta evaporativa kylan med systemlösningen Adconair Pro klara med en effektkapacitet på upp mot 300 W/m^2 vilket täcker den största effektkyllasten under en lång varaktighet då kylbehov förefinns i en vårdavdelning enligt ovan för NKS. Se även körning för ett Adconair Pro i bilaga 9. Här kan man även se att man får en boost-effekt i detta luftbehandlingsaggregat då utetemperaturen ökar och ger som resultat att tilluftstemperaturen sänks till ca 18°C vid en utetemperatur av ca 27°C som därmed givetvis bidrar till maxeffekt behovet av kyla.

Detta är en effekt av att man dels har en vatten-luft-VVX i frånluftdelen innan den rekuperativa värmeväxlaren som vattenbegjuts med en aerosoldimma och att drivkraften i den adiabatiska processen ökar vid ökande temperaturdifferens mellan frånluft- och utelufttemperaturen dvs. kyleffekten ökar vid konstant frånluftstemperatur.

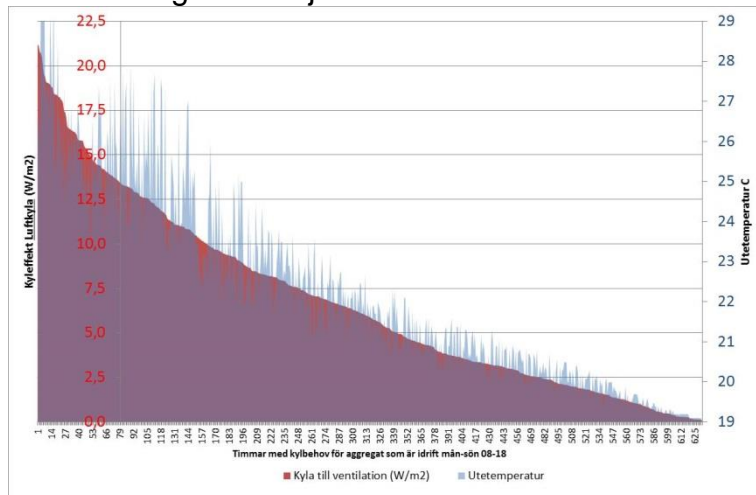
I sin tur medför detta att behovet av spetskyla med kylbafflar eller liknade minskar. Kombinerar detta även med att man momentant kan öka luftflödena vid dessa tillfällen med upp till 25% så klarar man ytterligare att matcha den maximala kyleffekten de få timmar då detta uppträder över ett normalår. Se även nedanstående tabell där ett försiktigt antagande at täcka 50% av kylasten som genereras av internlasten enligt tabell nedan och tabell i avsnitt 2.1.2.1.

Hur stor den effekttäckningen är borde detaljstuderas i en kommande utredning som inte omfattas av denna. Dock kan man se att man sannolikt täcker in merparten av kylbehovet med den indirekta evaporativa kylan under ett normalt driftsår.



3.1 Kylbehovets förhållande mot utomhustemperaturen för en vanlig vårdavdelning

Diagrammet nedan med utomhustemperatur³ och kyleffekt från ovanstående NKS körning visar följande:



Kylbehovet för luftkyla börjar vid utomhustemperaturen 19°C under ett normalår för Stockholm. Från diagrammet kan också de i tabellen nedan listade kylbehoven vid respektive utomhustemperatur läsas ut. Tabellens effekter har medelvärdesberäknats fram i intervall om 1°C enligt tabellen. Diagrammet visar att det kan vara både något varmare och kallare vid samma effektbehov – för variationerna spelar solinstrålning och verksamhet in.

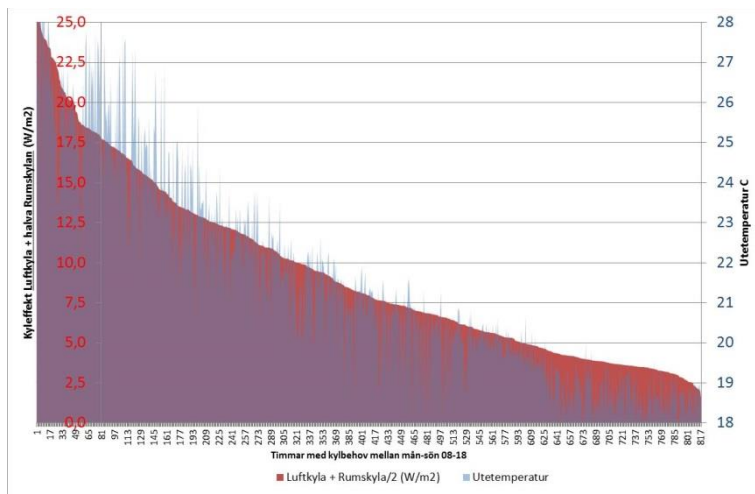
Utomhustemperatur °C	Kyleffektbehov Luftkyla (W/m ²)	Luftkyla + 50 % kyla till rum (W/m ²)
19 (18,5-19,5)	0,3 [40 Wh/m ²]	4,1 [600] Medel för vår, höst & vinter är ca 1,5-2,0
20 (19,5-20,5)	2,3 [320]	6,2 [870]
21	4,2 [540]	8,3 [1055]
22	6,7 [615]	10,6 [965]
23	8,7 [660]	12,8 [975]
24	11 [590]	15,0 [825]
25	12,8 [615]	16,8 [810]
26 och över	Se T _{B25} dvs 13,1 [1200]	17,5 (Enl T _{B25}) [1540]

Anm: Inom [parentes] framgår ackumulerade kylenergin i Wh/m² under de timmar med angiven utetemperatur.

³ (ASHREA data för Stockholm som bl.a. används av energi- och inneklimatberäkningsverktyget IDA)



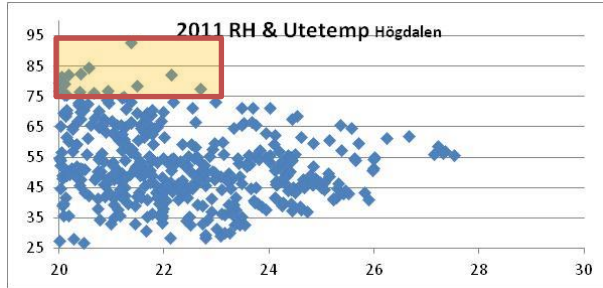
Diagrammet nedan visar på motsvarande sätt kylbehovet mot utomhustemperaturen om även 50 % av kyllasten inkluderas till rumskylare enligt tänket i föregående avsnitt. (Här visas på möjligheten att öka nyttjandegraden av evaporativ kyla genom att distribuera luftkyla till hälften av rummens uttagpunkters kylbehov). Den högra kolumnen ”Luftkyla + 50 % kyla till rum” i tabellen ovan summerar också motsvarande kyleffekter mot utomhustemperaturen från diagrammet.



3.2 Evaporativ kylförmåga vid hög relativ fuktighet och utetemperatur.

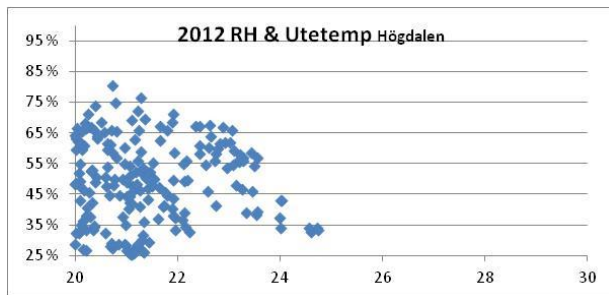
Det är ett känt faktum att luftens förmåga att kylas genom att ta upp vatten minskar med ökad relativ fuktighet. Omfattning och samband har sökts genom att granska antalet timmar med hög relativ fuktighet och temperatur för sommarperioderna (Maj-Oktober) 2011-2014. *Särskilt fokus har lagts på sommaren 2014 som var den varmaste och bland de fuktigaste året sedan SMHIs uppföljning startade.*

Diagrammen nedan visar hur utetemperatur [°C] (X-axel) och fukthalt [%] (Y-axel) förhållit sig de varmaste dagarna respektive år 2011-2014 dagtid kl 08-19 (då kylbehovet är som störst).



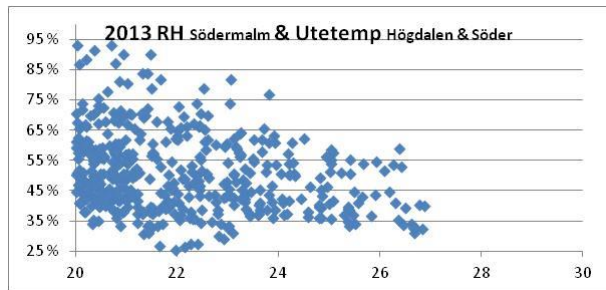
2011 inträffade 32 tillfällen då RH överskred 75% och utetemperaturer 20 C enligt nedan

20°C	21°C	22°C	>=23°C
ute	ute	ute	ute
19 st	13 st	3 st	0 st



2012 inträffade 6 tillfällen då RH överskred 75% och utetemperaturer 20 C enligt nedan

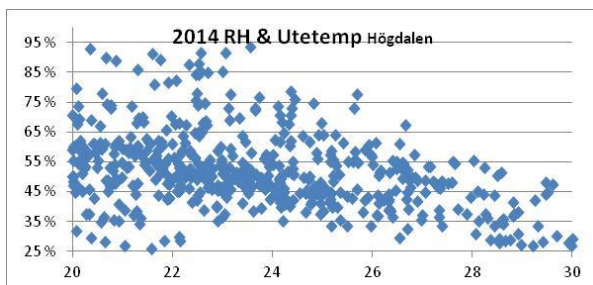
20°C	21°C	22°C	>=23°C
ute	ute	ute	ute
4 st	2 st	0 st	0 st



2013 inträffade 21 tillfällen då RH överskred 75% och utetemperaturer 20 C enligt nedan

20°C	21°C	22°C	>=23°C
ute	ute	ute	ute
12 st	6 st	1 st	2 st

Anm: Högdalen saknade många värden för RH och ett hundratal för utetemperaturer.

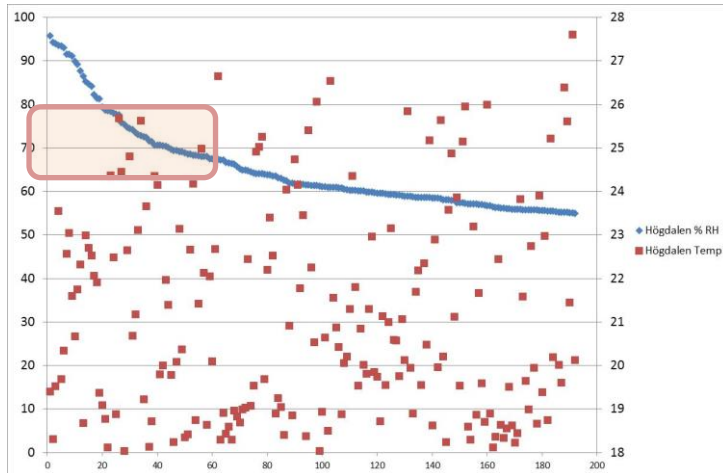


2014 inträffade 99 tillfällen då RH överskred 75% och utetemperaturer 20 C enligt nedan

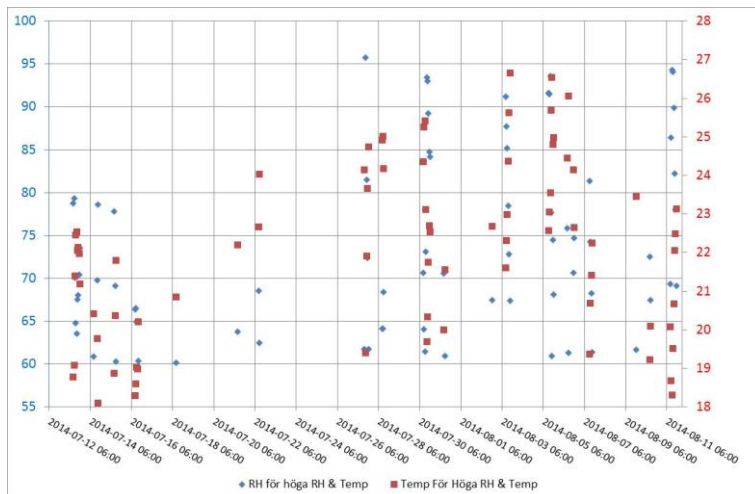
20°C	21°C	22°C	>=23°C
ute	ute	ute	ute
51 st	21 st	17 st	10 st



