



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



PER FAHLÉN

# Långtidsfunktion hos styr- och reglerutrustning

R43: 1993

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129283



BYGGFORSKNINGSRÅDET

BFR

**R43:1993**

**LÅNGTIDSFUNKTION HOS STYR- OCH  
REGLERUTRUSTNING**

**Per Fahlén**

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 871127-9  
från Byggforskningsrådet samt Näringsdepartementets  
anslag till enheten för energiteknik, Sveriges provnings-  
och forskningsinstitut, Borås.**

**LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD  
BIBLIOTEKET**

## REFERAT

En analys med avseende på *förutsättningarna för den långsiktiga funktionen för styr- och reglersystem* visar att det finns ett behov för systematiskt arbete inom området. Slutsatsen bygger på litteraturstudier och egna erfarenheter samt på intervjuer med tillverkare av reglerteknisk utrustning, konsulter och förvaltande personal. Vikten av att inkludera byggnaden och dess verksamhet samt de VVS-tekniska installationerna i det totala styr- och reglersystemet framhålls också.

Som resultat av analysen konstateras bl.a. följande:

- Elektronik (hårdvara) ger sällan upphov till problem
- Användningen av befintliga nationella och internationella standarder, med anknytning till den undersökta problemställningen, är mycket begränsad
- Kunskapen om befintliga standarder, med inriktning mot långsiktig funktion, är dålig både hos leverantörer och beställare
- Det finns behov av att revidera vissa standarder
- Det är sällsynt med systematiskt arbete avseende problemställningen beständighet, underhåll och drift
- Kundens intresse är grundläggande för slutresultatet

Planeringsprocessen lägger grunden för långsiktigt god funktion. I detta sammanhang bör framhållas att en brukare med ett verkligt intresse för att medverka i denna process är en nyckelfaktor för systemets framgång på lång sikt. Om kunden saknar intresse finns stor risk att otillräckliga resurser avsätts för systemets planering, upphandling, driftsättning, samt drift och underhåll.

Analysen pekar också på en viss avsaknad av etablerade standarder, som verkligen används i kontakten mellan leverantör och kund/brukare. Detta gäller både styrutrustning i allmänhet och mätutrustning i synnerhet. Rapporten inkluderar ett antal referenser till befintliga standarder, som hittats i samband med litteratursökning. Resultatet av litteratursökningen avslutar rapporten i form av en bibliografi, vilken omfattar både standarder, konferensinlägg och tidningsartiklar.

**I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.**

**Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.**

**R43:1993**

**ISBN 91-540-5588-1**  
**Byggforskningsrådet, Stockholm**

**gotab** 98747, Stockholm 1993

**Innehåll**

Sida

**Abstract**

	<b>Beteckningar</b>	6
	Storhetssymboler	6
	Index	6
	Förkortningar	7
	<b>Terminologi</b>	8
	Reglerteknik	8
	Beständighet	13
<b>1</b>	<b>Inledning</b>	15
1.1	Bakgrund	15
1.2	Projektets syfte	15
1.3	Projektbeskrivning	15
1.4	Rapportens utformning	16
<b>2</b>	<b>Styr -och reglerteknik i byggnader</b>	17
2.1	Introduktion	17
2.2	Problemställningar inom reglertekniken	19
2.3	Reglertekniska verktyg	25
2.4	Byggnadsautomation	35
<b>3</b>	<b>BUD-problematiken</b>	38
3.1	Kritiska funktionsegenskaper	38
3.2	Funktionskriterier och krav	39
3.3	Problemställningar inom området styr- och reglerteknik	42
<b>4</b>	<b>Projektering och upphandling</b>	45
4.1	Behovsanalys	46
4.2	Funktionskrav	50
4.3	Ekonomisk värdering	52
4.4	Upphandling	54
4.5	Projektstyrning	58
4.6	Dokumentation	59

<b>5</b>	<b>Systemlösning</b>	61
5.1	Systemtyper	61
5.2	Reglerprinciper	62
5.3	Kunskapsbehov	62
<b>6</b>	<b>Komponenter</b>	73
6.1	Datorer - mjukvara	73
6.2	Datorer - hårdvara	78
6.3	Regulatorer	81
6.4	Motorer	84
6.5	Pumpar och fläktar	85
6.6	Ventiler och spjäll	87
6.7	Ställdon	88
6.8	Givare	89
<b>7</b>	<b>Driftsättning</b>	93
7.1	Allmänna systemaspekter	93
7.2	Datoriserade system	96
7.3	Regulatorer	100
7.4	VVS-installationer	101
<b>8</b>	<b>Drift och underhåll (DU)</b>	102
8.1	Allmänna systemaspekter	102
8.2	Datoriserade system	107
8.3	Regulatorer	111
8.4	VVS-installationer	112
<b>9</b>	<b>Erfarenhetsåterföring</b>	113
9.1	Probleminventering	113
9.2	Metoder och standarder	116
9.3	Forskning och utveckling	123
<b>10</b>	<b>Diskussion</b>	124
<b>11</b>	<b>Referenser</b>	126

## Bilagor

A.	Konsulterade företag	127
B.	Sammanfattning av kontakter med företag	128
C.	Bibliografi - Uppdelad efter typ av dokument (rapport, standard etc.)	138

## **Abstract**

### **Long term performance of control equipment - Analysis of the prerequisites**

An analysis of the conditions for the long term performance of control equipment in buildings indicates that there is a need for systematic planning in this area. This conclusion has been substantiated by the author's own experience and by interviews with manufacturers of control equipment, consultants, and building management personnel. The importance of including the building and its usage, as well as the HVAC-installations, in the total control system is also emphasized.

The summarized findings of the analysis are:

- Electronic hardware rarely causes any problems,
- The use of national and international standards, in connection with the issue of long term performance, is uncommon,
- The awareness of existing standards, with respect to long term performance, is poor among suppliers as well as clients,
- There is a need to revise some of the existing standards,
- A systematic approach to aspects of durability, maintenance and operation is rare,
- A genuine interest on the part of the client is vital for the end-result

The planning process of an installation is considered to be the crucial stage in laying the foundation for satisfactory long term performance. In this context it is recognized that a client with a profound interest to participate in this process is the key to success. Unless the client has a real interest in his future control system there is an obvious risk that sufficient resources, in terms of time and money, will not be allocated to the planning, purchase, commissioning, operation, and maintenance of the system.

Furthermore, the present analysis shows that there is a shortage of recognized standards concerning the presentation of performance data of control equipment in general and measuring equipment in particular. The report includes a number of references to existing standards and indicates a need where such standards are missing. In this context it was noticed that there is a lack of knowledge among all categories of interested parties concerning existing, well-established standards. Manufacturers, for instance, tend to use their own, in-house standards rather than referring to national or international standards even when such documents exist.

**Key words:** Control, controller, durability, maintenance, operation, regulator

## Beteckningar

### Storhetssymboler

#### Latinska bokstäver

e	"fel" (relaterat till tidsplanet)
E	"fel" (relaterat till frekvensplanet)
f	frekvens (Hz)
G	överföringsfunktion i framriktningen (i frekvensplanet)
H	överföringsfunktion i återkopplingsriktningen (i frekvensplanet)
r	ledstorhet (relaterat till tidsplanet)
R	ledstorhet (relaterat till frekvensplanet)
t	temperatur enligt Celsius skala (°C)
s	komplex variabel ( $s = \sigma + j\omega$ )
T	absoluttemperatur (K)
$\Delta T$	temperaturändring (K)
u	styrstorhet (relaterat till tidsplanet)
U	styrstorhet (relaterat till frekvensplanet)
v	Störstorhet (relaterat till tidsplanet)
V	Störstorhet (relaterat till frekvensplanet)
y	Ärvärde (relaterat till tidsplanet)
Y	Ärvärde (relaterat till frekvensplanet)

#### Grekiska bokstäver

$\theta$	temperaturdifferens (K)
$\tau$	tid (s)
$\omega$	vinkelfrekvens (radianer/s)

## Index

L	dödtid ("lag-time")
p	toppvärde ("peak")
r	resonans
rum	rum inomhus
s	statisk
s	stig- (stigtid)
s	svängning- (egensvängningsfrekvens)
ute	utomhus
v	volym



## Förkortningar

AMA	Allmän material- och arbetsbeskrivning
ANN	Artificial Neural Network
ASS	Arbetskyddsstyrelsen
BEMS	Building Energy Management System
BMS	Building Management System
BUD	Beständighet, underhåll och drift
CEN	Comité Européen de Normalisation
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
D	Deriverande (reglerfunktion)
DDC	Direct Digital Control
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSM	Demand Side Management
DUC	Datorundercentral
DU	Drift och underhåll
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMCS	Energy Management and Control System
EMS	Energy Management System
HES	Home Electronic System
IEC	International Electrotechnical Commission
IEA	International Energy Agency
ISO	International Organization for Standardization
LCC	Life Cycle Cost
LCP	Life Cycle Profit
NR	Nybyggnadsreglema
OIML	Organisation Internationale de Métrologie Légale
P	Proportionell (reglerfunktion)
PI	Proportionell och integrerande (reglerfunktion)
PID	Proportionell, integrerande och deriverande (reglerfunktion)
PLC	Programmable Logic Controller
SBN	Svensk Byggnorm
SEK	Sveriges Elektriska Kommission
SMS	Sveriges Mekanstandardisering
SP	Statens Provnings- och forskningsinstitut AB
SPC	Set Point Control
TES	Thermal Energy Storage System

## Terminologi

### Reglerteknik

#### Artificiella Neurala Nätverk

Informationsbehandlande system som består av ett stort antal sinsemellan sammankopplade enkla signalbehandlingselement. Varje element ger *en utsignal* som funktion av *flera viktade insignaler* (jämför med funktionen hos hjärnans nervceller, s.k. neuroner).

#### Adaptiv styrning (reglering)

Styrning (reglering) sådan att styrutrustningens (reglerutrustningens) egenskaper automatiskt anpassas till objektets egenskaper eller systemets insignaler (SS 401 06 01).

#### Börvärde

En storhets önskade värde i ett visst ögonblick. Om ej annat sägs avses det önskade värdet för den reglerade storheten (SS 401 06 01).

Normalt omvandlas den reglerade storheten till en elektrisk storhet, se figur 2.1. Jämför även med definitionerna av ledstorhet och referensstorhet.

#### Dödtid, fördröjningstid ("lag time"), $\tau_L$

Tidsintervallet från det att en ändring av en instorhet verkställs till dess att den därav följande ändringen av utstorheten börjar (SS 401 06 01).

Dödtid kan t.ex. motsvara en transportfördröjning, vilken orsakas av den ändliga transporthastigheten i luft- och vattensystem; jämför definitionen av transportfördröjning.

#### Felsignal (differensstorhet), $e$

Utsignal (utstorhet) från jämföraren i ett reglersystem (SS 401 06 01).

Jämför definitionen av regleravvikelse.

#### Frekvensanalys

Metod att bestämma ett systems dynamiska egenskaper genom att registrera dess utsignal som funktion av en stationär sinusformad insignal med konstant amplitud och varierad frekvens.

#### Impulssvar

Tidsvar för ett system som påverkas av en impulsfunktion (diracfunktion) på en av ingångarna (SS 401 06 01).

Används t.ex. vid transientanalys (en enhetspuls har ytan = 1 men infinitesimal bredd och oändlig höjd).

**Insvängningstid ("settling time"),  $\tau_s$** 

Tidsintervall från en stegändring av insignalen till det ögonblick då den resulterade variationen hos utsignalen ligger varaktigt inom ett bestämt toleransområde, t.ex. 5 % av skillnaden mellan slutligt och ursprungligt stationärvärde (SS 401 06 01).

**Jämförare**

Funktionsblock med två instorheter och en utstorhet, vilken utgör skillnaden mellan instorheterna. När man vill framhålla arten av påverkan i stället för typen av funktionsblock, används termen *jämförelse* (SS 401 06 01).

Jämföraren är alltså ett don som bildar skillnaden mellan börvärdets och ärvärdets till lämplig signaler omvandlade värden ("jämför").

**Ledstorhet**

Den storhet som efter signalomvandling ger referensstorheten (SS 401 06 01).

Jämför med definitionerna av börvärde och referensstorhet.

**Odämpad egenfrekvens,  $\omega_0$** 

Vinkelfrekvensen för ett 2:a ordningens system med den relativa dämpningen  $\zeta = 0$ .

**Oskarp logik ("fuzzy logic")**

Metod att beskriva ett problem i kvalitativa termer ("låg, medel, hög"; "bättre, oförändrad, sämre"), vilka sedan översätts till kvantitativa termer enligt givet mönster.

**Rampsvär**

Tidsvar för ett system som påverkas av en instorhet som utgörs av en rampfunktion (SS 401 06 01).

Används t.ex. vid transientanalys (enhetsramp betyder att insignalens amplitud ökar linjärt med tiden).

**Referensstorhet**

Den instorhet till ett system som den styrda eller reglerade storheten skall följa (SS 401 06 01).

Jämför med definitionerna av börvärde och ledstorhet.

**Regleravvikelse**

Skillnaden mellan börvärde och ärvärde för den reglerade storheten. Det förutsätts här att börvärde och ärvärde uttrycks i samma dimension (SS 401 06 01).

**Reglerdon**

Sammanfattande benämning på regulator-styrdon-ställdon.

**Reglerobjekt**

Sammanfattande benämning på en dynamisk process som skall styras på föreskrivet sätt (t.ex. innetemperaturen i en byggnad).

### Regulator

Funktionsblock som ingår i reglerutrustningen och innehåller en jämförare och dessutom utför ytterligare någon av reglerutrustningens funktioner, t.ex. förstärkning, kompensering (SS 401 06 01).

Blocket omformar således jämförarens felsignal till en styrsignal med bestämda egenskaper (t.ex. med proportionell och integrerande funktion, s.k. PI-regulator).

### Regulatorfunktion

Reglersystemets funktion då uppgiften är att minimera inverkan av störningar ( $v$ ) på ärvärdet ( $y$ , d.v.s. utsignalen), medan börvärdet är konstant.

### Relativ dämpning, $\zeta$

Värde på faktorn  $\zeta$  för ett linjärt system av andra ordningen beskrivet med en differentialekvation av typen

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2\zeta\omega_0 \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = 0$$

$\omega_0$  betecknar här det linjära systemets *egensvängningsfrekvens* uttryckt i rad/s (SS 401 06 01; se även odämpad egenfrekvens).

Den relativa dämpningen är således ett mått på hur snabbt en svängning dämpas ut i ett 2:a ordningens system ( $\zeta < 1$  ger svängning,  $\zeta > 1$  ger ingen svängning).

### Resonansfrekvens, $\omega_r$

Vinkelfrekvens då ett slutet systems utsignal får sitt största värde ( $M_p$ ). För ett 2:a ordningens system blir  $\omega_r = \sqrt{1 - 2\zeta^2} \omega_0$ .

### Resonanstopp, $M_p$

Utsignalen för ett slutet system vid dess resonansfrekvens.

### Servofunktion

Reglersystemets funktion då uppgiften är att minimera avvikelser mellan börvärdet ( $r$ ) och ärvärdet ( $y$ , d.v.s. utsignalen), medan börvärdet varierar.

### Stegsvar

Tidsvar för ett system som påverkas av en stegvis ändring av en av instorheterna (SS 401 06 01).

Används t.ex. vid transientanalys (ett enhetssteg avser att insignalens amplitud ökar momentant från noll till ett konstant värde).

### Stigtid ("rise time"), $\tau_s$

Tidsintervall i samband med stegsvar från det ögonblick då utsignalen, efter att ha startat från noll, når en liten bestämd procentsats av det slutliga stationära värdet (t.ex. 10 %) till det ögonblick den första gången når en stor bestämd procentsats (t.ex. 90 %) av samma stationärvärde (SS 401 06 01).

**Styrstorhet**

Den storhet som utgör utstorhet från styrutrustningen och instorhet till objektet (SS 401 06 01).

Styrstorheten utgörs normalt av en signal från regulatorm, som påverkar reglerobjektet i avsikt att minska felsignalen.

**Styrd storhet**

Den utstorhet från objektet som styrs eller regleras. I samband med reglersystem kan även termen reglerad storhet användas (SS 401 06 01).

**Störstorhet, v**

Storhet som kan ge en icke önskad påverkan av objektet (SS 401 06 01).

**Svårighetsgrad**

Karaktärisering av ett reglersystems svårighetsgrad med hjälp av parametrarna förstärkning ( $K$ ), dödtid ( $\tau_L$ ) och stigtid ( $\tau_s$ ), genom sambandet  $K \frac{\tau_L}{\tau_s}$ . Kan även uttryckas som relativ svårighetsgrad genom division med regleringens statiska noggrannhetskrav ( $\Delta x_s$ ).

**Svängningsvinkelfrekvens,  $\omega_s$** 

Vinkelfrekvensen för ett 2:a ordningens system med den relativa dämpningen  $0 \leq \zeta < 1$ ,  $\omega_s = \sqrt{1 - \zeta^2} \omega_0$ .

**Systemanalys**

Metod för att med hjälp av en matematisk modell av ett system bestämma utsignalförlopp som funktion av insignalförlopp.

**Systemidentifiering**

Metod för att bestämma en matematisk modell av ett system genom mätning och registrering av samtida in- och utsignalförlopp.

**Tidkonstant,  $\tau$** 

Den tid efter vilken en storhet, som varierar enligt en exponentialfunktion, skulle nå sitt slutvärde om den bibehöll sin ursprungliga variationshastighet (SS 401 06 01).

Detta motsvaras av den tid som åtgår för att utsignalen skall ändras till 63 % av slutvärdet för ett stegsvar i ett 1:a ordningens system ( $y = y_\infty[1 - e^{-t/\tau}]$ ).

**Transientanalys**

Metod att bestämma ett systems dynamiska egenskaper genom att registrera dess utsignal som funktion av en plötsligt ändrad insignal av given typ (t.ex. impuls, steg, ramp).

**Transportfördröjning**

Fördröjningstid som beror av förflyttning av material eller av den ändliga fortplantningshastigheten hos en signal (SS 401 06 01).

**Ärvärde (reglerad storhet),  $y$** 

En storhets värde i ett visst ögonblick. Om ej annat sägs avses den reglerade storhetens värde (SS 401 06 01). Se även figur 2.1.

**Överföringsfunktion**

Samband mellan tidsförloppen hos ut- och insignaler.

Ovanstående utgör en allmän definition av begreppet överföringsfunktion. Inom reglertekniken definieras oftast överföringsfunktion som kvoten av laplacetransformen för motsvarande insignal med alla begynnelsevärden lika med noll.

I denna standard betecknas laplaceoperatorn med  $s$  och  $G(s)$  samt  $H(s)$  betecknar överföringsfunktioner. Även frekvensfunktionen kan, skriven i komplex form, benämnas överföringsfunktion (SS 401 06 01).

**Översväng ("overshoot"),  $M$** 

Stegsvarets maximala överskridande av det slutliga stationära värdet uttryckt i procent av skillnaden mellan slutligt och ursprungligt stationärvärde (SS 401 06 01).

Detta kan uttryckas som skillnaden mellan maximal utsignal ( $y_{\max}$ ) och jämviktsvärdet efter oändlig tid ( $y_{\infty}$ ), i förhållande till jämviktsvärdet:

$$M = \frac{y_{\max} - y_{\infty}}{y_{\infty}}.$$

## Beständighet

Nedanstående termer är till största delen hämtade från Bankvall et al (ref. 1) och bygger till stor del på dokumentet RILEM 71-PSL/CIB W80 "Prediction of Service Life of Building Materials and Components" och ASTM E 632.

### Användbarhet (serviceability)

Förmåga hos produkt, komponent, konstruktion etc. att uppfylla de funktioner för vilka den är avsedd och konstruerad.

### Belastningsfaktor (stress factor)

Påverkan härrörande från yttre belastning - statisk eller periodisk.

### Beständighet (durability)

Förmågan hos produkt, komponent eller material att bibehålla sin användbarhet. Beständighet är en relativ term.

### Biologisk påväxt (biological growth)

Tillväxt av organismer, vanligtvis svampar (mögel) eller alger, på ett föremål.

### Egenskapsprovning (property measurement test)

Provning (mätning) avseende en eller flera egenskaper, vanligtvis fysikaliska.

### Funktionskrav (performance requirements)

En kvantitativ angivelse av krav och betingelser, som skall uppfyllas i någon viss tillämpning.

### Funktionskriterium (performance criterion)

En kvantitativ angivelse av nivå för någon funktionsegenskap.

### Försämring (deterioration)

Den process som orsakar att något minskar i kvalitet eller värde.

### Kritisk funktionsegenskap (critical performance property)

En egenskap - hos produkt, komponent eller material - som måste bibehållas över en viss miniminivå för att funktionsförmågan inte skall förloras.

*Anm.* Vad som är kritisk nivå beror på tillämpningen i det enskilda fallet.

### Livslängd (service life)

Den tidslängd - räknat från installationsögonblicket - under vilka alla egenskaper överskrider acceptabel miniminivå. Underhåll i på förhand angiven omfattning antas därvid utföras. Livslängd är en absolut term.

### Nedbrytningsmekanism (degradation mechanism)

Det förlopp av kemiska och/eller fysikaliska förändringar, som lett fram till det stadium av nedbrytning som observeras i det enskilda fallet.

*Anm.* Definitionen avviker här från källan, som är ganska ospecifik.

**Nedsmutsning** (dirt and debris collection)

Process som innebär att främmande material, d.v.s. inte härrörande från biologisk påväxt eller underlaget självt, fastnar på eller bäddas in i ytskiktet på något föremål.

**Nyttjandegrad**

Andel av en period som behov av en funktion föreligger. Anges som förhållandet mellan teoretiskt möjlig utnyttjningstid och periodens längd (SP Metod 0029).

**Provning för livslängdsbedömning** (predictive service life test) eller **provning för livslängdsprognos**

Provning innefattande såväl egenskapsmätning som åldring syftande till att förutsäga (prognosticera) livslängd. Tidsåtgången är kort jämfört med förväntad livslängd.

**Tillgänglighet**

Förhållande mellan verklig utnyttjningstid och teoretiskt möjlig utnyttjningstid (SP Metod 0029).

**Väderfaktor** (weathering factor)

Påverkan härrörande från den naturliga miljön med alla dess komponenter: väderlek, årstids- och dygnsvariation, föroreningar, vind och snö etc.

**Åldringsprovning** (ageing test)

En provning i vilken ett provföremål utsätts för påverkan av faktorer, som tros orsaka nedbrytning.



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Ökande krav på möjligheterna att kontrollera inneklimat och energianvändning i byggnader medför även att kraven på styr- och reglerutrustningar ökar. Samtidigt medför datorenas intåg i byggnadsautomationen att allt fler uppgifter integreras i samma system. Detta ger upphov både till möjligheter och problem.

Tyvärr måste man konstatera att dagens styr- och reglersystem många gånger fungerar bristfälligt. Framförallt uppträder bristerna i gränssnitten mellan skilda teknikområden som byggnadsfysik / installationsteknik / styr- och reglerteknik. Förutom avvikelser från önskad funktion redan vid driftsättningen förekommer även problem med exempelvis dålig funktionsstabilitet hos vissa komponenter, bristande underhåll och dålig förmedling av kunskap om systemets verkliga funktionssätt. Ett stort problem är också att kraven på olika personalkategorier, t.ex. beställare och drift- och skötselpersonal, snabbt ökar i takt med att systemen blir allt mer komplicerade. Vidare förekommer problem redan idag med service och reservdelsförsörjning och det finns en risk att dessa problem kan öka i och med den höga omsättningshastigheten på ny teknik. Det finns därför ett tydligt behov av att studera förutsättningarna för styr- och reglersystemens långsiktiga funktion.

## 1.2 Projektets syfte

Arbetet utgör en fortsättning på ett tidigare Byggeforskningsprojekt, som övergripande behandlade frågor med anknytning till *beständighet, underhåll och drift* (BUD, se kapitel 2 och ref. 1). I den övergripande studien framhålls reglersystemens BUD-problematik med prioriteringsgrad 1.

Det projekt, som redovisas i denna rapport, avser en analys som syftar till att spegla behovet av kunskaper om viktiga förutsättningar för styr- och reglertekniska systems långtidfunktion. Avsikten är att peka ut problemområden och att inventera behovet av ökade kunskaper inom dessa områden. Vidare syftar projektet till att undersöka behovet av att dokumentera och sprida tillgängliga kunskaper för att ge underlag till utformningen av bättre system. Arbetet är huvudsakligen inriktat mot problem som berör system för värme, varmvatten och ventilation i bostäder och lokaler.

## 1.3 Projektbeskrivning

En svårighet vid hanteringen av reglertekniska system är att bestämma sig för var systemgränsen mot omvärlden skall dras. I denna undersökning omfattar "reglersystemet" både reglersystemet som sådant, viktiga VVS-tekniska komponenter såsom ventiler, spjäll, pumpar och fläktar samt byggnaden och dess verksamhet. Arbetet har genomförts i form av dokumentation av egna erfarenheter, intervjuer, besök av företag och genomgång av litteratur. (I bilaga A finns en förteckning över de företag som kontaktats.) En särskild litteratursökning har gjorts med avseende på nationella och internationella standarder. Många av dessa standarder kan vara av intresse, direkt eller indirekt, vid specifikation av reglertekniska system.

Som framgår av tabell 1.1 utgörs de huvudsakliga kostnaderna för projektet av löne- kostnader. Merparten av den budgeterade kostnaden är avsedd för sammanställning av underlaget och utskrift av rapporten.

Tabell 1.1. Projektets ungefärliga ekonomiska förutsättningar

Kostnadslag	Kostnad (kr)
Lönekostnad	65 000
Omkostnadspålägg	50 500
Resor och traktamenten	8 000
Totalt	123 500

## 1.4 Rapportens utformning

Rapporten syftar till att ge en överblick över problemställningar som är viktiga för styr- och reglersystemens långsiktiga funktion i byggnader. Innehållet riktar sig i hög grad till personer utanför kretsen av renodlade experter på reglerteknik, framförallt till beställare av reglertekniska system. Varje huvudavsnitt inleds därför med en allmän sammanfattning av området. I vissa fall kan de synpunkter som presenteras förefalla triviala eller självklara. Erfarenheterna från verkliga anläggningar indikerar emellertid att många problem uppstår just på grund av triviala eller (i efterhand) självklara orsaker. Det finns därför anledning återkommande påpeka dessa förhållanden.

Ett annat syfte med rapporten är att peka ut områden där dokumenterade kunskaper saknas. Ofta finns gedigna kunskaper, baserade på mångårig erfarenhet, hos enskilda företag eller personer. Ett grundläggande problem är emellertid att dokumentera och sprida denna kunskap och framförallt att ge kunskapen praktisk tillämpning i de anläggningar som byggs. I vissa fall kan man ha nytta av att kunskaper och erfarenheter dokumenteras och tillämpas i form av nationella och internationella standarder. Därför ges i rapporten ett antal exempel på existerande standarder som kan ha betydelse, direkt eller indirekt, för styr- och reglersystemens långsiktiga funktion. Slutligen presenteras ett urval av vanligt förekommande begrepp och förkortningar inom området byggnadsautomation.

Resultatet av den gjorda litteratursökningen har sammanställts i en bibliografi (bilaga C). Bibliografin är grupperad efter vissa huvudkategorier beträffande innehållet, dels för standarder (C1) och dels för rapporter/ handböcker (C2) samt tidningsartiklar / föredrag (C3). Dessutom finns några referenser av grundläggande karaktär, vilka anges direkt i kapitel 11. Avsikten med bibliografin är inte att på något sätt vara heltäckande utan att ge en uppfattning om vad som allmänt diskuteras inom området styr- och reglerteknik. Eftersom systemens långsiktiga funktion i stor utsträckning grundläggs i samband med projekteringen behandlar flera av referenserna olika alternativ till systemutformning. Slutligen har intrycken från de personliga kontakterna dels sammanfattats i bilaga B och dels inarbetats i de olika kapitlen av denna rapport.

