Energieffektivisering i komfortkylssystem

Bengt Bergsten
Stefan Aronsson

EFFEKTIV
Samverkan för effektiv och miljövänlig energianvändning i bostäder och lokaler

Projektrapport

EFFEKTIV är ett samarbetsprojekt mellan staten och näringslivet med ELFORSK som koordinator. EFFEKTIV finansieras av följande parter:

- ELFORSK
- Borlänge Energi AB
- Borås Energi AB
- Elbolaget i Norden AB
- Falu Energi AB
- FORMAS
- Graninge Kalmar Energi AB
- Göteborg Energi AB
- IMI Indoor Climate AB
- Jämtkraft AB
- Karlstads Energi AB
- Mälar Energi AB
- Skellefteå Kraft AB
- SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
- Statens Energimyndighet
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Sydkraft AB
- Umeå Energi AB
- Uppsala Energi AB
- Vattenfall AB
- Öresundskraft AB

Energieffektivisering i komfortkylsystem

Författare		Rapportdatum	
Bengt Bergsten*, Stefan Aronsson*		2001-12-04	
Från EFFEKTIV		**Rapportnr** 2001:06	Slutrapport
ISBN 91-7848-876-1	**ISSN** 1650-1489	**Antal textblad** 51	**Antal bilagor** 2
Sökord komfortkyla, komfortkylsystem, energieffektivisering, energibesparing, värmebalans, kylmaskin, evaporativ, sorptiv, frikyla, luftburen, vattenburen, inneklimat, köldmedier			

*) CIT Energy Management AB

Rapportbeskrivning

System för att producera och distribuera komfortkyla står för normalt mellan några få procent upp till 10-20 procent av en byggnads totala elenergianvändning. Komfortkylsystem står alltså i många fall för en inte oansenlig del av en byggnads energianvändning.

För att en byggnad, med klimatkrav som innehåller maxtemperaturer och försedd med ett komfortkylsystem, skall bli energieffektiv måste komfortkylsystemet tas med i analysen. Att genomföra en inventering och analys av sitt befintliga komfortkylsystem borde därför vara en lika naturlig åtgärd som en genomgång av övriga system i en byggnad. Föreliggande rapport avser att vara en inspirationskälla till att hitta och tillämpa lämpliga energisparande åtgärder på ett befintligt komfortkylsystem.

Rapporten riktar sig i första hand till läsare med begränsad kunskap eller erfarenhet av komfortkylsystem. För den kategorin av läsare finns beskrivande kapitel om Byggnadens värmebalans och Systemuppbyggnad av komfortkylsystem. Då publicerad litteratur inom detta ämne är relativt begränsad bör dock delar av rapporten vara av intresse även för mer kvalificerade läsare som vill få en överblick över området.

I rapporten beskrivs olika åtgärder uppdelade på Produktion, Distribution och Rumskylare och exempel ges på besparingspotentialen för respektive åtgärd. Av naturliga skäl blir värdet av de exempel som presenteras begränsat då förutsättningar för olika komfortkylsystem kan variera avsevärt. I möjligaste mån presenteras dessutom nivåer på investeringsbehov och lönsamhet.

Förutom direkta åtgärder i de olika delarna i ett komfortkylsystem tas även åtgärder upp som indirekt minskar energianvändningen av komfortkyla. Här avses minskning av internt genererad värme i t ex belysning och apparater.

Rapporten begränsas till att endast behandla befintliga kylsystem avsedda för temperering av lokaler avsedda för människor, s k komfortkylsystem. Möjliga åtgärder vid nybyggnation utesluts alltså. Åtgärder i kylsystem avsedda för livsmedel eller industriella processer behandlas ej.

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning 1

2 Inledning 3

3 Syfte, målgrupp och begränsningar 5

4 Byggnadens värmebalans 7

5 Systemuppbyggnad 9
5.1 Produktion 9
5.1.1 Konventionell maskinkyla (eldriven kompressorkyla) 9
5.1.2 Evaporativ kyla 10
5.1.3 Sorptiv kyla 11
5.1.4 Fjärrkyla 11
5.1.5 Frikyla 12
5.2 Distribution 12
5.2.1 System med luftburen kyla 12
5.2.2 System med vattenburen kyla 14
5.2.3 Frikyla 17

6 Inneklimatkrav som påverkar komfort-kylsystemets energianvändning 21

7 Åtgärder 25
7.1 Produktion 25
7.1.1 Köldmediekonvertering 25
7.1.2 Styrning av kylmaskin 29
7.1.3 Återvinning 34
7.2 Distribution 35
7.2.1 CAV-system 35
7.2.1.1 Justering av återluftfunktion 35
7.2.1.2 Flödes- respektive temperaturinjustering 37
7.2.1.3 Utetemperaturstyrt flöde 39
7.2.1.4 Nattkyla 40
7.2.2 VAV-system 42
7.2.2.1 Justering av återluftfunktion 42
7.2.2.2 Justering av tillufttemperatur 42
7.2.2.3 Flödesinjustering 43
7.2.3 Vattenburen kyla 44
7.2.3.1 Temperaturstyrning av köldbärare 45
7.3 Rumskylare 46
7.3.1 Styrning värme-kyla i sekvens 46
7.3.2 Äldre fasadapparater 46
7.4 Intern värmegenerering 47
7.4.1 Belysning 48
7.4.2 Maskiner 49

8 Referenser 51

Bilaga A Exempelbyggnad; kontorshus
Bilaga B Uteluftens varaktighet i diagram - en kort introduktion

1 Sammanfattning

Såväl vid nybyggnation som vid ombyggnation och renovering av kommersiella byggnader, installeras numera nästan alltid system för komfortkyla. Dessa system står för normalt mellan några få procent upp till 10-20 procent av en byggnads totala elenergianvändning. Komfortkylsystem står alltså i många fall för en inte oansenlig del av en byggnads energianvändning.

För att en byggnad, med klimatkrav som innehåller maxtemperaturer och försedd med ett komfortkylsystem, skall bli energieffektiv måste komfortkylsystemet tas med i analysen. Att genomföra en inventering och analys av sitt befintliga komfortkylsystem borde därför vara en lika naturlig åtgärd som en genomgång av övriga system i en byggnad. Föreliggande rapport avser att vara en inspirationskälla till att hitta och tillämpa lämpliga energisparande åtgärder på ett befintligt komfortkylsystem.

Rapporten riktar sig i första hand till läsare med begränsad kunskap eller erfarenhet av komfortkylsystem. För den kategorin av läsare finns beskrivande kapitel om Byggnadens värmebalans (kapitel 4) och Systemuppbyggnad av komfortkylsystem (kapitel 5). Då publicerad litteratur inom detta ämne är relativt begränsad bör dock delar av rapporten vara av intresse även för mer kvalificerade läsare som vill få en överblick inom området.

I rapporten beskrivs de olika åtgärderna uppdelade på Produktion, Distribution och Rumskylare och exempel ges på besparingspotentialen för respektive åtgärd. Av naturliga skäl blir värdet av de exempel som presenteras begränsat då förutsättningar för olika komfortkylsystem kan variera avsevärt. I möjligaste mån presenteras dessutom nivåer på investeringsbehov och lönsamhet.

Förutom direkta åtgärder i de olika delarna i ett komfortkylsystem tas även åtgärder upp som indirekt minskar energianvändningen av komfortkyla. Här avses minskning av internt genererad värme i t ex belysning och apparater.

Rapporten begränsas till att endast behandla befintliga kylsystem avsedda för temperering av lokaler avsedda för människor, s k komfortkylsystem. Möjliga åtgärder vid nybyggnation utesluts alltså. Åtgärder i kylsystem avsedda för livsmedel eller industriella processer behandlas ej.

2 Inledning

Användningen av komfortkyla ökar kraftigt i Sverige. Idag är de flesta hyresvärdar mycket medvetna om vikten av att kunna erbjuda befintliga och nya hyresgäster en bra inomhusmiljö. Samtidigt blir också hyresgästerna allt mer medvetna om vilka krav de kan ställa på inomhusmiljön.

Inomhusmiljön är sammansatt av många parametrar som i olika grad påverkar människan. Det en hyresgäst i en lokalfastighet omedelbart blir varse är det termiska klimat som råder i lokalen. Sedan länge har det varit självklart att temperaturen inomhus inte får bli för låg. Nu ställs kraven allt oftare på att temperaturen inte heller får bli för hög.

System för att producera och distribuera komfortkyla står för normalt mellan några få procent upp till 10-20 procent av en byggnads totala elenergianvändning (vid eldriven kylmaskin). Komfortkylsystem står alltså i många fall för en inte oansenlig del av en byggnads energianvändning. För att en byggnad, med klimatkrav som innehåller max-temperaturer och försett med ett komfortkylsystem, skall kunna bli energieffektiv måste alltså komfortkylsystemet tas med i analysen.

Med begreppet energieffektivitet avses minsta möjliga användning av energi, såväl värme som el, under förutsättning att i förväg uppställda krav på inneklimat och kostnadseffektivitet uppfylls.

I rapporten visas hur alla delar i en byggnad, byggnaden själv, verksamheten i byggnaden och dess klimathållningssystem, samverkar och påverkar varandra. Hur byggnaden är konstruerad, vilken verksamhet som bedrivs och hur klimathållnings-systemet ser ut påverkar i hög grad komfortkylsystemets energianvändning.

Föreliggande rapport avser att vara en inspirationskälla till att hitta och tillämpa lämpliga energisparande åtgärder på ett befintligt komfortkylsystem.

Författarna vill passa på att tacka referensgruppen, bestående av Stellan Olson (Akademiska Hus), Per Fahlén (SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut) och Torbjörn Lindholm (Institutionen för Installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola), för värdefulla synpunkter och kommentarer under projektets gång.

3 Syfte, målgrupp och begränsningar

Syftet med denna rapport är att sammanställa möjliga åtgärder för energieffektivisering av befintliga komfortkylsystem. Den skall kunna ge läsaren ett smörgåsbord av möjliga åtgärder att välja från oberoende av vilka förutsättningar som gäller i ett aktuellt fall. Sammanställningen beskriver åtgärderna och ger exempel på besparingspotentialen för respektive åtgärd. Av naturliga skäl blir värdet av de exempel som presenteras begränsat då förutsättningar för olika komfortkylsystem kan variera avsevärt. I möjligaste mån presenteras dessutom nivåer på investeringsbehov och lönsamhet.

Rapporten riktar sig i första hand till läsare med begränsad kunskap eller erfarenhet av komfortkylsystem. För den kategorin av läsare finns beskrivande kapitel om Byggnadens värmebalans (kapitel 4) och Systemuppbyggnad (kapitel 5). Då publicerad litteratur inom detta ämne är relativt begränsad bör dock delar av rapporten vara av intresse även för mer kvalificerade läsare som vill få en överblick över området.

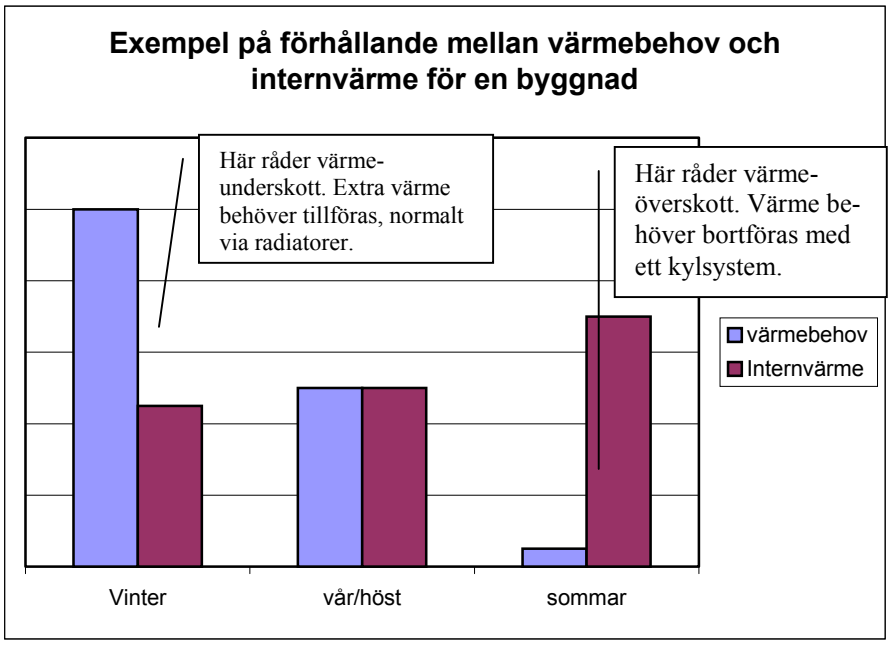
Rapporten begränsas till att endast behandla befintliga kylsystem avsedda för tempere-ring av lokaler avsedda för människor, s k komfortkylsystem. Möjliga åtgärder vid nybyggnation utesluts alltså. Åtgärder i kylsystem avsedda för livsmedel eller industriella processer behandlas ej.

4 Byggnadens värmebalans

Det krav som i första hand ställs på inomhusklimatet i en byggnad är att rumstemperaturen skall ligga på en komfortabel nivå oberoende av vilket väder som råder utomhus. Dessutom skall luften inne vara acceptabelt ren, ljus- och ljudförhållanden skall vara goda, etc. Ändå är det att temperaturkomforten inomhus är acceptabel som är den viktigaste förutsättningen för att en byggnad överhuvudtaget skall kunna användas.

Så snart temperaturen ute är lägre än inne strömmar värme ut från byggnaden genom dess omslutningsytor. Samtidigt förlorar byggnaden värme genom s k luftinfiltration, d v s uteluft läcker in i byggnaden genom springor och håligheter i väggar, tak, dörrar och fönster. Med tanke på att man i de flesta byggnader håller temperaturen strax över 20°C innebär det att byggnaden under nästan hela året förlorar värme mot omgivningen. Den värmen som strömmar ut ur en byggnad måste ersättas med lika stor mängd för att bibehålla temperaturen inomhus på avsedd nivå.

När byggnader används har man i stort sett alltid en intern generering av värme. Den kommer från användning av olika apparater och maskiner, belysning och människor. Värme tillförs även med solinstrålning vilket bidrar till den interna värmegenereringen. Den interna genereringen av värme, benämnd internvärme, hjälper till att upprätthålla avsedd inomhustemperatur. Viss del av året behövs dock extra värmetillförsel från värmesystemet medan under andra delar av året är internvärmegenereringen för stor och värme behöver bortföras med ett komfortkylsystem, se figur 4.1.



Figur 4.1 Principiellt förhållande mellan en byggnads internvärme och värmebehov. Observera att staplarnas inbördes höjd kan variera stort mellan olika byggnader i verkligheten.

Det som i huvudsak avgör om en byggnad behöver värmas eller kylas är:
- Mängden internt genererad värme (inklusive solinstrålning)
- Tätheten och isoleringen i byggnadens omslutningsytor
- Kravet på inomhusklimat främst i form av inomhustemperatur sommar och vinter
- Utomhusklimatet

Som ett exempel utgår vi från att en byggnad skall hålla inomhustemperaturen vid normala nivåer (minst 20°C vintertid och sommartid som mest ca. 23-25°C) och att den är byggd med normal standard på täthet och isolering. Då är det mängden internt genererad värme som avgör om det behöver tillföras extra värme eller bortföras värme i byggnaden för att inomhustemperaturen skall hållas inom de angivna ramarna. Under den del av året som extra värme, utöver internvärmen, behöver tillföras byggnaden har byggnaden ett **värmeunderskott**. Resterande delen av året har byggnaden ett överskott av internt genererad värme och då följaktligen ett **värmeöverskott**. Hur stor del av året som värmeöverskott respektive värmeunderskott råder samt hur stora dessa är, styrs alltså av de fyra faktorerna ovan.

Ett annat ord för värmeunderskott är värmebehov och värmeöverskott kallas även för kylbehov. För att anknyta till vanligen förekommande språkbruk, används i fortsättningen begreppen kylbehov respektive värmebehov.

I bostäder är den interna värmegenereringen normalt relativt liten. Därför råder värmebehov under en stor del av året och värme måste tillföras. Den del av året då det finns ett kylbehov öppnar man vanligen fönster. I bostäder finns också en större tolerans för högre temperaturer inomhus. System för att föra bort värme, d v s kyla bostadshus är ytterligt sällsynta i Sverige.

I lokaler och vissa industribyggnader är den interna värmegenereringen ofta relativt stor. Tittar man på nya kontorshus, varuhus, sjukhus och liknande byggnader inom lokal- och industrisektorn, så finner man att värmebehov endast uppstår under nätter och helger medan man under arbetstid nästan alltid har betydande kylbehov. I dessa byggnader erfordras endast enkla värmesystem som tar hand om de blygsamma värmebehoven, till skillnad mot de betydligt mer omfattande system som krävs för att bemästra de stora kylbehoven och därmed hindra att inomhustemperaturen blir oacceptabelt hög under arbetstid.

