

Per Fahlén  
**Fältmässiga mätmetoder  
för kylmaskiner och värmepumpar  
- Förstudie**

SP AR 2001:2  
Energiteknik  
Borås

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag från Statens energimyndighet och Elforsk till enheten för energiteknik, Sveriges Provnings & Forskningsinstitut AB, Borås. Den slutliga rapporten kommer att ges ut som en Elforskrapport.

## Abstract

There is an interest in efficiency improvements of all types of equipment in general and in equipment using electric drive power in particular. In a global perspective, heat pumps and refrigeration systems use around 10 % of the total electric energy deliveries and will hence be primary targets for improvement. To facilitate decisions on what actions to take, suitable means and methods must be available to assess performance of actual installations in the field.

This report contains an annotated list of references on the evaluation of heat pumps and refrigeration equipment concerning practical experience, formal and ad hoc test methods and methods of measuring required variables. The general conclusion is that there are very few official test methods for in situ performance evaluation whereas there is a large number of methods for laboratory testing. The only formal methods found in the survey have all been developed in Sweden, sometimes with Danish co-operation, and are available either as SP\*-methods, Swedish standards, or Nordtest methods. Hence there is a definite need to continue development of field methods, in particular for small and medium sized equipment.

For this type of equipment, there are some Nordic test methods and some commercially produced test equipment available (based on temperature and pressure measurements in the refrigerant circuit). However, introduction of new types of refrigerants (blends in particular), new compressors, new expansion devices and variable speed drives necessitates further development and validation of measuring uncertainties.

The report summarizes the results of a preliminary investigation of the subject and constitutes the introductory phase of project within the Swedish National Research Program on Energy Efficient Heat Pumps and Refrigeration Equipment, Climate 21. ELFORSK\*\* has initiated the project and SP\* has carried out the work. Elforsk and the Swedish Energy Administration have jointly sponsored the project.

\*SP = Swedish National Testing & Research Institute

\*\*ELFORSK = Swedish Electrical Utilities' R&D Company

**Key words:** conditions, efficiency, energy, field testing, heat pump, in situ, measurement, operation, performance, refrigeration, test, uncertainty.

**SP Sveriges Provnings- och  
Forskningsinstitut**  
SP AR 2001:2  
Borås 2001

**SP Swedish National Testing and  
Research Institute**  
SP AR 2001:2  
Postal address:  
Box 857, S-501 15 BORÅS,  
Sweden  
Telephone + 46 33 16 50 00  
Telex 36252 Testing S  
Telefax + 46 33 13 55 02

# Innehållsförteckning

Definitioner och beteckningar .....	1
Sammanfattning .....	4
1 Inledning.....	5
1.1 Bakgrund .....	5
1.2 Syfte och genomförande .....	6
1.3 Rapportens utformning.....	6
2 Behov, krav och metoder.....	7
2.1 Förväntade prestanda.....	7
2.2 Verifiering av förväntade prestanda .....	9
2.3 Redovisning och beräkning av tekniska data .....	10
2.4 Fältmässig provning .....	13
2.5 Förutsättningar.....	14
2.6 Mätmetoder .....	17
2.7 Osäkerhetsanalys .....	37
3 Referenser med kommentarer .....	40
3.1 Redovisning och beräkning av tekniska data .....	40
3.2 Laboratorieprovning .....	42
3.3 Fältmässig provning .....	45
3.4 Mätmetoder .....	50
3.5 Osäkerhetsanalys .....	52
4 Diskussion .....	54
4.1 Vilka behov klaras med befintliga metoder?.....	54
4.2 Vilka behov kräver nya metoder?.....	56
4.3 Identifiering av forskningsbehov.....	56
4.4 Förslag till fortsatt arbete .....	59
5 Alfabetisk bibliografi .....	61

## Definitioner och beteckningar

Definitioner och beteckningar väljs i första hand ur SS1897<sup>[209]</sup>, SS2620<sup>[211]</sup>, NTVVS076<sup>[177]</sup> eller NTVVS115<sup>[180]</sup>. För beteckningar nedan gäller konsekvent att index "kb" används för köldbärare (köldbärarsida) och "vb" för värmebärare (värmebärarsida). Därefter tillkommer, i vissa fall, index "in" eller "ut" för att markera inlopp eller utlopp (se även systemdiagrammet i figur 2.3.1).

### Storhetssymboler

$A$	area ( $\text{m}^2$ )
$COP$	värmefaktor (W/W)
$c$	specifik värmekapacitet (J/kg/K)
$h$	specifik entalpi (J/kg)
$h$	höjd (m)
$k$	täckningsfaktor
$L$	ljudavgivning som tryck- eller effektförhållande (dB eller B)
$M$	massa (kg)
$N$	omsättningstal (transformatorer)
$P$	effekt (W)
$P$	fortplantningskoefficient för osäkerheter ("propagation coefficient")
$p$	tryck (Pa)
$q$	flöde ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$R$	resistans, värmemotstånd (K/W)
$r$	radiellt avstånd i cylinderkoordinatsystem (m)
$S$	skalutslag
$s$	standardavvikelse, typ A
$T$	termodynamisk (absolut) temperatur (K)
$t$	Celsiustemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
$U$	total osäkerhet ( $U = k \cdot u$ )
$U$	värmegenomgångskoefficient ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ )
$u$	sammanlagrad osäkerhet
$V$	volym ( $\text{m}^3$ )
$v$	hastighet (m/s)
$w$	standardavvikelse, typ B
$x$	koncentration
$z$	masskoncentration av köldbärare
$\Delta$	differens, osäkerhet
$\xi$	andel pump/fläktarbete som tillförs köld/värmebärare i form av värme (-)
$\varphi$	relativt ångtryck (Pa/Pa)
$\varphi$	vinkel i cylinderkoordinatsystem (radianer)
$\eta$	verkningsgrad
$\rho$	densitet ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\tau$	tid (s)

## Index

<i>B</i>	bulk(temperatur)
<i>b</i>	köldbärare ("brine")
<i>C</i>	Carnot (verkningsgrad)
<i>dyn</i>	dynamiskt (tryck)
<i>em</i>	el till kompressormotor
<i>evp</i>	el till värmepump
<i>evpa</i>	el till värmepumpanläggning
<i>eva</i>	el till värmeanläggning
<i>för</i>	förlust
<i>I</i>	ström
<i>in</i>	in
<i>kb</i>	köldbärare
<i>m</i>	mass (flöde, koncentration)
<i>p</i>	tryck (konstant tryck, ljudtryck)
<i>r</i>	strålningsrelaterad värmetransport
<i>rad</i>	radiator
<i>rum</i>	rum
<i>stat</i>	statiskt (tryck)
<i>tva</i>	tillsatsvärmeanläggning
<i>tot</i>	totalt (tryck)
<i>U</i>	spänning
<i>ut</i>	ut
<i>v</i>	volym (flöde, koncentration)
<i>vb</i>	värmebärare
<i>vp</i>	värmepump
<i>vpa</i>	värmepumpanläggning
<i>va</i>	värmeanläggning
<i>W</i>	ljudeffekt
<i>w</i>	vatten (water)
<i>z</i>	koordinatriktning (längs rörelseaxel)
$\alpha$	konvektiv värmetransport
$\lambda$	konduktiv värmetransport
<i>1</i>	kondensator (högtryckssida, värmeeffekt, värmefaktor)
<i>2</i>	förångare (lågtryckssida, kyleffekt, köldfaktor)

## Förkortningar: Organisationer

AREP	Atmospheric Research and Environment Program (of WMO)
ARI	Air-conditioning and Refrigeration Institute
ASERCOM	Association of European Refrigeration Compressor Manufacturers
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
CEN	Comité Européen de Normalisation (European Committee for Standardization)
CECOMAF	Comité Européen des Constructeurs de Matériel Frigorifique
CIPM	Conference International des Poids et Mesures
CETIAT	Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques
DTI	Teknologisk Institut (Danish Technological Institute)
Elforsk	Svenska elföretagens forsknings- och utvecklings AB
EUROVENT/ CECOMAF	European Committee of Air Handling and Refrigeration Equipment Manufacturers (EUROVENT och CECOMAF gick ihop 1996)
IIR	International Institute of Refrigeration
ISO	International Organization for Standardization
NKW	Nordostschweizerische Kraftwerke
NT	Nordtest
OIML	Organisation International de Métrologie Légale
SINTEF	Stiftelsen for industriell og teknisk forskning ved Norges tekniske høyskole
SMS	Svensk Material & Mekanstandard
SP	Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB (Swedish National Testing and Research Institute)
STEM	Statens Energimyndighet
SVEP	Svenska värmepumpföreningen
SWEDAC	Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (Swedish Board for Accreditation and Conformity Assessment)
TNO	Netherlands Organization for Applied Scientific Research
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WMO	World Meteorological Organization

## Förkortningar: Övriga

FDD	Fault Detection & Diagnosis
BEMS	Building Energy Management System
EMC	Electromagnetic Compatibility

## Sammanfattning

Det finns ett allmänt intresse för att höja effektiviteten i alla slags utrustningar och i synnerhet för eldriven utrustning. I ett globalt perspektiv förbrukar värmepumpar och kylmaskiner ca 10 % av den levererade elenergin och kommer därför att vara primära måltavlor för effektivitetsförbättringar. För att underlätta beslut om vilka åtgärder som bör vidtas måste det finnas lämpliga medel och metoder för att på plats bedöma funktionen i verkliga anläggningar.

Föreliggande rapport innehåller en kommenterad lista över referenser om utvärdering av värmepumpar och kylmaskiner beträffande praktiska erfarenheter, formella och informella provningsmetoder samt metoder för att bestämma nödvändiga mätstorheter. Den allmänna slutsatsen är att det finns väldigt få officiella provningsmetoder för att bestämma prestanda under fältmässiga förhållanden medan det finns ett stort antal metoder för laboratoriebruk. De enda formella metoder som kommit fram i översikten har samtliga utvecklats i Sverige, ibland med danskt samarbete, och finns utgivna som SP\*-metod, svensk standard eller Nordtestmetod. Därför finns det ett tydligt behov av att fortsätta utvecklingen av fältmetoder, särskilt för små och mellanstora anläggningar.

För denna typ av utrustning finns Nordtestmetoder och kommersiellt tillverkad utrustning tillgängliga (baserade på mätning av temperatur och tryck i köldmediekretsen). Emellertid medför introduktionen av nya typer av köldmedier (speciellt blandningar), nya kompressorer, nya expansionsanordningar och olika former av kapacitetsreglering att det blir nödvändigt med vidareutveckling och validering av mätosäkerheten.

Rapporten sammanfattar resultaten av en förundersökning inom ämnesområdet och utgör den inledande fasen av ett projekt inom det svenska ramprogrammet Klimat 21 för forskning om energieffektiva kyl- och värmepumpanläggningar. Elforsk\*\* har initierat projektet och SP\* har varit forskningsutförare. Elforsk och Statens Energimyndighet har tillsammans finansierat projektet.

\* SP = Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB

\*\* Elforsk = Svenska elföretagens forsknings- och utvecklings AB

**Sökord:** driftförhållanden, effektivitet, energi, fältprovning, kylanläggning, mätning, osäkerhet, prestanda, provning, värmepump.

# 1 Inledning

Denna rapport sammanfattar resultaten av en förundersökning beträffande metoder för att bestämma prestanda i kyl- och värmepumpanläggningar under fältmässiga förhållanden. Arbetet utgör den inledande fasen av ett projekt inom det svenska ramprogrammet Klimat 21 för forskning om energieffektiva kyl- och värmepumpanläggningar. Elforsk har initierat projektet, SP har varit forskningsutförare medan Statens Energimyndighet tillsammans med Elforsk har finansierat arbetet.

## 1.1 Bakgrund

Fältmätningar på värmepumpar och kylanläggningar visar ofta att prestanda ligger klart under vad som är teoretiskt och praktiskt möjligt. Det finns således en stor potential för energieffektivisering i såväl befintliga som planerade anläggningar. För att uppskatta förbättringspotentialen i en specifik anläggning måste man emellertid ha kunskap om anläggningens status. Trots att det i många fall finns starka ekonomiska incitament för att regelbundet utföra någon form av statusbestämning görs detta emellertid av olika skäl ganska sällan. En viktig anledning har varit att lämpliga metoder och instrumentering saknats, speciellt för små och medelstora anläggningar. Tillkomsten av olika europastandarder har inte medfört någon förändring i detta avseende eftersom dessa standarder bara avser laboratorieprovningar. Detta gäller även de flesta andra standarder inom området, både nationella och internationella, så det finns ett stort behov av utveckling beträffande fältmässiga metoder.

I Sverige har organisationer som SP, de tekniska högskolorna och Vattenfall samt konsulter och installatörer arbetat med mätning och provning av värmepumpar såväl i fält som i laboratorium i mer än 20 år. För detta ändamål har man därvid utvecklat olika former av provnings- och mätteknik. I början på 1980-talet fanns ett växande behov både av noggranna och av enkla, billiga metoder. Noggranna metoder krävdes för de stora värmepumpanläggningarna i fjärrvärmenäten, vilka installerades på rent kommersiella villkor. I samband med driftsättningen fanns oftast krav på prestandaprov med tillhörande bonus- och vitesbelopp i kontraktet. Enkla och billiga metoder var nödvändiga för de små villavärmepumparna och sågs t.ex. som en förutsättning vid lanserandet av garantisystemet VPG84<sup>[201-205, 223]</sup>. VPG84<sup>[222]</sup>, utarbetad av SVEP i samråd med Konsumentverket och SP, innehöll bl.a. en effektgaranti som måste kunna verifieras. SP tog fram metoder för båda tillämpningarna och några av dessa har sedan vidareutvecklats till svenska och nordiska standarder. För större fastigheter fanns en motsvarande effektgaranti i VPG-Fastighet<sup>[221]</sup>.



## 1.2 Syfte och genomförande

Det arbete som redovisas i denna rapport syftar till att sammanställa dagsläget när det gäller tillgång och kvalitet på metoder och utrustning för utvärdering av kyl- och värmepumpanläggningar under fältmässiga förhållanden. Sammanställningen ger ett beslutsunderlag för utformningen av projektets nästa fas. Dessutom ger rapporten en översikt över kunskapsläget och vilka verktyg som idag finns tillgängliga för utvärderingar i fält.

Arbetet har genomförts med hjälp av litteratursökning och personliga kontakter. I litteratursökningen ingår dels använt eget underlag, som insamlats under årens lopp, dels har IIRs databas FRIDOC och hemsidorna för ASHRAE, ARI, Nordtest etc. använts. Dessutom har personliga kontakter tagits med SMS (Stockholm, SE), DTI (Århus och Tåstrup, DK), CETIAT (Lyon, FR), TNO (Apeldoorn, NL), SINTEF (Trondheim, NO), NKW (Töss, CH), m.fl. Resultaten av litteratursökningen har organiserats i en egen databas med hjälp av programmet EndNote. Med hjälp av EndNote kan man lätt hämta referenser under löpande skrivarbete i t.ex. Word och sedan få en sammanställning i valfritt format. De personliga kontakterna har även utnyttjats för att diskutera praktiska erfarenheter från genomförda tester. I det sammanhanget har diskussioner förts även med konsulter och företag som tillverkar mätutrustning, t.ex. Berglöfs Kylteknologi och ETM.

## 1.3 Rapportens utformning

Rapporten består huvudsakligen av följande avsnitt:

- diskussion kring behov, krav och förutsättningar för fältmässiga mätningar,
- referenser med kommentarer, organiserade efter teknikområden och typ av referens,
- diskussion kring fortsatt behov av forskning,
- alfabetisk bibliografi.

Tanken med två referenslistor är att man normalt använder den kommenterade listan, som är indelad efter teknikområden. I den mån man blir intresserad av en speciell referens kan man i den alfabetiska bibliografin hitta de bibliografiska uppgifter som är nödvändiga för att kunna beställa referensen. Den kommenterade listan omfattar endast ett urval av det totala materialet i kapitel 5.

**Litteraturreferenser** anges i löpande text med referensnumret från den alfabetiska bibliografin som exponent inom hakparentes, t. ex. ... enligt NTVVS076<sup>[177]</sup> .....

## 2 Behov, krav och metoder

Följande avsnitt diskuterar kortfattat vilka olika behov och anledningar som kan föranleda fältmässig provning av kyl- och värmepumpanläggningar. Den främsta anledningen är normalt att någon, beställare, brukare eller annan, har förväntningar på anläggningens prestanda. Det är i detta sammanhang viktigt att komma ihåg att **mätning och provning utgör underlag för beslut**. Ju viktigare beslut desto större krav måste man ställa på mätningen och ju större de ekonomiska konsekvenserna av ett felaktigt beslut kan vara desto mer resurser kan man lägga på en utvärdering. Därför diskuteras även vilka krav man kan ställa på metoder och utrustning.

### 2.1 Förväntade prestanda

Vilka prestanda kan man förvänta sig av en kyl- eller värmepumpanläggning? Det enkla och naturliga svaret är att man har rätt att förvänta sig det man blivit lovad. Då blir nästa fråga: ”Vad har jag blivit lovad?”. I praktiken gäller ofta att som man ropar i skogen får man svar. Ropar man inte kommer sällan några svar och kommer det några är risken stor att det inte är svar på de frågor man borde ställa. Här vilar ansvaret till lika stora delar på beställare och leverantör. Beställarens engagemang är en grundläggande förutsättning för att rätt frågor ställs och att en bra **kravspecifikation** utarbetas.

Oavsett om det finns en kravspecifikation eller inte kan det vara lämpligt att jämföra sin anläggning mot **nyckeltal** av olika slag för att se vilket utrymme som finns för eventuella förbättringar. Nyckeltalen kan t.ex. baseras på ”state-of-the-art” värden, tillverkarens uppgifter, resultat från leveransprovning eller egna erfarenhetsvärden. Så kan man t.ex. bedöma kompressorns funktion utifrån dess isentropa verkningsgrad, i de fall man har tillräckliga mätningar från köldmediekretsen. På nästa nivå kan värmepumpens funktion bedömas utifrån dess Carnotverkningsgrad,  $\eta_{C1}$  respektive  $\eta_{C2}$ , med avseende på värme- eller kylprocessen. Beroende på processens utformning kan  $\eta_{C1}$  vara upp mot 0,65-0,80 i stora anläggningar och mellan 0,5-0,65 i små. Carnotverkningsgraderna kan emellertid vara höga utan att värmepumpanläggningen fungerar bra. Går anläggningen med för hög kondensering och/eller för låg förångning kan fortfarande Carnotverkningsgraden vara hög eftersom den verkliga processen jämförs med en ideal process mellan samma temperaturnivåer. Därför måste värmepumpanläggningens köld- eller värmefaktor jämföras med andra liknande anläggningar och mot beräknade värden. Detta gäller även det sista steget, systemfaktorn för hela värme/kylanläggningen.

I vissa fall kan det vara värt att göra en separat kravspecifikation för pump- och fläkteffekter. Energibehovet för distribution skall vara marginell i förhållande till den kyla eller värme som distribueras (mindre än 5-10 %). Detta gäller i synnerhet anläggningar där värmepumpens dimensionerande effekt är hög i jämförelse med medelbehovet (låg utnyttjningstid). Dimensionerande flöde bestäms av värmepumpens fullasteffekt och behövs normalt inte. Exempel: En villavärmepump med kompressoreffekten 1 kW går 10 % av tiden under vår/höst. Om cirkulationspumpen, 50 W, och fläkten i en konvektor, också 50 W, går kontinuerligt blir medel-effekten för distribution lika stor som medeleffekten till kompressorn. Därmed halveras värmepumpanläggningens värmefaktor!

De **ekonomiska konsekvenserna** kan i många anläggningar bli stora om förväntningarna inte uppfylls. Som exempel kan nämnas de stora värmepumparna i fjärrvärmenäten. Tabell 2.1.1 visar ett utfall baserat på ett verkligt prestandaprov.

Tabell 2.1.1. Exempel från garantiprov på värmepump.

Storhet	Garanterat värde		Uppmätt värde	
	Fullast	Dellast	Fullast	Dellast
Värmeeffekt, MW	16,6	8,4	18,3	9,4
Eleffekt, MW	5,0	2,7	5,9	3,6
COP <sub>1</sub>	3,3	3,1	3,1	2,6

Utfallet beträffande värmefaktor är något sämre än garanterat. Trots att avvikelsen är måttlig, 6 % på fullast, blir merkostnaden för driften ca. 1200 kkr per år (exklusive skatter). Kalkylen förutsätter oförändrad värmeleverans över året varav dellast under 4 månader och fullast under 8 månader. Kostnaden för effektabonnemanget är 292 kr/kW och energipriset 10 respektive 15 öre/kWh vid låg respektive höglasterperiod (höglaster oktober till april). Energiskatt och moms tillkommer. Resultat:

**Merförbrukning av el per år**

- Dellast: 1522 MWh
- Fullast: 1895 MWh

**Merkostnad för el per år**

- Dellast: 382 kkr + energiskatter och moms
- Fullast: 547 kkr + energiskatter och moms
- Effektabonnemang: 263 kkr + energiskatter och moms
- Totalt:** 1192 kkr + energiskatter och moms

Med typiska temperaturdifferenser kan i detta fall ett mätfel på 0,1 K motsvara ett fel på värmeleveransen värt mer än 500 kkr per år.

## 2.2 Verifiering av förväntade prestanda

Om det är viktigt att uppnå förväntade prestanda måste beställaren, gärna i samråd med leverantören, utarbeta en kravspecifikation som är tillräckligt detaljerad. Dessutom måste, för varje kvantifierat krav, en plan finnas för hur kraven skall verifieras. Om inte tillräckliga resurser avsätts för denna plan och dess genomförande säger beställaren indirekt att kraven egentligen inte är så viktiga. För att kunna göra en korrekt verifiering måste man beakta följande:

- Systemgränser
- Metod för redovisning av prestanda
- Metod för omräkning till garantipunkter
- Mätmetod och noggrannhet

Innan man börjar diskutera mätmetoder och mätosäkerheter bör man försöka att sortera bort de grova fel som kan uppstå på grund av att man inte menar samma saker. Leverantören bör vara medveten om att det inte bara är kontrollmätningen som har en osäkerhet. Hans egna garantivärden är också behäftade med mät- och beräkningsosäkerheter och det finns variationer i tillverkningen. Till detta kommer också osäkerheter i driftpunktens bestämning vilket ger ytterligare en osäkerhet vid omräkning till garantipunkten. Det finns alltså anledning till eftertanke om vilka marginaler som behövs för att vara säker på att klara ett åtagande. I slutändan blir det en kalkylerad riskbedömning, precis som OC-kurvorna i tillverkningskontroll, beträffande risken för att godkänna en felaktig anläggning eller underkänna en korrekt anläggning.

Filosofin bakom valet av säkerhetsmarginal för angivna tekniska data varierar. Många tillverkare ger intryck av att ange värden som är teoretiskt möjliga men som aldrig uppnås, d.v.s. ett värde som de flesta enheter understiger. Andra (ett fåtal) tillverkare anger värden som de flesta enheter överstiger. I anläggningar som aldrig kontrollmäts är sannolikheten stor att felaktiga uppgifter aldrig ifrågasätts. Även i de fall kontrollmätning föreskrivs tas det säkert kalkylerade risker, där risken för underkännande och vitesbelopp ställs mot kostnaden för att förlora en order p.g.a. att angivna prestanda inte når upp till konkurrenternas data.

Vid verifiering av tekniska data måste man naturligtvis planera mätningarna utifrån de systemgränser som ligger till grund för garanterade värden. Dessutom måste man i förväg klargöra hur omräkningar skall utföras för att korrigera avvikelser från garantiförutsättningarna beträffande driftförhållanden och mätpositioner. Den svenska standarden SS2620<sup>[211]</sup> ger anvisningar om hur detta bör utföras. Leverantören skall tillhandahålla tillräckligt underlag för hur prestanda varierar med driftförutsättningarna så att det i efterhand är möjligt att interpolera sig fram till de aktuella förutsättningarna i anläggningen. En annan möjlighet är att använda ett i förväg överenskommet beräkningsverktyg, t.ex. ett simuleringsprogram av typen REFREX<sup>[176]</sup> eller CoolPack<sup>[153]</sup>. Med dessa program kan man simulera funktionen för värme-pumpsystem genom att välja olika komponenter som kompressor, värmeväxlare, rördimensioner, köldmedium, köld- och värmebärare m.m. Ett sådant program kan inte bara användas för att i förväg beräkna prestanda för en anläggning. Genom att kalibrera programmet mot aktuella mätvärden för en given anläggning kan det också användas för att räkna bakåt för att se vad uppmätta värden motsvarar i en garantipunkt. Även komponentleverantörernas egna program kan vara användbara för detta ändamål.

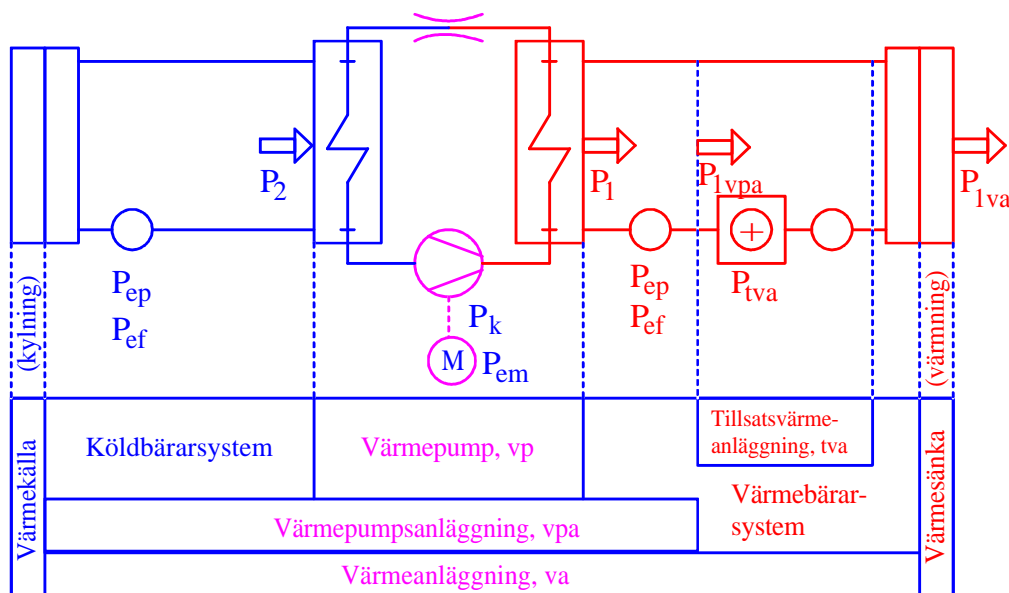
## 2.3 Redovisning och beräkning av tekniska data

Sättet att presentera tekniska data varierar. För att undvika missförstånd i dialogen mellan beställare och leverantör är det lämpligt att i första hand hänvisa till etablerade standarder för beräkning och redovisning av prestanda. I de fall standarder saknas eller är olämpliga/otillräckliga får man försöka hänvisa till egna dokument eller tillsammans göra en skrivning som bilaga till kontraktet.