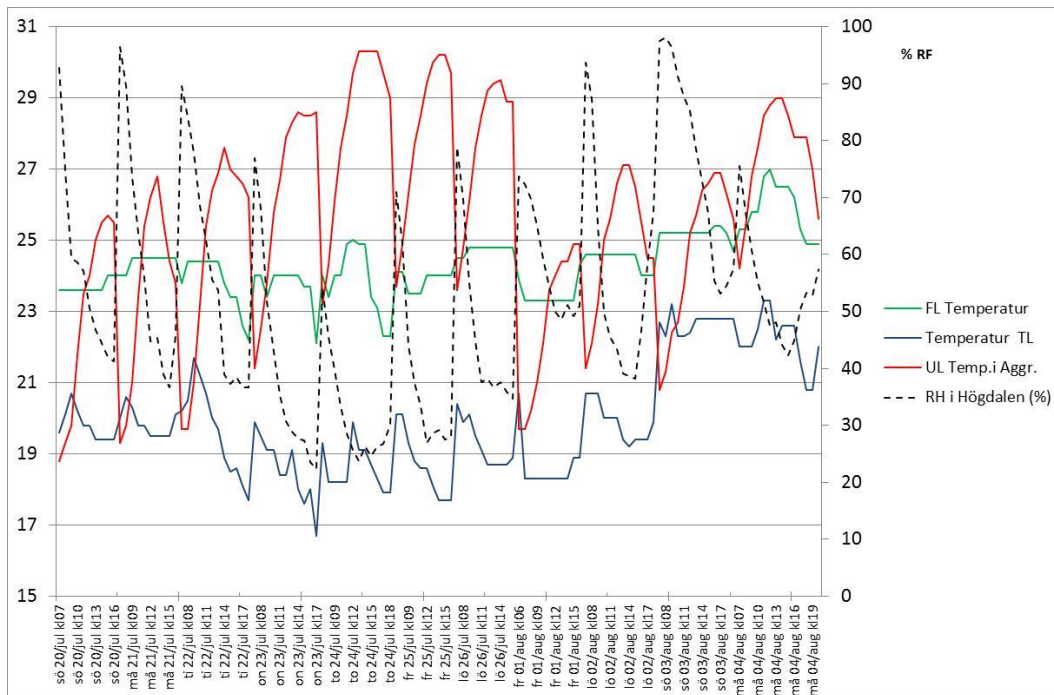
Diagrammet nedan visar alla timvärden för den ovanligt varma och fuktiga perioden juli tom september 2014 med temperaturer över 18°C och RH över 55%.



I diagrammet ovan ramar den rosa rutan in ett tiotal tillfällen då temperatur och relativ fuktighet är så hög att den evaporativa kylförmågan inte helt räcker till att sänka temperaturen på tilluften enligt aggregatdata och körningar på MICASA för Adsolair systemet i LB02.



Ovanstående diagram visar motsvarande driftpunkter med högsta fukthalterna och hög utomhustemperatur i en tidsfunktion mellan 12 Juli och 12 Augusti.



Temperatur och relativ fuktighet har omvända förhållanden – dvs när temperaturen är hög kan luften ta upp mer fukt varmed fukthalten sjunker och tvärtom. Förhållandet ses tydligt i diagrammet ovan och i mätserierna med temperatur och RH för MICASAs luftbehandlingsaggregat LB02. I denna graf är den indirekta evaporativa kylan hela tiden i drift. (Aggregatet är endast i drift dagtid varför driftpunkter under nätter filtrerats bort)

Man kan se ett tydligt samband mellan nivån på tilluftstemperaturen som avkylts och den relativa fuktigheten i uteluften samt utetemperaturen. Vid höga RH får man en marginellt lägre nivå på den kylda tilluftstemperaturen. Men svaret mellan nivån på ökad relativ fuktighet och kyld tilluftstemperatur i den evaporativa adiabatiska processen slår inte igenom med total följsamhet – tilluftstemperaturen dämpas till begränsade nivåer som inte torde uppfattas i de rum som försörjs med kyla.

Vid ökande utelufttemperatur minskar den relativa fuktigheten dvs. luftens förmåga att bära vattenånga ökar. Detta förhållande visar även på att vid ökande utetemperatur erhålls en lägre kyld tilluftstemperatur. Detta är en mycket intressant konsekvens där man kan konstatera att kylkapaciteten ökar vid ökande utetemperatur som funktion av inställt börvärde på tilluftstemperaturen då den relativafuktigheten är på en "rimlig" nivå som en konsekvens av den högre utetemperaturen.



Man kan även se genomslaget för tilluftstemperaturen i frånluftstemperaturen som även den bidrar till kylkapaciteten i aggregatet som i sin tur beror på den tilluftstemperatur som momentant tillförs rummen vilket kan tolkas som att både frånluftens temperatur med lägre relativ fuktighet och högre utelufttemperatur samverkar i en positiv riktning för kapaciteten på kyleffekten för den evaporativa kylan.

Vad avser sambandet utelufttemperatur och tilluftstemperatur sfa. inställt börvärde på tilluften kan man se att det finns en viss eftersläpning i svaret mellan att den indirekta evaporativa kylans on-off funktion som ger en viss tröghet. Detta beroende på att det fortfarande finns fukt kvar i värmeväxlaren som kan ge lite lägre tilluftstemperaturer än inställt börvärde men torde inte praktiskt märkas i de utymmen som den indirekta evaporativa kylan försörjer till rum. Att finreglera för denna effekt vad avser till- och frånslag av den indirekta evaporativa kylan torde vara av mer akademiskt intresse. En viss utjämning kan man även påräkna över tid i distributionen av den indirekta evaporativa kylan mellan luftbehandlingsaggregatets tillufts- och frånluftskanaler.

Vidare finns möjligheten att när man dimensionerar systemlösningar med indirekt evaporativ kyla kan man även låta överdimensionera luftbehandlingsaggregaten för att vid normaldrift reglera ner luftbehandlingsaggregatets luftflöden på till- och frånluftfläktar av den totala tillgängliga luftflödeskapaciteten.

Vid höga utelufttemperaturer kan man styra upprampningen av kylkapacitet genom att parallellförskjuta till- och frånluftslöden uppåt för att därmed öka kapaciteten för att bära ut en momentant större kyleffekt på bekostnad av högre totala tryckfall i luftbehandlingssystemet. Flödet höjs under ett fåtal timmar per år. Detta ger möjlighet att klara en större kylast med luftburen kyla för att därmed slippa att installera andra typer av vätskeburna kylsystem som kräver ökat underhåll och tillsyn map. funktion och även har betydligt högre driftskostnader för att åstadkomma kyla vid alla typer av kyldriftsfall.

Det måste vara en fördel att ha ett centralt kylsystem med indirekt evaporativ kyla som är kostnadseffektivt med låga driftskostnader samtidigt som emmissionsdata för CO₂ är markant mycket lägre än fjärr- respektive mekanisk kyla.



Om man överför ovanstående resonemang på luftbehandlingsaggregattypen Adconair respektive Adconair Pro får man ytterligare bättre kyleffekter eftersom dessa arbetar med högre verkningsgrader för indirekt evaporativ kyla som ökar för Adsolair från $\eta_{\text{evaporativ}}=90\%$ till för Adconair Pro med $\eta_{\text{evaporativ}}=96\%$.

För Adconair Pro aggregat utrustat med vatten-/luft-VVX i frånluften, torde temperaturspannet mellan den resulterande frånluftstemperaturen i motströms-VVX gentemot den inkommande uteluftstemperaturen öka vilket ytterligare därmed förstärker kyleffektkapaciteten. Detta enligt samma resonemang som ovan även om det sker på bekostnad av ett marginellt högre tryckfall på frånluftssidan genom motströmsvärmväxlaren som pverkar det totala sfp-värdet för denna typ av luftbehandlingsaggregat med ca 8%.

4 Steg 1

4.1 Steg 1a

4.1.1 Visa faktisk funktion utifrån data från Micasa.

De luftbehandlingsaggregat med dubbla korsströmsvärmväxlare som har installerats i ett antal av Micasas fastighetsbestånd är av fabrikat Menerga och i detta fall varianten Adsolair med indirekt evaporativ kyla.

Luftbehandlingsaggregatet består, förutom av direktdrivna kortslutna asynkrona växelströmsmotorer med tillhörande axialfläktar av en dubbel korsströmsvärmväxlare i två steg. Detta i kombination med en strömningsbild som är turbulent erhålls därmed höga övergångstal i värmväxlarväggarna utförda i materialet polypropylén.

Värmväxlaren är lasersvetsad mellan VVX- plattorna i värmväxlaren som åtskiljer till- och frånluften. Detta för att erhålla en säker och varaktig täthet i värmväxlaren mellan till- och frånluft under lufbehandlingssystemets tekniska livslängd. Systemlösningen är en sk. rekuperativ värmväxlare utan kontakt mellan till- och frånluft.

En hög energiåtervinning och en effektiv kyleffekt erhålls genom indirekt evaporativ kyla i samma systemlösning. Den indirekta evaporativa kylan åstadkoms i systemlösningen genom att en aerosol av vattendimma sprutas in i frånluftsdelen av värmväxlaren utan att det sker något utbyte av fukt till tilluftssidan (eftersom detta är en rekuperativ systemlösning). Kontaminationen, dvs. läckage mellan till- och frånluft är för denna typ av luftbehandlingsaggregat är 0%.



Värmeväxlare som är en dubbel korsströmsvärmeväxlare med följade prestanda:

Tilluftstemperaturverkningsgraden för en korsströmsvärmeväxlare enligt Menergas systemlösning är $\eta_{\text{torrtilluftstemp}}=74\%$ enligt definitionen för tilluftstemperaturverkningsgrad, EN 308:1997. Med kondensation i VVX fås $\eta_{\text{våttemp}}=78\%$, vid $T_{\text{ute}}=-20^{\circ}\text{C}$; $\text{RF}=90\%$, $T_{\text{frånluft}}=23^{\circ}\text{C}$; $\text{RF}=30\%$.

Den evaporativa verkningsgraden för denna systemlösning är $\eta_{\text{evaporativ}}=90\%$, vid drifffallet $T_{\text{ute}}=27^{\circ}\text{C}$; $\text{RF}=50\%$ och $T_{\text{frånluft}}=23^{\circ}\text{C}$; $\text{RF}=64\%$.

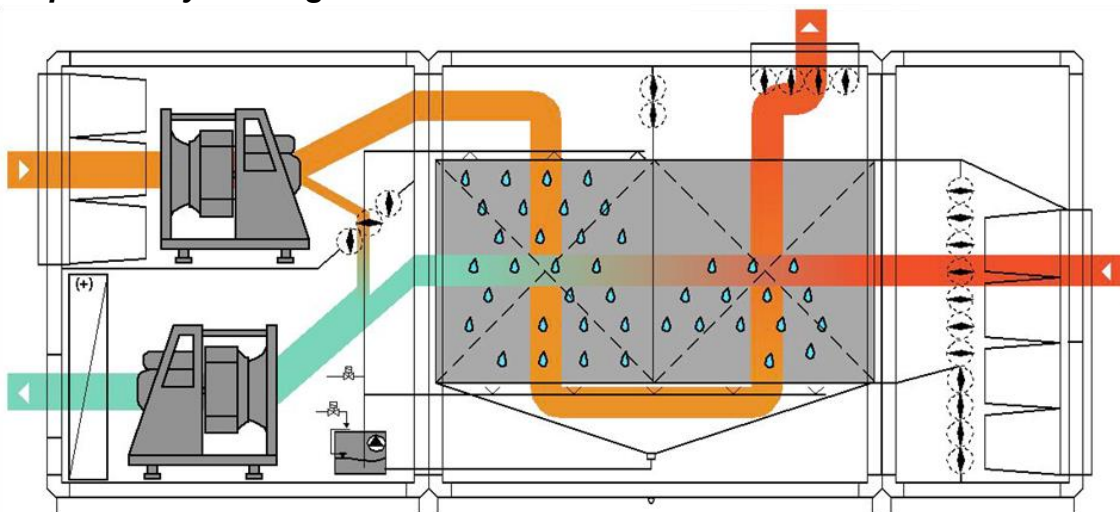
De luftbehandlingsaggregat som vi har studerat är av typen Adsolair av fabrikat Menerga som försörjer en samlingsal, entré, matsal och näringsidkare i bottenplanet LB02, ett restaurangkök LB04 och LB07 som försörjer en vårdavdelning, en förskola och ett IT-kontor.

LB02 går intermittent som är det största luftbehandlingsaggregatet som vi studerat med luftflöden för Tilluft/Frånluft= $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ med ett börvärde inställt på $T_{\text{tilluft}}=19^{\circ}\text{C}$.

LB04 går intermittent då verksamhet försiggår i restaurangköket. För LB04 är börvärde inställt på $T_{\text{tilluft}}=17^{\circ}\text{C}$.

LB07 går även det intermittent och har ett börvärde inställt på $T_{\text{tilluft}}=20^{\circ}\text{C}$.

