

## 6l. Køling

Køling anvendes bredt i alle sektorer i Danmark. Ud af det samlede elforbrug anvendes ca. 13% til køling. Størst anvendelse af køling finder sted inden for handel, hvor køling tegner sig for 33% af det samlede elforbrug, men også i industrien, service-sektoren og indenfor boliger er andelen stor.

### Anlægsopbygning

Et køleanlæg er en lukket kreds med cirkulerende kølemiddel. Anlægget består i princippet af en kold side, en kompressor, en varm side, en recipient og et drøvleorgan.

I den kolde side, *fordamperen*, optages energi ved, at kølemidlet fordampes. Herved afkøles fordampere. Kompressoren komprimerer kølemiddelgassen til den varme side, kondensatoren, hvor kølemidlet *kondenserer* og dermed afgiver den optagne energi.

Efter kondensatoren ledes det nu flydende kølemiddel til recipienten. Fra recipienten ledes kølemidlet igennem et drøvleorgan tilbage til fordampere og således er kredsen sluttet. Drøvleorganet har til formål at reducere trykket mellem den varme og kolde side af køleanlægget.

### COP

Et køleanlægs virkningsgrad benævnes COP (coefficient of performance). COP beskriver forholdet mellem den mængde kulde, der skabes i fordampere, og den mængde elektricitet, kompressoren optager.

For et typisk køleanlæg til fx kølemøbler er  $COP=3,0$ . Dvs. at køleanlægget leverer 3,0 kWh kulde for hver kWh elektricitet, anlægget optager. For et typisk anlæg til frostmøbler er  $COP=2,0$ .

COP afhænger primært af følgende forhold:

- Fordampningstemperaturen, som er den temperatur, kølemidlet fordampes ved i fordampere
- Kondensatortemperaturen, som er den temperatur, kølemidlet kondenserer ved i kondensatoren
- Kompressorens virkningsgrad.

Tabel 1 Anvendelse af køling fordelt på sektorer

Sektor	Andel af elforbrug	Køleanvendelse
Handel	33%	Køle/frostmøbler og lageranlæg
Service	9%	Køle/frostmøbler og lageranlæg
Industri	8%	Proceskøleanlæg og lageranlæg
Landbrug/gartneri	3%	Mælkekøleanlæg og lageranlæg
Offentlige institutioner	3%	Køle/frostmøbler og lageranlæg
Boliger	23%	Køle/frostmøbler

Det er vigtigt at mindske forskellen mellem fordampertemperatur og kondensatortemperatur, når man vil hæve COP og dermed reducere elforbruget til kompressoren. Se tabel 2.

Følgende forhold har indflydelse på kompressorens virkningsgrad og dermed på anlæggets COP:

- Mindre kompressorer har dårligere virkningsgrad end større
- Dellastkørsel forringer virkningsgraden, se figur 1
- Mange starter forringer virkningsgraden
- En slidt kompressor har dårligere virkningsgrad.

## Kølemidler

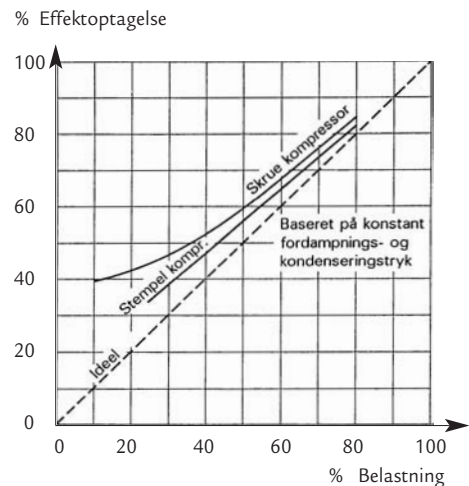
Der findes mange forskellige kølemidler. Kølemidlet udvælges primært ud fra dets normalkogepunkt afhængig af køleanlæggets formål og temperaturniveau. Tidligere anvendtes primært klorholdige kølemidler som R12 og R502. De er nu forbudt pga. deres negative indflydelse på ozonlaget og drivhus-effekten og er erstattet af fluorholdige kølemidler som R134a og R404a, der ikke i samme grad har den negative effekt.

På sigt vil de fluorholdige kølemidler dog også blive forbudt og erstattet af naturlige kølemidler som propan, butan, ammoniak, CO<sub>2</sub>, vand m.m.

Tabel 2 COP i afhængighed af fordamper- og kondensatortemperatur

Fordamper-temperatur	Kondensator-temperatur					
	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C
-40°C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
-30°C	2,2	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5
-20°C	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	1,8
-10°C	3,9	3,4	3,0	2,6	2,4	2,2
0°C	6,1	4,9	4,1	3,5	3,1	2,7
10°C	12,7	8,5	6,4	5,1	4,2	3,6

Figur 1 Effektoptagelse for kølekompressorer



Figuren viser effektoptagelse for kølekompressorer i afhængighed af belastning.

