

Artikelförfattare: **Gillis R Wikander**

Sysselsättning: **Energieffektiviseringskonsult, punkt R AB**

Kontakt: **gillis.r.wikander@punktr.com**

Finns det ett kylbehov – tillsätt bara vatten!

I Sverige saknar fastighetsägare, konsulter och entreprenörer traditionellt djupare kunskaper om indirekt, evaporativ kylteknik. Tekniken ger miljövänlig och energisnål kyla som ett alternativ till konventionella kylmetoder, utan rörliga delar.

Populistiskt uttryckt kan man beskriva den evaporativa kyleffekten på följande sätt: Du är ute i öknen och det är ett starkt solsken och mycket varmt. Du har tillgång till en varm ölflaska, en halsduk och du är kissnödig samtidigt som du verkligen skulle uppskatta att kunna dricka en kall pilsner precis där du står mitt ute i öknen. Hur åstadkommer man det?

Jo, man tar sin ölflaska, lindar in den i halsduken (och har därmed ordnat en primitiv värmeväxlare), du pinkar på den inlindade pilsnerflaskan och ställer den i solen. Efter ett tag, då halsduken har torkat, tar du bort densamma, öppnar ölen och njuter av en kall öl mitt ute i öknen.

Teori och bakgrund

Evaporation, avdunstning, innebär att en vätska övergår från flytande form till gasform, i detta fall vattenånga. Avdunstning sker även långt under vätskans kokpunkt. Det beror på att temperaturen endast är ett genomsnitt för molekylernas energi, där enskilda molekyler kan ha högre respektive lägre energinivåer. De molekyler med en energi som motsvarar förångningsenergin avgår till omgivningen som gas. Samtidigt kyls resten ner som en följd av att genomsnittsen energi i den delen sjunker.

Värme flödar från ett system med hög temperatur till ett system med låg tem-

peratur till dess att systemet som avger värme inte längre förlorar mer entropi på värmeförflyttningen än vad systemet som tar emot värme vinner. Då värmeflödet upphör har systemen tillsammans uppnått sin maximala entropi, temperaturen är lika och systemen befinner sig i termisk jämvikt med varandra.

Temperatur kan också beskrivas som den kinetiska energin i en ideal gas, det vill säga rörelsen hos molekylerna/atomerna inom ämnet. Vid högre temperatur rör de sig mer och vid lägre temperatur mindre.

I praktiken

I Sverige saknar fastighetsägare, konsulter och entreprenörer traditionellt djupare kunskaper om evaporativ kylteknik. Ofta uppstår missförstånd i diskussioner då teknik med traditionell evaporativ kyla ofta förväxlas med generativ kylteknik. Konsekvensen av förväxlingen blir att kylförsörjningen inte fungerar i praktiken i augusti månad, eftersom luftfuktigheten, alltså vatteninnehållet, i uteluften då är så hög att det ger ett för högt vatteninnehåll i den tilluft som tillförs i en så kallad regenerativ systemlösning.

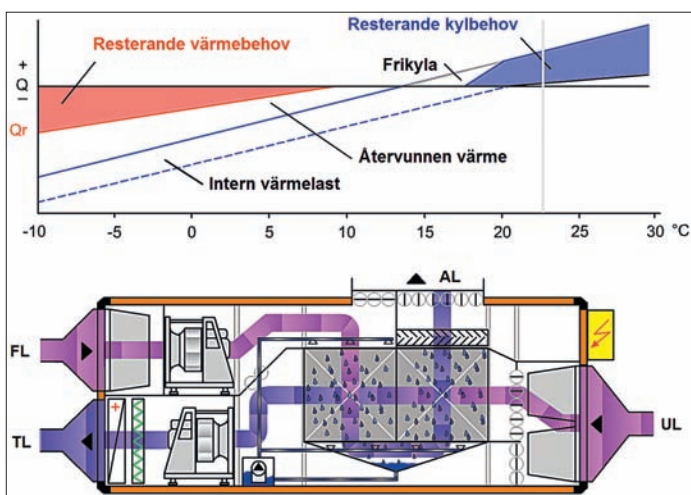
Detta får till följd att det sker en anrikning av fukt i tilluften som ska kylas såvida man inte inför en torkning av frånluften för att bortföra fukt i en hygroskopisk enhet med konsekvensen att man måste tillföra

extern energi [3]. Processen är då inte särskilt energieffektiv.