Systemuppbyggnad för ett korsströmsluftbehandlingsaggregat för indirekt evaporativ kyla framgår av nedanstående översiktsschema:



Figur 1: Principschema för luftbehandlingsystemet Adsolair med korsströms-VVX som i denna illustration körs med indirekt evaporativ kyla.



I ovanstående Figur 1, ser man principen för hur systemlösningen fungerar i ett Adsolairaggregat. En kors-VVX som är utförd i ett seriellt två-stegsutförande. Materialet i VVX är utförd i polypropylén där VVX-ytan har en glatt yta som ger mycket låga tryckfall över VVX. Eftersom luftflödet genom VVX i båda riktningarna har turbulent strömning så blir därmed effekten av värmeåtervinning och indirekt evaporativ kyla mycket effektiv för båda driftfallen.

I driftsfallet indirekt evaporativ kyla tillsätts en vattendimma genom vattendysor i frånluften i VVX för att erhålla en kyleffekt utan rörliga delar.

I de fall att man klarar ett kylbehov med enbart uteluft och utelufttemperaturen är lägre än inställt börvärde så by-passar man VVX och använder uteluften som "äkta" gratis frikyla med tillhörande lägre totalt sfp-värde för luftbehandlings-systemet.

Ett snittvärde för vattenförbrukning vid driftfallet vid indirekt evaporativ kyla för denna typ av luftbehandlingsaggregat är 2,5 m³/MWh.

Luftbehandlingsaggregat med motströmsvärmväxlare

Ett Adconair Pro aggregat av fabrikat Menerga är utrustat med fläktar som har EC-likströmsmotorer till axialfläktar och pumpar samt har en förkylarvärmväxlare, vatten/luft i frånluften, för att öka temperaturdifferensen mellan till- och frånluft som ytterligare driver på och ökar den indirekta evaporativa kyleffekten vid nominella luftflöden.

By-pass-drift kan även åstadkommas för denna typ av luftbehandlingsaggregat för att minimera sfp-värdet för aggregatet vid dessa driftfall. Kontaminationen, dvs. läckage mellan till- och frånluft är även för denna typ av luftbehandlingsaggregat 0%.

Värmväxlare som är en motströmsvärmväxlare med följade prestanda:

Tilluftstemperaturverkningsgraden för denna typ av motströmsvärmväxlare, Adconair Pro, enligt Menergas systemlösning för denna systemlösning är $\eta_{\text{torrtillluftstemp}}=83\%$ enligt definitionen för tilluftstemperaturverkningsgrad, EN 308:1997. Med kondensation i VVX fås $\eta_{\text{våttemp}}=89\%$, vid $T_{\text{ute}}=-20^{\circ}\text{C}$; RF=90%, $T_{\text{frånluft}}=23^{\circ}\text{C}$; RF=30%.

Den evaporativa verkningsgraden för denna systemlösning är $\eta_{\text{evaporativ}}=96\%$, vid driftfallet $T_{\text{ute}}=27^{\circ}\text{C}$; RF=50% och $T_{\text{frånluft}}=23^{\circ}\text{C}$; RF=64% .

Ett snittvärde för vattenförbrukning vid driftfallet vid indirekt evaporativ kyla för denna typ av luftbehandlingsaggregat är 2,0 m³/MWh.

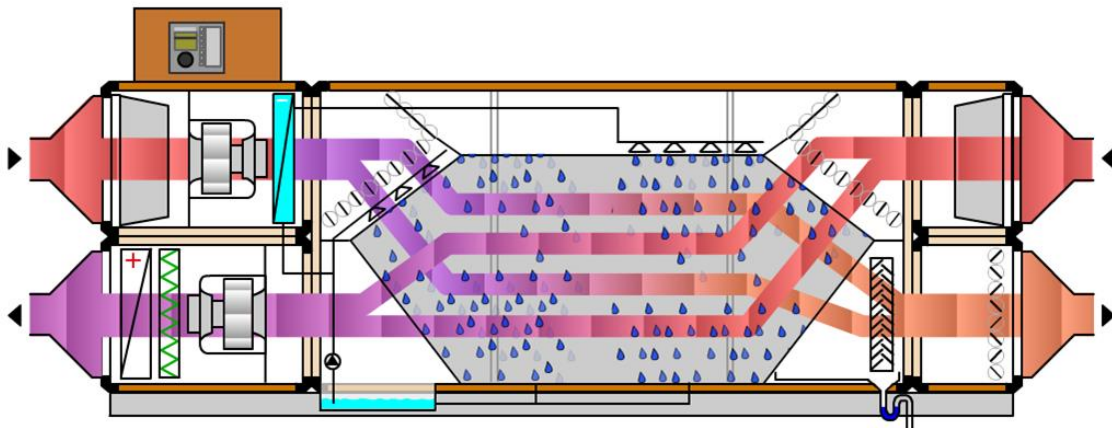


En typisk lägsta inblåsningstemperatur kan åstadkommas till en nivå av 17-18°C vid dimensionerande fallet för kyla med utlufttillståndet $T_{ute}=27^{\circ}\text{C}$ och $\text{RH}=50\%$.

Är utlufttemperaturen högre än den dimensionerade nivå vi räknat med innebär detta att inblåsningstemperaturen hålls konstant men ΔT mellan ute- och tillufttemperaturen över VVX ökar. Denna extra luft/vatten-VVX som sitter i frånluften före motströms-VVX bidrar därmed aktivt till att öka effektiviteten för den indirekta evaporativa kylan oavsett yttre klimatförutsättningar.

Ovanstående fakta kan få till följd att inget eftervärmar-/avfrostningsbatteri kan krävas för denna typ av systemlösning då värmeenergiebehovet är i princip lika med noll. I den totala investeringskostnaden behöver man därmed inte ta hänsyn till kostnader för eftervärmarbatteri, shuntar, rördragningar till shunt och eftervärmarbatteri samt cirkulationspumpar till shunt och värmeförluster fram till eftervärmarbatteriet. Det enda som behöver dras fram i form av media till luftbehandlingsaggregatet är el och vatten.

Systemuppbyggnad för ett motströms luftbehandlingsaggregat för indirekt evaporativ kyla framgår av nedanstående översiktsbild, Adconir Pro.



Figur 2: Principschema för luftbehandlingsystem för Adconair Pro med motströms-VVX som i denna illustration körs med indirekt evaporativ kyla.

Sammantaget för denna systemlösning med Adconair Pro innebär att man kan tillgodogöra sig alla tillstånd för utluft och vatten som därmed inte innebär någon nämnvärd tillförsel av energi för att driva "processen" för kyla eller värmeenergiåtervinning.

Den energi som förbrukas är fläkt- och pumparbete. Ingen annan energi behöver tillföras för att processen för energiåtervinning och kyla skall åstadkommas.



Eventuell förekomst av påfrostning i avluftsdel, i slutet av motsröms-VVX, har man löst genom att partiellt sektionera av värmeväxlaren i avfrostnings läge utan att uteluften kyler av inkommande sektion av värmeväxlaren. Istället smälts påfrost kondenserat vatten med frånluften i olika sekvenser som marginellt påverkar η_{temp} . Återigen sker detta utan extern tillförd värmeenergi dvs. avfrostningsförlusterna blir därmed minimala. I styrningen av detta system läser man hela tiden av luftfuktigheten och temperaturen i värmeväxlarens avluftsdel. Det görs för att undvika påfrysning i denna del, vilket garanterar minimala energiförluster.

4.1.2 Mätdata från existerande luftbehandlingsaggregat i Micasa's fastigheter försedda med indirekt evaporativ kyla.

Det finns desvärre inga dokumenterade data för energi- eller vattenförbrukning på aggregatnivå från Micasa utan skillnader kan endast utläsas på total energi- och vattenförbrukning före energieffektiviserande åtgärder respektive efter. Loggade temperaturer, flöden och effekter för fläktmotorer har dock gett oss möjlighet att utvärdera energieffektiviteten för de aggregat som valts ut där LB02 och LB07 har detaljstuderats.

På totalnivå för fastigheten kv. Väderkvarnen 20, där bl.a. LB02, LB04 och LB07 är installerade, kan man se att i energianvändningen för el- respektive värmeenergi har minskat med 38% för el- och 40 % för värmeenergianvändningen mellan 2009 till 2013 års nivåer.

Detta har skett från nivåerna 2664₂₀₀₉ till 1595₂₀₁₃ MWh_{värme} respektive 1210₂₀₀₉ till 753₂₀₁₃ MWh_{el}.

Ombyggnaden av Väderkvarnen 20 för energieffektivisering genomfördes under 2010 och har därefter trimmats in allt eftersom mellan 2011 och 2012 där 2013 års statistikvärden är representativa nivåer för utfallet av genomförda energieffektiviseringar. Alla värden är normalårskorrigerade.

De tidigare luftbehandlingsinstallationerna var i de flesta fall utrustade med vätskekopplade återvinningsbatterier, förutom luftbehandlingsaggregatet för restaurangköket.

Antalet luftbehandlingsaggregat reducerades från 16 till 9 st.



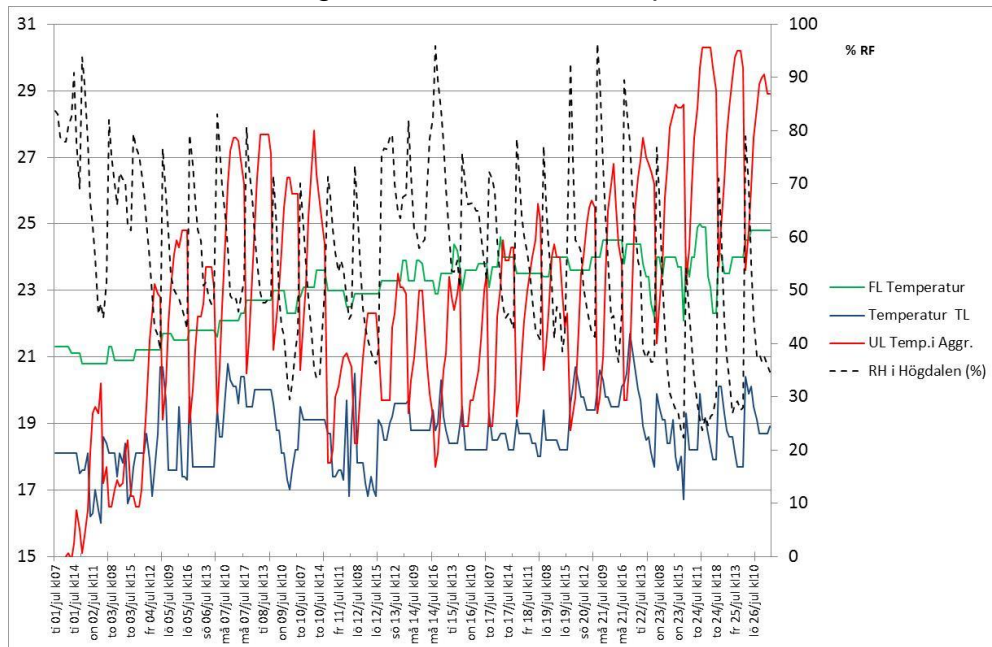
En sammanställning av förändringen av energianvändningen för Väderkvarnen 20 framgår av Bilaga 2.

De data som vi har kunnat dokumentera utifrån 2014 års sommarmånader med utetemperaturer som överstigit 19°C har vi hittat i perioden 15 juli till 15 augusti under 2014. Den högsta uppmätta utelufttemperaturen inträffade 2014-07-24 kl. 15.00 med 31,5°C vid ett RH=24,6 % och en solinstrålning med 739 W/m² enligt SMHI´s väderstation för Högdalen.

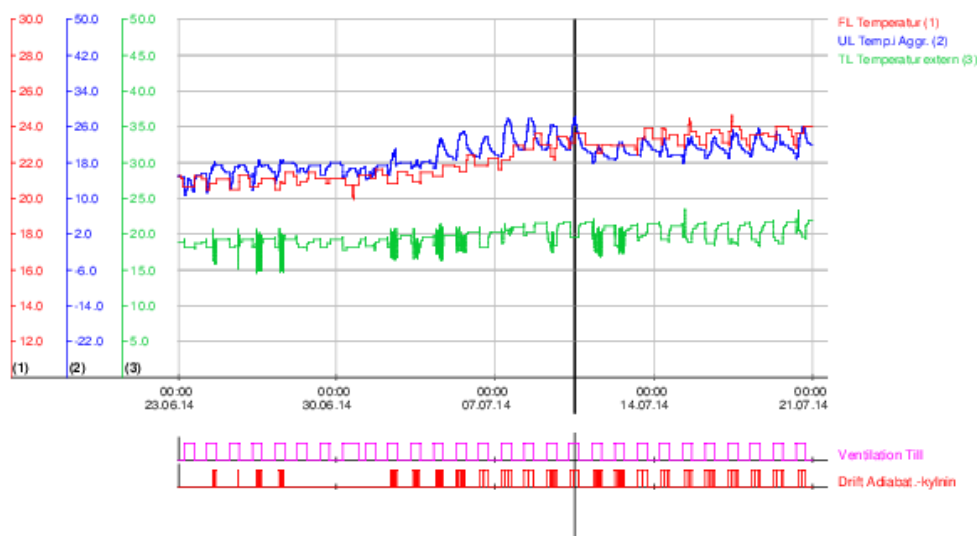


4.1.2.1 Uppföljning av hur väl Locums kylbehov levereras från MICASAs aggregat LB02

Nedanstående diagram visar driftsdata för en längre period från LB02 som utgör ett Adsolair aggregat. Till-/frånluftslödet på 5,0/5,0 m³/s betjänar entréhall, servicelokaler, samlings-sal och matsal i entréplanet.