## 2 Styr- och regler teknik i byggnader

Utän att alltför mycket föregripa diskussionen kring systemlösningar i kapitel 5 kan konstateras att utvecklingen av integrerade system för byggnadsautomation medför att det regler tekniska innehållet i det totala informationsflödet tenderar att minska. Där emot ökar hela tiden kraven på noggrannhet och flexibilitet på de reglerfunktioner som faktiskt integreras i systemen. Detta avsnitt av rapporten avser att ge en kort rekapitulation av de regler tekniska principerna för dagens och morgondagens system. Inte minst med tanke på systemens långsiktiga funktion är det väsentligt att fortlöpande hålla sig orienterad om den pågående utvecklingen.

### 2.1 Introduktion

Styr- och regler teknik är den sammanfattande benämningen på två principiellt olika sätt att medvetet påverka funktionen i ett system. Vanligtvis använder man följande klassificering:

- Styr system: Öppet styr system, se figur 2.1.
- Regler system: Slutet styr system, se figur 2.2.

#### 2.1.1 Öppet styr system

I ett öppet styr system påverkar man styrojektet direkt, t.ex. genom att vrida på en ventil, och resultatet "blir vad det blir". När systemets omgivning förändras kommer styr signalen inte automatiskt att ändras och därmed kommer den styrda storheten att variera med variationer i yttre påverkan eller inre processförhållanden.

Om en byggnad betraktas som styrojektet motsvaras exempelvis varierande klimatförhållanden av yttre störstorheter medan ändrad belysning, antal personer m.m. motsvarar förändringar i de inre processförhållanden. Påverkar man t.ex. värmetillförseln i byggnaden enbart genom att ställa en blandningsventil i ett fast läge, då har man ett öppet styr system.



Figur 2.1. Principen för ett öppet styr system.

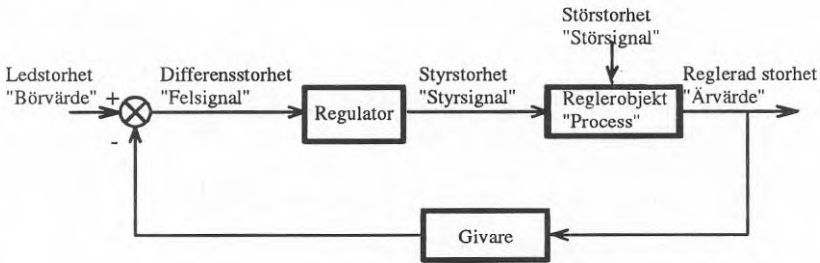
Nackdelar med öppna styrsystem är exempelvis:

- Dålig kunskap om styrojektets egenskaper gör att en viss styråtgärd kan få helt andra konsekvenser än förväntat,
- Styrojektet påverkas inte bara av styrorganet utan även på ett okontrollerat sätt av störningar från omgivningen, vilket kan medföra att en styråtgärd motverkas eller på annat sätt störs

Ett sätt att minska effekten av ovanstående problem är att mäta det verkliga resultatet av en styråtgärd och med hjälp av denna kunskap sedan modifiera styråtgärden; man sluter styrsystemet.

### 2.1.2 Slutet styrsystem

Reglersystem avser i första hand slutna styrsystem. Principen framgår av figur 2.2 och innebär att man på något sätt kontrollerar resultatet av styrsignalens påverkan av processen genom att studera den reglerade storheten. Den reglerade storhetens "årvärde" jämförs med det önskade värdet, "börvärdet", och skillnaden ("felet") återförs till styrorganet; kretsen är sluten.



Figur 2.2. Principen för ett slutet styrsystem.

I dagens läge används i första hand elektroniska styr- och reglersystem. Tidigare har emellertid mekaniska, hydrauliska eller pneumatiska system förekommit i stor omfattning. Ett mera ovanligt exempel på styrsystem redovisas av Rafferty (ref. 3). I staden Boise i Idaho, USA, byggdes 1892 ett fjärrvärmesystem baserat på geotermisk energi. Till att börja med utnyttjades artesiskt vatten men 1911 hade systemet fått en sådan omfattning att pumpar måste installeras. Problem med tryckvariationer i samband med att pumparna startades och stoppades gjorde att man 1927 uppgraderade det öppna styrsystemet till ett slutet reglersystem. Detta åstadkoms genom installation av varv- talsreglerade pumpar varvid varvtalet reglerades så att systemtrycket höll ett fast värde.

Automatiska reglersystem var naturligtvis sällsynta, så därför hittade man på ett sinnrikt manuellt system. Pumphuset, där de varvtalsreglerade pumparna satt, råkade ligga intill Idaho's statsfängelset. Interner från fängelset placerades i pumphuset, för att 24 h per dygn manuellt styra pådraget till motorena. I andra änden av nätet satt anställda från Boise Water Co. och läste av trycket i fjärrvärmesystemet. När trycket kom utanför de fastställda gränsvärdena ringde man till sin chef. Chefen ringde i sin tur till fängelsets växeltelefonist, som i sin tur kontaktade internerna i pumphuset för att tala om hur pumparna skulle justeras. Trots vissa otympligheter drevs detta system i stort sett oförändrat fram till 1970-talet och därmed kan man väl anse att önskemål om långsiktig funktion varit väl tillgodosedda.

## 2.2 Problemställningar inom reglertekniken

Viktiga problemställningar inom reglertekniken beskrivs av t.ex. Schmidtbauer (ref. 4). I detta sammanhang räcker det att nämna att det finns två huvudkategorier av regleruppgifter:

- Konstantreglering,
- Följereglering.

*Konstantreglering* är den vanligast förekommande regleruppgiften inom byggnadssektorn. Referensstorheten, t.ex. rumstemperaturen, är konstant under normala förhållanden och reglersystemets uppgift är att hålla den reglerade storheten konstant lika med börvärdet, trots inverkan av yttre eller inre störningar. Denna typ av reglering kallas även *regulatorfunktion*.

*Följereglering* innebär att referensstorheten varierar och reglersystemets huvuduppgift är att få den reglerade storheten att följa det varierande börvärdet med så små avvikelser som möjligt. Detta kallas även *servofunktion* och är mer vanligt förekommande inom tillverkningsindustri, flyg, m.m., än inom byggnadssektorn. Exempel på tillämpning inom byggnadsautomation kan vara frekvensstyrda pumpar och fläktar, där en yttre återkoppling försöker hålla temperatur eller luftkvalitet konstant genom att kontinuerligt förändra börvärdet för pumpens eller fläktens varvtal. Den yttre återkopplingen arbetar därvid med regulatorfunktion medan den inre arbetar med servofunktion.

Av ovanstående rekapitulation av grundläggande reglerteknik framgår att vi genom att sluta ett styrsystem får möjlighet att hålla den reglerade storheten under kontroll i viss mening. Som i de flesta andra sammanhang är det svårt att få det bästa av alla världar. Det visar sig att det finns en inneboende konflikt mellan krav på snabbhet och krav på stabilitet. Det finns i vissa fall också en koppling mellan stabilitet och noggrannhet. I de flesta fall är kraven både på snabbhet och på noggrannhet vid första påseendet tämligen blygsamma inom byggnadstillämpningar. Det visar sig emellertid att det är lätt att råka i svårigheter, trots de blygsamma kraven. Allt från bristfällig projektering, oväntade förändringar i verksamheten till olämplig placering av givare kan orsaka problem med både stabilitet och noggrannhet. Inte minst den med tiden ofta ändrade användningen av lokaler ställer krav på långsiktigt tänkande.

Inom reglertekniken kan man med olika matematiska hjälpmedel beskriva den dynamiska svårighetsgraden för en regleruppgift, t.ex. med hjälp av överföringsfunktioner och deras fas- och amplitudmarginaler. Ett ganska praktisk förfaringsätt att definiera *svårighetsgrad* beskrivs av Grindal (ref. C3.50, C3.51).

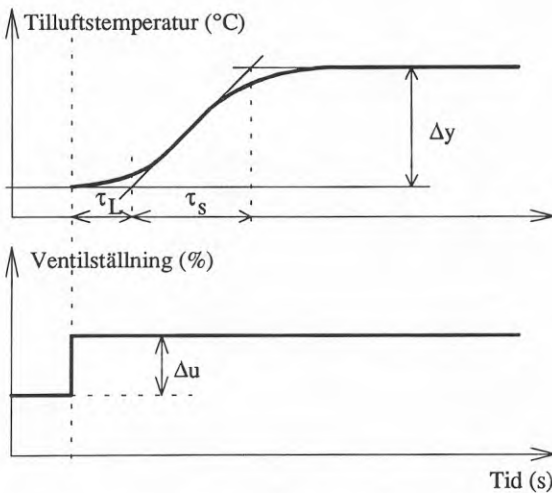
### 2.2.1 Reglerproblemets svårighetsgrad

Enligt Grindal karakteriseras ett reglersystems svårighetsgrad genom parametrarna statisk förstärkning ( $K_s$ ), dödtid ( $\tau_L$ ) och stigtid ( $\tau_s$ ). Den dynamiska svårighetsgraden ges därvid av  $K_s \frac{\tau_L}{\tau_s}$ . Genom att även inkludera kravet på statisk noggrannhet ( $\Delta y_s$ ) kan man ställa upp följande uttryck för den relativa svårighetsgraden D (D= Difficulty):

$$D = \frac{K_s \frac{\tau_L}{\tau_s}}{\Delta y_s} \cdot 100 \% \quad (\text{ekv. 2.1})$$

De i ekvation 2.1 införda storheterna illustreras i figur 2.3. Den statiska förstärkningen definieras som förhållandet mellan ärvärde och styrvärde, t.ex. i form av antal K höjning av temperaturen till följd av en viss procentuell ändring av ett ventilläge,

$$K_s = \frac{\Delta y}{\Delta u} \quad (\text{ekv. 2.2})$$



Figur 2.3. Illustration av förutsättningarna för begreppet relativ svårighetsgrad.

Bakgrunden till ovanstående begrepp är att den reglertekniska funktionen för ett VVS-system inte enbart beror av egenskaperna för de ingående komponenterna som reglerventiler, regulatorer och givare. Problem i anläggningen beror i hög grad även på utförandet av den egentliga installationen, exempelvis givarnas placering i systemet, dödtider orsakade av långa rör- eller kanaltransporter, m.m.

Genom detaljerade mätningar kan den dynamiska svårighetsgraden för ett system bestämmas. För detta krävs dock omfattande kunskap i reglerteknik och erfarenhet av mätningar på dynamiska system. I kombination med olika former av dynamisk simulering kan en kännedom om den dynamiska svårighetsgraden ge goda förutsättningar att förändra ett system, så att givna krav på noggrannhet och snabbhet kan uppfyllas. Metoder för dynamisk simulering beskrivs bl.a. av Novakovic (ref. C3.28), Poulsen (C3.68) m.fl.

Med hjälp av begreppet relativ svårighetsgrad klassificerar Grindal olika reglerobjekt som lätta, svåra och medelsvåra (se tabell 2.1). I den mån man använder sig av traditionella reglertekniska verktyg kan därmed också rekommendationer ges i samband med val av regulator typ. Grindals metod är i vissa sammanhang diskutabel, bl.a. kommer införandet av D-verkan inte att påverka den stationära noggrannheten. Dessutom kommer D-verkan inte att göra särskilt mycket nytta i situationer med  $\tau_L > \tau_s$ . För en mer ingående diskussion om när olika typer av regulatorer är lämpliga ser Hägglund en bra beskrivning (Hägglund: "Praktisk processreglering", Studentlitteratur, 1990).

Tabell 2.1. Klassificering av reglerobjekt i olika svårighetsgrader.

Relativ svårighetsgrad, D	Klassificering av reglerobjektet	Rekommenderad typ av regulator
$D < 1,0$	Lätt	P
$1,0 < D < 2,5$	Medelsvårt	PI
$D > 2,5$	Svårt	PID

Grindal redovisar flera exempel, bl.a. följande där ett luftbehandlingsaggregat värmer tilluften med hjälp av ett vattenbatteri. Lufttemperaturen mäts nedströms vattenbatteriet med en temperaturgivare som har stigtiden  $\tau_s = 75$  s. På grund av luftens transporttid från batteriet till mätpunkten erhålls en dödtid,  $\tau_L = 15$  s. Systemets statiska förstärkning ges av lufttemperaturens höjning i K som funktion av lägesändringen i % för ventilen som reglerar vattenflödet i batteriet,  $K_s = 0,2$  K/%. Som noggrannhetskrav sätter vi att temperaturen skall hållas inom  $\pm 2$  K, d.v.s.  $\Delta y_s = 2$  K. Därav kan den relativa svårighetsgraden beräknas enligt

$$D = \frac{0,2[K / \%] \cdot \frac{15[s]}{75[s]}}{2[K]} \cdot 100 = 2,0 [\%]$$

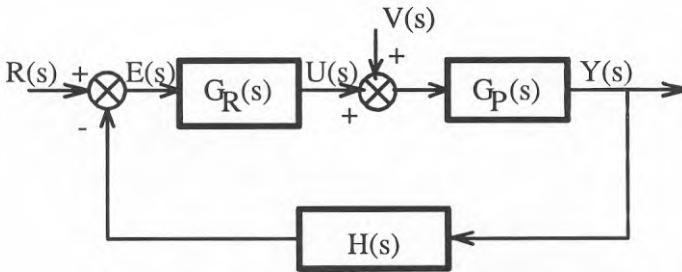
I detta exempel har vi alltså ett medelsvårt objekt och enligt tabell 2.1 bör vi därmed klara oss med en PI-regulator. Om vi hade nöjt oss med ett noggrannhetskrav på 4 K hade vi klarat oss med en P-regulator medan en skärpning av kravet till 1 K, enligt Grindal, hade krävt en PID-regulator. Exemplet har i första hand inkluderats för att visa att den långsiktiga funktionen för ett system direkt kan påverkas av förändrade krav på noggrannhet och snabbhet eller förändrade egenskaper för systemkomponenter som givare, styrdon, ventiler, värmeväxlare m.m.

### 2.2.2 Systemegenskaper

En huvuduppgift för ett regelsystem är att åstadkomma bästa möjliga överensstämmelse mellan ärvärdet och det föreskrivna börvärdet, d.v.s.

- Minimera inverkan av störningar på utsignalen (ärvärdet) - *regulatorfunktion*,
- Ge en snabb och noggrann följning av insignalen (börvärdet) i situationer då detta varierar - *servofunktion*.

I den grundläggande reglertekniken studerar man hur väl olika reglertekniska system uppfyller dessa båda funktioner med hjälp av linjäriserade modeller och blockschemaframställningar. Blockschemaframställningar innebär att systemkomponenterna symboliseras av frekvensberoende överföringsfunktioner (se figur 2.4).



Figur 2.4. Blockschemaframställning av principen för ett slutet styrsystem (negativ återkoppling).

Med hjälp av olika teoretiska hjälpmedel, som Bode-, Nichols- och Nyquistdiagram, datoriserade simuleringsprogram eller praktiska mätningar kan man analysera befintliga system genom *systemidentifiering* eller syntetisera önskade systemegenskaper genom *systemanalys*.

Vid *systemidentifiering* används traditionellt två metoder, *frekvensanalys* och *transientanalys*. Vid frekvensanalys utsätter man systemet för sinusformade insignaler med konstant amplitud och varierande frekvens. Vid varje frekvens avvaktas stationärt svängningstillstånd och därefter registreras utsignalens amplitud och fasvridning i förhållande till insignalen. Metoden är tidsödande och används därför främst i laboratoriesammanhang, t.ex. i samband med utvecklingsarbete. I praktiska tillämpningar i byggnader används i första hand olika former av *transientanalys*. Metoden innebär att systemet utsätts för en plötslig ändring av exempelvis det inställda börvärdet (slutna systemet) eller den aktuella styrsignalen (öppna systemet). Den plötsliga ändringen, transienten, utgörs vanligtvis av en stegändring (jämför med figur 2.3) men även impulsvar och rampsvar studeras (se definitionerna).



För det enkla, slutna styrsystem, som illustreras i figur 2.4 blir den resulterande överföringsfunktionen

$$Y = \frac{G}{1+G \cdot H} \cdot R + \frac{G_P}{1+G \cdot H} \cdot V \quad (\text{ekv. 2.3})$$

där  $G = G_R \cdot G_P =$  överföringsfunktionen i framriktningen,  $H =$  överföringsfunktionen i återföringen medan  $G \cdot H =$  den totala kretsöverföringen för det öppna systemet, d.v.s. om man bryter förbindelsen vid jämförarens negativa ingång. Av ekvation 2.3 framgår hur utsignalen  $Y$  påverkas av ändringar i börvärdet  $R$  och yttre processtörningar  $V$ . Dessutom framgår tydligt det viktiga i samband med systemanalys, nämligen att om den öppna krets förstärkningen  $G \cdot H = -1$  blir utsignalen oändlig. Detta inträffar om förstärkningens belopp  $= 1$  och man samtidigt har en fasvridning på  $180^\circ$ . Därmed inser man också att det ur stabilitetssynpunkt är väsentligt att studera det öppna systemets överföringsfunktion  $G \cdot H$ .

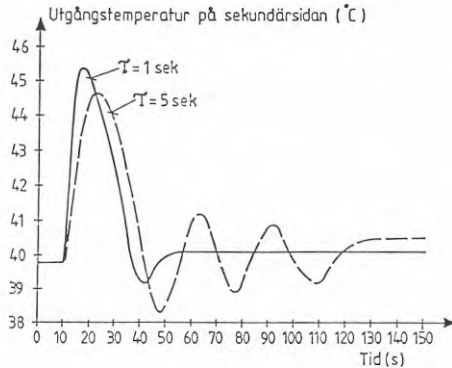
Eftersom egenskaperna för byggnaden med dess installationer och verksamhet ingår i funktionen  $G_P$ , egenskaperna för regulator, styrdon och ställdon ingår i funktionen  $G_R$ , samt egenskaperna för givare och deras placering, mätvärdesomvandlare m.m. ingår i funktionen  $H$ , inser man också att långsiktiga förändringar i varje enskild del av systemet även kommer att påverka reglersystemets noggrannhet, snabbhet och stabilitet. Exempelvis ger ett glapp i ett ställdon upphov till dödtider, som ger en negativ fasvridning och därmed ökande risk för instabilitet. En annan vanlig orsak till stabilitetsförsämrande dödtider, kan t.ex. orsakas av att givare sitter för långt från styrobjektet (jämför exemplet i figur 2.6 nedan).

Datoriserade simuleringsverktyg blir allt vanligare i samband med systemanalys och systemidentifiering (se t.ex. ref. C3.22, C3.68) och ger förbättrade möjligheter att studera även olinjära system beträffande följande viktiga systemegenskaper:

- Noggrannhet,
- Snabbhet,
- Stabilitet.

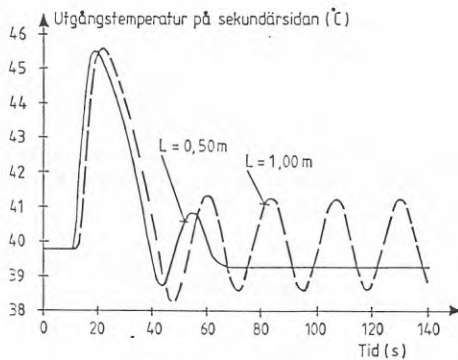
Reglerteknikerns uppgift är att hitta en i någon mening optimal kompromiss mellan krav, som ofta är motstridiga, beträffande dessa egenskaper. En stor fördel med de datoriserade verktygen är att man med hjälp av simuleringar snabbt kan bilda sig en uppfattning om hur långsiktiga förändringar kan påverka reglersystemets egenskaper. Förändringarna kan t.ex. avse begynnande glapp i ställdon, igensättning av ventiler, försmutsning av givare och förändring av kalibreringskonstanter, förändrade givarplaceringar eller andra systemförändringar. Det finns numera färdiga, persondatorbaserade analysprogram, som kan anslutas till ett system istället för, eller tillsammans med, det aktuella reglersystemet. Programmet gör automatiskt systemanalysen och presenterar en färdig modell av det analyserade systemet. I programmet kan man sedan studera inverkan av förändrade reglerparametrar, välja lämpliga inställningar och sedan återställa det ursprungliga systemet med de valda inställningarna.

Ett exempel på simulering av VVS-tekniska reglersystem visas av Poulsen (ref. C3. 68) i figurerna 2.5 och 2.6. Exemplet avser temperaturreglering av en fjärrvärmväxlare för tappvattenvärmning. Beräkning har utförts för givare med två olika tidskonstanter, 1 s respektive 5 s, placerade direkt i värmväxlarens utloppsrör för tappvatten. Värmväxlaren är av typen plattvärmväxlare, vars tidskonstant rör sig om några sekunder. Av figur 2.5 framgår att regleringen får god stabilitet med den snabba givaren men mycket dålig stabilitet med den långsammare givaren. För att återfå stabiliteten krävs en omtrimning av regulatorm till priset av ett långsammare svar och en större översväng på utgångstemperaturen. Detta gäller i viss mån även figur 2.6.



Figur 2.5. Simuleringsresultat för sekundärsidans utloppstemperatur vid en stegändring av primärtemperaturen från 50 till 60 °C. Två givare med olika tidskonstant (1 s respektive 5 s) placerades direkt i växlarens utlopp.

Ytterligare en beräkning har utförts för den givare som har tidskonstanten 1 s, men med placeringar på olika avstånd från växlarens utlopp. I detta fall blir den dödtid, som orsakas av vattnets transporttid mellan växlaren och mätstället, ett större problem än givarens tidskonstant. Av figur 2.6 framgår att regleringen blir någorlunda stabil när givaren monteras 0,5 m från växlaren men att regleringen blir tydligt instabil om mätstället flyttas ytterligare 0,5 m bort.



Figur 2.6. Simuleringsresultat för sekundärsidans utloppstemperatur vid en stegändring av primärtemperaturen från 50 till 60 °C. En givare med tidskonstanten 1 s har monterats dels 0,5 m efter växlaren, dels 1,0 m efter växlaren.

## 2.3 Reglertekniska verktyg

Metoder för systemidentifiering och systemanalys har kort beskrivits i avsnitt 2.2. I detta avsnitt görs en rekapitulation av de reglertekniska verktyg som finns tillgängliga för att lösa problemet med att syntetisera ett system med i någon mening optimala egenskaper.

### 2.3.1 Analoga regulatorer

Den traditionella reglertekniken behandlar i huvudsak system med regulatorer av typen P, PI eller PID, deras principiella funktion och hur man på ett lämpligt sätt väljer inställningsparametrar. I denna rapport betraktas dessa regulatorer som analoga oavsett om regulatorn internt arbetar med digitalteknik. Om den interna arbetsfrekvensen är tillräckligt hög kan teorierna för rent analoga system tillämpas även på regulatorer som arbetar digitalt. Egenskaperna för P-, PI- och PID-regulatorerna kan sammanfattas enligt följande:

#### *P-regulator*

Regulatorn ger en styrsignal, som är direkt proportionell mot regleravvikelsen; *proportionell reglerfunktion*:

$$U = G_R \cdot E = K_P \cdot E \quad (\text{ekv. 2.4})$$

Till fördelarna hör att denna regulatorer blir billig och lätt att förstå sig på. Den enkla funktionen gör att tröskeln för att verkligen utföra en intrimning av regulatorns inställning blir låg. Det finns bara en "ratt" att vrida på.

Den främsta nackdelen är att regulatorer alltid ger ett kvarstående reglerfel. Ju mindre fel man önskar desto högre försärkning krävs och desto större blir risken för ett instabilt system. Vid regulatorfunktion blir felet ungefär proportionellt mot  $1/(1+K_P)$ , "positionsfelet", medan det vid servofunktion i princip blir oändligt, "hastighetsfelet". I många enkla regulatorer är kravet på reglernoggrannhet lågt och det räcker därmed gott och väl med en P-regulator.

#### *PI-regulator*

En PI-regulator ger en styrsignal med en del som är proportionell mot reglerfelet och en del som är proportionell mot reglerfelets tidsintegral; *proportionell och integrerande reglerfunktion*:

$$U = G_R \cdot E = \left( K_P + \frac{K_I}{s} \right) \cdot E = K \left( 1 + \frac{1}{s \cdot T_I} \right) \cdot E \quad (\text{ekv. 2.5})$$

där  $E(s)/s$  i komplexa frekvensplanet motsvarar  $\int e(t) dt$  i tidsplanet. Ett *minskande värde* på integrationstiden  $T_I$  ger således ett *ökande bidrag* till styrsignalen av den integrerande delen.

En PI-regulator har som främsta fördel, jämfört med en P-regulator, att reglerfelet kan fås att bli noll vid regulatorfunktion under stationära förhållanden ("positionsfelet" blir noll). Genom att styrsignalen är proportionell mot integralen av reglerfelet så kommer den att växa så länge det finns ett kvarstående fel. Detta motsvarar en P-regulator med oändlig förstärkning utan att man får samma stabilitetsproblem. Samtidigt blir emellertid regulatorn långsammare, eftersom den innehåller ett lågpasfilter. Försök att snabba upp en PI-regulator, genom att öka förstärkningen för P-delen, kan leda till instabilitet genom den negativa fasvridning som integratorn medför.

En annan nackdel med en PI-regulator är att det redan med tillägget av en I-funktion börjar bli problematiskt för normal driftspersonal att klara av en korrekt inställning. Därför står väldigt ofta denna typ av regulator med samma inställda parametrar som den ursprungligen lämnade tillverkaren med. Man måste för denna regulator typ samtidigt vara medveten om att så fort en ändring görs av den välbekanta P-funktionen måste också en ändring göras av I-funktionen om regulatorn skall fungera optimalt. Enkelhet och tydlighet beträffande instruktioner för inställning av parametervärden är väsentliga för att bibehålla den långsiktiga funktionen och blir allt viktigare ju mer komplicerad en regulator är. Lyckligtvis är många reglerproblem inom byggnadssektorn av ganska godartad natur och därmed kan man få en funktion som upplevs som acceptabel trots ordentligt felinställda regulatorer.

#### *PID-regulator*

En PID-regulator ger en styrsignal med en del som är proportionell mot reglerfelet, en del som är proportionell mot reglerfelets tidsintegral och en del som är proportionell mot reglerfelets tidsderivata; *proportionell, integrerande och deriverande reglerfunktion*:

$$U = G_R \cdot E = (K_P + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s) \cdot E = K(1 + \frac{1}{s \cdot T_I} + T_D \cdot s) \cdot E \quad (\text{ekv. 2.5})$$

där  $s \cdot E(s)$  i komplexa frekvensplanet motsvarar  $\frac{d}{dt}e(t)$  i tidsplanet.

En PID-regulator har som främsta fördel jämfört med en PI-regulator att PI-funktionen stabiliserats med en deriverande del. Därmed kan en PID-regulator göras snabbare än en PI-regulator med samma krav på stabilitetsmarginaler. En nackdel med en PID-regulator är naturligtvis att inställningsproceduren kompliceras av ytterligare en parameter som skall ställas in. I verkliga regulatorer är de integrerande och deriverande funktionerna inte fullt så renodlade som angetts i ekvationerna 2.4 och 2.5. Med hjälp av olika typer av fasvridande nät, s.k. "lead"- och "lag"-filter, försöker man förbättra stabilitetsmarginalerna vid en given snabbhet hos regulatorn (se t.ex. ref. 4). Vanliga, halvempiriska, inställningsrutiner av typen Ziegler-Nichols, tenderar att ge relativt dåliga stabilitetsmarginaler.

En viktig funktion för möjligheten att integrera analoga regulatorer av samtliga tre typer i mera komplexa system för byggnadsautomation är förekomsten av yttre inställning av börvärdet, s.k. SPC (Set Point Control). En SPC-ingång gör att börvärden kan ändras centralt, t.ex. vid olika typer av ekonomidrift (nattsänkning, reducerad ventilation och andra typer av "economizer"-cykler). Man kan även utnyttja en SPC-ingång för att kontinuerligt styra regulatorer i inre slingor i kaskad- eller störvärdeskompenserade regler-system (servofunktion).