Stora och medelstora anläggningar är ofta kundspecifika och kräver individuellt framtagna data för varje anläggning. För mindre, massproducerade enheter finns olika typer av certifieringssystem för att kvalitetssäkra prestandauppgifterna (EUROVENT<sup>[80]</sup>, typgodkännande<sup>[216]</sup>, energideklaration<sup>[226, 227]</sup> m.m.). För konsumentprodukter utformas ofta rekommendationer i samråd mellan en branschorganisation och Konsumentverket, t.ex. för småhusvärmepumpar.

### 2.3.1 Systemgränser

Figur 2.3.1 ger ett exempel på definition av systemgränser enligt den svenska standarden SS2620<sup>[211]</sup>. Denna standard är också tagen som dansk standard och Nordtestmetod och är mycket användbar. Observera att det finns vissa viktiga skillnader mellan SS2620 och de europeiska standarderna för laboratorieprovning. Europastandarderna definierar bara en värmefaktor och denna anges med pumpeffekterna korrigerade till 0 Pa extern tryckdifferens ut från värmepumpanläggningen. Alla korrekationer görs med pumpverkningsgraden 0,3, vilket är för högt för små anläggningar och för lågt i stora anläggningar. Om mätningar görs i en anläggning med exempelvis ett EUROVENT-certifierat vätskekyllaggregat bör man vara medveten om detta vid en jämförelse mot de certifierade värdena.



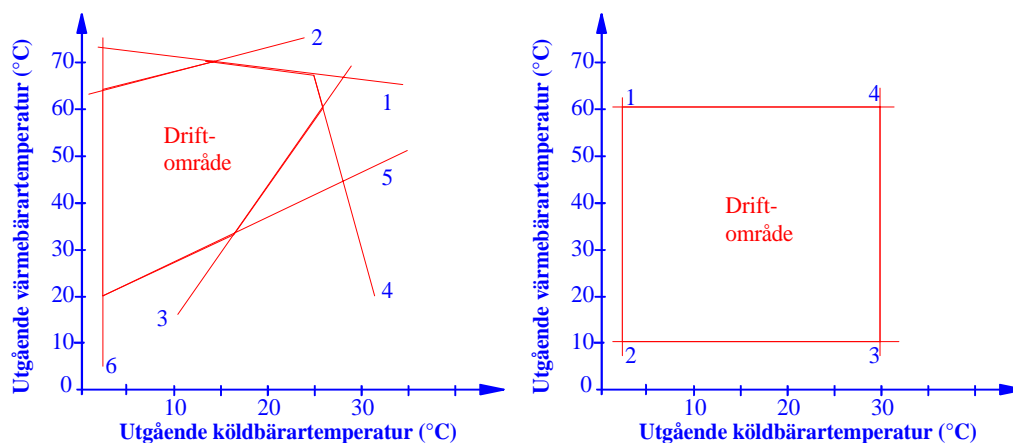
Figur 2.3.1. Systemgränser för bestämning av värmefaktor enligt SS2620<sup>[211]</sup>.

### 2.3.2 Prestanda

Begreppet prestanda kan innehålla många enskilda komponenter. Vilka som är viktiga måste avgöras från fall till fall utifrån brukarens behov. De vanligaste komponenterna är:

- Värmeeffekt/kyleffekt,
- Driveffekt,
- (Värmefaktor/köldfaktor),
- Driftområde.

I många sammanhang kan driftområdet vara väl så viktigt för det ekonomiska resultatet som effekt och energi. Värmepumpar som måste gå på dellast eller stängas helt på grund av olika begränsningar ger naturligtvis en kraftigt reducerad besparing. Likaså får man stora problem med en kylanläggning som inte kan leverera tillräckligt låga temperaturer p.g.a. begränsningar i driftområdet. Figur 2.3.2 ger några exempel på beskrivning av driftområden enligt SS2620<sup>[211]</sup>.



Figur 2.3.2. Exempel på metoder att ange driftområden enligt SS2620<sup>[211]</sup>.

Beträffande termiska prestanda är effekt och energi de storheter som primärt behöver specificeras. Värme- och köldfaktorerna är viktiga som verkningsgradsmått/nyckeltal, men beräknas normalt utifrån effektuppgifterna. Oavsett vad som specificeras är det mycket viktigt att ange de systemgränser och de driftförhållanden som är förutsättningen för de tekniska datauppgifterna.

### 2.3.3 Standarder och metoder för redovisning

Under en dryg tioårsperiod har ett antal europeiska standarder utvecklats för bestämning och redovisning av tekniska data för värmepumpar och kylmaskiner. Dessa standarder revideras nu och för de som berörs är det viktigt att lämna synpunkter. För att åstadkomma förändringar måste synpunkterna vara väl underbyggda och i vissa fall kan det finnas behov av s.k. ”co-normative” och ”pre-normative research”. Inom Energimyndighetens forskningsprogram Klimat 21 finns vissa möjligheter att bedriva denna typ av arbete. Inom Nordtest pågår ett utvecklingsprojekt för anläggningar med kapacitetsreglerade kompressorer och det finns även möjligheter att starta projekt inom EU’s femte ramprogram. Nedan följer en lista över aktuella europeiska standarder:

- EN255-1:1997<sup>[71]</sup>, "Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 1: Terms, definitions and designations".
- EN255-2:1997<sup>[72]</sup>, "Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 2: Testing and requirements for marking for space heating units".
- EN255-3:1997<sup>[73]</sup>, "Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 3: Testing and requirements for marking for sanitary hot water units".
- EN255-4:1997<sup>[74]</sup>, "Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 4: Requirements for space heating and sanitary hot water units".
- EN810:1997<sup>[75]</sup>, "Dehumidifiers with electrically driven compressors - Rating tests, marking, operational requirements and technical data sheet".
- EN814-1:1997<sup>[76]</sup>, "Air conditioners and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode - Part 1: Terms, definitions and designations".
- EN814-2:1997<sup>[77]</sup>, "Air conditioners and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode - Part 2: Testing and requirements for marking".
- EN814-3:1997<sup>[78]</sup>, "Air conditioners and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode - Part 3: Requirements".
- EN12055:1998<sup>[79]</sup>, "Liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode - Definitions, testing and requirements".
- SS-ENV12102:1997<sup>[214]</sup>, "Luftkonditioneringsaggregat, värmepumpar och avfuktare med eldrivna kompressorer - Mätning av luftburet buller - Bestämning av ljudtrycksnivå".

Dessa standarder är framtagna för att märka och energideklarera produkter så att apparater av likartad typ kan jämföras. Däremot ges sällan tillräcklig information för att man skall kunna göra exempelvis säsongsvisa energiberäkningar. Europastandarderna beskriver också metoder för att bestämma tekniska data genom laboriemätningar. Tyvärr saknas emellertid metoder för att verifiera prestanda på plats i anläggningar. Det är dock sannolikt att CEN-standarderna kommer att få ökad betydelse även för mätningar i anläggningar eftersom certifierade produkter kommer att ha data framtagna enligt Europa standard. Oavsett hur mätningen i fält sker kan det därför bli en redovisning enligt Europamodell som ger jämförelsevärdena vid godkännande eller underkännande av en anläggning. För mätningar i anläggningar verkar det bara finnas metoder framtagna i Sverige (se avsnitt 2.4).

### 2.3.4 Beräkning och omräkning

Vid leveranskontroll av en anläggning skall uppmätta prestanda jämföras med angivna värden. Har redovisningen skett enligt Europeanorm är det viktigt att känna till de olika korrigeringar och omräkningar som föreskrivs i standarderna innan jämförelsen görs. Dessutom måste den verkliga driftpunkten på något sätt räknas om till jämförelsepunkten (se avsnitt 2.5.3). Detta diskuteras ganska ingående i SS2620<sup>[211]</sup>.

## 2.4 Fältmässig provning

Ställer man krav måste man också ange metoder för att verifiera kraven, annars riskerar kravspecifikationen att bli ett skott i luften. Beträffande stora värmepumpanläggningar är den svenska standarden SS2620<sup>[211]</sup> etablerad i samband med kontraktsprovningar. Denna standard finns också på engelska som Nordtestmetoden NTVVS076<sup>[177]</sup>. För närvarande finns emellertid en brist på enkla metoder och därför genomfördes under 1994-1996 ett Nordtestprojekt<sup>[96, 97]</sup> med syfte att utarbeta metoder på flera nivåer. Resultatet av arbetet omfattar följande delar:

- Refrigeration and heat pump equipment - General conditions regarding field testing and presentation of performance<sup>[96]</sup> (NTVVS115),
- Refrigeration and heat pump equipment - Functional tests (saknas),
- Refrigeration and heat pump equipment - Check-ups and performance data inferred from measurements in the refrigerant system<sup>[97]</sup> (NTVVS116),
- Large heat pumps - Field testing and presentation of performance<sup>[177]</sup> (NTVVS076),
- Large refrigeration systems - Field testing and presentation of performance (saknas).

Metoderna avser att täcka behovet av funktionskontroll och prestandamätning på fyra nivåer med följande inriktning:

- Enkla funktionsprovningar av kyl- och värmepumpanläggningar;
- Prestandakontroll av kyl- och värmepumpanläggningar,  
- ungefärlig osäkerhet:  $\pm 15$  % (nivå 3);
- Prestandamätning i kyl- och värmepumpanläggningar,  
- ungefärlig osäkerhet:  $\pm 10$  % (nivå 2),  
- ungefärlig osäkerhet:  $\pm 5$  % (nivå 1).

Nivå 1 och 2 behandlas i SS2620 (extern mätning, se avsnitt 2.6.1). Beträffande nivå 3, vilken baserar sig på mätningar i köldmediesystemet (intern mätning, se avsnitt 2.6.2), har läget ändrat sig ganska radikalt sedan Nordtestarbetet genomfördes. För metodens tillämpning på nya typer av köldmedier, speciellt de zeotropa blandningarna, behöver en hel del nya undersökningar göras. Detta är en av anledningarna till att man inom Energimyndighetens forskningsprogram Klimat 21 försöker få igång ett doktorandprojekt runt denna frågeställning.





## 2.5.2 Stabil drift

I både laboratoriemetoder och fältmätningmetoder finns vanligtvis krav på stabil drift som en viktig förutsättning för att kunna utföra en bra mätning. Oftast tänker man i detta sammanhang på mer eller mindre cykliska pendlingar men det svåraste problemet vid anläggningsprovningar har man förmodligen med glidande temperaturer. I situationer där anläggningen arbetar till och från har man hela tiden en upplagring och urlagring av energi i systemet. Det gäller då att mäta på ställen där man får så liten termisk massa som möjligt innanför sin systemgräns. Med utgångspunkt från figur 2.5.1 får vi följande samband:

$$P_1 = M_1 \cdot c_{p1} \cdot \frac{\partial t_1}{\partial \tau} + P_{1vp}$$

(inlagring av värme i kondensorn)

$$P_{1vp} + \xi \cdot P_{ep} = M_{vb1} \cdot c_{pvb} \cdot \frac{\partial t_{vb}}{\partial \tau} + P_{1vpa}$$

(inlagring av värme i värmebärarsystemet och värmetillskott från cirkulationspumpen)

$$P_{1vpa} + \eta_{tva} \cdot P_{tva} = M_{vb2} \cdot c_{pvb} \cdot \frac{\partial t_{vb}}{\partial \tau} + P_{1va}$$

(inlagring av värme i värmebärarsystemet och värmetillskott från tillsatsvärmeanläggningen)

$$P_{1va} + \xi \cdot P_{eprad} = M_{rad} \cdot c_{prad} \cdot \frac{\partial t_{rad}}{\partial \tau} + P_{1rad}$$

(inlagring av värme i radiatorsystemet och värmetillskott från cirkulationspumpen)

Dynamiska fel som orsakas av en glidande temperatur ges således av produkten av termisk massa och temperaturderivata. Den största temperaturderivatan, och därmed det största felet, får man vid små laster (vilket också ger korta gångtider). Den minsta termiska massan får man vid mätning direkt på värmepumpens anslutningar. Även i detta fall kan emellertid felet bli betydande. På en liten villavärmepump kan exempelvis temperaturderivatan bli ca. 0,1 K/s (6 K/min) under vår och höst. Genom att skatta massan i kondensorn med tillbehör kan inlagringen av värme beräknas ge ett mätfel av storleken -5 till -10 %.

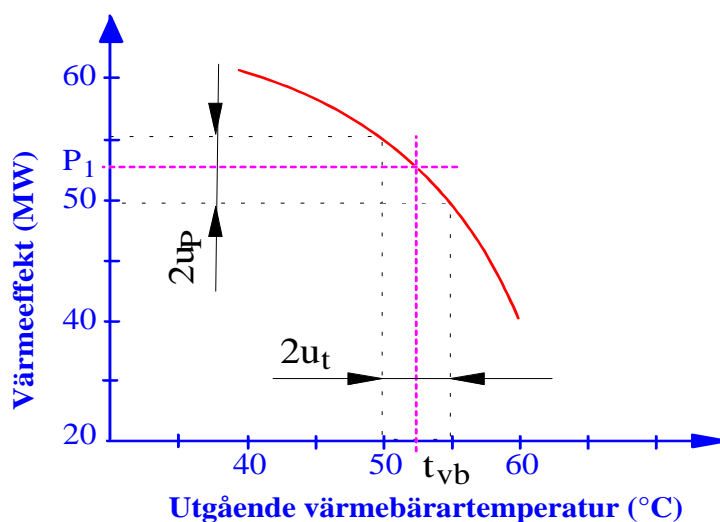
Naturligtvis ger även cykliska pendlingar upphov till fel och osäkerheter. Pendlingarna ger en osäkerhet i bestämningen av medelvärdet. Storleken på felet beror av pendlingens amplitud och frekvens samt av givarnas dynamiska egenskaper och mätfrekvensen. Givarnas tidskonstanter sätter gränsen för hur korta mätintervall det är meningsfullt att använda. Har man tröga givare kommer dessa att visa bra medelvärden men man får ingen information om variationerna och kommer därmed att kraftigt underskatta mätosäkerheten. Dessutom kan man få fel i beräknade storheter (t.ex. värmeeffekt = produkten av flöde och temperaturdifferens) även om de ingående medelvärdena är korrekta. Det är inte säkert att medelvärdet av en produkt är detsamma som produkten av medelvärdena. Bäst är att ha snabba givare och att beräkna härledda storheter för varje uppsättning mätvärden och sedan medelvärdesbilda de beräk-

nade värdena. Därmed blir även osäkerheten betydligt mindre. Den sämsta situationen får man när pendlingsfrekvensen överensstämmer med mätfrekvensen.

Ett annat problem i anläggningar som går till och från får man då pumpar eller fläktar går kontinuerligt. Även om effekterna är låga kan energibehovet bli jämförbart med kompressorns när denna har kort relativ gångtid. Sammanfattningsvis kan man säga att enda sättet att kunna genomföra en bra mätning, vare sig det är i laboratorium eller i en anläggning, är att åstadkomma förhållanden som medger en kontinuerlig, stationär drift av anläggningen.

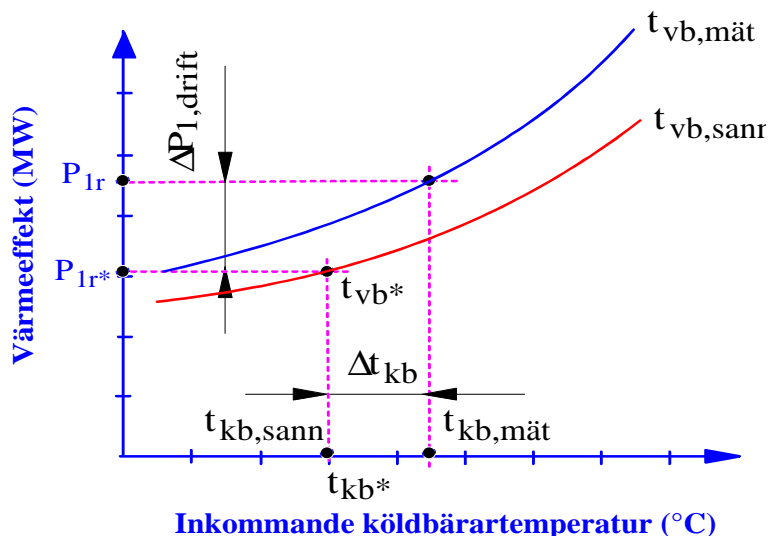
### 2.5.3 Jämförelsemätning

Vid jämförelsemätningar<sup>[94, 211]</sup> tillkommer, utöver de rena mätosäkerheterna, osäkerheter beträffande vilka värden som skall jämföras. Om vi förutsätter att det garanterade värdet ur beställarens synvinkel saknar osäkerhet (ett givet värde vid givna driftförhållanden) måste man ändå ta hänsyn till att man har en osäkerhet i bestämningen av driftförhållandena vid kontrollmätningen (se figur 2.5.2).



Figur 2.5.2. Exempel på hur en osäkerhet i bestämningen av temperatur kan ge en osäkerhet i referensvärdet för en jämförelsemätning<sup>[94]</sup>.

Eftersom värmepumpars prestanda ändrar sig påtagligt med flöde och temperatur ger detta en osäkerhet om vilka driftförhållanden garantipunkten skall räknas om till. Utöver den osäkerhet i effektberäkningen, som en osäkerhet i mätningen av värmebärartemperatur orsakar, tillkommer således en osäkerhet beträffande den uppmätta jämförelsepunkten (se figur 2.5.3).



Figur 2.5.3. Exempel på osäkerhet vid jämförelse mellan uppmätt värde och ett referensvärde.  $t_{kb}^*$  och  $t_{vb}^*$  anger den sanna, okända driftpunkten,  $P_{1r}$  det använda referensvärdet och  $P_{1r}^*$  det värde som skulle använts om bestämningen av driftpunkt varit felfri<sup>[94]</sup>.

## 2.6 Mätmetoder

Det finns enligt den tidigare diskussionen två olika typer av standardiserade mätmetoder:

- Extern mätning (värmemätning med hjälp av flöde och temperaturdifferens),
- Intern mätning (beräkning med hjälp av mätta tryck och temperaturer i köldmediekretsen).

De externa och interna metoderna kallas ofta direkt respektive indirekt mätning. Dessa benämningar är emellertid inte helt logiska eftersom man i båda fallen indirekt bestämmer värmeeffekt/värmefaktor via mätningar av ett antal andra storheter. Jag har istället valt att skilja mellan mätning utanför värmepumpen (externt) respektive inuti köldmediekretsen (internt). Oavsett metod krävs dock att driften är stabil under tillräckligt lång tid för att en mätning skall ge relevanta värden samt att det finns möjlighet att installera givare på lämpliga ställen. Storheter som kan behöva mätas är:

- köld- och värmebärartemperaturer
- yttemperaturer i köldmediesystem,
- köld- och värmebärarflöden,
- köldmedietryck,
- driveffekter (kompressorer, pumpar, fläktar).

Nedan följer översiktliga beskrivningar av de båda provningsmetoderna och mätning av individuella storheter. Av de individuella storheterna beskrivs i första hand mätning av temperatur och tryck, vilka krävs för den interna metoden. Beträffande övriga storheter ges några referenser.

### 2.6.1 Extern mätning av värmeeffekt och värmefaktor

Det normala sättet att bestämma värmeeffekt är genom mätning<sup>[94]</sup> av flöde och temperatordifferens (jämför figur 2.5.1). Fördelen med extern mätning är att metoden är välkänd och att dess noggrannhet går att fastställa ganska väl. Nackdelen är att systemet måste förberedas med installation av flödesmätare och dykfickor för temperaturgivare. Att i efterhand tappa ur ett vätskesystem för att göra denna installation är kostsamt.

### 2.6.1.1 Metod

Värme- eller kyleffekten ( $P$ ) beräknas genom uppmätta värden på volymflöde ( $q_v$ ) densitet ( $\rho$ ) specifik värmekapacitet ( $c_p$ ) och skillnaden mellan utloppstemperatur ( $t_{ut}$ ) och inloppstemperatur ( $t_{in}$ ) enligt:

$$P = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{ut} - t_{in})$$

Eleffekten ( $P_e$ ) mäts direkt med effektmätare eller indirekt via energimätare och tid, spänning-ström-effektfaktor etc. Värmefaktorn beräknas sedan direkt via:

$$COP = \frac{P}{P_e}$$

Metodiken finns väl beskriven i SS2620<sup>[211]</sup> och det finns många handböcker<sup>[94]</sup> som beskriver olika metoder att mäta flöden och temperaturer. Det finns även vissa möjligheter att mäta flöden utan att öppna ett system, t.ex. genom att studera utbredningen av värmepulser, med hjälp av spårämnen<sup>[146]</sup> eller med utanpåliggande ultraljudsmätare<sup>[59]</sup>.

### 2.6.1.2 Förutsättningar

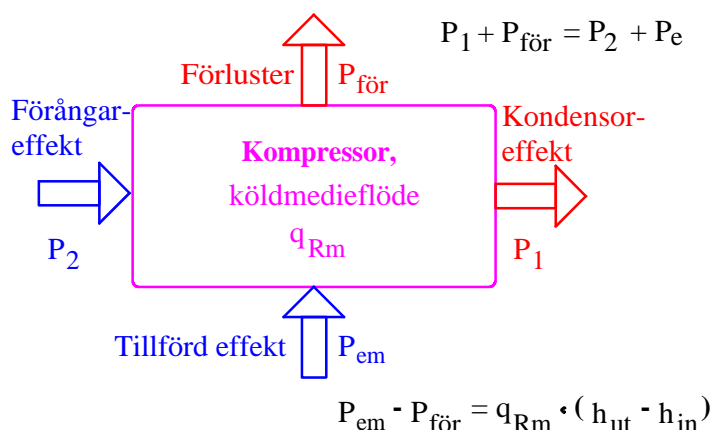
Metoden förutsätter att termofysikaliska data för värme- och/eller köldbärare är tillräckligt väl kända. För luft och vatten är detta inte något problem medan olika typer av köldbärandeblandningar<sup>[95]</sup> ofta saknar validerade data (detta kan många gånger ge större fel än mätningarna i sig). Densiteten skall beräknas med utgångspunkt från tryck och temperatur vid flödesmätaren medan specifik värmekapaciteten tas vid medelvärdet av temperaturerna in och ut (egentligen ett integrerat medelvärde men  $c_p$  varierar ganska lite inom rimliga temperaturintervall). Till metodens förutsättningar hör också att givarna måste kunna installeras på ett lämpligt sätt och vid ett relevant gränssnitt i anläggningen (jämför figur 2.5.1). Observera att flödesmätare ofta kräver långa raksträckor (längre än vad leverantörerna normalt anger).

### 2.6.1.3 Osäkerhet och erfarenheter

Erfarenheter<sup>[95]</sup> från laboriemätningar (t.ex. via s.k. Round Robin tester) visar att det är möjligt att bestämma värmeeffekt med en osäkerhet som är mindre än 1-2 %. Detta förutsätter mycket arbete och exklusiv utrustning. Ute i anläggningar är det sällan möjligt att uppnå en osäkerhet som understiger 5 % (jämför målen för fältmetoderna i avsnitt 5). I riktigt stora anläggningar kan man emellertid i gynnsamma fall få så stabila förhållanden att man nästan kommer ner till osäkerheter på laborienivå. Begränsningen ligger i problemet att våtkalibrera stora flödesmätare. Det är speciellt svårt att hitta laborier som klarar att kalibrera mätare vid temperaturer som avviker från rumstemperatur eller med andra medier än luft och vatten (däremot kan SP vid laboriemätning kalibrera mätarna på plats med den vätska och den temperatur som är aktuell). SP har mobil utrustning för att kalibrera stora mätare på plats och det finns även vissa möjligheter att använda spårämnen (NTVVS082<sup>[178]</sup> "Liquid flow me-



Tyvärr är verkligheten något mer komplicerad eftersom all effekt som tillförs kompressorn inte tillförs köldmediet i form av entalpihöjning från punkt 7 till 3. Figur 2.6.2 visar kompressorns effektbalans, inklusive förlusterna till omgivningen.



Figur 2.6.2. Tillförda och bortförda effekter vid kompressorns hölje.

Förlusterna ( $P_{f\ddot{o}r}$ ) kan uttryckas som en bråkdel ( $f$ ) av den tillförda motoreffekten ( $P_{em}$ ). Därmed kan köldmediets massflöde ( $q_{Rm}$ ) beräknas enligt

$$q_{Rm} = \frac{P_{em} \cdot (1 - f)}{h_{ut} - h_{in}} = \frac{P_{em} \cdot (1 - f)}{h_3 - h_7}$$

Motorvärmefaktorn ( $COP_{vp}$ ) ges av

$$COP_{vp} = \frac{P_1}{P_{em}} = \frac{q_{Rm} \cdot (h_3 - h_5)}{P_{em}} = \frac{P_{em} \cdot (1 - f) \cdot (h_3 - h_5)}{P_{em} \cdot (h_3 - h_7)}$$

d.v.s.

$$COP_{vp} = \frac{(1 - f) \cdot (h_3 - h_5)}{(h_3 - h_7)}$$

Metoden kan antingen användas för att direkt bestämma värmefaktorn (med antaget värde på förlustfaktorn), för att kontrollera förändringar efter kalibrering mot en extern mätning eller för att bara registrera relativa förändringar. I detta sammanhang kan det vara intressant att kombinera mätningar med beräkningsmetoder av typen REFREX<sup>[176]</sup> eller CoolPack<sup>[153]</sup>.

### 2.6.2.2 Förutsättningar

Metoden förutsätter att man kan göra en rimlig energibalans för kompressorn. Detta medför att metoden i första hand bör användas i anläggningar där kompressormotorn huvudsakligen kyls av köldmediet och framförallt i anläggningar med helhermetiska kompressorer. Den fungerar också bra på semihermetiska kompressorer med suggaskyld motor och öppna kompressorer om man känner de yttre förlusterna (el och överföringsförluster). I de fall kompressorn har extern kylning, t.ex. med luft, vatten, olja, vätskeinsprutning etc., krävs speciella överväganden.

