

■ [www.sintef.no](http://www.sintef.no) ■

**SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim  
Resepsjon: Sem Sælands vei 11  
Telefon: 73 59 72 00  
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:  
NO 939 350 675 MVA

**TEKNISK RAPPORT**

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Luft/luft-varmepumper**

- Teknologisk status
- Erfaringer i Norge

SAKSBEARBEIDER(E)

Arne Jakobsen og Jørn Stene

OPPDRAGSGIVER(E)

Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE)

TR NR.	DATO	OPPDRAGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TR A5918	2003-12-23	Birger Bergesen	16X419.01
ELEKTRONISK ARKIVKODE	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING	
031126AJ14106	Rune Aarlien	Åpen	
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG      SIDER
82-594-2601-3	Åpen	Inge R. Gran	1              30
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Klima- og Kuldeteknikk	Kolbjørn hejes vei 1D	73 59 39 50	

**RESULTAT (sammendrag)**

De fleste luft/luft-varmepumpene som leveres i Norge er split-units med en 4-7 kW varmeytelse, og de vanligste arbeidsmediene er R407C, R410A og R22. Aggregatene påfylt R410A har den høyeste prisen, men pga. gunstige medieegenskaper og mer avansert design oppnår de inntil 25% høyere varmefaktor enn anlegg med R22. R22-anleggene oppnår på sin side høyere varmefaktor enn R407C-anleggene. De viktigste teknologiske nyvinningene de senere årene omfatter først og fremst overgang til DC-motorer (Digitally Controlled) med inverterstyring, nyutviklede kompressorer og mer avansert varmevekslerdesign.

Målinger i regi av Eurovent viser at varmefaktoren for 608 luft/luft-varmepumper ved +7°C utelufttemperatur og 20°C innelufttemperatur varierer fra 1,7 til 4,5. Det er med andre ord betydelige kvalitetsforskjeller for aggregatene. Målingene viser dessuten at støynivået for ute- og inneenhetene ligger vesentlig over de oppgitte verdiene fra leverandørene.

Påriming og nødvendig avriming av ute-varmeveksleren har relativt stor innvirkning på luft/luft-varmepumpenes energieffektivitet. Undersøkelser viser at regelmessig avriming vil kunne redusere varmefaktoren for anlegget med typisk 10 til 15% (klima- og driftsavhengig).

Varmefaktoren for en luft/luft-varmepumpe er avhengig av turtallet på kompressoren, og den kan øke med inntil 40% når turtallet reduseres fra 100 til 50%. For en gitt bolig vil derfor en varmepumpe med høyere nominell varmeytelse generelt sett oppnå høyere varmefaktor på grunn av mer kjøring på dellast.

Negative erfaringer med luft/luft-varmepumper hos norske brukere skyldes lavere energisparing enn forventet, lavere varmeytelse enn forventet ved lave utetemperaturer, ulike problemer grunnet ukvalifisert installasjon, støy og vibrasjon fra ute-/inneenhet, kompressorhavari og korrosjon på utevarmeveksleren.

Dagens teststandard for luft/luft-varmepumper (EN 255-2) fra 1997 er relativt mangelfull, og mangler blant annet tester ved dellast, tester ved ulike luftfuktigheter og tester ved lave utetemperaturer. Standarden har dessuten for romslige krav med hensyn til temperaturkontroll under forsøk som inkluderer avriming og det er manglende spesifisering av kompressorturtallet under testing.

**STIKKORD**

EGENVALGTE	Luft/luft-varmepumper	Praktiske erfaringer
	Teknologisk status	Mangler ved testing av anlegg

## INNHALDSFORTEGNELSE

		Side
1	INNLEDNING .....	3
2	MARKEDSUTVIKLINGEN I NORGE .....	3
3	TEKNOLOGISK STATUS .....	3
3.1	HOVEDKOMPONENTER – YTRE DESIGN .....	3
3.2	ARBEIDSMEDIER .....	5
3.3	KOMPONENT-UTFORMING .....	6
3.3.1	Kompressorer .....	7
3.3.2	Varmevekslere .....	10
3.4	YTELSE .....	13
3.4.1	Varmefaktorer .....	13
3.4.2	Energiklassifisering .....	16
3.4.3	Varmeytelse .....	17
3.5	PÅRIMING OG AVRIMING .....	17
3.6	VIFTER OG STØY .....	19
3.7	KORT OPPSUMMERING AV KAPITTEL 3 .....	20
4	ERFARINGER MED DAGENS LUFT/LUFT-VARMEPUMPER .....	21
4.1	ENERGISPARING .....	21
4.2	TYPISKE PROBLEMOMRÅDER .....	23
5	KRAV OG MANGLENDE KRAV TIL TESTING .....	25
6	LUFT/LUFT-VARMEPUMPER OG INNEKLIMA .....	27
7	REFERANSELISTE .....	28

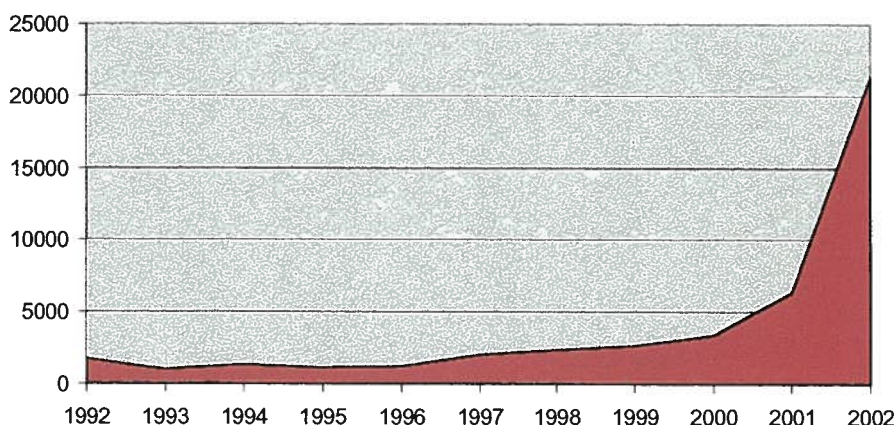
## 1 INNLEDNING

Luft/luft-varmepumper har vært i bruk i Norge i flere tiår. Kvaliteten på varmepumpene har variert opp gjennom årene. Mange har påpekt at de ikke er laget for norske forhold og har for mange driftsproblemer. Den reelle energisparingen ved bruk av luft/luft-varmepumper er derfor omdiskutert.

Denne rapporten tar for seg den teknologiske utviklingen av luft/luft-varmepumper de siste årene, hvor komponentutforming og ytelser er satt i fokus. Videre er praktiske erfaringer med luft/luft-varmepumper i Norge presentert og diskutert.

## 2 MARKEDSUTVIKLINGEN I NORGE

I de siste par årene har salget av luft/luft-varmepumper økt kraftig. Figur 2.1 viser statistikken for totalt antall solgte varmepumper hvert år i Norge de siste 10 årene. Statistikken er utarbeidet av Norsk Varmepumpeforening (NOVAP). Luft/luft-varmepumper utgjorde i 2002 ca. 90% av salget og 75% i 2001. Tidligere år utgjorde de en mindre del av totalen, fra 40 til 60%. NOVAP antyder at salget for 2003 vil ligge mellom 35.000 og 40.000 solgte enheter. Det er grunn til å tro at denne markante økningen i høy grad skyldes OEDs innføring av økonomisk støtte ved kjøp av luft/luft-varmepumpe (Strakstiltakordningen).



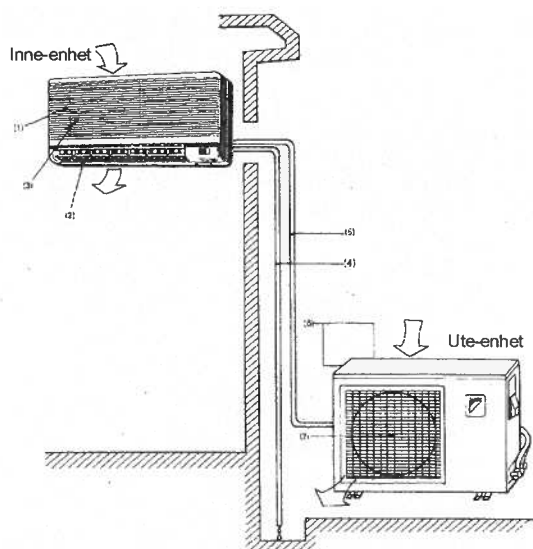
Figur 2.1 Årlig salg av varmepumper i Norge i perioden fra 1992 til 2002.

## 3 TEKNOLOGISK STATUS

### 3.1 HOVEDKOMPONENTER – YTRE DESIGN

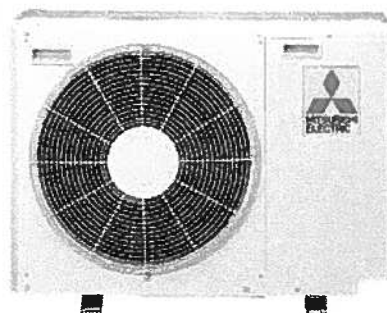
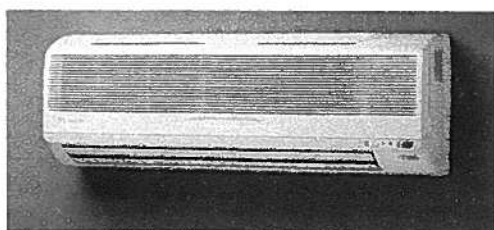
Luft/luft-varmepumper leveres normalt som såkalte split-anlegg, det vil si at ute-enheten (fordamper, vifte, kompressor, strupeventil m.m.) er adskilt fra inne-enheten (kondensator, trinnløs vifte og filter), og monteres sammen med hurtigkoblinger når anlegget installeres i boligen. Avstanden mellom inne-enheten og ute-enheten vil typisk være 5 til 10 meter. Om

sommeren, når det er behov for kjøling, kan varmepumpen reverseres og drives som et kjøle-anlegg. Varmerveksleren inne i huset fungerer da som anleggets fordampner, mens utevarmerveksleren blir anleggets kondensator. Av denne grunn kalles ofte luft/luft-varmepumper for komfortvarmepumper. Figur 3.1 viser en skisse av en luft/luft-varmepumpe (split-anlegg).