Figur 3: Evaporativ kyla för LB02, Väderkvarnen-Micasa med ett börvärde på tilluften på 19 °C.



Ovanstående diagram representerar temperaturförlopp för ute-, från- och tilluft som är kontinuerliga över tid.



Man kan se av ovanstående figurer att man lyckas hålla tilluftstemperaturen i stort sett till inställt börvärde för tilluftstemperaturen på nivån 19°C. Anledningen till tilluftstemperaturens fluktationer kan härröra från den VAV-reglering som sker till olika lokaler över tid då respektive lokal har olika nyttjandetider under dagtid.

Oavsett vilket kylsystem man studerar poängteras återigen att man bör kontrollera funktionen av kylsystemets prestanda inför varje kylsäsong för att säkerställa funktionen i varje givet driftläge. Vi har på plats kunnat konstatera att så inte varit fallet för Micasas fastigheter då service enbart har skett för värmedriftfallet och **inte** inför kommande kylsäsong. Givetvis är detta nödvändigt för att säkerställa funktionen för kyla med indirekt evaporativ kyla likväl generellt som för vilken annan typ av kylsystem.



Nedan följs levererad kylförmåga för LB02 upp mot Locums behov som definierades i avsnitt 4.1 - se tabellen och diagrammen nedan:

Tabellen sammanfattar kontroller av hur väl Locums kylbehov och om erforderlig kylande tillufttemperatur levererades vid respektive utetemperatur för LB02 vid 1,58 l/s,m² under den ovanligt varma och fuktiga Julimånaden 2014. En kolumn visar också avkylning av frånluften och vilken tillufttemperatur som krävs om flödet höjs med 25% (till 2,0 l/s,m²)

Utomhustemp °C	Acceptera d Rumstem p (ca T _{Frånluft})	Kyleffektbe hov Luftkyla (W/m ²)	ΔT _(Från-Tilluft) & T _{Tilluft} (°C) vid flöde		
			1,6 l/s,m ²	2 l/s,m ²	Kontroll av kylbehov
19°C (18,5-19,5)	22°C	0,3 [1 %]	ΔT 0,16 T _T 21,8	ΔT 0,1 T _T 21,9	OK (Förbättras med frikyla natt)
20°C (19,5-20,5)	22,5°C	2,3 [7 %]	ΔT 1,2 C T _T 21,3	ΔT 1,0 T _T 21,5	OK (Förbättras med frikyla natt)
21°C (20,5-21,5)	23°C	4,2 [12%]	ΔT 2,2 T _T 20,8	ΔT 1,8 T _T 21,2	OK (Frikyla)
22°C (21,5-22,5)	23,5°C	6,7 [13%]	ΔT 3,5 T _T 20,0	ΔT 2,8 T _T 20,7	OK
23°C (22,5-23,5)	24°C	8,7 [14%]	ΔT 4,6 T _T 19,4	ΔT 3,6 T _T 20,4	OK
24°C (23,5-24,5)	24,5°C	11 [13%]	ΔT 5,8 T _T 18,7	ΔT 4,6 T _T 19,9	OK
25°C (24,5-25,5)	24,5°C	12,8 [13%]	ΔT 6,8 T _T 17,8	ΔT 5,3 T _T 19,0	OK om flödet höjs 25%
26°C och över (25,5-31,5)	25°C	Se T _{B25} dvs 13,1 [26%]	ΔT 6,9 T _T 17,6	ΔT 5,5 T _T 19,5	OK om flödet höjs 25%

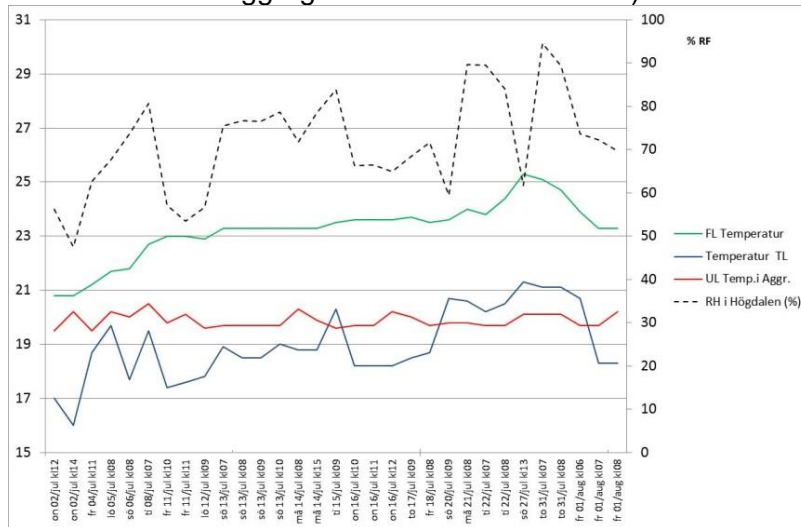
Anm: R20 anger följande om lufttemperaturer i rum - Uppgifter om lämpliga lufttemperaturer (Rumstemperatur) för projektering, m.m. finns i PTS – databasen kopplade till de så kallade typrummen/standardrummen.

Den hårdast styrda komfortklassen är 23°C +/- 1,5°C i PTS typrumslista som ett antal vanliga typrum har. Rumstemperaturer har därför fördelats inom spannet (+1,5 °C) och T_B=25°C mot utetemperaturen för att få ut genomsnittlig kyleffekt (W/m²) till lokalerna vid respektive utetemperatur : Formeln som används är: Luftmassflöde/m² * Cp * (T_{frånluft} - T_{tilluft}).

Då ingen kondensering sker på växlarytorerna (dvs ingen latent kyla förloras) och status för RH varierar för resp. utetemperatur bedöms att osäkerheten inte förhöjs då ovanstående formel används istället för att räkna med entalpier i Mollierdiagram.



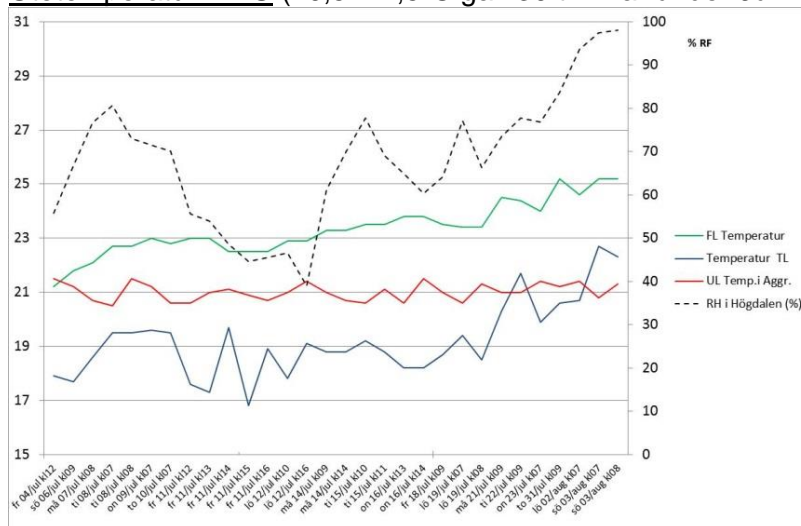
Utetemperatur 20°C (19,5–20,5°C gav 31 timmar av totalt 360 timmar under Julimånaden då aggregatet körs Mån-Fre 06-19)



RH är ovanligt högt under större delen av Juli 2014 vid aktuell utelufttemperatur, som nästan uteslutande inträffar enskilda tillfällen under morgontimmar.

- Om aggregatet, som var avstängt nattetid, satts i frikyleläge med uteluft under de svala morgontimmarna hade frånluftstemperaturen varit betydligt lägre även en längre stund in på förmiddagarna. (Mellan kl 02-06 finns endast 12 timmar av totalt 155 som har högre utelufttemperatur än 20 °C (ingen över 20,8 °C) – medeltemperaturen mellan kl 02-06 var 16,1 °C under den undersökta månaden.)

Utetemperatur 21°C (20,5–21,5°C gav 30 timmar under Julimånaden)

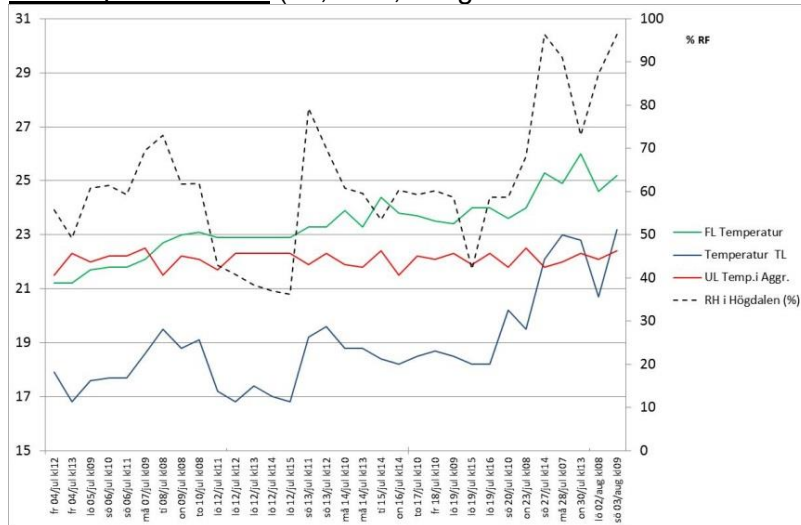


Vid utetemperaturen 21°C inträffar merparten av driftpunkterna under morgontimmar för den varma och fuktiga Julimånaden 2014. Se ovanstående rekommendation om nattfrikyl drift.

- Tilluftstemperaturen på LB02 som håller sig runt 19°C kan väl hållas under Locums kylkrav vid normalflöde för studerad värdavdelning.



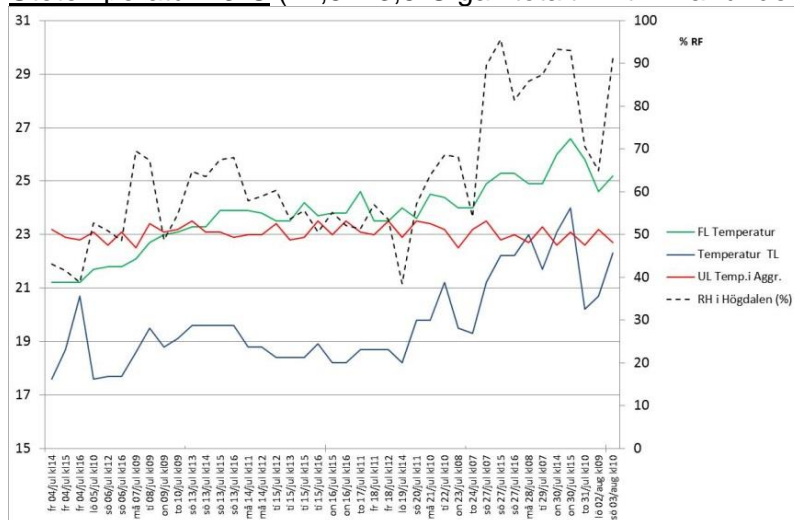
Utetemperatur 22°C (21,5–22,5°C gav totalt 32 timmar under Julimånaden)



Vid utetemperaturen 22°C inträffar driftpunkterna mer utbredd under dagen för den varma och fuktiga Julimånaden 2014.

- Tillufttemperaturen på LB02 som håller sig runt 19°C kan väl hållas under Locums kylkrav vid normalflöde för studerad vårdavdelning. När RH stiger över 75% klarar aggregatet inte kylbehovet.