Vid beräkningen av köldmediets entalpiändringar förutsätts att allt köldmedium blir vätska i kondensorn och gas i förångaren. För att vara säker på detta krävs en viss minsta underkylning respektive överhettning. Eftersom båda dessa storheter mäts får man hela tiden en kontroll på att villkoren uppfylls. Man kan också beräkna andra storheter som isentrop verkningsgrad, Carnotverkningsgrad etc. och ge larm om det blir uppenbart orimliga värden. Dessutom försätter metoden naturligtvis, precis som i fallet med traditionell värmemätning, att anläggningen kan gå med stabil drift under tillräckligt lång tid.

### 2.6.2.3 Osäkerhet

Fahlén<sup>[105]</sup> ger en detaljerad redovisning av de osäkerhetskomponenter som härrör från mätosäkerheterna. Som exempel kan nämnas att om de individuella osäkerhetskomponenterna för tryck, temperatur och antagen förlustfaktor fördelas jämnt krävs följande noggrannheter för att den sammanlagrade osäkerheten skall vara mindre än  $\pm 15\%$  om köldmediet är R22:

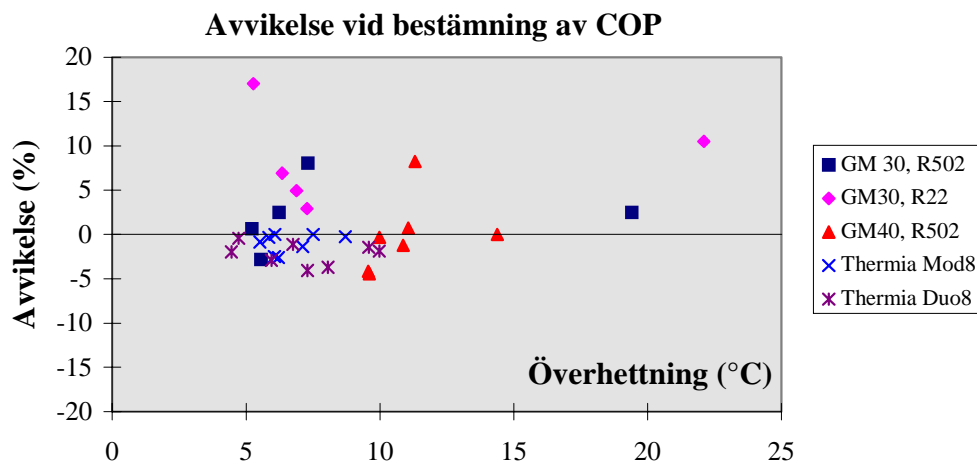
- Kondenseringstryck :  $\pm 19\%$ ,
- Förångningstryck :  $\pm 30\%$ ,
- Tryckrörstemperatur :  $\pm 3,4\text{ K}$ ,
- Sugrörstemperatur :  $\pm 2,8\text{ K}$ ,
- Underkyld kondensattemperatur :  $\pm 5,3\text{ K}$
- Förlustfaktor :  $\pm 35\%$  (d.v.s.  $0,05 < f < 0,10$ ).

Kraven på tryckmätning är lätta att uppfylla för värmefaktorberäkningen men däremot inte fullt så lätta om överhettning och underkylning skall beräknas. Däremot är det svårt att mäta yttemperaturer. Sannolikt kommer man konsekvent att mäta för låg tryckrörstemperatur, förmodligen 5-10 K för lågt<sup>[84, 185]</sup>. Detta ger systematiskt ett för högt värde på *COP*. Även underkylnings- och suggastemperaturerna kommer att ge systematiskt felaktiga värden men felen är inte lika stora som för tryckrörstemperaturen. I litteraturen förekommer uppgifter om förlustfaktorer som varierar mellan 0,05 - 0,30. Även om detta intervall är stort torde variationerna för massproducerade hermetiska kompressorer vara ganska begränsade och därmed felet om man antar ett värde på t.ex.  $f = 0,07$ .

### 2.6.2.4 Erfarenheter

Officiellt publicerade undersökningar av metoden finns bl.a. från SP<sup>[105]</sup>, DTI<sup>[169, 182]</sup> och SINTEF<sup>[54, 70]</sup>. Dessutom har företaget ETM<sup>[252]</sup> en mycket omfattande erfarenhet från tusentals genomförda mätningar i både stora och små anläggningar. SP's undersökningar visar att för vätska/vatten värmepumpar med helhermetiska kompressorer kan metoden ge en noggrannhet av  $\pm 10\%$  och under goda förhållanden t.o.m. bättre än  $\pm 5\%$ . Däremot blir resultaten sämre för luftvärmepumpar. I SP's undersökningar har förlustfaktorn antagits vara 0,07, vilket stämmer ganska bra för kompakta, inomhusplacerade aggregat (figur 2.6.3 visar ett exempel på resultat från laboratorieundersökningar på SP). DTI har kommit fram till ett värde av 0,13 för vätska/vatten aggregat och 0,18 för luft/vatten. Undersökningar av DTI och SINTEF visar att för semihermetiska kompressorer i kylanläggningar och större värmepumpar kan värdet på faktorn vara över 0,25. Vid låga laster och instabil drift har värden upp mot 0,50 erhållits men dessa värden är sannolikt kraftigt överskattade. Scalabrin<sup>[198]</sup> och Bianco har bestämt förluster i en varvtalsreglerad kompressor ( $P_I \approx 100\text{ kW}$ ) och enligt deras data verkar förlustfaktorn vara ca 18%. Förlustfaktorns storlek under olika förutsättningar är ett område som behöver kartläggas och dokumenteras.





Figur 2.6.3. Exempel på avvikelser mellan den interna metoden och traditionella värmemätningar i laboratorium.

I allmänhet fungerar metoden bra för enkla aggregat med hermetiska kompressorer. Problem kan t.ex. uppstå:

- när utrymmet är begränsat så att givarmontaget försvåras,
- vid stora temperaturgradienter i rören, exempelvis runt fyrvägsventiler,
- när tryckmätningen inkluderar stora tryckfall utanför kondensor och förångare,
- vid fuktig suggas (för låg överhettning),
- vid ånghaltigt köldmedium efter kondensorn (för liten underkylning),
- vid onormalt stora förluster från kompressorn (t.ex. vid utomhusplacering),
- vid stor oljetransport i systemet,
- vid fraktionering av zeotropa köldmedier (t.ex. vid upplagring i vätskebehållare). Detta är ett område som kan behöva analyseras lite mer i detalj.

### 2.6.3 Temperaturmätning i köld- och värmebärarsystem

Vid noggranna mätningar krävs dykfickor placerade på lämpligt valda ställen i systemet och noggranna, välkalibrerade givare. Krav på mätningens noggrannhet kan man t.ex. hitta i SS2620 och NTVVS076 och anvisningar om utförande i facklitteratur (t.ex. Fahlén<sup>[84, 94, 95]</sup>) eller standarder (t.ex. SS-EN306<sup>[213]</sup>). Följande<sup>[101]</sup> information ger en översiktlig bild av problemställningen.

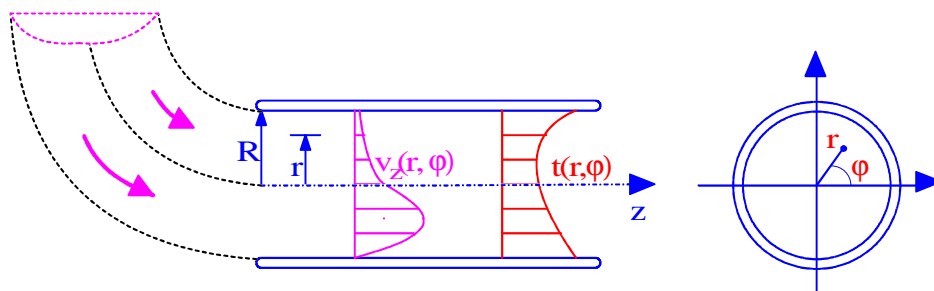
#### 2.6.3.1 Vad skall man mäta?

Kyl- eller värmeeffekt kan bestämmas genom mätning av flöde och temperaturdifferens mellan anläggningens in- och utlopp. Temperaturdifferensen **skall** avspegla hur köld- eller värmebärarens värmeinnehåll ändras genom anläggningen och man måste därför hitta temperaturer som är representativa för denna ändring.

Den medeltemperatur,  $T_B$ , som representerar mediets värmeinhåll kallas **bulktemperaturen** och definieras som

$$T_B = \frac{1}{q} \langle T(r, \varphi) \cdot v_z(r, \varphi) \cdot r \cdot dr \cdot d\varphi \rangle$$

$\langle \rangle$  betecknar medelvärdet i rörets tvärsnitt och  $q = \text{volymflödet}$ . Definitionen visar att man måste ta hänsyn till produkten av den lokala temperaturen  $T(r, \varphi)$  och den lokala hastigheten  $v_z(r, \varphi)$  samt positionen i tvärsnittet ( $r, \varphi$ ) vid ett givet läge längs röret ( $z$ ). ( $r = \text{avstånd i radiell led, } \varphi = \text{vinkeläge, } z = \text{position längs röret.}$ ) Om temperaturen varierar i rörets tvärsnitt räcker det således inte att sätta in flera temperaturgivare och beräkna ett medelvärde av dessa. Man måste även känna mediets hastighet i mätpunkterna.

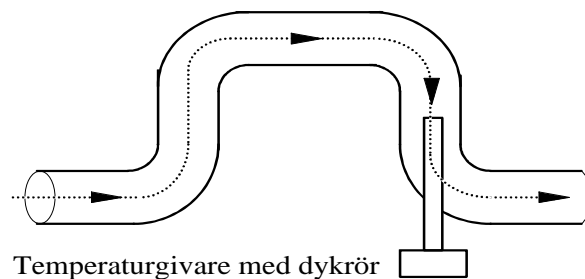


Figur 2.6.4. Vid definitionen av bulktemperatur måste man beakta både den lokala temperaturen  $T(r, \varphi, z)$  och den lokala strömningshastigheten i rörets riktning  $v_z(r, \varphi, z)$ .

Figur 2.6.4 illustrerar att hastighetsprofil och temperaturprofil kan se helt olika ut i ett tvärsnitt av röret. Hur det ser ut beror på vilka strömningstekniska störningar som finns och hur värme tillförs och avges i systemet.

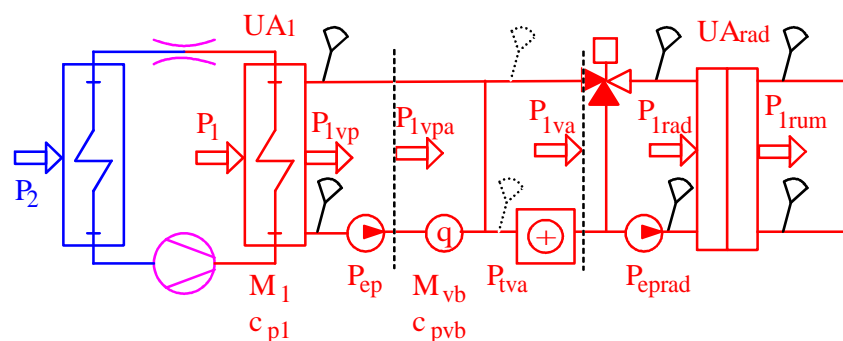
### 2.6.3.2 Var skall man mäta?

Eftersom det vanligtvis inte är möjligt att bestämma både hastighet och temperatur i ett antal punkter återstår att hitta mätpositioner där mediet är helt omblandat och har en homogen temperatur. Sådana ställen hittar man efter strömningstekniska störningar, t.ex. flera krökar som följer efter varandra (se figur 2.6.5), eller efter pumpar. Mäter man efter en pump måste man naturligtvis ta hänsyn till att pumparbetet höjer mediets temperatur.



Figur 2.6.5. Exempel på lämpligt mätställe för att bestämma bulktemperatur. Dubbelkrökarna ger en god omblandning och hög turbulens (bra värmeöverföring).

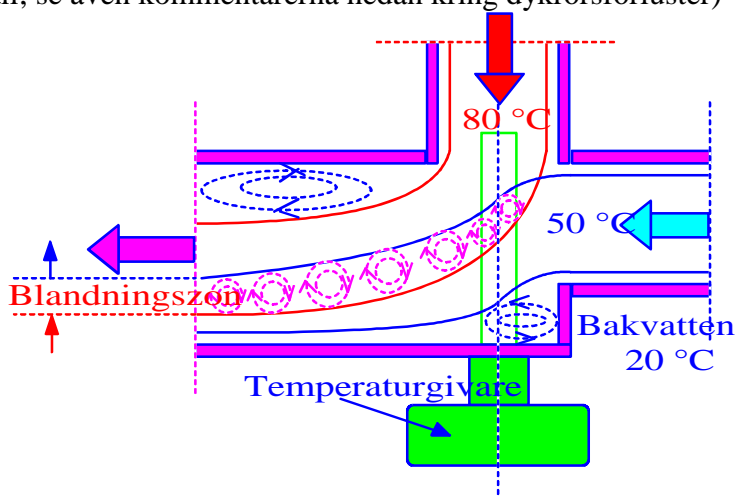
Naturligtvis måste mätställena överensstämja med systemgränsen för den effekt man vill bestämma. I en kontraktssituation måste man vara klar över om det är prestanda för värmepumpen/kylmaskinen eller för anläggningen (inklusive pumpar, tillsatsvärme m.m.) som mätningen gäller. Figur 2.6.6 ger exempel på alternativa gränssnitt samt risken för grova fel om temperaturgivarna hamnar på olika sidor om exempelvis en blandningsventil (de måste placeras så att samma flöde passerar båda). SS2620 innehåller värdefull information om definition av systemgränser, mättekniska krav m.m. men finns tyvärr inte refererad i den nya KylAMA.



Figur 2.6.6. Exempel på mätpunkter (beteckningar enligt SS2620;  $P$  = värmeeffekt,  $I$  = kondensator,  $vp$  = värmepump,  $vpa$  = värmepumpanläggning,  $va$  = värmeanläggning).

### 2.6.3.3 Var skall man inte mäta?

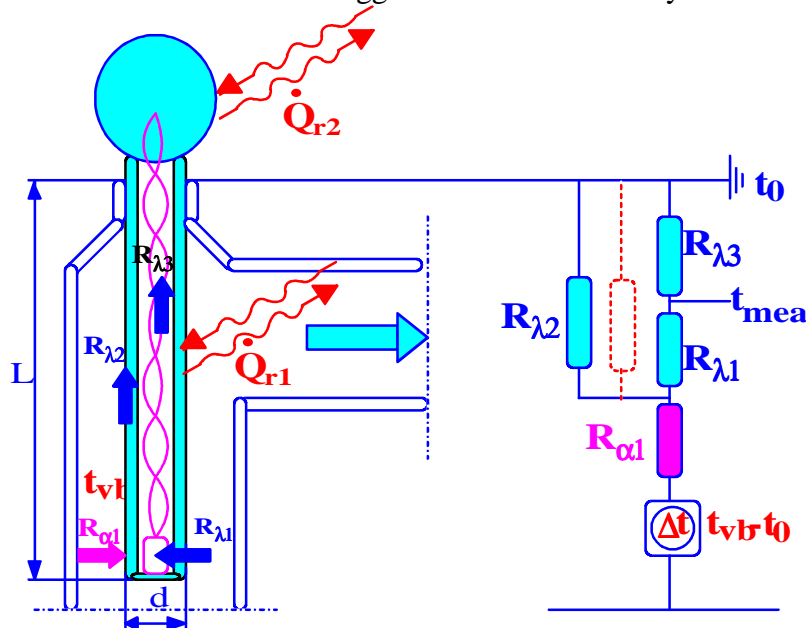
Direkt efter värmare eller kylare, vid blandningsventiler och vid oisolerade rör kan temperaturskiktningar förekomma och sådana ställen bör man undvika. Speciellt vid laminär strömning (inte ovanligt i köldbärarsystem) kan temperaturskiktningar kvarstå över ganska långa sträckor. Figur 2.6.7 visar ett exempel där man kan få temperaturer som varierar mellan 20 °C och 80 °C beroende på hur långt givaren stoppas in. Oavsett var man mäter **skall** rören vara ordentligt isolerade, inte bara på själva mätstället, utan på båda sidor om givaren (> 10 rördiametrar åt båda håll; se även kommentarerna nedan kring dykrörsförluster)



Figur 2.6.7. Temperaturvariationer i anslutning till en blandningsventil.

### 2.6.3.4 Hur skall man mäta?

Det är praktiskt att använda dykrör eftersom det underlättar kalibrering, kontroll eller byte av givare. Är det praktiskt möjligt är en installation i en böj enligt figurerna 2.6.5 och 2.6.8 ett bra alternativ. Genom att montera dykröret motströms mäter spetsen mediets ostörda temperatur och man får bra värmeöverföring mellan mediet och dykröret. Figur 2.6.8 visar också värmeutbytet mellan dykrör, medium och rörväggar samt mellan ett yttre kopplingshuvud och dess omgivning. Temperaturskillnaderna och värmemotstånden bestämmer de värmeflöden som drivs från mediet, vars temperatur **skall** mätas, till omgivningen (termiska resistanserna  $R$ ; index  $\lambda$  = värmeledning,  $\alpha$  = konvektion,  $r$  = strålning). Figuren visar att om givarelementets temperatur, i spetsen av dykröret, **skall** komma nära mediets temperatur  $t_{vb}$  måste motståndet  $R_{\alpha 1}$  vara litet och samtliga  $R_{\lambda}$  vara stora. Det är därför man väljer långa insticksdjup vid noggranna mätningar eftersom ett långt dykrör ger ett stort motstånd  $R_{\lambda 2}$ . Dessutom är det lämpligt att ha ett dykrörsmaterial som leder värme dåligt, t.ex. rostfritt stål. Mätfelet man får genom dykrörsförlusten är direkt proportionell mot skillnaden i temperatur mellan mediet ( $t_{vb}$ ;  $vb$  = värmebärare) och infästningen i rörväggen ( $t_0$ ). Därmed inser man också vikten av att isolera röret eftersom dykrörsfelet går mot noll när rörets temperatur blir densamma som mediets. Med ett välisolerat rör, en välisolerad givarinstallation och bra omblandning i köld- eller värmebäraren kan man därför mäta noggrant även med korta dykrör.



Figur 2.6.8. Dykrörsinstallation i 90°-böj. Värmeutbyte sker mellan dykröret, mediet och omgivande rörväggar samt mellan kopplingshuvudet och omgivningen.

Värmeutbytet gör att man alltid kommer att mäta för hög temperatur i delar med lägre temperatur än omgivningen och för låg temperatur delar med högre temperatur. Det bör påpekas att värmeöverföringen mellan dykrör och givarelement är viktig och måste säkerställas med värmeledande pasta eller liknande. Däremot är det FEL att göra som KylAMA rekommenderar och fylla dykröret med värmepasta. Gör man det kortsluts dykrörets värmemotstånd  $R_{\lambda 2}$  och vitsen med ett långt dykrör försvinner.

### 2.6.3.5 Följder av felaktig temperaturmätning

Fel i bestämningen av medietemperatur inverkar direkt på felet i bestämningen av termisk effekt. Mäter man 1 K fel vid bestämningen av en temperaturdifferens på 5 K blir felet i ef-

fektbestämningen 20 %. I kylanläggningar har man ofta ännu mindre differenser, vilket medför stora krav på temperaturmätningen. Dessutom ger ett fel i temperaturmätningen även ett fel i bestämningen av driftpunkt, vilket har betydelse vid garantiprov. Eftersom både effekt och köld/värmefaktor varierar med temperaturen kommer då det uppmätta värdet att jämföras med fel garanterade värde.

## 2.6.4 Temperaturmätning i köldmediesystem

Information om temperaturen i olika delar av köldmediesystemet är viktigt vid bestämning av anläggningens status (t.ex. tryckrörstemperatur, underkylning, överhettning) och vid injustering av stryporgan (termostatiska expansionsventiler m.m.). Tyvärr är anläggningarna sällan så väl förberedda att det finns färdiga mätuttag på rätt ställe och med rätt utförande. Nedan följer några synpunkter<sup>[100]</sup> beträffande yttemperaturmätningar.

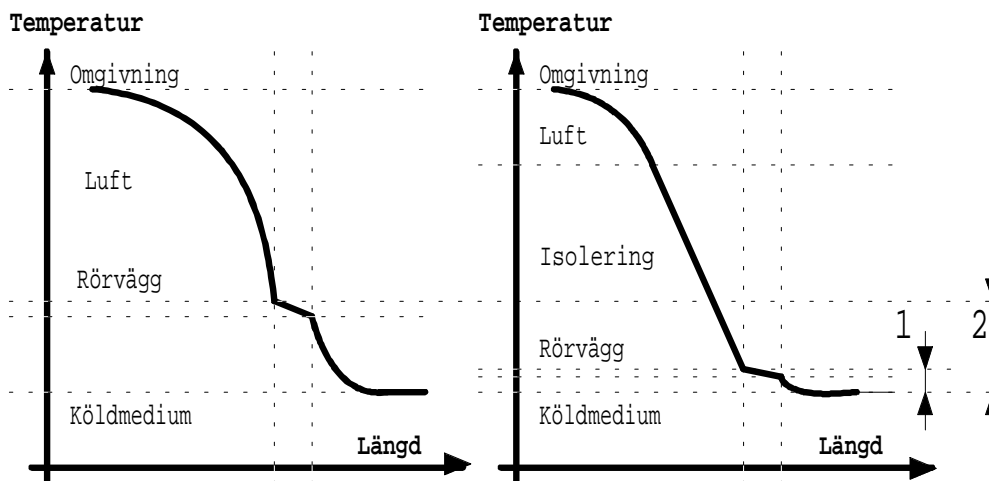
### 2.6.4.1 Mätning av yttemperatur

När dykfickor saknas, d.v.s. nästan alltid, blir man hänvisad till att försöka bestämma köldmediets temperatur indirekt via mätning av köldmedierörets temperatur. Rörets temperatur ligger alltid någonstans mellan köldmediets och omgivningens temperaturer. Detta innebär att man alltid kommer att mäta för hög temperatur i systemets kalla delar och för låg temperatur i de varma delarna. Praktiska undersökningar<sup>[84]</sup> på oisolerat rör visar att den uppmätta yttemperaturen, vid en differens av 30 °C mellan mediets och omgivningens temperaturer, kan avvika 4-5 °C från köldmedietemperaturen även vid mycket noggrant utförande av mätningen i laboratorium.

### 2.6.4.2 Hur gör man?

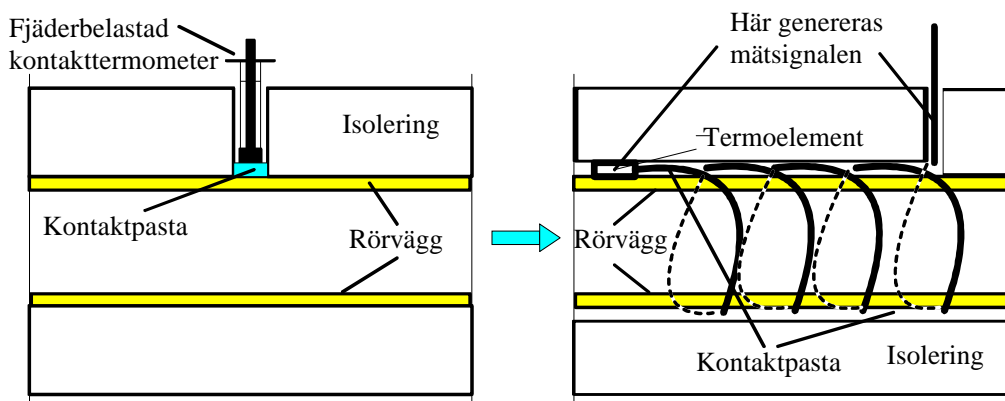
Eftersom det är rörets temperatur man mäter, men det är köldmediets temperatur man vill veta, är den första åtgärden att se till att dessa två temperaturer skiljer sig så lite som möjligt. Detta kan uppnås genom bra värmeöverföring på rörets insida och dålig värmeöverföring på rörets utsida. Eftersom rörets insida normalt inte kan påverkas återstår att minska värmeöverföringen på utsidan genom ordentlig isolering. Figur 2.6.9 visar skillnaden i temperaturprofil mellan oisolerat och isolerat rör då köldmediet är kallare än omgivningen.

Observera att metallrör leder värme bra, i synnerhet kopparrör, och därför måste röret isoleras över en viss längd för att inte värmetransporten längs röret skall fördärva isoleringens effekt. En tumregel är att minst 10 cm skall isoleras på vardera sidan om mätstället. Naturligtvis krävs tjockare isolering över större längd ju större temperaturskillnaden är mellan köldmediet och omgivningen.



Figur 2.6.9. Temperaturprofil vid oisolerat respektive isolerat rör. 1 = yttemperaturens avvikelse vid isolerat rör, 2 = yttemperaturens avvikelse vid oisolerat rör.

Temperaturen kan mätas med många olika typer av instrument, t.ex. kontakttermometrar, lösa termoelement eller resistiva temperaturgivare för ytmontering (se figur 2.6.10). Oavsett typ skall det använda instrumentet/givaren kalibreras. Tänk då särskilt på att den största delen av mätsignalen i ett termoelement genereras där den största temperaturdifferensen är, d.v.s. i den del som går genom isoleringen. Vid kalibrering skall därför även denna del av termoelementet befinna sig i kalibreringsbadet/ugnen. Bernhard<sup>[57]</sup> beskriver metoder för att kalibrera kontakttermometrar.



Figur 2.6.10. Några sätt att mäta yttemperatur. Vid mätning med lösa termoelement används värmeledande pasta och minst 1 dm termoelement är i kontakt med rötet.

I speciella fall kan olika typer av IR-instrument användas. Dessa har fördelen av att man ganska snabbt kan få en bild av hur temperaturen varierar över stora ytor. Detta kan bl.a. utnyttjas till att hitta problem i anläggningar, t.ex. överhettade motorer, brister i isolering av varma och kalla delar m.m. En annan fördel är att man inte stör den yttemperatur man vill mäta då det sätt som man gör vid montage av ytgivare. En nackdel är att om man vill göra noggranna, kvantitativa mätningar måste man ha kännedom om ytans strålningsegenskaper (emissivitet, absorptans, reflektans och transmittans) samt bakgrundsstrålningens temperatur. Ju lägre emissivitet och ju större reflektans en yta har, desto större blir mätproblemen.