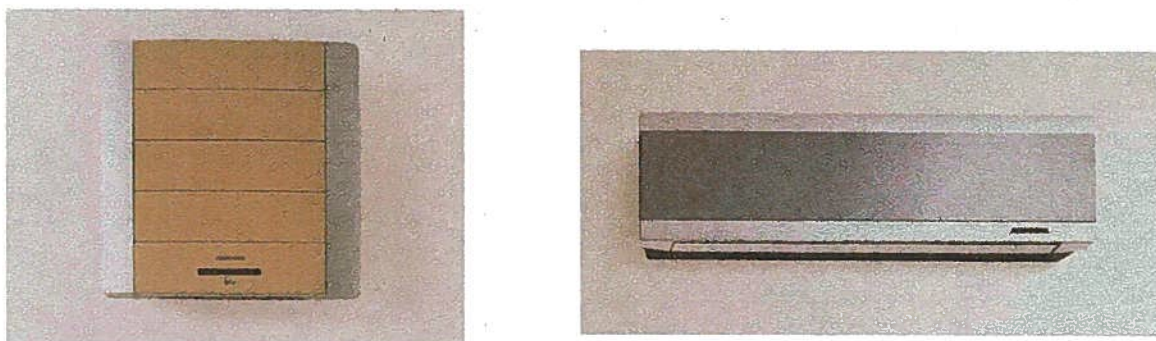
*Figur 3.1 Luft/luft-varmepumpe for enebolig (split-anlegg).*

De aller fleste luft/luft-varmepumper som selges i Norge produseres i Øst-Asia. Det ytre designet av disse har ikke endret seg vesentlig de senere årene, se figur 3.2. Alle produsenter leverer veggmonterte inne-enheter, og mange leverer også gulvmonterte enheter. Gulvmonterte inne-enheter har som oftest større varmevekslerflate, og medvirker derfor til bedre varmefaktor for anleggene. Mange produsenter tilbyr også "multi-split" systemer, som betyr at to eller flere inne-enheter benyttes for å distribuere varmen.



*Figur 3.2 Typisk design av inne- og ute-enhet for dagens luft/luft-varmepumper.*

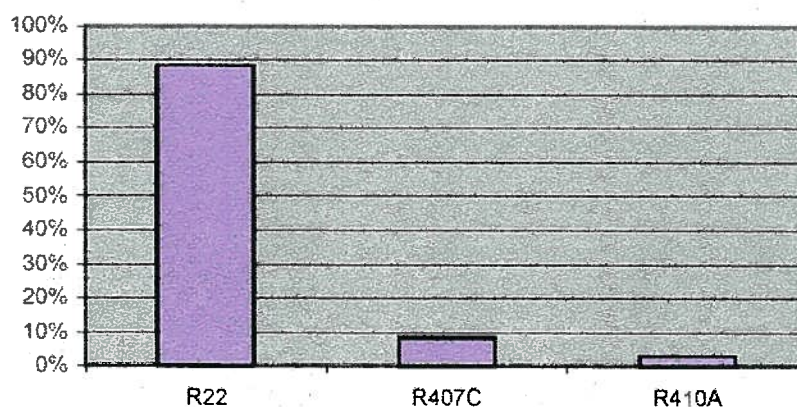
Enkelte produsenter har imidlertid begynt å tenke annerledes når det gjelder utforming av inne-enheterne, noe figur 3.3 viser et eksempel på.



Figur 3.3 Fornyet utforming av inne-enheter fra varmepumpeprodusenten LG.

### 3.2 ARBEIDSMEDIER

De vanligste arbeidsmediene i luft/luft-varmepumper som selges i Norge i dag er *R407C* og *R410A*. Siden det ennå ikke er forbud mot *R22*, leveres det også varmepumper med dette mediet i Norge, men de er på vei ut. I verdenssammenheng er bildet annerledes. I følge *Eurovent*, som har testet 608 reversible air-conditioning-anlegg, har nesten 90% *R22* som arbeidsmedium (Nowacki, 2002). Årsaken til den høye andelen av *R22* er at varmepumper med *R410A* er dyrere enn de med *R22*. De økte kostnadene skyldes at *R410A*-varmepumpene er laget med tanke på høy energi-effektivitet, og inneholder raffinerte forbedringer. Enkelte luft/luft-varmepumper leveres også med propan (*R290*) som arbeidsmedium, men disse selges ikke i Norge.



Figur 3.4 Arbeidsmedier i 608 Eurovent-testede varmepumper (Nowacki, 2002).

#### Miljøegenskaper

*R22*, *R407C* og *R410A* har et relativt høyt drivhuspotensiale (høy GWP-verdi). I tillegg har *R22* en ozon-nedbrytende effekt (ODP-verdi > 0). GWP- og ODP-verdiene for de nevnte arbeidsmediene er vist i tabell 3.1 på neste side.



Tabell 3.1 Miljøegenskaper for R410A, R407C og R22.

Arbeidsmedium	GWP	ODP
R22	1700	0,05
R407C	1530	0
R410A	1725	0

### Fysiske og termofysiske egenskaper

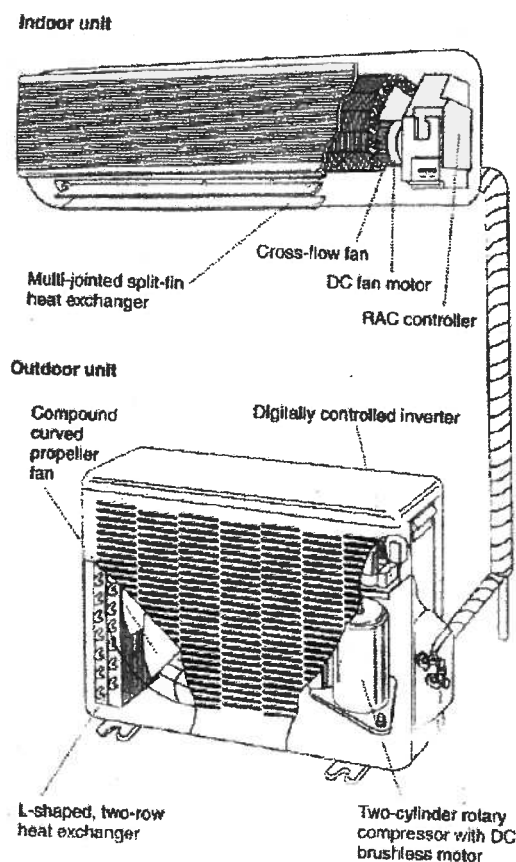
Tabell 3.2 gir en oversikt over viktige fysiske og termofysiske egenskaper for R407, R410A og R22. Mens anlegg med R22 og R40C dimensjoneres for 25 bars trykkklasse, utformes R410A-anleggene for 35 bar. I tillegg til høyere trykknivå har R410A lavere normalkokepunkt og tettheten er høyere, noe som gir muligheter for mer kompakte komponenter. Den volumetriske kuldeytelsen er også høyere enn for R22 og R407C. R410A opprettholder dermed kuldeytelsen bedre ved lave utelufttemperaturer enn de andre mediene. Dette gjør mediet bedre egnet for varmepumpedrift i kaldt klima.

Tabell 3.2 Viktige egenskaper for R407C, R410A og R22. (Stene, 1998).

Egenskaper	R407C	R410A	R22
Molmasse [kg/kmol]	86,20	72,59	86,48
Normalkokepunkt, NBP [°C]	-43,8	-51,6	-40,8
Metningstrykk ved -30°C [bar]	1,88	2,71	1,64
Metningstrykk ved +50°C [bar]	22,10	30,61	19,4
Metningstemperatur ved 25 bar [°C]	57,5	41,4	61,4
Volumetrisk kuldeytelse ved -30°C [kJ/m <sup>3</sup> ]	1450	2678	1674
Volumetrisk kuldeytelse ved 0°C [kJ/m <sup>3</sup> ]	4115	6737	4354
Væsketetthet ved -30°C [kg/m <sup>3</sup> ]	1339	1281	1377
Væsketetthet ved +50°C [kg/m <sup>3</sup> ]	1014	912	1082
Dampetetthet ved -30°C [kg/m <sup>3</sup> ]	6,2	10,6	7,4
Dampetetthet ved +50°C [kg/m <sup>3</sup> ]	91,1	140,0	86,0

### 3.3 KOMPONENT-UTFORMING

Innmaten i dagens luft/luft-varmepumper har endret seg en god del de siste årene. Det som har fått størst oppmerksomhet er at kompressoren har blitt inverterstyrt (dvs. frekvensregulert motor med variabelt turtall). Men også vifter og varmevekslerdesign har hatt en betydelig utvikling.



Figur 3.5 Typisk utforming av en luft/luft-varmepumpe (Nowacki, 2002).

### 3.3.1 Kompressorer

På 80-tallet ble inverterstyrte klimaanlegg introdusert i Japan, og disse har i de siste årene vunnet frem også i Norge og blitt de mest solgte. Nesten 90% av alle produserte luft/luft-varmepumper i Japan har inverter (Sakamoto, 2001). Under Strakstiltakordningen ga ENOVA for øvrig kun støtte til luft/luft-varmepumper som hadde inverterstyring av kompressoren.

Tidligere var så og si alle kompressorene i luft/luft-varmepumper produsert med tradisjonelle vekselstrømsmotorer (AC) for på/av drift. Både stator og rotor var laget med kobberviklinger. Ved å anvende permanentmagneter i rotoren, kan de elektriske tapene reduseres betydelig og motorvirkningsgraden forbedres. Utfordringen med å anvende permanentmagneter er at rotorposisjonen til en hver tid må være kjent for å kunne tilføre den korrekte strømpulsen. Derfor må disse motorene ha et kontrollsystem for rotorposisjonen. Dette er digitalt, og motorene kalles ofte DC-motorer (Digital Controlled). De elektriske motorene er altså fortsatt AC-motorer og må ikke forveksles med "likestrøms motorer", som også betegnes DC-motorer.



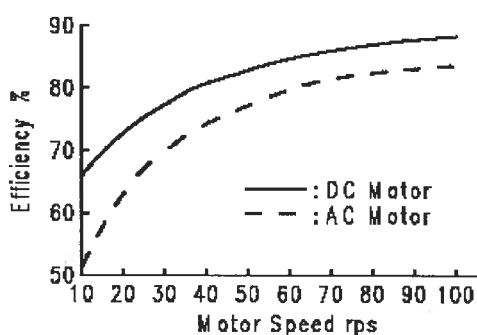
Allerede tidlig på 80-tallet var det klart at varmepumper med inverterstyrte kompressorer ga bedre energieffektivitet (Sakamoto, 2001). Likevel slo det ikke igjennom, bl.a. fordi det var for kostbart. Qureshi & Tassou (1995) peker på følgende årsaker til at invertere brukes i stor målestokk i dag:

- Prisen for komponentene har gått ned
- De lages betydelig mer kompakte enn tidligere
- Komponentkvaliteten har økt
- Påliteligheten er forbedret

Det er to hovedtyper av invertere som har vært brukt i luft/luft-varmepumper. Det er *PWM* – Puls Breddemodulering og *PAM* – Puls Amplitudemodulering. PWM varierer lengden på strømpulsene, men alle har samme spenning. PAM varierer spenningen, men sender strømpulser med samme lengde. PAM inverterne er mer effektive fordi de har mindre av/på tap og fordi styringen kan lages mer effektiv. I dag benyttes PAM alene eller i kombinasjon med PWM (Sakamoto 2001). Begge typer invertere kan imidlertid lage støy på strømnettet lokalt (Nowacki 2002) og (Danfoss).