## 2.3.2 Adaptiva regulatorer

Med anledning av de problem som diskuterats i 2.3.1 beträffande inställning av reglerparametrar för traditionella regulatorer är det naturligt att utvecklingen går mot regulatorer som på något sätt automatiskt hanterar inställningsprocessen (se t.ex. ref. C3.44, C3.62, C3.77, C3.81, C3.107, C3.109, C3.110, C3.111, C3.112). Regulatorer som automatiskt anpassar sin funktion, antingen kontinuerligt eller på kommando av någon operatör, brukar med en sammanfattande benämning kallas adaptiva regulatorer. I stort sett alla adaptiva regulatorer består i princip av följande två huvuddelar,

- Regulator
- Adaptor.

Regulatorn är i huvudsak en ordinär regulator med samma variationer i utformning och regleruppgifter som beskrivits tidigare i rapporten. Adaptor delen är det nya i den adaptiva regulatorn och har som huvuduppgift att räkna ut lämpliga inställningar för regulatorparametram. Adaptor ersätter således i större eller mindre grad den vanliga operatören.

Beroende på graden av sofistikerad hos adaptor brukar man klassificera de adaptiva regulatorerna enligt följande (Bengtsson, ref. C3.44):

- Regulatorer med signalstyrd förstärkning ("adaptive gain")
- Regulatorer med automatisk intrimning ("auto-tuning")
- Självinställande eller självadaptiva regulatorer ("self-tuning", "self-adaptive")

Det kan således vara mycket stor skillnad i vad regulatorer, som säljs under benämningen "adaptiva", egentligen klarar av. Vanligtvis tillhör de regulatorer som marknadsförs idag de två första grupperna.

### *Regulatorer med signalstyrd förstärkning*

Denna kategori av regulatorer har en mellanställning mellan konventionella regulatorer och de adaptiva. De består oftast av PID-regulatorer, vars parameter varierar efter en på förhand bestämd modell i förhållande till variationerna av någon yttre storhet. Parameterbeskrivningen definieras i form av en tabell eller ett analytiskt uttryck och regulatorn måste vanligtvis trimmas in manuellt vid flera arbetspunkter. Inledningsvis kan denna typ av regulator därför vara besvärligare att använda än en konventionell PID-regulator. Regulatorn saknar medel att själv bilda sig en modell av processen och är därför inte adaptiv i egentlig mening.

### *Regulatorer med automatisk intrimning*

Två huvudkategorier av regulatorer med automatisk intrimning förekommer. I den enklaste måste operatören själv orsaka någon typ av processtörning. Därvid används adaptorn bara för att hitta lämpliga reglerparametrar under själva intrimningsförsöket, som beordrats av operatören. Därefter kopplas adaptorn bort, men den kan naturligtvis när som helst kopplas in på nytt om behov föreligger. En mer avancerad variant av denna regulator utnyttjar någon form av störning, som initieras av regulatorn själv, för att bilda sig en uppfattning om systemet och vilka reglerparametrar som kan vara lämpliga. Denna typ av regulator har en begränsad form av självinställande funktion.

### *Självinställande eller självadaptiva regulatorer*

Den verkligt självadaptiva regulatorn kombinerar fördelarna med de båda tidigare kategorierna utan att ha deras nackdelar. Adaptorn sköter både den automatiska intrimningen vid regulatorns installation och den följer kontinuerligt eventuella förändringar i processen. Därmed behöver inte operatören ingripa för att uppdatera reglerparametrarna. Denna typ av regulator är naturligtvis ett utomordentligt hjälpmedel för att trygga en långsiktigt godtagbar reglerfunktion, utan de stora krav på regler teknisk kompetens hos personalen, som uppdatering av reglerparametrarna för konventionella regulatorer kräver.

Andra fördelar med självadaptiva regulatorer är att de med framgång kan användas i komplicerade reglertillämpningar med exempelvis dödidskompensering, "icke minfas system", framkoppling m.m. Förutsättningen för ett lyckat resultat är naturligtvis att adaptorn lyckas bilda sig en korrekt matematisk bild av systemet. En rik flora av optimeringsmetoder finns, t.ex. "samtidig parametervariation", "en-parameter variation", "stokastisk variation", "gradient modell", "Hooke & Jeeves metod" m.fl.

Ett speciellt problem för vissa typer av adaptiva regulatorer är s.k. "wind-up". Om regulatorn lär sig en process genom systemets reaktion på normalt uppträdande störningar förses den vanligtvis med en glömskefaktor. Detta innebär att regulatorn viktar data för modellbildningen allt mindre ju äldre dessa data är (regulatorn skall ju lära sig eventuellt förändrade processförhållanden). Om systemet upplever en längre period av ostörda förhållanden innebär detta att regulatorn efter en viss tid har glömt sin tidigare vältrimmade processmodell. Uppstår i detta läge en kraftig störning kan regulatorns modell slås ut och regleringen temporärt försämras om den inte förses med lämpligt skydd för denna s.k. "wind-up"effekt.

De vanligaste metoderna för att optimera reglerfunktionen är den s.k. "dead-beat"-metoden (minimal varians) samt polplaceringsmetoden (se 2.3.3). Beroende på typen av tillämpning kan skillnaden i snabbhet och stabilitet för det resulterande reglersystemet skilja en del, men i de allra flesta fall blir resultatet avsevärt mycket bättre än för en manuell inställd regulator. Förbättringen beror inte i första hand på att automatiken klarar uppgiften bättre än en reglerexpert utan på att i verkliga installationer finns det sällan eller aldrig någon expert med tillräcklig tid till sitt förfogande för att göra en verkligt bra inställning.

### 2.3.3 Polplacering

För att förstå metoden att utforma en regulator genom polplacering behövs en del matematik. För detaljerna hänvisas till litteraturen, t.ex. Schmidtbauer (ref.4), men enkelt uttryckt kan man säga att överföringsfunktionerna i ekvation 2.3 karakteriseras av nollställena i komplexa talplanet för täljare ("nollställena") och nämnare ("poler"). Om man betraktar bråken framför börvärdet  $R$  och störningen  $V$  inser man att om man i detalj känner överföringsfunktionerna  $GP$  och  $H$  kan man, åtminstone teoretiskt, tänka sig att utforma  $GR$  så att uttrycket framför  $R$  blir 1 och uttrycket framför  $V$  blir litet. Lyckas man placera "polema" så att överföringsfunktionen blir den rätta kommer således ärvärdet alltid att vara lika med börvärdet, utan någon tidsfördröjning, medan samtidigt inverkan av störningen  $V$  hålls liten.

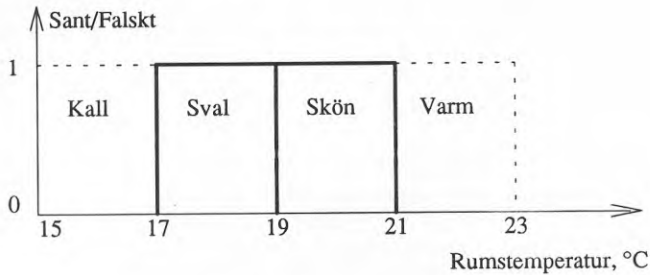
Polplacering fungerar också i praktiken och med adaptorn i den självadaptiva regulatortekniken har man redan ett verktyg för att bilda sig den noggranna modell av överföringsfunktionen, som krävs för polplaceringen. Den begränsande faktorn för hur snabbt ärvärdet kan anpassa sig till en förändring av börvärdet ges i praktiken av effektkrav och belastning i ställdon m.m. Oändligt kort svarstid kräver oändlig effekt! Många exempel på polplaceringsregulatorer finns beskrivna i litteraturen. Ett exempel ges av Jong-Hwan och Keh-Kun (ref. C3.54), som beskriver en konstruktion av en självadaptiv PID-regulator med hjälp av polplacering. Inom området polplacering gjordes en del av pionjärarbetet vid Lunds Tekniska Högskola (se t.ex. Åström, K J, Wittenmark, B: "Computer Controlled Systems - Theory and Design", Prentice-Hall, 1984).

### 2.3.4 Regulatorer med oskarp logik ("fuzzy")

Oskarp logik är en teknik som fått ett fantastiskt genomslag, framförallt i Japan, under senare år. Det har samtidigt blivit ett stort försäljningsargument; "Nu med fuzzy" smäller idag ungefär lika högt som "Nu med mikroprocessor" gjorde för 15-20 år sedan. Oavsett marknadsföringsvärdet har emellertid den oskarpa logiken vissa egenskaper som passar utmärkt för den långsiktiga funktionen hos VVS-tekniska styr- och reglersystem. Sättet att arbeta liknar i viss mån sättet att klassificera termiskt inneklimat med PMV-index (Predicted Mean Vote, se ref. C1.2, ISO 7730). Det kan därför vara motiverat att ge en kort beskrivning av metodiken vid reglering av innetemperaturen med hjälp av oskarp logik.

Principerna för oskarp logik introducerades redan 1965 av Lofti Zadeh vid Berkeley-universitet i USA. Skillnaden mellan ett reglersystem baserat på konventionell teknik och ett baserat på oskarp logik är att medan det förra systemet strävar efter att kvantifiera beskrivningen av verkligheten så exakt som möjligt har det senare ett stort inslag av kvalitativ bedömning. Istället för att beskriva rumstemperaturen som 23,1 °C karakteriserar den oskarpa logiken temperaturen som "för kall", "lagom" eller "för varm". Ett annat sätt att se beskrivningen är att den oskarpa logiken kvantiserar en storhet i steg med mycket grov upplösning. Därefter karakteriserar man ett värde dels med vilket kvantsteg det tillhör och dels med graden av tillhörighet. Här kommer det oskarpa in i bilden i och med att tillhörigheten inte bara är ja eller nej utan även har en "gråskala". Enklast illustreras principen med ett exempel (Rösnes, ref. C3.72, baserat på en beskrivning från Omron).

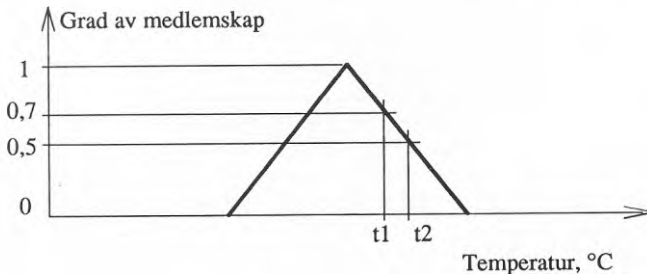
Som tidigare antytts är rumstemperatur en storhet som lämpar sig väl för beskrivning med oskarp logik. Samma temperatur kan ju uppfattas helt olika av olika personer, man upplever inte temperaturen i form av °C utan i form av "kallt" eller "varmt" etc. Vi tänker oss att ett rum skall kylas med hjälp av ett varierbart uteluftsflöde. Med hjälp av en termostat kan fläktens flöde ökas eller minskas i fasta steg. Den resulterande rumstemperaturen delas in enligt figur 2.7.



Figur 2.7. Med konventionell reglering kan innetemperaturen delas upp i ett antal temperaturintervall. En viss temperatur kan därvid endast tillhöra ett av figurens intervall "kall, sval, skön, eller varm".

Temperaturen 20,5 °C ligger exempelvis inom intervallet 19-21 °C och kategoriseras därmed som "skön". Som resultat av kategoriseringen får fläkten ett motsvarande fast varvtal. Även om temperaturen sjunker till 19,5 °C kommer fläkten att ha samma varvtal och temperaturen måste sjunka under 19 °C innan varvtalet ändras. Temperaturen på uteluften behandlas på samma sätt. Ju högre utetemperatur desto högre måste naturligtvis fläktens varvtal stegas upp för att nå en viss kyleffekt (givetvis under förutsättning att utetemperaturen är lägre än rumstemperaturen).

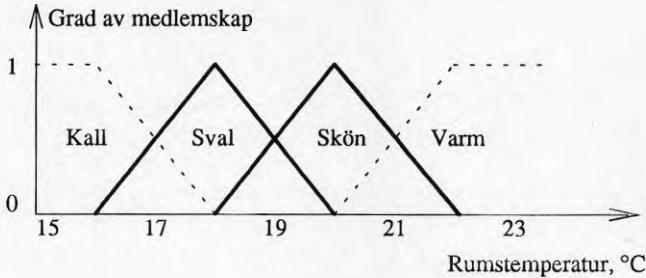
Den oskarpa logiken klassificerar temperaturen med termen *medlemskap* ("fuzzy membership function"). Begreppet illustreras av figur 2.8. Fullt medlemskap, d.v.s. värdet 1, erhålls endast vid en enda temperatur inom varje intervall. Om man tillämpar detta på intervallet "skön" i figur 2.7 innebär det att temperaturen 20 °C har medlemskapet 1 i detta intervall. Därefter avtar graden av medlemskap med avståndet från 20 °C.



Figur 2.8. Reglering med oskarp logik klassificerar temperaturen med "graden av medlemskap" istället för med distinkta intervall. Fullt medlemskap, d.v.s. 1, existerar endast i en punkt.



Med hjälp av medlemskapsfunktionen kan vi göra om figur 2.7 i enlighet med figur 2.9. Även här utnyttjar vi begreppen "kall, sval, skön och varm", men det är inte längre fråga om distinkta intervall utan graden av medlemskap avtar utåt sidorna. Samtidigt finns en viss överlappning mellan de olika intervallen.

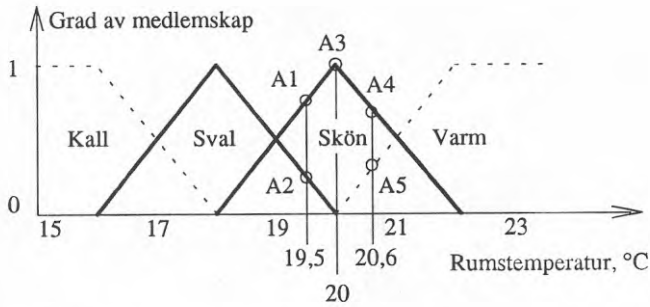


Figur 2.9. Vid reglering med oskarp logik får man detta utseende på temperaturklassificeringen istället för den klassificering som visas i figur 2.7. Samma kategorier av "kall, sval, skön, varm" finns kvar, men intervallen har inte längre de klassiska skarpa gränserna.

Om vi med hjälp av figurena 2.8 och 2.9 särskilt studerar exempelvis temperaturerna 19,5 °C, 20 °C och 20,6 °C kan de olika graderna av medlemskap redovisas enligt figur 2.10. Graden av medlemskap redovisas även i tabell 2.2. Vi har på detta vis fått en kombination av digital och analog representation av storheten rumstemperatur. De fyra kategorierna ger den digitala representationen mellan graden av medlemskap ger oss en analog, kontinuerlig representation.

Tabell 2.2. Representation av tre temperaturer med hjälp av oskarp logik.

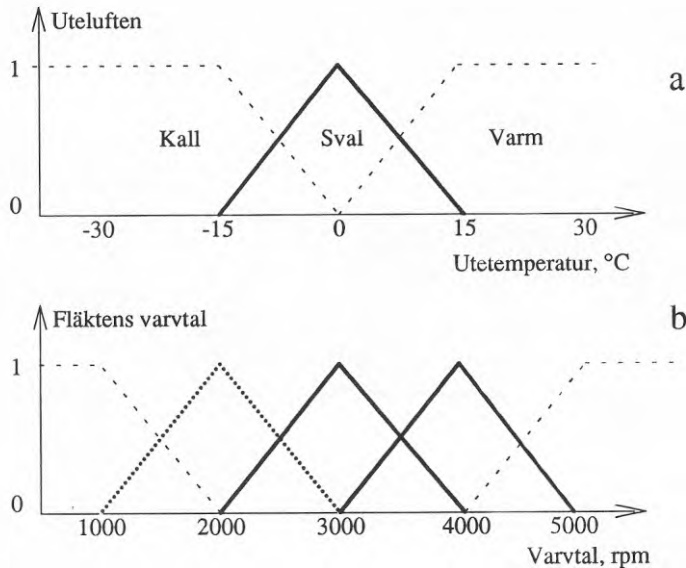
Namn på medlemskap	Grad av medlemskap		
	19,5 °C	20,0 °C	20,6 °C
"Kall"	0	0	0
"Sval"	0,25 (A2)	0	0
"Skön"	0,75 (A1)	1,00 (A3)	0,60 (A4)
"Varm"	0	0	0,40 (A5)



Figur 2.10. Graden av medlemskap bestäms för varje temperatur i enlighet med ovanstående diagram (t.ex. 19,5, 20 och 20,6 °C).

Med hjälp av logiska regler kan medlemskapen kombineras på olika sätt, t.ex. enligt följande:

- |         |                                       |
|---------|---------------------------------------|
| a AND b | Min. (medlemskap (a), medlemskap (b)) |
| a OR b  | Max. (medlemskap (a), medlemskap (b)) |
| NOT a   | 1,0 - medlemskap (a)                  |



Figur 2.11. På motsvarande sätt som innetemperaturen beskrivs i figur 2.9 kan även utetemperaturen beskrivas (diagram a). Motsvarande varvtal för fläkten beskrivs på liknande sätt (diagram b).

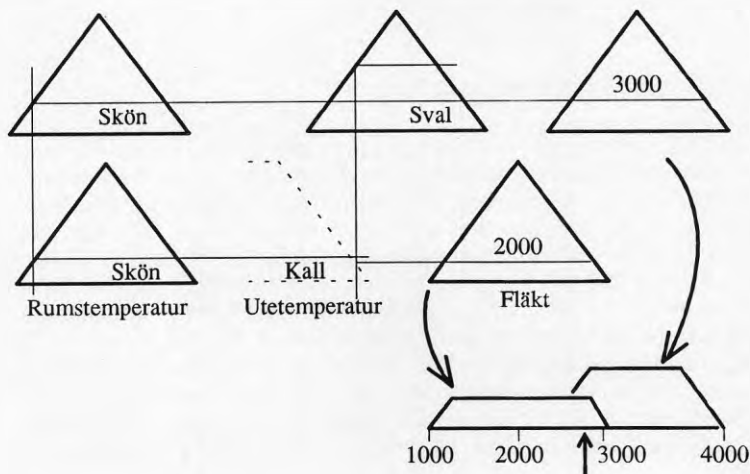
Dessa logiska verktyg gör att man kan sätta samman olika medlemskap som har att göra med förändringar i rumstemperatur och utelufttemperatur på den vänstra sidan (IF) och överföra dem (THEN) till varvtalsregleringen på den högra sidan. Därmed kan **regel 1** för temperaturregleringen uttryckas på följande vis (jämför även med figur 2.12):

IF Rumstemperatur IS Skön AND Utetemperatur IS Sval THEN Fläkt IS 3000

Om utetemperaturen sjunker kan ännu en regel, **regel 2**, formuleras enligt:

IF Rumstemperatur IS Skön AND Utetemperatur IS Kall THEN Fläkt IS 2000

En flyttning av linjen för utetemperatur åt vänster ger samtidigt en motsvarande minskning av arean 3000 medan istället arean 2000 ökar.



Figur 2.12. Tillämpning av de logiska reglerna för regleringen av rumstemperatur. Den oskarpa logikens "luddiga" klassificering har nu översatts till ett precist reglerförhållande genom tyngdpunktsbestämning enligt figuren.

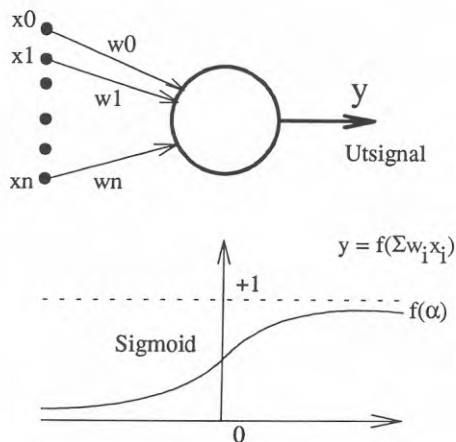
Det finns redan färdiga datoriserade utvecklingshjälpmedel för att översätta kunskapsbaser till programkod. Det anses att programmering för reglering med oskarp logik går betydligt snabbare än konventionell programmering. Många praktiska tillämpningar finns redan beskrivna i fackpressen (t.ex. ref. C3.58, C3.59, C3.79, C3.80).

### 2.3.5 Deterministiskt kaos

Kaos i deterministiska system betyder att även system, som i princip är föutsägbara, innehåller ett visst mått av oförsägbarhet, "kaos". Detta kaos kan t.ex. uppstå i system, som i sig beskrivs av deterministiska differentialekvationer, om det samtidigt finns en mekanism som genererar instabilitet och en mekanism som begränsar rörelsen. Detta exemplifieras av Togeby (ref. C3.76) med en analys av en radiatortermostats funktion. Även för denna enkla typ av proportionalregulator kan förekomsten av kaos påvisas. Deterministiskt kaos kan ses som en undergrupp till det instabila området och innebär i detta fall att temperaturen kommer att variera oförsägbart men inom förutsägbara gränser. Det innebär också att det inte är möjligt att långsiktigt förutsäga temperaturen. Just i detta enkla fall saknar effekten av det kaotiska tillståndet praktisk betydelse för brukaren. Det kan emellertid vara bra att hålla i minnet i andra, mera komplexa, sammanhang att alla fysikaliska system kan innehålla ett visst mått av oförsägbart. I synnerhet vid reglering av olinjära system kan kaosteori vara av intresse.

### 2.3.6 Artificiella Neurala Nätverk

Artificiell intelligens har länge varit ett uppmärksammat område inom området informationsteknologi. Den mänskliga hjärnans sätt att fördela intelligens och samtidigt ha förmågan att behandla stora mängder information genom en hög grad av lokal prioritering är mycket intressant även inom det reglertekniska området. Gibson och Kraft (ref. C3.48) beskriver exempelvis möjligheten att tillämpa ANN (Artificial Neural Networks) för att förutspå en byggnads framtida behov av energi, medeffekt och toppeffekt. Systemet utnyttjas för att med hjälp av lagring (TES = Thermal Energy Storage) minska toppeffekten för aktiv kyla inom ramen för ett EMCS-system (ECMS = Energy Management and Control System). Denna typ av tillämpning är en viktig del av samarbetet mellan energileverantörer och kunder för att minska behovet av toppeffekt på elnäten (DSM = Demand Side Management). En annan möjlig tillämpning, inom exempelvis svensk fjärrvärmeteknik, har påvisats av Waldemark (ref. C3.80).



Figur 2.13. Signalbehandling med hjälp av neuroner i ett artificiellt neuralt nätverk.

ANN karaktäriseras av att det är ett informationsbehandlande system, som består av ett stort antal sinsemellan sammankopplade enkla signalbehandlings-element. Varje element ger *en utsignal* som funktion av *flera viktade insignaler* (jämför med funktionen hos hjärnans nervceller, s.k. neuroner). Principen framgår av figur 2.13. Trots att ett neuron kan motta flera insignaler ( $x_i$ ) ger det endast ifrån sig en utsignal ( $y$ ). Denna utsignal överförs via neuronets utgångsanslutning där den vanligtvis delas upp i ett antal parallella, identiska signaler.

Styrkan med ett ANN ligger i de anpassningsbara viktsfunktionerna ( $w_i$ ), vilka hela tiden justeras under systemets inlärningsperiod, samt möjligheten att etablera komplexa system genom sammanbindning av ett stort antal neuroner. Under inlärningsperioden utsätts ANN-systemet för upprepade uppsättningar med insignaler och motsvarande uppsättningar börvärden för utsignalerna. Viktsfunktionerna justeras därvid systematiskt ända tills "felet" ligger inom acceptabla gränser. Inlärningsprocessen liknar i mångt och mycket den mänskliga inlärningsprocessen.

## 2.4 Byggnadsautomation

Området byggnadsautomation handlar i första hand om olika former av "intelligenta" hus och möjligheter till en rationaliserad byggnadsadministration. I detta sammanhang kommer därför endast ett antal vanligt förekommande begrepp att introduceras. Anknytningen till styr- och reglerteknik är relativt perifer i så motto att styr- och reglertekniska funktioner ingår som delar i systemen för byggnadsautomation. I övrigt hänvisas till litteraturen. Rejдин och Hellström har i en byggforskningsrapport gjort en relativt omfattande sammanställning av styr- och reglerteknisk integration i samband med byggnadsautomation och intelligenta byggnader (ref. C2.73). För den som vill bilda sig en bred uppfattning om system för byggnadsautomation har Carlson och Giandomenico (ref. C2.7) utarbetat en handbok, som är speciellt riktad till fastighetsägare, förvaltare, beställare och konsulter.

### *BEMS, BMS, EMS, EMCS*

BEMS - Building Energy Management System, BMS - Building Management System eller EMS - Energy Management System, är vanliga och i viss mån synonyma benämningar på system för byggnadsautomation. I benämningen EMCS - Energy Management and Control System - har man även betonat den styr- och reglertekniska funktionen. EMS-systemet kan exempelvis registrera, beräkna och visa effektbehovet, effektfaktorn och belastningsfaktorn (=medeffekt/maxeffekt) för en avtalad period.

Det finns en hel del litteratur att tillgå inom området byggnadsautomation. Internationellt arbete pågår i form av standardisering och forskningssamarbete för att sammanställa och sprida befintlig kunskap och ta fram ny kunskap där luckor uppdagas. Bach et al redogör t.ex. i en artikel för två IEA-projekt, annex 16 och 17 (ref. C3.88). Annex 16, "BEMS 1 - User interfaces and systems integration", omfattar en sammanställning av de handböcker, standarder, instruktioner, analysmetoder för besparingsmöjligheter med BEMS, givartillämpningar m.m., som finns tillgängliga inom de olika deltagarländerna. Dessutom behandlas ett antal fallstudier beträffande utfallet för några tillämpningar av BEMS-teknik.

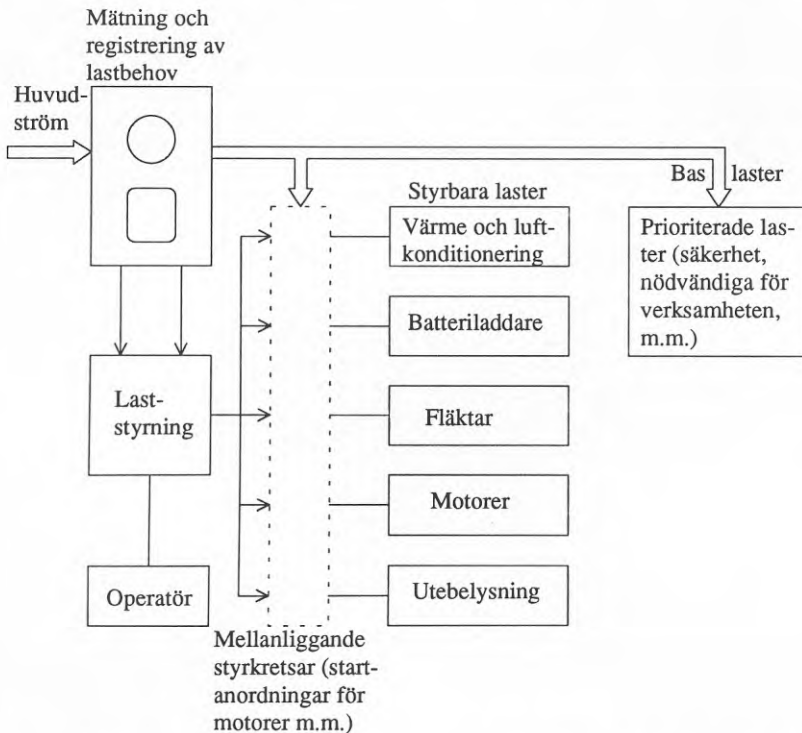
Annex 17, "BEMS 2 - Evaluation and emulation technique", är mer forskningsinriktad och behandlar analys- och bedömningsmetoder för utvärdering av BEMS. Datorsimuleringar med program av typ TRNSYS, HVACSIM m.fl. befinner sig relativt god överensstämmelse med verkliga utfall och är därför utmärkta analysverktyg för att studera förutsättningarna för BEMS-tillämpningar.

### DSM

Med DSM (DSM = Demand Side Management) avser man ett system för någon form av laststyrning. DSM-systemet styr behovet hos brukaren genom att välja ut och koppla bort vissa laster under perioder då effekten/energin är dyr.