Utetemperatur 23°C (22,5–23,5°C gav totalt 41 timmar under Julimånaden)

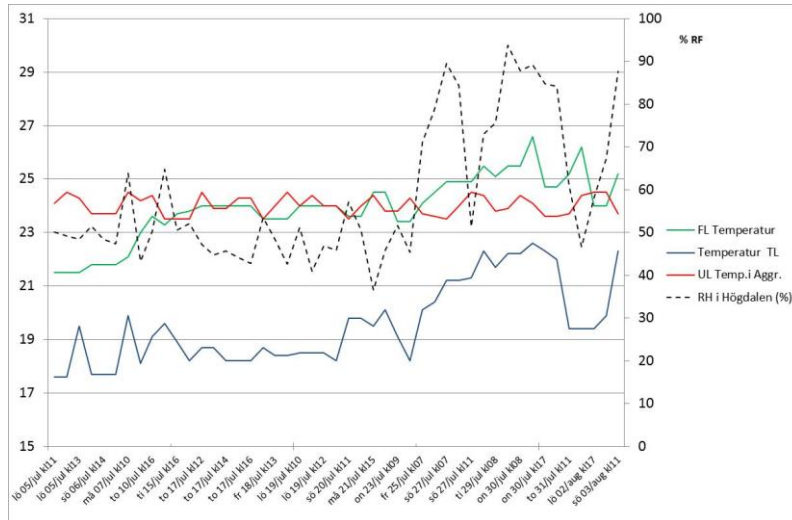


Tillufttemperaturen på LB02 som pendlar runt 19 °C upp till RH 70% kan hålla Locums kylkrav vid normalflöde för studerad vårdavdelning.

- Dagarna med tillfällen då RH är i nivån 90% (I slutet av perioden från 27-30 Juli) levereras inte önskad kyleffekt.



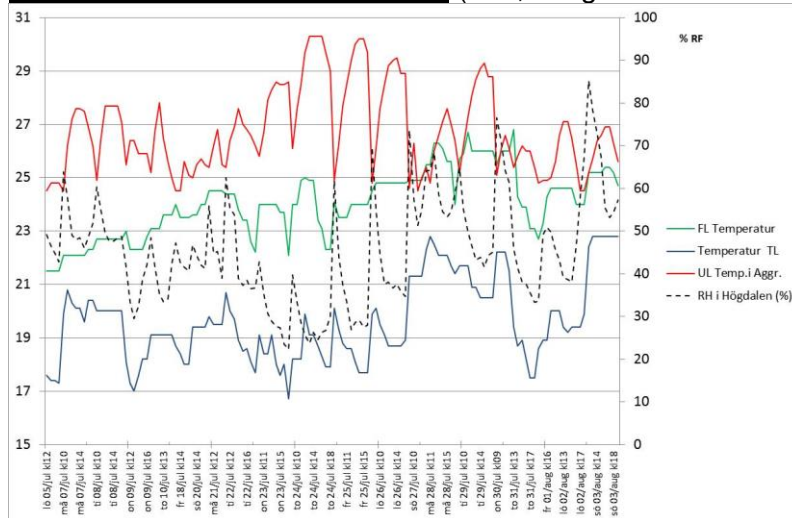
Utetemperatur 24°C (23,5 – 24,5°C gav totalt 47 timmar under Julimånaden)



Tillufttemperaturen på LB02 som pendlar strax under 19°C upp till RH 70% kan precis hållas under Locums kylkrav vid normalflöde för studerad vårdavdelning.

- Dagarna med tillfällen då RH är i nivån 90% (I slutet av perioden från 27-30 Juli) kylls tillufttemperaturen men inte helt i nivå med kylbehovet. Ökas flödet med 25% uppnås behovet (med 19,9°C) vid högre RH nivåer men inte över ca 75-80%.

Utetemperatur från 25°C och över (>24,5°C gav totalt 138 timmar under Julimånaden)

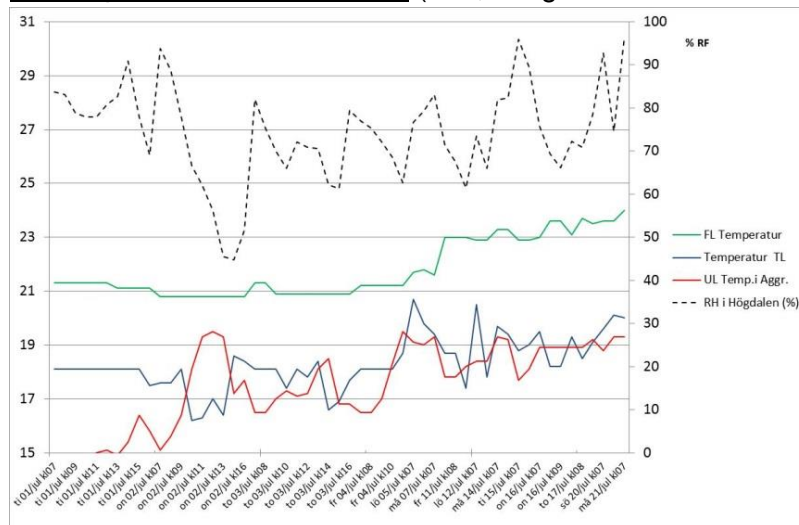


Tillufttemperaturen på LB02 som pendlar runt 19°C upp till RH ca 55% kan inte hållas under Locums kylkrav vid normalflöde för studerad vårdavdelning. Om flödet istället höjs 25% krävs 19 °C tillufttemperatur vilket ligger i nivå med vad aggregatet klarar vid normala RH värden.

- Dagarna med tillfällen då RH är i nivån 60% (I slutet av perioden från 27-30 Juli) kylls tillufttemperaturen men inte helt i nivå med kylbehovet.



Utetemperatur 20°C och under (<19,5°C gav totalt 55 timmar under Julimånaden)

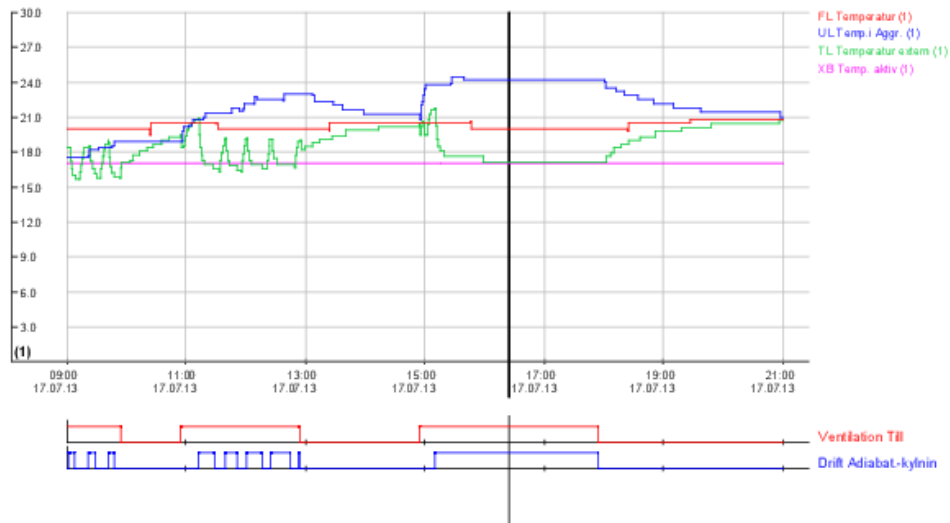


Under perioden med relativt måttlig utomhustemperatur är relativa fuktigheten så hög att kylning med evaporativ kyla knappt kylvärmen från fläktmotorerna. Driftpunkterna med 20°C och under inträffar nästan uteslutande enskilda tillfällen under morgontimmar.

- Om aggregatet satts i nattfrikyldrift hade rums / frånlufttemperaturen sänkts.



4.1.2.2 Uppföljning av kylfallet för LB04 - Restaurangkök



11999404L

17.07.2013 16:24:55	Värde Cursor
FL Temperatur	19.9
UL Temp. i Aggr.	24.1
TL Temperatur extern	17.1
XB Temp. aktiv	17.0
Ventilation Till	1
Drift Adibat.-kylnin	1

Figur 4. Evaporativ kyla för LB04, Väderkvarnen-Micasa med ett börvärde på tilluften med $17^{\circ}\text{C } \Delta T_{\text{Uteluft-Tilluft}}=7,0^{\circ}\text{C}$.

I ovanstående Figur 4, ser man det faktiska förloppet i de temperaturkurvor som dels frånluften genomgår och vilken korresponderande temperatur som tilluften erhåller i motsvarande grad.

Detta luftbehandlingsaggregat försörjer ett restaurangkök där man har introducerat energiåtervinning från imkanalen från restaurangköket. Samtidigt kunde introduceras kyla i tilluften för att skapa en arbetsmiljö för personalen i restaurangköket som är bra mycket bättre än traditionellt genom att minska omgivningstemperaturen med att blåsa in kyld tilluft till restaurangköket med 17°C året om.

I den tidigare installationen återvanns överhuvudtaget ingen energi från imkanalen. Någon kyla för restaurangköket fanns heller inte heller i det tidigare utförandet för luftbehandlingssystemet.

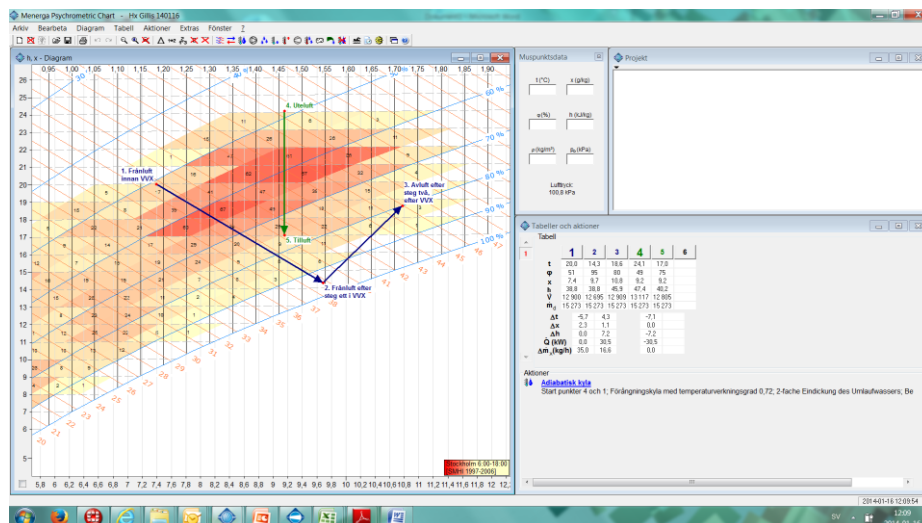
Denna luftbehandlingsutrustning går intermittent dvs. när man har verksamhet i restaurangköket.



Man kan även utläsa att då luftbehandlingsaggregatet är i drift så ser man en samtidig drift av den evaporativa kylan, dels i form av reglerande on-off reglering mellan 09.00-09.45 och mellan 11.10-13.00 dels genom konstant kylning hela tiden mellan 15.10-17.20 beroende på den internbelastning som uppkommit i restaurangköket.

Varje kväll tvättas frånluftsdelen i VVX automatiskt med ett miljövänligt tvättmedel för att alltid ha en ren VVX för dels värmeåtervinning dels indirekt evaporativ kyla vid återstart nästkommande arbetsdag. Slutligen töms vattenstråget under värmeväxlaren varje dag.

Illustration av vad som händer i ett Mollierdiagram vid indirekt evaporativ kylning för LB04.

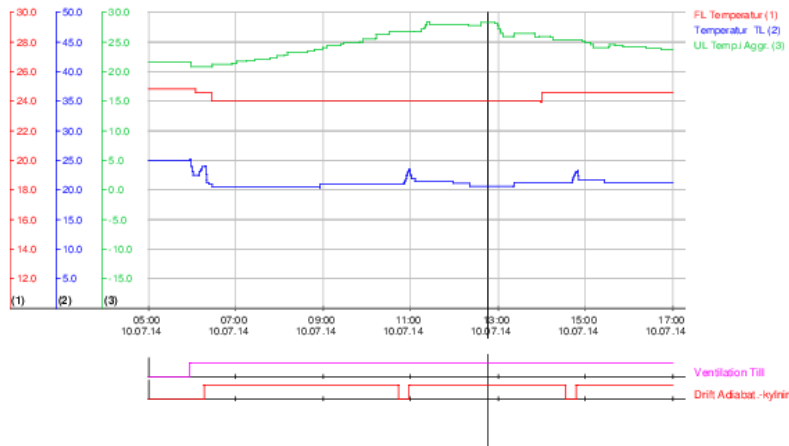


Figur 5: Mollierdiagram som verifierar utdata med evaporativ kylning för LB04.

Man kan utläsa att kyleffekten för LB04 uppgår, vid denna angivna driftpunkt för indirekt evaporativ kyla i drift, till 30,5 kW motsvarande en vattenförbrukning momentant om 30,5 l/h.