### 2.6.4.3 Följder av felaktig temperaturinformation

Den erfarna kylteknikern inser genast de möjliga konsekvenserna av felaktiga mätningar. Om man t.ex. tror att man har en överhettning av 7 K men bara har 2 K finns risk för att kompressorn får arbeta med fuktig ånga (2 K överhettning kan ge 20 % vätska i utloppsången i form av små droppar). Dessutom finns stor risk för instabil drift genom alltför låg stabilitetsmarginal för kombinationen förångare/expansionsventil.

Vid kontroll av tryckrörstemperaturen kommer denna att kraftigt underskattas, 5-10 K är inte osannolikt. Dessutom är gastemperaturen i kompressorn högre än i utloppsröret. Vid bedömning av risken för framtida haveri måste man ta detta i beräkning.

I den mån man använder temperatur- och tryckmätningar för att analysera anläggningens prestanda kommer framförallt felet i tryckrörstemperaturen att påverka resultatet. Antingen man använder ett köldmediadiagram eller en kyldator för analysen kommer underskattningen av utloppstemperaturen från kompressorn att ge en överskattad värmefaktor (kan bli upp till 2 % per °C).

## 2.6.5 Tryckmätning

Många typer av fältmässig provning kräver tryckmätning. Exempel på detta är:

- Flödesmätning baserad på tryckdifferensgivare (mätflänsar, munstycken, venturirör, böjar m.m.).
- Bestämning av tryckfall eller tillgängligt externt tryck från aggregat.
- Tryckmätning vid kontroll av tryckkärl eller säkerhetsventiler.
- Tryckmätning för bestämning av förångnings- och kondenseringstryck (temperatur) samt överhettning och underkyllning.
- Tryckmätning i samband med intern bestämning av värmefaktor (se 2.6.2).

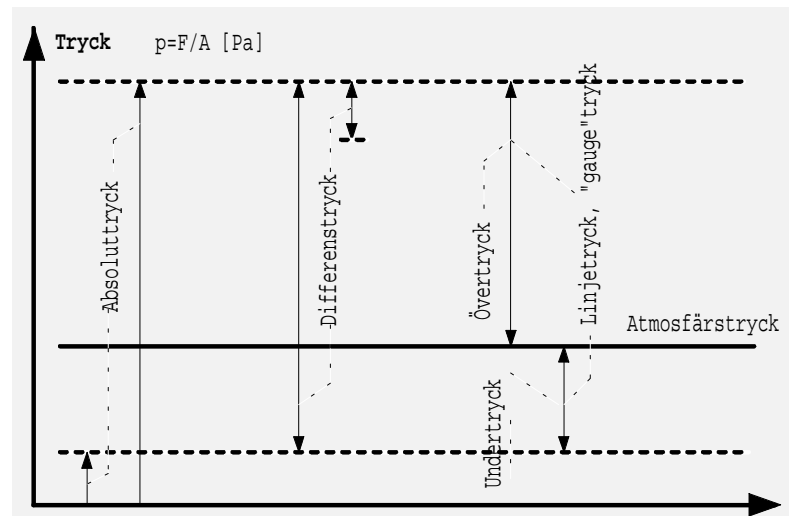
Precis som för temperatur krävs vid noggranna mätningar att det finns mätuttag placerade på lämpligt valda ställen i systemet och noggranna, välkalibrerade givare. Tyvärr är anläggningarna sällan så väl förberedda att det finns färdiga tryckuttag på rätt ställe och med rätt utförande. Krav på mätningens noggrannhet kan man t.ex. hitta i SS2620 och NTVVS076 och anvisningar om utförande i facklitteratur (t.ex. Fahlén<sup>[95, 98]</sup>) eller standarder (t.ex. SS-EN306<sup>[213]</sup>, ANSI/ASHRAE<sup>[12, 25, 34]</sup> eller ISO<sup>[146]</sup>). Nedan följer några synpunkter<sup>[100]</sup> beträffande tryckmätningar.

### 2.6.5.1 Vad skall man mäta?

Tryck definieras som kraft per ytenhet och uttrycks med enheten Pa. Det är intressant att notera att tryck också är ett mått på energiinnehållet per volymenhet ( $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2 = \text{J}/\text{m}^3$ ). Effekten av detta ser man t.ex. på att högtrycksköldmedier ger kompakta system eftersom de har större volymetriskt energiinnehåll. Det medför också att riskerna om ett system sprängs inte behöver öka påtagligt vid användning av högtrycksköldmedier eftersom den tillgängliga energin, för en given kyleffekt, inte skiljer sig på något avgörande sätt.

Beroende på tryckets absolutnivå och fluidens strömningstillstånd kan flera olika typer av tryck särskiljas. Det är därför nödvändigt att först klarlägga vilken typ av tryck man behöver känna till när man planerar sin mätning. Enligt figur 2.6.11 är alla typer av tryckmätningar en form av **differensmätning**. Beroende på det lägre tryckets absolutnivå talar man om **absolut-**

**tryck**  $p(a)$  vid jämförelse mot vakuum, om **gaugetryck** eller **linjetryck**  $p(e)$  vid jämförelse mot atmosfärstryck och om **differenstryck** vid jämförelse mellan två godtyckliga tryck.



Figur 2.6.11. Några olika tryckdefinitioner.

I samband med flödesmätning i rör tillkommer ytterligare en komponent till det totala trycket på grund av fluidens rörelseenergi. Denna komponent är riktningberoende och störst i strömningsriktningen. För att särskilja de olika tryckkomponenterna vid mätning i strömmande medier talar man om **statiskt tryck**, **dynamiskt tryck** och **totaltryck** eller stagnationstryck.

### Statiskt tryck

Om en fluid befinner sig i vila är trycket i en punkt lika i alla riktningar och kan skrivas som summan av 3 komponenter

$$p = p_1 + p_2 + p_3$$

Trycket  $p_1$  orsakas av molekylernas rörelseenergi,  $p_2$  orsakas av ett yttre systemtryck på fluidens begränsningsyta (t.ex. via en kolv) och  $p_3$  orsakas av kraftfält (t.ex. jordgravitationen) som påverkar hela volymen. Om fluiden är en **gas** ingår  $p_2$  i  $p_1$  på grund av gasens kompressibilitet, d.v.s.

$$p = p_1 + p_3 = p_1 + h \cdot \rho \cdot g \approx p_1$$

där  $h$  är fluidpelarens höjd,  $\rho$  är fluidens densitet och  $g$  är jordgravitationen. För gaser kan i de flesta fall  $p_3$  försummas på grund av gasers låga densitet.

Är fluiden en **vätska** kan  $p_1$  försummas. Däremot kan  $p_2$  inte försummas eftersom vätskan kan betraktas som inkompressibel. Ofta kan inte heller  $p_3$  försummas på grund av vätskors förhållandevis stora densitet,

$$p = p_2 + p_3 = p_2 + h \cdot \rho \cdot g$$



Slutligen, om fluiden är en **ånga**, d.v.s. en gas som står i jämvikt med sin vätskefas, är det statiska trycket entydigt bestämt av temperaturen via mediets mättnadskurva (vid blandningar varierar sambandet med den lokala sammansättningen för ångan respektive vätskan).

### **Dynamiskt tryck och totaltryck**

Det dynamiska trycket, som härstammar från fluidens rörelseenergi, ges av

$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

där  $v$  är fluidens strömningshastighet i en viss punkt.

Totaltrycket är ett mått på det tryck som erhålls i en punkt där fluiden bromsats till hastigheten  $v = 0$ . I det enkla fallet att fluiden antas inkompressibel och strömningen friktionsfri kan totaltrycket skrivas

$$p_{tot} = p_{stat} + p_{dyn} = p_{stat} + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

I detta förenklade fall gäller Bernoullis lag, som säger att totaltrycket är konstant längs en strömlinje. Enligt ovanstående ekvation betyder detta att när strömningshastigheten ändras så ändras även det statiska trycket. Bernoullis ekvation gäller någorlunda väl för normala vätskor och för gaser när strömningshastigheten är mycket mindre än ljudhastigheten. Vid kompressibel strömning blir totaltrycket alltid större än summan enligt Bernoullis ekvation.

I vissa sammanhang är man intresserad av att bestämma det statiska trycket. Det är t.ex. detta tryck som bestämmer densiteten för kompressibla medier vid massflödesberäkning, som ger mättnadstryck/temperatur för en ånga och som är bestämmande ur hållfasthetssynpunkt. I andra fall, t.ex. vid användning av Prandtlrör för hastighetsbestämning, utnyttjas även det dynamiska trycket/totaltrycket.

En tryckgivare ger en utsignal som är en funktion av den totala kraft som verkar på dess givarelement. Denna kraft bildas av givarelementets area multiplicerad med det totala tryck med vilket fluiden verkar på denna area. Eftersom det totala trycket varierar till sin storlek med riktning och position i fluiden är det viktigt att man vid utformningen av sina tryckuttag tar hänsyn till detta. Annars kan resultatet av en tryckmätning bli felaktigt trots användning av noggranna och kalibrerade givare.

### 2.6.5.2 Var skall man mäta?

Diskussionen i avsnitt 2.6.5.1 visar att man måste ta hänsyn till det dynamiska tryckets storlek och riktning. I vissa fall måste man också ta hänsyn till nivåskillnader (i första hand vid mätning i vätskefas). Detta leder till följande rekommendationer:

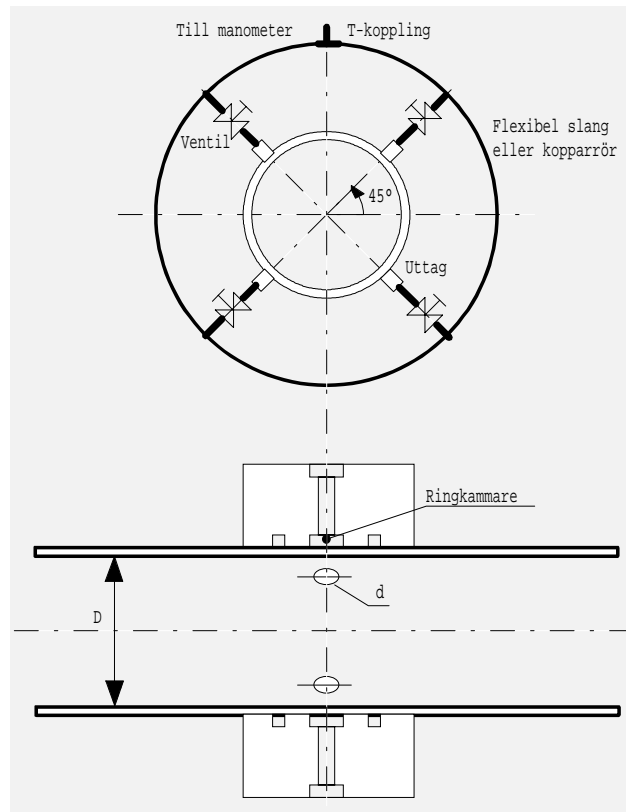
- när  $p_{dyn} \ll p_{stat}$  kan mätplanet väljas fritt (observera dock inverkan av  $h \cdot \rho \cdot g$ )
- när  $p_{dyn}$  inte kan försummas skall mätplanet vara minst  $1 \cdot D_h$  före en störning eller minst  $5 \cdot D_h$  efter en störning

När det gäller placering av mätställen gäller i princip samma regler som vid installation av flödesmätare, d.v.s. man skall se upp med krökar, areaförändringar, påstick och andra förändringar i rörsystemet som kan störa strömningen. I vanliga köldmediesystem är det dynamiska trycket normalt sett mindre än någon procent av det statiska trycket och kan därför inte ge några stora problem. Är man osäker är det lätt att räkna ut storleken i det specifika fallet. Vid mätning i distributionssystem för värmebärare och köldbärare (vatten, blandningar och luft) kan man däremot normalt inte försumma det dynamiska trycket.

### 2.6.5.3 Hur skall man mäta?

Vid håltagning för tryckmätning är det viktigt att utforma hålen så att dessa inte stör strömningen längs rörväggen och därmed inducerar en dynamisk tryckkomponent. ISO Standards Handbook 15<sup>[146]</sup> innehåller följande rekommendationer i Standard 5167,

- hål skall vara runda, vinkelräta mot röraxeln, med skarpa kanter och utan grader på rörets insida
- hål skall ha en diameter som understiger  $0,08D$  och helst inte vara större än 12 mm. Minsta diameter begränsas av praktiska synpunkter som risk för igensättning av smuts, dämpning av tryckvariationer etc.
- helst bör utjämning av eventuella kvarstående variationer ske med flera uttag sammankopplade med ringledning eller utjämningskammare (se exempel i figur 2.6.12 enligt ISO/DIS/4064/3).



Figur 2.6.12. Exempel på utformning av mätuttag för tryck (ISO Standards Handbook 15, 1983).

Beroende på typ av fluid tillkommer ytterligare praktiska synpunkter på utformningen av mätuttag. I ISO Standards Handbook 15, Standard 2186, finns en detaljerad beskrivning illustrerad av ett flertal figurer med exempel på rekommenderade lösningar.

Vid val av mätplan kan det ofta vara praktiskt att förlägga detta till ett vertikalt rör eftersom uttagens läge runt periferin i detta fall inte är så kritiskt. Om mätplanet läggs i ett horisontellt rör bör följande beaktas

- för rena vätskor läggs uttaget mellan 0-45° under horisontalplanet
- för smutsiga vätskor läggs uttaget mellan 0-45° över horisontalplanet
- för gas läggs uttaget i vertikalplanet på rörets ovansida
- för ånga läggs uttaget i horisontalplanet.

För att kunna koppla bort tryckgivare utan att tömma systemet skall alltid avstängningsventiler finnas mellan tryckuttaget och tryckgivaren. Dessutom bör strypventiler för dämpning av trycksvängningar och ventiler för avluftning finnas. För differenstryckgivare bör en utjämningsventil mellan hög och lågtryckssidan finnas för att undvika belastning med systemtrycket som differenstryck i samband med in- och urkoppling.

Vid mätning på vätskor bör överföringsledningarna luta monotont neråt från uttaget till givaren för att säkerställa att mätsystemet hela tiden är vätskefyllt. I de fall tryckuttaget ligger ovanför horisontalplanet (risk för igensättning kan föreligga vid exempelvis sedimentation)

skall överföringsledningen luta monotont uppåt till en gasavskiljare för att sedan gå monotont neråt till givaren.

Sammanfattningsvis kan följande tumregler ges för att undvika statistiska mätfel vid tryckmätning:

- använd kalibrerade instrument och givare
- välj rätt mätplan och mätuttag
- anpassa givarens läge efter mätsituationen
- använd ventiler för avstängning, tryckutjämning och avluftning (i vätskesystem)
- använd inte för långa överföringsledningar för trycket
- överföringsledningar skall vara tillräckligt grova, lika långa och dras intill varandra
- överföringsledningar skall luta monotont och tillräckligt mycket.

#### 2.6.5.4 Följder av felaktig tryckmätning

Fel i bestämningen av tryck inverkar direkt på felet i bestämningen av t.ex. flöde, förångnings- eller kondenserings-temperatur, överhettning m.m. Vid flödesmätning med strypfläns eller liknande blir felet i flödes/hastighetsbestämningen ungefär hälften av felet i tryckmätningen. I den interna metoden för att bestämma värmefaktor krävs tryckmätningar för att bestämma köldmediets entalpiändring över kompressor respektive kondensor/underkylare. Kraven på noggrannhet är dock ganska blygsamma i denna tillämpning<sup>[181]</sup>.

### 2.6.6 Flödesmätning

Vid noggranna effektmätningar med den externa metoden krävs flödesmätning dels för själva värmemätningen och dels för att bestämma värmepumpens driftpunkt. Mätning av flöde är normalt den svåraste och dyraste mätning som utförs på värmepumpar och det är framförallt för att slippa denna mätning som olika typer av interna mätmetoder utvecklats. Det krävs noggranna, välkalibrerade flödesmätare placerade på lämpligt valda ställen i systemet. Krav på mätningens noggrannhet kan man t.ex. hitta i SS2620 och NTVVS076 och anvisningar om utförande i facklitteratur (t.ex. Fahlén<sup>[94, 95]</sup>) eller standarder (t.ex. SS-EN306<sup>[213]</sup>). Tyvärr är anläggningarna sällan så väl förberedda att det finns färdiga mätsträckor på rätt ställe och med rätt utförande. För mer detaljerad information hänvisas till referenserna.

I första hand skall man eftersträva totalflödesmätning, d.v.s. att flödesmätaren ger en utsignal som är ett mått på det integrerade värdet på strömningshastigheten över rörets tvärsnitt. De flesta metoder för flödesmätning kräver ingrepp i rörsystemet ("invasive methods") men det finns även några ingreppsfria ("non-invasive methods"). Exempel på huvudgrupper av totalflödesmätare är:

- |                                  |                                      |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| • <b>Totalflöde</b> ("invasive") | • <b>Totalflöde</b> ("non-invasive") |
| - Displacementmätare             | - Spårämnen                          |
| - Hastighetsmätare               | - Temperaturpuls                     |
| - Massflödesmätare               | - Tillsatsvärme                      |

I många sammanhang är det dyrt och besvärligt att montera totalflödesmätare, t.ex. i stora luftkanaler eller i vätskesystem (som måste tappas ur, fyllas och avluftas). Då kan olika former av ingreppsfria metoder vara av intresse. Några alternativ ges nedan:

- **Hastighet - area** ("invasive")
- **Hastighet - area** ("non-invasive")
- Prandtlrör, pitotrör
- Anemometrar
- Sonder (turbin, induktiv)
- Ultraljudsmätare

Ultraljudsmätare av "clamp-on" typ kanske upplevs som totalflödesmätare men de mäter normalt hastigheten i specifika strålar och flödet beräknas med ett antagande om hastighetsfördelningen i rörets tvärsnitt.

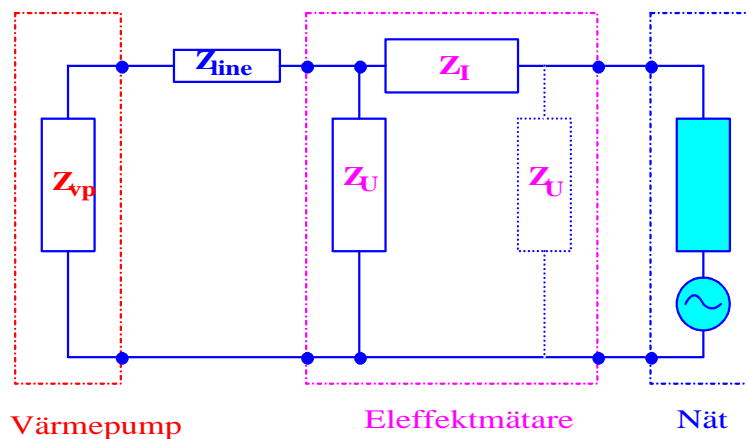
Fel i bestämningen av flöde inverkar direkt på felet i bestämningen av termisk effekt. Mäter man 5 % fel på flödet blir också felet i bestämningen av kyl- eller värmeeffekt 5 %. Dessutom ger ett fel i flödesmätningen även ett fel i bestämningen av driftpunkt, vilket har betydelse vid garantiprov. Värmeöverföring, underkylning och tryckfall påverkas av flödet. Därmed påverkas både effekt och köld- eller värmefaktor och det uppmätta värdet kommer att jämföras med fel garanterat värde.

## 2.6.7 Eleffektmätning

Mätning av eleffekt är normalt inget stort problem. Precis som för flöde finns dock möjligheterna att mäta med ("invasiv") eller utan ingrepp ("non-invasiv"). I det första fallet krävs elektriker med behörighet. Några exempel på mätmetoder:

- **Med ingrepp** ("invasiv")
  - Effektmätare (1, 2, 3-wattmetermetod)
  - Energimätare
- **Ingreppsfritt** ("non-invasiv")
  - Strömtänger/strömtrafo/spänningstrafo
  - Gängsäkringsmonterad strömgivare
  - Plug-in mätare (för stickproppsanlutna aggregat)

Om man ansluter sin effekt- eller energimätare via ström- och/eller spänningstransformatorer måste man se till att dessa har en osäkerhet som är 1/3 till 1/10 av mätarens osäkerhet om man vill vara säker på att dessa inte skall märkbart försämra mätnoggrannheten. Effekten ges ju av  $P_e = N_U \cdot N_I \cdot S$  där  $N_U$  = omsättningstal för spänningstransformator,  $N_I$  = omsättningstal för strömtransformator och  $S$  = skalutslag på instrument. Därmed kommer de relativa osäkerheterna för instrument och transformatorer att adderas.



Figur 2.6.13. Impedanskvivalent för inkoppling av effektmätare.

Vid noggranna mätningar kan man också behöva ta hänsyn till effektmätarens börda (egenförbrukning), kurvform/övertonshalt (särskilt vid frekvensstyrda motorer) och andra problem med elektromagnetiska störningar (EMC-problem).

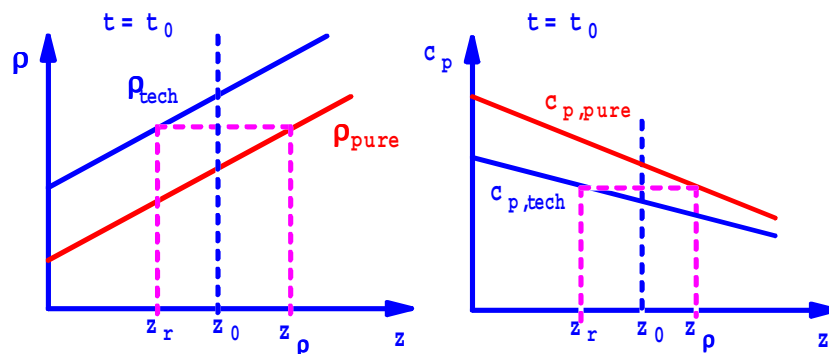
## 2.6.8 Bestämning av sammansättning för köldbärare

Om man mäter effekt i en köldbärarkrets behöver man känna både köldbärarens koncentration och de ingående komponenternas egenskaper med tillräcklig noggrannhet. I vissa fall kan den största osäkerhet man har i sin effektmätning härröra från bestämningen av köldbärarens termofysikaliska egenskaper ( $\rho$ ,  $c_p$ ). I första hand bör man bestämma masskoncentrationen genom noggrann uppmätning av mängden koncentrerad köldbärare och mängden vatten, anting-

en genom vägning eller genom volymmätning. Om koncentrationen bestäms genom volymmätning gäller följande relation mellan volym- och masskoncentrationerna:

$$z = x_m = x_v \cdot \frac{\rho_b}{\rho_w} \cdot \frac{1}{\left[ 1 + x_v \cdot \left( \frac{\rho_b}{\rho_w} - 1 \right) \right]}$$

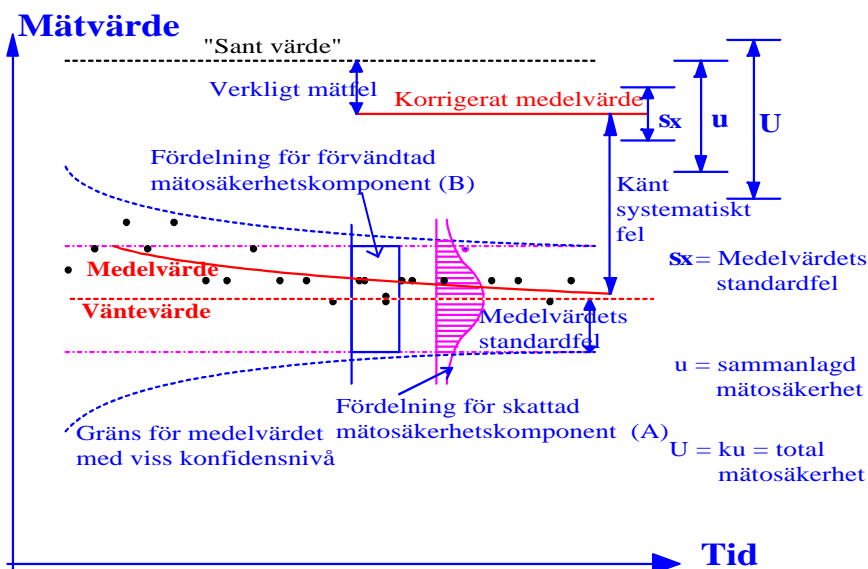
I befintliga anläggningar, eller om man inte är säker på att en anläggning varit helt tom innan påfyllning startas, kan man bestämma koncentrationen i efterhand med några olika metoder, t.ex. med areometer (densitetsmätare), refraktometer (brytningsindex) eller med sofistikerade kemiska analysmetoder. Ett problem man har vid denna typ av bestämning är att tekniska köldbärare innehåller olika tillsatser, t.ex. korrosionsinhibitorer, och därför stämmer inte data med tabellvärden för kemiskt rena medier. Därigenom kan man få fel värde på koncentrationen i en teknisk köldbärare om man använder areometer och använder densitetsvärden för det rena mediet. Därmed kommer man också att beräkna fel värde på specifika värmekapaciteten (se exempel i figur 2.6.14).



Figur 2.6.14. Exempel på problem vid bestämning av termofysikaliska data för köldbärare<sup>[95]</sup>.  $z_0$  = koncentration enligt vägning,  $z_r$  = bestämning med refraktometer och  $z_\rho$  = bestämning med areometer.

## 2.7 Osäkerhetsanalys

Det är viktigt att skilja mellan begreppen mätfel och mätosäkerhet. Definitionen av mätfel är: **Mätfel** = *Mätvärde* - "Sant" värde. Därmed inser man att för att kunna ange mätfelet måste man känna det sanna värdet och om man gör det så anger man naturligtvis detta och har inte längre något mätfel. Problemet är att i verkligheten är det sanna värdet obekant och man har därför alltid en osäkerhet i sina mätningar: **Osäkerhet** = *Gränser för intervall för det sannolika mätfelet*. Figur 2.7.1 försöker illustrera skillnaden mellan dessa och andra mättekniska begrepp.



Figur 2.7.1. Illustration av olika typer osäkerhetsbegrepp.