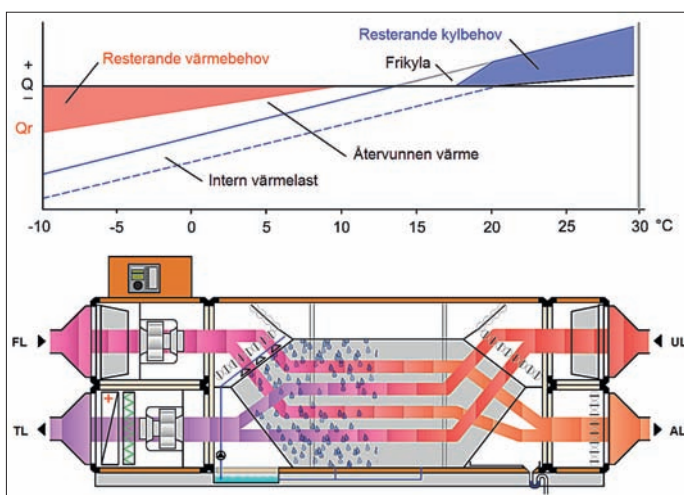
Men denna evaporativa teknik är inte den intressanta utan det är en alternativ indirekt evaporativ kylteknik där kyleffekten sker genom en värmeväxlarvägg utan kontakt mellan till- och frånluft i en reku-perativ systemlösning och utan att man tillför någon extern energi.

Den teknik för indirekt evaporativ kyla som vi refererar till har utvecklats från avfuktningsteknologin, där det primära var att avfukta frånluft i badhus med en minimal energianvändning samtidigt som ångbildningsvärmets kunde återvinnas och tillgodogöras från den fuktiga frånluften som kondenseras ut i värmeväxlaren vid samtidig avfuktning. Denna värmeväxlare har under åren vidareutvecklats och förfinats från tidiga versioner av värmeväxlare utförda i aluminium till värmeväxlare utförda i speciella plastmaterial anpassade för att klara den tuffa miljö man har att hantera i badhus.

Fanns det en möjlighet att tillämpa denna systematik i konventionella luftbehandlingsanläggningar med behov av komfortkyla? Kunde man reversera avfuktningssprocessen, för att åstadkomma kyla? Tidigare hade man fällt ut kondenserad luft i frånluftsdelen i växlaren och därmed tillgodogjort ångbildningsvärmets. Det omvända sker i en luftbehandlings-



Figur 1: Principschema för luftbehandlingssystemet med korsströms-VVX.



Figur 2: Principschema för luftbehandlingssystemet med motströms-VVX.

anläggning, med förhållandevis torr frånluft, där vatten tillsätts i frånluften genom att spraya en vattendimma i värmeväxlarens frånluft, vattnet förångas och därmed är det möjligt att utvinna värmeenergi från den varma tilluften och kyla denna genom värmeväxlarväggen. Processen sker med transmission av energi genom värmeväxlarväggen för att åstadkomma kyla.

Genom att endast tillsätta vatten blir konsekvensen att tilluftstemperaturen kan sänkas från nivån 28 °C till cirka 19 °C i tilluften. Detta var första generationens utförande med dubbla korsväxlare satta i serie.

Nästa generation utfördes som en motströmsvärmeväxlare vilket medför att tilluften kan kylas ner med ett $\Delta T \leq 16$ °C, motsvarande en inblåsningstemperatur av 12 °C vid en utetemperatur av 28 °C. Detta är högintressant eftersom det innebär att man i de flesta driftsituationer inte behöver tillföra spetskyla i ett efterkylbatteri och man erhåller därmed ett lågt totalt SFP-värde i luftbehandlingsaggregatet med denna typ av applikation.

Förångning av vattendimma

Hur åstadkommer man detta?

Vi har ett antal parametrar att arbeta med. Vi har dels transmission genom värmeväxlarväggen, dels avdunstning av vatten i den del av värmeväxlaren där man sprutar in vattendimma.

Förångningen av vattendimman i frånluften gör att det åtgår energi genom ångbildningsvärme, det vill säga energi tas ur tilluften som därmed blir avkyld. Termodynamikens andra huvudsats innebär att energi strävar att gå från en högre energinivå till en lägre.