Då kraven i fråga om rumstemperaturer är givna bestäms kylanläggningens kapacitet i huvudsak av hur stort kylbehovet är. Rent allmänt gäller att ju större kylbehovet är, och därmed den kapacitet som kylanläggningen måste ha, desto svårare är det att klara ett i alla avseenden bra rumsklimat. Att tillföra stora kyleffekter till ett rum är svårt utan att problem med t ex drag eller ljud uppstår.

Stora kylbehov kostar dessutom pengar i form av investering av en stor komfortkylanläggning samt drift av densamma. Driften påverkar miljön på ett negativt sätt genom energianvändningen och eventuella utsläpp av köldmedier.

Därför är det alltid viktigt att sträva efter lösningar som ger låga kylbehov. För att åstadkomma såna lösningar krävs att man har en helhetssyn på byggnaden, dess tekniska installationer och verksamheten.

5 Systemuppbyggnad

Ett komfortkylsystem kan delas upp i tre naturliga delar; produktion, distribution och rumsapparater.

5.1 Produktion

Nedan ges en kort översikt av de olika metoder som idag används för att producera kyla avsedd för komfortändamål.

Det vanligaste sättet att producera kyla är med konventionella eldrivna kompressorkylmaskiner. Idag förekommer även alternativa metoder som evaporativ och sorptiv kyla. I stora anläggningar finns även kyla producerad med värmedrivna absorptionsmaskiner.

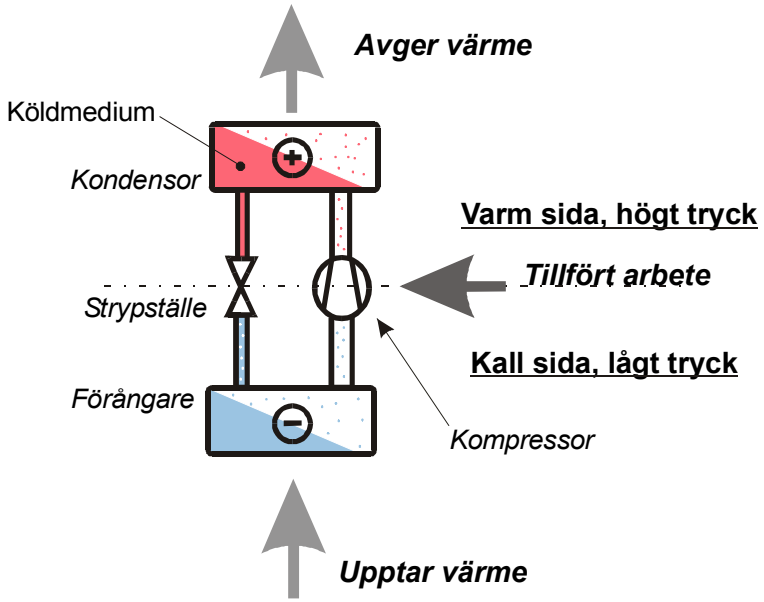
I många städer har också fjärrkylanät byggts upp eller är under uppbyggnad. De fungerar i princip som fjärrvärmenät, med skillnaden att det är kallt vatten som distribueras.

En principiellt viktig skillnad mellan de evaporativa och sorptiva systemen och övriga system, är att evaporativa och sorptiva system endast kan användas i system med luftburen kyla. Köldalstring med absorptionsmaskiner kommer i dagsläget ifråga endast i mycket stora system

Komfortkyla med evaporativa och sorptiva processer finns i detalj behandlade i [1].

5.1.1 Konventionell maskinkyla (eldriven kompressorkyla)

Köldalstring med kompressorkylmaskin är det vanligaste sättet att producera kyla. När maskinkyla för komfortändamål diskuteras är detta vad som normalt avses. Kylmaskinen fungerar på samma sätt som en vanlig värmepump, men här är det istället den kalla sidan som är den ”nyttiga”, se figur 5.1 .



Figur 5.1 Kylmaskinprocessen

Det av förångaren upptagna värmet motsvarar precis den kyla som kan levereras från kylmaskinen.

För att kunna leverera denna kyla åtgår ett kompressionsarbete som måste tillföras kompressorn, normalt i form av elenergi. Förhållandet mellan den kyla som kylmaskinen levererar och det arbete som tillförs kylmaskinen benämns köldfaktorn och definieras enligt:

$$\text{Årsköldfaktorn} = \frac{\text{Levererad kyla } [kWh_{kyla}]}{\text{Arbete till kylmaskin } [kWh_{el}]}$$

Om man känner årsköldfaktorn och den mängd kyla som skall produceras, känner man således även det arbete som krävs och därigenom resulterande driftskostnad. Normalt är årsköldfaktorn omkring 3 (beroende på mellan vilka temperaturnivåer kylmaskinen arbetar). I arbete till kylmaskinen brukar vanligen inräknas även el till komponenter som är att hänföra direkt till kylmaskinens drift, exempelvis el till cirkulationspumpar.

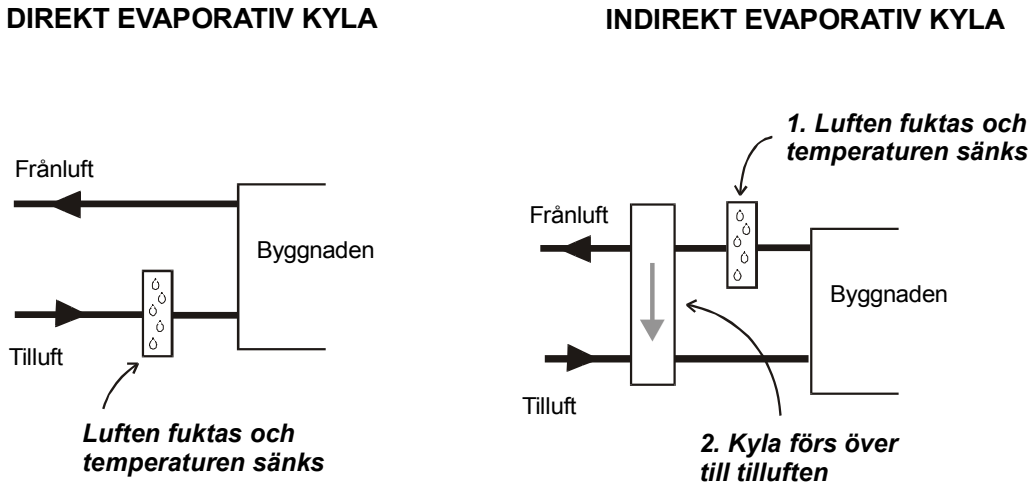
Med en kompressordriven kylmaskin har man stor flexibilitet vad gäller sättet att tillföra byggnaden kyla. Som nämnts tidigare är det möjligt att leverera kyla från kylmaskinen antingen till luftkylaren i ett luftbehandlingsaggregat eller till kylutrustning placerad direkt i rummen (exempelvis kylpaneler i tak eller fan-coil batteri).

5.1.2 Evaporativ kyla

Vid evaporativ kylning av luft utnyttjas principen att luftens temperatur sänks genom att fukta luften med hjälp av vattenavdunstning från en våt yta som luften passerar, alternativt genom direkt insprutning av vatten via dysor. Fuktning är möjlig så länge luften inte är mättad med vattenånga. För att luften skall kunna ta upp vatten måste vattnet förångas. Vid förångningen åtgår värme. Detta värme, det s k ångbildningsvärmet, tas från luften. Samtidigt som vattnet förångas och upptas av luften sänks således luftens temperatur.

Den lägsta temperatur luften kan få med denna typ av kylning är begränsad av luftens våta temperatur, vilken ibland även kallas luftens kylgräns.

Med direkt evaporativ kylning avses en process där tilluften fuktas och temperaturen sänks. Samtidigt ökas tilluftens fuktinnehåll. Med indirekt evaporativ kylning sker en fuktning av frånluften, varigenom frånluftens temperatur sänks. Därefter sker en värmeväxling (ej fuktöverförande) mellan från- och tilluft där värme ur tilluften kan föras över till frånluften. På så vis sänks tilluftens temperatur, samtidigt som tilluftens fuktinnehåll inte ökar. Direkt och indirekt evaporativ kylning åskådliggörs i figur 5.2.



Figur 5.2 Direkt och indirekt evaporativ kylning.

Möjligheten att kyla tilluften bestäms till stor del av ”yttre” parametrar, där uteluftens aktuella tillstånd är av avgörande betydelse.

Komfortkyla med evaporativa finns i detalj behandlade i [1].

5.1.3 Sorptiv kyla

För att kunna sänka tilluftens temperatur så långt som möjligt genom fuktning skall tilluften vara så torr som möjligt. I en sorptiv kylprocess torkas därför tilluften i ett första processteg innan dess temperatur sänks genom direkt och/eller indirekt evaporativ kylning.

Ett sorptionskylaggregat består alltså av en avfuktardel som torkar luften och en del som kyler luften (den evaporativa delen). Tilluften avfuktas vanligtvis med en roterande avfuktare. För att driva denna avfuktningsprocess måste värme tillföras. Således åtgår såväl vatten som värme för att kyla tilluften i ett sorptionsaggregat.

Komfortkyla med sorptiva processer finns i detalj behandlade i [1].

5.1.4 Fjärrkyla

Flera energiföretag erbjuder idag sina kunder s k fjärrkyla. Beroende på det enskilda energiföretagets förutsättningar i fråga om produktionsmöjligheter och kundunderlagets utformning och täthet, produceras och distribueras kyla på olika sätt i olika orter. Produktionsenheter kan i ett fjärrkylsystem bestå av allt från s k “frikyla” (t ex kallt sjövatten som direkt kan nyttjas för kyländamål), över kompressorkylmaskiner, till värmedrivna kylmaskiner (absorptionskylmaskiner). Relativt vanligt är att utnyttja kyla från befintliga värmepumpar, vilka redan används för att leverera värme till fjärrvärme-nätet. Till ett fjärrkylanät ansluts normalt kunder med relativt stora kylbehov. Det kan t ex vara ett sjukhusområde eller ett affärscentra.

Till kunden levereras ”kallt vatten” i en undercentral, i princip på samma sätt som i en abonnentcentral för fjärrvärme. Därifrån distribueras sedan sekundärvatten till den eller de byggnader som skall kylas.

5.1.5 Frikyla

Begreppet frikyla är inte ett helt igenom väldefinierat begrepp. Med frikyla menas i detta fall olika sätt att ta hand om kylbehov i en enskild byggnad utan att behöva använda någon form av kylmaskin eller kylprocess eller att utnyttja fjärrkyla. Oftast handlar det om att utnyttja de naturliga förutsättningar där lägre temperaturer finns i närheten av en byggnad. Det kan handla om att pumpa vatten från ställen som är tillräckligt kalla året om eller under den period då kylbehov föreligger. Dessa ställen kan exempelvis vara olika former av så kallade energibrunnar. Principen för en energibrunn är att den låga temperaturen i mark och grundvatten på olika sätt utnyttjas för att ”deponera” värmeöverskott från en byggnad. Andra sätt att utnyttja frikyla är att transportera värmeöverskottet med hjälp av en cirkulerande vattenkrets till en stor vattenmassa, som kan utgöras av t ex en sjö, ett vattendrag eller ett vattenfyllt bergrum. Se även vidare diskussion om frikyla i kapitel 5.2.3 .

5.2 Distribution

Det värmeöverskott som måste bortföras från byggnader för att hålla inomhustemperaturen lägre än en förutbestämd högsta tillåten temperatur, kallas i vardagstal kylbehov. Således är byggnadens kylbehov precis samma sak som byggnadens värmeöverskott. För att anknyta till vanligen förekommande språkbruk, används i fortsättningen också här benämningen kylbehov.

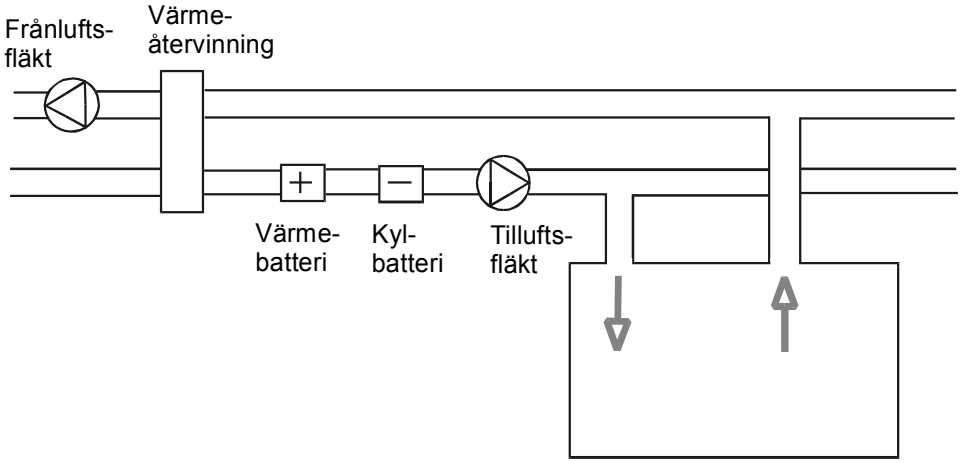
Ett klimathållningssystem är det system i en byggnad som skall upprätthålla både det termiska klimatet och luftkvaliteten. Upprätthållande av det termiska klimatet består främst i att hålla rumsluftens temperatur inom givna nivåer. Upprätthållande av luftkvaliteten består i att kontrollera rumsluftens "renhet" genom att tillse att en tillräcklig mängd uteluft ventilerar rummet. Ibland innefattar upprätthållande av luftkvaliteten även att givna nivåer av partiklar och/eller gaser inte får överskridas.

Behov av komfortkyla uppstår således när krav ställs på det termiska klimatet i termer av högsta tillåtna temperatur inomhus. De klimathållningssystem som används för att aktivt kyla byggnader, kan generellt delas upp i tre typer:

- system med luftburen kyla
- system med vattenburen kyla
- kombinerade system (kyla tillförs med både luft och vatten).

5.2.1 System med luftburen kyla

I dessa system bestäms oftast det dimensionerande luftflödet, och därmed kanaldimensioner, av det dimensionerande kylbehovet. Det är således de termiska kraven, inte kraven på luftkvalitet, som är dimensionerande. Den principiella uppbyggnaden av ett luftburet kylsystem visas schematiskt i figur 5.3.



Figur 5.3 System med luftburen kyla – principskiss. När kylbehov föreligger kyls tilluften till önskad temperatur i luftkylaren.

Om man inte kan transportera tillräckligt stora luftflöden i de befintliga kanalerna för att tillgodose kylbehoven, installerar man vid ombyggnad vanligen vattenburna kylsystem. I befintliga byggnader är det normalt både svårt och kostsamt att byta till kanalsystem med högre kapacitet, d v s större dimensioner på kanalerna.

Kylsystemet måste kunna ta hand om variationen i kylbehov, både över dygnet och över året. De två grundtyperna av system med luftburen kyla är system med konstant luftflöde (CAV-system) eller system med variabelt luftflöde (VAV-system). Kombinationer av de två metoderna förekommer också.

System med konstant luftflöde - CAV system

Temperaturen på luften som tillförs varje rum kan varieras, men luftflödet hålls konstant. Denna typ av system benämns CAV system (Constant Air Volume).

Det rum i en byggnad med de största kylbehoven bestämmer normalt den tilluftstemperatur som bereds i det centrala luftbehandlingsaggregatet. I övriga rum kan luften ibland eftervärmas vid behov innan den tillförs rummet.

Även om ett CAV system tillför luft med konstant flöde används ibland tvåhastighetsmotorer till fläktarna, där man reglerar ner varvtalet när kylbehovet i byggnaden så tillåter. Luftflödet minskar då proportionellt lika mycket som varvtalet. Användning av tvåhastighetsmotorer i ett CAV system skall inte förväxlas med VAV system (se nedan) där flödet varieras kontinuerligt efter behov.

Som nämndes ovan kan tilluftstemperaturen i ett CAV system vara konstant eller varieras. Variationen kan göras:

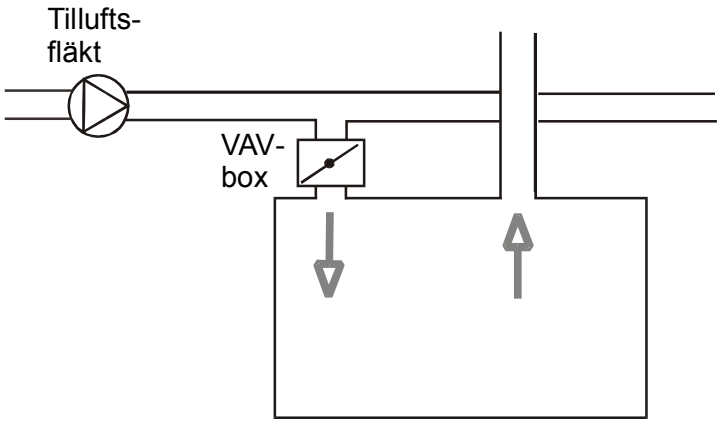
- oberoende av utetemperaturen men beroende av momentana ändringar i värmeöverskottet. Denna typ av temperaturstyrning sker i eftervärmningsbatterier i direkt anslutning till respektive zon.