Det finns många olika typer av DSM-system på marknaden i dag. Dessa omfattar allt från enkla lastbegränsare till storskaliga datorbaserade system. I mellanregistret finns system som erbjuder ett visst mått av flexibilitet i form av programmerbara logiska styrenheter (PLC = Programmable Logical Controllers).

Oavsett typ fullgör laststyrningssystemen i huvudsak samma uppgifter. Systemet mäter den effekt som åtgår i en byggnad och begränsar åtgången genom att stänga av laster som inte är absolut nödvändiga eller genom att dra ner styrbara laster under behovsstyrningsperioderna. De grundläggande funktionerna i ett DSM-system illustreras i figur 2.14.



Figur 2.14. Grundläggande funktioner i ett DSM-system (baserat på Cho, ref. C2.65).

För DSM- och ESM-system bör det finnas programvara som registrerar, visar och styr anläggningens största tillåtna effektbehov.

#### *DDC, DUC, PLC*

I system där styrning och reglering sker direkt från ett datorsystem, med samtliga regleralgoritmer i centraldators programvara, används ofta begreppet DDC, Direct Digital Control. Numera går utvecklingen mot att centraldatorn endast sköter överordnade funktioner och larm m.m. Till centraldatorn kopplas istället ett större eller mindre antal mindre "datorer", vilka kan styras direkt av centraldatorn eller periodvis arbeta relativt självständigt. I dessa underenheter läggs de rena styr- och reglerfunktionerna. "Slavdatorerna" kallas ofta DUC, datorundercentral; i dagligt tal s.k. Duc:ar.

Med PLC, Programmable Logic Controller, avsågs ursprungligen programmerbara styrsystem som enbart arbetade med signaler av typen "till" eller "från". PLC-systemen programmeras med logiska villkor enligt principerna för Boolesk algebra. Numera inkluderas, något oegentligt, ofta gruppen programmerbara regulatorer i PLC-familjen.

#### *Domotique, HES*

Domotique är den franska benämningen för någon form av intelligenta bostäder. Motsvarigheten på kontorssidan kallas *Bureautique*. Karlsson (ref. C3.100) ger en kort beskrivning av erfarenheterna från introduktionen i Frankrike av Domotique. De vanligaste funktionerna som efterfrågas sägs vara larmsystem, simulering av närvaro (t.ex. med hjälp av slumpmässigt tändande och släckande av lampor) och rumsvis temperaturstyrning med möjlighet till fjärrkontroll via det franska teletextsystemet Minitel. Någon stor succé har Domotique emellertid ännu inte hunnit bli. HES, Home Electronic System, är den engelska benämningen för motsvarigheten till Domotique. Beträffande säkerhetsaspekter för denna typ av hemelektronik pågår internationellt standardiseringsarbete inom IEC ACOS/WG1 (ref. C3.99).

### 3 BUD-problematiken

Generella aspekter beträffande *beständighet*, *underhåll* och *drift* (BUD) behandlas av Bankvall et al (ref. 1). Med utgångspunkt från Bankvalls et al allmänna resonemang, samt de egna erfarenheterna från detta projekt, kan konstateras att underlag i hög grad saknas för att kunna dra några slutsatser beträffande de reglertekniska systemens *användbarhet* ("serviceability", se terminologin). Framförallt saknas en systematiserad erfarenhetsåterföring.

Systemens användbarhet bestäms till stor del av deras *funktion*, *livslängd* och *kostnad*. För att kunna bedöma förutsättningarna för olika typer av system behöver man därför identifiera *kritiska funktionsegenskaper* och ställa upp *funktionskriterier* för dessa egenskaper. Funktionskriterierna måste på något sätt kunna verifieras, vilket medför behov av metoder för *egenskapsprovning* och *åldringsprovning* (*provning för livslängdsbedömning*). Egenskaper och kriterier finns i viss utsträckning behandlade i olika nationella och internationella standarder. Någon övergripande sammanställning över krav på egenskaper, som är viktiga för styr- och reglersystems långtidfunktion, tycks i dagsläget inte finnas.

#### 3.1 Kritiska funktionsegenskaper

Styr- och reglertekniska system har som huvudfunktion att i någon mening optimera driften av en byggnads installationer. Optimeringen kan ske med utgångspunkt från olika kriterier såsom säkerhet, komfort, energianvändning, ekonomi m.m. Styr- och reglersystemet blir därvid ett "kitt", som fogar samman de enskilda delsystemen till en fungerande enhet (se t.ex. figur 4.2 i kapitlet om projektering och upphandling). Vidare måste systemet ha "helikopterseende" för att på bästa sätt kunna optimera helhetsfunktionen. Med ledning av överordnade funktionskrav kan därvid ett antal kritiska funktionsegenskaper identifieras.

En *kritisk funktionsegenskap* (critical performance property, se terminologin) är en egenskap - hos produkt, komponent eller material - som måste bibehållas över en viss miniminivå för att funktionsförmågan inte skall förloras. För styr- och reglertekniska system kan kritiska funktionsegenskaper exempelvis klassificeras enligt följande indelning,

- Funktion med avseende på omedelbara konsekvenser för personlig säkerhet och hälsa (både kvalitativa och kvantitativa egenskaper)
- Funktion med avseende på långsiktiga konsekvenser för personlig säkerhet och hälsa, t.ex. inre och yttre miljöbelastning (både kvalitativa och kvantitativa egenskaper)
- Funktion med avseende på komfort (kvantifierbara egenskaper)
- Funktion med avseende på energianvändning (kvantifierbara egenskaper)
- Funktion med avseende på drift och underhåll (både kvalitativa och kvantitativa egenskaper)
- Funktion med avseende på beständighet (huvudsakligen kvalitativa egenskaper)



De olika kritiska funktionsegenskaperna behandlas närmare för olika delsystem i kapitel 5-7.

## 3.2 Funktionskriterier och krav

Med hänvisning till de i 3.1 identifierade kritiska funktionsegenskaperna måste *funktionskriterier* (se terminologin) formuleras. I anslutning till dessa funktionskriterier måste också *funktionskrav* ställas upp för att en bedömning skall kunna göras om ett kriterium är uppfyllt eller inte. I kapitel 5 - 7 ges korta kommentarer till de kritiska funktionsegenskaperna med avseende på lämpliga kravnivåer och metoder för egenkapsprovning och åldringsprovning.

Generellt är det svårt att översätta allmänt uttryckta krav på beständighet (en relativ term) till krav på en viss livslängd (en absolut term). I första hand bör kravet på livslängd relateras till effekten av en utebliven funktion. Bortsett från detta torde en rimlig nivå vara att eftersträva en teknisk livslängd av minst 10 år på billiga och lätt utbytbara delar, 20 år på dyra men lätt utbytbara delar och en teknisk livslängd av minst 50 år på övriga fasta installationer. Gränserna för vad som är billigt respektive lätt utbytbar är naturligtvis något svävande, men man bör ha som ambition att kvantifiera dessa gränser i samband med projektering och upphandling (se kapitel 4).

Lindvall, Malmström och Svennberg behandlar flera intressanta aspekter med avseende på långsiktig funktion i byggforskningsrapporten "Ventilationssystemets funktion, utformning och drift" (ref. C2.31). Bland annat anses att systemen bör utformas med sikte på en beräknad brukstid av 30 år. Dimensionerande funktionsparametrar bör därvid innehållas under 95 % av normal drifttid. Medeltiden mellan fel (MTBF = Mean Time Between Failures) bör därvid vara längre än 6 månader och tillgängligheten bör överstiga 95 %. Systemets "sammanvägda funktionsnivå" (motsvaras ungefär av begreppet "användbarhet" i denna rapport) bör innehållas till 90%.

IEC 812 (ref. C1.32) redogör för olika metoder att klassa kritiska funktionsegenskaper. Följande huvudgrupperingar nämns:

- Feleffekt: Dödsfall eller personskada,
- Feleffekt: Skada på omgivande utrustning och / eller på utrustningen själv,
- Feleffekt: Ekonomisk förlust på grund av utebliven funktion,
- Feleffekt: En uppgift kan inte slutföras på grund av att utrustningen inte klarar sin huvudsakliga funktion.

För att utvärdera graden av kritiskhet för en funktionsegenskap finns en utvärderingsmetod i form av ett koordinatsystem beskrivet i IEC 812. Koordinatsystemet relaterar graden av kritiskhet till sannolikheten för felfunktion. Hög grad av kritiskhet kopplat till en hög sannolikhet för felfunktion gör naturligtvis att behovet av korrigering och/eller modifierande åtgärder är stort.

Som exempel på den beskrivna metodiken kan vi betrakta regleringen av rumstemperatur (observera att detta endast är ett exempel på sättet att resonera och gör inte anspråk på att ge generella riktlinjer för lämpliga funktionsegenskaper, funktionskriterier eller funktionskrav) :

***Kritiska funktionsegenskaper, funktionskriterier och krav***

*Funktion med avseende på omedelbara konsekvenser för personlig säkerhet och hälsa (både kvantitativa och kvalitativa egenskaper)*

- |                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| Kritisk funktionsegenskap 1: | Elsäkerhet                  |
| • Funktionskriterium 1.1:    | Starkströmsföreskrifterna   |
| Funktionskrav 1.1.1:         | S-märkning                  |
| <br>                         |                             |
| Kritisk funktionsegenskap 2: | Elektromagnetisk fältstyrka |
| • Funktionskriterium 2.1:    | Strålad fältstyrka          |
| Funktionskrav 2.1.1:         | < ... V/m                   |

.....

*Funktion med avseende på långsiktiga konsekvenser för personlig säkerhet och hälsa (både kvantitativa och kvalitativa egenskaper)*

- |                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| Kritisk funktionsegenskap 3: | Luftkvalitet                   |
| • Funktionskriterium 3.1:    | Kolmonoxid                     |
| Funktionskrav 3.1.1:         | AQ1 enligt R1 (ref. C1.42)     |
| • Funktionskriterium 3.2:    | Koldioxid                      |
| Funktionskrav 3.2.1:         | AQ1 enligt R1 (ref. C1.42)     |
| • Funktionskriterium 3.3:    | Ozon                           |
| Funktionskrav 3.3.1:         | AQ1 enligt R1 (ref. C1.42)     |
| • Funktionskriterium 3.4:    | Kvävedioxider                  |
| Funktionskrav 3.4.1:         | AQ1 enligt R1 (ref. C1.42)     |
| • Funktionskriterium 3.5:    | Flyktiga organiska ämnen (VOC) |
| Funktionskrav 3.5.1:         | AQ1 enligt R1 (ref. C1.42)     |
| • Funktionskriterium 3.6:    | Partiklar från tobaksrök       |
| Funktionskrav 3.6.1:         | AQ1 enligt R1 (ref. C1.42)     |
| • Funktionskriterium 3.7:    | Damm                           |
| Funktionskrav 3.7.1:         | AQ1 enligt R1 (ref. C1.42)     |
| • Funktionskriterium 3.8:    | Mögel                          |
| Funktionskrav 3.8.1:         | AQ1 enligt R1 (ref. C1.42)     |
| • Funktionskriterium 3.9:    | Bakterier                      |
| Funktionskrav 3.9.1:         | AQ1 enligt R1 (ref. C1.42)     |
- .....

*Funktion med avseende på komfort och energi (kvantifierbara egenskaper)*

- Kritisk funktionsegenskap 4: Termisk komfort (R1, ref. C1.42; ISO 7730, ref. C1.2)
- Funktionskriterium 4.1: Lufttemperatur (verifiering, ISO 7726, ref. C1.72; C1.24, C1.36, C1.37, C1.40, C1.42, C2.74)
    - Funktionskrav 4.1.1:  $t = t_{bör} \pm 2^{\circ}\text{C}$
    - Funktionskrav 4.1.2: Vertikal temperaturgradient  $< 2^{\circ}\text{C/m}$
    - Funktionskrav 4.1.3: Temperaturändringshastighet  $> 1^{\circ}\text{C/h}$
  - Funktionskriterium 4.2: Strålningstemperatur
    - Funktionskrav 4.2.1: Strålningsasymmetri  $< 4^{\circ}\text{C}$  (mot varmt tak)
    - Funktionskrav 4.2.2: Strålningsasymmetri  $< 8^{\circ}\text{C}$  (mot kall vägg eller fönster)
    - Funktionskrav 4.2.3: Globtemperatur  $> 20^{\circ}\text{C}$
  - Funktionskriterium 4.3: Operativ temperatur
    - Funktionskrav 4.3.1: Varaktigt  $20\text{-}24^{\circ}\text{C}$
    - Funktionskrav 4.3.2: Kortvarigt (sommartid)  $20\text{-}26^{\circ}\text{C}$
  - Funktionskriterium 4.4: Lufthastighet
    - Funktionskrav 4.4.1: Medelhastighet  $< 0,15\text{ m/s}$
    - Funktionskrav 4.4.2: Turbulensintensitet  $< 40\%$

*Funktion med avseende på drift och underhåll (huvudsakligen kvalitativa egenskaper)*

- Kritisk funktionsegenskap 5: Utförande
- Funktionskriterium 2.1: Manövreringsätt
    - Funktionskrav 5.2.1: Individuell påverkan möjlig,  $18 < t_{bör} < 25^{\circ}\text{C}$
    - Funktionskrav 5.2.2: Fjärrstyrning möjlig

*Funktion med avseende på beständighet (huvudsakligen kvalitativa egenskaper)*

- Kritisk funktionsegenskap 6: Miljötålighet, IEC
- Funktionskriterium 6.1: Temperaturtålighet
    - Funktionskrav 6.1.1: IEC 68-2-1 Ad,  $+5^{\circ}\text{C}$ , 16 h
    - Funktionskrav 6.1.2: IEC 68-2-2 Bd,  $+55^{\circ}\text{C}$ , 72 h
    - Funktionskrav 6.1.3: IEC 68-2-3 Ad,  $+40^{\circ}\text{C}$ , 93 % RH, 21 dygn
  - Funktionskriterium 6.2: Mekaniska påkänningar, IEC
    - Funktionskrav 6.2.1: IEC 68-2-36 Fdb, RMS acc.1,9g, ASD  $0,05\text{ g}^2/\text{Hz}$ , 90 min/axelriktning
  - Funktionskriterium 6.3: Elmiljötålighet, IEC
    - Funktionskrav 6.3.1: IEC 801-2, Nivå 3: 3,8 kV
    - Funktionskrav 6.3.2: IEC 801-3, Nivå 3: 10 V/m
    - Funktionskrav 6.3.3: IEC 801-4, 4 kV
    - Funktionskrav 6.3.4: IEC 801-5, Nivå 3: 2 kV

### 3.3 Problemställningar inom området styr- och reglerteknik

I och med dagens stora utbud av billiga regulatorer, processorer och minidatorer finns goda möjligheter att optimera samkörning av olika anläggningsdelar i både stora och små uppvärmningssystem. Optimal funktion kräver emellertid grundläggande arbetsinsatser både vid projektering, upphandling, driftsättning samt under drift- och underhållsfasen. Projektering och upphandling diskuteras i kapitel 4, driftsättning i kapitel 7 och drift- och underhåll i kapitel 8.

När en anläggning väl är driftsatt är det viktigt att väsentliga systemfunktioner kan upprätthållas, så att dessa funktioner under lång tid motsvarar vad man tänkt sig vid projekteringen. Exempel på frågeställningar i samband med utvärdering av fördelarna med en viss typ av styr- och reglerutrustning kan vara:

- Innebär vald reglerutrustning på något sätt en *vinst för användaren*? Vinsten kan vara t.ex. ökad energibesparing, bättre komfort (i form av t.ex. förbättrat inomhusklimat eller ökad tillgång på tappvarmvatten), minskad arbetsinsats vid övervakning av en process, minskat slitage på och större tillgänglighet hos systemkomponenter.
- Bygger systemutformning och reglerstrategi på *analys av den funktion som eftersträvas* i en viss anläggning? Detta fordrar kunskap om anläggningens olika delfunktioner och önskemål om hur de skall samverka. Härav kan kraven utvecklas för anläggningens styr- och reglertekniska utrustning och vara en grund vid projektering och upphandling.
- *Är de VVS-tekniska systemen rätt dimensionerade* med avseende på t.ex. tryck och flöde? Detta påverkar möjligheterna att genomföra en tänkt reglerstrategi.
- Har leverantören någon form av *systematisk erfarenhetsåterföring* från tidigare byggda anläggningar och är han på något sätt delaktig vid driftsättningen av respektive anläggning?
- Upprättas det i samband med driftsättning ett *besiktningssprotokoll*, som exempelvis innefattar kontroll av att reglerkomponenter är *rätt placerade* enligt de ursprungliga intentionerna, att varje delsystem har *korrekt funktion* (funktionsprov!) samt att eventuella *revideringar har dokumenterats*?

I stora system är ofta styr- och reglerkonceptet skräddarsytt och programmeras i någon typ av dator då VVS-systemet är klart. En förutsättning för en god långtidsfunktion hos denna typ av styr- och regelteknisk utrustning är ett väl fungerande systemunderhåll samt:

- Att systemet är överskådligt och fattbart.
- Att driftpersonal är motiverad och har tillräcklig utbildning (kundens intresse!).
- Att driftpersonal har tillgänglig systemdokumentation (manualer, systembeskrivning, komponentspecifikation etc.).
- Att systemet är tillgängligt för service av fackman och i någon mån från användaren (beroende på graden av komplexitet).
- Att leverantören finns lätt tillgänglig för servicearbeten och har tillgång till reservdelar eller att systemkomponenter är utbytbara mot andra fabrikat.
- Att systemet på något vis i sig självt innehåller diagnos- och mätmöjligheter av t.ex. reglerstorheter och/eller drifttillstånd hos komponenter, men också att utrustningen under service är tillgänglig för kontroll av t.ex. in- och utsignaler.

I regulatorer för små och medelstora uppvärmningssystem är styr- och reglerkonceptet vanligtvis bestämt en gång för alla. Ofta går det emellertid att anpassa nivån på t.ex. styr- och reglerparametrar. Små anläggningar sköts ofta av personer som inte har någon driftutbildning. I förutsättningarna för god långtidsfunktion ligger då, utöver tillämpbara punkter i föregående avsnitt, t.ex.:

- Att tillverkaren har utförliga monterings- och driftinstruktioner.
- Att tillverkaren specificerar kopplingsschema och reglerstrategier för de system som regulator är avsedd för.
- Att tillverkaren måste godkänna nya systemtyper, som avviker från regulatorkonceptet.
- Att tekniknivån är rimlig och att hantering och ändring av inställningar är enkla.
- Att användaren har ett verkligt behov av systemet (vilket inte alltid är fallet).

Tillverkare av reglerutrustning pekar ofta på problem som att de system, där regulatorn skall appliceras, antingen inte är rätt dimensionerade eller att tänkt reglerstrategi avviker från regulatorkonceptets förutsättningar. Installatörer pekar från sitt håll på problem som att levererad regelteknisk utrustning inte uppfyller kravspecifikationen. Det händer t.ex. att olika typer av givares egenskaper avviker från vad tillverkaren lovar. Erfarenheter från besiktningar och fältmätningar utförda vid SP visar också att det finns en rad mindre lyckade systemlösningar för samkörning av systemdelar, t.ex. värmepump och oljepanna. Det har också visat sig att reglerutrustning för olika anläggningsdelar kan samverka så dåligt att exempelvis en värmepumps tillgänglighet blir kraftigt nedsatt.

Ofta är problemen inte större än att de lätt kan avhjälpas. Förutsättningen för detta är emellertid att användaren är uppmärksam på hur systemet fungerar. I detta sammanhang kan exempelvis en standardisering av systemlösningar få en positiv verkan:

- Kunden slipper s.k. vilda lösningar, som ofta tillkommer på grund av tidsbrist vid projektering och som man, om man har otur, får problem med längre fram. Standardisering innebär förenklad projektering i tillämpliga fall.
- Förutsättningarna ökar för att kunden skall få enkla och överskådliga system utan onödiga komponenter.
- Det blir sannolikt lättare att få tag på reservdelar och experthjälp från någon som är bekant med systemfunktionen.
- Standardiserade system ger större möjligheter till erfarenhetsutbyte beträffande systemens långtidsfunktion.

## 4 Projektering och upphandling

Grunden för en anläggnings långsiktiga funktion läggs i samband med projektering och upphandling. Detta visas av erfarenheter från både leverantörer, beställare och brukare. I byggnadsskedet, eller vid den dagliga driften, kan man naturligtvis vidta åtgärder för att resultatet skall bli det bästa möjliga med hänsyn till de givna förutsättningarna. Om anläggningen varit felprojekterad från början blir emellertid dessa åtgärder endast kosmetiska grepp för att dölja de grundläggande felen. Det finns i detta sammanhang en punkt, som mer än något annat har en avgörande betydelse för resultatet av en upphandling:

### - *Kundens intresse.*

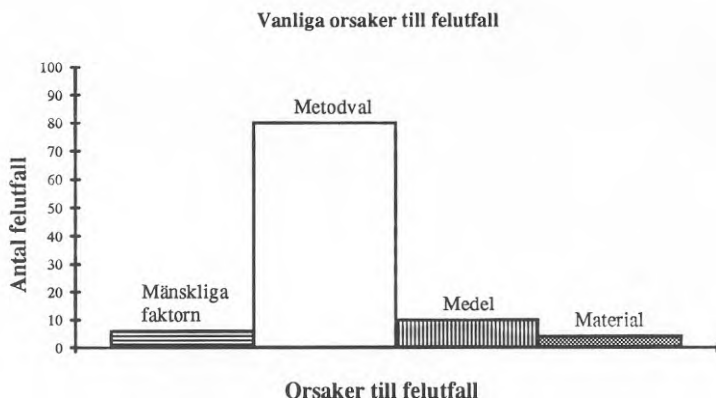
Kundens intresse lägger grunden till vilka resurser i form av tid, pengar och personal, som investeras i upphandlingsskedet. En *intresserad kund* har betydligt bättre förutsättningar att omge sig med *goda rådgivare* än en kund som är ointresserad! Med hänsyn till intresset för den långsiktiga funktionen är naturligtvis förutsättningarna bättre om kunden och brukaren av anläggningen är samma person/organisation.

Grundläggande vid all upphandling är att man måste ha en klar bild av syftet med projektet. Man måste kunna besvara frågor av typen *varför?*, *hur mycket?*, *hur ofta?*, *vad får det kosta?*. Inte minst den sista frågan är väsentlig. Man måste vara realistisk i sina kravspecifikationer och inte förvänta sig att få en Rolls-Royce till priset av en VW. I den mån man har svårt att själv analysera sina behov är det sannolikt avsevärt billigare att anlita utomstående expertis på ett tidigt stadium än att själv lära sig genom misstag, som andra redan begått. Av skadan blir man vis men inte rik!

Exempel på viktiga delmoment vid upphandling av en anläggning är bl.a. :

- Behovsanalys
- Funktionskrav
- Ekonomisk värdering
- Projektstyrning
- Dokumentation

För att ytterligare illustrera vikten av planeringsfasen pekar figur 4.1 på några vanliga orsaker till felutfall i tekniska system. Utan att lägga för mycket vikt vid den exakta fördelningen mellan olika orsaker kan man nog konstatera att valet av metod, för att lösa en given uppgift, har mycket stor betydelse för slutresultatet och metodvalet görs under planeringsfasen.



Figur 4.1. Vanliga orsaker till felutfall för tekniska system, "fyra M" (van Wunnik, 4th IEA Heat pump conference, 1993).

## 4.1 Behovsanalys

I ventilations- och uppvärmningsanläggningar är styr- och reglerutrustningens främsta uppgift att optimera samverkan mellan anläggningens olika delar. Genom en grundläggande behovsanalys kan tillräckligt underlag erhållas för att en fullgod projektering skall kunna utföras. Därmed ges även de grundläggande förutsättningarna för att anläggningen skall få avsedd funktion och maximal tillgänglighet under lång tid.

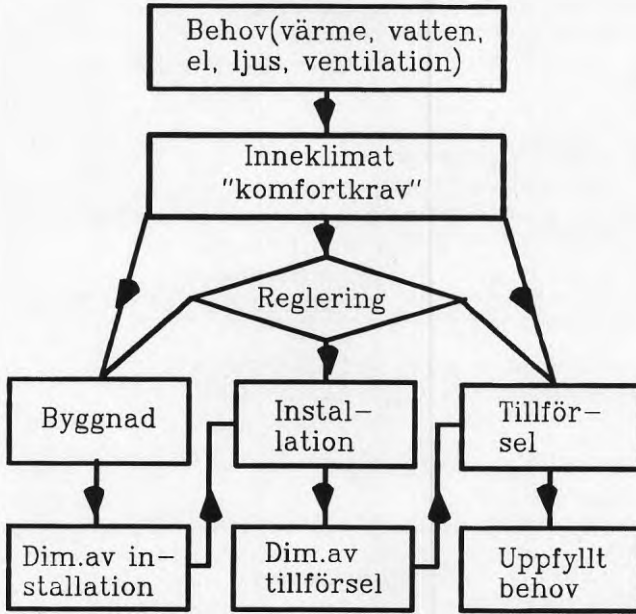
Växelverkan mellan behovskrav och utformningen av byggnad, installationer och försörjningssystem illustreras i figur 4.2. Med ledning av de krav, som den planerade verksamheten i byggnaden ställer på t.ex. utrymme, värme, vatten, ljus, luftkvalitet m.m. ("komfortkrav"), kan krav ställas på byggnadens utformning. "Komfortkravet" ger i sin tur underlag för dimensionering av installationerna i den givna byggnaden.

Dimensioneringen av installationerna ger underlag för dimensioneringen av byggnadens försörjningssystem i form av el, värme, kyla m.m. För att kopplingen mellan verksamhet-byggnad-installationer-försörjningssystem skall fungera friktionsfritt behövs normalt också någon form av styr- och reglersystem, som ett kitt för att foga samman de olika delarna. I slutändan resulterar detta förhoppningsvis i ett uppfyllt behov och en väl fungerande byggnad.

I samband med behovsanalysen skall kunden, tillsammans med eventuella utomstående experter, systematiskt identifiera de *kritiska funktionsegenskaperna*. För att bli en verklig hjälp i arbetet med att få en optimal lösning till ett specifikt projekt, måste behovsanalys, funktionskrav och ekonomisk värdering utföras innan man över huvudtaget börjar titta på systemlösningar. Därmed kan man undvika att göra "impulsköp", som föranleds av erbjudanden om "fiffiga finesser", utan att dessa fyller något reellt behov. Först efter denna grundläggande behovsanalys kan den iterativa process påbörjas, som omfattar granskning av systemlösningar, eventuell omvärdering av kravspecifikationerna, förnyad granskning av lösningar etc.



En mycket viktig aspekt, som framhållits tidigare, är att hänsyn tas till möjliga framtida förändringar redan vid behovsanalys och efterföljande projektering. Lindvall, Malmström och Svennberg (ref. C2.31) uttrycker detta i termer som "föränderbarhetsfunktion" och "förnybarhetsfunktion".



Figur 4.2. Illustration av växelverkan mellan behovs krav och dimensionering av byggnad och installationer.

För att ytterligare illustrera problemställningen kring kritiska funktionsegenskaper ges i tabell 4.1 några enkla exempel på identifiering av kritiska funktionsegenskaper i enlighet med den grundläggande diskussionen i kapitel 3. Med utgångspunkt från de kritiska funktionsegenskaperna ges exempel på funktionskrav i avsnitt 4.2 och en ekonomisk värdering av dessa funktionskrav i avsnitt 4.3.

Innan de förväntade behoven kvantifieras är det lämpligt att göra en lista över funktioner som bedöms vara viktiga. Notera särskilt detaljer som upplevts som problematiska i tidigare skeden. Redan vid behovsanalysen kan det vara värt att ta stöd av olika typer av standarder och riktlinjer. Många gånger kan dessa tjäna som påminnelser så att viktiga aspekter inte glöms bort. Exempel på dokument som kan vara värda att studera är "Klassindelade inneklimatsystem" (ref. C1.42), "Termiskt inomhusklimat" (ref. C1.40), "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality" (ref. C1.45) och "Hus och hälsa - Inneklimat och energihushållning" (ref. C1.37).