## Optimering af køleanlæg

Der findes flere muligheder for at optimere driften af køleanlægget, som vist i tabel 3.

### Kuldetab

Specielt kuldetabet gennem sprækker og døråbninger kan forårsage øget elforbrug til køleanlægget. Et lodret sprække giver større tab end en vandret sprække, og den helt åbne dør eller port forårsager et meget stort tab. Tabel 4 viser det øgede elforbrug ved sprækker.

Tabel 4 Øget elforbrug til køleanlæg i Watt

Åbning	Kølerum	Frostrum
Sprække 2 cm bred x 200 cm høj	230	520
Sprække 200 cm bred x 2 cm høj	7	40
Åben dør på 100 x 200 cm	3.800	26.000

Tabel 3 Oversigt over besparelsesmuligheder for køleanlæg

Emner til optimering af køleanlæg	Typisk besparelse
<b>Reducer behovet for køling</b>	
Forbedre køleisolering	
Undgå utætheder i døråbninger	10 - 50%
Benyt frikøling (køling vha. udetemperatur)	
Reducer varmebelastning fra maskiner og belysning	
<b>Hæv fordampertemperatur</b>	
Hæv køletemperaturen for det kølede emne	
Undgå rim og tilsmudsning af fordamper	
Overgå til adaptive fordamperventiler	2 - 3% pr. grad
Forøg fordamperarealet	
Reducer tryktabet i rør	
Reducer reguleringsbåndet for fordampertemperaturen	
<b>Sænk kondensatortemperatur</b>	
Reducer kondensatortrykket	
Renhold kondensatoren	
Forøg kondensatorarealet	2 - 5% pr. grad
Reducer reguleringsbåndet for kondensatortemperaturen	
Elektroniske fordamperventiler muliggør lavere kondensatortemperatur	
<b>Forøg kompressorvirkningsgraden</b>	
Undgå dellastkørsel (specielt på skruekompressorer)	
Parallelkobling af flere kompressorer	10 - 20%
Frekvensregulering af kompressor	
Udskift slidte kompressorer	
<b>Varmegenvinding</b>	
Påbyg overhedningsfjerner før kondensatoren	10 - 20%
Placer kondensator i bygning for rumvarme	50%

## Frikøling

Frikøling betyder, at der hentes gratis køling fra omgivelserne, udeluften, sø- eller havvand, eller grundvandet. Frikølingen forudsætter, at køletemperaturen er højere end temperaturen af frikølings-mediet.

Ved fx EDB-køling er temperaturkravet 22°C. Her vil udeluften en stor del af året kunne klare kølebehovet. Ved køling af hydraulikolie på plaststøbemasiner er temperaturkravet måske 60°C. Her vil frikøling via udeluft i en tørkøler kunne klare kølebehovet hele året.

Hvis der anvendes frikøling fra sø- hav- eller grundvand, kan en større del af kølebehovet dækkes, ligesom et køletårn er mere effektivt end en tørkøler.

## Varmegenvinding

Varmegenvinding kan foretages på køleanlæg ved at udnytte kondensatorvarmen. De højeste temperaturer (60-80°C) opnås ved at indsætte en overhedningsfjerner efter kompressorerne, hvorved en mindre del af kondensatorvarmen (10-20%) kan udnyttes. Overhedningsfjernerne benyttes ofte til opvarmning af brugsvand eller til centralvarme.

Der kan opnås en større varmegenvinding ved at udnytte hele kondensatorvarmen, men her falder temperaturen på den genvundne varme til kondenseringstemperaturen (typisk 25-30°C). Denne varme udnyttes typisk til direkte rumopvarmning via luftindblæsning eller til forvarmning af varmt brugsvand.

## Eksempler på optimering af køleanlæg

De fem eksempler illustrerer forskellige muligheder for at spare på elforbruget i forbindelse med køling.

### Eksempel 1

Et supermarked har 4 stk. 9 meter lange kølegondoler og 4 stk. 9 meter lange frostgondoler. Hertil kommer kølereoler, mælkefront, køle- og frostrum,

samt et grøntsagsrum. Det samlede elforbrug til køleanlægget er 200.000 kWh/år.

Køle- og frostgondolerne er åbne, men de overdækkes uden for åbningstiden. Uddeleren beslutter at montere døgnoverdækningslåg på køle- og frostgondolerne. Lågene er permanent på gondolerne, og de skal skydes til side, når kunderne skal hente varer i gondolerne. Der bliver samtidig med opsætning af lågene opsat måleudstyr på køleanlægget.

Der opnås en el-besparelse som følge af færre afrimninger og mindre varmeindstrømning til gondolerne. Afrimningen virker dobbelt, da der dels bruges mindre el til varmelegemerne, men også mindre el til kompressorerne for at fjerne den udviklede varme fra elvarmestavene.