- beroende av utetemperaturen. Denna typ av temperaturstyrning sker i det centralt belägna aggregatet.
- som en kombination av båda ovanstående.

I CAV system där temperaturstyrningen sker centralt och i CAV system med konstant tilluftstemperatur görs en korrigering till rätt rumstemperatur i de enskilda rummen t ex med väggfasta radiatorer.

System med variabelt luftflöde - VAV system

Luftflödet som tillförs varje rum varieras efter behov, men temperaturen på tilluften hålls konstant, dvs. tilluftstemperaturen ändras inte med att lasten ändras. Däremot sker normalt en årstidsstyrning av tilluftstemperaturen, som en funktion av utetemperaturen. Denna typ av system benämns VAV system (Variable Air Volume).

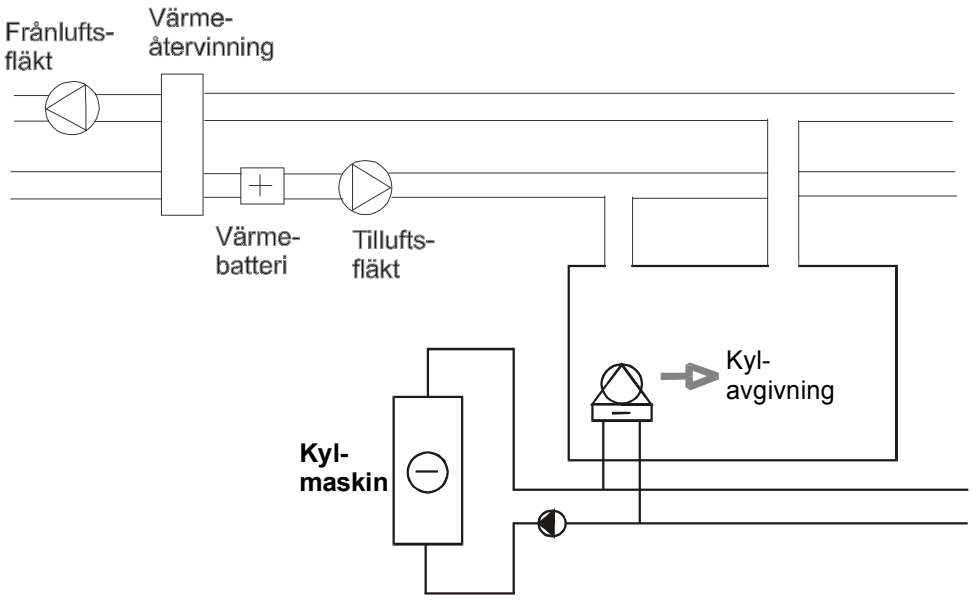


Figur 5.4 Princip för VAV system med VAV-box

Luftflödet till varje rum regleras med spjäll i direkt anslutning till rummet, medan centrala till- och frånluftsfläktar kontrolleras med hjälp av ledskenereglering eller varvtalsstyrda fläktmotorer, vanligtvis frekvensomriktare. Styrningen sker normalt mot att upprätthålla konstant statiskt tryck i tilluften. Flödet varierar från max den varmaste dagen ner till kanske 20% av max under årets kallaste dagar, då luften endast har som uppgift att tillgodose kraven på luftkvalitet.

5.2.2 System med vattenburen kyla

Dessa typer av system förser de enskilda rummen med vattenburen kyla. Det luftsystem som finns används enbart för att tillgodose kraven på luftkvalitet. I figur 5.5 visas schematiskt hur ett sådant system kan vara uppbyggt.



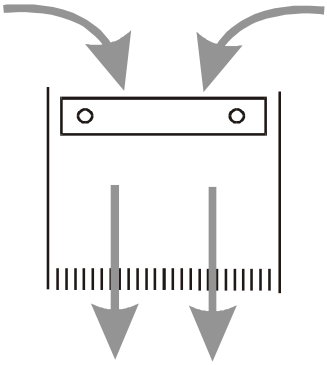
Figur 5.5 System med vattenburen kyla – princip

I en ombyggnads- eller renoveringssituation föredras ofta denna typ av kylsystem. Vid installation av systemet finns det vanligen plats i befintliga undertak att placera de vattenrör som krävs för distributionen av kallt vatten i byggnaden.

Kyla kan tillföras rummet på ett antal olika sätt. Nedan redogörs översiktligt för hur kylbafflar, kylpaneler, fan-coil aggregat och induktionsbatterier fungerar. Fan-coil aggregat och induktionsbatterier placeras vanligen under fönster utefter ytterväggar.

Kylbafflar

Enhet som genom egenkonvektion i ett flänsbatteri kyler luften i rummet, enligt princip som visas i figur 5.6.



Figur 5.6 Kylbaffel – principskiss.

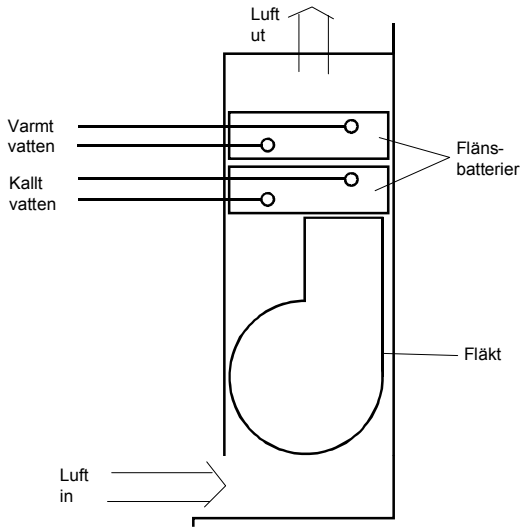
Kylbaffeln kan också kombineras med tilluftsanslutning för att samtidigt fungera som tilluftsdon och, i många fall, höja kyleffekten i baffeln. Vissa kylbafflar kan även förses med värmefunktion.

Kylpaneler

Kylpaneler är plana kylelement som monteras i tak. De fungerar huvudsakligen som strålningskylare och finns i flera olika utföranden.

Fan-coil batterier

En enhet via vilken både värme och kyla tillförs rummet (dock ej samtidigt). En principskiss av ett fan-coil batteri visas i figur 5.7 .

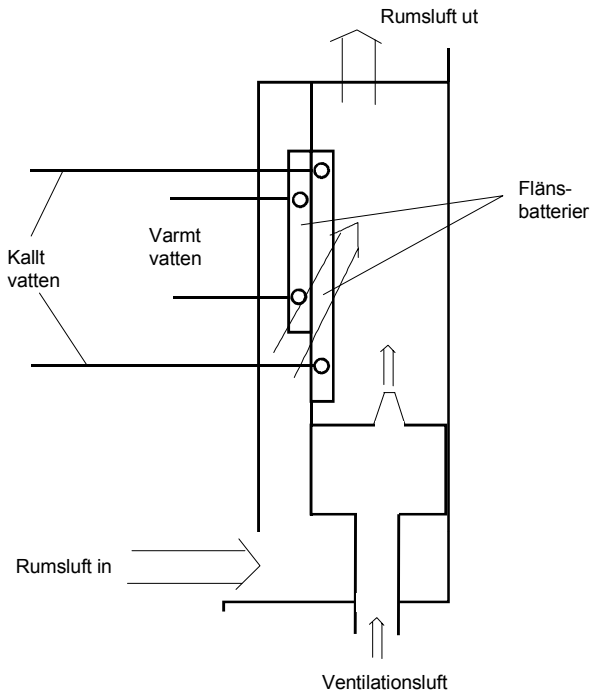


Figur 5.7 Fan-coil batteri - principskiss.

Ett fan-coil aggregat är utrustat med en fläkt vilken cirkulerar rumsluft genom aggregatet. I aggregatet antingen värms eller kyls luften i ett värme- eller kylbatteri. Värme- respektive kylbatteriet tillförs varmt alternativt kallt vatten från en central anläggning i byggnaden. Fan-coil är den rumskylare som kan klara störst kylbehov, men också har högst ljudnivå.

Induktionsapparater

En enhet via vilken både värme och kyla tillförs rummet (dock ej samtidigt). Den har vissa likheter med fan-coilapparaten. Den stora skillnaden är att en induktionsapparat inte har en egen fläkt utan påblåsningen på värme- respektive kylbatteriet av rumsluften sker via induktion. Induktionen åstadkoms genom inblåsning via små dysor med luft från det centrala ventilationssystemet. Luften som passerar dysorna har också till uppgift att ventilera rummet med frisk luft. En principskiss av ett induktionsbatteri visas i figur 5.8.



Figur 5.8 Induktionsapparat för fasadmontage - principskiss.

När induktionsbatterier används tillförs ventilationsluften rummet genom dysor undertill. Ventilationsluften strömmar genom dysmunstycken med hög hastighet vilket får till följd att rumsluft "rycks med" genom värme- och kylbatteriet. På detta sätt är det möjligt att värma eller kyla rummet genom en och samma enhet utan att använda en fläkt i apparaten.

Kombinerade system

Det finns möjligheter att kombinera system med luftburen och vattenburen kyla på en mängd olika sätt. Ett tillfälle då systemen måste kombineras är då man vill ha ett system med luftburen kyla, men då det dimensionerande kylbehovet är så stort att det inte fullt ut kan tas om hand med enbart luft (beroende på att man i så fall skulle behöva så stora luftflöden att dragproblem blir ofrånkomliga). Det finns även möjligheter att kombinera luftburna system så att man för vissa delar av en byggnad, eller för vissa rum, använder sig av ett VAV system (genom att utnyttja sk VAV boxar där luftflödet kan styras) för att i övriga delar av byggnaden ha ett CAV system.

5.2.3 Frikyla

Som nämnts i kapitel 5.1.5 finns det ingen vedertagen definition på vad som avses med begreppet frikyla. En vanlig tolkning är att begreppet frikyla avser möjligheten att tillföra kyla när kylbehov föreligger, utan att behöva betala för själva köldalstringen.

I detta kapitel använder vi begreppet frikyla i samband med luftburna och vattenburna kylsystem.

För ett luftburet system avses frikyla när kylbehovet kan tillgodoses enbart med hjälp av uteluft, utan att kylmaskiner behöver startas. Eftersom luftburen kyla fungerar så att tilluften levereras med temperaturer runt 16-18 °C, kan således uteluft användas för att tillgodose hela kylbehovet så länge utetemperaturen inte överskrider denna temperatur. Först när utetemperaturen är större än ca 16 °C behöver tilluften kylas aktivt. I ett luftburet kylsystem kan således frikyla utnyttjas så länge utetemperaturen är lägre än ca 16 °C. I tabell 1 visas för några orter i Sverige hur många timmar utetemperaturen under ett typiskt år överstiger 16 °C (ett år har 8760 timmar).

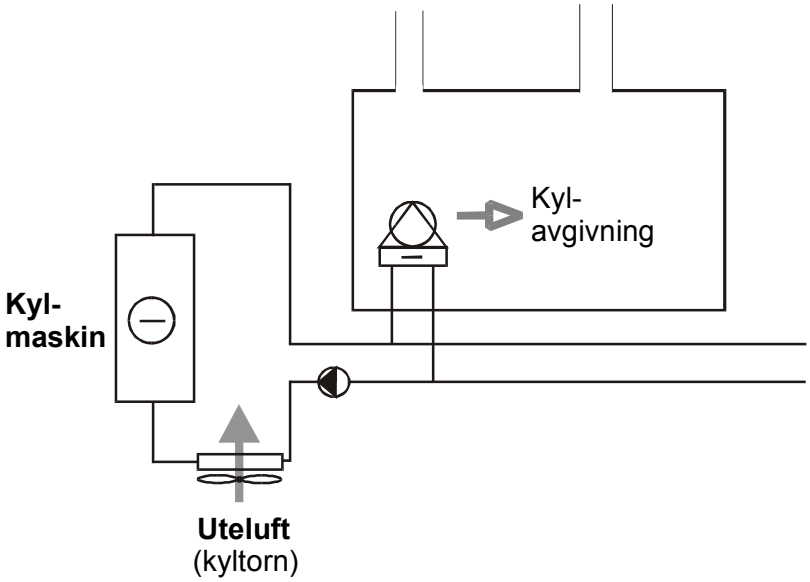
Tabell 5.1 Ungefärligt antal timmar utetemperaturen under ett typiskt år är större än 16°C, i några svenska orter [Taesler, R., *Klimatdata för Sverige*, SMHI, Stockholm, 1972].

Ort	Antal timmar/år med t_{ute}>16°C
Malmö	1045
Växjö	1055
Göteborg	895
Stockholm	1038
Östersund	365
Sundsvall	685
Luleå	246
Malmberget	160

I Göteborg, som exempel, behöver en kylmaskin köras 895 timmar under ett år, om temperaturen på luften som tillförs byggnaden får vara max 16 °C. Detta under förutsättning att ventilationen alltid är i drift även under nätter. Om ventilationen är avstängd under delar av dygnet minskar antalet drifttimmar.

En ofta förekommande missuppfattning är man alltid måste köra en kylmaskin så fort det finns ett kylbehov. Detta är således inte riktigt, utan man har möjlighet att utnyttja uteluften för s k frikyla.

Även för vattenburna kylsystem finns möjligheten att utnyttja frikyla. Här måste någon form av värmeväxlare mot uteluften installeras (t ex i form av kyltorn). I figur 5.9 visas schematiskt var i systemet ett kyltorn skall placeras.



Figur 5.9 Schematisk placering av kyltorn för utnyttjande av frikyla vid användning av vattenburen kyla.

Då frikyla tillämpas vid vattenburen kyla är det vanligt att man vid en förutbestämd utetemperatur låter allt vatten kylas mot uteluften. Vid utetemperaturer lägre än denna temperatur används således inte kylmaskinen. Den temperatur vid vilken omkoppling sker ligger normalt i intervallet 7-10 °C ute.

Som redan nämnts finns ingen enhetlig definition för begreppet frikyla, vilket gör att begreppet även används för att beskriva kyla som hämtas ur vattendrag, grundvatten, etc.

6 Inneklimatkrav som påverkar komfort-kylsystemets energianvändning

För att det skall vara möjligt att kontrollera att de krav som ställts på den fysiska inne-miljön är uppfyllda, är det nödvändigt att uttrycka dessa i mätbara storheter. De undre rutorna i figur 6.1 ger exempel på sådana mätbara storheter.

Luftkvalitet	Termisk komfort	Ljud	Ljus	El-miljö
koncentrationer av gaser och partiklar	temperatur lufthastighet	nivå frekvens efterklangstid	styrka kontrast färger	elektro-magnetiska fält

Inneklimatet i en byggnad begränsas i denna rapport till att endast innefatta mätbara fysiska faktorer som t ex luftkvalitet, termisk komfort, ljud, ljus och elmiljö.

Figur 6.1 Exempel på mätbara storheter som påverkar människans upplevelse av inomhusmiljön.

Flera av dessa faktorer påverkar, direkt eller indirekt, energianvändningen i en byggnad. Till exempel påverkar krav på luftkvalitet det erforderliga luftflödet i en byggnad och därigenom energianvändningen i fläktaggregatet och krav på belysningsstyrka påverkar mängden belysningsarmaturer och därigenom elenergianvändningen av belysning och komfortkylsystemet. Det är dock endast en del av faktorerna i figur 6.1 som påverkar komfortkylsystemets energianvändning.

Det inneklimatkrav som normalt har störst påverkan på kylenergianvändningen är inomhustemperaturen.

I vissa fall kan dock krav på luftkvalitet medföra att dimensionerande luftflöden i byggnaden bli högre än kraven på inomhustemperatur skulle ha medfört. Därmed påverkar kravet på luftkvalitet kylbehovet för kylning av ventilationsluften mer än kravet på inomhustemperatur. Så kan vara fallet i t ex laboratorier, renrum eller viss tillverkningsindustri.

Bortsett från ett fåtal byggnader enligt ovan är det inomhustemperaturen som är dominerande bland innemiljöfaktorer när det gäller kylenergianvändning. Temperatur-kravet kan ibland sättas utifrån krav från verksamheten i byggnaden men i de flesta fall sätts kraven med hänsyn till människans normala komfortkrav.

Låt oss först se på hur krav på inomhustemperatur normalt anges.

Det absolut enklaste sättet att ange ett krav på inomhustemperatur är att bestämma en temperaturnivå, t ex 21°C, som varken får underskridas eller överskridas någon del av året. Det är ett krav som är lätt att ange men det tar inte hänsyn till att de flesta männi-

skor faktiskt önskar en något lägre temperatur vintertid och lite högre temperatur sommartid. Det beror främst på skillnad i beklädnadsgrad mellan vinter och sommar. Detta krav på inomhustemperatur följer alltså inte den variation över året som de flesta människor önskar. Följden av ett sådant krav blir att klimathållningssystemet blir onödigt kraftfullt och därmed kostsamt både i investering och i drift samt en stor andel människor som tidvis är missnöjda med inneklimatet. Detta krav är numera tämligen sällsynt.