4.1.2.3 Uppföljning av kylfallet för LB07

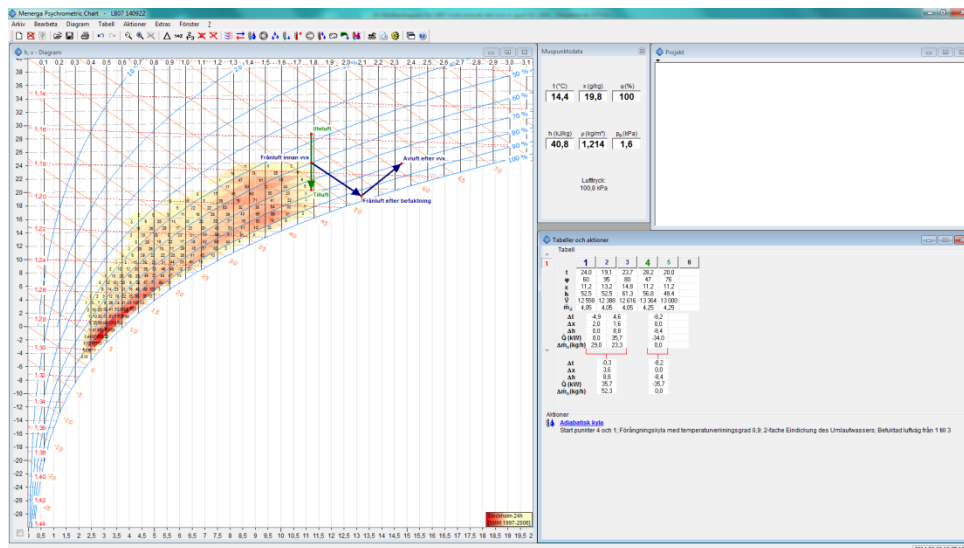


11999407L

10.07.2014 12:46:01	Värde Cursor
FL Temperatur	24.0
Temperatur TL	20.6
UL Temp.i Aggr.	28.2
Ventilation Till	1
Drift Adiab.-kylnin	1

Figur 6: Evaporativ kyla för LB07, Väderkvarnen-Micasa med ett börvärde på tilluften med 20°C. $\Delta T_{Uteluft-Tilluft}=7,6^{\circ}C$.

Illustration av vad som händer i ett Mollierdiagram vid indirekt evaporativ kylning för LB07.



Figur 7: Mollierdiagrammet verifierar förloppet för evaporativ kyla genom LB07.

Man kan utläsa att kyleffekten för LB07 uppgår, vid denna angivna driftpunkt för indirekt evaporativ kyla i drift, till 35,7 kW motsvarande en vattenförbrukning momentant om 52,3 l/h.



4.2 Steg 1b

4.2.1 Göra justeringar för eventuellt ökat behov av kyld tilluft för LOCUM's normalbehov för vårdlokaler samt hur långt Adconair Pro luftbehandlingsaggregat hade klarat kylningen

I syfte att jämföra det akutella Adsolairaggregatet LB07 mot vilka förbättringar som kan förväntas av ett Adconair Pro aggregat har driftdata från LB07 beräknats enligt nedan.

Minskad värmeenergianvändning mellan Adconair Pro- och Adsolairaggregat: $40.700-290=40.410 \text{ MWh}_{\text{värme}}/\text{år}$. Dvs en minskning med 99,3 % motsvarande en årlig kostnadsminskning med $40,410*700=28.287 \text{ kr}/\text{år}$

Förändring av elenergi för att driva till- och frånluftsfläktar samt pumparbete: $64.409-47.589= 16.820 \text{ MWh}_{\text{el}}/\text{år}$ dvs en ökning med 35,3% beroende på vatten/luft-VVX i frånluften för Adconair Pro aggregatet dvs en ökning med $16,82*1000=16.820 \text{ kr}/\text{år}$

Summa minskade kostnader mellan ett Adsolair och ett Adconair Pro aggregat med ovanstående förutsättningar är totalt: $28.287-16.820=+11.467 \text{ kr}/\text{år}$ till Adconair Pro's fördel.

Simulering av hur långt ett Adconair Pro aggregat klarar med indata från vårdavdelning på NKS med begränsning enligt BELOKs rumsklimatkrav med $T_B=25^\circ\text{C}$ med följande indata.

Luftflöde för till- och frånluft $3,89/3,33 \text{ m}^3/\text{s}$

Maximalt specifikt kylbehov: $13,1 \text{ W}/\text{m}^2$ enligt BELOKs definition för rumsklimat, se figur 8 nedan.

Specifikt luftflöde enligt NKS: $1,13 \text{ l}/\text{m}^2$

Specifik vattenförbrukning för evaporativ kyla: $2 \text{ m}^3/\text{MWh}$

Tilluftstemperaturkrav: 19°C

Total lokalyta som luftbehandlingsaggregat betjänar: $3.442 \text{ m}^2 A_{\text{temp}}$

Maximalt kylbehov: $37,3 \text{ kW}$



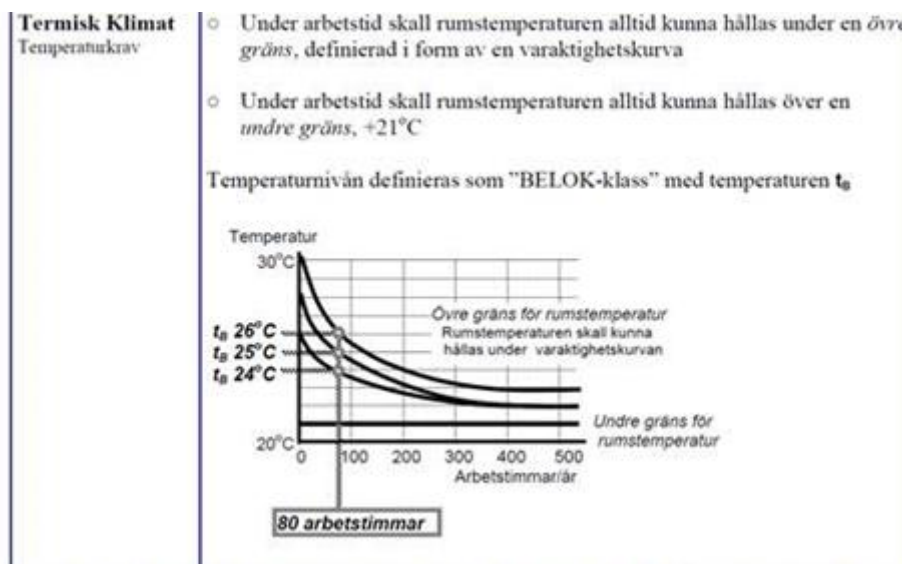
Dimensionerande data för uteluft: $T_{ute}=27^{\circ}\text{C}$ RH=50%, vatteninnehåll 11,3gr/kg

Dimensionerande data för frånluft: $T_{ute}=23^{\circ}\text{C}$ RH=66%, vatteninnehåll 11,7 gr/kg

Resultat av kylberäkningar med ett Adconair Pro aggregat med ovanstående förutsättningar:

Maximalt kylbehov som ett Adconair Pro aggregat levererar med indirekt evaporativ kyla är vid ett tillufts- och frånluftsflöde flöde om 3,89 respektive 3,33 m^3/s ger en maximal kyleffekt på 46,7 kW_{kyla indirekt evaporativt}. Lägsta tilluftstemperatur= 17°C .

Detta innebär att man överträffar att hålla en tilluftstemperatur som är bättre än kravet enligt Beloks definition av rumstemperaturkrav, se figur 8 nedan.



Figur 8. Termiskt klimat för temperaturkrav med avvikelse under 80 timmar/år enligt BELOK's krav för inneklimat.



4.2.2 Analysera relevanta skillnader i faktiskt erhållen kylkapacitet för korsströmsväxlare med teoretisk jämförelse för motströmsväxlare med Mollierdiagram för Adconair Pro.

Av ovanstående beräkningsresultat kan man dra slutsatsen att genom att nyttja tekniken som Adconair Pro systemet medger ger detta som resultat att man klarar driftssituationen med god marginal för LB07 som även kan tillämpas för ovan gjorda analyser för LB02 samt enligt givna kylbehov för NKS beräknade krav med verkyget IDA med kyleffekter och timvärden.

Kapaciteten i kyleffekt uppfyller de krav som man ställer från BEKLOKs rumsklimatkrav som även innebär att man får en större förmåga att hålla en lägre rumstemperatur.

Systemlösningen innebär att den även överträffar det avkall på rumsklimat som görs i BELOKs rumsklimatkrav till en högre grad vilket är positivt för den arbetande personalen och de patienter som man skall omvårda på en vårdavdelning.

Hur långt detta temperaturkrav kan uppfyllas vid $T_{\text{tilluft}}=19^{\circ}\text{C}$ kan vara intressant att detaljstudera i en kompletterande utredning.

4.2.3 Simulera på ett befintligt luftbehandlingsaggregat LB07 utrustat med indirekt evaporativ kyla hur elförbrukningen faktiskt förändras i driftlägen då by-pass-funktion tillämpas för frikyla

Vid en simulering av by-pass-drift på ett Menerga aggregat av typen Adsolair med integrerad indirekt evaporativ kyla har ett test genomförts för att jämföra vilken effektförbrukning som erhålls vid körning av till- och frånluft över värmeväxlaren samt vid tvångsstyrning för by-pass-drift, båda fallen med bibehållet tryckfall i luftbehandlingssystemet på till- och frånluftssidan. Det aggregat som denna simulering genomfördes på är placerat i Väderkvarnen 20 med aggregatbeteckningen LB07. Fastigheten Väderkvarnen 20 ägs av MICASA AB, ett dotterbolag med ett fastighetsbestånd för äldreboende i Stockholms Stad.

Vid denna simulering kunde följande avläsningar göras momentant på frekvensomriktarna i luftbehandlingsaggregatet LB07:

Momentan förbrukad effekt på tilluftsflykt vid körning över växlare:

Icke by-pass-drift

Momentan förbrukad effekt på tilluftsflykt vid körning över värmeväxlare:

3,161 kW, se figur 9.

Momentan förbrukad effekt på frånluftsflykt vid körning över värmeväxlare:

2,502 kW, se figur 9.



By-pass-drift

Momentan förbrukad effekt på tilluftsfläkt vid körning by-pass värmeväxlare: 2,514 kW, se figur 10.

Momentan förbrukad effekt på frånluftsfläkt vid körning by-pass värmeväxlare: 2,110 kW, se figur 10.

På tilluftfläktssidan minskar effektbehovet med 20,5% och på frånluftssidan minskar effektbehovet med 15,7% och sammanvägt med totalt 18,3%. Extern tryckfall för detta luftbehandlingssystem på till- och frånluft uppmättes konstant till 356 Pa respektive 348 Pa med ett tilluftsflöde på 3,78 m³/s respektive ett frånluftsflöde på 3,47 m³/s.

Vid beräkning av hur mycket detta påverkar SFP-värdet över ett år då hänsyn tas till att ett luftbehandlingsaggregat som vissa delar går i by-pass-läge i både värme- som kyl driftsfallet.

Vid simulerade beräkningar av den totala elenergiförbrukning vid enbart drift utan by-pass uppgår den till 65 MWh/år.

Simulering i det fall att både by-pass-drift och icke by-pass-drift körs för luftbehandlingsaggregatet skulle innebära en elenergiförbrukning på 61 MWh/år. Skillnaden uppgår till 4 MWh/år.

Om man beräknar detta med LCC-kostnader under 17 år, kalkylränta 3 %, elenergi pris 1.000kr/MWh och en elenergi prisökning med 3 % /år erhålls nuvärdena utan resp. med by-drift till 1 101kkr respektive 1 035kkr dvs. en differens med 66kkr.

Detta resultat visar på att tryckfallet genom värmeväxlaren är lågt vilket i sig inte är drivande för att by-passa VVX utan detta göres enbart när man nyttjar utelufts tillstånd direkt med färdigbehandlad luft för att tillföras tilluften direkt oavsett det gäller driftsfallet värme eller kyla. Då tillsätts enbart fläktenergi.



Figur 9. Effektförbrukning TL- och FL-fläktar. Ingen by-pass-drift över VVX.



Figur 10. Effektförbrukning TL- och FL-fläktar by-pass över VVX.



4.2.4 Analysera, förutsatt att dessa är dokumenterade, vattenförbrukningar vid de tidpunkter man använt evaporativ kyla

I dagsläget har vi inte kunnat dokumentera de specifika vattenförbrukningar uttryckt i $\text{m}^3/\text{MWh}_{\text{indirekt evaporativkyla}}$ som förevarit för detta specifika luftbehandlingsaggregat LB07. Man har inte installerat några vattenmätare på aggregatnivå med extern avläsningsmöjlighet på MICASAs huvuddatorcentral (HDC).

Givetvis skulle detta vara mycket intressant för att kunna jämföra faktisk vattenförbrukning i $\text{MWh}_{\text{evaporativ kyla}}$ med indirekt evaporativ kyla mot uppmätt vattenförbrukning i m^3 .
Allt för att verifiera beräkning av specifik evaporativ kyla i $\text{m}^3/\text{MWh}_{\text{kyla evaporativ}}$.

Detta skulle man kunna detaljstudera i en särskild utredning då man dels mäter vattenförbrukningen och samtidigt mäter och beräknar levererad momentan kyleffekt för att över tid beräkna levererad kylenergi producerad med indirekt evaporativ kyla.