### Bedre motorvirkningsgrad

Figur 3.6 viser motorvirkningsgraden for tradisjonelle kopperviklede AC-motorer og for permanentmagnetmotorer (DC-motorer). Resultatene viser at DC-motorene har vesentlig bedre virkningsgrad enn AC-motorene. Ved høy kompressorytelse er forskjellen ca. 5 til 8%, mens forskjellen er mellom 9 og 18% ved lavere ytelse. Begge motortypene har dårligere virkningsgrad ved delast, men virkningsgraden for DC-motoren reduseres ikke like mye som for AC-motoren.



Sakamoto (2001)

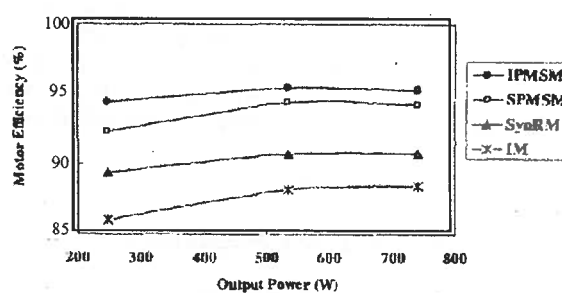


Fig. 8. Motor efficiencies at 4000r/min.

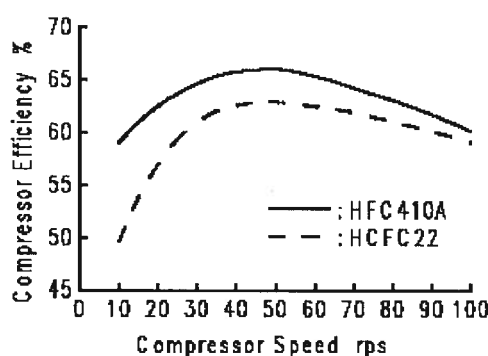
Murakami et al (1999)

IM: AC-motor, IPMSM: Intern permanentmagnet, SPMSM: Overflate permanentmagnet, SynRM: Reluktansmotor

Figur 3.6 Motorvirkningsgrader for kompressorer til luft/luft-varmepumper.

### Bedre kompressorvirkningsgrad

Forbedret motorvirkningsgrad gir forbedret totalvirkningsgrad for kompressoren (hermtiske kompressorer), slik at varmekraften (COP) for luft/luft-varmepumpen øker. Ved innføringen av R410A, måtte kompressorene gjennomgå en betydelig mekanisk utvikling for å tilpasse seg andre medieegenskaper. R410A har høyere arbeidstrykk og dermed høyere tetthet. Sakamoto (2001) rapporterer at R410A-kompressorene oppnår høyere kompressorvirkningsgrader enn R22, se figur 3.7. Dette skyldes en kombinasjon av en optimalisert mekanisk design og bedre medieegenskaper for R410A. Et høyere trykk vil blant annet gi lavere ventiltap i kompressoren. Utblåsningen skjer dessuten over en lengre del av kompresjonssyklusen, noe som er gunstig.



Figur 3.7 Kompressorvirkningsgrader for R410A og R22 som funksjon av turtall.

Figur 3.7 viser at forskjellen i kompressorvirkningsgraden mellom R22 og R410A er avhengig av turtallet for kompressoren. Ved lavt turtall er virkningsgraden ca. 10% bedre, som er betydelig. Dette gir kompressorer med R410A bedre delastegenskaper.

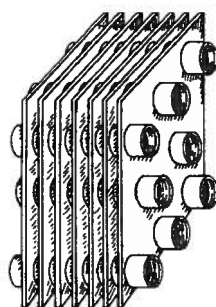
Innføringen av inverterstyrte kompressorer har gitt designmessige konsekvenser i følge Qureshi & Tassou (1995):

- Oljereturen til kompressoren må sikres også ved lave turtall. Lav mediehastighet i rør og varmevekslere kan medføre for dårlig oljeretur, som igjen vil påvirke ytelsen, øke slitasjen og eventuelt redusere levetiden på kompressoren
- Kompressorens innmontering må forbedres. Det kan oppstå resonans over et stort spekter av frekvenser enn for en kompressor med fast turtall. Resonans må unngås på grunn av støy.
- Kompressorventilene må tilpasses store variasjoner i massestrøm. Normalt er de optimalisert for 60Hz.

Observasjoner tyder på at reguleringssystemet til inverterstyrte luft/luft-varmepumper øker turtallet på kompressoren kraftig med jevne mellomrom for å sikre oljeretur til kompressoren ved lave ytelser.

### 3.3.2 Varmervekslere

De konvensjonelle varmervekslerne i luft/luft-varmerpumper er av "rør-lamell" typen, se figur 3.8. Ettersom rørene er glatte utvendig og innvendig og lamellene er glatte, er varmervekslerne billige å produsere. En annen viktig faktor er at disse varmervekslerne lett kan drenere vann, enten i form av smeltet rim eller i form av kondensert vann ved air-conditioning drift. Et aspekt som er viktig for norske forhold, er lamellavstanden på utevarmerveksleren. Hvis lamellavstanden er lav, vil selv tynne rimlag blokkere luftstrømmen relativt raskt. Det betyr hyppige avriminger og redusert varmerfaktor for varmerpumpen.



Figur 3.8 Rør/lamell-varmerveksler (Webb, 1994).

#### Forbedret varmeovergang på luftsiden

Den høyeste varmeovergangsmotstanden befinner seg på luftsiden, slik at det største forbedringspotensialet ligger i å øke varmeovergangen for lufta. Felles for de vanligste forbedringsmetodene er å endre geometrien til lamellene. Varmeovergangen øker betydelig, uten at produksjonskostnaden øker vesentlig. Tabell 3.3 viser noen vanlige eksempler på lamellgeometrier og deres tilhørende økning i varmeovergang i forhold til glatte lameller.

Tabell 3.3 Ulike lamellgeometrier og deres potensial for økt varmeovergang (Webb, 1994).

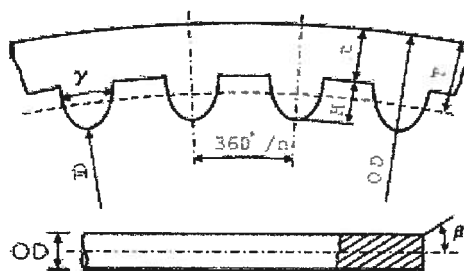
Type	"Wavy Fin"	"Offset Slit Fin"	"Louvered Fin"
Forbedret varmeovergang i forhold til glatte lameller	50 – 70 %	70 – 100 %	100 – 140 %

Choi et al. (2003) rapporterer at "Slit fin" er vanlig i bruk i luft/luft-varmerpumper. Imidlertid oppgir Webb (1994) at Hitachi benytter "Louvered Fins", og ved observasjon av en Daikin varmerpumpe, er det klart at Daikin benytter "Wavy Fins" på utevarmerveksleren.

Lozza & Merlo (2001) utførte et stort studie av 15 forskjellige lamellgeometrier. De konkluderte med at "Louvered Fins" er best. En annen konklusjon var at forbedret lamellgeometri gir best effekt ved høye lufthastigheter og når varmevekslerne ikke er for dype. Dette er tilfellet for ute-varmevekslerne i luft/luft-varmepumper.

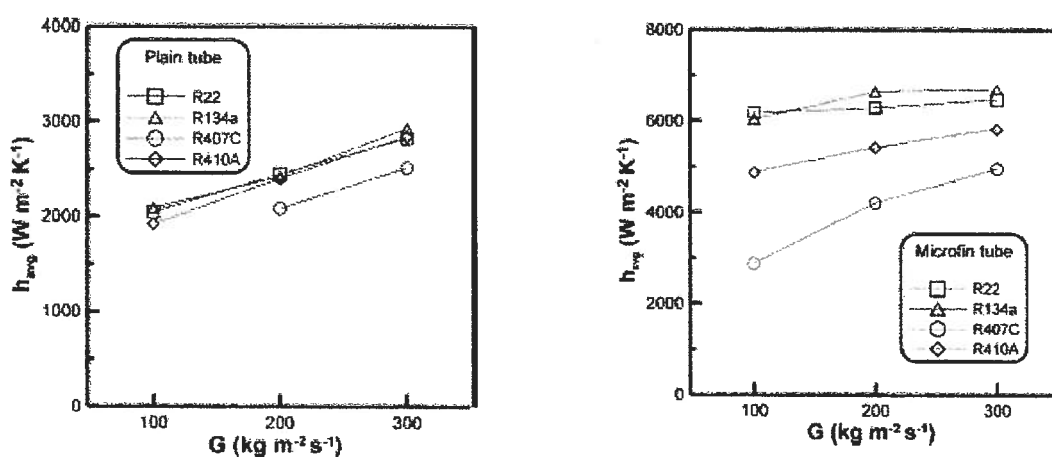
### Forbedret varmeovergang i rør

Som nevnt tidligere er det tradisjonelt brukt glatte rør til rør-lamell varmevekslere. I de senere år har det imidlertid foregått en utvikling i retning av å benytte innvendig rillede rør for å øke arealet og forbedre varmeovergangen. I følge Sakamoto (2001) og Choi et al. (2003), er denne rørtypen nå vanlig brukt i luft/luft-varmepumper. Figur 3.9 viser detaljer på et rør med innvendige mikroriller. Rillene, som er vridd som spiraler gjennom røret, markert med vinkel B i figuren. Arealet øker med ca 50% i forhold til glatte rør (Passos et al., 2003).



Figur 3.9 Detaljer på et rør med mikroriller (Jung et al., 2003).

Figur 3.10 viser resultatene av eksperimentelle målinger av varmeovergangskoeffisienter ved kondensering av R22, R134a, R410A og R407C i glatte og rillede rør, (Jung et al., 2003).