Det för oss till ett något mer utvecklat krav vilket innebär att inomhustemperaturen tillåts variera mellan ett minimivärde och ett maximivärde, t ex min 20°C till max 23°C. Med kravet följer att dessa värden aldrig får under- respektive överskridas. Skärpan i kravet medför ofta att värme- respektive kylsystem överdimensioneras. För komfortkylsystemet medför det ofta att kylmaskinen får gå på dellast under en stor del av drifttiden. För de flesta kylmaskiner innebär det att de arbetar med sämre köldfaktor än vid fullast.

För att undvika onödig överdimensionering av kylmaskinen kan maxkravet förfinas genom att tillägga att:

- den maximala inomhustemperaturen skall hållas vid ett givet tillstånd på uteluften (temperatur och fukthalt). Blir utetemperaturen högre så tillåts även inomhustemperaturen stiga.

eller

- den maximala inomhustemperaturen får överskridas med ett visst antal timmar per år, t ex inomhustemperaturen 25°C får överskridas under 50 timmar per år. Eventuellt kan kravet specificeras till att gälla arbetstid måndag till fredag.

Dessa utökade krav medför att konstruktören har mer givna ramar för vad klimathållningssystemet skall klara och risken för överdimensionering minskar.

Att fastställa dimensionerande tillstånd vid beräkning av maximal kyleffekt är i många fall svårare än för dimensionerande värmeeffekt. Som exempel kan nämnas att det inte finns något standardiserat utetillstånd (temperatur och fukthalt i uteluften) för en given ort vid dimensionering av en komfortkylanläggning som alla VVS-konstruktörer använder. Det är dessutom i vissa fall svårt att korrekt bestämma dimensionerande värden på internvärmen i ett rum eller en byggnad. Det är inte ovanligt att föråldrade och därmed felaktiga schablonvärden används. Dessa och andra faktorer medför att komfortkylanläggningar ofta överdimensioneras

Inneklimatkrav påverkar energianvändning både vid projektering av en byggnad och vid drift av densamma. Vid projektering påverkar inneklimatkrav både systemval och dimensionering av komponenter i t ex komfortkylsystemet. Val av system kan innebära stora skillnader i energianvändning och överdimensionering av enskilda komponenter kan medföra att de arbetar med sämre verkningsgrad än vid korrekt dimensionering.

Vid drift av komfortkylsystemet påverkar inneklimatkrav t ex kapacitetsutnyttjande och drifttider för fläktar, pumpar och kylmaskiner samt flöden i luft- och vattenburna system.

Enligt tillgänglig forskning om människans termiska klimatupplevelse så ligger den mest komfortabla inomhustemperaturen sommartid i området 23-25°C (för person med normal sommaranpassad kontorsarbetsklädsel). Att den komfortabla inomhustemperaturen ligger högre sommartid än vintertid beror till stor del på att vi har tunnare kläder på oss vid högre utomhustemperaturer.

Nedan redovisas exempel på hur olika inneklimatkrav påverkar dels dimensioneringen av ett klimathållningssystem och dels driften av det. För enkelhetens skull väljs inneklimatkrav som två absoluta gränser, mintemperatur respektive maxtemperatur. I exemplet används kontorshuset, beskrivet i bilaga 1, försett med ett VAV-system. Tabell 6.1 visar ett fall där klimathållningssystemet skall dimensioneras vid olika inneklimatkrav och tabell 6.2 visar hur energianvändningen påverkas vid drift av ett givet klimathållnings-system med olika klimatkrav. I det senare fallet är klimat- hållnings-systemet befintligt och dimensionerat för klimatkravet 20°C/22°C (min/max) vilket ger en dimensionerande kyleffekt på 93 W/m^2. Man övergår till klimatkrav 20/24°C respektive 20/26°C och energianvändningen förändras därvid. I exemplen nedan förutsätts att komfort-kylsystemet anpassas så att maximitemperaturen uppnås sommartid.

Av resultaten i tabell 6.1 och 6.2 kan man dra slutsatsen att man bör lägga kravet på max inomhustemperaturen så högt som möjligt sommartid, dock utan att människor upplever obehag. Den tillåtna maxtemperaturen i ett rum eller en byggnad måste i första hand bestämmas utifrån människans termiska upplevelse.

Tabell 6.1 Energi- och effektbehov vid dimensionering av klimathållningssystem (VAV) vid olika inneklimatkrav.

Inne-klimatkrav (min/max)	Elenergi kylmaskin		Elenergi till fläktar		Dimensionerande kyleffekt	
	(kWh/år)	Förändring (%)	(kWh/år)	Förändring (%)	(W/m^2)	Förändring (%)
20/22 °C	8,7	0	18,8	0	93	0
20/24 °C	6,9	-21	14,5	-23	64	-31
20/26 °C	6,3	-28	14,1	-25	46	-50

Tabell 6.2 Energi- och effektbehov vid drift av en befintlig byggnad med givet klimathållningssystem (VAV) vid olika inneklimatkrav. Klimat-hållnings-systemet är dimensionerat för 20/22°C.

Inne-klimatkrav (min/max)	Elenergi kylmaskin		Elenergi till fläktar		Dimensionerande kyleffekt	
	(kWh/år)	Förändring (%)	(kWh/år)	Förändring (%)	(W/m^2)	Förändring (%)
20/22 °C	8,7	0	18,8	0	93	0
20/24 °C	5,9	-32	15,8	-16	93	0
20/26 °C	4,3	-50	14,9	-21	93	0

7 Åtgärder

7.1 Produktion

7.1.1 Köldmediekonvertering

Köldmediekonvertering görs mycket sällan enbart för att minska energianvändningen i ett komfortkylsystem. Frågan om konvertering styrs i stället av regler och förordningar i syfte att minska miljöbelastningen av vissa köldmedier. Då köldmediekonvertering är en aktuell fråga när denna rapport publiceras behandlas detta ämne eftersom en konvertering i många fall påverkar kylmaskinens maximala effekt och därmed dess energianvändning. Hur mycket energianvändningen ändras varierar stort från fall till fall beroende på bl.a. köldmedium och kylmaskinens driftsförhållanden. En mer utförlig beskrivning av ämnet finns i [5].

Många av de köldmedier som används idag påverkar atmosfären. Påverkan sker dels i det ozonskikt som finns i stratosfären, där köldmedier reagerar med ozon och medverkar till att förtunna lagret. Dels bidrar köldmedier till att öka på växthuseffekten. Köldmediers sammantagna påverkan på klimatet benämns i denna skrift klimatpåverkan.

Som en följd av köldmediers klimatpåverkan har internationella överenskommelser träffats om en begränsning av användningen av vissa köldmedier. Utöver detta har enskilda länder, däribland Sverige, infört nationella krav på hanteringen av olika köldmedier.

Nedan görs en sammanställning av vilka begränsningar och avvecklingsbeslut som finns både i det internationella perspektivet och i det svenska. En översiktlig redovisning görs av olika köldmediers miljöpåverkan. Dessutom görs en genomgång av vilka alternativ som finns till de traditionella köldmedierna. Härigenom blir det relativt lätt att bilda sig en uppfattning om bakgrunden till de tagna besluten och varför det är angeläget att snabbare avveckla vissa köldmedier än andra.

Vad är köldmedier, CFC, HCFC, haloner, etc?

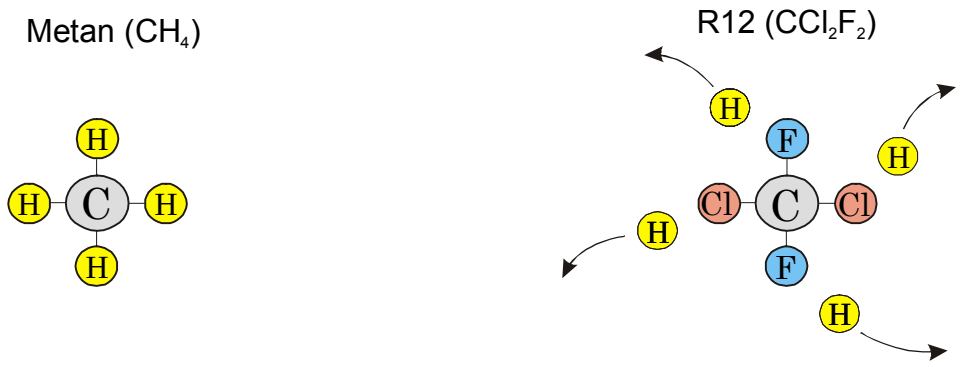
Köldmedier är ett samlingsnamn på det arbetsmedium som finns inne i en sluten (normalt) kretsprocess från vilken kyla eller värme ”levereras”

I byggnadssammanhang återfinns köldmedier i kylmaskiner och i värmepumpar, se kapitel 5.1. I dessa typer av ”kylalstrande” eller ”värmealstrande” kretsprocesser krävs ett medium som dels kan kondensera, dels förånga vid lämpliga tryck och temperaturer. Många av de köldmedier som passar utmärkt för att lösa sin tekniska uppgift i nämnda kretsprocesser, tillhör de som har störst klimatpåverkan.

I kylmaskinen eller värmepumpen finns köldmediet inneslutet. Under drift förekommer normalt endast mindre läckage hos maskiner som levererar värme eller kyla till byggnader. Det är vid haverier, allmän hantering av köldmediet och vid skrotning av

maskinerna de huvudsakliga utsläppen sker. I andra applikationer, t ex luftkonditionering i äldre bilar och äldre direktexpansionssystem i luftkonditioneringsanläggningar, har läckage varit vanligt även under drift.

Köldmedier betecknas normalt med bokstaven R följt av en sifferkombination (exempelvis R22). Bokstaven R står för engelska ”refrigerant”. Sifferkombinationen är uppbyggd utifrån köldmediets kemiska sammansättning. Siffrorna ger besked om antalet fluor-, väte-, kol- och kloratomer. Detta gäller dock ej köldmedier med beteckningen R400 och uppåt. Ibland räcker inte denna typ av beskrivning till, utan siffrorna kompletteras med en bokstav (exempelvis R152a). I figur 7.1 visas som exempel hur köldmediet R12 ”tillverkas” ur ämnet metan som bas. I metanmolekylen ersätts de fyra väteatomerna med två fluor- och två kloratomer.



Figur 7.1 ”Tillverkning” av köldmediet R12 ur metan.

Den köldmediegrupp som benämns haloner innehåller även ämnet brom.

Köldmedier i gruppen CFC är uppbyggda av molekyler innehållande Klor-Fluor-Kol (eng. Chloro-Fluoro-Carbon). På motsvarande står HCFC för Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon och HFC för Hydro-Fluoro-Carbon.

Figur 7.2 Begreppen ODP och GWP.

När man diskuterar olika köldmediers klimatpåverkan används normalt två begrepp, ODP och GWP. Dessa står för Ozone Depletion Potential (ozonpåverkan i relation till den påverkan köldmediet R11 har) och Global Warming Potential (påverkan på växt-

huseffekten i relation till CO_2) se figur 7.2 . Köldmedier med påverkan på ODP innehåller klor, varför HFC-köldmedier inte har någon ODP påverkan. De har däremot GWP påverkan. Ett ytterligare begrepp, TEWI (Total Environmental Warming Impact) har börjat användas. Eftersom koldioxid och kolväteföreningar försvinner från atmosfären genom helt olika mekanismer är GWP inget bra mått på ämnenas långsiktiga klimatpåverkan. Man behöver också ta hänsyn till den indirekta effekt som orsakas av elproduktionen av drivel. Därför har man introducerat begreppet TEWI med vilket man jämför effekten över en viss tid. En sammanställning av ett antal köldmedier och deras miljöpåverkan (enligt begreppen ODP och GWP) redovisas tabell 7.1.

Tabell 7.1 Ett urval köldmedier och deras miljöpåverkan beskriven med ODP och GWP. CFC, HCFC samt haloner är markerade med rött och fet stil.

Köldmedium	Kategori	ODP	GWP
R11	**CFC**	**1**	**4000**
R12	**CFC**	**1**	**8500**
R12B1	**Halon**	**3**	*****
R13	**CFC**	**1**	**11700**
R13B1	**Halon**	**10**	**5600**
R22	**HCFC**	**0.055**	**1700**
R23	HFC	0	11700
R32	HFC	0	650
R114	**CFC**	**1**	**9300**
R123	**HCFC**	**0.02**	**93**
R124	**HCFC**	**0.022**	**480**
R125	HFC	0	2800
R134a	HFC	0	1300
R141b	**HCFC**	**0.11**	**630**
R142b	**HCFC**	**0.065**	**2000**
R143a	HFC	0	3800
R152a	HFC	0	140
R290	-	0	3
R404A	HFC	0	3260
R407A	HFC	0	1770
R407C	HFC	0	1600
R410A	HFC	0	1900
R417A	HFC	0	1940
R500	**CFC**	**0.74**	**6310**
R502	**CFC**	**0.33**	**5590**
R507	HFC	0	3800
R600 (Butan)	-	0	3
R600a (Isobutan)	-	0	3
R717 (Ammoniak)	-	0	0
R718 (Vatten)	-	0	0
R744 (Koldioxid)	-	0	1
R1150 (Etylen)	-	0	0
R1270 (Propylen)	-	0	0

Internationella överenskommelser om köldmedieavveckling

För att komma till rätta med utsläppen av klimatpåverkande köldmedier, har internationella överenskommelser träffats. Under FN:s miljöorgan, United Nations Environment Programme (UNEP) regleras det internationella samarbetet för att skydda ozonskiktet av en konvention. Konventionen (Wienkonventionen 1985) består av en ramöverenskommelse samt ett traktat/fördrag (Montrealprotokollet 1987).

Enligt Montrealprotokollet räknas EU-länderna som ett medlemsland. EU försäkrar att samtliga medlemsländer kommer att uppfylla protokollet angående ozonnedbrytande ämnen.

Avvecklingen i Sverige

Följande datum gäller för avvecklingen av CFC och HCFC i Sverige:

Tabell 7.2 Avveckling av CFC och HCFC i Sverige.

	CFC	HCFC
Stopp för nyinstallation	1 januari 1995	1 januari 1998
Stopp för påfyllning	1 januari 1998	1 januari 2002
Stopp för användning	1 januari 2000	Inget beslut ännu

Från och med 1 januari 2000 är det förbjudet att yrkesmässigt använda CFC som arbetsmedium i befintliga anläggningar. Enligt ett regeringsbeslut är dock befintliga mindre stationära enhetsaggregat undantagna. Här inräknas t ex dricksvattenkylare, ismaskiner, avfuktare, enhetsaggregat för kyl- och frysrum, kyl- och frysdiskar som vissa leverantörer lånar ut, arbetsbänkar med kyl- och frysutrymmen, o dyl. Undantaget gäller t o m 31 december 2004.

Alternativ till R22

Ett vanligt förekommande köldmedium där påfyllningsstopp gäller från 1 januari 2002, är R22. Idag finns några olika alternativ till R22. Vilket alternativ som i det enskilda fallet är mest lämpligt, beror på applikation och om det gäller nyproduktion eller konvertering. Ersättningsköldmedier vid R22-konvertering är oftast blandningar med olika sammansättningar av olika HFC. De har nummer i R400-serien.

Såväl ammoniak som propan, isobutan och andra kolväten, är aktuella endast i nya anläggningar.

I befintliga anläggningar där en det finns en effektmässig överkapacitet, är R134a en möjlig ersättare till R22. Samtidigt som maskinens kyleffekt sjunker belastas dock värmeväxlarna mindre, vilket gör att verkningsgraden ökar.

I kyl- och frysanläggningar är exempelvis R404A en lämplig ersättare, främst för R502. Efter konvertering erhålls en effektökning samtidigt med högre kondenseringstryck. Här

gäller det att vara uppmärksam på att anpassa pressostat och säkerhetsventil till det högre trycket. Köldmediet R507 uppvisar nära nog identiska egenskaper med R404A.

I nya anläggningar är R410A aktuellt som ersättare för R22. Detta köldmedium introduceras framför allt i stora serier av luftkonditioneringsaggregat. Även R290 kan användas, tillsammans med mineraloljor. R290 är dock brännbart.

Köldmediet R407C är ett annat alternativ till R22 i befintliga anläggningar och kan användas utan större ingrepp i systemen. R407C är ett köldmedium med flytande kokpunkt (s k glide), vilket gör att det inte förångas eller kondenseras vid en bestämd temperatur. Istället sker kondenseringen respektive förångningen under ett temperaturintervall, normalt 4-7°C. Vid luftkonditioneringsdrift är R407C mycket likt R22. Vid konvertering från R22 till R407C krävs oljebyte. Det finns idag flera bra metoder för oljebyte, så detta skapar inga oöverstigliga hinder. Vid ogynnsamt utformade värmeväxlare är en temperaturhöjning i kondensorn av 2-5°C vanlig. Här är det viktigt att använda motströms värmeväxlare.

Ett annat köldmedium vilket används som ersättare i befintliga R22-anläggningar är R417A (Isceon 59). Också detta är ett köldmedium med flytande kokpunkt. R417A anges ofta fungera tillsammans med alla kylkompressoroljor. R417A är ännu inte lika utprovat och dokumenterat som exempelvis R407C.