En bonuseffekt är att ju högre tilluftstemperaturen är desto större blir den evaporativa effekten. Detta bara genom att tillsätta vatten.

I figur 1 visas principen för hur systemlösningen fungerar. Illustrationen visar en korsvärmeväxlare som är seriekopplad i

tvåstegsutförande. Materialet i värmeväxlaren är polypropylen där värmeväxlarytan är mycket glatt, så att inget fastnar. Tryckfallet blir lågt över värmeväxlaren. Genom att etablera ett turbulent luftflöde genom värmeväxlaren blir effekten av avdunstningen mycket större i jämförelse med naturens evaporativa kyleffekt, som närmast har laminär strömning.

På detta sätt erhålls en effektiv energiåtervinning samtidigt som man genom att sätta till en vattendimma i frånluften i värmeväxlaren erhåller en indirekt evaporativ kyleffekt utan rörliga delar.

I de fall man klarar ett kylbehov med enbart uteluft och uteluftstemperaturen är lägre än inställt börvärde, by-passar man värmeväxlaren och använder uteluften som "äkta" frikyla med tillhörande ännu lägre totalt SFP-värde för luftbehandlingssystemet.

Korsvärmeväxlaren har ersatts med en motströms-VVX (se figur 2) vilket ökar temperaturverkningsgraden från cirka 80 procent till över 90 procent enligt definitionen för temperaturverkningsgrad, EN 308:1997. Motströmsvärmeväxlaren ger även som resultat att man kan erhålla nedkylning av tilluften inblåsningstemperatur med $\Delta T \leq 16$ °C.

För denna systemlösning innebär det sammantaget att man kan tillgodogöra sig alla tillstånd för uteluft och vatten som därmed inte innebär någon nämnvärd tillförsel av energi för att driva processen för kyla eller energiåtervinning. Den energi som används är fläkt- och pumparbete. Ingen annan energi behöver tillföras för att återvinningsprocessen ska åstadkomma kyla.

Effekten av den rekuperativa systemlösningen utrustad med indirekt evaporativ kyla innebär följande:

Den rekuperativa värmeväxlaren för luft har en första funktion där det finns behov av att återvinna energi ur frånluften i ett till- och frånluftssystem med värmeväxling. Detta görs så länge det finns ett behov

av att värma tilluften. Temperaturverkningsgraden är ≥ 90 procent för en motströmsväxlare.

Den rekuperativa värmeväxlaren för luft kan, när det finns ett kylbehov, tillgodoses genom att "bomba" frånluften i värmeväxlaren med vattendimma. Därmed åstadkoms en indirekt evaporativ kyleffekt för tilluften. Finns det ett kylbehov som kan täckas med uteluft som är kallare än inne-temperaturen, sker det med att man by-passar en del av luften över värmeväxlaren, för att skapa kyla med enbart uteluft. Allt detta styrs utifrån rådande förhållanden mellan ute-, inne- och börvärdet för tilluftstemperaturen i luftbehandlingssystemet. Den evaporativa verkningsgraden är ≤ 100 procent för en motströmsväxlare.