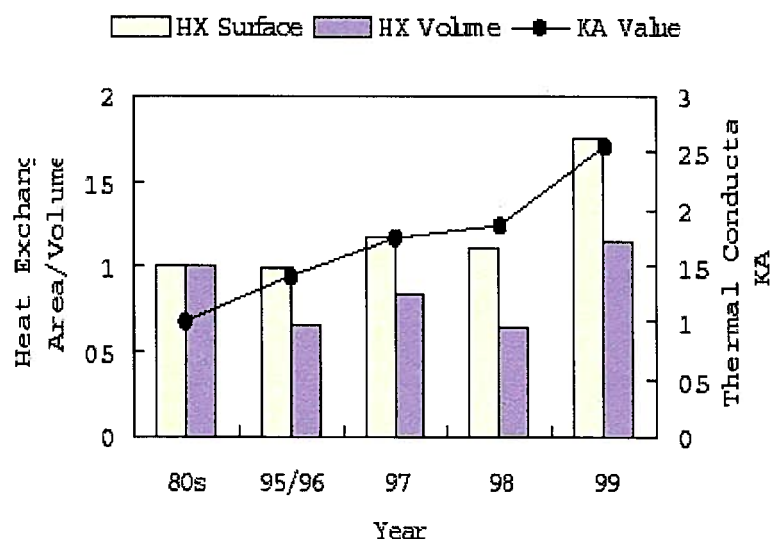
Figur 3.10 Varmeovergangskoeffisienter ved kondensering av R22, R134a, R410A og R407C i glatte og rillede rør som funksjon av massehastigheten (Jung et al., 2003).

Varmeovergangen øker med 150 til 200 % for R22 og R134a. R410A har også signifikant økning, mens økningen for R407C ikke er like stor. Også ved glatte rør har R407C dårligere varmeovergang. Dette medfører at varmevekslere i systemer med R407C ikke kan lages like kompakte som for andre arbeidsmedier, eller anleggene opererer med dårligere varmefaktor. Forfatterne påpeker imidlertid at dette kan endres ved å optimalisere rillene i rørene, men R407C har uansett dårligere termofysiske egenskaper som gjør det vanskelig å oppnå like god varmeovergang.

Eksperimentelle resultater for R407C og R410A viser at også ved fordampning øker varmeovergangskoeffisienten signifikant ved bruk av rillede rør. Kim et al. (2002) rapporterer at varmeovergangen ved fordampning øker med 10 til 160% for R410A.

En annen utvikling for R410A er at rørene i varmevekslerne har mindre diametre enn det som var vanlig tidligere. Mindre rørdiameter øker varmeovergangen betydelig, men fører også til økt trykktap. R410A er imidlertid ikke så følsom for trykktap som andre arbeidsmedier fordi tryknivået er høyere. Effekten av mikroriller på varmeovergangen er for øvrig mindre når rørdiameteren reduseres (Kim et al. 2002)

Figur 3.11 oppsummerer utviklingen av varmevekslerne brukt i luft/luft-varmepumper (Sakamoto, 2001). Fysisk volum av varmevekslerne ligger i dag på omtrent samme nivå som i 80-årene, men varmevekslerflaten har økt med ca. 75%. KA-verdien (UA-verdien), som reflekterer hvor effektiv varmeveksleren er, har steget med 150%. Det viser at denne typen varmevekslere har gjennomgått en betydelig utvikling siden 80-tallet.



Figur 3.11 Størrelse (volum) og effektivitet (KA-verdi) for varmevekslere brukt i luft/luft-varmepumper (Sakamoto, 2001).

Som en konsekvens av mer effektive varmevekslere, kan i prinsippet fordampningstemperaturen heves og kondenseringstemperaturen senkes (hvis ikke varmevekslerflatene reduseres), og en kan oppnå høyere varmefaktor. En viktig begrensning påvirker imidlertid dette. Sirkulert luftmengde

gjennom inne-enheten kan ikke bli for høy, ettersom trekk og dårlig termisk komfort må unngås. For å avgi en gitt varmytelse, må derfor luften varmes opp til en relativt høy temperatur i stedet for at det blåses mer luft igjennom varmeveksleren. Det betyr igjen at kondenseringstemperaturen må ligge over det reelle temperaturkravet, og det hjelper derfor lite å lage en stor og effektiv varmeveksler til inne-enheten.

Ved oppmåling av varmevekslerne til en luft/luft-varmepumpe, viser det seg at innevarmeveksleren har ca  $5 \text{ m}^2$  varmevekslerflate (veggmontert modell), mens utevarmeveksleren har ca  $15 \text{ m}^2$ . Ved varmepumpedrift vil derfor midlere temperaturforskjell (LMTD) mellom luft og arbeidsmedium i utevarmeveksleren være lav, mens den i innevarmeveksleren vil være høy. Dette faktum gjør at varmfaktoren begrenses. Samme produsent oppgir at luftstrømmen gjennom en gulvmontert inne-enhet er høyere enn for en veggmontert. De oppgir også at denne inne-enheten gir høyere varmfaktor. Det stemmer godt overens med resonnementet over.

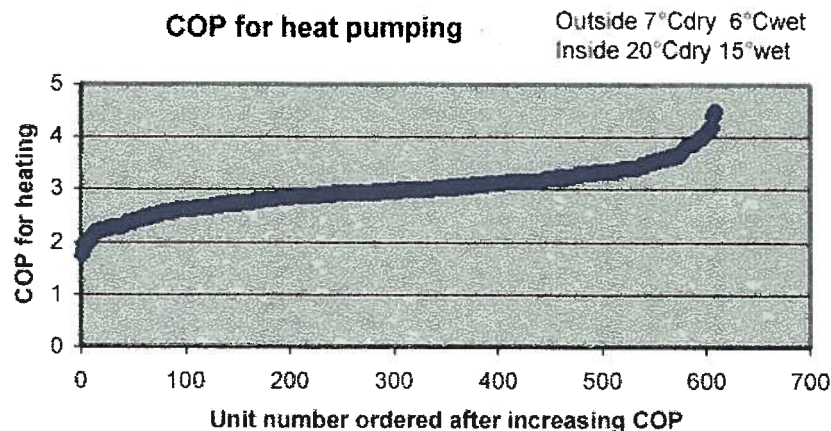
Utevarmeveksleren er normalt L-formet, mens innevarmeveksleren ofte er produsert i flere deler som er seriekoblet. Dette muliggjør at et element kan fungere som underkjøler. Hvis så inntreffer, vil det øke effektiviteten til varmepumpen.

### 3.4 YTELSE

Det er ikke er publisert særlig mange data i vitenskapelige tidsskrifter vedrørende målinger av varmeytelse og varmfaktorer for luft/luft-varmepumper. Imidlertid er svært mange varmepumper testet i regi av *Eurovent*, som er et sertifiseringsprogram. Resultatene av disse testene finnes tilgjengelig, og testresultatene for 2001 er bearbeidet av Nowacki (2002). *Promotelec*, som er et fransk test-institutt, har også testdata tilgjengelig på deres hjemmeside. Disse er imidlertid kun tilgjengelig i pdf-format og er derfor vanskelig å bearbeide.

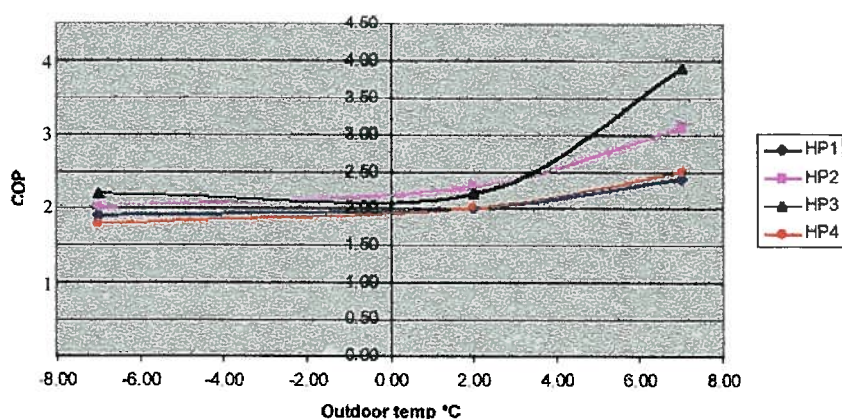
#### 3.4.1 Varmefaktorer

Måledataene i figur 3.12 på neste side representerer 608 varmepumper testet i regi av Eurovent. Kun varmepumper med varmekapasitet opp til 6.5 kW er inkludert. Varmepumpene kan være "Split units" som er vanlig i Norge, men det kan også være såkalte "packaged units". Disse leveres komplette i en enhet. Ved montering må hull på størrelse med enheten lages i veggen.



Figur 3.12 Varmefaktor for 608 varmepumper testet ved Eurovent (Nowacki, 2002).

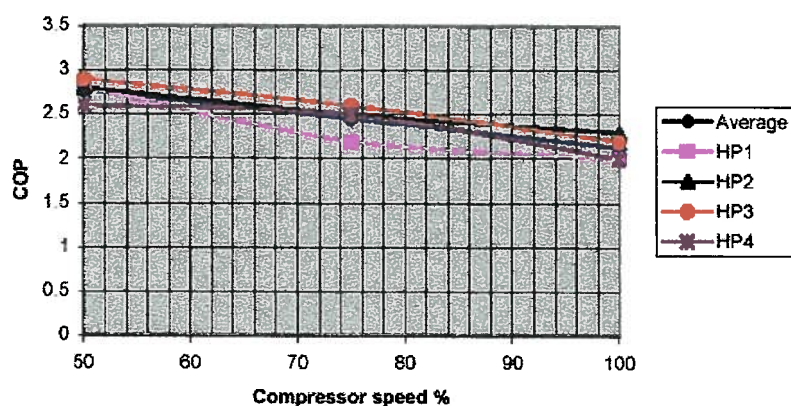
Spennet i varmfaktorer er svært høyt, og varierer fra ca. 1,7 til 4,5. Testene gjengitt i figur 3.12 er alle utført ved 7°C utetemperatur og 20°C innetemperatur. +7°C er ikke den mest interessante utetemperaturen for norske forhold, men er den eneste temperaturen hvor alle varmepumpene er testet. Det svenske forbrukermagasinet *Råd & Rön* fikk i 2001 testet fire forskjellige inverterstyrte luft/luft-varmepumper ved Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut (SP). Alle varmepumpene ble testet ved utetemperaturer på +7, +2 og –7°C. I tillegg ble forsøk utført ved delast. Figur 3.13 viser at varmfaktoren reduseres raskt når utetemperaturen synker fra +7°C til +2°C. En sannsynlig årsak er at *påriming og etterfølgende avriming* av utevarmeveksleren påvirker varmfaktoren relativt mye. Den markante reduksjonen i varmfaktoren har stor betydning for norske sluttbrukere av luft/luft-varmepumper, siden middeltemperaturen i vintermånedene ofte ligger ved 2°C eller lavere. Resultatene kan også tyde på at enkelte varmepumper er utformet for optimal drift ved 7°C. Figuren viser også at varmfaktoren er tilnærmet konstant mellom +2°C til –7°C.



Figur 3.13 Målt varmfaktor for et utvalg luft/luft-varmepumper for boliger som funksjon av utetemperatur ved 100% kompressorturtall (Nowacki, 2002).