När konvertering skall ske från R22 till annat köldmedium, är det viktigt att beakta hela systemet vid konverteringen. Här måste hänsyn tas till:

1. Hur ser kyl-/värmepumpsystemet ut idag?
2. Vad används anläggningen till?
3. Hur ser det omgivande systemet ut?

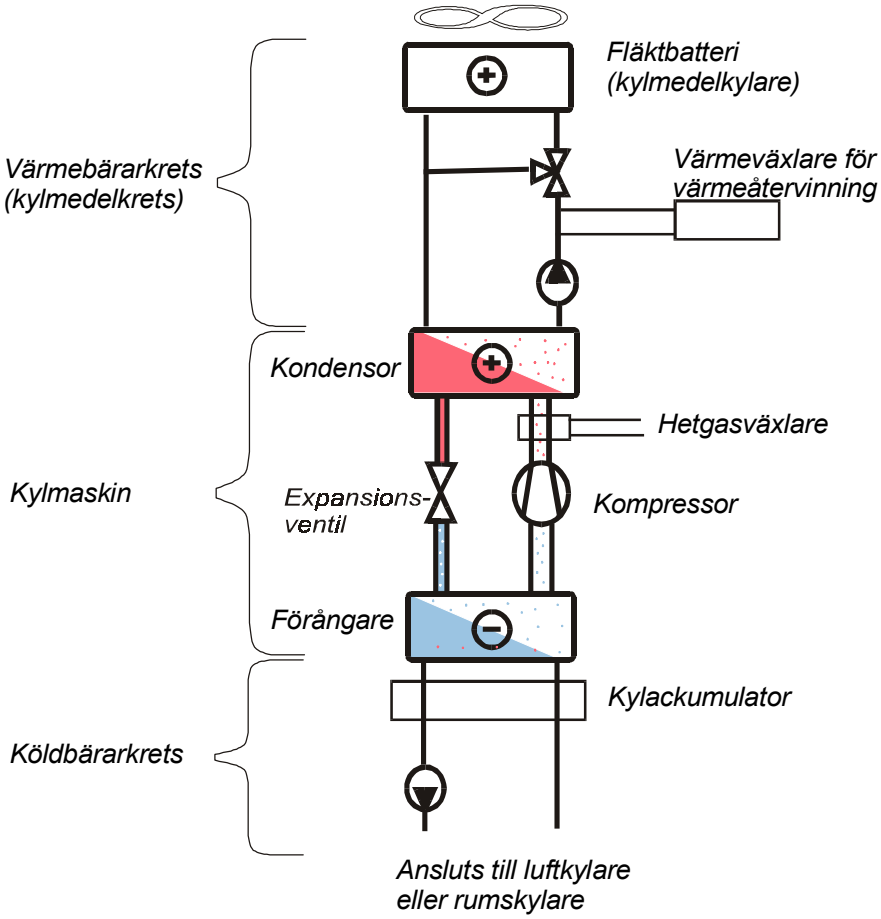
Ibland kan t ex en konvertering som minskar anläggningens effekt kompenseras med effektminskande åtgärder på behovssidan. Om ett köldmedium med flytande kokpunkt (glide) används, behövs kunskap i konverteringsprocessen om dess inverkan.

En lyckad konvertering kräver normalt att kompetensen hos flera aktörer tas tillvara – konstruktörer, konsulter, serviceföretag och slutanvändare.

7.1.2 Styrning av kylmaskin

En kylmaskin är en tämligen komplicerad apparat. I befintliga anläggningar är det därför av stor vikt, både för driftsäkerheten och energianvändningen, att regelbundet genomföra funktionskontroll och förebyggande underhåll. Det är vanligtvis mycket stor spridning i energieffektivitet och driftsäkerhet mellan anläggningar som utför "samma" arbete. Det är därför ofta möjligt att i samband med en funktions- och prestandamätning av kylmaskinen sänka energianvändningen med 10-20 % genom enkla åtgärder som kan göras direkt på plats och dokumenteras i samband med mätningen [7].

Figur 7.3 visar schematiskt huvuddelarna i ett komfortkylsystem. Befintliga komfortkylsystem i byggnader kan dock vara antingen enklare eller mer komplicerade än i detta fall. Figuren redovisar dessutom namn på centrala komponenter och system som nämns i detta kapitel. För definition av en kylmaskins köldfaktor, se kapitel 5.1.1 .



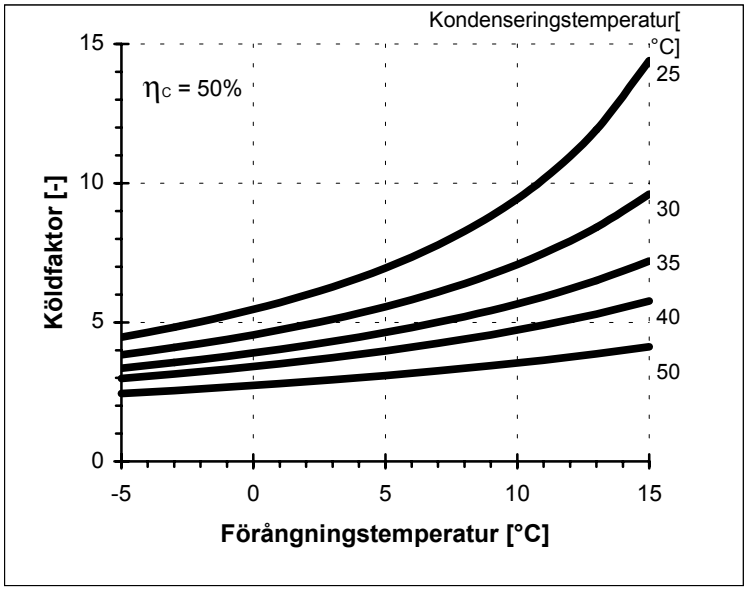
Figur 7.3 Kylmaskin med komponenter.

Styrning av kylmaskiners drift, till och frånslag samt kapacitetsreglering, kan ske på en mängd olika vis, bland annat beroende på typ av kylmaskin. Bland befintliga komfortkylanläggningar är kolvkompressorn den vanligast förekommande kompressortypen. Kylmaskinen består av en eller flera kolvkompressorer som styrs till och från och i varje maskin finns kapacitetsreglering genom avlastning av cylinderpar. Styrningen sker primärt för att erhålla kallt vatten (köldbärare) av en viss temperatur. Köldbärartemperaturen hålls vanligen så konstant som möjlig under året. Det kravet kan dock medföra att till- och frånslagstiderna blir allt för korta under delar av året. För att kylmaskinen skall få acceptabla drifttider installeras därför ofta en ackumulator på köldbärarsidan och temperaturen i köldbäraren tillåts att pendla mellan ett min och ett maxvärde.

För att kylmaskiner skall arbeta energieffektivt och för att driftförhållandena skall bli gynnsamma kan ett antal mål formuleras:

1. Lägsta möjliga skillnad mellan kondenserings- och förångningstemperatur
2. Lägsta möjliga kondenseringstemperatur
3. Lämpliga vattenflöden på kylmaskinens förångnings- och kondenseringssida
4. Kontinuerlig drift och energieffektiv kapacitetsreglering

1. Lägsta möjliga skillnad mellan kondenserings- och förångningstemperatur
Allmänt gäller att ju högre köldfaktor desto mindre energi åtgår för att producera en viss mängd kyla. Exempel på hur temperaturerna i förångare och kondensor påverkar kylmaskinens köldfaktor framgår ur figur 7.4.



Figur 7.4 Kylmaskinens köldfaktor som funktion av förångar- och kondensortemperaturerna. Diagrammet är teoretiskt och framtaget med en antagen carnotsk verkningsgrad η_c= 50%.

För en kylmaskin vid normala driftförhållanden gäller som riktvärden:

- En sänkning av kondenseringstemperaturen med 1°C ger 1 % ökning av kyleffekten samt 2,5% minskning av eleffekten till kompressorn. Köldfaktorn ökar exempelvis från 3,0 till 3,11 (3,6 %).
- En ökning av förångningstemperaturen med 1°C ger 5 % ökning av kyleffekten samt 1 % ökning av eleffekten till kompressorn. Köldfaktorn ökar exempelvis från 3,0 till 3,12 (4 %).

För att åstadkomma en höjning av köldfaktorn kan rent kyltekniska åtgärder vara effektiva. De kan vara enkla åtgärder som justering av expansionsventil eller mer omfattande som byte av förångare/kondensor till större modell. Dessa åtgärder hanteras av kyltekniker och behandlas inte utförligare här.

Det finns även rent VVS-tekniska åtgärder som förbättrar kylmaskinens prestanda. Den kanske effektivast åtgärden är att påverka köldbärarens temperatur. Kölbärartemperaturen påverkar kylmaskinens förångningstemperatur och därmed också dess köldfaktor. Traditionellt konstanthålls denna under året men den kan istället tillåtas variera efter byggnadens kylbehov. Praktiskt innebär det att temperaturen i köldbärarsystemet tillåts variera med utetemperaturen. När det är som varmast ute är köldbäraren på mintemperatur, för att öka när kylbehovet minskar. Innan man vidtar en sådan styrstrategi är det dock viktigt att försäkra sig om att ingen komponent i köldbärarsystemet kräver konstant låg temperatur. Den nya reglerkurvan provas ut i samverkan med brukare, tekniker och driftpersonal. Se vidare kapitel 7.2.3, Vattenburen kyla.

2. Lägsta möjliga kondenseringstemperatur
En lägsta möjliga kondenseringstemperatur är viktigt både vad gäller energieffektivitet och för att få goda driftförhållanden. Det vanligaste sättet att kyla bort kondensorvärmet är med fläktbatteri (normalt benämnt kylmedelkylare), placerat på byggnadens tak. För att kylmaskinens drift inte skall äventyras, konstanthålls kondenseringstemperaturen omkring 30-35 °C genom reglering av batterifläktar och värmebärarflöde [8]. Om dessa fläktar tillåts gå på full drift då kylmaskinen går, skulle kondenseringstemperaturen kunna sänkas när utetemperaturen ligger under dimensionerande utetemperatur. Ett antal faktorer påverkar besparingens storlek och självfallet måste kylmaskinfabrikantens uppgifter om lägsta tillåtna kondenseringstemperatur följas. Kostnaden för genomförande av åtgärden är dock ringa. Oftast handlar det om att programmera om styrningen av värmebärarens temperaturer.

Ett effektivt sätt att få ned temperaturen på värmebäraren är att strila vatten över fläktbatteriet och på så sätt få evaporativ kylning. Denna metod kan kyla värmebäraren ett antal grader under rådande utomhustemperatur, men undviks ofta för att minska drifts och underhållskostnader för systemet. Vattenbegjutning sker normalt endast som extra kylning under riktigt heta dagar, speciellt då fläktbatteriet ibland exponeras för både solstrålning och höga utomhustemperaturer. Lönsamheten i en sådan metod får värderas från fall till fall där ökade drift- och underhållskostnader vägs mot bättre köldfaktor och lägre energianvändning.

3. Lämpliga vattenflöden på kylmaskinens förångnings- och kondenseringssida
Det tredje målet för effektiv kylmaskindrift är lämpliga vattenflöden i köldbärar- respektive värmebärarsystemet. Ju lägre dessa flöden blir desto större blir temperaturdifferansen mellan kylmaskinens förångnings- och kondenseringstemperaturer och desto lägre blir köldfaktorn. Tänkbara åtgärder i befintliga anläggningar är att säkerställa konstanta och lämpliga (höga) vattenflöden. Om endast en del av köld- eller värmebärarflödena passerar kylmaskinen kommer troligen effektiviseringsvinster att erhållas om hela flödet leds rätt väg. Det förutsätts då att korrekta vattenflöden bibehålls trots ökade tryckfall i kylmaskinens värmeväxlare.

Temperaturdifferensen mellan kylmaskinen och vätskeflödet skall vara lägsta möjliga. Efter en tid sker försmutsning av förångare/kondensor på vattensidan, olika omfattning beroende på vattenkvalitet etc. Redan en tunn beläggning på de värmeöverförande ytorna gör att temperaturdifferensen ökar. Renspolning av värmeväxlare bör vara en återkommande åtgärd i drift- och underhållsrutinerna för att öka effektiviteten.

4. Kontinuerlig drift och energieffektiv kapacitetsreglering

Det sista målet föreskriver kontinuerlig drift och energieffektiv kapacitetsreglering. I komfortkylsystem är flercylindriga kolvkompressorer den utan tvekan vanligaste typen av kompressor. Kylmaskiner med flercylindriga kolvkompressorer mår inte bra av återkommande start/stopp, och har därför inbyggd kapacitetsreglering i form av avlastning av cylinderpar. I komfortkylanläggningar skall kylmaskinen vara dimensionerad så att kontinuerlig drift erhålls då det maximala kylbehovet inträffar. Vid övriga driftfall, t ex vår och höst, är kylbehovet lägre och kapacitetsreglering blir nödvändig. Maskinen arbetar då med försämrad köldfaktor p.g.a. att en eller flera cylinderpar i kylkompressorn avlastas. Det är svårt att göra någon enkel maskinteknisk ändring men om anläggningen består av flera kompressorer kan deras styrning ändras så att de endast tillåts arbeta vid full effekt, i sekvens. Köldbärarkretsens temperatur måste då tillåtas variera för att få någorlunda långa drifttider, eventuellt i kombination med en köldbärarackumulator [8]. En översyn och eventuell förändring av styrstrategin för kylmaskinen/kylmaskinerna bedöms som en lönsam åtgärd i de flesta fall. Om systemet skall kompletteras med en ackumulator måste en noggrannare lönsamhetskalkyl genomföras. Lönsamheten beror då på flera olika faktorer som kan variera stort från byggnad till byggnad

En tänkbar framtida teknik (för kolvkompressorer) är varvtalsstyrning med frekvensomriktare. Denna teknik som är vanlig bland elmotorer, och även tillämpas på mindre rotationskompressorer, används ännu inte på kolvkompressorer. Orsakerna är flera, utrustningen är dyr och bland annat kan problem med smörjning av kompressorn uppstå. När denna teknik väl är utprovad och kostnaden minskats kommer den att tillåta kapacitetsreglering med bibehållna eller förbättrade dellastegenskaper. Teknikens huvudtillämpning blir i direkta kylsystem eftersom man där, av komfortskäl, vill minska temperaturpendlingar i tilluften. I indirekta system (med köldbärarkrets som dämpar ut temperaturpendlingar) erhålls effektivast system med full-drift på kompressorerna och sekventiell styrning [7].

Varvtalsstyrning av cirkulationspumpar är desto vanligare och bör användas på kylmaskinens köldbärarkrets om rumskylare är anslutna. Med rumskylare anslutna, s k vattenburet komfortkylsystem, är flödet ofta varierande i köldbärarkretsen eftersom varje rum har individuell reglering av kyleffekten, vanligtvis med en tvåvägsventil. Används då en varvtalsstyrd cirkulationspump som konstanthåller trycket i kretsen, kommer både drift och energieffektivitet att förbättras. Driftmässigt förbättras reglervillkoren för de ventiler som styr flödet till rumskylarna, de klarar av att reglera och att stänga oberoende av hur kylbehovet förändras i övriga byggnaden. Energi-mässigt sparas driftel på två ställen samtidigt! Först den direkta besparingen i pumpens elmotor och därefter besparing i minskad el till kompressorn eftersom kylbehovet minskar. Det mesta av cirkulationspumpens elbehov blir värme i köldbärarkretsen och måste kylas bort. Åtgärden är enkel att genomföra och bedöms som relativt lönsam i de flesta fall.

7.1.3 Återvinning

Eftersom värmet från kondensorn kyls bort i uteluften, skulle det vara mycket energieffektivt att tillvara på detta. Problemet är att det måste finna ett värmebehov samtidigt som byggnaden har kylbehov, samt att temperaturen på det återvunna värmet bestäms av kylmaskinen.

I vanliga kontorshus med komfortkyla förekommer normalt inte värmebehov under årets varma del förutom värmebehov för tappvarmvattenberedning. Eftersom detta behov vanligtvis är litet i denna typ av byggnader, finns det sällan någon lönsamhet i värmeåtervinning. Finns det däremot ett kök eller ett gym eller någon annan verksamhet som har ett relativt stort behov av varmvatten eller annan värme, kan värmeåtervinning vara intressant.

Det enklaste sättet att återvinna värmeenergin i kondensorn är att förvärma inkommande tappkallvatten alternativt förvärma en värmekrets. Åtgärden kräver ombyggnad på VVS-sidan med ny värmeväxlare och rördragning mellan värmecentral och kylmaskin, eventuellt behövs även ackumulatortank för det förvärmda vattnet. Lönsamhet för en sådan åtgärd kan variera inom vida gränser. Lönsamheten beror i hög grad på kylmaskinen drifttid per år samt om verksamheten i byggnaden har ett tillräckligt stort och relativt kontinuerligt värme- eller tappvarmvattenbehov.

Mängden återvunnen värme kan ökas genom att kondenseringstemperaturen ökas, men då påverkas kylmaskinen i negativ riktning genom sänkt köldfaktor. Man måste också beakta de risker som är förknippade med ljummet vatten i rörsystem. Tillväxten hos legionellabakterien är som störst i temperaturintervallet 30-40°C. Genom ordentlig upphettning av varmvattnet till minst ca 60°C i den slutliga varmvattenberedningen kan dock eventuella legionellabakterier oskadliggöras.