Beskrivning av ett praktikfall

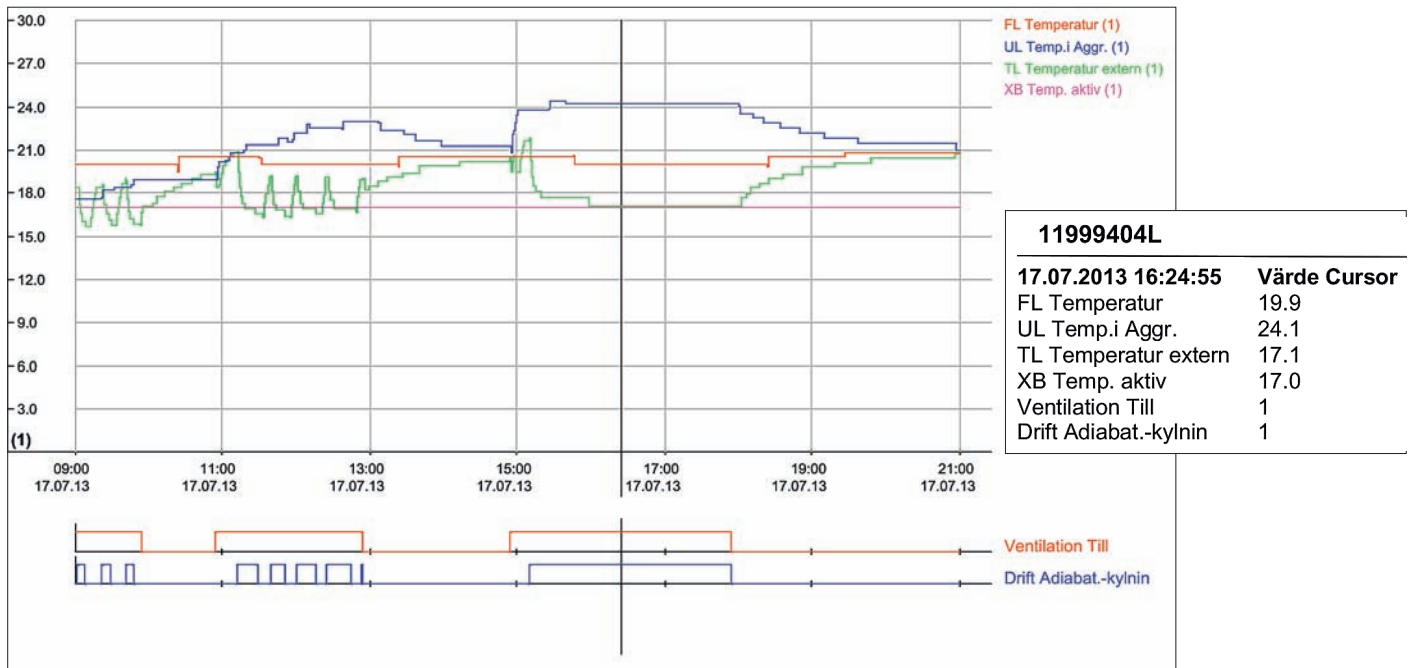
I figur 3 ser man det faktiska förloppet i de temperaturkurvor som dels frånluften genomgår samt vilken korresponderande temperatur tilluften erhåller i motsvarande grad. I en tidigare artikel [2] har vi översiktligt beskrivit installationerna och hämtat driftdata från ett av de installerade luftbehandlingsaggregaten.

Detta luftbehandlingsaggregat försörjer ett restaurangkök där vi har introducerat energiåtervinning ur imkanalen från restaurangköket.

Samtidigt har vi kunnat introducera indirekt evaporativ kyla i tilluften för att skapa en arbetsmiljö för personalen i restaurangköket som är mycket bättre än traditionellt. Omgivningstemperaturen sänks genom att blåsa in kyld tilluft till restaurangköket utan tillförsel av extern energi.

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

Luftbehandlingsutrustningen går intermitterande, det vill säga endast när man har verksamhet i restaurangköket.



Figur 3: Lufttemperaturkurvor för till- och frånluft som funktion av indirekt evaporativ kyla.

Då luftbehandlingsaggregatet är i drift ser man en samtidig drift av den indirekta evaporativa kylan, dels i form av reglerande on-off-reglering kl 09.00–09.45 och 11.10–13.00, dels genom konstant kylning kl 15.10–18.00 beroende på internbelastning i restaurangköket till en lägsta tilluftstemperatur av 17,1 °C.