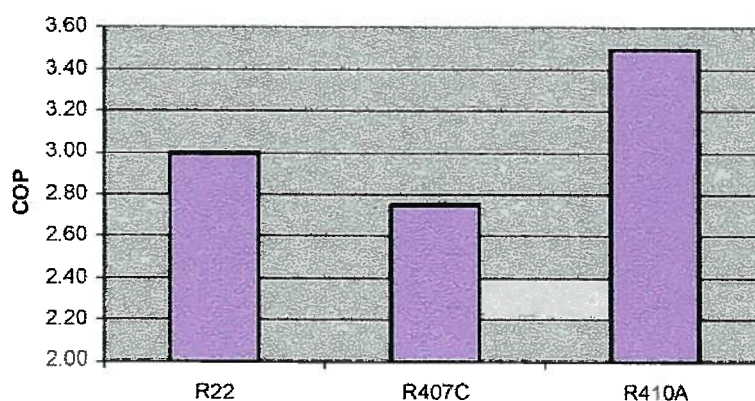


Varmefaktoren er også avhengig av kompressorytelsen (turtallet), se figur 3.14. Resultatene viser at den kan øke med opp til 40% når turtallet reduseres fra 100 til 50%. Dette er betydelig, og har konsekvenser for sluttbrukerne når de skal velge varmeytelse (størrelse) for varmepumpen. Hvis varmepumpen har relativt stor nominell varmeytelse, vil den over en større del av året gå på delast og dermed ha bedre varmefaktor. Dette utdypes nærmere i kapittel 4.



Figur 3.14 Varmefaktor som funksjon av kompressorturtall ved 2°C utetemperatur (Nowacki, 2002) (Råd & Rön, 2001).

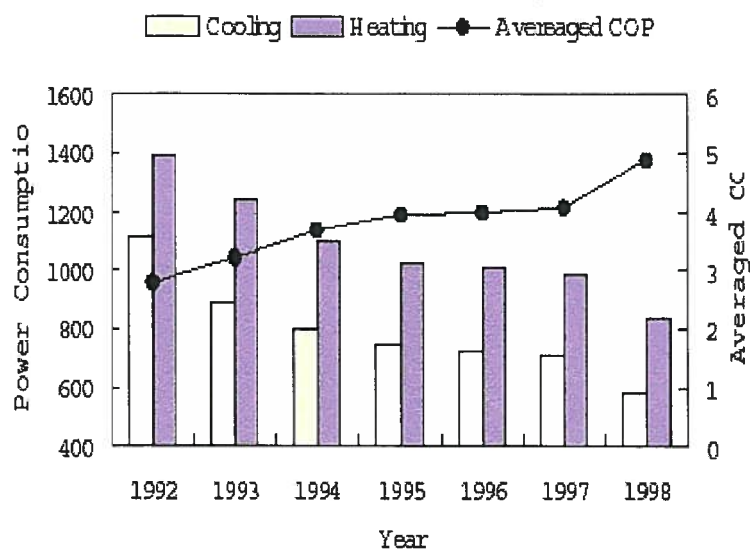
Ved analyse av Eurovent-dataene finnes også en sammenheng mellom arbeidsmedium og varmefaktor, se figur 3.15. Resultatene viser at R410A er vesentlig bedre enn R407C. Dette stemmer bra overens med diskusjonen i avsnitt 3.3, hvor det påpekes at R407C gir mindre effektiv varmeveksling.



Figur 3.15 Varmefaktor for ulike arbeidsmedier (Nowacki, 2002).

Sakamoto (2001) påpeker at R410A-anlegg utvikles med høy fokus på energieffektivitet, blant annet for å konkurrere med de effektive propan-varmepumpene. Anleggene inneholder forbedringene som har kommet de siste årene, hvor de viktigste er omtalt i avsnitt 3.3. Når i tillegg R410A har gode termofysiske egenskaper, blir disse anleggene klart mer effektive. R22-anlegg er derimot ofte laget med tanke på å være billigst mulig, og det brukes normalt konvensjonell teknologi. Figur 3.16 viser utviklingen av varmefaktoren for luft/luft-varmepumper de senere årene.

Modellene fra 1997 og eldre har R22 som arbeidsmedium, mens 1998-modellen har R410A. R410A-modellen er hele 25% bedre enn den beste R22-modellen.



Figur 3.16 Utviklingen av luft/luft-varmepumper mht. midlere COP (averaged COP) for anlegg med 2,8 kW varmeytelse (Sakamoto, 2001).

### 3.4.2 Energiklassifisering

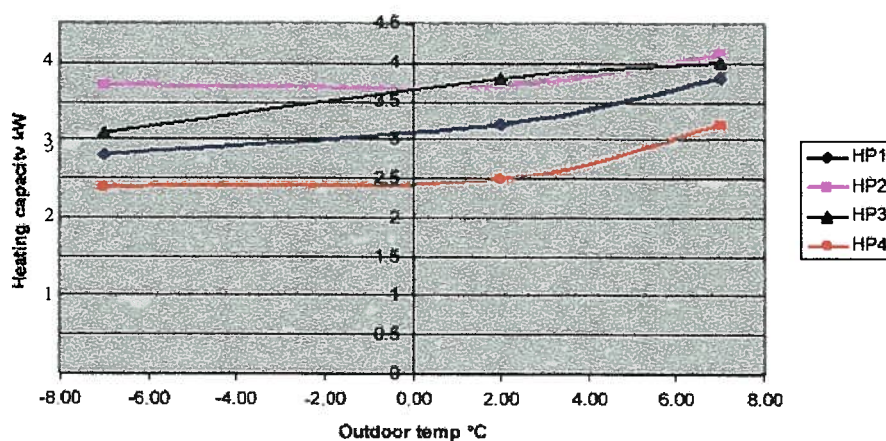
Eurovent bruker et klassifiseringssystem for varmepumper med bokstavkoder hvor A er best. Tabell 3.4 viser en oversikt over kravene. COP-verdiene refererer til standard test ved 7°C ute-lufttemperatur og 20°C innelufttemperatur.

Tabell 3.4 Energiklassifisering av luft/luft-varmepumper (etter Eurovent).

Energy Efficiency Class	Split and multi-split appliances
A	$3.60 < COP$
B	$3.60 > COP > 3.40$
C	$3.40 > COP > 3.20$
D	$3.20 > COP > 2.80$
E	$2.80 > COP > 2.60$
F	$2.60 > COP > 2.40$
G	$> 2.40 \text{ COP}$

### 3.4.3 Varmeytelse

Luft/luft-varmepumper kan fås med varmeytelser fra ca. 2 kW og oppover. De fleste anleggene som selges i Norge har en *varmeytelse mellom 4 og 7 kW*. Varmeytelsen er avhengig av uteluft-temperaturen, enkelte modeller mer enn andre, se figur 3.17.



Figur 3.17 Varmeytelse som funksjon av utetemperatur for luft/luft-varmepumper ved 100% turtall for kompressoren (Nowacki, 2002).

En annen viktig egenskap ved luft/luft-varmepumper er ved hvilken utetemperatur de slutter å fungere (*stopptemperatur*). Tidligere stoppet de ofte ved rundt  $-10^{\circ}\text{C}$ . Nå oppgir de fleste produsentene at de kan kjøres ned til  $-15^{\circ}\text{C}$ . Vinteren 2002 ble imidlertid flere varmepumper i Norge observert i drift også ved  $-20^{\circ}\text{C}$ . Likevel finnes det produkter på markedet som ikke er beregnet for norsk klima, og som oppgir  $-7^{\circ}\text{C}$  som stopptemperatur, men disse produktene leveres ikke av de seriøse leverandørene. Hvis varmepumpen stanser ved lave utetemperaturer, vil hele systemet kjøles ned, inkludert oljen. Hvis kompressoren ikke har en innbygget oljevermer, kan dette medføre at en må vente til temperaturen kommer opp på et visst nivå, som kan være høyere enn den laveste oppgitte driftstemperaturen, før den kan starte igjen. Dette kan være årsaken til at varmepumpene holdes i gang også ved svært lave utelufttemperaturer.

## 3.5 PÅRIMING OG AVRIMING

Det vil dannes rim på utevarmevekslerens når overflatetemperaturen er lavere enn  $0^{\circ}\text{C}$ . Et rimlag vil redusere varmeovergangen etterhvert som rimlaget øker i tykkelse. For å ta opp like mye varme fra omgivelsene vil fordampningstemperaturen reduseres og varmefaktoren avtar. Pårimning vil også føre til større effektbehov for viften pga. mindre frontareal og større trykktap.

Lamellavstanden i utevarmeveksleren er ofte lav, typisk 1,4 mm. Selv et lite rimlag vil redusere varmeovergangen og øke effektbehovet for viften. Avrimingen bør derfor skje relativt hyppig for å opprettholde god ytelse og høy effektivitet for anlegget. Den høyeste pårimingen inntreffer når uteluften er fuktig, og det er den ved rundt  $0^{\circ}\text{C}$ . I kyststrøk vil selvsagt fuktigheten være høyere enn i innlandet.

### ***Detektering av starttidspunkt for avriming***

Det er utviklet mange metoder for detektering av rim på fordamperen, men for luft/luft-varmepumper er det vanlig å:

- Registrere forskjell mellom inngående lufttemperatur og fordampningstemperatur. Når forskjellen er stor, bør det avrimes
- Benytte en timer-funksjon

Disse to metodene brukes gjerne i kombinasjon. Hvis anlegget kun er utstyrt med timerstyrt avriming risikerer en at det avrimes for ofte eller for sjelden, og det vil bidra til økt energibehov og lavere varmekoeffisient for varmepumpen.

### ***Metode for avriming***

Dagens luft/luft-varmepumper benytter såkalt *varmgassavrimning*. Det betyr at ved avrimningsbehov reverseres varmepumpeprosessen ved hjelp av en 4-veisventil, og varm gass strømmer inn i fordamperrørene. Kondensatoren (inne-varmeveksleren) fungerer da som fordamper. Varmgassavrimning gir rask og effektiv avriming, og varmeenergien produseres med en varmekoeffisient høyere enn 1. Ulempen er at varmen til en viss grad hentes fra rommet hvor inne-enheten er montert. Selv om viften stanses, vil kjølingen kunne føre til kald trekk fra inne-enheten. Det kan derfor være nødvendig med varmetilskudd fra andre kilder i avrimningsperiodene.

### ***Avslutning av avriming***

Avrimningsprosessen avsluttes ved:

- Bruk av ”timer” – avrimningsperioden er gitt
- Registrering av temperaturen i det kaldeste punktet på utevarmeveksleren. Når denne når et fastsatt nivå, stanses avrimingen.