En kyltekniskt mer komplicerad värmeåtervinning kan ske med hjälp av s k hetgasväxlare. En hetgasväxlare är en värmeväxlare som installeras i kylmaskinen köldmediekrets mellan kylkompressorn och kondensorn. Ur denna kan varmvatten erhållas med väsentligt högre temperatur, vanligtvis mellan 50-60°C utan att kompressorns effektbehov påverkas. Åtgärden kan vara lönsam men kräver förundersökning av alla faktorer som påverkar den slutliga kostnaden och mängden återvunnet värme.

7.2 Distribution

Innan åtgärder vidtages för att minska energianvändningen i distributionen av komfortkyla bör följande punkter alltid beaktas oavsett typ av komfortkylsystem eller åtgärd:

- Det är viktigt att noggrant gå igenom hur systemet är uppbyggt. Genomgången skall göras både genom att studera ritningar och principsheman samt kontrollera att det verkliga systemet överensstämmer med scheman och ritningar. I många fall har till- och ombyggnation gjorts av ventilations eller kylsystem utan att uppdatering av ritningar och scheman genomförts

- Åtgärder som vidtagits för att reducera energianvändningen skall inte påverka inomhusmiljön eller verksamheten i byggnaden negativt. Emellertid kan man inte utesluta att vissa åtgärder, om de drivs för långt, kan ge en negativ påverkan på inne-klimatet. Av den anledningen rekommenderas att sådana åtgärder genomförs i mindre steg för att försäkra sig om att ingen negativ påverkan på inomhusklimatet eller verksamheten sker.

- Innan en åtgärd genomförs bör, om möjligt, den konstruktör som projekterat VVS- och kylsystemen i byggnaden kontaktas för att försäkra sig om att inget oförutsett skall uppträda efter åtgärd.

7.2.1 CAV-system

För beskrivning av CAV-system se kapitel 5.2.1.

7.2.1.1 Justering av återluftfunktion

Vissa byggnader är försedda med en central återluftsfunktion. Återluftfunktion innebär att en del av frånluften förs över till tilluften och blandas där med uteluft. En vanlig orsak till detta förfarande är att byggnaden och/eller verksamheten kräver relativt höga luftflöden i förhållande till det uteluftflöde (”frisk luft”) som erfordras. I många fall erfordras det höga luftflödet på grund av att ett stort värmeöverskott måste kunna transporteras bort från byggnaden.

Styrningen av spjällen som påverkar hur mycket återluft som skall blandas med uteluften kan se tämligen annorlunda ut från byggnad till byggnad. I vissa fall kan den aktuella inställningen i styrsystemet medföra en onödigt hög energianvändning.

Justering av återluftfunktionen kan genomföras i flera steg. Hur många steg man tar får styras av de förutsättningar som finns i byggnaden och dess verksamhet.

- Steg 1 är att se till att återluftspjällen överhuvudtaget kan arbeta och följa den styrning som är installerad från början.

- Steg 2 innebär att identifiera den uteluftmängd som verksamheten i byggnaden erfordrar. Uteluftmängden bestäms oftast av antalet människor i byggnaden men

kan i vissa fall styras av andra faktorer. Den fastlagda uteluftmängden få aldrig underskridas genom den styrning som finns eller den nya styrning som eventuellt installeras.

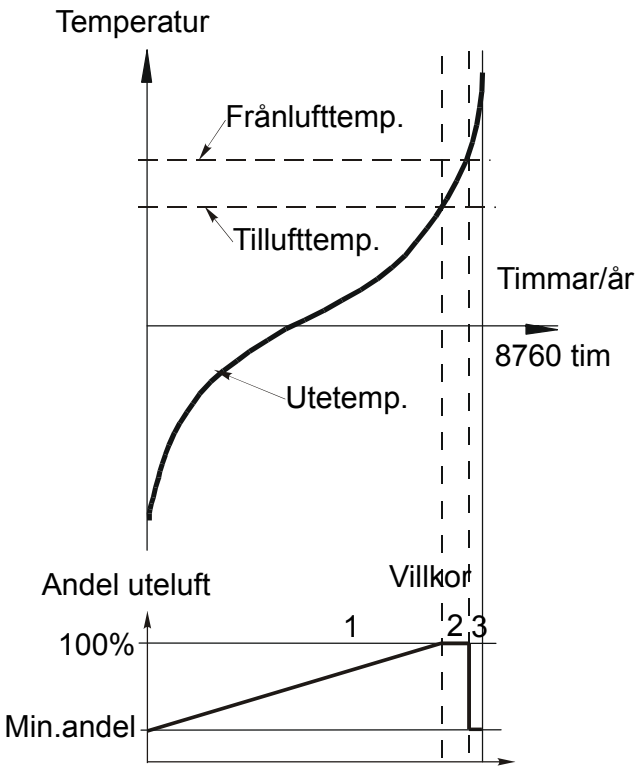
- Steg 3 innebär eventuell revidering av styrvillkor. Följande villkor medför en minimering av energianvändningen både för värme och för kyla. I en given byggnad kan det naturligtvis vara andra krav som avgör styrvillkorens utformning. Av den anledningen bör därför de krav som bestämmer graden av återluft noggrant fastställas innan en eventuell åtgärd genomförs, bl.a. måste en mini-minivå för andelen uteluft fastställas. Den nivån får sedan aldrig underskridas.

  De reviderade styrvillkoren kan delas in för gällande i tre områden, se figur 7.5. Rumstemperaturen antas i följande resonemang alltid vara högre än tilluftstemperaturen. Övre delen av figur 7.5 visar uteluftens varaktighet (för beskrivning av varaktighetskurva se bilaga 2) med temperaturlinjer för frånluften respektive tilluften. Figuren är en förenkling av hur dessa temperaturer förhåller sig till varandra i verkligheten, men avsikten är att schematiskt visa de olika villkoren som beskrivs nedan.

  Det första villkoret gäller då utetemperaturen är lägre än tillufttemperaturen. I det läget skall blandningen ske så att temperaturen efter blandningspunkten blir sådan att inställd tilluftstemperatur direkt erhålls, d v s att temperaturen efter blandningspunkten inte behöver justeras med värmebatteriet. På så sätt minimeras värmeenergibehovet i luftvärmaren.

  Det andra villkoret inträder då utelufttemperaturen ligger mellan tillufttemperaturen och aktuell rumstemperatur. Normalt antas att frånlufttemperaturen är lika med rumstemperaturen i en byggnad. I det läget skall återluftfunktionen vara avstängd, d v s att tilluften består av 100% uteluft.

  Det tredje villkoret gäller då utetemperaturen är högre än rumstemperaturen/ frånlufttemperaturen. I det läget bör återluften vara maximal, d v s uteluftandelen bör ligga på min.nivån. Det gemensamma målet med villkor 2 respektive 3 är att luften efter blandningspunkten skall vara så sval som möjligt. Då erfordras ett minimum av kylenergi.



Figur 7.5 Schematisk illustration av styrvillkor får återluft för att minimera värme- och kyleenergianvändning. För beskrivning av den övre kurvan se bilaga 2.

Det bör påpekas att ovanstående villkor med temperaturgränser gäller endast i byggnader där ingen fuktning eller torkning sker av tilluften eller att fukttillskottet i byggnaden är litet. Om fukthalten av någon orsak skiljer väsentligt mellan uteluft och frånluft bör villkoren istället utgöras av entalpigränser, d v s att både fukt och temperatur mäts och entalpin i de olika luftflödena sätts som gräns.

Sparpotentialen för denna typ av åtgärd är mycket svår att bedöma då förutsättningen i det befintliga systemet kan variera inom vida gränser. I många fall kan åtgärden dock reducera energianvändningen både i värme- och kylsystemet. Lönsamheten bedöms som god då det i de flesta fall endast erfordras en trimning/omprogrammering av återluft-funktionen.

7.2.1.2 Flödes- respektive temperaturinjustering

För flertalet befintliga byggnader har det med stor sannolikhet inte gjorts någon injustering av tilluftflödena eller tillufttemperaturen sedan byggnaden togs i bruk. Det kan då innebära att många rum eller zoner i en byggnad kan ha felaktig kyleffekt i form av felaktiga tilluftflöden eller tillufttemperaturer. Orsakerna till detta kan vara en eller flera av följande:

- Verksamheten i byggnaden har ändrats, ökat eller minskat
- Byggnaden har renoverats bl.a. med avseende på faktorer som påverkar inomhustemperaturen, t ex nya fönster, komplettering med solavskärmning eller tilläggsisolering.

- Kraven på luftkvalitet eller inomhustemperaturer, speciellt sommartid, kan ha ändrats jämfört med de ursprungliga kraven.

Beroende på om och hur ovanstående faktorer ändrats under årens lopp kan den tillgängliga kyleffekten till ett rum eller en zon vara antingen för stor eller för liten. Om tillgänglig kyleffekt är otillräcklig måste naturligtvis åtgärder vidtagas för att antingen sänka värmebelastningen eller att höja tillgänglig kyleffekt.

Om det istället är så att maximalt tillåtna inomhustemperaturen aldrig eller mycket sällan inträffar kan det antas att levererad kyleffekt i CAV-systemet är större än erforderlig kyleffekt. I detta läge är en justering nedåt av tillgänglig kyleffekt möjlig. Innan man går vidare är det dock viktigt att fastslå om tillgängligt luftflöde dimensioneras av värmelaster eller av föroreningar i byggnaden. Oavsett om ventilationssystemets huvuduppgift är att bortforsla föroreningar eller värmeöverskott får inte energieffektivisering genomföras på bekostnad av de krav som ventilationssystemet skall uppfylla.

Antag att en byggnad har ett överskott av tillgänglig kyleffekt och att det är värme-överskottet som dimensionerar luftflödet. Det innebär att erforderligt luftflöde för att klara kraven på luftkvalitet är lägre än det luftflöde som erfordras för att uppfylla de krav som ställs på rumstemperatur. Överskottet kan gälla för hela byggnaden eller endast i en eller flera zoner.

I luftflödet finns två fysiska storheter som är påverkbara och som bestämmer luftflödets kyleffekt. Det är tilluftstemperaturen och luftflödet. En hög tilluftstemperatur erfordrar ett högre luftflöde medan en lägre tilluftstemperatur kräver ett lägre luftflöde. Det energimässigt bästa alternativet är en låg tilluftstemperatur och ett lågt luftflöde. Det finns dock en undre gräns för tillufttemperaturen som sätts av komfortkrav. En för låg tillufttemperatur ger problem med t ex drag och för låga temperaturer vid golv.

Tillufttemperaturen bör alltså sättas så lågt det går med hänsyn och med tillräcklig marginal till det komfortkrav som ställs. I en del fall kan tilluftstemperaturen styras av utetemperaturen så att tilluftstemperaturen är lägre sommartid och högre vintertid för att tillgodose olika komfortkrav över året.

Efter att tilluftstemperaturen har bestämts kan en eventuell justering av luftflödet genomföras i de zoner eller rum där det kunnat konstateras att kyleffekten är för stor.

Som exempel redovisas i tabell 7.3 hur energianvändningen minskas om totala luftflödet sänks med 10 % från 4 l/s m^2 till 3,6 l/s m^2. I beräkningarna har exempelbyggnaden (se bilaga 1) använts och då försetts med ett CAV-system med fullflöde 06.00 – 19.00 och resten av tiden avstängt. Reglering av luftflöde med varvtalsreglering av fläktarna antas. Tilluftstemperaturen är i detta fall 18°C hela året.

Tabell 7.3 Ändrad energianvändning vid minskat luftflöde med 10% i exempelbyggnaden (bilaga 1)

	Alt: 4,0 l/s m^2 (KWh/m^2)	Alt 3,6 l/s m^2 (kWh/m^2)	Skillnad abs. (kWh/m^2)	Skillnad rel. (%)
El till kylmaskin	6,8	6,2	0,6	-9,6%
El till fläktar	40,1	36,1	4,0	-10,0%
Värme luftvärmare	72,1	64,7	7,3	-10,1%

Som synes görs de största besparingarna i drift av fläktar samt i värmning av tilluft. Besparingen i energi till fläktdrift samt värme till tilluft är direkt proportionell mot sänkningen av luftflödet. Besparingen i energi till kylmaskinen är också i stort sett direkt proportionellt mot sänkningen av luftflöde.

Med tanke på att investeringen för denna typ av åtgärd i de flesta fall är mycket låg bedöms åtgärden normalt som tämligen lönsam. Det handlar om nedvarvning av fläkt, svarvning av fläkthjul eller strypning av luftflöde vilket normalt kräver små investeringar i förhållande till besparingen.

7.2.1.3 Utetemperaturstyrt flöde

Med utetemperaturstyrt luftflöde menas att till- och frånluftsflödet styrs så att ett lägre flöde erhålls under vintertid och det dimensionerande flödet erhålls under den varmaste delen av året. I detta fall antas att det är kylbehovet som dimensionerar luftflödet. Det lägre luftflödet vintertid måste dock alltid tillgodose de krav verksamheten eller byggnaden ställer avseende inomhusklimat, t ex inomhustemperatur eller luftkvalitet.

Det skall understrykas att denna åtgärd spar marginellt med energi i kylsystemet, men då den i många fall trots det kan ge god lönsamhet nämns den dock. Den största besparingen görs i elenergi till fläktar respektive uppvärmning av tilluft. Lönsamheten bestäms till stor del hur mycket flödet kan sänkas vintertid samt vid vilken utetemperatur som reduceringen av flödet görs.

I befintliga fläktar (här avses radialfläktar) med befintlig styrning av luftflöde sker styrningen antingen med ledskenor eller via varvtalsreglering. Om de befintliga fläktarna saknar styrning kompletteras de med en varvtalsregulator som vanligtvis är en frekvensomriktare. Vid denna åtgärd måste alltid fläktens driftområde kontrolleras så att problem ej uppstår vid det lägre flödet.

Att styra flödet efter utetemperaturen kan ge fler fördelar än enbart minskad energianvändning. Att vintertid reglera ned luftflödet kan i många fall minska risken för drag och sänka ljudnivån från ventilationen, d v s allmänt sett höja kvaliteten på inomhusklimatet.

Nedanstående exempel, tabell 7.4, visar på hur energianvändningen kan minskas vid utetemperaturstyrt luftflöde. I exemplet har vi utgått från kontorshuset i bilaga 1. I detta

fall är det ursprungliga flödet 3 l/s m^2 konstant hela året, dock ej nätter och helger. Efter åtgärd styrs flödet ned mellan utetemperaturerna 20°C och 10°C. Under 10°C är flödet konstant 1,5 l/s m^2.

Tabell 7.4 Ändrad energianvändning vid utetemperaturstyrt luftflöde i exempelbyggnaden (bilaga 1)

	Alt: Konstant 3,0 l/s m^2 (kWh/m^2)	Alt: 3 l/s m^2 sommar – 1,5 l/s m^2 vinter (kWh/m^2)	Skillnad abs. (kWh/m^2)	Skillnad rel. (%)
El till kylmaskin	7,5	7,5	0,0	0%
El till fläktar	55,9	21,7	34,2	-61%
Värme luftvärmare	96,5	48,4	48,1	-50%

Tillämpning av denna metod finns beskriven i [2].

7.2.1.4 Nattkyla

Begreppet nattkyla definieras på olika sätt och kan också tillämpas på ett antal olika sätt. I detta kapitel beskrivs de vanligaste varianterna av nattkyla.

Med nattkyla avses vanligen att ventilationen är på dygnet runt under den tid av året då frånluftens, d v s byggnadens, temperatur överskrider ett inställt värde. Värmeöverskottet är då så stort under dagen att en tillräckligt stor temperaturhöjning har skett i byggnaden, vanligtvis under den varmare delen av året. Övrig tid på året är ventilationen normalt avstängd under natten (under förutsättning att inget ventilationsbehov föreligger då). Syftet med nattkyla är att föra bort den värmeenergi som lagrats i byggnadsstommen under dagtid. På så sätt kan byggnadsstommen utgöra ett ”kylelement” påföljande dag och därigenom erhålla lägre inomhustemperatur.

Under tiden nattkylan är aktiv är det vanligt att både luftvärmare, värmeåtervinnare och luftkylare i ventilationsaggregatet är avstängda. Den svala nattluften tas alltså in obehandlad. Dock brukar det finnas begränsningar nedåt i temperatur på tilluften respektive rumsluften (d v s frånluften) så att inte byggnaden blir för kall på morgonen. I vissa fall kan man låta luftkylaren vara aktiv för att kyla tilluften direkt på kvällen när nattkylan startar och på så sätt få ut maximal effekt av nattkylan.

Att tillämpa nattkylning i en befintlig byggnad medför inte automatiskt en minskning av energianvändningen. Hur energianvändningen förändras vid införande av nattkylning beror på hur styrningen av den ser ut och tillämpas samt hur styrningen av ventilationen var inställd före nattkylning.