De beräkningsvärden som är typiska för denna typ av luftbehandlingsaggregat för typen Adsolair av fabrikat Menerga, med en korsströmsvärmväxlare av materialet polypropylén, ger vid teoretisk beräknad vattenförbrukning vid det dimensionerande driftsfallet $T_{\text{ute}} = 27^\circ\text{C}$, $\text{RF} = 50\%$ av $2,5 \text{ m}^3/\text{MWh}_{\text{kyla evaporativ}}$.

Motsvarande beräkningsvärde för en motströms VVX för typen Adconair Pro av fabrikat Menerga med samma material i värmväxlaren som ovan ger en teoretisk beräknad vattenförbrukning vid det dimensionerande driftsfallet $T_{\text{ute}} = 27^\circ\text{C}$, $\text{RF} = 50\%$ som uppgår till viktat medelvärde av $1,8 \text{ m}^3/\text{MWh}_{\text{kyla evaporativ}}$ inom intervallet $1,49 \text{ m}^3/\text{MWh}_{\text{kyla evaporativ}}$ vid högre utetemperaturer och ett högsta värde $2,12 \text{ m}^3/\text{MWh}_{\text{kyla evaporativ}}$ vid lägre utetemperaturer.

Ett praktiskt riktvärde för ett Adconair Pro aggregat är $2,0 \text{ m}^3/\text{MWh}_{\text{kyla evaporativ}}$.

Konsekvensen av detta är att det åtgår mindre vattenmängd vid högre uteluftstemperaturer för att öka när utetemperaturen minskar.

Kyleffekten ökar vid ökande utetemperatur vilket i sig är en intressant iakttagelse och konsekvens. Anledningen till detta är att drivkraften för den evaporativa kyleffekten ökar vid ökande ΔT mellan ute- och frånluftstemperatur där frånluftstemperaturen är konstant.



Differensen i vattenförbrukning mellan Adsolair och Adconair Pro är 0,5 $\text{m}^3/\text{MWh}_{\text{kyla evaporativ}}$ och beror främst på en effektivare värmeväxlarkonstruktion. Vattenåtgången minskar främst genom att frånluftens temperatur kyls ner i en förvärmväxlare med kallt vatten i en luft-/vattenvärmväxlare i ett första steg för att därefter besprutas med en vattendimma i frånluftens väg genom motströmsvärmväxlaren.

Därmed erhålls en högre temperaturskillnad mellan frånluftens och tilluftens temperaturnivå vilket driver på den indirekta evaporativa kylan så att kyleffekten får ett bättre utbyte per insatt mängd vatten i kyl driftfallet.

Motströmsvärmväxlaren ger även en effekt av längre upphållstider och längre luftvägar jämfört med en korsvärmväxlare vilket givetvis ges av geometriska data.

4.2.5 Jämförelser med en alternativ leverantör till Menerga

Andra systemlösningar, t.ex. Climate Machines, Egma Systems, korsströmsvärmväxlare utförd i materialet polycarbonat, har en större vattenförbrukning motsvarande ca $5 \text{ m}^3/\text{MWh}_{\text{kyla evap}}$.

Detta kan ha sin förklaring i att man arbetar med laminär strömning i värmväxlaren till skillnad från Menergas systemlösningar som bygger på turbulent strömning genom värmväxlaren.

Vidare har man ingen återcirkulation av det vatten som man tillför i frånluften utan detta rinner direkt ner i avlopp och återanvänds därmed inte. Återcirkulation av vatten torde minska vattenmängden för det indirekta evaporativa kylfallet.

I fallet med systemlösningarna Adsolair som Adconair eller Adconair Pro är dessa värmväxlare utförda i materialet polypropylén som är lasersvetsade mellan värmväxlarp Plattorna dvs. åldersbeständigheten över tid är konstant.

Climate Machines värmväxlarskivor, utförda i materialet polycarbonat, sammansätts till en hel VVX på plats i fläktrummet där respektive värmväxlarskiva limmas ihop med en siliconliknande massa.

Att dokumentera den evaporativa verkningsgraden kan därmed indikera vilken systemverkningsgrad som Climate Machines systemlösning har sett ur ett indirekt evaporativt kylperspektiv.

Dokumenterade transparenta mätdata från denna typ av luftbehandlingsaggregat i drift har inte analyserat då detta inte ingår i denna utredning.



5 Steg 2 Parallella. LCC jämförelser – där nedanstående alternativ a)-d) jämförs med ett vätskekopplat system

LCC-analyser har genomförts enligt LOCUM's LCC-modell för total energianvändning under ett normalår. Energianvändningen skall avspegla dels uppvärmd och dels kyld luft för ett luftbehandlingsaggregat med en inblåsningstemperatur om 19°C tilluft under en säsong för ett normalår. Enligt BELOK's krav på inomhusklimat kan inomhustemperaturen tillåtas öka till 25 °C under maximalt 80 timmar/år, se även bilaga 3 och 4.

5.1 Data som grund för indata i beräkningar av fukttillskott i frånluften vid sin passage från inblåsningstillstånd till frånluftstillstånd i ett vårdrum

I de beräkningar som genomförts har hänsyn tagits till personbelastningar på en vårdavdelning med liggande-/stillasittande patienter samt vårdpersonal i ett förhållande av 70%/30% och med ett fukttillskottet i gr/person som påslag till det relativa fukttillskottet som tillförs rumsluften för att på så sätt få en rimlig uppfattning om vilka parametervärden som bör påräknas i frånluften för $T_{\text{frånluft}}=23^{\circ}\text{C}$ och $\text{RH}=60\%$ motsvarande $10,7 \text{ gr}_{\text{vatten}}/\text{kg}_{\text{luft}}$.

Detta antagande har beräknats enl. nedan:

VATTENÅNGA	
Aktivitet	Avgivning av vattenånga gram per timme
Sömn	20
Sittande, vila	45
Sittande, lätt arbete	60
Stående, lätt arbete	110

Källa: Hus och hälsa

Vardagar 155 personer varav 70 % "Sittande, vila", samt 30% "Stående, lätt arbete".

Sittande, vila:	108 personer * 0,045 kg/h = 5 kg/h
Stående, lätt arbete:	47 personer * 0,110 kg/h = 5 kg/h
Total avgiven vattenmängd:	10 kg/h

Den totala skillnaden i vatteninnehåll mellan ute- och frånluft motsvarar 0,5 gr/kg luft.

Vinterfall:	
Uteluft temp./RF:-18,6°C/90 %	Vatteninnehåll luft=0,8 gr/kg luft
Frånluft temp./RF23°C/7,5 %	Vatteninnehåll luft=1,3 gr/kg luft



Sommarfall:

Utelufttemp./RF: +27°C/50 %

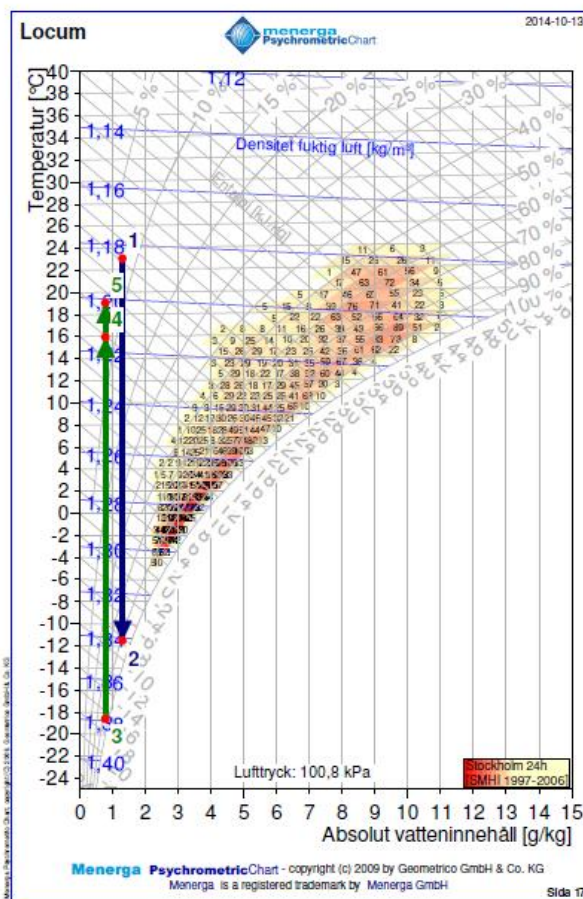
Vatteninnehåll luft=11,2 gr/kg luft

Frånlufttemp./RF: +23°C/66 %

Vatteninnehåll luft=11,7 gr/kg luft

Dessa förutsättningar syftar till att så gott det går återspegla de verkliga förhållanden som råder för de energiberäkningar som ligger som grund för värme- respektive kylfallen. Det är främst kondenseringsvärmen i värmeåtervinningsfallet respektive ångbildningsvärmen i de indirekta evaporativa kylfallet som preciseras.

Alla värmeenergiiberäkningar har genomförts i Mollierdiagram exemplifierat enligt nedanstående figur 11.



Figur 11. Exempel på Mollierdiagram för energiberäkning av värmeenergiförbrukning med energiåtervinning.



5.2 Indataparametrar som använts i alla energianalysberäkningar

$$T_{\text{tilluft}}=19^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{frånluft}}=23^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Till- och frånluftsflyde}=5\text{m}^3/\text{s}$$

$$A_{\text{tempBTA}}=4.425\text{m}^2$$

$$\text{Specifikt luftflyde}=1,13\text{ l/s,m}^2$$

$$\text{Specifik maximal kyla}=13,1\text{ W/m}^2\text{ enligt BELOK's klimatkrav}$$

$$\text{Maximalt kylbehov för luftbehandling}=58\text{ kW}$$

$$\text{Uteluftens dimensionerande tillstånd för kyla temperatur: } T_{\text{ute}}=27^{\circ}\text{C};$$

$$RH_{\text{uteluft}}=50\%; 10,2\text{ gr/kg};$$

$$\text{Frånluftens dimensionerande tillstånd för kyla: } T_{\text{frånluft}}=23^{\circ}\text{C};$$

$$RH_{\text{frånluft}}=60\%; 10,7\text{ gr/kg}$$

$$\text{Uteluftens Dimensionerande utetemperatur DUT: } T_{\text{ute}}=-18,6^{\circ}\text{C}$$

I dessa beräkningar har vi även tagit hänsyn till det fuktillskott som sker med luften på sin väg genom luftbehandlingssystemet från behandlad tilluft till dess att frånluftens tillstånd tillförs med $0,5\text{ gr}_{\text{vatten}}/\text{kg}_{\text{frånluft}}$ för att energiåtervinnas i värmeväxlare.

5.3 Indataparametrar för respektive alternativ a)-d)

Underlagsdata och resultat för alla 6 LCC-beräkningar redovisas i bilaga 4.

5.4 Energikostnader och energiprisutvecklingar som använts i LCC-kalkylerna för att kunna göra jämförelser mellan de olika alternativen

(P0 värdena är direkt hämtade från Locums LCC mall)

Fjärrvärmepris: 700 kr/MWh; Energiprisutveckling: 1,5 %/år reall

Elpris: 1.000 kr/MWh; Energiprisutveckling: 3,0 %/år reall

Fjärrkyla: 1.300 kr/MWh; Energiprisutveckling: 2,0 %/år reall

Mekanisk kyla: 333 kr/MWh; Energiprisutveckling: 3,0 %/år reall

Indirekt evaporativ kyla: 40-50 kr/MWh; 20 kr/m^3 ; Energiutveckling: 2 %/år reall

Underhållskostnad: 5% av investeringeringen kr/år

Underhållskostnadsutveckling: 2%/år reall

Kalkylränta: 3 %/år

Ekonomisk livslängd: 17 år

De alternativ som skall analyseras redovisas mot referensalternativet i detalj i bilaga 3 och 4.



5.5 LCA för kylenergi och vattenförbrukning

Rapport för CO₂-emissioner för kyla, el och fjärrvärme ("producerad" inom Stockholm) har inhämtas från Swecos, Helsingborgskontor i genomförd LCA-analys.

Nordisk elmix är lämplig att använda som grund i ett LCC perspektiv då kommande förutsättningar för produktion etc. är okända för de olika nyttigheterna el, kyla från vatten och el i fjärrkyla samt fjärrvärme. Rapporten, som bifogas denna rapport, visar alla indata och beräkningsgångar, se bilaga 6. Sammanställning av totala emissionsdata för alla studerade alternativ redovisas i bilaga 7.

6 Diskussioner

Att systemlösningen Adconair Pro förbrukar mer elenergi än motsvarande Adconair uppvägs av att Adconair Pro klarar en lägre inblåsningstemperatur än vad gäller fallet för Adconair. Med den vatten-/luft-VVX i frånluften som Adconair Pro har i sin systemlösning medger detta att en större momentan kyleffekt som kan tas ut och även bidrar till att klara en konstant tilluftstemperatur då utetemperaturen överstiger det dimensionerande sommarfallet för $T_{ute}/RH_{ute}=27\text{ }^{\circ}\text{C}/RH50\%$.