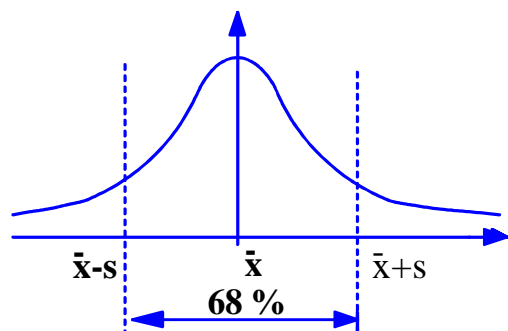
I alla sammanhang där mätningar utförs skall någon form av osäkerhetsanalys göras. Naturligtvis blir kraven man kan ställa på denna analys väldigt olika beroende på tillämpning. Ett prestandaprov på en stor anläggning för att reglera bonus/vitesbelopp kräver en mer omfattande utredning än en enkel mätning på en villavärmepump. Den angivna mätosäkerheten är den kvalitetsdeklaration som leverantören av mätresultatet lämnar. Tyvärr är det i praktiken så att de flesta osäkerhetsangivelser, om de överhuvudtaget finns, mer baserar sig på tro än vetande. Det finns emellertid systematiska metoder för att hantera mät- och beräkningsosäkerheter, t.ex. den av BIPM och ISO<sup>[147]</sup> sanktionerade "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" och en förkortad variant, EAL-R2<sup>[69]</sup>, som ackrediterade provnings- och kalibreringslaboratorier använder. Den svenska standarden SS2620<sup>[211]</sup> använder sig av en liknande metodik. Vid noggranna mätningar kan det vara lämpligt att redovisa osäkerheterna i form av osäkerhetsbudgetar, både för individuella mätningar och för härledda slutresultat (t.ex. enligt exemplet i tabell 2.7.1).

Fahlén<sup>[95]</sup> redogör i detalj för hur man på olika sätt kan analysera osäkerheter och kvantifiera olika komponenters bidrag till totalresultatet. I tabellen är osäkerheterna av typ *A* sådana som kan bestämmas med statistiska metoder medan typ *B* måste bestämmas genom beräkningar, alternativa mätmetoder eller helt enkelt genom erfarenhet. Standardavvikelseerna för typ *A* och *B* betecknas med *s* respektive *w* och beräknas ofta utifrån en antagen normalfördelning respektive likformig sannolikhetsfördelning (när underlag saknas för att bestämma den verkliga fördelningen). Den sammanlagda osäkerheten betecknas *u* medan  $U = k \cdot u$  betecknar den totala

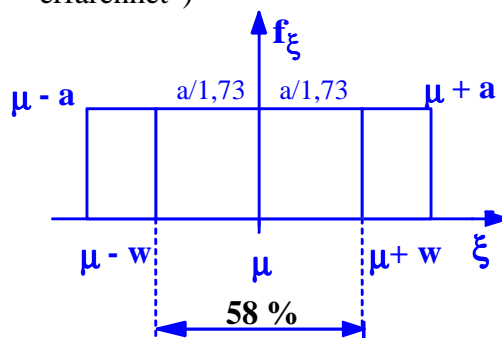


osäkerheten med angiven konfidensnivå ( $k = 2$  motsvarar ungefär konfidensnivån 95 %). Figur 2.7.2 illustrerar skillnaderna mellan typiska osäkerhetsfördelningar för typ A och typ B.

- **Osäkerhetstyp A**  
Statistiska metoder



- **Osäkerhetstyp B**  
Övriga metoder (beräkning, alt. mät metod, jämförelse mätning, ”beprövad erfarenhet”)



Figur 2.7.2. Illustration av osäkerhetstyperna A och B.

Utöver ISO och EAL dokumentens generella information kan nedanstående dokument ge specifik vägledning vid värmemätning i kyl- och värmepumpanläggningar:

- SMS<sup>[211]</sup>, 1988. SS2620 ”Värmeutrustning - Värmepumpar - Fältprovning och prestandaredovisning”.
- Nordtest<sup>[177]</sup>, 1989. NTVVS076 ”Large heat pumps - Field testing and presentation of performance”.
- Nordtest<sup>[180]</sup>, 1997. (Fahlén<sup>[96]</sup>, P, 1996. ”Field testing of refrigeration and heat pump equipment - General conditions”).
- Nordtest<sup>[181]</sup>, 1997. (Fahlén<sup>[97]</sup>, P, 1996. ”Field testing of refrigeration and heat pump equipment - Performance data inferred from measurements in the refrigerant system”).
- Fahlén<sup>[94]</sup>, P, 1992. ”Värmemätning i vätskesystem”.
- Fahlén<sup>[95]</sup>, P, 1994. ”Performance tests of air source heat pumps under frosting conditions - Quality of Results”.

Tabell 2.7.1. Exempel på osäkerhetsbudget<sup>(95)</sup> vid luftflödesmätning med strypfläns.

Cause of the uncertainty	Propagation constant, $P_j$	Uncertainty type A (%)	Uncertainty type B (%)
Calibration *(cal1 and cal2; $\frac{w_{K_a,cal1}}{K_a} < 0.9, \frac{w_{K_a,cal2}}{K_a} < 1.2$ )	$P_1 = 1$	$\frac{s_{K_a,cal}}{K_a} < 0.3$	$\frac{w_{K_a,cal}}{K_a} < 1.5^*$
	$P_4 = 1.5$	$\frac{s_{n,cal}}{n} < 0.1$	$\frac{w_{n,cal}}{n} < 0.3$
	$P_7 = 0.5$ (see 4.9.5)	$\frac{s_{\Delta p_{af},cal}}{\Delta p_{af}} < 0.5$	$\frac{w_{\Delta p_{af},cal}}{\Delta p_{af}} < 1.0$
Meter reading	$P_8 = 0.5$	-	$\frac{w_{\dot{V}_a,read}}{\dot{V}_a} < 0.06$
Operating point  (assuming $p_a$ has actually been measured)	$P_5 = 0.0061$	$\frac{s_{t,opt}}{ t_a - t_{cal} } < 1.7$	$\frac{w_{t,opt}}{ t_a - t_{cal} } < 1.7$
	$P_6 = 0.052$	$\frac{s_t}{ t - t_{cal} } < 1.0$	$\frac{w_t}{ t - t_{cal} } < 2.4$
	$P_{10} = 0.05$	-	$\frac{w_t}{ t - t_{cal} } < 0.2$
Operating conditions	$P_2 = 1$	$\frac{s_{\dot{V}_a,opc}}{\dot{V}_a} < 0.5$	-
Installation	$ P_3  \approx 1$	-	$\frac{w_{\dot{V}_a,inst}}{\dot{V}_a} \approx 0.6$
	$P_9 = 0.5$ (see 4.9.5)	-	$\frac{w_{\Delta p_{af},inst}}{\Delta p_{af}} \approx 0.6$
Total contribution of types A and B respectively  **Based on the standard deviation during test A1.		$\frac{s_{\dot{V}_a}}{\dot{V}_a} < 0.65$  $\frac{s_{\dot{V}_a,read}}{\dot{V}_a} < 0.2^{**}$	$\frac{w_{\dot{V}_a}}{\dot{V}_a} < 1.8$
Combined uncertainty of air flowrate		$\frac{u_{\dot{V}_a}}{\dot{V}_a} < 1.9 \%$ ,	$\frac{s_{\dot{V}_a,read}}{\dot{V}_a} < 1.8 \%$
Total uncertainty of air flowrate (k = 2.0)		$\frac{U_{\dot{V}_a}}{\dot{V}_a} < 3.8 \%$ ,	$\frac{s_{\dot{V}_a,read}}{\dot{V}_a} < 3.6 \%$

### 3 Referenser med kommentarer

Följande kapitel presenterar ett urval av referenser med anknytning till fältmässig utvärdering av kyl- och värmepumpinstalleringar. De referenser som jag själv haft tillgång till har försetts med sammanfattningar och/eller kommentarer. Som tidigare nämnts finns det anledning att i detta sammanhang även inkludera laboratoriemetoder eftersom många fältprovningar syftar till att jämföra en installerad anläggnings prestanda med typvärden som bestämts för produkten under laboratorieförhållanden. Referenserna klassificeras med följande kategorier:

- metoder för redovisning av tekniska data,
- metoder för laboratorieprovning,
- metoder för fältmässig provning,
- metoder för mätning,
- metoder för bestämning och redovisning av osäkerhet.

Inom varje kategori karaktäriseras referenserna med hänsyn till typen av publikation, t.ex.:

- standard (svensk, nordisk, europeisk eller internationell),
- rapporter och böcker,
- artiklar, föredrag och konferensbidrag,
- personlig kommunikation.

#### 3.1 Redovisning och beräkning av tekniska data

Med ökande tillämpning av olika former av kvalitetssäkringssystem är det troligt att efterfrågan på certifierade produkter kommer att öka. T.ex. har branschorganisationerna EUROVENT och CECOMAF tillsammans bildat ett eget certifieringsbolag inom området luftkonditionering och kylteknik för att förbättra överensstämmelsen mellan företagets produktredovisning och produkternas faktiska prestanda. I Sverige och Danmark har det funnits certifiering av värmepumpar i snart 20 år i form av typgodkännande och tillhörande standardiserade redovisning av prestanda. Vid leveransprovning, tillståndskontroller, tvister m.m. kommer uppmätta data att jämföras med databladens angivelser, certifierade eller ej, och därmed blir sättet att redovisa viktigt för utfallet av jämförelsen med uppmätta data.

Små och medelstora kyl- och värmepumpaggregat serietillverkas i stor utsträckning. Detta gäller speciellt vätskekylaggregat, vilka i allt högre grad kommer till användning i samband med den ökande efterfrågan på indirekta kylanläggningar. Angivna tekniska data för dessa aggregat är ofta baserade på någon form av laboratorieprovningsstandard (se avsnitt 3.2) och dessa standarder innehåller vanligtvis rekommendationer om hur man redovisar data. EU<sup>[226, 227]</sup> arbetar f.n. med riktlinjer och krav för produktredovisning av luftkonditioneringsaggregat i form av energideklarationer (analogt med kraven på t.ex. kyl- och frysutrustningar). I USA finns inte bara krav på redovisning utan man har också minimikrav på värmefaktor/köldfaktor för att överhuvudtaget få sälja produkterna.

### 3.1.1 Standard eller annan officiell metod

#### 3.1.1.1 Sverige

**Statens Planverk, 1985. Interimistiska typgodkännanderegler för värmepumpar<sup>[216]</sup>:** Reglerna omfattar krav på redovisning av prestanda (baserad på laboratorieprovning och datablad enligt mall från SS2095), krav på anvisningar för projektering, installation samt drift och skötsel. Reglerna ligger till grund för ett pågående arbete om P-märkning (certifieringsregler från SP).

I övrigt hänvisas till metoderna för laboratorieprovning i 3.2.1.1, vilka innehåller anvisningar för prestandaredovisning och märkning.

#### 3.1.1.2 Norden

Danmark har ett system för typgodkännande av värmepumpar som i stor utsträckning liknar det svenska. Den danska provnings- och redovisningsstandarden är identisk med den svenska standarden SS2095. Övriga norden har ingen nämnvärd verksamhet av denna karaktär.

#### 3.1.1.3 Europa

Se metoderna för laboratorieprovning i 3.2.1.3.

#### 3.1.1.4 Övrigt

Se metoderna för laboratorieprovning i 3.2.1.4.

### 3.1.2 Rapporter och böcker

**Fahlén, P, 1987. Värmepumpars prestanda - Standardiserad redovisning<sup>[85, 86]</sup>:** Rapporten och informationsbladet behandlar förutsättningarna för att redovisa prestanda för värmepumpar med speciell inriktning på att standardisera förutsättningarna för hur pump- och fläkteffekter redovisas.

**Fahlén, P, 1991. Indata vid energiberäkning i småhus<sup>[102]</sup>:** Sammanfattar diskussioner med branschföreträdare med speciell inriktning mot värmepumpar och värmeåtervinningsaggregat beträffande förutsättningarna för energiberäkningar med programmet ENORM. Redovisning av pump- och fläkteffekter, värmeförluster m.m. ingår.

**van der Sluis, S M, Schipouwer, H, King, G R, Mondot, M, Nyvad, J & Fahlén, P, 1998. Energy labelling of residential air-conditioners, heat pumps and dehumidifiers<sup>[226, 227]</sup>:** van der Sluis et al redovisar situationen internationellt beträffande krav på redovisning av prestanda i form av energideklaration eller liknande. Rapporten redogör också för vilka provningsmetoder som finns att tillgå för att bestämma effektiviteten hos kyl- och värmepumpaggregat. Författarna presenterar nyckeltal för att klassa effektiviteten hos olika typer av produkter och tar även upp aggregat med kapacitetsreglering. För den sistnämnda kategorin behöver metoder utvecklas. Rapporten utgör ett underlag för EUs generaldirektorat för energideklaration samt för Eurovents certifiering av luftkonditioneringsaggregat.

## 3.2 Laborieprovning

Metoder för laborieprovning är relativt väl utvecklade. Det kommer dock hela tiden nya metoder allteftersom det kommer nya produkter på marknaden, t.ex. kapacitetsreglerade aggregat, "multi-split" enheter, absorptionsvärmepumpar m.m.

### 3.2.1 Standard eller annan officiell metod

I första hand bör man tillämpa nationella eller internationella standarder/metoder.

#### 3.2.1.1 Sverige

**SS2095, 1986. Värmeutrustning - Värmepumpar - Laborieprovning av prestanda**<sup>[210]</sup>: Denna standard är sedan några år ersatt av SS-EN255 (se nedan). Den har fortsatt att användas vid konsumentverksprovningar, av SVEP och i Danmark även efter det att den europeiska standarden trädde i kraft.

**SS-ENV12102, 1996. Luftkonditioneringsaggregat, värmepumpar och avfuktare med eldrivna kompressorer - Mätning av luftburet buller - Bestämning av ljudtrycksnivå**<sup>[214]</sup>. ENV12102 beskriver driftförutsättningarna vid ljudmätning på värmepumpar (i första hand för laboriemätningar). Standarden refererar till existerande ISO-metoder för själva ljudmätningen. ENV12102 håller f.n. på att revideras, tyvärr utan svenskt deltagande.

**SP0029, 1989. Frånluftsvärmepumpar för småhus - Systemprovning i laboratorium**<sup>[206]</sup>. SP0029 behandlar provning och redovisning av data för frånluftsvärmepumpar till småhus. Värmepumparna provas som system med både uppvärmning och tappvattenvärmning. Metoden kommer att revideras i vissa delar med anledning av de nya europeiska standarderna men det finns f.n. ingen annan standard, nationell eller internationell, som kan ersätta metoden.

#### **SPMetod1721, 1995. Prestandaprovning av luft/luft värmepumpar i fält**<sup>[208]</sup>

Metoden bygger på att man ansluter ett portabelt temperatur/flödesmätningssystem till värmepumpens inomhuskonvektor. Med en hjälpfläkt justerar man tryckbilden så att konvektorns normalflöde inte påverkas i nämnvärd omfattning. Metoden har validerats både i fält- och laboriemätningar och fungerar naturligtvis även på andra typer av fläktkonvektorer.

#### 3.2.1.2 Norden

**NTVVS1462-99: Projektbeskrivning - Laborieprovning av kapacitetsreglerade värmepumpar**<sup>[99]</sup>: Nordtest arbetar med utveckling av metoder för provning av värmepumpar med kapacitetsreglerade kompressorer. Ett förslag till metodik finns framtaget och tester pågår. Arbetet beräknas vara färdigt 2001 och ger underlag för en kommande Europastandard (se nedan).

**NTVVS086, 1990. Exhaust air heat pumps: Performance**<sup>[179]</sup>: NTVVS086 är en metod för laborieprovning av stora frånluftsvärmepumpar för flerbostadshus. Metoden bygger på SP0029 (se 3.2.1.1) men innehåller en dimensioneringsmetodik för tappvattenuttag baserad på antal lägenheter och värmepumpeffekt.

### 3.2.1.3 Europa

**CENTC113-N298, 1998. Multi-split system air-conditioners and air-to-air heat pumps - Testing for rating and performance<sup>[63]</sup>:** N298 är ett arbetsdokument, vilket bygger på ett ISO-arbete för provning av aggregat med individuell reglering av köldmedieflödet till två eller flera parallella kondensorer/förångare. Metoden kräver minst tre klimatkammare, en för uteklimatet och två eller fler för individuella inneklimat, och det blir därför dyrt och komplicerat att genomföra denna typ av provningar.

**EN255, 1997. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode<sup>[71-74]</sup>:** EN255 är europeisk standard för provning, märkning och redovisning av prestanda för värmepumpar i värmedrift. Den består av fyra delar, 1: Terminologi, 2: Provning och redovisning av prestanda i värmedrift, 3: Provning och redovisning av prestanda för tappvattenvärmning och 4: Funktionsprovning (kontroll av funktionen i samband med strömavbrott, överskridande av temperatur- och flödesgränser m.m.). Dessa standarder kommer att ligga till grund för energideklaration i den mån sådan införs. Därmed ger de också jämförelsematerialet för efterkontroller i fält. Vid tidpunkten för denna redovisning pågår ett arbete med att revidera samtliga delar av EN255, EN810 och EN814 samt att eventuellt foga ihop dem till en sammanhållen standard.

**EN810, 1997. Dehumidifiers with electrically driven compressors - Rating tests, marking, operational requirements and technical data sheet<sup>[75]</sup>:** EN810 är europeisk standard för provning, märkning och redovisning av prestanda för luftavfuktare som baseras på en kompressorkylprocess. Se även EN255.

**EN814-1, 1997. Air conditioners and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode<sup>[76-78]</sup>:** EN814 är europeisk standard för provning, märkning och redovisning av prestanda för värmepumpar i kyl drift (luftkonditionering). Den består av fyra delar, 1: Terminologi, 2: Provning och redovisning av prestanda i värmedrift, 3: Funktionsprovning. Se även EN255.

**EN12055, 1998. Liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode - Definitions, testing and requirements<sup>[79]</sup>:** EN12055 är europeisk standard för provning, märkning och redovisning av prestanda för värmepumpar i vätskekylaggregat. Den behandlar terminologi, provning och redovisning av prestanda i kyl drift, och funktionsprovning. Se även EN255.

**prEN12309-2, 1998. Gas-fired absorption and adsorption air-conditioning and/or heat pump appliances with a net heat input not exceeding 70 kW - Part 2: Rational use of energy<sup>[192]</sup>:** prEN2309 behandlar provning av gasdrivna absorptionsvärmepumpar. Driftpunkter är valda enligt EN255 och 814 men de pågår en mindre strid mellan kommittén för värmepumpar och kommittén för gasapparater beträffande vem som egentligen skall ha huvudmannaskapet för denna standard.

**prEN12900, 1999. Refrigerant compressors - Rating conditions, tolerances and presentation of performance data<sup>[193]</sup>:** prEN12900 beskriver hur och vid vilka driftförutsättningar tillverkare skall ange data för kompressorer. Viktigt att känna till om man gör fältmätningar och vill jämföra mätningar mot tillverkardata.

**prEN113-022, 1998. Refrigerant compressors - Performance testing and methods**<sup>[191]</sup>: prEN113-022 anger hur data enligt prEN12900 skall bestämmas med hjälp av laboratoriemätningar.

**prEN13215, 1998. Condensing units for refrigeration - Rating conditions, tolerances and presentation of performance data**<sup>[194]</sup>: prEN13215 behandlar motsvarande frågor som EN814 men begränsat till kondenseringsaggregat (d.v.s. kompressor, kondensor och stryporgan men utan förångare).

**NTVVS1462-99: Projektbeskrivning - Laboratorieprovning av kapacitetsreglerade värmepumpar**: SP genomför ett arbete åt Nordtest som skall ge underlag till en ny europastandard för provning vid dellast av kapacitetsreglerade aggregat. Metoden kommer även att beskriva dellastdrift för aggregat som går till och från. Det parallella CEN-arbetet är mandaterat av EU eftersom det kommer krav på denna typ av information i EUs direktiv för energideklarationer.

#### 3.2.1.4 Övrigt

**ARI**<sup>[41-44]</sup>, **ASHRAE**<sup>[9, 14, 17]</sup>, **AMCA**<sup>[8]</sup> och **IEEE**<sup>[37-39]</sup> är amerikanska branschorganisationer som ger ut provnings- och redovisningsmetoder för olika typer av produkter som man träffar på i kyl- och värmepumpanläggningar, t.ex. pumpar, fläktar, drivmotorer, kompressorer och kompletta aggregat. I samarbete med den amerikanska standardiseringsorganisationen ANSI<sup>[8]</sup> ges vissa metoder statusen av nationell standard.

**ISO**<sup>[120, 135, 140-145, 148-150]</sup> arbetar parallellt med CEN för att ta fram standarder för provning och redovisning av prestanda för värmepumpar och kylaggregat. Även om det finns ett principavtal mellan CEN och ISO om harmonisering är standarderna för närvarande inte bara olika till utformningen utan också beträffande tekniskt innehåll. I samband med den påbörjade revideringen av de europeiska standarderna kommer detta förhoppningsvis att förändras till det bättre.

### 3.2.2 Rapporter och böcker

**Fahlén, P, 1988. Laboratorieprovning av värmepumpar - erfarenheter 1984-1986**<sup>[88, 91]</sup>: Rapporten ger resultat i form av medel-, max-, och minvärden samt standardavvikelse från hundratals laboratorieprovningar av villavärmepumpar. Resultaten kan ge nyckeltal för jämförelse mellan fältmätningar (värmefaktor, kompressorverkningsgrad m.m.).

**Fahlén, P, 1989. Frånluftsvärmepumpar för småhus - Systemprovning i laboratorium**<sup>[89]</sup>: Beskriver förutsättningarna och de bakgrundsöverväganden som gjorts vid utformningen av metod SP0029 (se 3.2.1.1).

**Fahlén, P, Johansson, C, 1991. Luftvärmepumpar - Provning av prestanda**<sup>[103, 104]</sup>: Sammanfattar resultaten från provning av nio luft/luftvärmepumpar. Resultaten kan ge nyckeltal för jämförelse med fältmätningar. En senare rapport<sup>[106]</sup> ger ytterligare resultat.

### 3.3 Fältmässig provning

Till skillnad mot fallet beträffande laboratorieprovning finns det mycket få inofficiella eller officiella metoder för fältprovning.

#### 3.3.1 Standard eller annan officiell metod

De mest utvecklade metoderna finns i Sverige, bl.a. till följd av den stora värmepumpsmarknaden och strikta beställarkrav i samband med stora anläggningar.

##### 3.3.1.1 Sverige

**SPMetod0030, 1985. Prestandaprov av stora värmepumpar i fält**<sup>[207]</sup>: Denna metod är de sista versionen av en SP-metod som togs fram för att prova de första stora värmepumparna i fjärrvärmenät. Med denna som utgångspunkt började sedan ett arbete för att få fram en svensk standard (se SS2620 nedan).

**SS2620, 1988. Värmeutrustning - Värmepumpar - Fältprovning och prestandaredovisning**<sup>[211]</sup>: SS2620 är den mest utvecklade fältprovningssmetod som hittats inom ramen för denna förstudie. Den ger anvisningar både för vilket underlag som skall finnas innan en mätning, krav på mätutrustning, hur mätningen skall genomföras, hur resultaten skall presenteras, hur man räknar om uppmätta resultat till garantipunkter samt hur man beräknar enskilda och sammansatta osäkerheter.

**SPMetod1721, 1995. Prestandaprovning av luft/luft värmepumpar i fält**<sup>[155]</sup>: Metod för att bestämma avgiven värmeeffekt från friblåsande fläktkonvektorer, luft/luft värmepumpar etc. Det fordras speciell teknik för att mäta luftflöde och temperaturdifferens på dessa eftersom man inte kan introducera några extra tryckfall och man har mycket stora temperaturgradienter på utloppssidan.

**KylAMA98, 1998. Allmän material- och arbetsbeskrivning för kyltekniska arbeten**<sup>[157, 195]</sup>: KylAMA, med råd och anvisningar, ger rekommendationer om att anläggningar skall utrustas med mätutrustning när det finns kvantifierade funktionskrav.

##### 3.3.1.2 Norden

**NTVVS076, 1989. Large heat pumps - Field testing and presentation of performance**<sup>[83, 177]</sup>: Denna standard är en direkt översättning av den svenska standarden SS2620 (se 3.3.1.1).

**NTVVS115, 1997. Refrigeration and heat pump equipment: General conditions of field testing and presentation of performance**<sup>[96, 180]</sup>: NTVVS115 omfattar terminologi, definition av gränssnitt, krav på dokumentation, allmän metodbeskrivning för tre noggrannhetsnivåer, krav på mätnoggrannhet för dessa nivåer och utformning av provningsrapporter. Metoden hänvisar till tre typer av mätningar: extern värmemätning (klass 1:  $\pm 5\%$  och klass 2:  $\pm 10\%$ ), intern värmemätning (klass 3:  $\pm 15\%$ ) och enkla funktionskontroller. Extern värmemätning beskrivs i NTVVS076 (se ovan) och intern värmemätning i NTVVS116 (se nedan).



**NTVVS116, 1997. Refrigeration and heat pump equipment: Check-ups and performance data inferred from measurements under field conditions in the refrigerant system.**<sup>[97, 181]</sup>: NTVVS116 beskriver principerna för intern mätning i köldmediekretsen, ställer krav på mätnoggrannhet och ger handledning i beräkning av mätosäkerhet. I bilagor ges detaljerade exempel på hur osäkerheter i de individuella mätresultaten för tryck och temperatur påverkar den beräknade värmefaktorn.

### 3.3.1.3 Europa

**CIBSE** ger ut en standard för driftsättning av kylanläggningar<sup>[64]</sup>.

### 3.3.1.4 Övrigt

**ARI, ASHRAE**<sup>[15, 16]</sup>, **AMCA**<sup>[2-6]</sup>, **ASME**<sup>[29-31, 33, 51]</sup>, **ANSI**<sup>[40]</sup> och **IEEE** (jämför 3.2.1.4) tar även fram amerikanska metoder för fältmätningar på komponenter och system. **ACEE**<sup>[117]</sup> och **DOE**<sup>[68]</sup> har tagit fram ett protokoll för redovisning av energikarteringar.

## 3.3.2 Rapporter och böcker

**ASHRAE** utarbetar handböcker<sup>[45, 47-49]</sup> och riktlinjer för både stort och smått, bl.a. en s.k. Guideline<sup>[50]</sup> för driftsättning av byggnader och en handbok för markvärmearläggningar<sup>[46]</sup>.