### ***Innflytelse på varmekoeffisienten***

Hvor ofte og hvor lenge avrimingen skjer, påvirker varmekoeffisienten i høy grad. Nowacki (2002) refererer til en doktoravhandling av Fahlén, hvor det konkluderes med at varmekoeffisienter som inkluderer avriming typisk er 10% lavere enn varmekoeffisienter uten avriming. Kaygusuz (1994) rapporterer at avriming ga 15% reduksjon i varmekoeffisienten ved relative fuktigheter høyere enn 65%.

Det foregår også en utvikling med bruk av forskjellige overflatebehandlinger for å forsinke frostdannelse og redusere veksthastigheten på rimet. Okoroafor & Newborough (1999) utførte eksperimenter som ga en reduksjon i veksthastigheten med 10 – 30% ved bruk av en hydrofil polymer. Jhee et al (2002) konkluderer med at avrimingen går raskere ved en overflatebehandling av hydrofil polymer, fordi rimet som dannes har høyere tetthet og smelter lettere. Videre konkluderes det med at overflatebehandlingen ikke påvirker ytelsen. Det gjenstår imidlertid å se når dette tas i bruk kommersielt.

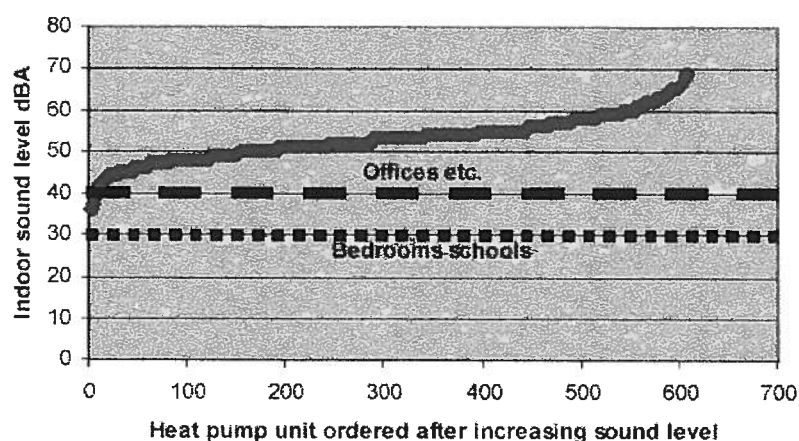
### 3.6 VIFTER OG STØY

Viftene på dagens luft/luft-varmepumper har også gjennomgått en betydelig utvikling de seneste årene (Sakamoto, 2001). De har i følge produsentene blitt svært effektive og støysvake.

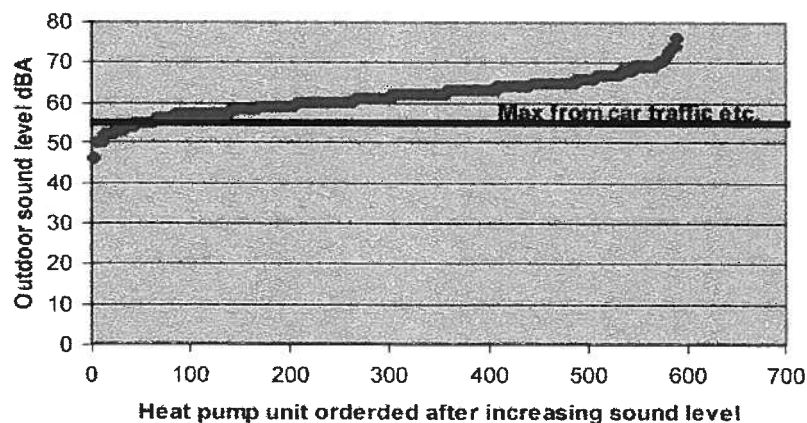
Monteringen av ute-enheten har også stor betydningen for støyen som genereres. Den bør ikke monteres på trevegg da dette kan gi resonans. Stålbraketter bør ikke festes direkte på mur, og det bør anvendes gummiklosser. Det kan for øvrig være en fordel å sette ute-enheten på et eget stativ som står direkte på bakken, men en må da være sikker på at aggregatet står høyere enn normal snødybde. Hvis ikke kan en risikere at ute-enheten snør ned.

#### Støymålinger

Nowacki (2002) har analysert alle støymålingene som er utført av Eurovent. Figur 3.18 og 3.19 på neste side viser resultatene. Målingene ble utført ved maksimal hastighet på viften i inne-enheten, mens viften i ute-enheten gikk med konstant hastighet.



Figur 3.18 Euroventmålinger av støy fra inne-enheten på luft/luft-varmepumper (Nowacki 2002).



Figur 3.19 Euroventmålinger av støy fra ute-enheten på luft/luft-varmepumper (Nowacki 2002).

I figur 3.18, som viser støymålingene for inne-enhetene, er også grensene til støy som aksepteres i Sverige i forskjellige bygninger inntegnet. Bare noen ganske få overholder de svenske kravene for kontorer. Ingen overholder krav til skole og soverom. Også for ute-enhetene er de målte støy-nivåene høyere enn det en kunne forvente.

Ved en stikkprøve for et varmepumpemerke, viser oppgitte verdier fra leverandøren og målt verdi fra Eurovent store forskjeller. Leverandøren oppgir at støynivået er henholdsvis 39 og 48 dbA for inne- og uteenhet ved maksimal viftekapasitet. Eurovents målinger for samme produkt viser 55 og 61 dbA. Det må kommenteres at det finnes mange måter å måle støy på, og at mange ting kan påvirke disse. Dette kan være noe av årsaken til forskjellene.

### 3.7 KORT OPPSUMMERING AV KAPITTEL 3

- De fleste luft/luft-varmepumpene som leveres i Norge er såkalte split-units med en varmeytelse i området 4 til 7 kW. De vanligste arbeidsmediene er R407C og R410A. Siden det ennå ikke er forbud mot R22, leveres det også anlegg med dette mediet, men de er på vei ut.
- Anlegg med R410A har den høyeste prisen, men på grunn av gunstige medieegenskaper og mer avansert design oppnår de inntil 25% høyere varmefaktor enn anlegg med R22. R22-anleggene oppnår på sin side høyere varmefaktor enn R407C-anleggene.
- Varmeytelsen til luft/luft-varmepumpene avtar gradvis ved synkende utelufttemperatur. På grunn av gunstige medieegenskaper er R410A-anleggene minst påvirket.
- Viktige teknologiske framskritt de senere årene omfatter først og fremst:
  - Overgang fra AC-motorer med av/på-regulering til DC-motorer (Digitally Controlled) med inverterstyring har gitt i størrelsesorden 5 til 15% økning i motorvirkningsgraden.
  - Nyutviklede kompressorer for R410A har medført inntil 10% høyere virkningsgrad i forhold til kompressorer for R22 og R407C.
  - Mer avansert varmevekslerdesign har ført til en økning i varmevekslerflaten med inntil 75% og en økning i KA-verdien i størrelsesorden 150% uten økning i fysisk størrelse (varmevekslervolum). Forbedret varmeovergang for inne-varmeveksleren har imidlertid begrenset betydning, ettersom luftmengden må begrenses av hensyn til termisk komfort. En gulvmontert inne-enhet har forøvrig større luftgjennomstrømning enn en veggmontert, og medvirker derfor til høyere varmefaktor
- Målinger i regi av Eurovent viser at varmefaktoren for 608 luft/luft-varmepumper ved +7°C utelufttemperatur og 20°C innelufttemperatur varierer fra 1,7 til 4,5. Det er med andre ord betydelige kvalitetsforskjeller mellom de ulike luft/luft-varmepumpene.
- Varmefaktoren avtar med synkende utelufttemperatur, og dette skyldes blant annet pårimning og påfølgende avrimning av ute-varmeveksleren. Undersøkelser viser at regelmessig avrimning vil kunne redusere varmefaktoren for anlegget med typisk 10 til 15% (klima- og driftsavhengig).
- Varmefaktoren for en luft/luft-varmepumpe er avhengig av turtallet på kompressoren, og den kan øke med inntil 40% når turtallet reduseres fra 100 til 50%. For en gitt bolig vil derfor en større varmepumpe generelt sett oppnå høyere varmefaktor på grunn av mer kjøring på dellast.
- Varmefaktoren for luft/luft-varmepumper oppgis ofte ved en utelufttemperatur på +7°C. Det er imidlertid ikke sikkert at aggregatene som oppnår best resultat ved denne temperaturen gir høyest varmefaktor over fyringssesongen, ettersom middeltemperaturen om vinteren i Norge ligger en god del lavere.
- Målinger utført i regi av Eurovent viser at støynivået for inne- og ute-enhetene for 608 testede luft/luft-varmepumper ligger vesentlig over de oppgitte verdier fra leverandørene.

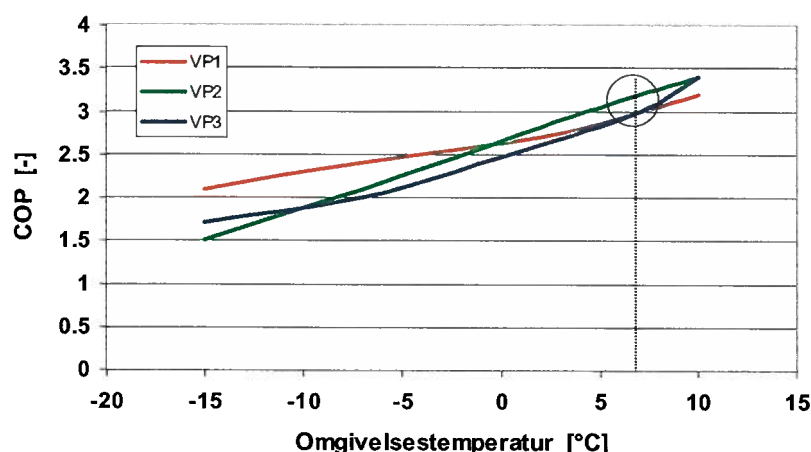


## 4 ERFARINGER MED DAGENS LUFT/LUFT-VARMEPUMPER

### 4.1 ENERGISPARING

Den reelle energisparingen for luft/luft-varmepumper er omdiskutert. Mange faktorer påvirker denne ved en installasjon – kvalitet og utforming av aggregatene, klima, plassering av inne- og ute-enhet, boligens planløsning osv. I dette kapittelet er det gjort en generell vurdering av betydningen av nominell varmeytelse og driftskaraktistikk for luft/luft-varmepumpene.