Tabell 4.1. Ett exempel på en listning av kritiska funktionsegenskaper.

Prioriteringsområde	Kritisk funktionsegenskap
Funktion med avseende på omedelbara konsekvenser för personlig säkerhet och hälsa (både kvalitativa och kvantitativa egenskaper).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brandvarning</li> <li>• Gasvarning</li> <li>• Hissdrift</li> <li>• Max temperatur på tappvatten</li> <li>• Elektrisk säkerhet</li> </ul>
Funktion med avseende på långsiktiga konsekvenser för personlig säkerhet och hälsa, t.ex. inre och yttre miljöbelastning (både kvalitativa och kvantitativa egenskaper).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buller</li> <li>• Luftväxling</li> <li>• Spridning av mikroorganismer, damm, legionella, m.m.</li> <li>• Max temperaturer</li> <li>• Min temperatur</li> </ul>
Funktion med avseende på komfort (kvantifierbara egenskaper).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tillufttemperatur</li> <li>• Rumstemperatur</li> <li>• Yttemperaturer</li> <li>• Luftens innehåll av besvärande ämnen</li> <li>• Luftfuktighet</li> <li>• Tappvattentemperatur</li> </ul>
Funktion med avseende på energianvändning (kvantifierbara egenskaper).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Värmefaktor</li> <li>• Temperaturverkningsgrad</li> <li>• Avfrostning</li> <li>• Fläkt- och pumpverkningsgrader</li> <li>• Max temperatur</li> </ul>
Funktion med avseende på drift och underhåll (både kvalitativa och kvantitativa egenskaper). Ange t.ex. behov, möjlighet, frekvens och kostnad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mätnoggrannhet (kalibrering)</li> <li>• Underhåll (typ av åtgärd och frekvens)</li> <li>• Värmeöverföring (rengöring av värmeväxlare)</li> <li>• Luftrening (byte av filter)</li> </ul>
Funktion med avseende på beständighet (både kvalitativa och kvantitativa egenskaper).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Miljötålighet (temperatur, fukt, över- och underspänning, strålade och ledningsbundna störningar, elektrisk chock, mekanisk chock, vibrationer, kemikalier m.m.)</li> <li>• Driftområde</li> <li>• Driftfrekvens</li> <li>• Frysrisk</li> </ul>
Övrigt (huvudsakligen kvalitativa egenskaper).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inbrottslarm</li> <li>• Kodlås</li> </ul>

Utöver gällande normkrav (NR, ASS) kan egna, speciella krav behöva ställas på funktioner som berör säkerhet, fukt, inneklimat (kolväten, formaldehyd m.m.), frysskydd, inbrott, avbrottsfri elkraft (UPS), komfort, energiekonomi m.m. Beträffande säkerhetsfunktioner krävs att varje funktion analyseras i detalj. Det är viktigt att klargöra vilka funktioner som kan accepteras i form av mjukvara respektive vilka som kräver separata skydd (t.ex. hissar, dörrar, frysskydd, motorskydd, tryckvakter; se även ref. C2.66).

En vanlig anledning till upphandling av styr-och reglersystem är en önskan att bättre kunna kontrollera en byggnads energianvändning. Innan man bestämmer sig för att investera i reglerutrustning måste naturligtvis övriga tänkbara åtgärder för att minska energianvändningen beaktas (s.k. ECOs = Energy Conservation Opportunities). Metoder för att systematiskt utvärdera alternativa åtgärder beskrivs t.ex. i IEA's handbok "Source book for Energy Auditors" (ref. C2.15). Datoriserade analysinstrument finns behandlade inom IEA's annex 17 (ref. C3.88). I detta sammanhang bör man särskilt beakta det förväntade behovet av förebyggande underhåll och dess betydelse för driftsekonomin.

Olika exempel på tillvägagångssätt presenteras även av Cho (ref. C2.65). I samband med energistyrningsaktiviteter diskuterar Cho behovet av att uppgradera instrumentering för att förbättra verkningsgraden i energiomvandling, optimera lastfördelning (DSM), optimera försörjning/distribution, optimera fördelningen av bränslen, styra eleffekt och egen verksamhet och att förbättra energieffektiviteten för driften av enhetsaggregat.

Cho framhåller att en lyckad energistyrning med datorsystem fordrar noggrann planering och definition av varje område i systemet med avseende på specifika målsättningar. Varje energistyrningsprojekt behöver därvid väldefinierade målsättningar och metodik, som har en logisk indelning i avgränsade steg, för att uppfylla målsättningarna. Följande riktlinjer pekar på några viktiga aspekter:

- Identifiera och definiera de områden där energistyrningsmöjligheter föreligger.
- Bestäm systemfunktionerna samt hård- och mjukvarukraven för varje delområde.
- Gör en kostnads-nytta analys för det valda tillämpningsområdet. Denna fas är kritisk. En realistisk bedömning av förväntad besparing är nödvändig för att uppfylla investerings- och förräntningskrav. Bedömningar kan baseras på analyser av driftsdata för de olika installationerna, eller, i frånvaro av registrerade värden (tänk på erfarenhetsåterföring!) på olika nyckeltal eller ingenjörsmässiga beräkningar (se IEA, ref. C2.15).
- Prioritera genomförandeplanen på grundval av de ekonomiska lönsamhetsbedömningarna för varje individuellt område.
- Gör en utvärderingsplan för att följa och bedöma systemets funktion med avseende på verklig besparing.
- Välj system med tanke på framtida expansionsmöjligheter ("föränderbarhet").

## 4.2 Funktionskrav

Utifrån de identifierade kritiska funktionsegenskaperna (3.1) kan man ställa upp *funktionskriterier* och *krav*. Listningen bör göras med en medveten prioriteringsordning redan från början. Därvid faller det sig naturligt att börja med kriterier, som är inriktade på människors säkerhet och välbefinnande, och sedan arbeta sig neråt mot rent ekonomiska kriterier. I tabell 4.2 ges ett par exempel på identifiering av kritiska funktionsegenskaper enligt förslaget i kapitel 3.

Vid upprättande av en kravspecifikation är det naturligtvis väsentligt att vara väl förtrogen med legala krav, som återfinns i normer och förordningar som PBL, NR, AFS m.fl. Utöver dessa finns en rik flora av internationella standarder, europeiska standarder, nordiska standarder, svenska standarder och branschstandarder. Dessa, tillsammans med olika handböcker, kan ge ett bra underlag för lämpligt utformade funktionskrav (se bibliografin i bilaga C).

Tabell 4.2. Ett exempel på en utvärdering av kritiska funktionsegenskaper.

Nr	Behov (kritisk funktionsegenskap)	Krav (funktionskriterium)	Konsekvens (vid avvikelser)
1			
1:1	Tilluftstemperatur.	Max temperatur 18 °C.	Övertemperatur ökar energiförbrukningen med 15 MWh/°C/år (p.g.a. att tillsatsvärme kopplas in).
1:2		Min temperatur 17 °C. Absolut min 15 °C.	Undertemperatur ger upphov till klagomål från personalen. Risk för ökad frånvaro, 7 dagar/°C/år.
1:3		Temperaturändringens hastighet < 1°C/h.	Risk för klagomål.
2			
2:1	Tappvattentemperatur (värmning sker genom direkt värmväxling för att undvika problem med legionella).	Max temperatur 50 °C.	Övertemperatur ökar energiförbrukningen med 0,1 MWh/°C/år. Risk för ökat slitage på systemets värmepump, bryts bort vid 55 °C. Temperatur > 65 °C ej tillåten (NR 5:11, skällningsrisk).
2:2		Min temperatur 45 °C.	Risk för klagomål vid handdisk (NR 5:11).
.....	.....	.....	.....

För komplexa styrsystem är det väsentligt att en plan för systematisk funktionskontroll utarbetas redan i projekteringsstadiet. Det måste finnas möjlighet att *verifiera funktionskraven* för samtliga kritiska funktionsegenskaper. Möjligheter att införa störningar i systemet för att testa styrfunktionerna bör beaktas. En förutsättning för en rationell och effektiv injustering är att adekvat dokumentation finns tillgänglig i god tid före anläggningens överlämnande. Det kan exempelvis vara lämpligt att vid upphandling beakta det branschspecifika tillägget till AB 72 "Villkor för styr-, regler- och övervakningsentreprenader SRE 89".

Det kan även vara bra att känna till att det finns standarder som beskriver metodik för att specificera livslängdsfaktorer för exempelvis elektronikutrustning. SS-IEC 409 (ref. C1.28) behandlar i första hand specifikation och utvärderingsmetoder vid tillverkning av komponenter. Serien SS-IEC 706 (ref. C1.31) beskriver riktlinjer för utformning av underhåll av utrustning samt metoder för att beräkna underhållsbehovet redan under konstruktionsfasen. Slutligen behandlar SS-IEC 812 och 863 metoder för feleffektanalys respektive presentation av predikterade livslängder (ref. C1.32, C1.33).

Cho framhåller (ref. C2.65) att följande delområden är viktiga att belysa i samband med att systemkrav utarbetas för *datoriserade anläggningar*:

- Omfattning och metoder för datainsamling, beräkning och presentation,
- Styr- och reglerfilosofi och metoder för att förverkliga denna filosofi (t.ex. övervakning kontra direkt datorstyrning, DDC, inklusive krav på "backup"),
- Kostnad-nytta för eventuellt DSM-system,
- Identifiering av långsiktiga förändringar i anläggningens funktion ("trender"),
- Optimeringsmetoder,
- Larm och uppföljningsprotokoll,
- Informationssystem.

De viktigaste delmomenten för att definiera ett projekt utgörs av systemspecifikationer, systemutformning, systemintegration, installation, kontroll, driftsättning, underhåll, typ av mjukvara (levererad av tillverkaren, kundspecifik), reservdelar, dokumentation och kostnader. I övrigt framhåller Cho att när datorsystemets kravspecifikation är färdigutvecklad måste ett antal problemställningar behandlas och klart definieras beträffande kompetensen hos den tillgängliga personalen.

### 4.3 Ekonomisk värdering

Det är väsentligt att kunna värdera nytta och kostnad för olika typer av system. I många fall kan det tyckas svårt att hitta objektiva kriterier för värdering av aspekter som inomhusklimat och liknande. Ofta finns emellertid någon form av modell att utgå ifrån. Baserat på "komfortstandarden" ISO 7730 har exempelvis Hutter (ref. C3.53) utarbetat en regleralgoritm som tar hänsyn till och sätter pris på komforten uttryckt i PMV och PPD-index och därefter optimerar inohustemperaturen med hänsyn till rådande energipris.

Ett systematiskt angreppssätt för att ekonomisera driften i befintliga byggnader redovisas t.ex. i IEA-rapporten "Source Book for Energy Auditors" (ref. C2.15). Vidare studeras särskilda metoder för utvärdering av de ekonomiska förutsättningarna för BEMS-installationer inom IEA annex 17. En översiktlig presentation av denna verksamhet ges av Bach (ref. C3.88).

Tabell 4.3. Exempel på värdering av reglertekniska toleranser.

Nr	Ekonomisk konsekvens (kr/år)	Nuvärde (kr)*
1		
1:1	15 MWh/°C/år à 450 kr/MWh = 6,75 kkr/°C/år .	45 kkr/°C
1:2	7•8 h/°C/år à 350 kr/h = 19,6 kkr/°C/år.	131 kkr/°C
1:3	20 h/°C/år à 350 kr/h = 7,0 kkr/°C/år.	47 kkr/°C
2	Övertemperatur ökar energiförbrukningen med 0,1 MWh/°C/år. Temperatur > 65 °C ej tillåten (NR 5:11, skällningsrisk).  Risk för klagomål vid handdisk (NR 5:11)	
.....	.....	

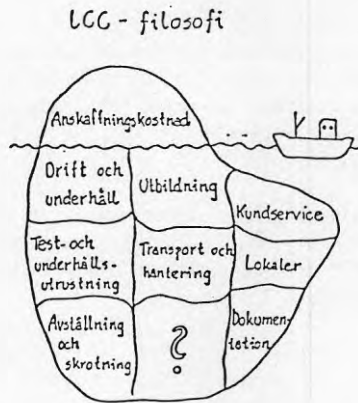
\*Nuvärdet beräknat på perioden 10 år och realräntan 8 %.

Med tanke på den höga investering, som ofta förknippas med installationen av större styr- och reglersystem eller kompletta BEMCS-anläggningar, är naturligtvis den långsiktiga funktionen av största vikt. Inte minst bör den ekonomiska värderingen omfatta förväntade kostnader för drift och underhåll. Detta gäller naturligtvis i lika hög grad de VVS-tekniska installationer, som ingår i den totala systemfunktionen. T.ex. kan ventilationsanläggningar med varvtalsreglerade fläktar med hög verkningsgrad ha mycket kort återbetalningstid. Samtidigt får emellertid kostnader för underhåll och reparationer inte bli för höga.

Instrument för denna typ av bedömningar finns presenterade i litteraturen. Hagberg och Henriksson (ref. C3.11) beskriver t.ex. metoder för beräkning av lönsamhet genom produktionsanpassat underhåll. 1988 uppskattades de totala kostnaderna för en-

bart underhåll till 40-50 miljarder kr/år i Sverige, varav cirka en tredjedel faller inom industrisektorn. Svennberg bedömer att kostnaderna för underhåll inom byggnadssektorn under 1993 kommer att belöpa sig till 200 miljarder kr per år och till detta kommer ytterligare 100 miljarder kr per år för driften. Medvetenheten om att underhållsinsatser är en förutsättning för den långsiktiga funktionen ligger ofta latent. Det är därför väsentligt att framhålla underhållets betydelse för det ekonomiska utfallet av en verksamhet. I många fall framkommer emellertid endast underhållets kostnader men inte dess "intäkter" på ett tydligt sätt i den ekonomiska redovisningen. Denna omständighet medför ofta svårigheter att motivera tillräckliga resurser för det planerade underhållet.

Hagberg och Henriksson framhåller att storleken på framtida underhållskostnader i stor utsträckning bestäms redan i konstruktions- och upphandlingsskedet. Det blir därmed oerhört väsentligt i varje investeringssituation att ha en god kunskap om vilka kostnadslag som kan bli aktuella och vilka verktyg som finns för att sätta pris på dessa. Vanliga modeller för bedömning av det långsiktiga utfallet beträffande kostnader och intäkter för en investering är exempelvis LCC-, LCP- och DuPont-modellerna (LCC = Life Cycle Cost, LCP = Life Cycle Profit). Dessa modeller framhåller det viktiga i att ta hänsyn till "isbergseffekten" vid investeringsbeslut (se figur 4.3). I likhet med hur man vid första anblicken uppfattar ett isberg är det endast en mindre del av de totala kostnaderna för ett projekt som syns vid investeringstillfället.



Figur 4.3. Illustration av filosofin bakom LCC-analys (Hagberg, Henriksson, ref. C3.11).

LCC-tekniken är ett utmärkt verktyg för att visa kostnader och deras fördelning över ett systems livstid. Inom VVS-tekniska tillämpningar utgör DU-kostnaderna ofta en mycket stor del av de totala kostnaderna och det kan därför vara motiverat att redan i upphandlingsskedet fokusera dessa i LCC-analysen. T.ex. utgör i ett typiskt fall en elmotors anskaffningspris endast 2% av LCC. För att göra en ekonomisk värdering av olika system räcker det emellertid inte med att enbart studera kostnader, även intäkterna måste behandlas i samma omfattning. För detta ändamål kan LCP-analys utnyttjas för att belysa hur underhållet påverkar sambandet mellan kostnader och intäkter.

## 4.4 Upphandling

När det gäller upphandlingsformer och kontraktsskrivning hänvisas till gällande branschpraxis. Det är naturligtvis viktigt att speciella funktionskrav och metoder för deras verifiering finns dokumenterade på ett tydligt sätt. Vidare måste leveransens omfattning och tidplan, eventuella bonus/vites klausuler, ansvarsgränser mellan styr- och regler och övriga system etc. vara klara. Någon ytterligare allmän diskussion av upphandlingsförfarandet kommer inte att göras i detta sammanhang. Däremot kommer några aspekter på upphandlingen av datoriserade system att diskuteras (Cho, ref. C2.65 och Jacobson et al, ref. C2.67). Baserat på den kravspecifikation som utarbetats för upphandlingen lämnar leverantören en offert som anger kostnaderna för hårdvara, mjukvara och tekniskt understöd.

### 4.4.1 Hårdvara

Hårdvaran till ett datorstyrt system, t.ex. ett EMS-system, bör enligt Cho innehålla en systemanpassad dator, operatörsterminaler, kommunikationsnät med övervakning, regulatorer, multiplexers, trendenhet och skrivare.

### 4.4.2 Mjukvara

Mjukvaran kan enligt Cho indelas i generella- och kundspecifika program. De generella programmen tillhandahåller en kärna av instruktioner för uppgifter som konfiguration, bildskärmspresentation, mätvärdesinsamling och databashantering. Kundspecifika program är skräddarsydda program för speciella funktioner beskrivna i beställarens kravspecifikation (se även 4.4.4).

I samband med upphandlingen utarbetar leverantören, tillsammans med beställaren, en detaljerad kravspecifikation för mjukvaran. Mjukvaruspecifikationen blir ett grundläggande dokument som kommer att definiera slutproduktens funktion. Mjukvaruspecifikationen bör omfatta följande delar:

#### 1. Inledning:

- Systembeskrivning,
- Specifikationens syfte och uppläggnig,
- Blockschemata för hårdvaran.

#### 2. In- och utsignaler:

- Analoga signaler,
- Digitala signaler,
- Händelsemarkeringar (larm).

#### 3. Minne:

- Allmän beskrivning arbetsminne,
- Allmän beskrivning av massminne.



**4. Terminalenheter:**

- Gränssnitt,
- Skrivare,
- Bildskärmar.

**5. Systemprogram:**

- Syfte,
- Generella program,
- Kundenspecifika program.

**6. Systembeskrivning:**

- Funktionsbeskrivning (diagram),
- Bildpresentation,
- Registreringar,
- Definierade frågor, uppmaningar och meddelanden.

**7. Systemets driftsättning och överlåtande:**

- Syfte,
- Övergripande tidsplan,
- Överlåtande av hårdvara,
- Överlåtande av systemet,
- Uppstartning av systemet,
- Utbildning av personal,
- Dokumentation av systemet,
- Understöd av mjukvara.

#### **4.4.3 Tekniskt understöd**

Tekniskt understöd innehåller bl.a. systemunderhåll, uppstartningshjälp och systemkonsultation (Cho). En offert bör innehålla prisuppgifter med avseende på kostnaderna för det förväntade behovet av tekniskt understöd.

Systemunderhållet kan exempelvis inkludera uppbyggnad och beskrivning av en kundanpassad databashantering, kundanpassad bildskärmspresentation och hjälp med projektstyrning. Systemkonsultation kan omfatta utveckling av styr- och reglerstrategier och rekommendationer beträffande kundens systemoptimering. Uppstartningshjälp bör omfatta mjukvara för styrning av t.ex. pannor och generatorer, infasningskontroll och laststyrning. Understöd beträffande hårdvara bör i inledningsskedet omfatta installationsövervakning, uppstartningshjälp, felsökning och utbildning av personal på det installerade systemet.

## 4.4.4 Utarbetande av kravspecifikation för programvara

Jacobson et al ger rekommendationer för utformningen av mjukvaruspecifikationer i en SP-rapport (ref. C2.67). I rapporten diskuteras t.ex. ansvar, arbetsätt och innehåll vid framtagning av specifikationer. Avsnitt 4.4.4.1-4.4.4.3 kommer huvudsakligen direkt från SP-rapporten.

### 4.4.4.1 Ansvar för specifikationen

För att beställaren skall vara säker på att få den önskade systemfunktionen är utarbetandet av den grundläggande mjukvaruspecifikationen av fundamental betydelse. Detta innebär också att det alltid existerar en betydelsefull rollfördelning mellan beställare och leverantör (SS-ISO 9000-3, ref. C1.58). Specifikationen måste också ge möjligheter till utvärdering och en ansvarig utvärderare skall utses. Specifikationen syftar till att fastställa vilka krav som gäller för styr- och reglersystemet och dess programvara. Dessa krav får inte ändras godtyckligt under arbetets gång eftersom kraven är kopplade till åtaganden gentemot beställaren. Däremot måste naturligtvis konstruktionsbeslut tas kontinuerligt under arbetets gång.

Om beställaren inte förmår att göra klart för sig själv och för leverantören vilka uppgifter programmet skall lösa minskar sannolikheten för ett gott resultat. Ansvaret för en lyckad specifikation vilar alltså tungt på beställaren.

### 4.4.4.2 Arbetsätt

Arbetet börjar med att det problem, som programmet skall lösa, beskrivs kortfattat i ord. En ansvarig upprättare av specifikationen utses och denne skaffar sig en heltäckande bild av de olika behov som systemet förväntas uppfylla. Det kan ibland vara svårt att dra gränsen mellan funktioner som styrs av programvaran och funktioner vilka realiseras av andra delar i styr- och reglersystemet, t.ex. regulatorfunktioner, larm, vakter m.m. Gränsen mellan hård- och mjukvara är ofta mindre viktig i specifikationsfasen. Det viktiga är att beställaren kan förklara funktionsbehovet på ett tydligt sätt.

Ett alternativ till att beställaren själv gör specifikationen är att även detta arbete görs av en konsult eller leverantör. Beställaren förklarar sina behov för den som skall göra specifikationen och kan sedan genom att läsa specifikationen kontrollera att rätt funktioner beskrivs. Ansvaret för en korrekt specifikation är dock alltid beställarens.

Specifikationsupprättaren måste sedan sammanlänka problemet och de angivna behoven till en beskrivning av programmets syfte, avgränsa dess funktion och ange dess slutmål. Slutligen behöver beställare och leverantör (programmeraren) gemensamt gå igenom specifikationen punkt för punkt. Oklarheter och ofullständiga beskrivningar skall korrigeras i samförstånd.

Först därefter kan programmeringsarbetet starta. Programmeraren skall börja med att presentera sina förslag till lösning på ett lättförståeligt sätt. Ett sätt är att skriva ett utkast till användarhandledning redan innan själva programmeringen börjar. Beställaren får då en konkret beskrivning av hur leverantören ser det tänkta resultatet. Ett annat sätt är att programmera ett enkelt "skal" till systemet där alla viktiga handgrepp kan

utföras. Användaren kan då enkelt "känna på datom" och studera menybilder även om inte någonting sker utanför själva datom. Ett tredje sätt är att skriva en systemspecifikation, vilken tar upp tekniska detaljer kring programvaran och beskriver dess struktur på ett sätt som inte görs i kravspecifikationen.

Både beställarens kravspecifikation och leverantörens presentation av programvaran skall godkännas av beställare och leverantör. Arbetet är ofta en iterativ process som tar tid i anspråk och kan kännas "jobbig". Det är dock mycket viktigt att redan från början kontrollera att rätt problem löses.

#### 4.4.4.3 Specifikationens innehåll

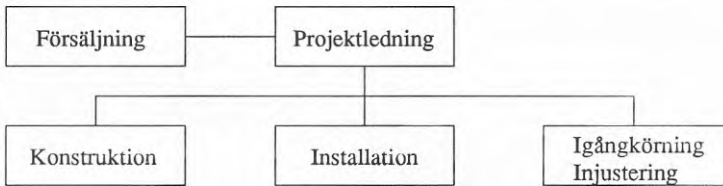
Specifikationen måste kunna besvara ett antal frågor om programmet och det datorsystem där det skall användas. Exempel på sådana frågor presenteras i följande checklista:

- Vem / vilka skall använda programmet ?
- Vilka behörighetsnivåer skall finnas ?
- Var / med vilken hårdvara skall programmet användas ?
  
- Vilka aspekter på komfort, personsäkerhet och funktionssäkerhet måste tillgodoses ?
- Tillsammans med vilka styr- och reglerstrategier skall programmet användas ?
- Vilken utvecklingsplattform gäller ?
  
- Vilka givare och regulatorer skall anslutas, vilka gränssnitt gäller ?
- Vilka prestandakrav ställs ?
- Hur skall gränssnittet människa - maskin se ut ?
  
- Vilka rimlighetskontroller skall gälla på indata ?
- Vilken rimlighetskontroll hos utdata är nödvändig ?
- Vilka format gäller för in- och utdatafiler ?
  
- Hur presenteras slutresultatet ?
- Hur hanteras oväntade men tänkbara fel ?
- Hur skall programmet underhållas ?
  
- Vilken programintegritet skall gälla ?
- Hur valideras programmet ?
- Vilka krav på kalibrering av integrerad utrustning finns det och hur skall kraven tillgodoses ?
  
- Vem äger rätten till källkoden ?
- Vem ansvarar för källkoden och dess framtida underhåll ?

## 4.5 Projektstyrning

Projektstyrning är en del, och en mycket viktig sådan, i det allmänna arbetet för att säkra kvalitén i en styr- och reglerteknisk anläggning. I och med den snabbt växande tillämpningen av formella kvalitetssäkringssystem av typen ISO 9000 / EN 29 000 har många företag utvecklat formaliserade projektstyrningsrutiner. Ett exempel på utformning från en systemleverantör (ref. C3.20) visas i figur 4.4.

### Projektorganisation



Figur 4.4. Exempel på projektorganisation.

Projektstyrningen omfattar i exemplet följande delmoment:

- Kontraktsgenomgång
- Projektorganisation
- Projektering
- Tidssamordning
- Konstruktion
- Produktion
- Elinstallation och montage
- Igångkörning och injustering
- Samordnat funktionsprov
- Avslutning av anläggningsdel
- Kvalitetssäkring vid utveckling och produktion av komponenter
- Service
- Utbildning

Vad man möjligtvis saknar i ovanstående projektstyrningsplan är en poängtering av den allra viktigaste biten; *analysen av kundens behov*. Det är möjligt att få en otillfredsställd kund/brukare även med en perfekt utförd anläggning om denna anläggning inte är vad kunden egentligen behöver. I detta avseende vilar dock ansvaret i lika hög grad på beställaren. Det är också viktigt att ansvarsfördelningen i gränssnitten mellan styr- och reglerteknik och övriga system finns väl beskriven. Byggnaden och dess VVS-tekniska installationer måste vara klara, funktionsprovade och godkända innan det är möjligt att granska styr- och reglersystemens funktion.

Oavsett hur väl leverantörens projektstyrning fungerar måste vi återkomma till vikten av beställarens intresse för projektet. En motsvarighet till leverantörens systematiserade projektstyrning behövs därmed även på beställarsidan. Om beställare och brukare inte är samma organisation måste även brukaren engageras i projektet. Endast genom en dialog mellan brukare-beställare-leverantör kan behovsanalys, kravspecifikation, beställning och projektgenomförande klaras på ett långsiktigt bra sätt.

## 4.6 Dokumentation

Enligt Nybyggnadsreglerna § 9:4 finns krav på dokumentation, vilka omfattar även styr- och övervakningsutrustning:

"För mekaniska och elektriska anordningar i byggnader skall det finnas instruktioner om kontroll, handhavande och underhåll av anordningarnas funktioner. Vid byggnadens slutförande skall anordningarna vara injusterade så att de uppfyller ställda funktionskrav."

Med tanke på den alltmer ökande komplexiteten i styr- och övervakningssystemen, och med hänsyn till hur snabbt datorsystem "pensioneras", är dokumentationen oerhört väsentlig. Dokumentationen måste föreligga på flera olika nivåer beroende på vilken personalkategori den riktar sig till. Det är också viktigt att dokumentationen är anläggningsspecifik, d.v.s. att den beskriver en viss bestämd anläggning inklusive eventuella ändringar och avvikelser som tillkommit under projekterings gång. All dokumentation måste naturligtvis uppdateras kontinuerligt allteftersom ändringar införs. Den kontinuerliga uppdateringen av dokumentation skall även innefatta dokumentation av rutiner för återkommande funktionskontroller samt resultat från dessa kontroller.