**Bang, R & Sandbakk, M, 1993. Verifisering av forenklet målemetode for beregning av effektfaktor for store varmepumper**<sup>[54]</sup>: Bang och Sandbakk jämför intern mätning med extern värmemätning på tre stora varmepumpanläggningar med kolv- och skruvkompressorer från Sabroe. Vid fullast och stabil drift blev överensstämmelsen inom  $\pm 10$  % med förlustfaktor  $f = 0,1 - 0,2$ . Dellast och instabil drift kan ge ett härlett, fiktivt värde på förlustfaktorn upp mot 0,5. Slutsatsen är att metoden i första hand är lämplig vid fullast och att det är absolut nödvändigt med stabil drift. *Kommentar*: Detta gäller alltid, oavsett mätprincip, se 2.5.2.

**Eggen, G, 1992. Erfaringer fra prototyp- og demonstrasjonsanlegg for varmepumper**<sup>[70]</sup>: Eggen redovisar erfarenheter från utvärderingar av 40 varmepumpar under 1980-talet.

**Fahlén, P, 1987. Experiences from performance testing of large heat pumps**<sup>[82]</sup>: Fahlén presenterar resultat och erfarenheter från fältmässig provning av stora varmepumpar i fjärrvärmenät. Rapporten innehåller även jämförelser mellan uppmätta och garanterade prestanda. Resultaten har erhållits med metoderna SP0030 och SS2620/NTVVS076.

**Fahlén, P, 1989. Large Heat pumps - Field testing and presentation of performance**<sup>[90]</sup>: Denna rapport utgör underlaget för NTVVS076 (se 3.3.1.2).

**Fahlén, P & Johansson, K, 1989. Effektmätning på varmepumpar - Förenklad mätmetod**<sup>[105]</sup>: Rapporten beskriver en av de få officiella undersökningar som gjorts för att validera den interna mätmetoden. Jämförelsemätningar har gjorts på 4 olika varmepumpar med köldmedierna R12, R22 och R502. Överhettning, underkylning och värmeförlusterna för kompressorn har varierats. I de flesta fall har överensstämmelsen mellan intern och extern mätning varit bättre än  $\pm 5$  % och i samtliga fall bättre än  $\pm 15$  %.

**Kjellgren, C & Fahlén, P, 1993. Fläktkonvektorer - Effektmätning i fält**<sup>[155]</sup>: Kjellgren et al redovisar utvecklingen av en fältmätningss metod, SP1721, för att kunna bestämma avgiven

effekt från friblåsande luftbatterier av den typ som finns på luft/luft värmepumpar, fläktkonvektorer etc. Metoden har validerats i laboratorium och testats i fält.

**KTH, 1985. Försök med hermetiska kompressorer**<sup>[164]</sup>: KTH har genomfört ett stort antal prov med hermetiska kompressorer. Ur dessa försök kan man även få fram värden på förlustfaktorn  $f$ .

**Nyvad, J & Bay Möller, L, 1993. Feltprovemetode for køle- og varmepumpeinstallationer**<sup>[182]</sup>: Nyvad et al redovisar en undersökning av den interna metoden på värmepumpar av typ vätska/vatten och luft/vatten. Överensstämmelsen med en extern mätning ligger inom  $\pm 15\%$ .

### 3.3.3 Artiklar, föredrag och konferensbidrag

**Anderson, S A & Dieckert, J C, 1990. On-site chiller testing**<sup>[7]</sup>: Anderson et al beskriver erfarenheter från fältmätningar på 30 stora vätskekyllaggregat. Man har utvecklat insticksprober för både temperatur och flöde. Proberna sätts in genom stöstar på rören vilka försetts med kulkiksventiler. För temperatur används aktiva halvledargivare och för flöde turbinhjulsanemometrar (två små turbinhjul fästade på en stång). *Kommentar*: Liknande anemometrar, åtminstone enhjuliga, finns tillgängliga på marknaden. Det finns även induktiva- och differenströcksanemometrar.

**Cleland, A C, 1986. Computer subroutines for rapid evaluation of refrigerant thermodynamic properties, no. 9**<sup>[67]</sup>: Cleland har utvecklat en förenklad metod att beräkna relationerna mellan temperatur-tryck-entalpi för köldmedier (enkomponents och azeotropa medier). Metoden lämpar sig väl för användning i fältmässiga mätutrustningar för mätning enligt NTVVS116<sup>[181]</sup>. Se även Fahlén<sup>[105]</sup> och Johansson.

**Fahlén, P, 1987. Experiences from performance testing of large heat pumps**<sup>[107]</sup>. Behandlar i stort sett innehållet i rapporten SP-AR 1987:12<sup>[82]</sup>.

**Fahlén, P, 1990. Provning och funktionskontroll av värmepumpar.**<sup>[92]</sup>: Kurs i "Kyl- och värmepumpsteknik" vid CTH med speciell inriktning mot provning och funktionskontroll. Behandlar både extern och intern mätning.

**Hansen, M A & Sørensen, S N, 1996. COP-måling hos Frigoscandia i Kolding**<sup>[114]</sup>: Genom installation av mätutrustning och kontinuerlig uppföljning har man gjort driftsförbättringar som get 10 % i energibesparing.

**Havelsky, V, 1986. The prediction of the coefficient of performance of vapour compression heat pumps**<sup>[116]</sup>: Havelsky ger teoretiska samband mellan verklig och teoretisk COP för en given cykel. Sambanden kan användas för en typ av intern mätning där modellen kalibrerats mot viss a priori information. Istället för ett antagande om kompressorns förluster kan modellen kalibreras med extern mätning, t.ex. i samband med driftsättning, och sedan användas för kontinuerlig övervakning/mätning (Fahlén<sup>[87]</sup> har också beskrivit liknande möjligheter).

**Meltofte, J & Sørensen, S N, 1997. Indirekte COP-måling hos Scandinavian Airlines Data Denmark A/S**<sup>[165]</sup>: Meltofte redovisar mätningar över lång tid med intern och extern

mätning parallellt. Författaren anger att den interna metoden fungerat bra men det framgår inte tydligt av artikeln hur god överensstämmelsen var.

**Munter, P, 1987. Regneark og köletekniske beregninger<sup>[168]</sup>:** Munter beskriver möjligheterna att använda kalkylark i persondatorer för kyltekniska tillämpningar. Bl.a. har han använd Clelands förenklade köldmedieekvationer för att kunna bestämma *COP* med den interna metoden.

**Munter, P, 1989. Indirekte kapacitesbestemmelse for køleanlæg<sup>[169]</sup>:** Artikeln beskriver tekniken att bestämma *COP* med den interna metoden.

**Phelan, J, Brandemuehl, M & Krarti, M, 1997. Review of laboratory and field methods to measure fan, pump, and chiller performance<sup>[186-190]</sup>:** Phelan et al ger en översikt över metoder för fältmätningar på pumpar, fläktar och kylmaskiner i luftkonditioneringssystem. Artikeln ger också en kort beskrivning av metoderna och är en redovisning av ett ASHRAE-projekt som presenterats i en detaljerad arbetsrapport (se nedan).

**Phelan, J, Brandemuehl, M & Krarti, M, 1996. Final report, ASHRAE Project 827-RP: Methodology development to measure in-situ chiller, fan, and pump performance<sup>[188-190]</sup>:** Phelan et al beskriver alternativa sätt att med teoribildning och koefficienter som anpassas med hjälp av mätvärden från den verkliga driften skapa en modell som kan förutsäga prestanda för godtyckliga driftsförhållanden för en kylmaskin. Därmed kan man också räkna om driftdata till garantipunkter. I bilagor finns också en antal verkliga mätningar beskrivna. Däremot är mätmetoderna traditionella, d.v.s. extern mätning av flöde och temperaturdifferens.

**Reddy, T A & Claridge, D E, 2000. Uncertainty of "Measured" energy savings from statistical baseline models<sup>[196]</sup>:** Författarna diskuterar osäkerheter i prediktering av framtida energianvändning utifrån statistiska modeller baserade på mätningar. Kriterierna för att välja bästa modell kan variera och det är inte självklart att man har en bra modell bara för att *R* ("Coefficient of Determination") ligger nära 1.

**Seem, J E, House, J M & Monroe, R H, 1999. On-line monitoring and fault detection<sup>[199]</sup>:** Seem et al diskuterar metoder och fördelar med att mäta och övervaka klimatanläggningar i byggnader och med hjälp av expertsystem få löpande information om anläggningens status (FDD). Tekniken kan integreras i system för byggnadsautomation (BEMS) och samma metodik kan tillämpas specifikt för statusbestämning av kylmaskiner.

**Zogg, M, 1999. Efficient test method for building heat pump systems<sup>[257]</sup>:** Zogg beskriver möjligheterna med modellbildning, simulering och mätning i anläggningar för att statusbestämma värmepumpar (FDD).

Det finns många referenser till olika typer av fältmätningprojekt, både momentanmätningar<sup>[66, 115, 154, 161, 184]</sup>, korttidsmätningar<sup>[62, 159, 197, 200, 217]</sup> och långtidsmätningar<sup>[65, 118, 158, 162, 166, 167, 219, 224, 225, 254]</sup>.

### 3.3.4 Personlig kommunikation

**Berglöf, K, 2000. Fältmässiga mätmetoder<sup>[55, 56]</sup>:** Berglöf har arbetat med utveckling av ett kommersiellt tillgängligt system för intern mätning. Han har mycket lång erfarenhet av syste-

mets användning i olika typer av anläggningar och framhåller att så länge de grundläggande förutsättningarna är uppfyllda (stabil drift, tillräcklig överhettning och underkylning, lämplig kompressortyp etc., se 2.6.2) fungerar metoden bra. Normalt är det heller inga problem med "glide"-köldmedier och det finns tusentals mätningar gjorda på 407C-anläggningar utan problem i konventionella system (system med flödande förångare kan ge problem men då bör man ändå inte ha köldmedium med "glide". Det kan bli problem om man fyllt med fel sammansättning och då kan det slå åt vilket håll som helst (men då får man ofta ologiska värden på överhettning/underkylning). Det finns ca. 250 kyldatorer ute och därmed också mycket erfarenhet, men ingen har sammanställt detta. Översiktligt verkar resultaten stämma bra med kompressordiagram.

Några saker som Berglöf efterlyser: nyckeltal för kompressorförbrukning, inverkan av påtvingad konvektion inverkan av extern kylning av kompressorer, (vatten, olja, luft). för kylning, normala kompressorverkningsgrader för olika kompressortyper, inverkan av oljeinlösning/medsläpning av olja, tabeller för normala värden på verkningsgrader för elmotor (öppna kompressorer),

**Munter, 2001. Intern mätning**<sup>[170]</sup>: Munter använde tekniken med intern mätning på DTI, Danmark, i början på 1980-talet och testade ett 10-tal kylanläggningar. Det finns emellertid ingen rapport över resultat och erfarenheter och det är också hans allmänna intryck att det nästan inte finns någonting dokumenterat kring själva mättekniken och dess förutsättningar. Hans egna erfarenheter är goda beträffande mätningar på helhermetiska kompressorer. Förlustfaktorer på  $f = 7-8\%$  verkar rimligt för små enheter och ända ner till  $f = 3-4\%$  för stora hermetiska kompressorer. Beträffande köldmedieekvationer använde sig Munter ursprungligen av samband som Cleland<sup>[67]</sup> tagit fram men utnyttjar numera de samband som finns inbäddade i programvaran EES<sup>[156]</sup>.

**Weber, K, 1992. Intern mätning**<sup>[252]</sup>: Weber har utfört ett par tusen mätningar med intern mätning (ETMs värmepumpanalysator). Han anger en förlustfaktor  $f = 0,07$  som typiskt för hermetiska kompressorer. Större kompressorer med stor oljecirkulation kan ge problem och man behöver då skatta hur mycket köldmedium som finns löst i oljan och manuellt korrigera för detta. Även vissa skruvkompressorer, som arbetar med mycket liten överhettning, kan ge problem.

## 3.4 Mätmetoder

Det finns ett stort urval av handböcker, artiklar och standarder beträffande mätningar av enskilda storheter som temperatur, tryck, flöde, fukt etc.

### 3.4.1 Standard eller annan officiell metod

Går man in på hemsidorna för organisationer som ASHRAE, ASME, DIN, Nordtest, SMS, VDI, etc. kan man ofta hitta förteckningar över metoder och ibland även "ladda ner" dokument i form av PDF-filer.

#### 3.4.1.1 Sverige

Det finns inte så många svenska standarder för tillämpade mätningar. En metod som utvecklats i Sverige, och som tillämpats för luftflödesmätningar i fält i stor omfattning, är den s.k. T32:an<sup>[58]</sup> från BFR. Den finns även på engelska<sup>[220]</sup> och nu i uppdaterad version på svenska som:

**Blomqvist, Claes, 1996. Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer**<sup>[61]</sup>: Rapporten betraktas näst intill som en standard för praktiska luftflödesmätningar i byggnader. Den beskriver ett antal olika metoder och anger ungefärliga mätosäkerheter.

#### 3.4.1.2 Norden

På Nordisk nivå finns i första hand Nordtest och NVG (se ovan; engelsk utgåva av BFR:T32 samt nyutgåva på svenska). Nordtest arbetar i första hand med provningsmetoder men har även ett fåtal dokument om fältmätning/kalibrering, t.ex.:

**NTVVS082, 1990. Liquid flow metering installations: Radioactive tracer transit time method, in situ calibration**<sup>[178]</sup>: NTVVS082 beskriver en metod att kalibrera installerade flödesmätare på plats med hjälp av radioaktiva spårämnen. Har bl.a. använts i finska fjärrvärmenät.

#### 3.4.1.3 Europa

I Tyskland finns ett antal VDI/VDE och DIN-standarder, i många fall mycket bra, för flödesmätning<sup>[228, 230-242, 249, 250]</sup>, temperaturmätning<sup>[241, 243-248, 251]</sup>, fuktmätning<sup>[229]</sup> etc. Beträffande Europastandard finns det inte så mycket att tillgå för rena mätmetoder.

#### 3.4.1.4 Övrigt

Internationellt utarbetar **ISO** mättekniska standarder för exempelvis flöde<sup>[121-134, 136, 139, 146, 151, 152]</sup> och mätteknisk nomenklatur<sup>[255]</sup>.

Nationellt görs motsvarande arbete i USA, i form av mättekniska anvisningar för storheter som tryck, flöde, temperatur och elektrisk energi, av organisationer som **ARI**, **ASHRAE**<sup>[10-13, 18]</sup>, **AMCA**, **ASME**<sup>[19, 21-26, 28, 34-36, 52]</sup>, **ANSI**<sup>[40]</sup> **IEEE** och **NAESCO**<sup>[172]</sup> (jämför 3.2.1.4).

### 3.4.2 Rapporter och böcker

**Adunka, F, 1984. Wärmemengenmessung<sup>[1]</sup>:** Adunka behandlar teorierna för mätning av temperatur och flöde i vattensystem. Inriktningen är främst mot tillämpningar med traditionella värmemätare.

**Björklöf, D, 1991. Givarteknik för mätning i processer<sup>[59, 60]</sup>:** Björklöf behandlar i flera skrifter principerna för ett stort antal givare för temperatur och flöde.

**Fahlén, P, 1987. Temperaturmätning i vätskeflöden - inverkan av installationsförhållanden<sup>[84]</sup>:** Rapporten beskriver omfattande undersökningar av statiska och dynamiska mätfel vid temperaturmätning. Undersökningen behandlar problemen både teoretiskt och experimentellt för olika typer av dyrkrör och ytgivare samt olika installationsförutsättningar (strömningsriktning, strömningshastighet, värmepasta, isolering etc.).

**Fahlén, P, 1990. Undersökning av små flödesmätarens känslighet för start och stopp av vätskeflöden<sup>[93]</sup>:** Rapporten redovisar resultat beträffande inverkan av transienta förhållanden på flödesmätarens noggrannhet. Mätare av typen vinghjul, ringkolv, fluidistor och induktiva mätare har undersökts vid olika flöden och olika förhållanden mellan till och frånperioden.

**Fahlén, P, 1992. Värmemätning i vätskesystem<sup>[94]</sup>:** Denna rapport beskriver de teoretiska förutsättningarna för att kunna göra bra mätningar av flöde och temperatur i rörbundna flöden. Rapporten ger också praktiska installationstips för givare samt rekommenderar metoder för skattning och redovisning av mätosäkerheter. Viss information finns sammanfattad i lite enklare format<sup>[100, 101]</sup>.

**Fracastoro, G V, Lyberg, M D, 1983. IEA Annex III: Residential Buildings Energy Analysis - Guiding principles concerning design of experiments, instrumentation and measuring techniques<sup>[109]</sup>:** Rapporten behandlar planering och genomförande av fältmätningar, i första hand större mätningar för energikartering över långa perioder.

**Lieneweg, F, 1976. Technische Temperaturmessung<sup>[160]</sup>:** Bra, praktiskt industriellt inriktad handbok. Teoretiskt kvalificerad men ej helt modern.

**Lyberg, M, Fahlén, P & et al, 1987. Source Book for Energy Auditors -** behandlar även luftkonditionering och värmepumpar.

**Stolt, K, 1985. Elektromagnetisk mätare - Flödeshinder och mätnoggrannhet<sup>[218]</sup>:** Stolt redovisar experimentella undersökningar av hur olika typer av störd strömning påverkar mätnoggrannheten för elektromagnetiska flödesmätare.

### 3.4.3 Artiklar, föredrag och konferensbidrag

**Bernhard, F, Augustin, S, Mammen, H, Sommer, K-D, Tegeler, E, Wagner, M, Demisch, U & Trageser, P, 1999. Kalibrierung von Tastfühlern für Temperaturmessungen an Oberflächen**<sup>[57]</sup>: Bernhard et al beskriver en utrustning för att kalibrera yttemperaturgivare för momentanmätningar upp till 500 °C. Utrustningen ger möjlighet att jämföra både störd och ostörd temperatur.

**Gätke, J, 1999. Durchflussmessung nach dem akustischen Laufzeitverfahren bei gestörten Strömungsprofilen in zylindrischen Rohren**<sup>[110]</sup>: Det finns en stor mängd vetenskapliga artiklar som behandlar olika typer av störningars inflytande på mätresultat. Gätke ger ett exempel beträffande strömningsprofilens inverkan på flödesmätning med ultraljudsmätare. Denna typ av mätare är intressant som ingreppsfritt alternativ att mäta flöden i rör.

I övrigt finns en del referenser beträffande fältmässig mätning<sup>[81, 108, 111, 112, 119, 171, 183]</sup> av olika storheter och möjligheter till kalibrering<sup>[53, 113, 215]</sup> av mätutrustning in situ.

## 3.5 Osäkerhetsanalys

Inom området analys av mätosäkerheter har det skett ett paradigmskifte under 1990-talet. Framförallt är det initiativ från BIPM (internationella byrån för mått och vikt i Paris) inom den fundamentala metrologi som ligger bakom detta.

### 3.5.1 Standard eller annan officiell metod

Tillsammans med organisationer som OIML (legal metrologi) och ISO (internationell standardisering) har BIPM tagit fram en standard/policy dokument som tillämpas i Sverige (SWEDAC) och internationellt (se 3.5.1.4).

#### 3.5.1.1 Sverige

Sverige hade tidigare en standard<sup>[212]</sup> för angivande av mätresultat men tillämpar nu ISO- och EAL-metoder.

#### 3.5.1.2 Norden

Nordtest har ingen egen metod utan tillämpar ISO- och EAL-metoder. Dessutom har man formulerat några policydokument<sup>[173, 174]</sup> om metodernas tillämpning.

#### 3.5.1.3 Europa

**Doc19-1990, WECC, 1990. Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration**<sup>[253]</sup> har ersatts av **EAL-R2, 1997. Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration**<sup>[69]</sup>. Båda dokumenten är kortversioner av en ISO Guide (se 3.5.1.4).

#### 3.5.1.4 Övrigt

**ISO, 1993. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement**<sup>[147]</sup>: Denna standard kan användas som en grundläggande handbok i konsten att skatta och redovisa mätosäkerheter. De principer som beskrivs är internationellt accepterade genom olika överenskommelser och är ett krav för alla nationella och ackrediterade kalibreringslaboratorier. ISO har också en formell, allmän standard<sup>[138]</sup> och ger ut särskilda standarder för specifika mätstorheter<sup>[137]</sup>.

**ARI, ASHRAE, AMCA, ASME**<sup>[20, 27, 32]</sup>, **ANSI** och **IEEE** (jämför 3.2.1.4) har viss information beträffande generella metoder för att bedöma mätosäkerhet.

### 3.5.2 Rapporter och böcker

**Fahlén, P, 1994. Performance tests of air-source heat pumps under frosting conditions - Quality of results**<sup>[95]</sup>: Rapporten beskriver i detalj förutsättningarna för noggranna mätningar både på luftsidan och köldbärarsidan av en luftkylare. Rapporten har större allmängiltighet än vad som framgår av titeln och behandlar förutom mätning av flöde, fukt, temperatur och temperaturdifferens, tryck och tryckdifferens, eleffekt även förutsättningarna för att få korrekta termofysikaliska data på olika medier. Dessutom visar rapporten hur man med statistiska och analytiska metoder kan skatta olika osäkerhetskomponenter och hur dessa sedan sammanvägs till ett total mätosäkerhet.

### 3.5.3 Artiklar, föredrag och konferensbidrag

Det finns även många artiklar och konferensbidrag som handlar om osäkerhetsbedömningar på olika nivåer<sup>[196, 256]</sup>.



## 4 Diskussion

Denna förstudie identifierar och ger korta beskrivningar av metoder för mätning och utvärdering av kyl- och värmepumpanläggningar. Syftet är att belysa:

- vilka behov som klaras med befintliga metoder,
- vilka behov kräver nya metoder
- identifiering av behov beträffande forskning och utveckling
- arbetets fortsättning

### 4.1 Vilka behov klaras med befintliga metoder?

Det finns i dagsläget vedertagna metoder för att prova många typer av stora anläggningar men det är brist på enkla, billiga alternativ för små och medelstora enheter.

#### 4.1.1 Stora anläggningar

Aggregat med vätskeberörda förångare och kondensorer kan med fördel utvärderas enligt svensk standard, SS2620 eller Nordtestmetoden NTVVS076. Båda metoderna förutsätter att fullflödesmätning kan utföras med våtkalibrerade flödesmätare. För riktigt stora anläggningar kan avsaknaden av kalibreringslaboratorier med tillräcklig flödeskapacitet vara en problem. Ett alternativ är då olika typer av in situ metoder för kalibrering med spårämnen<sup>[122-126, 178]</sup>. Ofta är noggrannhetskraven höga för dessa anläggningar och detta ställer även krav på noggranna temperaturmätningar. Standarderna ger viss vägledning och Fahlén<sup>[94, 95]</sup> behandlar noggranna temperaturmätningar med insticksgivare och dykrör i detalj. Avsnitt 2.6.3 ger en sammanfattning av problemställningen.

#### 4.1.2 Små och medelstora anläggningar

Avsnitt 2.6.2 beskriver den enda lämpliga fältmetoden för korttidsmätning på små och mellanstora aggregat som hittats i samband med denna förstudie. Mätmetoden finns formulerad i Nordtestmetoden NTVVS116<sup>[181]</sup> och kompletteras med allmänna villkor för fältmätningar i NTVVS115<sup>[180]</sup>. Metoden verkar fungera bra på enkla aggregat med köldmediekylta kompressormotorer.

För att kunna mäta behövs tryckuttag på för både hög- och lågtryck samt att det finns tillräcklig underkylning och överhettning efter kondensorn och före kompressorn. Man måste också komma åt att mäta temperaturerna på kompressorns in- och utlopp samt på det underkylda kondensatet. Den temperatur som vanligtvis är svårast att mäta är tryckrörstemperaturen men även övriga yttemperaturmätningar kan ge upphov till mätfel om de inte utförs på ett noggrant och kunnigt sätt. Avsnitt 2.6.4 ger en kort beskrivning av problemen vid yttemperaturmätning.

För små luft/luft värmepumpar och reversibla luftkonditioneringsaggregat finns en fältmetod utvecklad av SP. Den formaliserades i under 1993-1995 av Fahlén och Kjellgren<sup>[106, 155]</sup>.

### **4.1.3 Långtidsmätningar, totalmätningar**

I samband med stora inventeringar och långtidsmätningar kan det finnas ekonomiskt utrymme för montering av traditionell mätutrustning även på mindre anläggningar. I vissa fall kan man få en god uppfattning om anläggningens funktion genom en kombination av momentanmätning enligt NTVVS116 och långtidsmätning med elenergimätare, drifttidmätare och/eller starträknare samt vissa systemtemperaturer. Den permanent monterade driftmätutrustningen ger en möjlighet att kontinuerligt följa aggregatets/anläggningens funktion.

I den mån mätningarna syftar till att kartlägga energianvändningen i kompletta byggnader, t.ex. i samband med driftsättning eller effektiviseringsåtgärder i butiker, skolor, kontor, bostadshus etc., finns både allmänna, ingenjörsmässiga metoder<sup>[50]</sup> och mera grundläggande, vetenskapliga procedurer. De senare beskriver både planering av mätning och datainsamling<sup>[109]</sup>, test av basmodeller för energiflöden för jämförelser före/efter åtgärd<sup>[196]</sup> samt systematiska metoder för att hitta och värdera effektiviseringsobjekt<sup>[163]</sup>. Detta innefattar även beskrivning av mät- och beräkningsmetoder och kategorier av nyckeltal för jämförelser. Numera finns ett stort utbud av fältnässigt anpassade datainsamlingsutrustningar med lämpliga utvärderingsprogram och till rimliga priser. Den stora kostnaden är vanligtvis inköp, kalibrering och installation av mätgivare, speciellt flödesmätare.

## 4.2 Vilka behov kräver nya metoder?

Även om det finns en hel del metoder för fältmässiga tillämpningar är det fortfarande brist på erkända och tillämpade metoder inom kyl- och värmepumpsområdet. Detta gäller framförallt enkla metoder. Området finns också prioriterat i handlingsplanen för Nordtest VVS<sup>[175]</sup>. Det finns också ett behov av att komplettera och/eller validera flera av metoder som redan finns.