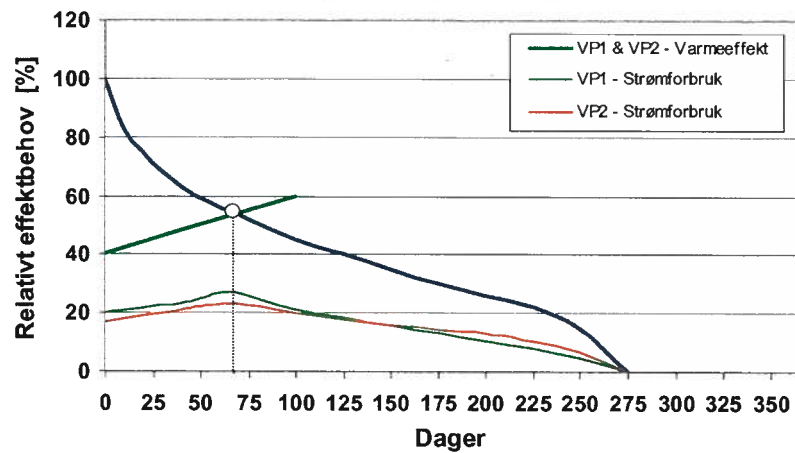
Figur 4.1 viser, som et eksempel, varmfaktor-karakteristikken for tre forskjellige luft/luft-varmepumper (VP1, VP2, VP3). Selv om varmepumpen har en god varmfaktor ved høy omgivelsestemperatur, noe som ofte legges til grunn ved salg, er det ikke sikkert dette gir best energisparing for sluttbrukerne over året. I eksempelet presterer VP1 relativt dårlig ved designpunktet +7°C, men har relativt høy varmfaktor ved lavere utetemperaturer. VP2 presterer best ved +7°C, men kommer relativt dårligere ut ved fallende utetemperatur.



Figur 4.1 Prinsipiell skisse av typisk varmfaktor (COP) for tre ulike luft/luft-varmepumper.

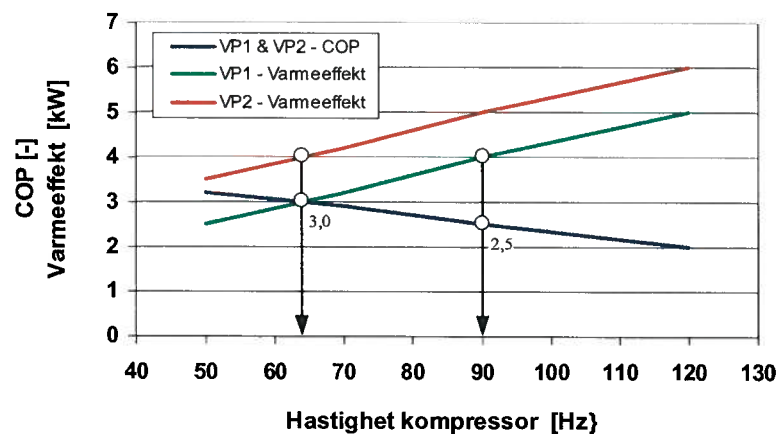
Figur 4.2 på neste side viser et eksempel på en effekt-varighetskurve for en bolig. Selve kurven viser antall dager i året hvor varmeeffektbehovet til romoppvarming overstiger en gitt effekt [kW], mens arealet under kurven representerer det totale romvarmebehovet for huset over året [kWh/år]. I figuren er også tilført elektrisk effekt til VP1 og VP2 inntegnet. Ut av figuren kan det leses at VP1 vil ha lavere effektbehov enn VP2 i de 110 varmeste dagene, mens VP2 vil ha lavere effektbehov enn VP1 de 110 kaldeste dagene. VP1 vil med andre ord være gunstigst for sluttbrukeren og gi størst energisparing, fordi effektbehovet er lavest i det området hvor varmebehovet er høyest. I vurderingen er det forutsatt at VP1 og VP2 har samme nominelle varmeytelse, som indikert i figuren.





Figur 4.2 Eksempel på effekt-varighetskurve for bolig med inntegnet ytelseskarakteristikk for to luft/luft-varmepumper (VP1 og VP2) med lik nominell varmeytelse.

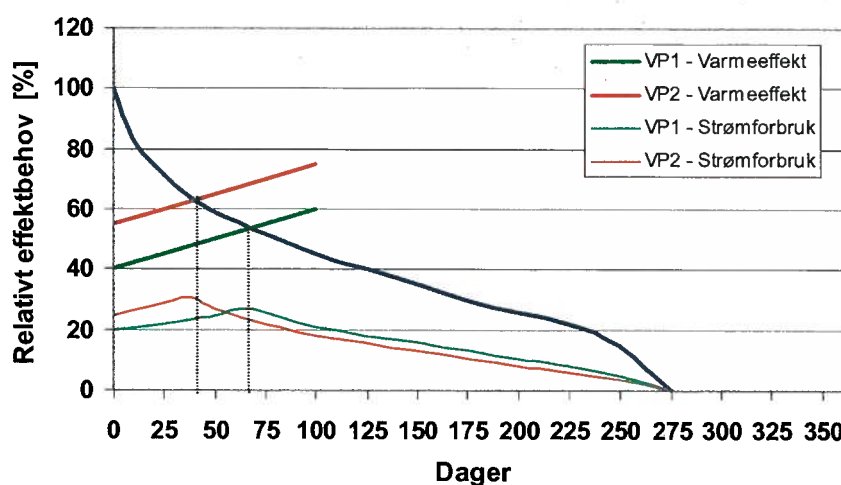
Et annet viktig spørsmål for sluttbrukerne er *hvilken varmeytelse en skal velge*. For en tid tilbake ble det hevdet at en ikke skulle kjøpe for stor varmepumpe, fordi merinvesteringen ikke ville lønne seg. Dette var før luft/luft-varmepumpene med inverterstyrt kompressor kom på markedet. Inverterstyringen medvirker til betydelig høyere varmefaktor (COP) ved dellast, noe som er illustrert i et eksempel i figur 4.3.



Figur 4.3 Eksempel på dellastkarakteristikk for to luft/luft-varmepumper.

For et hus med et maksimalt romvarmebehov på 4 kW, vil varmefaktoren være omkring 3,0 hvis en kjøper en stor varmepumpe (VP2), mens en vil oppnå ca. 2,5 hvis en kjøper et mindre aggregat. Det er da forutsatt at begge varmepumpene har samme karakteristikk for varmefaktoren.

Figur 4.4 på neste side viser konsekvensen av å benytte en stor eller liten varmepumpe for et hus med et gitt varmeeffektbehov. Den store varmepumpen vil ha lavere et strømforbruk i de 225 varmeste dagene. Når strømforbruket blir høyere ved de 50 kaldeste dagene, vil den likevel spare mer energi enn den lille ettersom en større del av varmebehovet dekkes av varmepumpen.



Figur 4.4 Eksempel på effekt-varighetskurve med inntegnet ytelseskarakteristikk for to luft/luft-varmepumper med ulike varmeytelse men med lik varmefaktor.

Følgen av disse betraktningene er at sluttbrukerne bør vurdere å kjøpe en litt stor varmepumpe, som vil medvirke til høyere varmefaktor over året og følgelig høyere energisparing.

## 4.2 TYPISKE PROBLEMOMRÅDER

I mai 2003 gjennomførte SINTEF en undersøkelse for ENOVA og Det internasjonale energi-byrået (IEA), hvor hensikten var å kartlegge langtidserfaring med varmepumper i bygninger (Jakobsen, 2003). En viktig del av dette arbeidet omhandlet luft/luft-varmepumper. Spørreskjema ble sendt ut til 11 av de største norske varmepumpeforhandlerne. De viktigste punktene er skissert nedenfor:

- **Dårlige installasjoner**

Ofte er varmepumpen i seg selv god nok, men ukvalifisert personell utfører for dårlig installasjonsarbeid. Det er mangel på kvalifisert arbeidskraft. Dette er betraktet som den klart viktigste årsaken til driftsproblemer. Vanlige problemer er: Ingen vakuumering, metallspen introduseres i systemet, lekkasjer, plassering av utedel hvor den er utsatt for mye fukt eller snø, plassering av innedel som fører til resirkulasjon av varmluft i et lite område.

- **Energisparingen er lavere enn forventet**

Dette er et vanlig problem, og vanlige årsaker er:

- Sluttbrukere får oppgitt urealistisk høye verdier for varmefaktoren gjennom teknisk dokumentasjon fra forhandlere. Ofte brukes COP ved +7°C ved markedsføring.
- Sluttbrukerne øker komforten ved å øke innetemperaturen
- Uheldig/feilaktig plassering av ute- og inneenhet gir ufordelaktige driftsbetingelser

- **Problemer med avriming**

Fortsatt finnes det varmepumper på markedet som ikke avrimer ordentlig, og noen har problemer med å drenere bort vannet etter avriming fordi det fryser på bunnpannen i ute-enheten. Resultatet kan være at is bygger seg opp. Dette blokkerer for luftgjennomstrømning, men isen kan også omslutte kompressoren som vil medføre vibrasjoner og støy. Vifteblad kan også knekke eller viften kan stoppe. Store termiske svingninger ved avriming kan også føre til tretthetsbrudd i rør og påfølgende lekkasje. En del av disse problemene kan løses ved å installere en varmekabel i bunnpannen som sikrer at det smeltede vannet renner bort. Ingen varmepumper leveres med dette som standardutstyr, og når forhandlerne reklamerer med ”tilpasset norske forhold”, er det ofte denne kabelen de sikter til. Det er imidlertid viktig at det er god kontakt mellom varmekabelen og bunnpanna slik at hele bunnen varmes opp.

- **Undervurdering av varmebehov**

En del sluttbrukere oppgir for lavt varmeeffektbehov når de kjøper varmepumpe. For liten varmepumpe fører til at den opererer med ugunstige betingelser, se avsnitt 4.1.

- **Dårlig varmeytelse ved lave utetemperaturer**

Varmeytelsen for luft/luft-varmepumper avtar ved fallende omgivelsestemperatur. Dette ligger i varmepumpens natur, men enkelte sluttbrukere klager på behov for ekstra oppvarming allerede ved moderate utelufttemperaturer.

- **Støy og vibrasjon**

Når viften på inne-enheten går på fullt turtall, blir det ofte for høyt støynivå. Likeledes kan ute-enheten generere vibrasjoner, spesielt hvis den er montert på trevegg.

- **Korrosjon ved kysten**

Lamellene på utevarmeveksleren er som oftest laget av aluminium. Når de utsettes for kystklima, dvs. luft med relativt høy fuktighet og noe salt, kan lamellene korrodere relativt kraftig. Bildet nedenfor er hentet fra et anlegg installert på Karmøy.



*Figur 4.5 Korroderte lameller på en utevarmeveksler for en luft/luft varmepumpe.*

- **Kompressorhavari**

Det svenske forsikringsselskapet Folksam har samlet statistikk for boligvarmepumper mellom 1999 og 2001. De konkluderer med at for mange luft/luft varmepumper får et havari de første fem årene. Ofte skyldes dette kompressorfeil.