Vid utformning av dokumentation bör i största möjliga mån befintliga internationella eller nationella standarder utnyttjas. Råd och rekommendationer finns även att tillgå i exempelvis VVS AMA och motsvarande upphandlingsföreskrifter för bl.a. styr- och reglersystem (ref. C1.34-35). I ASHRAE's regi arbetar Mumma med framtagning av en praxis för dokumentation av DDC-system (ref. C1.57). Det finns även en särskild del i serien av internationella kvalitetstandarder, ISO 9000-3, som behandlar programvara (ref. C1.58).

Överlämnandet av fullständig dokumentation, tillsammans med nödvändig utbildning, till "rätt" person hos brukaren måste vara den naturliga avslutningen vid färdigställandet av varje anläggningsdel. För datoriserade anläggningar måste även manualer och programvarudokumentation tillhandahållas. Dokumentation av datoriserade utrustningar finns exempelvis beskrivna i en artikel av Hartman ("Documenting Dynamic Control", ref. C3.96) och i rapporter av Jacobson et al (ref. C2.66-67). Utdrag ur Jacobsons rapporter redovisas nedan.

### 4.6.1 Framtagning av dokumentation

Arbetet med att utforma dokumentationen skall göras parallellt med utvecklingsarbetet av programvaran. Dokumentationen blir på detta sätt ett stöd under hela arbetet. Mängden dokumentation bör hållas kort utan att bli ofullständig.

Till köpt programvara skall alltid en användarhandledning levereras. Dessutom skall det vara helt klart vilken version eller utgåva av programmet man köper. Om källkod ingår i köpet är det viktigt att man även får en dokumentation av källkoden. Enbart en uppsättning programlistor hjälper knappast den dag man står i begrepp att modifiera sitt program, vilket är en viktig aspekt för den långsiktiga funktionen.

Den dokumentation som upprättas skrivs troligtvis i något ordbehandlingsprogram på dator. Det kan då vara frestande att låta dokumentationen bestå av en diskett med lämpliga filer. Detta är olämpligt av flera skäl, exempelvis

- Det är mycket enklare att bläddra i en pärm än i ett ordbehandlingsdokument, speciellt om dokumentet innehåller många bilder (t.ex. flödesscheman).
- Det är inte bara "dataproffsen" utan även användare med blygsamma datakunskaper som skall kunna ta del av dokumentationen.
- Risk för oavsiktlig radering av filer eller delar av sådana finns alltid.

Ansvar för att dokumentationen sedan förvaras på avsedd plats och att den hålls uppdaterad åligger den programansvarige.

#### 4.6.2 Checklista för dokumentation

Hur dokumentationen skall utformas beror på programmets storlek och hur många som skall använda den. Nedanstående rubriker är exempel på lämpliga kapitelindelningar för en dokumentation. Även om det saknas sakinnehåll under någon rubrik är det viktigt för läsaren av dokumentationen att veta att exempelvis programvaran inte beskrivs i något annat dokument.

- 1 Ansvarig för programmet
- 2 Specifikation
- 3 Historik över ändringar
- 4 Kända begränsningar
- 5 Användarhandledning
- 6 Grafisk beskrivning eller pseudokod
- 7 Fullständig beskrivning
- 8 Valideringsmetod och resultat
- 9 Hänvisning till andra dokument där programvaran beskrivs
- 10 Använda formler och algoritmer
- 11 Källkod

## 5 Systemlösning

Antalet alternativa systemlösningar i ett givet projekt begränsas vanligtvis starkt genom resultatet av behovsanalysen samt projekterings- och upphandlingsarbetet. Det slutgiltiga valet av systemlösning kommer att påverka anläggningens funktion under lång tid. Om resultatet av detta val blir bra eller dåligt avgörs i hög grad av:

- *Kundens intresse*
- *Projektörens kompetens*

### 5.1 Systemtyper

Beträffande luftbehandlings- och ventilationssystem berör styr- och övervakningsuppgifterna i första hand följande funktioner:

- Styrning av luftflöden med hänsyn till luftkvalitet (personbelastning, verksamhet, emissioner från material)
- Styrning av luftflöden med hänsyn till komfort (värme, kyla, fukt)
- Styrning av luftflöden med hänsyn till byggnaden (tryck, temperatur, fuktighet)
- Styrning av luftflöden med hänsyn till brand
- Övervakning av styrparametrar enligt ovan
- Övervakning av komponentfunktion (regulatorer, ställdon, filter, spjäll, fläktar, värmeväxlare m m)
- Övervakning av systemfunktion (t.ex. energiförbrukning, datorkommunikation, flödes- eller tryckbalans, förregling mot samtidig värmning och kylning)
- Övervakning mot brand

Styrning kan utföras med lokala regulatorer, vilka utför en isolerad reglerfunktion oavsett vad som händer i byggnaden för övrigt. I större system blir det allt vanligare att direkt utnyttja datorer för styrning och övervakning (s.k. DDC, d.v.s. Direct Digital Control, se även kapitel 2.4). I vissa system arbetar huvuddatorn indirekt via "intelligenta" dataundercentraler (DUC). Efter direktiv från huvuddatorn styr dessa undercentraler i sin tur ett antal reglerobjekt.

Fördelen med centrala system är i första hand att systemets totalfunktion realiserar på ett ställe och därmed kan delsystemen synkroniseras och hindras att arbeta mot varandra. Dessutom kan ett stort antal övervaknings- och redovisningsfunktioner läggas in i samma "hårdvara". Merkostnaden blir då ganska måttlig. Totalintegrerade datorsystem för styrning- och övervakning av luftbehandling, värme och kyla samt elinstallationer benämns ofta med förkortningarna BMS eller EMS ("Building Management System" respektive "Energy Management System", se kapitel 2.4). Nackdelen med centrala system är att dessa tenderar att bli komplexa och därmed svåröverskådliga. Det blir därmed svårt att beakta alla udda driftfall som kan förekomma i verkliga anläggningar och ta hänsyn till dessa exempelvis i samband med funktionsprov.

## 5.2 Reglerprinciper

Oavsett systemtyp kan regleringen baseras på olika typer av regleralgoritmer (se kapitel 2). Beroende på regleringens svårighetsgrad väljs i första hand mellan följande modeller:

- *P-reglering*: Reglerobjektet korrigeras i direkt proportion till avvikelsen mellan ärvärde och börvärde. I första hand lämpligt för enkla objekt där kraven på reglernoggrannhet är låga.
- *PI-reglering*: Reglerobjektet korrigeras även med ett belopp som är proportionellt mot tidsintegralen av avvikelsen mellan ärvärde och börvärde. Används i medelsvåra reglerfall och är tillräcklig för de flesta situationer i luftbehandlingsanläggningar.
- *PID-reglering*: Ytterligare ett bidrag till korrigerings storlek införs genom att ta hänsyn till reglerfelets tidsderivata. Används i svårare reglerfall.

Regleringens svårighetsgrad (se kapitel 2.2.1) är en funktion av kraven på snabbhet och noggrannhet (kretsförstärkningen), samt processens dödtid i förhållande till processens stigtid. Samtidigt höga krav på snabbhet och noggrannhet i en process med stort förhållande mellan dödtid och stigtid ger ett svårt reglerproblem.

I moderna system förekommer allt oftare självinställande regulatorer ("autotuning", se avsnitt 2.3.2). Dessa arbetar oftast som PI- eller PID-regulatorer, men regulatorn känner själv av systemets egenskaper och väljer därefter lämpliga parametervärden för P-, I- och D-funktionerna. Rent adaptiva reglersystem finns än så länge endast i begränsad omfattning i kommersiella anläggningar.

## 5.3 Kunskapsbehov

I fortsättningen av denna rapport kommer ett antal problemområden med avseende på den långsiktiga funktionen av styr- och reglersystem att räknas upp. Problemområdena delas in i följande kategorier:

- Systemaspekter (kapitel 5.3, d.v.s. detta avsnitt),
- Komponentegenskaper (kapitel 6),
- Driftsättningsproblem (kapitel 7),
- Drift- och underhåll (kapitel 8),
- Erfarenhetsåterföring (kapitel 9).

Inom varje problemområde görs en kort sammanställning av befintliga metoder och standarder samt behov av ny kunskap.



I övrigt kan nämnas att Bankvall et al (ref. 1) framhåller följande områden som angelägna beträffande fortsatt forskning och utveckling med avseende på den långsiktiga funktionen för styr- och reglertekniska system:

### Elektroniska system

- *Livslängd för elektronik.* Datoriserade system är uppbyggda av komponenter som var för sig har lång sannolik livslängd. I ett komplicerat system, bestående av ett stort antal delsystem och komponenter, kan trots detta systemets livslängd bli kort. Bl.a. har miljöfaktorer en stor inverkan på livslängden.
- *Service och reservdelsförsörjning.* Elektroniska system är komplicerade, teknikutvecklingen går snabbt och produkterna omsätts allt snabbare. Därmed riskerar service och reservdelsförsörjning att bli ett problem. En studie av de långsiktiga effekterna av den allt snabbare "datoriseringen" är därför angelägen.
- *Kompetensproblem för drifts- och underhållspersonal.* Dagens drifts- och underhållspersonal saknar normalt kunskaper om elektroniska styr- och regler-system. Riskerna för felaktig användning eller att uppkomna fel inte upptäcks är därför uppenbara. Fågor kring hur dessa problem skall bemästras anses ha hög prioritet.
- *Svagströmsinstallationer.* Mängden svagströmsinstallationer i byggnader ökar snabbt, bl.a. i samband med införandet av system för byggnadsautomation (EMS, BEMS etc.). Exempel på system är kabel-TV, interna informations-system och larm. Problem kan förväntas med livslängd, service, reservdelsförsörjning samt kompetens för drifts- och underhållspersonal.

### Värmesystem

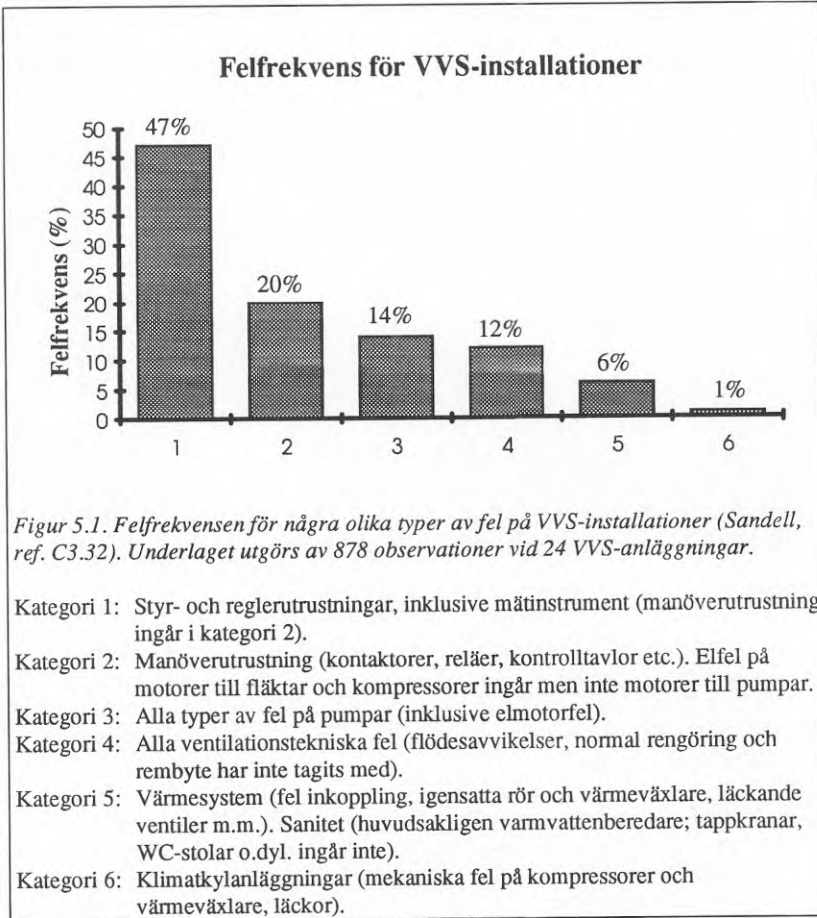
- *Igensättningsproblem vid lågflödessystem.* Vid dimensionering och injustering av värmesystem används idag ofta avsevärt lägre flöden än tidigare. Effekter i form av igensättning av ventiler i samband med små flöden kan befaras. En uppföljning av anläggningar som varit i drift sedan lågflödesprincipen introducerades är därför angelägen.
- *Funktionsförändringar hos radiatortermostatventiler.* Produkterna tygokänns efter provningar som innebär att vissa utmattningsförsök utförs. Undersökningar av begagnade radiatortermostatventiler är värdefulla både för att kunna förbättra provningsmetoder och för att kunna bedöma utbytesintervaller.

### Ventilationssystem

- *Modeller för enkla och lättförståeliga drifts- och skötsel-anvisningar.* Behov finns av enkla anvisningar för funktions- och statuskontroll, som kan användas av den ordinarie driftspersonalen för att kunna konstatera större fel och vidta enkla åtgärder.

### 5.3.1 Probleminventering

Det finns mycket skrivet och diskuterat om problem med styr- och regler tekniska anläggningar. Däremot råder det en stor brist på underlag från verkliga undersökningar. Sandell (ref. C3.32) publicerade 1975 en intressant undersökning av felfrekvensen på VVS-systemen i 24 anläggningar. Bland anläggningarna fanns en stor variation av fastighetstyper som t.ex. skolor, badhus, varuhus, bostadshus och industrier. Resultaten från undersökningen redovisas i figur 5.1.



Oavsett hur representativt materialet i undersökningen kan anses vara konstaterar Sandell att andelen styr- och regler tekniska fel är oacceptabelt hög. Närmare 50 % av de konstaterade felen i undersökningen härrörde från styr- och reglerutrustningar. Visserligen är undersökningen snart 20 år gammal och mycket har hänt inom det styr- och regler tekniska området, men det skulle förvåna om inte felprocenten för styr- och regler installationerna är fortsatt hög. Undersökningar av exempelvis värmepumpinstallationer under senare hälften av 1980-talet pekar också på en dominerande felandel för styr- och regler system. Dessutom gör den ökande graden av komplexitet för byggnadsautomationssystemen att risken för felfunktion snarare torde öka än minska.

Var hittar man nu de typiska felen och problemen i samband med styr- och reglertekniska utrustningar? Ett sätt att kategorisera problemen, som svarar mot kapitelindelningen i denna rapport, är följande:

- Projektering och upphandling
- Systemlösning
- Komponenter
- Driftsättning
- Drift och underhåll
- Erfarenhetsåterföring

### 5.3.1.1 Projektering och upphandling

När det gäller projektering och upphandling måste *beställaren/byggherren/fastighetsägaren* inse vikten och värdet av en noggrant genomförd upphandling. Det ligger framförallt i beställaren/brukarens intresse att få en anläggning med den önskade funktionen och att anläggningen är så konstruerad att den bibehåller den tänkta funktionen på lång sikt med minsta möjliga felantal och litet behov av service och underhåll. Om fel uppstår måste dessa vara lätt avhjälpta och deras konsekvenser så lindriga som möjligt. Ansvaret för en korrekt upphandling och val av lämplig utomstående expertis vilar helt på beställaren. I övrigt hänvisas till diskussionen i kapitel 4.

### 5.3.1.2 Systemlösning

Val av fel metod för att lösa ett problem lägger grunden till svårigheter både på kort och lång sikt. Onödigt komplicerade anläggningar fördyrar anskaffning och underhåll och ökar kraven på kompetens hos personal som skall sköta anläggningen. Om man i samband med behovsanalysen inte sakligt kan motivera en funktion genom ökad säkerhet, bättre driftsekonomi eller dylikt bör den undvikas. Observera att kalkyler beträffande förbättrad driftsekonomi m.m. måste bygga på ett realistiskt underlag, helst baserat på erfarenhetsåterföring från verkliga anläggningar. Alltför ofta väljs sofistikerade anläggningar på grundval av ett mycket bräckligt faktaunderlag.

Om ansvaret för behovsanalys och upphandling i första hand vilar på beställaren måste ansvaret för systemlösningen ligga hos *konsulten/entreprenören/fabrikanten*. Felaktiga systemval, inkopplingar och intrimningar är inte ovanliga. Det finns tillfällen då inte ens installatören är helt införstådd med den tänkta funktionen. Kraven på den som utformar systemet är därför höga. Projektören måste ha en god förståelse för beställarens verkliga behov samt en bred insikt och kunskap om VVS-teknik parallellt med sitt styr- och reglertekniska kunnande.

Vidare måste den reglertekniska delen av systemet vara robust i den meningen att pendlings kan undvikas även med hänsyn till långsiktiga förändringar i komponentegenskaper. Fel dimensionerade eller felaktigt intrimnade reglersystem orsakar exempelvis problem med inneklimat och energianvändning samt ökar förslitningen på komponenter som ställdon, ventilspindlar, packboxar, spjällmotorer, potentiometergivare m.m. Vanliga orsaker till pendlings är feltrimmade regulatorer, feldimensionerade (för stora eller för långsamma) pådragsdon, för stora dödtider genom t.ex. felaktigt valda givare, felaktigt placerade givare och glapp i pådragsdon.

Användningen av VAV-system tenderar att öka i Sverige. Erfarenheter från USA pekar på ofta förekommande problem med instabilitet vid reglering av dessa system. Många gånger kan 3-4 olika "reglerloopar" samtidigt vara inblandade för att reglera friskluft, återluft, "gratiskyla" med hjälp av uteluft samt de egentliga VAV-donen. Det krävs eftertanke vid utformningen av olika typer av sekvensstyrningar samt detaljerade kunskaper om donens egenskaper (t.ex. känslighet för systemtrycksvariationer) för att minimera riskerna för instabilitet.

Felfunktion, som beror på felkopplingar eller felprogrammering i samband med installation av systemet, kan vara mycket svåra att hitta. Det är inte säkert att felet ger sig till känna genom stora inneklimateproblem eller liknande. Även en onödigt hög energiförbrukning kan vara svår att upptäcka. Man måste normalt upp till avvikelser av storleksordningen 30-40 % för att brukaren skall ha en möjlighet att särskilja en reell merförbrukningen från normala årsvariationer. I detta sammanhang är det naturligtvis mycket värdefullt om noggranna dimensioneringsunderlag utarbetats i samband med behovsanalysen. Projekteringsvärden eller nyckeltal kan därvid jämföras mot faktiskt erhållna förbrukningar. Exempel på felkopplingar kan vara:

- Avsaknad av förregling, som hindrar samtidig inkoppling av värme och kyla (det är inte alltid tillräckligt att förregla via exempelvis läget för ett ställdon),
- Fel arbetsordning för reglerdon vid sekvensreglering,
- Kompenseringsgivare som inte är inkopplade,
- Resistansgivare som ansluts med 4-ledarkabel, där 2 parter kopplats ihop, vid inkoppling till regulator avsedd för 3-ledaranslutning,
- Yttre börvärdesstyrning (SPC) inte ansluten,
- Larmsignaler felkopplade,
- Samkörning mellan till- och frånluftsaggregat fungerar inte,
- Felaktig matning av givare.

Ett annat problem, som tenderar att öka, är den höga omsättningshastigheten på elektronisk utrustning. För att en anläggning skall fungera långsiktigt till en låg kostnad måste systemlösningen vara så generell att anläggningen går att uppgradera i detaljer utan att hela systemet måste bytas. Det finns normalt ingen anledning att byta fullt funktionsdugliga givare, ställdon, regulatorer etc. bara för att ändringar görs på systemnivå.

### **5.3.1.3 Komponenter**

Problem med komponenter påverkar ofta systemfunktionen direkt. Beträffande detaljer hänvisas till kapitel 6. I detta sammanhang skall bara nämnas att driftsäkerheten för pneumatiska system, enligt Sandells erfarenheter (ref. C3.32), är bättre än för motsvarande utrustning av elektromekanisk eller elektronisk typ under förutsättning att instrumentluften är torr och ren. Eftersom kanaler och munstycken är mycket "finkalibriga" är risken stor för igensättning på grund av smuts, vatten eller, vid utomhusförlagda ledningar, av isproppar.

Numera förekommer pneumatiska system i försvinnande liten omfattning, men finns trots allt i speciella tillämpningar. För att undvika igensättningsproblem krävs att instrumentluften alstras i en oljefri kompressor, att luften avfuktas (helst med kyltork) samt att den filtreras med finfilter.

### **5.3.1.4 Driftsättning**

Driftsättningsfasen diskuteras i kapitel 7.

### **5.3.1.5 Drift och underhåll**

Synpunkter på drift och underhåll lämnas i kapitel 8.

### **5.3.1.6 Erfarenhetsåterföring**

Erfarenhetsåterföring, slutligen, behandlas i kapitel 9.

## **5.3.2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning**

### **5.3.2.1 Befintliga metoder**

Regelrätta standarder saknas för närvarande beträffande utvärdering av reglertekniska egenskaper på systemnivå. I första hand kan man hitta terminologistandarder, t.ex.

- SS 401 06 01: "Industriell processtyrning - Grundläggande terminologi",
- DS 468: "DIF's norm för automatiske reguleringsystemer til VVS-tekniske anlaeg" (ref. C1.25).

Däremot finns ett stort antal standarder och handböcker som indirekt påverkar den reglertekniska systemutformningen och funktionen på både lång och kort sikt. Exempel på standarder m.m., som har betydelse för behovsanalys, kravspecifikation och därmed för systemutformningen, är:

- ISO 7730: "Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort" (ref. C1.2),
- NKB: "Riktlinjer för inneklimat" (ref C1.24),
- VVS AMA: "Styr- och övervakningsenheter i tekniska system" (ref. C1.34),
- BFS 1988:18: "Nybyggnadsregler" (ref C1.36),
- Svenska inneklimatinstitutet: "Klassindelade inneklimat- och ventilationssystem - Riktlinjer och specifikationer" (ref. C1.42),
- M.fl., se referenslistan under C1.1.

För utvärdering av den långsiktiga funktionen finns ett stort urval av standarder med en allmän inriktning mot kvalitetssäkring. Exempel på sådana standarder är IEC's och CENELEC's olika miljöprovningstandarder (ref C1.3-C1.22). En bra sammanställning över dessa standarder finns utgiven av Nordtest (ref. C1.23). I övrigt hänvisas till referenserna (se även kapitel 6.2).

Allmänna kvalitetssystemaspekter ges av standarder i serien ISO 9000 / EN 29 000. IEC har en standard om "pålitlighet" (ref. C1.9) och ett antal standarder, som även finns som svenska standarder, vilka behandlar tillförlitlighet. Exempel på dessa är:

- SS-IEC 300: "Tillförlitlighet - Planläggning och genomförande av aktiviteter för funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet" (ref. C1.27),
- SS-IEC 409: "Tillförlitlighet - Riktlinjer för uppställning av krav i specifikationer för elektronikkomponenter" (ref. C1.28),
- SS-IEC 419: "Elektronikkomponenter - Partikontroll och periodisk kontroll" (ref. C1.29),
- SS-IEC 605: "Tillförlitlighet - Funktionssäkerhet hos utrustningar - Provning" (ref. C1.30),
- SS-IEC 706: "Tillförlitlighet - Underhållsmässighet hos utrustningar" (ref. C1.31),
- SS-IEC 812: "Tillförlitlighet - Feleffektanalys (FMEA: failure mode and effects analysis)" (ref. C1.32),
- SS-IEC 863: "Tillförlitlighet - Presentation av predikteringar" (ref. C1.33).

### 5.3.2.2 Pågående arbete

Regelrätta standarder saknas för närvarande beträffande utvärdering av reglertekniska egenskaper på systemnivå. Däremot pågår en hel del arbeten med viss anknytning till området, framförallt på det internationella planet. Anknytning till problem på systemnivå har exempelvis följande arbeten:

- HSE: "Guidelines - Programmable Electronic Systems in Safety Related Applications: Parts 1 and 2" (ref. C1.54),
- DIN V VDE 0801 (preliminary standard): "Principles for computers in safety-related systems" (C1.56),
- ASHRAE: "Direct Digital Control System Documentation Practices" (ref. C1.57),
- CEN/TC 247 /WG 2: "Draft outline of a standard for electronic individual zone control equipment for HVAC applications"(ref. C1.65).
- CEN/TC 247 /WG 3: "Building Management Products and Systems for HVAC-applications - System functions"(ref. C1.53).

I övrigt hänvisas till referenslistan, i första hand under avsnitt C1.

### 5.3.2.3 Behov av nya metoder

Med hänsyn till den totala systemfunktionen finns behov av validerade simuleringmodeller, med status av internationell standard, för att på ett allmänt accepterat sätt relatera reglersystemets möjlighet att åstadkomma angivna funktioner i ett specifikt byggnadsobjekt (se även 5.3.4). För att studera systemens långsiktiga funktion är det väsentligt att det finns metoder för att värdera systemens robusthet ur reglerteknisk synvinkel, samt att det finns standardiserade modeller och simuleringsverktyg för att testa inverkan av system- och komponentförändringar. Vikten av att använda standardiserade och noggrannt validerade verktyg bör poängteras för att resultaten skall bli jämförbara och allmänt accepterade.

Rent allmänt framhålls från Nordtest att kunskaperna bland VVS-tekniker är dåliga beträffande komplicerade styr- och reglertekniska system. Man bedriver därför ett aktivt inventeringsarbete för att klarlägga problemställningarna och kartlägga behovet av metodutveckling

## 5.3.3 Metoder för besiktning och mätning

En av de grundläggande förutsättningarna för att kunna bedöma ett systems *användbarhet* (se definitionerna) är att det i samband med behovsanalys och kravspecifikation inkluderas verifierbara funktionskrav. Därmed måste också projekteringen leda till att systemet får en utformning, som ger förutsättningar för att genom besiktning och mätning kunna utföra en korrekt funktionsvärdering.

### 5.3.3.1 Befintliga metoder

Det är ganska sparsamt med metoder för att utföra besiktning och mätning på styr- och reglertekniska anläggningar i verkliga byggnader. I VVS AMA (ref. C1.34) ges ganska allmänt hållna rekommendationer. För regelrätt funktionsprovning finns en dansk metod utarbetad vid Statens Byggeforskningsinstitut:

- "Afprøvning af programmerbar varme- og ventilationsautomatik", SBI-anvisning 161 (ref. C2.62).

Som tidigare framhållits utgör de rena VVS-tekniska funktionerna den grundläggande förutsättningen för att systemet som helhet skall kunna styras och regleras på ett godtagbart sätt. För besiktning och mätning på t.ex. ventilationsanläggningar finns både standarder, anvisningar från branschråd, handböcker och kursmaterial att tillgå. Här ges endast några exempel på den typ av dokumentation som åsyftas:

- ISO 7726: "Thermal environments; Instruments and methods for measuring physical quantities" (ref. C1.72),
- IEA: "Source Book for Energy Auditors, volumes 1 - 2" (ref. C2.15),
- SIFU: "Funktionskontroll av luftbehandlingsinstallationer" (ref. C2.41),
- ASS/SP: "Funktionskontroll av ventilationsinstallationer" (ASS H23).

### 5.3.3.2 Pågående arbete

På övergripande systemnivå har det inte kommit fram några uppgifter om pågående standardiseringsarbete vid utarbetandet av denna rapport. Däremot pågår ett intensivt arbete med europastandardisering för zonregulatorer inom CEN/TC 247/WG2 och på systemnivå inom WG3 (se även 5.3.2.2). Som en arbetsrubrik ingår "Functional testing". Troligtvis kommer detta avsnitt endast att innehålla laboratorieprov, men utformningen av innehållet är för närvarande inte påbörjad.

### 5.3.3.3 Behov av nya metoder

Eftersom de flesta typer av byggnader har ett stort antal relativt likartade funktioner borde det vara fullt möjligt att utarbeta allmängiltiga standarder för funktionsprovning av styr- och reglersystem på systemnivå. För beställaren/brukaren är det viktigt att systemets totala "användbarhet" (se definitionerna) kan utvärderas.