### 4.2.1 Stora anläggningar

I de fall man har luftberörda värmeväxlare kan man normalt inte komma i närheten av de noggrannheter man har vid mätning i vätskesystem. Sällan finns totalflödesmätare installerade och man blir därmed ofta hänvisad till flödesmätning av typen hastighet - area eller spårgas. Dessutom blir kanaldimensionerna stora i dessa anläggningar så det krävs ett stort antal mätpunkter för att få relevanta värden på totalflödet. Traversering blir tidsödande och därmed osäker om inte mätförhållandena är mycket stabila. Nu går ju utvecklingen alltmer mot indirekta system så behovet att mäta direkt på stora luftflöden kanske inte blir så stort ur kylteknisk synvinkel. Man kan dock tänka sig att det är intressant i vissa industriella applikationer och rent allmänt vid ventilationstekniska mätningar och för att säkerställa korrekta förångar/kondensorflöden. Allmänna metoder finns redan i viss omfattning från ANSI/ASHRAE, ANSI/ASME, AMCA, ISO, VDI/VDE m.fl. men det saknas tillämpningsspecifika preciseringar.

### 4.2.2 Små och medelstora anläggningar

För små och mellanstora anläggningar finns idag alternativen med fullständig värmemätning enligt t.ex. NTVVS076 (dyr) och mätning i köldmediekretsen enligt NTVVS116. Problem uppstår i det senare fallet om aggregatet saknar tryckuttag, speciellt om aggregatet innehåller ett brännbart och/eller giftigt köldmedium.

Det finns ett stort behov av enkla och välbeprövade metoder både för värmepumpar och kylmaskiner. Behoven finns både för att lösa garantifrågor och för kontinuerligt övervakning/uppföljning och effektiviseringsåtgärder. I det senare fallet kan man i viss mån klara sig med olika former av enkla funktionskontroller, vilka omtalas i NTVVS115.

### 4.2.3 Långtidsmätningar, totalmätningar

Det finns en hel del allmänt material om energikartering, mätmetoder m.m. men det saknas tillämpningsnära metoder för kyl- och värmepumpanläggningar. Dessutom saknas mätmetodik för en del nya tillämpningar, t.ex. flödesmätning på koldioxid som köldbärare.

## 4.3 Identifiering av forskningsbehov

I den löpande texten har några forskningsinsatser identifierats. Nedan följer några förslag till områden för forskning och utveckling.

### 4.3.1 Extern mätning

Extern värmemätning är ett väl utvecklat område. Det finns dock utrymme för en del kompletterande undersökningar, t.ex. beträffande:

- **Alternativa tekniker för ”ingreppsfri” flödesmätning**  
För- och nackdelar med olika typer av ingreppsfri flödesmätning behöver klarläggas. Exempel på sådan mätteknik är ultraljudsmätare av ”clamp on” typ, värmepulsmätning etc. Praktiska noggrannheter behöver valideras.
- **Noggrannhet för flödesmätning med spårämnen**  
Det finns en del grundläggande ISO-standarder för flödesmätning med spårämnesteknik. I ett Nordtestprojekt har man även studerat möjligheten att kalibrera flödesmätare i fjärrvärmenät med denna teknik. Det saknas emellertid en del kunskap om noggrannheten i denna metod samt även praktisk tillämpning i mindre anläggningar.
- **Koldioxid som köldbärare**  
I de fall man kräver extern mätning av kyleffekt i en krets med koldioxid som köldbärare finns det anledning att undersöka lämplig typ av flödesmätning. I vätskefasen tål man normalt inga nämnvärda tryckfall och induktiva flödesmätare fungerar inte med koldioxid.
- **Nya köldbärare**  
Det behövs ett fortlöpande arbete med att kartlägga termofysikaliska data för nya köldbärare. Speciellt behöver man undersöka inverkan av olika tillsatser på data för rena medier. Vid mätning i befintliga system kan sättet att bestämma koncentrationen (densitet, brytningsindex, analys etc.) ha betydelse för resultatet. Storleken av de fel som detta kan ge upphov till behöver utredas<sup>[95]</sup>.

#### 4.3.2 Intern mätning

Till skillnad från fallet med externa mätningar är förutsättningarna för interna mätningar inte alls lika bra kartlagda. Det finns goda kunskaper på ett fåtal händer men det saknas fortfarande bra sammanställningar beträffande tillämpningar, validering och praktiska mätverktyg. Några exempel är:

- **Tillämpningsförutsättningar**  
NTVVS115 anger vissa förutsättningar för att metoden skall kunna tillämpas. Detta behöver kompletteras med en grundligare genomlysning av under vilka driftförhållanden och i vilka system som metoden är generellt tillämplig. Vilka anläggningar kan mätas och under vilka förutsättningar?
- **Specialsituationer**  
Det finns många system, som kanske inte är så vanligt förekommande, men som ändå är intressanta att kunna mäta på.. Det behövs dokumenterade handledningar kring vad man kan och inte kan göra i detta avseende, t.ex. beträffande system med oljekylare, köldmedieinsprutning, ”economizer” m.m.
- **Validering av mätosäkerhet**  
Det finns några få undersökningar<sup>[105]</sup> av den interna metodens osäkerhet. Dessa behö-

ver kompletteras för att ge NTVVS116 en status som officiellt validerad metod att bestämma prestanda i kyl- och värmepumpanläggningar.

- **Nyckeltal beträffande förlustfaktorer för kompressorer**

En grundförutsättning för NTVVS116 är ett antagande om kompressorn förlustfaktor. Därmed behövs en väl underbyggd översikt över förlustfaktorer för olika typer och kompressorer vid olika typer av system samt vid olika installations- och driftförhållanden. Uppmätta data under kontrollerade förhållanden saknas. Även inverkan av extern kylning behöver undersökas (t.ex. kylning med vatten, olja eller påtvingad luftströmning). Genom t.ex. termografering kan man titta på höljets temperaturfördelning (vissa delar kan avge värme samtidigt som andra delar upptar värme).

- **Övriga nyckeltal**

Vid intern mätning behövs en modern sammanställning av nyckeltal för rimliga värden för verkningsgrader (elmotorer till öppna kompressorer, kompressorer, m.m.), temperaturdifferenser (överhettning, underkylning, värmeväxlare m.m.), etc. för olika typer av aggregat och system. Nyckeltal är viktiga för att kunna bedöma mätresultatets rimlighet och dra slutsatser om nödvändiga åtgärder i anläggningen.

- **Zeotropa köldmedier**

NTVVS116 har utvecklats och testats på system med enkomponentköldmedier eller azeotropa blandningar. Eventuella problem, t.ex. fraktionering, i samband med användningen av zeotropa blandningar behöver kartläggas och dokumenteras. Enkla, ingenjörsmässiga ekvationer av den typ Cleland<sup>[67]</sup> tagit fram för enkomponents- och azeotropa medier behövs även för de zeotropa medierna för att underlätta realtidsberäkningar med den interna mätmetoden.

- **Brännbara köldmedier**

Säkerhetsmässiga aspekter i samband med montage av mätutrustning på kylmaskiner med brännbara köldmedier behöver utredas. Vilka krav ställs på utrustningens skyddsform, vilka krav ställs på personal etc. (formellt krävs förmodligen alltid certifierad personal för att montera tryckgivare).

- **Kombinationer av olja och köldmedium**

Oljeinlösning, medsläpning av olja, inlösning i oljan av specifika komponenter från köldmedieblandningar behöver analyseras med hänsyn till hur dessa fenomen påverkar mätresultat och nyckeltal.

### 4.3.3 Övrigt

Utöver den fältmässiga provningsmetoden behöver man ofta hjälp av specifika analys-, beräknings- och mätverktyg. Nedan följer några exempel:

- **Nyckeltal**  
Vid statusbestämning av anläggningar behövs en modern sammanställning av nyckeltal för komponenter (elmotorer, kompressorer, värmeväxlare m.m.), aggregat och system. Nyckeltal är viktiga på samtliga nivåer för att anläggningsägaren skall kunna ta ställning till om anläggningen behöver åtgärdas och i så fall var samt vilka förbättringar som han rimligen kan förvänta sig.
- **Besiktningsskema**  
Det finns handböcker i hur man på ett systematiskt sätt genomför energikarteringar på byggnader i allmänhet och sedan väljer ut de lämpligaste åtgärderna. En mer konkret handlingsplan specifikt för kyl- och värmepumpanläggningar skulle vara till stor hjälp. Detta dokument bör innehålla checklistor och hänvisningar till mät- och utvärderingsmetoder.
- **”Ingreppsfri” temperatur mätning** (”non-invasive measurements”)  
Ingreppsfri mätning erfordras i många fall när mätningar skall göras snabbt och/eller till låg kostnad. Detta omfattar både beröringsfri mätning, t.ex. IR-termometri, och mätning med beröring utan att göra ingrepp, t.ex. yttemperaturmätning för att skatta temperaturen i ett rörbundet vätskesystem. Den temperatur som är svårast att mäta är tryckrörstemperaturen.
- **”Ingreppsfri” eleffektmätning**  
Säkerhetsmässiga och mättekniska aspekter i samband med montage av temporär utrustning för bestämning av eleffekt/elenergi behöver dokumenteras.
- **Eleffektmätning i system med risk för dålig ”elkvalitet”**  
I många system med frekvensstyrda motorer, stora motoreffekter, tyristorstyrda värmare m.m. finns risk för distorderade kurvformer, vilka kan påverka mätningens noggrannhet. Det finns vissa undersökningar gjorda, t.ex. på SP, om hur detta påverkar enskilda mätartyper. Eventuellt behövs kompletterande undersökningar men det behövs bra instruktioner till praktiker om hur man tillämpar den kunskap som redan finns. I system med dålig elmiljö finns även risk att andra mätningar påverkas (instruktioner om jordning, skärmning m.m.).

## 4.4 Förslag till fortsatt arbete

Detta projekt har utgjort en förstudie för att ge en bild av vilken kunskap och vilken dokumentation som finns idag. Rapporten ger ett bra underlag för fortsatt arbete. Mitt förslag är att detta arbete skall ha som målsättning att ta fram **en handbok för fältmässig mätning, provning, statusbestämning och analys av kyl- och värmepumpanläggningar med tillhörande system**. Eventuellt kan det finnas anledning att även ta fram en engelskspråkig version eftersom avsikten av denna typ av handbok borde resultera i ett brett internationellt intresse. Handbokens upplägg och innehåll bestäms lämpligtvis i en projektgrupp med representation av alla

intressentkategorier (tillverkare, konsulter, installatörer, förvaltare, energiföretag etc.). Några exempel på vad handboken skulle kunna innehålla:

- Beskrivning av olika **behov av mätningar** (driftsättning, garantiprov, statusbestämning m.m.) och vilka förutsättningar och krav som förknippas med dessa. Man kan t.ex. göra en översiktlig förteckning så att man snabbt kan hitta ett tillämpligt avsnitt för den situation man själv har. För varje tillämpning ges ett rekommenderat urval av provningsmetoder.
- Beskrivning av vilket behov av **kompetens** och **praktiska förutsättningar** som finns för att kunna genomföra en provning. T.ex. mätteknisk kompetens, analysmöjligheter, behörighet för ingrepp in anläggningen, teknisk dokumentation etc.
- Beskrivning av **ekonomiska** och **juridiska** förutsättningar. T.ex. avtal, garantier, konsumenträttsliga villkor m.m.
- Beskrivning av **provningsmetoder**. Varje rekommenderad metod ges ett kort beskrivande avsnitt med kompletterande information, om metoden i sig inte är helt tydlig, samt kommentarer kring metodens bra och dåliga punkter och erfarenheter av dess användning. I beskrivningen av metoden förtecknas också vilken typ av mätningar som behöver göras. För varje mätstorhet kan man referera till en eller flera mätmetoder (t.ex. för bestämning av temperatur, fukt, etc.).
- Beskrivning av **mätmetoder**. Varje rekommenderad mätmetod ges en kort beskrivning med hänvisning till standard i förekommande fall. Här kan man också ge tips om lämplig utrustning, ungefärliga kostnader m.m. På samma sätt som för provningsmetoderna kommenteras bra och dåliga egenskaper, noggrannhet och praktiska erfarenheter.
- Förteckning över **nyckeltal**, dels för att kunna bedöma rimligheten i mätningarna och dels för att bedöma potentialen för att förbättra anläggningen.
- Eventuellt, i bilageform, kan handboken innehålla lite **grundläggande mätteknik**, men i första hand bör man referera till befintliga handböcker.

Arbetet med en handbok kan egentligen påbörjas när som helst, t.ex. av en seniorforskare i nära samarbete med en projektgrupp, som nämnts tidigare. För att färdigställa handboken finns emellertid en hel del kunskapsluckor som behöver täppas till. Detta arbete kan lämpligtvis göras i ett eller flera doktorandprojekt/examensarbeten (beroende på arbetets nivå och omfattning). Vissa delmoment kan också knytas till pågående FoU-arbeten. T.ex. studerar KTH metoder att undersöka förändringar i den cirkulerande sammansättningen av köldmedieblandningar och SP studerar givare och mätförutsättningar för den interna mätmetoden.

## 5 Alfabetisk bibliografi

1. Adunka, F, 1984. Wärmemengenmessung. (Vulkan-Verlag.) Essen, Germany.
2. AMCA-200-1990, 1990. Fan application manual publications: Air systems. (AMCA.)
3. AMCA-201-1990, 1990. Fan application manual publications: Fans and systems. (AMCA.)
4. AMCA-202-1990, 1990. Fan application manual publications: Troubleshooting. (AMCA.)
5. AMCA-203-1990, 1990. Fan application manual publications: Field performance measurements of fan systems. (AMCA.)
6. AMCA-803-1987, 1987. Site performance test standard: Power plant and industrial fans. (AMCA.) USA.
7. Anderson, S A & Dieckert, J C, 1990. On-site chiller testing. (ASHRAE Journal, pp. 54-60.)
8. ANSI/AMCA-210-1985, 1985. Laboratory methods of testing fans for rating. (AMCA.) Atlanta, Georgia,.
9. ANSI/ASHRAE-30-1978, 1978. Methods of testing liquid chilling packages. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
10. ANSI/ASHRAE-41.1-1991, 1991. Standard method for temperature measurement. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
11. ANSI/ASHRAE-41.2-1987, 1987. Standard methods for laboratory airflow measurement. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
12. ANSI/ASHRAE-41.3-1989, 1989. Standard method for pressure measurement. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
13. ANSI/ASHRAE-41.8-1989, 1989. Standard methods of measurement of flow of liquids in pipes using orifice flowmeters. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
14. ANSI/ASHRAE-51-1985, 1985. Laboratory methods of testing fans for rating. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
15. ANSI/ASHRAE-111-1988, 1988. Practices for measurement, testing, adjusting, and balancing of building heating, ventilation, air-conditioning, and refrigeration systems. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
16. ANSI/ASHRAE-114-1986, 1986. Energy management and control system instrumentation. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.



17. ANSI/ASHRAE-116-1983, 1983. Methods of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioners and heat pumps. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
18. ANSI/ASHRAE-125-1992, 1992. Method of testing thermal energy meters for liquid streams in HVAC systems. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
19. ANSI/ASME-MFC-1M-1991, 1991. Measurement of fluid flow, glossary of terms. (ASME.) USA.
20. ANSI/ASME-MFC-2M-1988, 1988. Measurement uncertainty for fluid flows in closed conduits. (ASME.) USA.
21. ANSI/ASME-MFC-4M-1990, 1990. Measurement of gas flow by turbine meters. (ASME.) USA.
22. ANSI/ASME-MFC-5M-1989, 1989. Measurement of liquid flow in closed conduits using transit-time ultrasonic flowmeters. (ASME.) USA.
23. ANSI/ASME-MFC-6M-1987, 1987. Measurement of fluid flow in pipes using vortex flowmeters. (ASME.) USA.
24. ANSI/ASME-MFC-7M-1992, 1992. Measurement of gas flow by means of critical flow venturi nozzles. (ASME.) USA.
25. ANSI/ASME-MFC-8M-1988, 1988. Fluid flow in closed conduits - Connections for pressure signal transmission between primary and secondary devices. (ASME.) USA.
26. ANSI/ASME-MFC-9M-1988, 1988. Measurement of liquid flow in closed conduits by weighing method. (ASME.) USA.
27. ANSI/ASME-MFC-10M-1988, 1988. Method for establishing installation effects on flowmeters. (ASME.) USA.
28. ANSI/ASME-MFC-11M-1989, 1989. Measurement of fluid flow by means of coriolis mass flowmeters. (ASME.) USA.
29. ANSI/ASME-PTC1-1991, 1990. Performance test codes - General instructions. (ASME.) USA.
30. ANSI/ASME-PTC2-1980, 1980. Performance test codes - Definitions and values. (ASME.) USA.
31. ANSI/ASME-PTC11-1990, 1990. Performance test codes for fans. (ASME.) USA.
32. ANSI/ASME-PTC18.1-1984, 1984. Measurement uncertainty - Instruments and apparatus. (ASME.) USA.
33. ANSI/ASME-PTC18.1-1984, 1984. Pumping mode of pump/turbines. (ASME.) USA.

34. ANSI/ASME-PTC19.2-1987, 1987. Pressure measurement instruments and apparatus - part 2. (ASME.) USA.
35. ANSI/ASME-PTC19.3-1985, 1985. Temperature measurement. (ASME.) USA.
36. ANSI/ASME-PTC19.5-1972, 1972. Application, part II of fluid meters: Interim supplement on instruments and apparatus. (ASME.) USA.
37. ANSI/IEEE-112-1992, 1992. Standard test procedures for polyphase induction machines. (IEEE.) USA.
38. ANSI/IEEE-113-1985, 1985. Standard test procedures for direct current machines. (IEEE.) USA.
39. ANSI/IEEE-115-1983, 1985. Standard test procedures for synchronous machines. (IEEE.) USA.
40. ANSI-C12.1-1988, 1988. American National Standard Code for electricity metering. (ASME.) USA.
41. ARI-210/240-94, 1994. Unitary air-conditioning and air-source heat pump equipment. (ARI.) USA.
42. ARI-500, 1990. Variable capacity positive displacement refrigerant compressors and compressor units for air-conditioning and heat pump applications. (ARI.) USA.
43. ARI-550, 1992. Standard for centrifugal and rotary screw compressor water-chilling packages. (ARI.) USA.
44. ARI-590, 1992. Standard for positive displacement compressor water-chilling packages. (ARI.) USA.
45. ASHRAE, 1995. ASHRAE handbook - HVAC Applications. (ASHRAE.). Atlanta, Georgia, USA.
46. ASHRAE, 1995. Commercial/institutional ground-source heat pump - Engineering manual. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.
47. ASHRAE, 1996. ASHRAE handbook - HVAC Systems and Equipment. (ASHRAE.). Atlanta, Georgia, USA.
48. ASHRAE, 1997. ASHRAE handbook - Fundamentals. (ASHRAE.). Atlanta, Georgia, USA.
49. ASHRAE, 1998. ASHRAE handbook - Refrigeration. (ASHRAE.). Atlanta, Georgia, USA.
50. ASHRAE-Guideline1-1989, 1989. Guideline for commissioning of HVAC systems. (ASHRAE.) Atlanta, Georgia, USA.

51. ASME-PTC8.2-1990, 1990. Centrifugal pumps. (ASME.) USA.
52. ASME-PTC19.6-1955, 1955. Electrical measurements in power circuits. (ASME.) USA.
53. Baker, D W & Hurley, C W, 1984. On-site calibration of flow metering systems installed in buildings. (NIST, Building Science Series 159.) Gaithersburg, USA.
54. Bang, R & Sandbakk, M, 1993. Verifisering av forenklet målemetode for beregning av effektfaktor for store varmpumper. (SINTEF, STF11 F93062.) Trondheim.
55. Berglöf, K, 2000. Fältnässiga mätmetoder (personlig kommunikation). (Berglöf Kylteknologi.). Stockholm.
56. Berglöf, K, 2001. Intern COP-mätning (personlig kommunikation). (Berglöf Kylteknologi AB.). Stockholm.
57. Bernhard, F, Augustin, S, Mammen, H, Sommer, K-D, Tegeler, E, Wagner, M, Demisch, U & Trageser, P, 1999. Kalibrierung von Tastfühlern für Temperaturmessungen an Oberflächen. (PTB-Mitteilungen, no. 5, vol. 109, pp. 347-355.)
58. BFR:T32, 1982. Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer. (Statens råd för byggnadsforskning, BFR-rapport T32:1982.) Stockholm, Sweden.
59. Björklöf, D, 1991. Givarteknik för mätning i processer. (Almqvist&Wiksell.) Stockholm.
60. Björklöf, D, 1991. Industriell flödesmätning. (STF Ingenjörsutbildning AB.) Stockholm.
61. Blomqvist, C, 1996. Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer. (The Nordic Ventilation Group, NVG Gävle, Sweden.
62. Buller, S, Alereza, T, Pakarinen, J, Mort, D & Khorram, H, 1992. Short term commercial metering project. (ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Proceedings of ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.) Washington, D.C.
63. CENTC113-N298, 1998. Multi-split system air-conditioners and air-to-air heat pumps - Testing for rating and performance. (CEN.) Brussels, Belgium.
64. CIBSE, 1991. Refrigerating systems - Commissioning code R. (CIBSE.) Great Britain.
65. Claridge, D, Haberl, J, Turner, W D, O'Neal, D, Heffington, W, Tombari, C, Robers, M & Jaeger, S, 1991. Improving energy conservation retrofits with measured savings. (ASHRAE Journal, no. 10, vol. 33, pp. 14-22.)

66. Clarke, M S, 1976. The application of performance measurements to some typical fan systems, ASHRAE, ASHRAE Transactions, vol. 82, pp. 861-867.)
67. Cleland, A C, 1986. Computer subroutines for rapid evaluation of refrigerant thermodynamic properties. (International Journal of Refrigeration, vol. 9.) Great Britain.
68. DOE/EE-0157:IPMVP-1997, 1997. International performance measurement and verification protocol. (Department of Energy.) Washington DC, USA.
69. EAL-R2, 1997. Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. (EAL Ed. 1.)
70. Eggen, G, 1992. Erfaringer fra prototyp- og demonstrasjonsanlegg for varmpumper. (SINTEF, STF11 A92017.) Trondheim.
71. EN255-1, 1997. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 1: Terms, definitions and designations. (CEN Ed. 2.) Brussels, Belgium.
72. EN255-2, 1997. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 2: Testing and requirements for marking for space heating units. (CEN Ed. 1.) Brussels, Belgium.
73. EN255-3, 1997. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 3: Testing and requirements for marking for sanitary hot water units. (CEN Ed. 1.) Brussels, Belgium.
74. EN255-4, 1997. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 4: Requirements for space heating and sanitary hot water units. (CEN Ed. 1.) Brussels, Belgium.
75. EN810, 1997. Dehumidifiers with electrically driven compressors - Rating tests, marking, operational requirements and technical data sheet. (CEN Ed. 1.) Brussels, Belgium.
76. EN814-1, 1997. Air conditioners and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode - Part 1: Terms, definitions and designations. (CEN Ed. 1.) Brussels, Belgium.
77. EN814-2, 1997. Air conditioners and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode - Part 2: Testing and requirements for marking. (CEN Ed. 1.) Brussels, Belgium.
78. EN814-3, 1997. Air conditioners and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode - Part 3: Requirements. (CEN Ed. 1.) Brussels, Belgium.

79. EN12055, 1998. Liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Cooling mode - Definitions, testing and requirements. (CEN Ed. 1.) Brussels, Belgium.
80. EuroventCertification, 2000. <http://www.eurovent-certification.com>. (Eurovent Certification.)
81. Fahlén, P, 1979. Kan jag lita på min flödesmätare - testning, kalibrering, onoggrannhet. (Industriell flödesmätning, 23 October, STF.) Stockholm.
82. Fahlén, P, 1987. Experiences from performance testing of large heat pumps. (Statens provningsanstalt, Arbetsrapport 1987:12.) Borås, Sweden.
83. Fahlén, P, 1987. Large heat pumps - presentation and testing of performance. (Statens provningsanstalt, Arbetsrapport 1987:19.) Borås, Sweden.
84. Fahlén, P, 1987. Temperaturmätning i vätskeflöden - inverkan av installationsförhållanden. (Statens provningsanstalt, Arbetsrapport 1987:30.) Borås, Sweden.
85. Fahlén, P, 1987. Värmepumpars prestanda - standardiserad redovisning (info). (Statens provningsanstalt, SP-INFO 1987:26.) Borås, Sweden.
86. Fahlén, P, 1987. Värmepumpars prestanda - standardiserad redovisning (rapp). (Statens provningsanstalt, SP-RAPP 1987:08.) Borås, Sweden.
87. Fahlén, P, 1988. Defrosting - an approach to optimal control. (ScanRef, no. 4, pp. 35-39.)
88. Fahlén, P, 1988. Laboratorieprovning av värmepumpar - erfarenheter 1984-1986. (Statens råd för Byggnadsforskning, R1:1988.) Stockholm.
89. Fahlén, P, 1989. Frånluftsvärmepumpar för småhus - Systemprovning i laboratorium. (Statens provningsanstalt, Arbetsrapport 1989:50.) Borås, Sweden.
90. Fahlén, P, 1989. Large Heat pumps - Field testing and presentation of performance. (Statens provningsanstalt, SP-AR 1989:12.) Borås, Sweden.
91. Fahlén, P, 1990. Laboratory testing of heat pumps - Experience 1984-1986. (Statens provningsanstalt, SP-rapport 1990:19.) Borås, Sweden.
92. Fahlén, P, 1990. Provning och funktionskontroll av värmepumpar. (Kurs i "Kyl- och värmepumpsteknik", 15 October, SP.) Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
93. Fahlén, P, 1990. Undersökning av små flödesmätarens känslighet för start och stopp av vätskeflödet. (Statens provningsanstalt, SP-AR 1990:45.) Borås, Sweden.
94. Fahlén, P, 1992. Värmemätning i vätskesystem. (Statens råd för byggnadsforskning, BFR-rapport R13:1992.) Stockholm, Sweden.