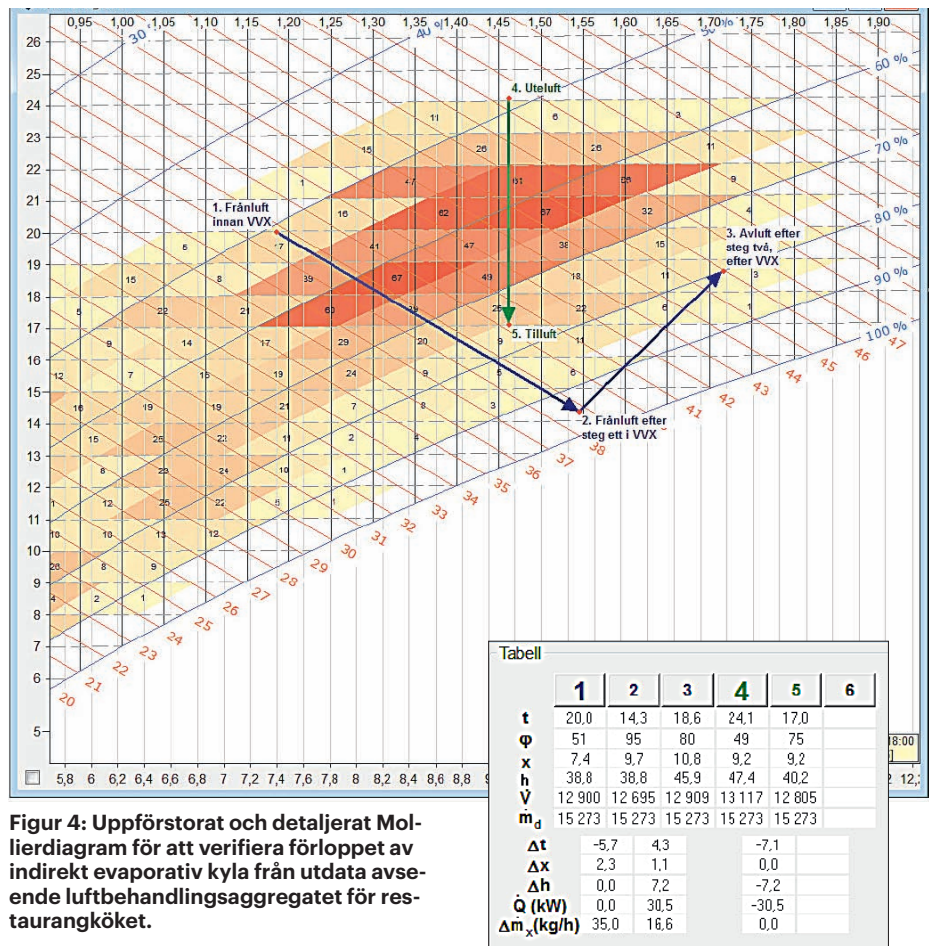
Varje kväll tvättas frånluftsdelens i värmväxlaren med ett miljövänligt tvättmedel för att alltid ha en ren växlare för värmeåtervinning och indirekt evaporativ kyla.

I Mollierdiagrammet i figur 4, detaljer, ser man att kylfasen sker indirekt evaporativt genom tillförsel av vattendimma, punkt 1 till punkt 2. Vatteninnehållet ökar i frånluften och temperaturen sänks från 20 °C till cirka 13 °C, vilket får till följd att tilluften i motsvarande grad sänks från 24 °C till cirka 17 °C genom ren kylning. Punkt 4 till punkt 5, kyleffekten för att kyla tilluften uppgår till cirka 30,5 kW vid ett luftflöde på 12 900 kbm/h och kyleffekten erhålls genom att enbart tillsätta en vattendimma i frånluften. Det sker alltså en avdunstning i frånluften som tar energi ur tilluften som därmed kyls av.

Diskussion

Genom att använda sig av evaporation, kan man möjliggöra användandet av ”äkta fri-kyla” utan att krångla till det. Genom att använda sig av en teknologi som tillvarar varje given situation i ett helhetstänkande kan man effektivt återvinna energi ur frånluften.

Samtidigt kan man, i samma systemlösning, åstadkomma kyla genom att kyla med uteluft när uteluften har det ”rätta” tillståndet kompletterat med att tillsätta vatten på ett smart sätt. Det smarta sättet att



Figur 4: Uppförstorat och detaljerat Mollierdiagram för att verifiera förloppet av indirekt evaporativ kyla från utdata avseende luftbehandlingsaggregatet för restaurangköket.

åstadkomma kyla beror på aktuellt driftfall och sker optimalt utan att tillföra annan energi än pump- och fläktarbete samt vatten genom indirekt evaporativ kyla. Insatsen av media blir minimal genom effektiv styrning av dessa system med bland annat varvtalsstyrning och behovsstyrda luftflöden vid varje tillfälle.

Referenser

- [1] Mandl, F (1999). Statistical Physics. Chichester, England: Jown Wiley & Sons, Ltd
- [2] Mark Kretz. (2013). Köksvärme kylar. Energi & Miljö nr 8/2013
- [3] Per-Erik Nilsson. Komfortkyla. Rapport Effektiv 2001:01. ISBN 91-7848-841-9