Dessutom finns behov av standarder för att definiera och utvärdera de långsiktiga funktionsegenskaperna i termer som "nyttjandegrad" och "tillgänglighet" (funktions-tillgänglighet), "belastningsfaktor", "beständighet", "försämring", "livslängdsbedömning" m.m. Problematiken behandlas för ventilationssystem i viss mån av Lindvall, Malmström och Svenberg i rapporten "Ventilationssystemets funktion, utformning och drift" (ref. C2.31).



## 5.3.4 Forskning

### 5.3.4.1 Pågående arbete

Någon organiserad forskning kring problem rörande den långsiktiga funktionen för styr- och reglersystem verkar inte förekomma i Sverige för närvarande. Kontakter med de tekniska högskolorna ger vid handen att denna typ av frågeställning inte varit aktuell för några satsningar. Däremot finns erfarenhetsåterföring, där styr- och reglersystem ingår, från en lång rad Byggeforskningsprojekt inom VVS-området. Exempel på denna typ av projekt är problemet med att styra samköring av värmepumpar och spetslastvärme. Bergström presenterar ett antal problem med systemutformning i rapporten "Frånluftsvärmepumpar i flerbostadshus" (ref. C2.5).

Från Danmark rapporteras några genomförda projekt, framförallt inom området EMS. Aggerholm redovisar i rapporten "Styring af varme- og ventilationsanlaeg med programmerbar elektronik" (ref. C2.61) en undersökning av styr- och reglersystem i sju byggnader. Fyra av byggnaderna hade "hårdvaruregulatorer" och tre hade DDC-styrning. Det konstateras i rapporten att endast en av byggnaderna med "hårdvaruregulatorer" hade problem medan samtliga byggnader med DDC-styrning hade klara brister i funktionen.

Internationellt har forskning med viss anknytning till den långsiktiga funktionen skett inom IEA i annex 16 och 17. En sammanfattning av verksamheten presenteras av Bach i en artikel (ref. C3.88). Annex 16 uppges vara mycket praktikinriktad och tar upp frågor som berör projektering, upphandling, drift m.m. samt erfarenhetsåterföring från ett antal fallstudier. Annex 17 är mer forskningsinriktad och behandlar framförallt möjligheter till simulering och prediktering.

### 5.3.4.2 Behov av nya projekt

Erfarenheter från användningen av styr- och reglersystem indikerar att det finns ett klart behov av forskning kring problemställningar inom BUD-området som t.ex.

- Användbarhet (definition, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.),
- Belastningsfaktorer (definition, kvantifiering, erfarenhetsåterföring, m.m.),
- Egenskapsprovning (definitioner, metodutveckling för provning av funktionsegenskaper för system, erfarenhetsåterföring m.m.),
- Funktionskriterier (definitioner, kvantifiering av funktionsegenskaper, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.),
- Kritiska funktionsegenskaper (definitioner, relation till systemens användbarhet, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.),

- Nyttjandegrad och tillgänglighet (definitioner, kvantifiering av definierade termer, prediktering och erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.),
- Föränderbarhetsfunktion (definitioner, funktionskriterier, kostnad/nytta, erfarenhetsåterföring m.m.),
- Förnybarhetsfunktion (definitioner, funktionskriterier, kostnad/nytta, erfarenhetsåterföring m.m.).

## 6 Komponenter

Det bör återigen poängteras att den långsiktiga funktionen i första hand grundläggs i samband med behovsanalys, upphandling, projektering och övergripande systemutformning. Ansvar för den fasen vilar i stor utsträckning på beställaren och konsulten / systemleverantören. Här finns emellertid ett viktigt behov av växelverkan mellan konsulten och komponentleverantören och deras respektive ansvarsgränser. För att konsulten skall kunna utföra en korrekt projektering måste han kunna lita på komponentleverantörernas angivna tekniska specifikationer. Felaktiga uppgifter för en komponent kan resultera i ett felprojekterat system, som påverkar arbetsförhållanden och livslängd för helt andra komponenter.

Systemegenskaper behandlades i kapitel 5 och i viss mån i kapitel 4. I detta kapitel kommer i fortsättningen endast den rena komponentfunktionen att behandlas utan anknytning till systemutformningen i övrigt. För komponenter krävs därvid generellt:

- Korrekta och fullständiga tekniska specifikationer,
- Rätt tillverkningskvalitet (kvalitetsstyrning etc.),
- Rätt leveranskvalitet (rätt produkt i rätt tid, rätt skick vid ankomst och rätt hantering efter ankomst)
- Rätt installation (funktionskontroll)
- Korrekt angivet (och utfört) drift och underhåll,

För värdering av allmän funktionalitet finns ett antal standarder i bilaga C1 beträffande t.ex. miljötålighet, tillförlitlighet, underhållsmässighet och feleffektanalys. I övrigt ges specifika exempel för vissa huvudgrupper av komponenter i fortsättningen av detta kapitel.

### 6.1 Datorer - mjukvara

En stor del av de problem och svårigheter som rapporteras från byggnader utrustade med BEMS, i synnerhet system med DDC, kan hänföras till problemområdet mjukvara. Det finns även en övertro på att sofistikerad mjukvara kan lösa grundläggande brister i det VVS-tekniska systemet, vilket mycket träffande har beskrivits av en teknisk attaché i ett föredrag med titeln "Intelligenta byggnader - Datoriserat golvdreg?".

Ett annat problem rör den långsiktiga möjligheten att uppdatera befintliga system. Den ökande användningen av grafiska hjälpmedel gör att fullt funktionsdugliga datorer måste bytas för att behovet av minneskapacitet och snabbhet tenderar att växa explosionsartat. För övrigt inräknas i denna rapport även problem med kommunikationsprotokoll i området mjukvara.

#### 6.1.1 Probleminventering

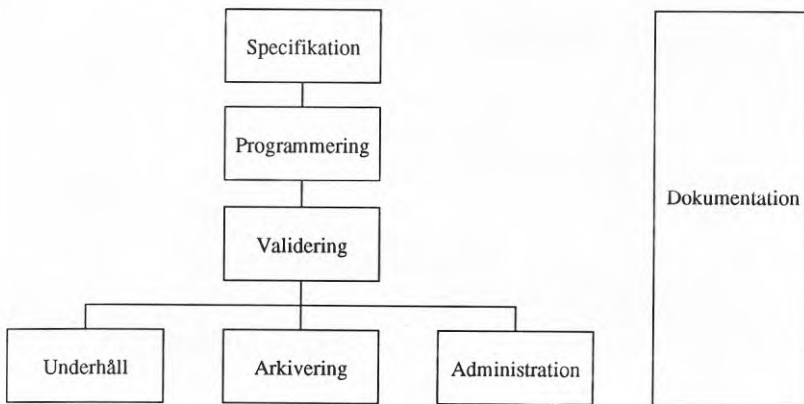
Från beställarsidan har problemen med bristande standardisering för kommunikationsprotokoll upplevts som mycket besvärande. Skillnader i sättet att kommunicera har stor betydelse för konkurrenssituationen vid upphandling och möjligheterna att på sikt uppdatera en anläggning, d.v.s. föränderbarhets- och förnybarhetsfunktionerna. Där-

med utgör kommunikationen en del av BUD-problematiken. Asplund och Hedberg presenterar exempelvis en utredning åt NUTEK i en tidningsartikel med rubriken "Styr- och regler för energisektorn - Hur länge skall djunglens lag råda?" (ref. C3.4). På senare år har olika försök till mer eller mindre öppna protokoll lanserats (se 6.1.2) och olika typer av "översättningsenheter" börjar komma på marknaden.

När det gäller den rena programvaruhanteringen redovisar Jacobson et al krav och metoder för säkring av programvarukvalitet i mät- och provutrustning i en SP-rapport (ref. C2.67). Rapporten har emellertid stor allmängiltighet och mycket av det som i fortsättningen skrivs om hantering av programvara är direkt hämtat ur denna rapport. Jacobson beskriver också problemställningar kring funktionsprov-programvaruprov-programvaruanalys i en annan SP-rapport om utvärdering av programvarustyrda apparater (ref. C2.66).

Vidare har Bremer undersökt förutsättningarna för att kunna genomföra utvärderingar av funktionssäkerhet för mikrodatorbaserade styr- och övervakningsutrustningar, framförallt i säkerhetskritiska applikationer. I en SP-rapport (ref. C2.64) presenteras begrepp och möjligheter att definiera felfunktioner. Bremer identifierar ett antal kritiska funktionsegenskaper och diskuterar funktionskriterier samt metoder för att verifiera funktionskrav både i laboratoriemiljö och ute i befintliga anläggningar.

Allmänt kan sägas att en genomtänkt process för utvecklingen av programvara förbättrar såväl kvaliteten på den färdiga produkten som produktiviteten hos de som arbetar med utvecklingen. En utvecklingsmodell kan indelas i sju aktivitetsområden; specifikation, dokumentation, programmering, validering, underhåll, arkivering och administration. Samtliga dessa aktiviteter är nödvändiga för att uppnå ett bra slutresultat. Modellen åskådliggörs i figur 6.1. För beställaren/brukaren är samtliga delmoment utom den rena programmeringsdelen viktiga att tänka igenom. Dessa diskuteras mer ingående på andra håll i rapporten.



Figur 6.1. Viktiga aktiviteter i samband med programvaruutveckling (Jacobson et al, ref. C2.67).

*Specifikationen* är den fas då behov studeras och en skriftlig beskrivning av vad som skall göras upprättas. De övergripande kraven på ingående funktioner skall alltid vara med (se kapitel 4.4).

*Dokumentationen* underskattas ofta men är en av de mest väsentliga aktiviteterna för att den färdiga programvaran skall fungera. Flera olika personer skall kunna utnyttja och underhålla programmet under en lång tid (se även kapitel 4.4).

*Programmering* är ett något tveksamt begrepp för att sammanfatta systemkonstruktion, detaljkonstruktion (kodning) och utvecklingstest (verifiering). Systemkonstruktion innebär att man tänker igenom uppläggningsen av programmet i stort. Detaljkonstruktionen tar vid då man utgående från specifikation och systemkonstruktion skapar en programkod. Slutligen måste programvaran testas innan resultatet släpps vidare. Om programvaran är stor finns anledning att göra en specifikation som beskriver uppläggningsen av programvaran både på systemnivå och på detaljnivå. Denna programvaruspecifikation tar upp konstruktionsdetaljer men däremot inte funktionskrav, vilka redan tidigare specificerats .

*Validering* är slutkontrollen då resultatet jämförs med specifikationen och de ursprungliga kraven. Arbetet med validering skall i första hand göras av någon, som inte deltagit i programmeringen (se kapitel 7.2).

*Underhåll*, för att korrigera felaktigheter och införa nya funktioner, sker på alla programvaror. Om inte underhållet sker på ett systematiskt sätt finns risk att användaren inte vet vilken version av programvaran han använder (se kapitel 8.2).

*Arkivering* skall ske av både själva programvaran och dess dokumentation. Det är viktigt att inte ett hårdvarufel i datorn, där programmet körs, innebär att det enda exemplaret av programmet förstörs. Det bör observeras att dokumentationen kan vara minst lika viktigt som själva programvaran för programmets användbarhet (se kapitel 8.2).

*Administrationn* kring programvaran varierar med antalet användare och programvarans storlek (se kapitel 8.2).

## 6.1.2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning

### 6.1.2.1 Befintliga metoder

Krav beträffande utveckling av programvara finns bland annat inom industrisektorn genom AQAP-13, som är en NATO-standard med krav på kvalitetssystem för företag som arbetar med programvaruutveckling. Den amerikanska militärstandarden DOD-STD-2167A är ytterligare en standard som ställer krav på företagets utveckling och kvalitetssäkring av programvara. Alla större programvaruutvecklingsföretag håller sig idag med egna kvalitetsmanualer. Syftet med kvalitetsmanualerna är ofta att uppfylla de krav som ställs i SS-ISO 9000-3 (ref. C1.58).

SS-ISO-9000-3, "Riktlinjer för tillämpning av SS-ISO 9001 vid utveckling, leverans och underhåll av programvara", är den standard som idag oftast refereras till då programvarukvalitet diskuteras. Standarden innehåller allmänna riktlinjer och få konkreta anvisningar. Tankar som knyter an till SS-ISO-9000-3, med speciell inriktning mot provningslaboratorier, finns i NORDTEST-rapport nr. 145 "Guidelines for the development of software to be used in test and measuring laboratories". Dessutom finns rekommendationer utarbetade av National Association of Testing Authorities (NATA, Australien).

### 6.1.2.2 Pågående arbete

För närvarande pågår ett intensivt standardiseringsarbete beträffande kommunikationsprotokoll. T.ex. arbetar CEN/TC 247/WG 4 (ref. C1.53) med systemneutral dataöverföring för VVS-tekniska system. Flera standarder, både existerande och sådana som befinner sig på förslagsstadiet, diskuteras i detta sammanhang. Exempel på diskussionsunderlag är Echelon, FIP, BACnet, Hermes m.fl. I detta sammanhang kan nämnas att det numera finns ett huvuddatorprogram kallat "Engine", som klarar av att kommunicera med de flesta på marknaden existerande kommunikationsprotokollen. Programmet arbetar i Windows-miljö.

IEC arbetar med flera standarder, som berör funktionssäkerhet för programmerbara system (ref. C1.48-C1.52). Det finns även färdiga europeiska riktlinjer för denna typ av system (ref. C1.54). I övrigt finns exempelvis en preliminär CENELEC-standard för programmering av programmerbara regulatorer (ref. C1.55) och en preliminär DIN-norm för datorer i säkerhetsrelaterade system (ref. C1.56). Slutligen arbetar ASHRAE med metodutveckling för dokumentation av DDC-system (ref. C1.57).

### 6.1.2.3 Behov av nya metoder

För närvarande satsas stora resurser på standardisering av kommunikationsprotokoll. Det är förmodligen i dagens läge det viktigaste standardiseringsproblemet beträffande mjukvara ur användarens synvinkel. Det har också stor betydelse för den långsiktiga möjligheten att upgradera system. Framtiden får utvisa om behov av ytterligare standardisering uppstår.

## **6.1.3 Forskning**

### **6.1.3.1 Pågående arbete**

En mycket snabb utveckling pågår för närvarande inom området gränssnitt mellan människa-maskin. Grafisk programmering, realisering av reglerfunktioner i användarvänliga miljöer av typ "Windows" m.m. blir allt vanligare. Inom ramen för denna analys har det emellertid inte funnits resurser eller kompetens för att gå närmare in på detta område.

### **6.1.3.2 Behov av nya projekt**

Erfarenheter från användningen av styr- och reglersystem indikerar att det fortfarande finns ett behov av forskning kring problemställningar inom BUD-området även beträffande mjukvarurelaterade problem. Exempel på problemställningar är:

- Användbarhet (definition, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.)
- Egenskapsprovning (definitioner, metodutveckling för provning av funktions-egenskaper för system, erfarenhetsåterföring m.m.)
- Funktionskriterier (definitioner, kvantifiering av funktionsegenskaper, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.)
- Kritiska funktionsegenskaper (definitioner, relation till systemens användbarhet, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.)
- Föränderbarhetsfunktion (definitioner, funktionskriterier, kostnad/nytta, erfarenhetsåterföring m.m.)
- Förnybarhetsfunktion (definitioner, funktionskriterier, kostnad/nytta, erfarenhetsåterföring m.m.)

## 6.2 Datorer - hårdvara

### 6.2.1 Probleminventering

Viktiga aspekter för datoriserade systems långsiktiga funktion gäller möjligheten till utbytbarhet av datorer, strålningsnivå från bildskärmar (långsiktig exponering), elförbrukning, driftsäkerhet, buller, läsbarhet samt inte minst störningstålighet. Många datoriserade system upplever t.ex. stora problem i samband med åskväder, vilket tidningsnotisen i figur 6.2 illustrerar.

Det är inte bara åskväder som ställer till problem. Det finns även exempel på moderna datoriserade system, där samtliga börvärden raderas ut med jämna mellanrum, sannolikt till följd av transienter på elnätet. Transienter kan exempelvis uppkomma vid start och stopp av stora motorer, inkoppling av reservkraftaggregat, drift av frekvensstyrda pumpar och fläktar m.m.

Det finns emellertid goda möjligheter att skydda sig mot denna typ av problem. Väletablerade internationella standarder finns tillgängliga som hjälpmedel för att utvärdera störningstålighet mot både ledningsbundna och strålade störningar. Ur brukarens synvinkel är det säkert lönsamt att betala merkostnaden för utrustningar med ett gott störningsskydd. Undviker man ett enda problemtillfälle är det sannolikt att detta betalar merkostnaden.

### Åska slår hårt mot lasarettet

De senaste dygnens åskväder har orsakat problem vid [REDACTED] lasarett. På KK har man periodvis varit utan varmvatten. Inte heller fläktsystemet har fungerat.

Det är det datoriserade styrsystemet som inte klarar de spänningar som följer med åskovädren. Systemen slår ständigt ifrån och den tekniska personalen tvingas jobba för fullt för att hinna med.

- Vi är sex man som inte gör annat är springer runt och kontrollerar styrsystemen, berättar elingenjör [REDACTED].

När åskan härjade som värst larmade de flesta system utan att det egentligen var något fel. Det hände även att pumpar stannade liksom fläktar.

Fram till lördag eftermiddag hade jourstyrkan återställt styrsystemet ett 20-tal gånger och då var ändå inte ovädret över.

- Så här är det så fort åskan går, berättar [REDACTED].

En upprustning är på gång. Dock dröjer det innan lasarettets samtliga enheter försetts med moderna system som inte är lika störningskänsliga som de nuvarande. □

Figur 6.2. Tidningsnotis som belyser sårbarheten för många datoriserade styrsystem.



## **6.2.2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning**

### **6.2.2.1 Befintliga metoder**

Metoder för utvärdering av miljötålighet finns i rik omfattning från t.ex. IEC (ref. C1.3 - C1.19). Standarderna omfattar bland annat exponering mot torr och fuktig värme, kyla, fukt, vibrationer, ledningsbundna och strålade störningar, korrosion m.m. Vissa av standarderna finns även som europastandard (CENELEC) och svensk standard. En mycket bra sammanställning finns att tillgå från Nordtest (ref. C1.23).

I övrigt kan nämnas att det även finns en standard från CENELEC för att utvärdera storleken av den strålning som en elektronikutrusning själv genererar. Detta är inte minst viktigt vid användning av frekvensstyrningar.

### **6.2.2.2 Pågående arbete**

Visst arbete med beröringspunkter till datoriserade system pågår inom CEN/TC 247/WG 2 beträffande zoregulatorer (ref. C1.65). För bestämning av funktionsegenskaper arbetar IEC SC 65A med inriktning mot programmerbara elektroniska system.

### **6.2.2.3 Behov av nya metoder**

Beträffande ytterligare behov av standardisering hänvisas till de allmänna problemställningarna i 6.2.3.2. Ett visst mått av ytterligare standardisering beträffande exempelvis användbarhet, funktionskriterier och kritiska funktionsegenskaper kan behövas.

## **6.2.3 Forskning**

### **6.2.3.1 Pågående arbete**

Som redan tidigare nämnts pågår ett internationellt forskningssamarbete inom IEA (se t.ex. kapitel 2.4 och ref. C3.88).

### **6.2.3.2 Behov av nya projekt**

Erfarenheter från användningen av datoriserade styr- och reglersystem indikerar att det finns ett visst behov av forskning kring problemställningar inom BUD-området som bland annat berör:

- Användbarhet (definition, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.)
- Belastningsfaktorer (definition, kvantifiering, erfarenhetsåterföring, m.m.)
- Egenskapsprovning (definitioner, metodutveckling för provning av funktionsegenskaper för system, erfarenhetsåterföring m.m.)
- Funktionskriterier (definitioner, kvantifiering av funktionsegenskaper, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.)
- Kritiska funktionsegenskaper (definitioner, relation till systemens användbarhet, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.)
- Nyttjandegrad och tillgänglighet (definitioner, kvantifiering av definierade termer, prediktering och erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.)
- Föränderbarhetsfunktion (definitioner, funktionskriterier, kostnad/nytta, erfarenhetsåterföring m.m.)
- Förnybarhetsfunktion (definitioner, funktionskriterier, kostnad/nytta, erfarenhetsåterföring m.m.)

## 6.3 Regulatorer

### 6.3.1 Probleminventering

Allmänt verkar man anse att livslängden inte utgör något stort problem för elektroniska regulatorer. Den tekniska livslängden bedöms vara större än 15 år. Hårdvarumässigt utgörs kritiska delar av potentiometrar, elektrolytkondensatorer, lödningar och optoingångar. Optokomponenter har dock fått en kraftigt förbättrad livslängd under senare år och bedöms nu klara sig mer än 20 år. Däremot verkar många regulatorer vara känsliga för transienter i elsystemen. Det förekommer exempelvis att parameterinställningar ändrar sig i samband med störningar på nätet.

Sandell (ref. C3.32) rapporterar i en undersökning vissa problem med kabelförbindningar. Det största problemet beträffande regulatorer verkar emellertid vara kunskapen om hur parametrar skall ställas in. Speciellt om regulatorema är komplicerade och har många inställningsmöjligheter förblir parametervärdena oförändrade från leveransinställningen. I övrigt finns vissa speciella problem med att självinställande regulatorer kan vara extra känsliga för den VVS-tekniska dimensioneringen och att begränsningar i inställningsmöjligheterna på äldre regulatorer kan ge problem vid sekvensreglering.

### 6.3.2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning

#### 6.3.2.1 Befintliga metoder

De tidigare relaterade miljöprovningstandarderna från IEC och CENELEC har hög aktualitet för utvärderingen av regulatorers långsiktiga funktion. Lödstillen har länge utgjort en kritisk punkt i elektronikutrustningar. För livslängdsprovning används t.ex. en amerikansk militärstandard, MILSTD 202F, metod 107D. Överhuvudtaget finns mycket av metodutveckling beträffande BUD-problem gjord inom den militära sektorn och vid stränga krav hänvisas ofta till olika MIL-standarder.

Beträffande funktionsegenskaper finns ett antal IEC- och CENELEC-standarder för industriella regulatorer, både av elektronisk och av pneumatisk typ (ref. C1.59-C1.67). Nordtest har tagit fram en metod för funktionsprovning av regulatorer för värmesystem (ref. C1.68). Dessutom finns en IEC-standard, som samtidigt är svensk standard, för styrutrustningar med analoga in- och utsignaler (ref. C1.69), en dansk standard för VVS-tekniska reglersystem (C1.25) och en tysk standard för vattenburna värmesystem (ref. C1.26).

### 6.3.2.2 Pågående arbete

Arbeten med relevans för regulatorer pågår för närvarande i första hand inom CEN/TC 247/WG 2 för zonregulatorutrustning (ref. C1.65).

### 6.3.2.3 Behov av nya metoder

Beträffande elektronikprodukter i allmänhet uttrycker Christiemins uppfattningen att det finns behov av skärpta miljöprovningmetoder under rubriken "Accelererade miljöprov behöver vässas" (ref. C3. 8). Framförallt gäller dessa metoder för att utvärdera funktionsnedbrytande processer på färdigmonterade kretskort genom t.ex. migration och korrosion. Därvid är inte bara fukt- och temperaturförhållanden viktiga utan också hur spänningsmatningen sker under proven. Idag används konstant spänningsmatning, men det är känt att de variationer, som förekommer i verkliga system, även påverkar nedbrytningsmekanismerna. Dessutom behövs kompletteringar avseende atmosfärens sammansättning med hänsyn till förekomsten av besvärande luftföroreningar.

Becker redovisar problematiken med att utvärdera livslängden på lödställen under inverkan av olika klimatförhållanden, olika sammansättning på atmosfären och vibrationer med olika amplitud och frekvens ("Förläng livet på lödställena", ref. C3.6). För att prediktera en livslängd används antalet cykler till brott med hjälp av Coffin-Mansons lag. Ett stort problem idag anges vara att det saknas experimentella data och långtidsundersökningar, som bekräftar att de kurvor som används verkligen är de rätta. Förutsägelsema blir därmed mycket osäkra och det finns därför behov av både forskning och metodutveckling.

## 6.3.3 Forskning

### 6.3.3.1 Pågående arbete

Den pågående forskningen är i stor utsträckning inriktad mot olika typer av adaptiva eller självinställande regulatorer. Det finns också ett stort behov av denna typ av regulatorer med tanke på hur sällan regulatorparametrar verkligen trimmas in i praktiska installationer.

### 6.3.3.2 Behov av nya projekt

Det finns helt klart ett behov av ytterligare forskning med systematisk inriktning mot samtliga aspekter som påverkar regulatorernas funktion på lång sikt, i synnerhet beträffande:

- Användbarhet (definition, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.),
- Belastningsfaktorer (definition, kvantifiering, erfarenhetsåterföring, m.m.),
- Egenskapsprovning (definitioner, metodutveckling för provning av funktions-egenskaper för system, erfarenhetsåterföring m.m.),
- Funktionskriterier (definitioner, kvantifiering av funktionsegenskaper, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.),
- Kritiska funktionsegenskaper (definitioner, relation till systemens användbarhet, erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.),
- Nyttjandegrad och tillgänglighet (definitioner, kvantifiering av definierade termer, prediktering och erfarenhetsåterföring, kostnad/nytta m.m.),
- Föränderbarhetsfunktion (definitioner, funktionskriterier, kostnad/nytta, erfarenhetsåterföring m.m.),
- Förnybarhetsfunktion (definitioner, funktionskriterier, kostnad/nytta, erfarenhetsåterföring m.m.).

## **6.4 Motorer**

### **6.4.1 Probleminventering**

Med tanke på den långsiktiga funktionen är valet av motorstorlek och typ viktigt, speciellt om behov av vartalstyrning kan föutses. Många motorer är idag utlagda för helt andra belastningar än de senare verkligen används med. Detta medför en försämrad verkningsgrad och därmed ökad energiförbrukning. Dessutom väljs ofta onödigt billiga motorer i upphandlingsskedet. Investering i högklassiga motorer med hög verkningsgrad lönar sig praktiskt taget alltid i tillämpningar med långa drifttider.

Många brukare verkar uppleva livslängden som bristfällig på motorer till spjäll och ställdon av olika typer. Andra problem är brända kontaktorer och felställda motorskydd.

Tidigare generationer av motorstyrningar hade problem med tåligheten för kraftelektroniken i samband med fel eller transienter i nätet. Förhållandena verkar numera klart bättre. Fortfarande är dock avstörningen av frekvensomriktare kritisk med hänsyn till övrig elektronik i systemen.

### **6.4.2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning**

#### **6.4.2.1 Befintliga metoder**

För konventionella elmotorer finns väl etablerad standardisering av den konstruktiva utformningen och motorens egenskapsredovisning (framförallt inom IEC).

#### **6.4.2.2 Behov av nya metoder**

I första hand behövs metoder för provning och egenskapsredovisning för kapacitetsreglerade motorer, framförallt vid frekvensstyrning.

### **6.4.3 Forskning**

#### **6.4.3.1 Pågående arbete**

Mycket arbete pågår inom det materialtekniska området. T.ex. strävar man efter att förbättra materialens elektromagnetiska egenskaper samt isolationsnivån och miljötåligheten för lindningsisoleringen.

För motorstyrningar arbetar man med förbättrade regleralgoritmer för att ge noggrannare och bättre servofunktion. I samband med manövrering av ställdon blir stegmotorer alltmer intressanta.

### **6.4.3.2 Behov av nya projekt**

Samma behov av forskning som gäller reglersystem i allmänhet, se t.ex. 6.3.3.2, bedöms föreligga även för motorstyrningar.

## **6.5 Pumpar och fläktar**

### **6.5.1 Probleminventering**

Liknande resonemang kring vikten av att välja rätt storlek och verkningsgrad gäller för pumpar och fläktar som för motorer (6.4.1). Eventuellt behov av kapacitetsreglering måste övervägas redan vid behovsanalysen. Problem i anläggningar med hänsyn till den långsiktiga funktionen gäller i första hand försmutsning av fläkt- och pumphjul samt underhåll av kraföverföringar (remmar, kedjor, växellådor m.m.).