95. Fahlén, P, 1994. Performance tests of air source heat pumps under frosting conditions - Quality of Results. ( SP (Swedish National Testing and Research Institute), SP REPORT 1994:01.) Borås.
96. Fahlén, P, 1996. Field testing of refrigeration and heat pump equipment - General conditions. ( SP (Swedish National Testing and Research Institute), SP AR 1996:22.) Borås.
97. Fahlén, P, 1996. Field testing of refrigeration and heat pump equipment - Performance data inferred from measurements in the refrigerant system. ( SP (Swedish National Testing and Research Institute), SP AR 1996:23.) Borås.
98. Fahlén, P, 1997. Tryck- och temperaturgivare i rörbundna flöden. ("Flödesmätning i rör", 9 October.) Lidingö.
99. Fahlén, P, 1998. NTVVS1462-99: Projektbeskrivning - Laborieprovning av kapacitetsreglerade värmepumpar. (SP Borås.
100. Fahlén, P, 1998. Temperaturmätning i köldmediesystem. (Svenska Kyltekniska Föreningens nyhetsbrev.)
101. Fahlén, P, 1999. Temperaturmätning i köld- och värmebärarsystem. (Svenska Kyltekniska Föreningens nyhetsbrev.)
102. Fahlén, P & al, e, 1991. Indata vid energiberäkning i småhus. (Statens provningsanstalt, SP-Arbeitsrapport 1991:08.) Borås, Sweden.
103. Fahlén, P & Johansson, C, 1991. Komfortvärmepumpar - provning av prestanda. (Statens provningsanstalt, SP-Arbeitsrapport 1991:43.) Borås, Sweden.
104. Fahlén, P & Johansson, C, 1991. Luft/luft värmepumpar - provning av prestanda. (Statens råd för byggnadsforskning, BFR-rapport R47:1991.) Stockholm, Sweden.
105. Fahlén, P & Johansson, K, 1989. Effektmätning på värmepumpar - Förenklad mätmetod. (Statens Råd för Byggnadsforskning, R4:1989.) Stockholm.
106. Fahlén, P & Kjellgren, C, 1995. Prestandaprovning av luft/luft värmepumpar. ( SP (Swedish National Testing and Research Institute), SP-arbeitsrapport 1994:51.) Borås.
107. Fahlén, P & Lagerkvist, K, 1987. Experiences from performance testing of large heat pumps. (Conference on the large scale application of heat pumps, 25 -27 March, Proceedings of the Conference on the large scale application of heat pumps, pp. 1-10.) Oxford, England.
108. Feller, M F, 1987. New developments in liquid flow and thermal metering. (Energy Engineering, no. 1, vol. 84, pp. 16-36.)

109. Fracastoro, G V & Lyberg, M D, 1983. IEA Annex III: Residential Buildings Energy Analysis - Guiding principles concerning design of experiments, instrumentation and measuring techniques. (Swedish Council for Building Research, D11:1983.) Stockholm, Sweden.
110. Gätke, J, 1999. Durchflussmessung nach dem akustischen Laufzeitverfahren bei gestörten Strömungsprofilen in zylindrischen Rohren. (Technisches Messen, no. 10, vol. 66, pp. 378-385.)
111. Haberl, J, Claridge, D, O'Neal, D, Heffington, W & Turner, W D, 1990. Monitoring \$98 million in energy efficiency retrofits: The Texas LoanStar program. (ACEEE 1990 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1990, ACEEE, Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.) Washington, D.C.
112. Haberl, J, Claridge, D E & Hartje, D T, 1990. The design of field experiments and demonstrations. (IEA Field Monitoring Workshop, April, Proceedings of the IEA Field Monitoring Workshop.) Göteborg, Sweden.
113. Haberl, J, Turner, W D, Finstad, C, Scott, F, Bryant, J & Coonrod, D, 1992. Calibration of flowmeters for use i HVAC systems monitoring. (1992 ASME International Solar Energy Conference, Proceedings of the 1992 ASME International Solar Energy Conference.)
114. Hansen, M A & Sörensen, S N, 1996. COP-måling hos Frigoscandia i Kolding. (ScanRef, no. 6, vol. 25, pp. 7-8.)
115. Harmon, K S, 1984. HVAC system analysis: Checking equipment efficiency. (Energy Engineering, no. 4, vol. 81, pp. 43-52.)
116. Havelisky, V, 1986. The prediction of the coefficient of performance of vapour compression heat pumps. (Heat Recovery Systems, no. 2, vol. 6, pp. 117-121.)
117. Heinemeier, K E & Akbari, H, 1992. Proposed guidelines for using energy management and control systems for performance monitoring. (ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, ACEEE, Proceedings of the ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.) Washington, D.C.
118. Hughes, P J, Hough, R E, Hackner, R J & Clark, W E, 1987. Results-oriented methodology for monitoring HVAC equipment in the field, ASHRAE, ASRAE Transactions, vol. 93, pp. 1569-1579.)
119. Hurley, C W, 1986. Measurement of temperature, humidity, and fluid flow. (National Workshop on Field Data Acquisition for Building and Equipment Energy Use Monitoring, CONF-8510218, Oak Ridge National Laboratory, Proceedings of the National Workshop on Field Data Acquisition for Building and Equipment Energy Use Monitoring.) Oakridge.
120. ISO917:1989, 1989. Testing of refrigerant compressors. (ISO.)

121. ISO2186:1973, 1973. Fluid flow in closed conduits - Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements. (ISO.)
122. ISO2975/1:1974, 1974. Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part 1: General. (ISO.)
123. ISO2975/2:1975, 1975. Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part 2: Constant rate injection method using non-radioactive tracers. (ISO.)
124. ISO2975/3:1976, 1976. Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part 3: Constant rate injection method using radioactive tracers. (ISO.)
125. ISO2975/6:1977, 1977. Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part 6: Transit time method using non-radioactive tracers. (ISO.)
126. ISO2975/7:1977, 1977. Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part 7: Transit time method using radioactive tracers. (ISO.)
127. ISO3354:1975, 1975. Measurement of clean water flow in closed conduits - Velocity-area method using current-meters. (ISO.)
128. ISO3966:1977, 1977. Measurement of fluid flow in closed conduits - Velocity-area method using Pitot static tubes. (ISO.)
129. ISO4006:1977, 1977. Measurement of fluid flow in closed conduits - Vocabulary and symbols - Bilingual edition. (ISO.)
130. ISO4053/1:1977, 1977. Measurement of gas flow in conduits - Tracer methods - Part 1: General. (ISO.)
131. ISO4053/4:1978, 1978. Measurement of gas flow in conduits - Tracer methods - Part 4: Transit time method using radioactive tracers. (ISO.)
132. ISO4064/1:1977, 1977. Measurement of water flow in closed conduits - Meters for cold potable water - Part 1: Specification. (ISO.)
133. ISO4064/2:1978, 1978. Measurement of water flow in closed conduits - Meters for cold potable water - Part 2: Installation requirements. (ISO.)
134. ISO4185:1980, 1980. Measurement of liquid flow in closed conduits - Weighing method. (ISO.)
135. ISO5151, 1994. Non-ducted air conditioners and heat pumps - Testing and rating for performance. (ISO.)
136. ISO5167:1980, 1980. Measurement of fluid flow by means of orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full. (ISO.)



137. ISO5168:1978, 1978. Measurement of fluid flow - Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement. (ISO.)
138. ISO5725. Accuracy of measurement - Methods and results. (ISO.)
139. ISO7145:1982, 1982. Determination of flowrate of fluids in closed conduits of circular cross-section - Method of velocity measurement at one point in the cross-section. (ISO.)
140. ISO9309:1989, 1989. Refrigerant compressors - Presentation of performance data. (ISO.)
141. ISO13253, 1995. Ducted air-conditioners and air-to-air heat pumps - Testing and rating for performance. (ISO.)
142. ISO13256-1, 1998. Water-source heat pumps - Testing and rating for performance - Part 1: Water-to-air and brine-to-air heat pumps. (ISO.)
143. ISO13256-2, 1998. Water-source heat pumps - Testing and rating for performance - Part 1: Water-to-water and brine-to-water heat pumps. (ISO.)
144. ISO13261-1, 1998. Sound power rating of air-conditioning and air-source heat pump equipment - Part 1: Non-ducted outdoor equipment. (ISO.)
145. ISO13261-2, 1998. Sound power rating of air-conditioning and air-source heat pump equipment - Part 2: Non-ducted indoor equipment. (ISO.)
146. ISO, 1983. ISO Standards Handbook 15: Measurement of fluid flow in closed conduits. (International Organization of Standardization.) Genève.
147. ISO, 1993. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. (ISO Ed. 1.) Switzerland.
148. ISO/CD13258, 1996. Air-conditioning condensing units - Testing and rating for performance. (ISO.)
149. ISO/CD15042-1, 1995. Multiple split-system air-conditioners and air-to-air heat pumps - Testing and rating for performance - Part 1: Basic and multiple circuit systems. (ISO.)
150. ISO/CD15042-3, 1995. Multiple split-system air-conditioners and air-to-air heat pumps - Testing and rating for performance - Part 3: Modular heat-recovery multi-split systems. (ISO.)
151. ISO/TR3313:1974, 1974. Measurement of pulsating fluid flow in a pipe by means of orifice plates, nozzles or Venturi tubes, in particular in the case of sinusoidal or square wave intermittent periodic-type fluctuations. (ISO.)
152. ISO/TR6817:1980, 1980. Measurement of conductive fluid flowrate in closed conduits - Method using electromagnetic flowmeters. (ISO.)

153. Jakobsen, A, Dindler Rasmussen, B, Juel Skovrup, M & Engedal Andersen, S, 1999. CoolPack - en köleteknisk simuleringspakke. (Institut for Energiteknik, Danmarks Tekniske Universitet.). Köpenhamn.
154. Jowett, J, 1994. Facts and fiction of HVAC motor measuring for energy savings. (ACEEE 1994 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, ACEEE, Proceedings of the ACEEE 1994 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.) Washington, D.C.
155. Kjellgren, C & Fahlén, P, 1993. Fläktkonvektorer - Effektmätning i fält. (Sveriges provnings- och forskningsinstitut, SP-rapport 1993:55.) Borås, Sweden.
156. Klein, S A & Alvarado, F L. EES - Engineering Equation Solver - For Microsoft Windows operating systems - Commercial and professional versions. (F-Chart Software, Middleton, Wisconsin, USA.)
157. KylAMA98, 1998. Allmän material- och arbetsbeskrivning för kyltekniska arbeten. (AB Svensk Byggtjänst.) Stockholm, Sweden.
158. Lambert, L A, 1988. Monitoring data yield enhancement by advanced real-time data compaction algorithms, ASHRAE, ASRAE Transactions, vol. 94, pp. 901-907.)
159. Lenarduzzi, F J & al, e, 1998. Measuring the performance of a variable-speed drive retrofit on a fixed-speed centrifugal chiller, ASHRAE, ASHRAE Transactions.)
160. Lieneweg, F, 1976. Technische Temperaturmessung. (Vieweg Verlag.) Braunschweig, Germany.
161. Lobodovsky, K K, Ganeriwal, R & Gupta, A, 1989. Field measurements and determination of electric motor efficiency. (Energy Engineering, no. 3, vol. 86, pp. 41-53.)
162. Lock, L E & Hibberd, D G, 1992. Improved method of collection, visualization, and analysis of end-use data for designers. (ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, ACEEE, Proceedings of the ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.) Washington, D.C.
163. Lyberg, M, Fahlén, P & al, e, 1987. IEA Source Book for Energy Auditors - Volume 1 & 2. (Statens Råd för Byggnadsforskning/International Energy Agency, BFR-rapport D11:1987.) Stockholm, Sweden.
164. Löfstedt, J, 1985. Prov avseende hermetiska kompressorer av kolv- och rotationstyp. (Statens råd för byggnadsforskning, BFR-rapport R108:1985.) Stockholm, Sweden.
165. Meltofte, J & Sörensen, S N, 1997? Indirekte COP-måling hos Scandinavian Airlines Data Denmark A/S, pp. 10-13.)

166. Misuriello, H, 1990. Field monitoring of building energy performance. (ACEEE 1990 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, ACEEE, Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.) Washington, D.C.
167. Misuriello, H P, 1988. Instrumentation applications for commercial building energy audits, ASHRAE, ASRAE Transactions, vol. 94, pp. 973-986.)
168. Munter, P, 1987. Regneark og köletekniske beregninger. (Dansk VVS, no. 5, pp. 18-20.)
169. Munter, P, 1989. Indirekte kapacitesbestemmelse for köleanlaeg. (Dansk VVS, no. 7, vol. 25, pp. 5-6.)
170. Munter, P, 2001. Intern COP mätning (personlig kommunikation). (SEAS EnergiService A/S.). Haslev, Denmark.
171. Myers, R C, 1976. Detailed considerations of procedures, calculations, and equipment used in field performance measurements of fan systems, 1976, ASHRAE, ASRAE Transactions, vol. 82, pp. 868-882.)
172. NAESCO-1993, 1993. NAESCO standard of measurement of energy savings for electric utility demand side management (DSM) projects. (National Association of Energy Service Companies Ed. Rev. 1.3.) Washington D.C., USA.
173. Nordtest, 1994. Nordtest views on uncertainty in metrology and testing. (Nordtest, Position Paper.) Esbo, Finland.
174. Nordtest, 1998. Uncertainty - To a certain level. (Nordtest, Position Paper 005.) Esbo, Finland.
175. NordtestVVS, 2000. Nordtest Homepage - <http://www.vtt.fi/nordtest/>. (Nordtest.)
176. Nowacki, J-E, 199x. REFREX. (KYL.). Stockholm.
177. NTVVS076, 1989. Large heat pumps - Field testing and presentation of performance. (Nordtest Ed. 1.) Esbo, Finland.
178. NTVVS082, 1990. Liquid flow metering installations: Radioactive tracer transit time method, in situ calibration. (Nordtest Ed. 1.) Esbo, Finland.
179. NTVVS086, 1990. Exhaust air heat pumps: Performance. (Nordtest Ed. 1.) Esbo, Finland.
180. NTVVS115, 1997. Refrigeration and heat pump equipment: General conditions of field testing and presentation of performance. (Nordtest Ed. 1.) Esbo, Finland.
181. NTVVS116, 1997. Refrigeration and heat pump equipment: Check-ups and performance data inferred from measurements under field conditions in the refrigerant system. (Nordtest Ed. 1.) Esbo, Finland.

182. Nyvad, J & Bay Möller, L, 1993. Feltprovemetode for køle- og varmepumpeinstallationer. (DTI, NT proj. no. 1049-92.) Århus.
183. O'Neal, D, Bryant, J & Boles, K, 1992. Building energy instrumentation for determining retrofit savings: Lessons learned. (1992 ASME International Solar Energy Conference, Proceedings of the 1992 ASME International Solar Energy Conference.)
184. Pellet, D A, 1974. Field testing of centrifugal pumps, ASHRAE, ASHRAE Transactions, vol. 80, pp. 456-472.)
185. Pentronic, 2000. Snabbare ytmätning på rör. (Stop Extra, no. 4, vol. 11, p. 2.) Gunnebo.
186. Phelan, J, Brandemuehl, M & Krarti, M, 1997. Review of laboratory and field methods to measure fan, pump, and chiller performance., ASHRAE, ASHRAE Transactions, vol. 103, pp. 914-925.)
187. Phelan, J, Brandemuehl, M J & Krarti, M, 1994. Literature review for methodology development to measure in-situ chiller, fan, and pump performance. (University of Colorado, JCEM/TR/94-2.) Boulder, Colorado, USA.
188. Phelan, J, Brandemuehl, M J & Krarti, M, 1996. Final report, ASHRAE Project 827-RP: Methodology development to measure in-situ chiller, fan, and pump performance. (University of Colorado, JCEM/TR/96-3.) Boulder, Colorado, USA.
189. Phelan, J, Brandemuehl, M J & Krarti, M, 1997. b. In-situ performance testing of chillers for energy analysis, ASHRAE, ASHRAE Transactions, vol. 103.)
190. Phelan, J, Brandemuehl, M J & Krarti, M, 1997. a. In-situ performance testing of fans and pumps for energy analysis, ASHRAE, ASHRAE Transactions, vol. 103.)
191. prEN113-022, 1998. Refrigerant compressors - Performance testing and methods. (CEN.) Brussels, Belgium.
192. prEN12309-2, 1998. Gas-fired absorption and adsorption air-conditioning and/or heat pump appliances with a net heat input not exceeding 70 kW - Part 2: Rational use of energy. (CEN.) Brussels, Belgium.
193. prEN12900, 1999. Refrigerant compressors - Rating conditions, tolerances and presentation of performance data. (CEN.) Brussels, Belgium.
194. prEN13215, 1998. Condensing units for refrigeration - Rating conditions, tolerances and presentation of performance data. (CEN.) Brussels, Belgium.
195. RAKy198, 1998. Råd och anvisningar till KylAMA 98. (AB Svensk Byggtjänst.) Stockholm, Sweden.
196. Reddy, T A & Claridge, D E, 2000. Uncertainty of "Measured" energy savings from statistical baseline models. (HVAC & R Research, no. 1, vol. 6, pp. 3-20.)

197. Reichmuth, H R & Robison, D, 1990. Innovations in short-term measurement - economical alternatives to long-term monitoring. (ACEEE 1990 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, ACEEE, Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.) Washington, D.C.
198. Scalabrin, G & Bianco, G, 1994. Thermodynamic analysis of variable-speed compressor. (International Journal of Refrigeration, no. 1, vol. 17.)
199. Seem, J E, House, J M & Monroe, R H, 1999. On-line monitoring and fault detection. (ASHRAE Journal, pp. 21-26.)
200. Silver, S C, Fine, P J & Rose, F, 1990. Performance monitoring of DX rooftop cooling equipment. (Energy Engineering, no. 5, vol. 87, pp. 32-41.)
201. SPMetET001, 1985. Garantikontroll av villavärmepumpar - Mätmetoder. (SP (Swedish National Testing and Research Institute).) Borås, Sweden.
202. SPMetET002, 1984. Redovisning av prestanda avseende värmepumpar för uppvärmning av bostäder och lokaler. (SP (Swedish National Testing and Research Institute).) Borås, Sweden.
203. SPMetET003, 1985. Garantikontroll av värmepumpar - Allmänna villkor. (SP (Swedish National Testing and Research Institute).) Borås, Sweden.
204. SPMetET004, 1985. Garantikontroll av värmepumpar - Prestandamätning. (SP (Swedish National Testing and Research Institute).) Borås, Sweden.
205. SPMetET005, 1985. Bestämning av värmepumpprestanda via kompressordiagram. (SP (Swedish National Testing and Research Institute).) Borås, Sweden.
206. SPMetod0029, 1989. Frånluftsvärmepumpar för småhus - Systemprovning i laboratorium. (SP (Swedish National Testing and Research Institute) Ed. SP-AR 1989:50.) Borås, Sweden.
207. SPMetod0030, 1985. Prestandaprov av stora värmepumpar i fält. (SP (Swedish National Testing and Research Institute) Ed. SP-Metod ET 1985:1, rev. 1985-09-26.) Borås, Sweden.
208. SPMetod1721, 1995. Prestandaprovning av luft/luft värmepumpar i fält. (SP (Swedish National testing and research Institute) Ed. 2.) Borås, Sweden.
209. SS1897, 1984. Kyl- och värmeutrustning - Kylteknik och värmepumpsteknik - Terminologi. (Sveriges Mekanstandardisering Ed. 1.) Stockholm, Sweden.
210. SS2095, 1986. Värmeutrustning - Värmepumpar - Laboratorieprovning av prestanda. (Sveriges Mekanstandardisering Ed. 1.) Stockholm, Sweden.
211. SS2620, 1988. Värmeutrustning - Värmepumpar - Fältprovning och prestandaredovisning. (Sveriges Mekanstandardisering Ed. 1.) Stockholm, Sweden.

212. SS014150, 1981. Svensk standard - Metrologi- Angivande av mätresultat. (Standardiseringskommisionen i Sverige.) Stockholm, Sweden.
213. SS-EN306, 1997. Värmeväxlare - Metoder för att mäta de nödvändiga parametrarna för att fastställa prestanda. (SIS/CEN Ed. 1.) Stockholm, Sweden.
214. SS-ENV12102, 1996. Luftkonditioneringsaggregat, värmepumpar och avfuktare med eldrivna kompressorer - Mätning av luftburet buller - Bestämning av ljudtrycksnivå. (CEN/SMS Ed. 1.) Brussels, Belgium/Stockholm, Sweden.
215. Stannov, T, Melikov, A K, Popolek, Z & Jörgensen, F E, 1998. Test method for describing directional sensitivity of anemometers for low-velocity measurements indoors, ASHRAE, ASHRAE Transactions, vol. 104, pp. 1481-1489.)
216. Statens Planverk, 1985. Interimistiska typgodkännanderegler för värmepumpar. (Statens Planverk, DNR 6664/85.) Stockholm.
217. Stevenson, R G, 1976. A guide to the measurement of fan system performance in the field, ASHRAE, ASRAE Transactions, vol. 82, pp. 851-860.)
218. Stolt, K, 1985. Elektromagnetisk mätare - Flödeshinder och mätnoggrannhet. ( SP (Swedish National Testing and Research Institute), SP Rapport 1985:37.) Borås.
219. Stoops, J, 1989. Performance of monitoring protocols. (End-use load information and application conference for customer and utility communication, 1989, The Fleming Group, Proceedings of the end-use load information and application conference for customer and utility communication.)
220. Svensson, A, 1983. Methods for measurement of air flows in ventilation systems. (Statens Institut för Byggnadsforskning (SIB), The Nordic Ventilation Group (NVG), SIB-rapport M83:11.) Gävle, Sweden.
221. SVEP, 1985. VPG-Fastighet. (SVEP
222. SVEP, 1985. Värmepumpgaranti VPG-84: Garantier för värmepumpsystem - Konsumentgaranti VPG-84. (SVEP
223. SVEP & Vattenfall, 198x. Garantimätning värmepump. (SVEP, Vattenfall
224. Szydlowski, R F & Cleary, P G, R G, 1988. In situ appliance efficiency audit procedures, 1988, ASHRAE, ASHRAE Transactions, vol. 94, pp. 1007-1023.)
225. Ternes, M P, 1990. Planning building energy monitoring field tests, CONF-9004134-1, Oak Ridge National Laboratory.) Oak Ridge.
226. van der Sluis, S M, Nyvad, J & Fahlén, P, 1997. Energy labelling of domestic air-to-air heat pumps - Interim report. (TNO-MEP, TNO-MEP-R97/271.) Apeldoorn, the Netherlands.

227. van der Sluis, S M, Schipouwer, H, King, G R, Mondot, M, Nyvad, J & Fahlén, P, 1998. Energy labelling of residential air-conditioners, heat pumps and dehumidifiers. (TNO-MEP, TNO-MEP-R97/498.) Apeldoorn, the Netherlands.
228. VDE/VDI3513, 1971. Schwebekörper-Durchflußmesser; Berechnungsverfahren 1971-12. (VDI.)
229. VDI, 1985. VDI 3786:4: Meteorological Measurements Concerning Questions of Air Pollution - Air Humidity. (VDI-Verlag.) Düsseldorf, Germany.
230. VDI/VDE2040:1, 1991. Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren; Abweichungen und Ergänzungen zu DIN 1952 1991-01. (VDI.)
231. VDI/VDE2040:2, 1987. Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren; Gleichungen und Gebrauchsformeln 1987-04. (VDI.)
232. VDI/VDE2040:3, 1990. Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren; Berechnungsbeispiele 1990-05. (VDI.)
233. VDI/VDE2040:4, 1996. Entwurf: Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren - Stoffwerte 1996-09. (VDI.)
234. VDI/VDE2040:5, 1989. Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren; Meßunsicherheiten 1989-03. (VDI.)
235. VDI/VDE2041, 1991. Durchflußmessung mit Drosselgeräten; Blenden und Düsen für besondere Anwendungen 1991-04. (VDI.)
236. VDI/VDE2042, 1996. Ultraschall-Durchflußmessung von Fluiden in voll durchströmten Rohrleitungen 1996-12. (VDI.)
237. VDI/VDE2043, 1993. Wirbelzähler zur Volumen- und Durchflußmessung 1993-01. (VDI.)
238. VDI/VDE2640:1, 1993. Netzmessungen in Strömungsquerschnitten; Allgemeine Richtlinien und mathematische Grundlagen 1993-06.)
239. VDI/VDE2640:2, 1981. Netzmessungen in Strömungsquerschnitten; Bestimmung des Wasserstromes in geschlossenen, ganz gefüllten Leitungen mit Kreis- oder Rechteckquerschnitt 1981-11.)
240. VDI/VDE2640:3, 1983. Netzmessungen in Strömungsquerschnitten; Bestimmung des Gasstromes in Leitungen mit Kreis-, Kreisring- oder Rechteckquerschnitt 1983-11.)
241. VDI/VDE2640:4, 1983. Netzmessungen in Strömungsquerschnitten; Bestimmung der mittleren Temperatur in strömenden Flüssigkeiten 1983-10.)

242. VDI/VDE2644, 1998. Entwurf: Auswahl und Einsatz von Durchflußmeßeinrichtungen 1998-10. (VDI.)
243. VDI/VDE3511:1, 1996. Technische Temperaturmessungen - Grundlagen und Übersicht über besondere Temperaturmeßverfahren 1996-03.)
244. VDI/VDE3511:2, 1996. Technische Temperaturmessungen - Berührungsthermometer 1996-04.)
245. VDI/VDE3511:3, 1994. Technische Temperaturmessungen - Meßverfahren und Meßwertverarbeitung für elektrische Berührungsthermometer 1994-11.)
246. VDI/VDE3511:3, 1995. Technische Temperaturmessungen - Strahlungsthermometrie 1995-01.)
247. VDI/VDE3511:4.2, 2000. Entwurf: Technische Temperaturmessungen - Ergänzungen - Erhaltung der Spezifikation von Strahlungsthermometern 2000-06.)
248. VDI/VDE3511:5, 1994. Technische Temperaturmessungen - Einbau von Thermometern 1994-11.)
249. VDI/VDE3513:2, 1978. Schwebekörper-Durchflußmesser; Genauigkeitsklassen 1978-12. (VDI.)
250. VDI/VDE3513:3, 1989. Schwebekörper-Durchflußmesser; Auswahl- und Einbauempfehlungen 1989-10. (VDI.)
251. VDI/VDE3522, 1994. Zeitverhalten von Berührungsthermometern 1987-06.)
252. Weber, K, 1992. Intern COP-mätning (ETM värmepumpanalysator; personlig kommunikation). (ETM.). Stockholm.
253. WECCDoc19-1990, 1990. Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. (Western European Calibration Conference.)
254. White, P J, 1993. Review of metering plans for DSM savings verification. (Energy Engineering, no. 2, vol. 90, pp. 48-58.)
255. VIM, I, 1993. International Vocabulary of basic and general terms in metrology. (ISO Ed. 2.) Switzerland.
256. Zaleski, R H, 1976. Probable errors in field performance measurements of fan systems, ASHRAE, ASHRAE Transactions, vol. 82, pp. 883-887.)
257. Zogg, M, 1999. Efficient test method for building heat pump systems. (IEA Heat pump centre Newsletter, no. 2, vol. 17, pp. 25-26.)