- **Useriøse forhandlere med forretningsfilosofi**

Når markedet blomstrer, dukker det alltid noen useriøse aktører som vil skumme fløten. Aktørene danner selskaper som ikke tar garantiansvar og som ikke har serviceopplegg. Ofte har de også dårlige produkter. Levetiden for selskapene er ofte kortere enn garantiperioden.

Ellers kommenterer forhandlerne at:

- Inverterteknologien har forbedret varmepumpeteknologien og forbedret dens rykte.
- Det lønner å investere i en litt for stor varmepumpe
- Nattsinking vil normalt være ugunstig. Årsaken er at når varmepumpen skal øke inneluft-temperaturen om morgenen, er utetemperaturen lavest. I tillegg vil varmepumpen måtte gå på full last, og da er varmfaktoren dårligere enn på dellast.

## 5 KRAV OG MANGLENDE KRAV TIL TESTING

Luft/luft-varmepumper testes i dag normalt etter den europeiske CEN standard *EN 255-2* (NS-EN255, 1997), som er velprøvd, men relativt gammel. Standarden tar ikke hensyn til den siste utviklingen av luft/luft-varmepumper, og den er heller ikke laget for å frambringe informasjon som er viktig i kaldt og fuktig klima. EN-255-2 inneholder tester ved 3 omgivelsestemperaturer ( $T_{ute}$ ): +7, +2 og  $-7^{\circ}\text{C}$ . Hver av disse testene utføres ved en bestemt relativ fuktighet (RH). Innetemperaturen er  $20^{\circ}\text{C}$  for alle testene.

Hovedinnvendingene mot EN-255-2 er:

- **Mangler tester ved dellast**

Dagens standard er beregnet for gamle varmepumper med av/på drift av kompressoren, og tar derfor ikke hensyn til dellastproblematikken (som er diskutert i avsnitt 4.1). For hver forsøksbetingelse (gitt  $T_{ute}$  og RH) burde det derfor utføres forsøk ved minst tre kompressorytelser (turtall), eksempelvis 100, 75 og 50%.

- **Mangler tester ved flere relative fuktigheter**

Kystklimaet i Norge er relativt fuktig. Høy RH øker pårimingen på utevarmeveksleren og dermed behovet for avriming, med påfølgende reduksjon i varmeytelse og varmfaktor. For luft/luft-varmepumper i Norge burde det derfor utføres tester ved høy RH, spesielt ved utetemperaturer mellom +2 til  $-7^{\circ}\text{C}$ , hvor problemene med rask påriming er størst.

- **Mangler tester ved lave omgivelsestemperaturer**

-7°C er laveste utelufttemperatur ved testing etter EN 255-2. En naturlig utvidelse for norske forhold ville være å inkludere -15 og -20°C i testprogrammet. Informasjon om aggregatenes varmeytelse ved lave utelufttemperaturer vil være nyttig når en blant annet skal vurdere hvordan denne typen anlegg vil innvirke på effektproblematikken i kraftforsyningen.

- **For romslige krav til temperaturkontroll under forsøk som inkluderer avriming**

EN 255-2 krever at tester som fører til at en luft/luft-varmepumpe må avrime innen gitt tid, skal inkludere avrimingene. Totalt skal minimum to hele driftssyklus tas med i testresultatet hvor avriming inngår. Dette er fornuftig, men temperaturkontrollen i testrommet under avrimingen er for romslig. Det tillates en temperatursvingning på  $\pm 5K$  for utetemperaturen under første del av avrimingen. Normalt øker temperaturen i testrommet fordi varmepumpeprosessen reverseres. Den økte lufttemperaturen bidrar sterkt til at avrimingen går raskere og at den fullføres nesten uansett kvalitet på avrimningssystemet. Resultatet er en urealistisk høy varmefaktor og varmeytelse. Dessuten vil varmepumper med et dårlig fungerende avrimingssystem ikke avsløres. Temperaturkontrollkravet ved testing av avrimingssystemet burde derfor bli vesentlig strengere for å gi informasjon om aggregatenes virkelige energieffektivitet.

- **Manglende spesifisering av kompressorturtall ved tester**

I dag låses kompressorhastigheten (turtallet) under testene, og turtallet oppgis av leverandørene. Dette gir to uheldige forhold:

- Leverandørene spesifiserer ofte et turtall som er relativt lavt fordi dette gir den beste varmefaktoren for aggregatet (jfr. diskusjonen over)
- I et reelt tilfelle vil turtallet for kompressoren variere, ofte relativt mye, som følge av at reguleringsystemet tar hensyn til en rekke faktorer. Ved å låse frekvensen bedres varmefaktoren betydelig i følge Hihara (2003). Dette kan være en av årsakene til at oppgitte varmefaktorer ofte er urealistisk høye.

Teststandarden burde derfor kreve at kompressorturtallet ikke overstyres for å gi mer reelle verdier for anleggenes energieffektivitet (varmefaktor).

- **Kun en målemetode av varmeytelse**

EN-255-2 krever at varmeytelsen kun måles ved hjelp av en metode. I andre sammenhenger hvor det måles varmeytelse, kreves det normalt to uavhengige målemetoder, og at resultatene av disse ikke må avvike mer  $\pm 6\%$ .

## **6 LUFT/LUFT-VARMEPUMPER OG INNEKLIMA**

Høsten 2003 blusset det opp en debatt om hvorvidt luft/luft-varmepumper kan være skadelig for inneklimaet (Kvilesjø, 2003). Debatten hadde sitt utspring i et foredrag holdt av Jan Vilhelm Bakke i Arbeidstilsynet. Der påpeker Bakke at svensk forskning viser en klar sammenheng mellom ENØK-tiltak og astma. I undersøkelsene er ikke luft/luft-varmepumper inkludert. Det foreligger derfor ikke konkret informasjon som påviser sammenheng mellom astma og bruk av luft/luft-varmepumper i boliger. Bakke påpeker i stedet at det er knyttet stor usikkerhet til hvordan denne typen varmepumpepanelgg påvirker inneklimaet.

En av Bakkes hovedpoeng i denne debatten har vært er at oppvarming ved hjelp av varmluft øker innetemperaturen, og det *kan* føre til økte plager for mennesker med luftveisproblemer. Dessuten *kan* det øke tendensen til luftveisirritasjoner og ubehagelig fornemmelse for tørr luft. Ved en sammenlikning med andre oppvarmingskilder, lister Bakke opp gulvvarme og ulike vannbaserte systemer (med for eksempel varmepumpe i energisentralen) og oljefylte el-ovner som bedre for inneklimaet enn luft/luft varmepumper. Varmesystemer som bidrar til å forverre inneklimaet er vanlige panelovner og elektriske vifteovner. Mangel på kunnskap gjør at situasjonen er uavklart i forhold til vedovner, kaminer, pelletsovner og kakkelovner, hvor varmen stort sett avgis ved stråling. Det er usikkert hvordan disse ”svir” inne-lufta.

## 7 REFERANSELISTE

Bakke J. V., 2003: Skriftelig kommunikasjon

Choi S.H., Cho W.H., Kim J.W., Kim J.S., 2003: *A study on the development of the wire woven tube heat exchanger using small diameter tubes*. Experimental Thermal and Fluid Science, Article in Press.

Danfoss, 2003: *Værd at vide om frekvensomformere*.

NS-EN 255-2, 1997: *Klimaaggregater, væskekjøleaggregater og varmepumper med elektrisk drevne kompressorer - Oppvarming - Del 2: Prøving og krav til merking av apparater for romoppvarming* (Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 2: Testing and requirements for marking of space heating units). Utgave 1, 1997. European (CEN) Standard.

Hihara E., 2003: Muntlig kommunikasjon

Jakobsen, A, 2003: *Long Term experience with heat pumps in buildings*. IEA HPP – Special Task

Jhee S., Lee K.S., Kim W.S., 2002: *Effect of surface treatments on frosting/defrosting behavior of a fin-tube heat exchanger*. Int. Jour. of Refrigeration, vol 25.

Jung D., Cho Y., Park K., 2003: *Flow condensation heat transfer coefficients of R22, R134a, R407C, and R410A inside plain and microfin tubes*. Int. Jour. of Refrigeration, vol 27.

Kaygusuz K., 1994, *Performance of an Air-to-Air Heat Pump Under Frosting and Defrosting Conditions*. Applied Energy, vol 48.

Kim Y., Seo K., Chung J. T., 2002, *Evaporation heat transfer characteristics of R-410A in 7 and 9.52mm smooth/microfin tubes*. Int. Jour. of Refrigeration, vol 25.

Kvilesjø, S.O., 2003: *Varmepumper kan gi dårlig innneklima*. Artikkell i Aftenposten.  
<http://www.aftenposten.no/eiendom/article.jhtml?articleID=651353>

LozzaG., Merlo U., 2001: *An experimental investigation of heat transfer and friction losses of interrupted and wavy fins for fin-and -tube heat exchangers*. Int. Jour. of Refrigeration, vol 24.

Murakami H., Honda Y., Kiriyaama H., Morimoto S., Takeda Y., 1999: *The Performance Comparison of SPMSM, IPMSM and SynRM in Use as Air-conditioning*, Proc. IEEE Conf.

Nowacki J.E., 2002: *Single Room Heat Pumps for Cold Climates*. Analysis Report HPC – AR14, IEA Heat Pump Programme.



- Okoroafor E.U., Newborough M., 2000: *Minimising frost growth on cold surfaces exposed to humid air by means of crosslinked hydrophilic polymeric coatings*. Applied Thermal Eng. vol 20.
- Passos C. P., Kuser F. V., Haberschill P., Lallemand M., 2003: *Convective boiling of R407C inside horizontal microfin and plain tubes*. Experimental Thermal and Fluid Science, vol 27
- Qureshi T. Q., Tassou s. A., 1996: *Variable-Speed Capacity Control in Refrigeration Systems*, Applied Thermal Eng., vol 16, No 2.
- Råd & Rön, 2001: *Luftburen värme*. No 4.
- Sakamoto M., 2001: *Variable Capacity Heat Pumps for Residential Air Conditioning Employing Alternative Refrigerant*. Proc. Hand-on Experience with Heat Pumps in Buildings, Workshop Report HPC-WR-23, Arnheim, the Netherlands.
- Stene J., 1998: *Compression Heat Pump, Air Conditioning and Refrigerating Systems with Natural Working Fluids*. Final Report from Annex 22 of the IEA Heat Pump Programme, Report No. HPP-AN22-4.
- Webb R L., 1994: *Principles of Enhanced Heat Transfer*. John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-57778-2.

**SINTEF Energi AS**  
SINTEF Energy Research

No-7465 Trondheim  
Telephone: + 47 73 59 72 00  
[energy.research@sintef.no](mailto:energy.research@sintef.no)  
[www.sintef.no/energy](http://www.sintef.no/energy)