Man kan uttrycka det som att man kan minska varaktigheten enligt BELOKs rumsklimatdefinition med den konsekvensen att klara $T_{tilluft}=19^{\circ}\text{C}$ under en längre tid över ett år dvs. underskrida de 80 h/år som beräkningarna för övrigt grundas på då rumstemperaturen tillåts öka till $T_B=25^{\circ}\text{C}$. I de fåtal timmar i driftfallet kyla som uppstår under ett normalår kan man se till att öka luftflödet momentant för att därmed bära ut en större kyleffekt. Givetvis skall man nyttja frikyla på morgnar för att därmed tillgodgöra sig den lägre utomhustemperaturen på morgontimmarna.

Den indirekta evaporativa kylan med systemlösningen Adconair Pro klarar minst en effektkapacitet på upp mot 300 W/m^2 vilket täcker den största effektkyllasten under en lång varaktighet då kylbehov förefinns i en vårdavdelning.

I sin tur medför detta att behovet av spetskyla med kylbafflar eller liknade minskar. Kombinerar detta även med att man momentant kan öka luftflödena vid dessa tillfällen med upp till 25 % så klarar man ytterligare att matcha den maximala kyleffekten de få timmar då detta uppträder över ett normalår.



Vidare kan man se att emissionen av CO₂ är markant mycket lägre för de system som använder indirekt evaporativ kyla jämfört med konventionella kylsystem som fjärrkyla respektive mekanisk kyla innebär.

Att satsa på denna teknik med indirekt evaporativ kyla i kombination med energieffektiva systemlösningar skulle för LOCUMs del innebära att man minimerar sina miljöutsläpp av CO₂ samtidigt som energianvändningen i värmefallet minimeras.

Genom redovisat mycket låg förbrukning av värme-, el- och kylenergi i kombination med att använda stadsvatten för komfortkyla i luftbehandlingsanläggningar enligt systemtekniken som Adsolairaggregatet uppvisar för LB02 som ytterligare förbättras med systemlösningarna Adconair eller Adconair Pro medger detta bästa möjliga prestanda under ett normalår med minimala CO₂-utsläpp. Detta framgår genom de lägsta LCC-kostnaderna som markant understiger de mer konventionella luftbehandlingssystemen med konventionella kylsystem som fjärrkyla eller mekanisk kyla.

Detta gäller även för Adsolair systemet som framgent kommer att finnas för specialapplikationer såsom luftbehandlingsaggregat för restaurangkök med indirekt evaporativ kyla och förhållandevis hög energiåtervinningsgrad i en integrerad systemlösning som är hållbar över tid.

Att förändra energianvändningen med ett offensivt kravställande i samband med att man skall projektera och handla upp nya luftbehandlingssystem är en utmaning vid ersättningsinvesteringar för uttjänta luftbehandlingsaggregat. Utredningen visar på att det finns teknik som uppfyller dessa krav med råge.

Att ställa krav på lägsta möjliga CO₂-emissioner och bästa energieffektivitet för att därmed säkerställa utlovade data för luftbehandlingssystem i samband med program-/systemhandlingskedan.

De presenterade beräkningarna och de referensanläggningar som redovisats talar för sig själva för att förändra och minimera energianvändningen och emissioner av CO₂ som är markant lägre när man skall göra ersättningsinvesteringar för uttjänta luftbehandlingsaggregat.

För de mer konventionella luftbehandlingssystemen ser man att LCC-kostnaden är avsevärt mycket högre än för de alternativ som innebär att man använder indirekt evaporativ kyla i kombination med effektivare energiåtervinningsystem.



Det är oerhört viktigt att ställa krav på energieffektivitet med kontroll av utlovade data från olika leverantörer av luftbehandlingssystem.

Utlovade data map. energieffektivitet i kombination med komfortkyla i program-/systemhandlingskedan skall utvärderas kritiskt för att kunna påverka valet av den effektivaste framtida systemlösningen för luftbehandlingssystem utan att endast snegla på investeringskostnaden.

Minst lika viktigt är att verifiera utlovade data som skall analyseras och beräknas i Mollierdiagram för respektive luftbehandlingssystem för att kunna dra slutsatser om utlovade data håller måttet eller ej innan man bestämmer sig för val av systemlösning för kommande luftbehandlingssystem.

Utlovade data skall dessutom kritiskt jämföras och kontrolleras genom LCC- och LCA-analyser i tidiga skeden i samband med program-/systemhandlingskedan för att kunna påverka valet av de effektivaste framtida systemlösningarna för luftbehandlingssystem utan att endast snegla på investeringskostnaden.

Underlag för CO₂-ekvivalenter från bilagd LCA rapport från Sweco, kan med fördel användas för att underlätta detta arbete.

Tyvärr finns det en utpräglad tendens att endast prioritera lägsta möjliga investeringskostnad och inte kritiskt utvärdera **alla** driftskostnader i en kvalificerad LCC- och LCA-analys för val av den mest effektiva framtida systemlösningen för luftbehandlingssystem som skall väljas i ett helhetsperspektiv.

Investeringskostnaden i en LCC-analys utgör endast 10-20% av den totala livscykelkostnaden under investeringens ekonomiska livslängd. Detta får till följd att en marginell ökning av investeringsnivån ger en liten påverkan på den totala LCC-kostnaden samtidigt som driftskostnaderna minskar avsevärt beroende på energieffektivare systemlösningar som därmed bidrar till påtagligt lägre driftskostnader och därmed lägsta totala LCC-kostnad.

Det viktigaste är att man prioriterar långsiktighet map. den sammantaget lägsta energianvändning för värme, el och kyla samt lägsta möjliga miljöpåverkan med CO₂-utsläpp.

Om man inte kontrollerar och utvärderar systemlösningarna enligt ovan får man ta konsekvensen att fortvarigt återigen leva med höga driftskostnader under en period av minst 20 år med höga energikostnader och höga emissioner av CO₂-utsläpp.



7 Slutsatser-rekommendationer

Utredningen visar bl.a. att:

- Adsolair aggregaten har hög prestanda och klarar normalt att kyla till de värden som börvärden är inställda på. För sommaren 2014 som var ovanligt varm och fuktig hade frikylning under morgontimmar underlättat kylningen under ett driftfall. Vid utetemperaturer över 24°C hade det ibland varit nödvändigt att höja flödet med 25 % för att säkra kylningen sista biten. Det är endast få enstaka tillfällen med hög relativ fuktighet som gav mindre kylning än inställda behov.
- Ett av de vidareutvecklade aggregaten Adconair alternativt Adconair Pro kan utan köpt kyla leverera det kylbehov ($T_B=25^\circ\text{C}$)⁴ som Locum har under ett normalår. Adconair Pro ger möjlighet att kyla till ett ännu tuffare inneklimatekrav vid motsvarande luftväxling.
- Eleffektiviteten (sfp) blir väsentligt lägre på årsbasis pga by-pass-drift i både värme och kyldriftsfallen än om tillfället med högst tryckfall väljs så som görs vid vanlig sfp-avstämning.
- När eleffekten på till- och frånluftsfläktar för ett undersökt aggregat simulerades på årsbasis vid dimensionerande luftflöden erhöles en sammanvägd total lägre nivå om 18,3% vid möjlighet till by-pass-körning när så är möjligt jämfört med full återvinning och ingen by-passkörning. Skillnaden i LCC-kostnad för detta uppgår till 66 kkr. Orsaken är att luft delvis fördelas förbi växlarytorna, i by-pass-läge, när inte full värmeåtervinning krävs. Motsvarande by-pass-läge inträffar vid frikyla, dvs. då uteluft kan användas direkt då kylning krävs.
- Vattenanvändningen i de aktuella luftbehandlingsaggregaten är endast 2–2,5 m³/MWh – dvs. kylkostnaden är 40-50 kr/MWh att jämföra med 700 – 1 400 kr/MWh om fjärrkyla från Fortums normaltaxa⁵ används.
Stadsvattenuttaget förväntas öka marginellt med ca 1,5 procent för att täcka beräknat kylbehov genom ventilation för referensbyggnaden.

⁴ Definierat som BELOKs inneklimatekrav $T_B=25^\circ\text{C}$ dvs. som tillåter att inomhustemperaturen överstiger 25°C under max 80 timmar. Beräknad dimensionerande kyleffekt och luftväxling framgår av Bilaga 4.

⁵ Priset på fjärrkyla är helt beroende på hur baseffekten utbreder sig och av maxeffekten.



Det motsvarar en vattenförbrukning med 54 m³ per normalår till förmån för sänkt kylanvändning med motsvarande 27 000 MWh/år (35100-1080=34 020 kr i årlig besparing jämfört med fjärrkyla).

- Trots att Menergas indirekt evaporativa aggregat är förhållandevis enkelt uppbyggda krävs att driftpersonal säkerställer att systemen körs som det förväntas för fastighetsägaren. I dagsläget sker service från leverantören Menerga endast på vinterhalvåret vilket bör kompletteras med ett servicebesök inför kylsäsongen för att säkerställa att den evaporativa kylan är fullt fungerande. Ett antal elementära avvikelser har kunnat identifieras vid besök på plats vid MICASAs anläggningar och vid granskning av driftdata.
- En generell synpunkt är att det förefaller som att den inköpta drifts- och underhållspartnern inte alltid är medveten om driftstatus för luftbehandlingsaggregat som vi studerat. I två fall fann vi att luftbehandlingsaggregaten hade larmat i 14 dagar eller mer utan att någon åtgärd hade vidtagits.

Emissionen av CO₂ är markant lägre för de system som använder indirekt evaporativ kyla jämfört med konventionella kylsystem som fjärrkyla respektive mekanisk kyla. Vidare ser man att den totala emissionen av CO₂ är påtagligt mycket lägre för de system som är utrustade med indirekt evaporativ kyla då man även tar hänsyn till påverkan av vinterdrift på årsbasis.

Att satsa på tekniken med indirekt evaporativ kyla i kombination med energieffektiva systemlösningar skulle för LOCUMs del innebära att man minimerar sina miljöutsläpp av CO₂. Användningen av värme-, el- och kylenergi hålls låg genom att tillåta att använda stadsvatten för komfortkyla i luftbehandlingsanläggningar enligt systemtekniken som Adconair eller Adconair Pro medger.

LCC-analyserna och redovisade emissioner av totala CO₂-utsläpp visar på markanta skillnader relativt sett konventionella luftbehandlingsaggregat med konventionella kylsystem.

De systemlösningar som Adconair och Adconair Pro uppvisar är helt överlägsna sett ur både ett LCC- som LCA-perspektiv med de överlägset lägsta LCC-kostnader såväl som överlägset lägsta CO₂-emissioner även om investeringskostnaden är högre.



En bred satsning på indirekt evaporativ kyla, genom att tillåta att använda stadsvatten för indirekt evaporativ kyla (adiabatisk kyla) i kombination med mycket energieffektiva systemlösningar för luftbehandling rekommenderas:

Förändring av R20 VVS & kyla angående Stadsvatten för kylning:

”Stadsvatten får inte användas för direkt kylning. Möjligheterna att utnyttja vattnets förmåga att kyla ges dock för t.ex. adiabatiska processer, såsom indirekt evaporativ kyla. I processerna nyttjas stadsvatten i fasövergången mellan flytande vatten till vattenånga för att kyla tilluft med vattenbegjutning av frånluften i en rekuperativ systemlösning för ett luftbehandlingsaggregat.”

Fördjupningsfrågor som bör utredas vidare:

- Att ytterligare inventera och dokumentera driftsituationen för ett par aggregat utrustade med indirekt evaporativ kyla för att säkra upp dokumenterad funktionalitet för anläggningar där luftbehandlingsaggregaten har ett bättre uppföljt drift- och underhållsarbete.
- Detaljstudera driftdata för hur långt ett Adconair Pro aggregat klarar topplasten i förhållande till BELOKs rumsklimatkrav för $T_B=25$ °C. Detta för att hitta brytpunkten för T_B -nivån för aktuellt kyleffektfall från NKS allt för att slippa att överväga toppkyla med fjärr- eller mekanisk kyla för ”normal verksamhet map. kylbafflar installerade på lokal nivå eller spetskylbatterier på central nivå för luftbehandlingsaggregat”.
- Även genomföra detaljerade studier på rumsnivå, med NKS-körningar som grund, för att se hur den indirekta evaporativa kylan med systemlösningen Adconair Pro kan täcka den största delen av kylbehovet och att man därmed endast installerar och använder kylbafflar i lokaler med särskilt stora kyleffektbehov där den indirekta evaporativa kylan står för bas- och mellanlastkyla vilken har den största varaktigheten sett över ett normalår.

Stockholm i december 2014

Gillis R. Wikander
punkt R AB