- Efterfølgende målinger viser en elbesparelse på 22% af det samlede elforbrug til supermarkedets køleanlæg. Lågene er tilbagebetalt med energibesparelsen på ca. 4 år.

### Eksempel 2

I et fryserum på et svineslagteri er der installeret 65 stk. 75 Watt glødelamper. Lamperne er tændt ca. 2.800 timer/år, og det årlige elforbrug til belysningsanlægget kan beregnes til 13.650 kWh/år. Hertil kommer elforbrug til køleanlægget for at fjerne den udviklede varme fra belysningsanlægget. Med en COP på 2,0 for frostanlægget kan dette forbrug opgøres til 6.325 kWh/år, og det samlede elforbrug for belysning plus køling til 19.975 kWh/år.

- Belysningsanlægget ombygges til sparepærer, der kun bruger 1/5 elektricitet i forhold til glødelamperne. Den samlede besparelse opgøres til 15.980 kWh/år, og udskiftningen er tilbagebetalt på 0,7 år.

### Eksempel 3

En plastfabrik har et køleanlæg til brine, som køler sprøjtstøbemasinernes støbeforme og hydraulikolie. Anlægget har et køleeffekt på ca. 150 kW og en årlig driftstid på 7.000 timer/år. Anlæggets elforbrug er 300.000 kWh/år og COP kan beregnes til ca. 3,5.

Køleanlægget nedkøler brinen via en pladevarmeveksler fra 16°C til 10°C. En undersøgelse af muligheden for at udnytte frikøling vha. et køletårn viser,

at anlægget kan ombygges, så den varme kreds efter varmeveksleren først ledes igennem køletårnet, før den ledes til køleanlægget. Hermed vil køletårnet kunne hjælpe i ca. 6.400 timer af året.

- Køletårnet vil kunne reducere det årlige elforbrug til køleanlægget med 158.000 kWh eller 53% af det hidtidige forbrug. Investeringen kan forrentes inden for 2,4 år.

#### Eksempel 4

Et slagteri har et ammoniak køleanlæg til nedkøling i køletunneler og kølerum. Anlægget har et elforbrug på 4,6 mio. kWh/år. Under gennemgangen af anlægget viser det sig, at kondensatortemperaturen på anlægget holdes konstant på +30°C uanset udetemperaturen.

- Der er tale om fordampningskondensatorer. Det foreslås slagteriet at sænke kondensatortemperaturen til +25°C i vinterhalvåret. Tiltaget er ikke forbundet med investering. Den årlige besparelse for kompressorerne fratrukket øget elforbrug til blæsere og pumper på fordampningskondensatorerne kan beregnes til 250.000 kWh.

#### Eksempel 5

I et større supermarked udgør elforbrug til køleanlæg 36% af det samlede elforbrug, svarende til 260.000 kWh/år. Under gennemgang af supermarkedet konstateres, at der samtidig er et højt varme-forbrug til opvarmning af brugsvand, blandt andet til rengøring hos slagter, bager og cafeteria.

Det anbefales derfor at installere varmegenvinding på køleanlægget. Varmegenvindingen kan foretages ved at indsætte en overhedningsfjerner mellem kompressorer og kondensator. I overhedningsfjerner kan der hentes varmt vand af 60°C, som kan opsamles i en varmtvandstank til senere forbrug.

- Varmebesparelsen kan opgøres til 75.000 kWh/år, og forrentningen af varmegenvindingsanlægget beregnes til 3 år.

#### Gode råd

- Reducer behovet for køling
- Udnyt frikøling hele året – eller en del af året, når det er muligt
- Hæv om muligt fordampertemperaturen
- Sænk om muligt kondensatortemperaturen, evt. alene i vinterhalvåret
- Renhold fordampere og kondensatorer
- Stempelkompressorer bør ikke køre under 50% last, skruekompressorer ikke under 60%
- Stil følgende krav til maskinleverandører ved nyindkøb:
  - Fordampertemperaturen bør højst ligge 8°C under lufttemperaturer eller 5°C under væsketemperaturen
  - Kondensatortemperaturen bør højst ligge 8°C over udelufttemperaturen ved luftkølede kondensatorer og 5°C for vandkølede kondensatorer
  - Lavt tryktab i sugegasrør, 2°C pr. 10 meter rør. 3°C i alt for anlæg med pumpecirkulation
  - God regulering af kompressorer, undgå dellastkørsel
  - Adaptive fordamperventiler
  - Frikøling, hvis det er muligt
  - Manometre, termometre og elmålere for driftstilstand og energikontrol

#### Kilder og yderligere oplysninger

- *Håndbog i Energirådgivning, køling.* DEFU, 1999
- *Vejledning og EDB-værktøjer for energibevidst projektering af proceskøleanlæg.* FRI, 2001
- *Projekteringsvejledning og beregningsprogram for køleinstallationer til luftkølede køle- og frostrum.* FRI, 2000
- [www.energievidst.dk](http://www.energievidst.dk)