Alternativ 1: Utgångsläge med ventilation dygnet runt året om
Normalt sett går ventilationen hela dygnet med en konstant tilluftstemperatur alternativt med en varierande dito. I detta läge är det alltid fördelaktigt att införa nattkylning. Befintlig styrning är ju en form av ”nattkyla” men huvudsyftet har inte varit att aktivt kyla byggnaden utan att ventilera den. Alternativt har ventilationen varit i drift dygnet

om utan egentlig anledning. Finns behov av ventilation även på natten måste naturligtvis fläktarna vara i drift dygnet om. För att uppnå full nattkylning kompletteras styrningen med villkoret att värme, värmeåtervinning och eventuellt kyla stängs av när frånlufttemperaturen överstiger ett inställt värde samt erforderliga min.begränsningar på frånlufttemperatur och eventuellt tillufttemperatur.

Om fläktarna måste vara i drift dygnet om ger en komplettering med nattkylfunktion en minskning av värme- och eventuellt kylenergianvändning. Hur stor minskningen blir beror på hur lång period nattkylan är i drift och inställningar av min.temperaturer men oftast blir minskningen relativt blygsam. Elenergianvändning till fläktdrift förändras däremot inte.

Kan istället fläktarna tas ur drift nattid då inte nattkylan erfordras görs en betydande besparing av både el framför allt till fläktar men även till kylmaskinen och värme till luftvärmare. Hur energianvändningen kan förändras i det senare fallet redovisas nedan i tabell 7.5.

Tabell 7.5 Ändrad energianvändning vid tillämpning av nattkyla i exempelbyggnaden (bilaga 1) enligt förutsättningar ovan.

	Alt: 3,0 l/s m^2 dygnet runt (kWh/m^2)	Alt: 3,0 l/s m^2 endast dagtid med nattkyla vid behov (kWh/m^2)	Skillnad abs. (kWh/m^2)	Skillnad rel. (%)
El till kylmaskin	9,3	9,3	0,0	0%
El till fläktar	65,7	48,9	16,8	-25%
Värme luftvärmare	101,8	52,4	49,4	-48%

Som synes har ingen förändring uppstått i kylenergianvändningen då tilluften i detta fall hela tiden kylts. De villkor som gällt avseende inomhustemperatur är fortfarande uppfyllt och dessutom sannolikt med marginal då temperaturen inomhus på dagtid kan sänkas till lägre värden än maxnivån.

Detta alternativ har sannolikt god lönsamhet i de flesta fall. Även då investering i styrutrustning erfordras för att åstadkomma nattkylning. Om styrutrustning i form av DUC (DatorUnderCentral) finns, är investeringsbehovet mycket litet då det endast handlar om en omprogrammering.

Alternativ 2: Utgångsläge med ventilation endast dagtid
I detta läge tillämpas nattkyla sannolikt för att värmeöverskottet är större än vad ventilationen dagtid kan hantera och följaktligen uppstår för höga inomhus-temperaturer. Då tillämpas nattkyla för att ge ett tillskott i kyleffekt över dygnet och därmed sänka inomhustemperaturen på eftermiddagen då den normalt når sitt maximum.

Införande av nattkyla med denna förutsättning får naturligtvis betalas med en högre energianvändning. Ökningen sker främst i form av elanvändning orsakat av en längre driftstid för fläktarna.

Tillämpning av nattkyla finns beskriven i [3]

7.2.2 VAV-system

För beskrivning av VAV-system se kapitel 5.2.1 . Systemet består av ett antal var för sig fristående delsystem (VAV-boxar) som reglerar flödet, och därmed kyleffekten, till ett rum eller en zon. Flödets storlek vid en viss tidpunkt på dygnet styrs via en regulator, oftast utifrån rummets temperatur.

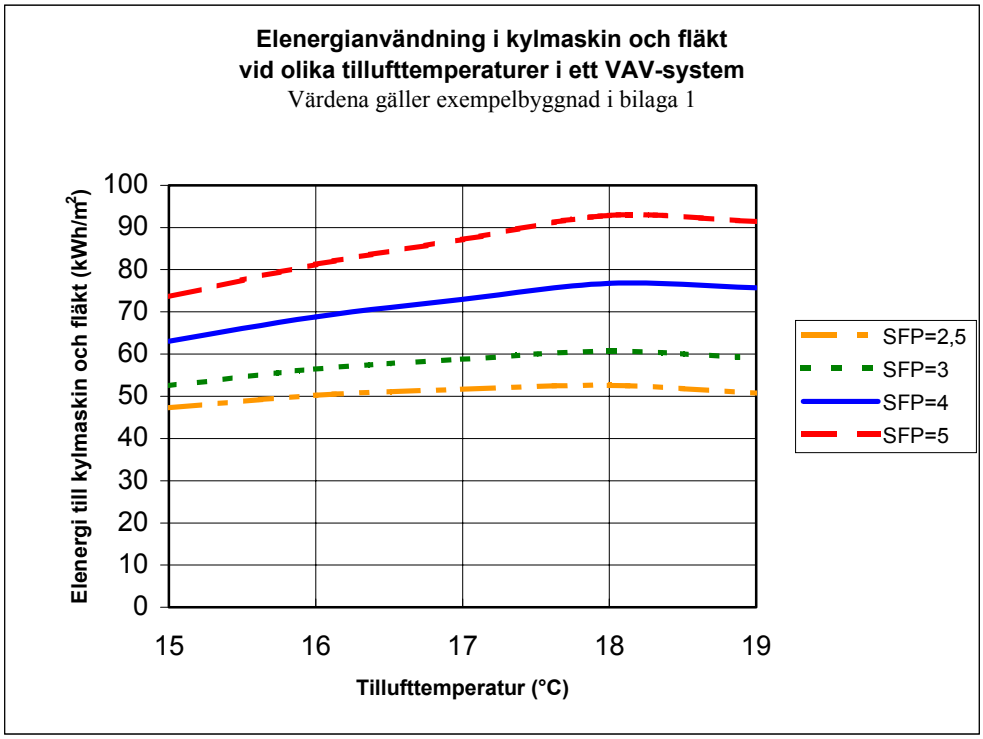
7.2.2.1 Justering av återluftfunktion

Om VAV-systemet innehåller återluftfunktion kan en eventuell justering av styr-villkoren ge besparingar i energianvändningen. En utförligare beskrivning finns under kapitel 7.2.1 CAV-system: *Justering av återluftfunktion*

7.2.2.2 Justering av tillufttemperatur

Lägre tillufttemperatur ger lägre total elanvändning i fläkt och kylmaskin, se figur 7.6. I figuren har vid simulering av exempelbyggnaden i bilaga 1, olika värden erhållits på total elanvändning i fläkt och kylmaskin. I exemplet har en kylmaskin med kylfaktor 2,5 och ett VAV-system med olika SFP-värden (SFP-värde är ett mått på hur el-effektiv ett ventilationssystem är) antagits. Därefter har exempelbyggnaden simulerats med olika tilluftstemperaturer. Resultaten visar att den sammanlagda energianvändningen i kyl-maskin och fläkt minskar med lägre tilluftstemperatur. Reduktionen blir större ju sämre (d v s högre) SFP-värde som ventilationssystemet har. Orsaken ligger i att den vinst man gör på lägre elenergianvändning i fläktarna (p.g.a. lägre luftflöde) uppväger den energi som erfordras i kylmaskinen för att kyla tilluften till en låg temperatur.

Tillufttemperaturen bör därför justeras till så lågt värde som möjligt med hänsyn till att inga komfortproblem får uppstå. En justering till lägre inblåsningstemperatur bör i ett VAV-system åtföljas av en justering av luftflöde för att uppnå störst besparing, se avsnitt nedan. Se även under kapitel 7.2.1.2 Flödes- respektive temperaturinjustering.



Figur 7.6 Elenergianvändning i kylmaskin och fläktar vid olika tilluftstemperaturer i ett VAV-system. Värdena gäller exempelbyggnaden i bilaga 1

7.2.2.3 Flödesinjustering

På samma sätt som för CAV-system så har det i flertalet befintliga byggnader med ett VAV-system med stor sannolikhet inte gjorts någon injustering av tilluftflödena sedan byggnaden togs i bruk. I fallet med ett VAV-system finns det två luftflödesnivåer till ett rum eller en zon. Det ena är minimiflödet som skall råda då inget värmeöverskott föreligger (i det fall flödet styrs av rumstemperaturen). Det andra flödet är maxflödet som inträffar då värmeöverskottet är som störst. Båda dessa luftflöden kan ligga på en felaktig nivå. Orsakerna till detta kan vara en eller flera av följande:

- Verksamheten i byggnaden har ändrats, ökat eller minskat
- Byggnaden har renoverats bl.a. med avseende på faktorer som påverkar inomhustemperaturen, t ex nya fönster, komplettering med solavskärmning eller tilläggsisolering.
- Kraven på luftkvalitet eller inomhustemperaturer, speciellt sommartid, kan ha ändrats jämfört med de ursprungliga kraven.

Beroende på om och hur ovanstående faktorer ändrats under årens lopp kan de aktuella tilluftflödena vara antingen för stora eller för små. I de fall något av tilluftflödena, min- och/eller maxflödet är för stora bör en injustering av dessa genomföras. Minflödet bestäms oftast av lufthygieniska skäl medan maxluftflödet bestäms av storleken på det största värmeöverskottet. Bedömningen av dessa flöden måste göras rumsvis då

regleringen av luftflödet sker i varje rum. Injusteringen görs i den VAV-box som reglerar tilluftflödet till rummet. Styrningen av fläktarna bör också justeras vid behov.

Om minflödet justeras nedåt sker en minskning av energianvändning främst i el till fläktdrift samt värmning av tilluften. En minskning av maxflödet ger främst en besparing i kylningen av tilluften samt el till fläktdrift. En stor del av den tid då ett rum har maxflöde inträffar vanligtvis då tilluften måste kylas.

Nedanstående exempel, tabell 7.6, visar på hur energianvändningen kan reduceras i ett VAV-system där totala maxflödet kan minskas. I exemplet har vi utgått från kontorshuset i bilaga 1. I exemplet är det ursprungliga maxflödet 4 l/s m^2 som efter åtgärd har minskats med 10% till 3,6 l/s m^2. Åtgärden medför givetvis att den maximala inomhustemperaturen inte överskrids. Minflödet 1,0 l/s m^2 bibehålls även efter åtgärd.

Tabell 7.6 Ändrad energianvändning vid reducering av maxflöden i ett VAV-system i exempelbyggnaden (bilaga 1)

	Alt: Maxflöde 4,0 l/s m^2 (kWh/m^2)	Alt: Maxflöde 3,6 l/s m^2 (kWh/m^2)	Skillnad abs. (kWh/m^2)	Skillnad rel. (%)
El till kylmaskin	12,4	11,1	- 1,3	- 10%
El till fläktar	40,2	37,2	- 3,0	- 7%
Värme luftvärmare	15,7	15,7	0,0	0%

Det måste påpekas att storleken på ändringen i energianvändning vid denna typ av åtgärd i ett VAV-system är starkt beroende av ett flertal andra faktorer än enbart sänkningen av maxflödet. Energibesparingen beror även av bl.a. storleken och varaktigheten på värmeöverskottet över dygnet och över året samt den termiska lagringskapaciteten i byggnaden.

Lönsamheten vid denna typ av åtgärd bedöms som god då investeringen i det flesta fall inskränker sig till intrimning/inställning av VAV-boxar och spjäll i de zoner som berörs samt eventuell justering av tryckgivare i ventilationsaggregatet.

7.2.3 Vattenburen kyla

För beskrivning av system med vattenburen kyla se kapitel 5.2.2. Med vattenburen kyla avses normalt att en byggnad enbart kyls med rumsapparater anslutna till ett vattenburet kylsystem. Det kalla vattnet som cirkulerar i kylsystemet benämns köldbärare.

Luften som tillförs via ventilationsaggregat antas normalt vara kyld (genom vattenansluten luftkylare) men tilluftens kyleffekt är i detta fall begränsad, då tilluftens primära uppgift i detta fall är att bortföra föroreningar, inte att kyla. Den kyleffekt som rumsapparaterna bidrar med är normal sett ca. 60-90% av ett rums dimensionerande kyleffekt. Under denna rubrik behandlas även distribution av vatten (köldbärare) till luftkylare för kylning av tilluft.

I både rumsapparater och luftkylare regleras kyleffekten utifrån bestämda temperaturer på tilluft respektive rumsluft och det är följaktligen kylbehovet i tilluften respektive rummen som bestämmer köldbärarflödet.

7.2.3.1 Temperaturstyrning av köldbärare

Normalt är temperaturen på köldbäraren i komfortkylsystem till luftkylare ca. 6-8°C medan den till rumsapparater är ca. 13-14°C. De flesta rumsapparater bör inte ha lägre temperatur på köldbäraren än så, då risk för kondens annars uppstår. Vid vissa omständigheter kan högre köldbärartemperatur krävas för att undvika kondens, t ex vid hög fuktavgivning inomhus eller hög fukthalt i utomhusluften. Om kondens bildas på ytan av en rumsapparat orsakar det dropp och medföljande problem med vattenskador på inredning och/eller byggnad.

Det är alltså luftkylaren i ventilationsaggregatet som normalt erfordrar den lägre temperaturen på köldbäraren. Den temperaturen bestämmer därmed kylmaskinens förångningstemperatur. Vanligtvis är kylmaskinens förångningstemperatur ca. 5°C lägre än köldbärarens temperatur och bibehålles konstant under hela driftsperioden.

Köldbärarens låga temperatur erfordras normalt sett endast vid dimensionerande tillstånd vilket brukar vara vid en utelufttemperatur på ca. 25°C (för luftkylaren). Vid övrig tid på året då kyla erfordras kan köldbärartemperaturen höjas under förutsättning att ingen ansluten luftkylare kräver konstant köldbärartemperatur. Höjningen av köldbärartemperaturen innebär att kylmaskinens förångningstemperatur kan höjas i motsvarande grad. Följden blir att kylmaskinens köldfaktor kommer att öka varvid dess elenergianvändning sänks för att producera en kWh ”kyla”. Se även kapitel 7.1.2 Styrning av kylmaskin.

Om dimensionerande köldbärartemperatur är ca. 6-8°C kan köldbärartemperaturen höjas till ca. 14-16°C vid en utetemperatur på 15°C. Vid den utetemperaturen upphör normalt behovet att kyla ventilationsluften. Kvar att kyla är eventuellt anslutna vattenburna rumsapparater som erfordrar kyla från kylmaskinen så länge som byggnaden har ett värmeöverskott. Dessa är, som tidigare nämnts, dimensionerade för att arbeta vid ca. 14°C.

I [4] redovisas en beräknad besparing på ca. 20% av elenergin till kylmaskinen med förutsättningar enligt ovan. Kondenseringstemperaturen var i det fallet konstant.

När utomhustemperaturen sjunker ytterligare minskar oftast kylbehovet i en byggnad och därmed kan t ex vattenburna rumsapparater arbeta med lägre kyleffekt. Det bör därför undersökas om det är möjligt att ytterligare höja köldbärartemperaturen då utomhustemperaturen går under 15°C för att ytterligare förbättra kylmaskinens COP.

I ett vattenburet system kan det ibland finnas någon enstaka kylare som kräver konstant låg temperatur i köldbäraren. I ett sådant fall bör man undersöka olika möjligheter att koppla ifrån den kylaren och t ex ansluta den till en separat kylmaskin. Beroende på under vilka omständigheter kylaren arbetar så finns oftast ett flertal möjligheter och alla bör undersökas för att hitta det mest lönsamma sättet.

7.3 Rumskylare

För beskrivning av olika typer av rumskylare se kapitel 5.2.2 System med vattenburen kyla.

7.3.1 Styrning värme-kyla i sekvens

I de flesta rum eller zoner som har rumskylare finns också rumsvärmare. Vanligtvis består rumsvärmarna av radiatorer eller konvektorer. För att upprätthålla de temperaturer som ingår i komfortkraven för byggnaden måste rumskylare respektive rumsvärmare styras. Styrningen sker så att värme avges från värmarna vid värmeunderskott och kyla avges (d v s värme upptas) från kylarna vid värmeöverskott.

Idealt sker styrningen av värmare respektive kylare via en styrenhet som omöjliggör att värmaren och kylaren är på samtidigt. I många befintliga byggnader är så inte fallet. Styrningen av värmetillförseln sker via en eller flera termostater och styrningen av kylan sker normalt via en termostat. Dessa styrningar arbetar helt separerade från varandra och risk föreligger därför att värmare och kylare är på samtidigt.

Det är mycket svårt att i en befintlig byggnad uppskatta hur stor besparingspotentialen är och därmed också lönsamheten vid byte till mer noggrant arbetande rumstermostater.

Vid nybyggnation bör däremot rumstermostater väljas där värmning och kylning sker i sekvens. Den extra merinvesteringen det valet kan medföra kan då betraktas som en försäkring mot risken att värmare och kylare är på samtidigt.

7.3.2 Äldre fasadapparater

De flesta fasadapparater, även ibland benämnda induktionsapparater, med både värme och kylfunktion och installerade före 1990 har en konstruktion som innebär att risk finns för att värme i värmebatteriet läcker över till kylbatteriet med oönskad kylenergianvändning som följd. Det beror dels på att värme- och kylbatteriet i många fall ej regleras på vattensidan och dessutom är dåligt skärmade från varandra, dels på att de mekaniska spjäll på luftsidan som reglerar värme- och kyltillförsel kan förlora sin funktion. Förutom förhöjd energianvändning finns stor risk att inneklimatkrav ej kan uppfyllas då kyleffekten från en ej fungerande fasadapparat kan reduceras väsentligt.

Om regleringen av spjällfunktionen ej fungerar tillfredsställande eller helt har upphört bör antingen fasadapparatens spjäll med tillhörande reglering genomgå erforderlig service, eller helt bytas ut. Utbyte av fasadapparat är oftast endast befogat då renovering av byggnad och/eller inredning samtidigt genomförs eller då större anpassning till ny hyresgäst skall genomföras. Servicealternativet är att föredra i alla andra fall.

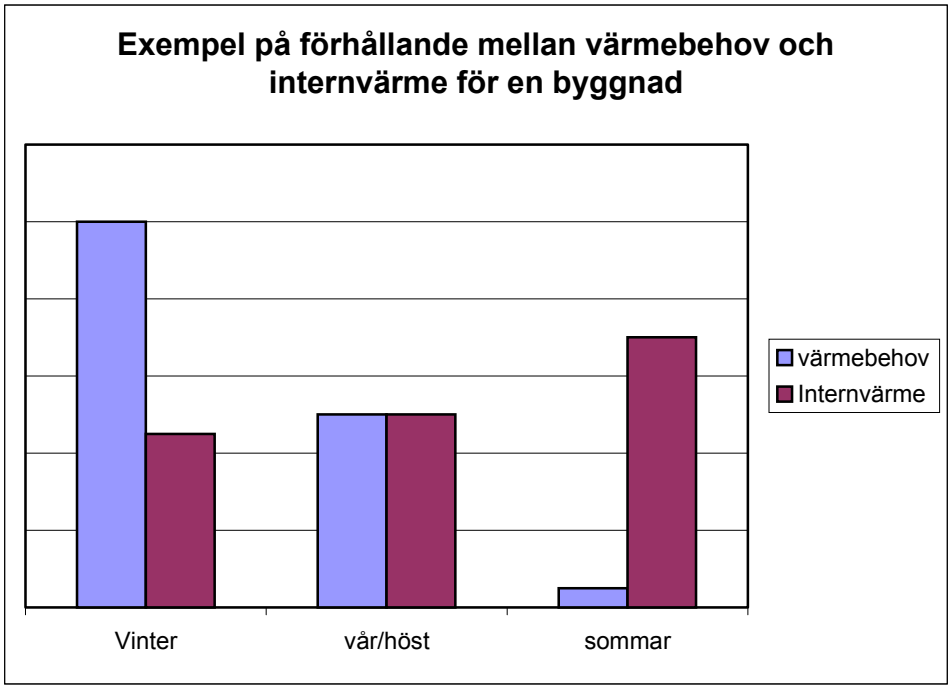
Besparingspotentialen är mycket svår att beräkna och inga kända mätningar eller utredningar i ämnet har publicerats. Kostnaden för service bedöms dock som relativt lönsam speciellt om höga inomhustemperaturer uppträder på grund av försämrad kyleffekt. Höga inomhustemperaturer ger nästan alltid sämre produktivitet hos berörd personal.

7.4 Intern värmegenerering

Med intern värmegenerering menas olika energiformer som omvandlas till värme inne i en byggnad. Omvandlingen är dessutom inte primärt avsedd att värma byggnaden utan är mer en restprodukt, t ex elektricitet som används i apparater, maskiner eller belysning omvandlas till värme. Den värmen bidrar sedan till uppvärmningen av en byggnad.

En annan intervärmekälla är solinstrålning genom fönster. Solstrålningen omvandlas inne i byggnaden till värme som bidrar till uppvärmningen.

I figur 7.7 visas ett förenklat exempel på hur storleken på internvärmegenereringen kan variera under året. Det måste dock påpekas att storleken på staplarna kan variera betydligt mellan olika byggnader. På vintern är värmebehovet normalt större än det internt genererade värmet och värmesystemet måste följaktligen bidra med värme för att hålla önskad inomhustemperatur. På sommaren däremot är internvärmet oftast större än värmebehovet, vilket leder till att temperaturen stiger inomhus.



Figur 7.7 Principiellt förhållandet mellan en byggnads internvärme och värmebehov. Observera att staplarnas inbördes höjd kan variera stort mellan olika byggnader i verkligheten.

Vi utgår nu från att en byggnad har krav på att inomhustemperaturen skall ligga under en angiven nivå och att det erfordras ett komfortkylsystem för att klara det kravet. Mängden värmeenergi som måste bortföras beror främst på dels temperaturkravet (se kapitel 6), dels på hur mycket internvärme som alstras.

Om internvärmen kan reduceras sker minskningen av energianvändning på två håll. Energianvändningen från intervärmekällor minskar samtidigt som användningen av energi i komfortkylsystemet reduceras.

7.4.1 Belysning

Belysningen i lokaler som t ex kontor, skolor och sjukhus utgör vanligtvis ungefär en tredjedel av byggnadens totala elenergianvändning. Det är dock tämligen stora variationer i energianvändning relaterat till belysning mellan olika typer av byggnader.

Tekniskt sett finns det flera möjligheter att reducera energianvändningen i belysningssystemet. Lönsamheten i respektive åtgärd beror till stor del vilken standard systemet har och hur det används innan åtgärd. I denna rapport redovisas besparingsåtgärder i belysning endast översiktligt då de endast sekundärt spar energi i komfortkylsystemet. En del av nedanstående åtgärder är endast lönsamma i samband med renovering eller ombyggnad. De besparingar som nämns nedan gäller enbart den direkta besparingen kopplat till en åtgärd i belysningen. Det är viktigt att påpeka att värmeenergianvändningen kommer att öka vid en minskning av belysningsenergi. Detta beror på att elenergin till belysning omvandlas till värme i byggnaden. Ökningen av värmebehovet är dock mindre än besparingen av elenergi till belysning så det blir alltid en nettoenergibesparing.

De åtgärder som normalt kan genomföras kan delas upp i följande punkter:

- ***Lysrör*** Äldre typer av lysrör kan bytas mot s k T5-lysrör. Vid användning av nya energisnåla T5-lysrör utvecklade för HF-drift (se nedan) kan elenergianvändningen minskas med ca. 25 procent. Högfrekvensdriften gör att ljuset blir flimmerfritt.

  Glödlampor kan i de flesta fall bytas till lågenergilampor eller kompaktlysrör. Lågenergilampor ger mycket ljus med hjälp av lite elenergi. De kan spara upp till 80 % el och lyser tio gånger längre än glödlampor. En lysrörslampa har en maximal drifttid på ca 10 000 timmar. Lysrörslampan är gjord av ett böjt lysrör och innehåller inte glödtråd.

- ***Drivdon*** Drivdonens syfte är att tända lysröret och hålla det tänt. Den moderna HF-tekniken, där HF står för HögFrekvent, introducerades på allvar under 1990-talet och ger möjlighet till en flexibel och flimmerfri belysning med lysrör. Kombinerat med nya fullfärgslysrör ger HF-drift dessutom en energibesparing på upp till 50 procent jämfört med äldre teknik. I HF-anläggningarna ersätts vanliga reaktorer, tändare och kondensatorer av elektroniska driftdon. HF-driften är ljudlös och lysrören tänds utan blinkningar. HF-driften ger även möjligheter till ljusreglering, dagsljuskontroll, rörelsedetektering samt koppling till olika former av styrsystem.

- ***Styrning*** Styrning av belysningens drifttid kan ske på flera olika sätt. Vanligast är att styra belysningens drifttid via tidur och/eller närvarogivare. Belysningstyrkan kan styras via manuella reglage eller genom anpassning till dagsljusinsläpp via ljussensor, s k dagsljusstyrning.

Närvarogivare för belysning spar elenergi och ökar ljuskällornas livslängd. Elanvändningen för belysning kan i många fall reduceras med så mycket som ca 40-60 procent, ibland mer, efter införande av närvarogivare. Hur stor besparingen blir i varje enskilt fall varierar efter hur närvaroprofilen ser ut i en given byggnad.

Efter en teknikupphandling initierad av Statens Energiverk finns bl.a. billiga och lättinstallerade närvarogivare för kontorslokaler. Flera närvarogivare kan förutom att tända automatiskt även kopplas till att styra ventilation, värme och kyla. Vissa närvarogivare kan dessutom lätt installeras i befintliga eldosor.

Automatisk dagsljusstyrning finns för närvarande endast i begränsad omfattning i Sverige. Införandet av ny och billigare styrteknik bereder sannolikt väg för att dagsljusstyrning kommer att bli vanligare.

Sammanfattningsvis finns ofta stora potentialer för besparing när det gäller belysning. Lönsamheten kan dock variera inom ett stort intervall beroende på åtgärd och förutsättningar. Utvecklingen av teknik för styrning av belysning, och andra funktioner i en byggnad går dock fort. Vid renovering av en byggnad är det numera vanligt att installera modern teknik för styrning och övervakning. Denna teknik kan utnyttjas för många fler funktioner än enbart att styra belysningen, t ex styrning av ventilation, värme, kyla, inpassering, larm, hissar etc., och därigenom behöver inte besparingen i belysningsåtgärder bära hela investeringen.

Utförligare information om effektivisering av belysning kan bl.a. läsas i [6].

7.4.2 Maskiner

Den vanligaste förekommande maskinen i de flesta lokalbyggnader är persondatorn. Den står i många fall för en onödigt stor andel av internvärmen. Det handlar om att väldigt många persondatorer inte har aktiverat de energisparfunktioner som finns i stort sett varenda modern persondator. Många användare har aktiverat skärmsläckaren men den funktionen spar ej någon energi, den spar endast bildskärmen. En normal persondator inklusive skärm drar ca 100-150W eleffekt vid normaldrift. Äldre datorer drar i allmänhet mer och nya datorer drar oftast mindre energi.

Om energisparfunktionerna aktiveras (skärm respektive hårddisk går ned i passivt läge) kan en normal persondator komma ned i ca. 30-40W, d v s ungefär en fjärdedel av vad den drar i normalläge. Hur stor andel av tiden som en dator är i normalläge respektive sparläge beror givetvis på hur ofta och hur länge datorn används varje gång.

Att aktivera energisparfunktionen i en persondator går snabbt och är enkelt att göra för en normalanvändare. Investeringsbehovet för denna typ av åtgärd är med andra ord mycket lite.

Även kopieringsmaskiner och skrivare, speciellt moderna varianter, har energisparfunktioner. För vissa maskiner är funktionerna aktiverade vid leverans och för vissa måste användaren aktiverad dem. Precis som för persondatorer är skillnaden stor mellan eleffektbehov vid normaldrift respektive passivt läge.

I nedanstående exempel redovisas hur mycket energianvändningen påverkas om intervärmeeffekten reduceras med 10% respektive 40%, jämnt fördelat över hela året. Hur stor förändringen blir beror i hög grad på vilken typ av komfortkylsystem som en byggnad är försedd med. Exempelbyggnaden utgörs av kontorsbyggnaden i bilaga 1 försedd med vattenburen kyla.

Tabell 7.7 Exempel på förändring av energianvändningen i en exempelbyggnad (se bilaga 1) vid minskning av intervärmeeffekten med 10% respektive 40%.

	Alt: Ingen förändring (kWh/m^2)	**Alt: 10% reducering (kWh/m^2)**	**Alt: 40% reducering (kWh/m^2**	**Skillnad absolut 10%/40% (kWh/m^2)**	**Skillnad relativ 10%/40% (%)**
El till kylmaskin	13,1	12,0	9,1	-1,1 / -4,0	-8% / -30%
Internvärme totalt (elenergi)	74,6	67,1	44,8	-7,5 / -30,0	-10% / -40%
Värmesystem totalt	52,6	57,0	64,7	+4,4 / +12,1	+8% / +23%

8 Referenser

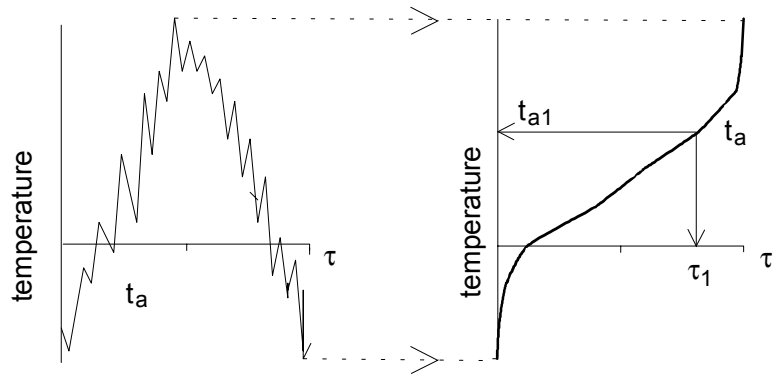
1. Lindholm, T., *Evaporativ och sorptiv kylning*, D43, Inst. för installationsteknik, CTH, 1998.
2. Levin, P., Wickman, P., *Adjusting airflow in office buildings according to outdoor temperature*, Byggforskningsrådet anslagsrapport 940285, 1995.
3. Ren, J X, *Night ventilation for cooling purposes*, D31, Inst. för installations-teknik, CTH, 1995.
4. *Energirigtig design af køleanlæg til luftkonditionering*, Teknologisk Institut, Energi, Tåstrup Danmark, 1999.
5. Nilsson, P.E., *Köldmedier*, rapport EFFEKTIV 2001:2, Centrum för Effektiv Energianvändning.
6. Nilson, A., Uppström, R., Hjalmarsson, C., *Energieffektivisering i kontorsbyggnader – en vinst inte bara för miljön*, Byggforskningsrådet BFR T10:1996. Stockholm 1996
7. Personlig kontakt med Klas Berglöf, Berglöf Kylteknologi AB, Nacka
8. Glas, L.-O., *Energieffektiva kyl- och värmepumpanläggningar*, Kyla nr5, 1995.

Bilaga A
Exempelbyggnad; kontorshus

Indata	**Kontor**
Area total	2500
Area per våningsplan	500
Längd x bredd	50 x 10 m
Antal våningar	5
U-värde fasad	0,3W/m^2, °C
U-värde tak	0,25 W/m^2, °C
U-värde platta mark	0,4 W/m^2, °C
Fönster typ	3-glas
Fönster U-värde	2,0 W/m^2, °C
Fönster area: Syd Nord Öster Väster	 100 m^2 100 m^2 40 m^2 40 m^2
Internvärme belysning Sommar dag Sommar natt Vinter dag Vinter natt	 8 W/m^2 1 W/m^2 8 W/m^2 3 W/m^2
Internvärme personer Sommar dag Sommar natt Vinter dag Vinter natt	 8 W/m^2 1 W/m^2 6,5 W/m^2 3 W/m^2
Internvärme maskiner Sommar dag Sommar natt Vinter dag Vinter natt	 7 W/m^2 2 W/m^2 7 W/m^2 2 W/m^2
Ventilationssystem	Till- och frånluft med värmeåtervinning
Uteluftflöde	Varierande beroende på exempel
Tilluftstemperatur	Varierande beroende på exempel
Specifik fläkteffekt	2,5 kW/(m^3/s)
Innetemperatur	Varierande beroende på exempel
Kylsystem	Varierande: - Vattenburen kyla - CAV system - VAV system

Bilaga B
Uteluftens varaktighet i diagram - en kort introduktion

Teoretiskt är det möjligt att utifrån grafiska temperaturredovisningar i kronologisk ordning (vänstra delen av figur 1), bestämma både momentana effekter och värmebehov under givna tidsperioder om hur de värmeflöden som ingår i värmebalansen i figur 1.1 är kända. Praktiskt är det dock mycket besvärligt att grafiskt arbeta med denna typ av temperaturredovisningar.



Figur 1 Utetemperaturens varaktighet, bildad ur ett års utetemperaturer i kronologisk ordning.

Den resulterande (högra) kurva som erhålls efter sortering av temperaturerna, från den lägsta längst till vänster till den högsta längst till höger i diagrammet. Kurvan som erhålls beskriver således varaktigheten hos uteluftens temperatur. Tidskoordinaten i varaktighetskurvan beskriver under hur lång tid utetemperaturen har varit lika med eller lägre än ett visst värde. Exempelvis så är uteluftens temperatur t_a relaterad till tidsperioden τ_1 så att uteluftens temperatur har varit lika med eller mindre än t_{a1}, under tidsperioden τ_1.

Denna rapport är framtagen i forskningsprogrammet EFFEKTIV som bedrivs inom Centrum för Effektiv Energianvändning (CEE).

CEE består av SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, CIT Energy Management och Institutionen för Installationsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola.

EFFEKTIV
c/o SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 BORÅS, Telefon 033-16 50 00, Telefax 033-13 55 02

RAPPORT EFFEKTIV 2001:06
ISBN 91-7848-876-1
ISSN 1650-1489