Ett annat problem, som i första hand rör projekteringsstadiet, gäller dålig överensstämmelse mellan angivna data och faktiska prestanda för små cirkulationspumpar och fläktar. Felaktiga flöden i en anläggning, orsakade av detta förhållande, kan resultera i långvariga injusterings- och regleringsproblem.

### **6.5.2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning**

#### **6.5.2.1 Befintliga metoder**

Metoder för egenskapsredovisning finns i tillräcklig omfattning, främst i form av ISO-standarder, beträffande prestanda under stationära förhållanden.

#### **6.5.2.2 Pågående arbete**

Området är väl täckt beträffande traditionella frågeställningar. Något direkt nyskapande standardiseringsarbete är inte bekant.

#### **6.5.2.3 Behov av nya metoder**

Metoder för att bedöma livslängd och känslighet för försmutsning verkar saknas i nuläget. I synnerhet för fläktar vore en metod för standardiserad utvärdering av fläkthjulens känslighet för olika typer av försmutsning intressant.

### **6.5.3      Forskning**

#### **6.5.3.1    Pågående arbete**

Olika företag och institutioner arbetar i första hand med att förbättra strömningsmaskinernas verkningsgrad. För fläktar arbetar man också en hel del med försmutningsproblematiken samt med att utöka det kapacitetsområde som kan utnyttjas med hög verkningsgrad.

#### **6.5.3.2    Behov av nya projekt**

De problemställningar som ges i 6.3.3.2 har aktualitet även för pumpar och fläktar. Om metoder för att prediktera den långsiktiga försämringen av pumpars och fläktars egenskaper skall kunna utvecklas krävs en hel del forskningsinsatser.



## **6.6 Ventiler och spjäll**

### **6.6.1 Probleminventering**

Vanliga problem med spjäll och ventiler är försmutsning och korrosion samt nedbrytning av tätningsmaterial, vilket resulterar i läckage. Speciellt magnetventiler tenderar att med tiden bli otäta. För magnetventiler förekommer också en hel del brända spolar. Det är lämpligt att välja ventiler av en typ som har spänningslös spole i det läge som har flest driftstimmar, både ur livslängdssynpunkt och energisynpunkt. Läckande spindeltätningar kan resultera i fördärvade elektriska ställdon. Spjällmotorer har ofta en kort livslängd.

Ur systemsynpunkt betyder rätt vald reglerkaraktäristik och storlek på ventiler och spjäll oerhört mycket för att den regler tekniska funktionen skall klaras. Vid korrekt VVS-teknisk dimensionering kan funktionen ofta bli acceptabel även med ganska felställda regulatorparametrar. Förändring av reglerkaraktäristiken, på grund av försmutsning med mera, är dock vanlig.

### **6.6.2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning**

Se kommentarerna om pumpar och fläktar (6.5.2). För reglerventiler till processindustrin finns ett stort antal standarder från ISO och IEC (se ref. C1.101-C1.126) och CENELEC (ref. C1.132-C1.136). Europeiska krav för radiatortermostatventiler redovisas både i form av standarder (ref. C1.128-C1.130) och harmoniseringsdirektiv (ref. C1.130).

### **6.6.3 Forskning**

Se kommentarerna om pumpar och fläktar (6.5.3). Ett speciellt område utgörs av radiatortermostatventiler. Flera undersökningar indikerar att dessa ofta fungerar som "on-off"-ventiler i verkliga anläggningar. Kontroll av ventiler, som suttit ute i 5 år, har visat att reglerkaraktäristiken förändrats kraftigt.

## 6.7 Ställdon

### 6.7.1 Probleminventering

Ställdonsmotorerna har ofta problem. Fettsmorda växellådor kan tillföras så mycket värme att smörjningsförmågan går förlorad. Ur reglerteknisk synvinkel kan också ett med tiden ökande glapp, eller långa gångtider, bli problematiskt. Ibland kan också den erforderliga ställkraften bli alltför hög, t.ex. vid kärvande ventiler eller spjäll. Det är viktigt att det vid sådana tillfällen finns en mekanisk säkring mot överlast ("brottpinne" eller liknande).

Livslängden på elektriskt drivna ställdon uppges vara relativt kort, cirka 5-7 år. I tillämpningar som ställer krav på ofta återkommande aktivering, t.ex. i system med tappvattenvärmning med direktväxling, kan livslängden bli mindre än 2 år. Direktväxling av tappvatten ställer också stora krav på donens snabbhet. Ställdon med fjäderåtergång anges som särskilt utsatta för problem medan elektromagnetiska don är snabba och har litet slitage. De elektromagnetiska donen är däremot känsliga för det ökade krav på ställkraft, som föranleds av försmutsade ventiler (bra filtrering förordas). Det anses också att pneumatiska ställdon har bättre livslängd än elektriskt drivna under förutsättning att kvalitén på instrumentluften är acceptabel.

### 6.7.2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning

Bland befintliga metoder har endast metoder för standardisering av manöverriktningar (ref. C1.138) och montageförutsättningar (ref. C1.101, C1.102, C1.123) kunnat hittas. Naturligtvis är alla miljötålighetsstandarder tillämpliga även för ställdon (se t.ex. Nordtests sammanställning i ref. C1.23).

Behov av nya metoder kan föreligga exempelvis beträffande standardiserad provning och redovisning av gångtider samt redovisning av sannolik livslängd.

### 6.7.3 Forskning

Eftersom ställdon upplevs vara en komponent med livslängdsproblem borde det finnas ett behov av att analysera de viktigaste orsakerna till varför livslängden är ett bekymmer. Därefter kan man undersöka vilka möjligheter det finns till förbättringar av ställdonens driftförutsättningar samt vilka förändringar som behövs av komponenten ställdon. Det kan även behövas en del utvecklingsarbete och praktiska prov som bakgrundsmaterial vid utformning av provningsmetoder och standarder. I övrigt hänvisas till de generella frågeställningarna om BUD-problem, se t.ex. 6.2.3.2.

## 6.8 Givare

### 6.8.1 Probleminventering

Ett av de vanligaste problemen med givare är deras placering. Både i samband med intervjuer och vid genomgång av litteratur (se t.ex. ref. C3.68, C3.117-118) anges att felplacerade givare kan orsaka regler tekniska problem och att felplacering är ganska vanligt förekommande. Vidare saknas i vissa fall givare för funktioner som egentligen borde utrustats med givare för återföring av en åtgärds effekt (reglering istället för enbart styrning).

Av de vanligast förekommande givartyperna upplevs från många håll att fuktgivare är särskilt utsatta för problem med livslängd och funktion. Likaså tycks luftflödesgivare och filtervakter ofta vara utsatta för besvärande försmutsning, vilket också sätter ner den mättekniska funktionen. Temperaturgivare tycks i allmänhet klara sig ganska bra men ibland kan det förekomma problem med elektriska förbindningar, läckage i dykrör (vid fjärrvärme) och för stora stigtider (vid varmvattenreglering). Bland nya typer av givare råder viss osäkerhet beträffande långtidfunktionen för t.ex. koldioxid- och blandgasgivare för behovsstyrda ventilationssystem.

Ett allmänt problem är möjligheten till och kostnaderna för att utföra återkommande kontroll/kalibrering av givare. I dagens läge är nog den vanligaste situationen att ingen kontroll sker förrän någonting går sönder eller visningen bli uppenbart orimlig. Man har under senare år kunnat se ett stort antal driftproblem orsakade av felaktiga givare i mikrodatastyrda reglersystem.

Ett exempel ur den egna erfarenheten berör en utetemperaturgivare till en villainstallation med värmepump och oljepanna. Energibesparingen var låg och det fanns återkommande problem med värmepumpens avfrostning. Leverantören av utrustningen bytte dator vid inte mindre än sju tillfällen. I samband med ett besök av anläggningen kunde man se att oljepannan startade trots att det denna vårdag var 15 °C varmt ute och värmepumpen gick för fullt. En kontroll visade att utegivaren visade 5 °C fel. Detta gjorde att systemet lurades att tro att det inte nådde rätt framledningstemperatur enligt styrningens temperaturkurva. Därmed gick pannan regelbundet in och spetsade med värme, trots att inget värmebehov förelåg. Eftersom värmepumpens behovsstyrda avfrostning också var knuten till bl.a. utetemperaturen fungerade inte heller denna på avsett vis.

För debiteringsmätare ombesörjer energiverken en fortlöpande kontroll enligt "mätarlagen", men den kontrollen sker med ganska stora intervall. Dessutom kontrolleras givare för rena säkerhetsfunktioner i de fall lagen kräver sådan kontroll (t.ex. pressostater och termostater i kyl- och värmepumpanläggningar). Ofta går det vid en LCC / LCP-analys att sätta pris på mätfel/mätosäkerhet i form av ökad energiförbrukning, försämrat inneklimat m.m. och det kan, vid beaktande av detta, visa sig lönsamt att utföra en regelbunden kontroll (se även kapitel 4.3).

## 6.8.2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning

### 6.8.2.1 Befintliga metoder

SS-ISO 10 012-1 (ref. C1.90) är en kvalitetsstandard med inriktning mot kvalitetsssäkringskrav på mäturustning. Framförallt behandlar den rutiner för "metrologisk bekräftelse", d.v.s. hur man genom kalibrering eller annan typ av åtgärd säkerställer korrektheten av ett mätresultat. För den direkta kalibreringen av givare finns ett mycket stort antal metoder samt nationella och internationella standarder. För denna verksamhet hänvisas framförallt till ISO, Nordtest och svensk standard. Exempelvis behandlar ISO 7726 (ref. C1.72) instrument och metoder för att utvärdera det termiska inomhusklimatet. Termiskt inomhusklimat borde vara en viktig punkt på dagordningen vid besiktningen av en fastighet och därmed är metodik och instrumentering väsentliga för denna utvärdering. Det finns även ett antal handböcker, instruktioner och andra skrifter som är av intresse för kalibrering av givare inom området byggnadsautomation (se t.ex. ref. C2.75-C2.76). Exempel på en utmärkt handbok är ISO Standards Handbook 15: "Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits". I denna handbok finns samtliga ISO-standarder och andra tekniska dokument, som rör flödesmätning av vätskor i rör, samlade på ett mycket användbart sätt.

Beträffande en mer genomgripande funktionsprovning och egenskapsredovisning av givare är det sparsamt med metoder. Detta område behandlas framförallt av OIML, som inom området legal metrologi (av typen debiteringsmätning) utarbetat en mycket omfattande metodik för utvärdering av givare och mätsystem. Exempelvis finns internationella rekommendationer för vägningssystem, vikter, areometrar, flödesmätare, värmemätare m.m. Dessa rekommendationer har stort värde för beställarna av instrument eftersom de ger information om de mätekniska egenskaperna på ett väldefinierat sätt och samtidigt utvärderar de långsiktiga funktionsegenskaperna med avseende på miljötålighet, belastningscykler m.m.

IEC 751 (ref. C1.81-82) har en liknande, om än inte fullt så omfattande inriktning, beträffande egenskaperna för resistiva temperaturgivare av platina. Standarden bygger ursprungligen på en tysk DIN-norm. Dessutom finns några IEC-standarder som behandlar termoelement (ref. C1.77-79) samt en standard som behandlar mätvärdesomvandlare för växelspanning.

Slutligen behandlas mätvärdesomvandlare i allmänhet, främst med inriktning på industriell processkontroll, i dokumentserien IEC 770 (ref. C1.83-84). Både utvärdering av prestanda och metoder för rutinkontroll ingår. Analoga signalsnitt är av tradition relativt väl standardiserade även om vissa tendenser till sänkta matningsspänningar resulterar i motsvarande lägre utsignalnivåer.

Tyvärr kan konstateras att referenser till befintliga standarder, i den mån några standarder finns, ofta är dåliga. Dessutom saknas ibland viktiga egenskaper i befintliga standarder.

### 6.8.2.2 Pågående arbete

Visst arbete pågår, i huvudsak beträffande revidering av standarder inom ISO och OIML. Det pågår även en del arbete rörande revidering av NVG-skriften T32:1982 "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer". I viss mån diskuteras också signalsnitt för givare, som kommunicerar digitalt med det överordnade systemet. Marknaden för s.k. "intelligenta givare" med busskommunikation är än så länge relativt begränsad. Emellertid har försäljningen i Sverige ökat med 50 % per år sedan 1989.

### 6.8.2.3 Behov av nya metoder

För system av typen byggnadsautomation används i allt högre grad givare av olika typer för att styra luftens temperatur, tryck, flöde, fuktighet och allmänna sammansättning. Vidare förekommer temperatur-, tryck- och flödesgivare för att reglera värmesystem samt ström- och spänningsomvandlare, energi- och effektmätare, frekvensmätare m.m. för laststyrning och energiteknisk optimering. Inom samtliga dessa områden finns ett tydligt behov av provnings- och redovisningsmetoder enligt OIML-modell (finns till mätare för värme och elektrisk energi).

Det anses föreligga ett behov av uppdatering av den svenska symbolstandarden för givare. Nyttillkomna givartyper finns inte representerade i tillräckligt hög grad. Dessutom bör olika typer av montage kunna särskiljas på ett bättre sätt redan på ritningsstadiet.

Signalsnitt och kommunikationsprotokoll behöver standardiseras för givare som kommunicerar digitalt med omvärlden. Det föreligger ett stort behov av en internationellt accepterad fältbuss. För närvarande finns nästan lika många alternativ som leveratörer av givare (t.ex. Bell 202, Can, DIN 19 244, Fipbus, Foxboro, Fuji, Hart, Honeywell, ISP, Mobus, Profibus, Rackbus, RS 232, RS 422, RS 485, SP 50, TA-line m.fl.). Enligt Preuss (ref. C3.119) håller givare med HART-protokoll på att få en stark ställning i Tyskland.

## 6.8.3 Forskning

### 6.8.3.1 Pågående arbete

Inom området givare för behovstyd ventilation har en omfattande utvärdering gjorts i IEA's regi. Fahlén et al beskriver (ref. C2.76) ett omfattande provningsprogram för egenskapsredovisning och miljötålighet av givare för fukt, koldioxid och "luftkvalitet" (VOC). Resultaten från utvärderingen visar att många givare, framförallt för fukt och VOC, haft betydligt sämre mättekniska egenskaper och miljötålighet än vad som framgått av tillverkarnas datablad.

Fransson har i ett Nordtestprojekt redovisat erfarenheterna från en utvärdering av givare för låga lufthastigheter (SP-Rapport 1992:06). Givarna används bl.a. för komfortmätningar i byggnader. Andra exempel på erfarenheter från utvärdering av givare redovisas av Fahlén beträffande temperaturgivare (SP-AR 1987:30) och små flödesmätare (SP-AR 1990:45).

### 6.8.3.2 Behov av nya projekt

Det finns helt klart ett stort behov av forskning och utveckling beträffande givare för styr- och regler tekniska installationer i byggnader. Oavsett graden av sofistikerad på det överordnade systemet kan resultatet av styr- och regler tekniska åtgärder aldrig bli bättre än den information systemet erhåller från sina givare. Bland annat behövs forskning beträffande nya givartyper. Förslag till sådan forskning kan vara utveckling av billiga, robusta och tillförlitliga givare för luftflöde och lufthastighet. Andra exempel är vidareutveckling av koldioxid- och VOC-givare, givare för filtervakter, kombinerade VOC-givare/elektrostatfilter för reglering av uteluft/återluft m.m.

Vidare behövs metodutveckling för att på ett bra och harmoniserat sätt beskriva givarernas statiska och dynamiska mättekniska egenskaper i form av stig- och falltider, uppvärmningstid, stabilitet, reproducerbarhet, linjäritet, hysteres m.m. Dessutom behövs ytterligare erfarenhetsåterföring för att kunna utveckla metoder för att utvärdera givarernas långsiktiga funktion i form av risk för försmutsning, störningsimmunitet, utbytbarhet, funktionskontroll, kalibrering o.s.v.

Rejdin och Hellström (ref. C2.73) redovisar problemställningar beträffande systemintegration av givare. För "intelligenta byggnader" och byggnader med BEMS, EMCS m.m. är utveckling av tillförlitliga givare en grundförutsättning för systemens funktion. Man kan i detta sammanhang urskilja sex utvecklingsnivåer,

1. Signal/storhet - enhetsomvandling,
2. Miljökompensation,
3. Kommunikation i nätverk,
4. Systemdiagnos,
5. Logik/handling,
6. Artificiell intelligens.

Stora forskningsinsatser görs för att utveckla givare som bygger på fiberoptiska och mikromekaniska principer. Vidare arbetas mycket med olika typer av intelligenta givare. Dessa karaktäriseras av att de flesta funktioner, som ligger i de sex nivåerna ovan, finns inbyggda direkt i givaren.

## 7 Driftsättning

Återigen måste betydelsen för den slutliga anläggningens användbarhet av följande punkter betonas:

- *Kundens intresse*
- *Konsultens kompetens*

Det är ansträngningarna i planerings- och upphandlingsskedet som nu skall bära frukt. Med genomtänkta och väldokumenterade rutiner för att genomföra driftsättning och funktionskontroll underlättas arbetet och anledningar till kontroverser minskar.

### 7.1 Allmänna systemaspekter

I samband med komplexa styr- och reglersystem, exempelvis vid integrerade BEMS eller EMCS-anläggningar, är det särskilt viktigt att en plan för systematisk funktionskontroll utarbetas redan i projekteringsstadiet. Det är lämpligt att införa olika möjligheter att störa systemet för att därmed kunna testa styr- och reglerfunktionerna på ett bra sätt. En grundläggande förutsättning för att på ett rationellt och effektivt sätt kunna utföra en injustering och funktionskontroll av den styr- och regler tekniska anläggningen är att adekvat dokumentation finns tillgänglig i god tid före anläggningens överlämnande samt det kanske allra viktigaste: De byggnadstekniska och VVS-tekniska delarna måste vara färdiga, injusterade och funktionskontrollerade. Ordningsföljden för driftsättning och funktionskontroll bör således vara:

- Besiktning av byggnaden
- Igångkörning och injustering av VVS-installationer
- Igångkörning och injustering av styr- och reglersystemet
- Funktionskontroll av VVS-installationer
- Funktionskontroll av styr- och reglersystemet (kontroll av enskilda funktioner)
- Samordnat funktionsprov (systemprovning av den totala funktionen enligt avtalat provningsprogram)
- Avslutning av anläggningsdel (godkännande och överlämnande av drifts- och skötselinstruktioner och annan nödvändig dokumentation)
- Utbildning (i första hand på den specifika anläggningen)

Det är väsentligt att de grundläggande funktionerna för byggnad och installationer är säkerställda innan injustering och funktionskontroll av reglersystemet påbörjas. Allt för ofta måste reglerföretagen agera besiktningsförrättare med avseende på VVS-installationerna för att det skall finnas rimliga möjligheter att få styr- och reglersystemet att fungera.

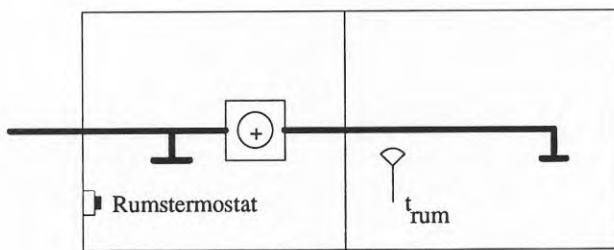
### 7.1.1 Probleminventering

Som redan framgått av de inledande synpunkterna är ett av de största problemen att den grundläggande funktionen och injusteringen av de VVS-tekniska installationerna ofta är bristfällig. Flera intervjuade personer har efterlyst kontrollprogram för funktionskontroll av styr- och reglerutrustning. Detta börjar också tas upp av allt fler leverantörer som viktiga delar av ett övergripande kvalitetssäkringssystem.

En annan övergripande synpunkt är att funktionskontrollerna i driftsättningsfasen måste tas på större allvar. Därvidlag har beställaren ett stort ansvar när det gäller att ställa krav på korrekt funktion för komponenter, anläggningsdelar och det totala systemet. Någon form av kontroll utförs i regel men exempelvis de regler tekniska egenskaperna utvärderas ytterst sällan.

En positiv utveckling, som tagit fart under senare år, är tillgången till olika typer av självdiagnosticerande system. I och med det ökande antalet mätpunkter i anläggningarna och tillgången till datorkapacitet finns det stora möjligheter till att vara brukaren för begynnande problem, att informera om service- och kalibreringsbehov samt att ge kontinuerlig information om anläggningens allmänna status. Dessa möjligheter bedöms som en mycket stor tillgång bland exempelvis drifts- och servicepersonal. Samtidigt medför det ökande antalet mätpunkter i sig ett ökat behov av självdiagnostik beträffande givarfunktionen. Erfarenhet från datoriserade anläggningar visar att just givarfel är en vanlig orsak till felfunktion eller felaktiga larm.

Ett exempel på problem, som kunnat upptäckas med en planerad driftsättningskontroll, illustreras i figur 7.1. I samband med en ombyggnad delades ett antal genomgående, långsmala rum, på mitten med hjälp av nya innerväggar. Avgreningar på de ursprungliga tilluftskanalerna såg till att även de nya rummen försörjdes med friskluft. Tyvärr hamnade avgreningarna på "fel" sida av den befintliga eftervärmaren. Dessutom utnyttjades de befintliga rumsternosterna och rumsgivarna med påföljden att givaren hamnade på den ena sidan av den nya väggen och termostaten på den andra. Slutresultatet blev att när man frös i rum 1 och drog på termostaten fick man fortfarande lika kall luft medan personerna i rum 2 fick allt varmare.



Figur 7.1. Ett exempel på problem som kunnat upptäckas med en planerad driftsättningskontroll.



## 7.1.2 Metoder och standarder

ASHRAE har utarbetat två standarder som har relevans för driftsättning och funktionsprovning. ASHRAE Guideline 1 (ref. C1.46) behandlar samtliga faser i upphandlingen av VVS-tekniska installationer, t.ex. behovsanalys, projektering, installation, funktionskontroll vid överlåtande, dokumentation och utbildning samt funktionskontroller i samband med det löpande drifts- och underhållsarbetet. ASHRAE 111 (ref. C1.47) innehåller detaljerad information om mätning, provning och injustering av luft-, vatten- och kylinstallationer. För kvalitetssäkring av mätningar finns den i Sverige accepterade internationella standarden SS-ISO 10 012-1 (ref. C1.90).

För att verifiera slutresultatet av en styr- och reglerteknisk installation, med avseende på termisk komfort och ventilation, finns flera standarder och metodanvisningar. Exempelvis finns för termisk komfort ISO 7730 (ref. C1.2), ASHRAE 55-1981 (ref. C1.44), "Termiskt inomhusklimat" (ref. C1.40) från socialstyrelsen m.fl.

På ventilationssidan finns ännu fler riktlinjer att välja på. Detaljerade anvisningar har utarbetats av SP i rapporten "Funktionskontroll av ventilationsinstallationer" (ASS, rapport H23). Mera övergripande information om referensvärden m.m. finns exempelvis i ASHRAE 62 (ref. C1.45) och Svenska Inneklimatinstitutets rapport R1 (ref. C1.42).

När det gäller utvärdering av de rena styr- och reglertekniska funktionerna finns det inte fullt så mycket att välja på. Den danska standarden DS 468 innehåller ett kapitel med rubriken "Funktionsprovning, inreglering och efterjustering". Tillämpningen beskrivs av Aggerholm i en artikel (ref. C3.84). Dessutom behandlar exempelvis Aggerholm och Reinhold funktionsprovning av programmerbar värme- och ventilationsautomatik i samband med datoriserade system (ref. C2.62).

Inom området funktionskontroll av styr- och reglertekniska installationer finns helt klart ett behov av svensk och internationell standard. Detta framgår inte minst av probleminventeringen i avsnitt 7.1.1.

## 7.1.3 Forskning och utveckling

På forskningssidan finns ett visst behov av metodutveckling för att på ett standardiserat sätt utvärdera de reglertekniska funktionerna i en anläggning. Det finns även behov av att strömlinjeforma och "kundanpassa" de olika datoriserade simulerings- och analysverktyg som numera finns att tillgå.

## 7.2 Datoriserade system

I detta avsnitt kommer i första hand programvarurelaterade problem att behandlas eftersom det är en del av driftsättningen som gärna blir lite svårgripbar och suddig i konturena och som därmed gärna glöms bort i kontrollskedet. Beträffande övrig utvärdering av datoriserade system behandlar exempelvis Aggerholm och Reinhold, som tidigare nämnts, funktionsprovning av programmerbar värme- och ventilationsautomatik i en visserligen tunn men ändå relativt nyttig skrift (ref. C2.62).

### 7.2.1 Probleminventering

En viktig del av driftsättningsarbetet av datoriserade system, exempelvis av typen BEMS, EMCS etc., är att validera programvarans funktion. Innehållet i detta avsnitt är huvudsakligen taget ur en SP-rapport av Jacobson et al (ref. C2.67).

#### 7.2.1.1 Validering av programvara

Generellt kan man konstatera att all programvara innehåller fel. Den centrala fråga, som valideringen skall kunna besvara jakande eller nekande, är i första hand om programvaran är *tillräckligt* bra för att börja användas. Avsikten med en validering är att bekräfta att programmet uppfyller den avtalade specifikationen. "Tillräckligt bra" är alltså detsamma som att inga fel upptäcks när man provar enligt den i förväg uppgjorda specifikationen.

Validering skiljer sig från den verifiering, som görs under själva programmeringen. Enkelt uttryckt kan *verifiering* sägas vara en process för att visa att *en produkt är utvecklad på ett korrekt sätt* medan *validering* är en process för att visa att *rätt produkt är utvecklad*. Verifiering skall göras efter varje fas i utvecklingen medan validering skall göras på den färdiga produkten. En provning (verifiering) under utvecklingsarbetet kan därmed inte ersätta en validering. Båda typerna av utvärdering behövs.

Valideringen skall i första hand utföras av en person, som inte varit med under programutvecklingen. Det är alltid lättare att hitta andras fel än sina egna. Missuppfattningar, vilka skett under konstruktionsarbetet, kan enklare hittas av en person som inte tidigare deltagit i arbetet. För mindre program kan man undantagsvis låta samma person som programmerat utföra även valideringen. Vid utvärdering av stora program kan flera personer delta i valideringsarbetet; förslagsvis användaren, programmeraren och någon som inte alls känner systemet.

Det är önskvärt att validera hela programvaran i ett sammanhang. Om detta inte går skall man alltid sträva efter att arbeta med så stora delar som möjligt. Det bör samtidigt observeras att man som regel inte kan validera en programvara oberoende av vilken datormiljö den används i. Valideringen av programvaran blir därigenom också ett prov av hela datorsystemet.

När en programvara ändras skall valideringen göras om. I vissa fall är det möjligt att i förväg bedöma vilka delar av programvarans funktion som berörs av ändringen, så att inte hela valideringen behöver upprepas. Det är också viktigt att komma ihåg att valideringen förutsätter att själva datorn eller dess kringkomponenter är oförändrade. Om datorn, dess operativsystem eller dess kringutrustning byts kan det således bli nödvän-

dig att göra om valideringen. Även skenbara förbättringar (t.ex. en snabbare dator, som snabbar upp programexekveringen) kan ge oönskade effekter på programmet.

Vid automatisering med datorer måste någon typ av gränssnitt ("interface") användas mellan datorn och dess omvärld. Hur snabbt datorn kommunicerar med gränssnittet och hur snabbt gränssnittet kommunicerar med den styrda utrustningen är av avgörande betydelse för om styrningen kommer att fungera eller inte. Flera användare har gjort den upptäckten att en process, som styrs av en "gammal och långsam" dator och fungerat väl, slutat att fungera (helt eller delvis) då datorn bytts ut mot en ny och snabbare variant. Felfunktionen har berott på att datorn "kört om" gränssnittet. Förutom byte av dator kan denna typ av problem uppstå om en nyare version av operativsystem används eller nytt gränssnittskort/nya drivrutiner används. Leverantörer av datorer och kringutrustning säger oftast att nyare produkter är kompatibla bakåt men det är inte alltid detta stämmer i praktiken.

Fel som upptäcks under valideringen skall naturligtvis åtgärdas. Programvaran blir dock aldrig helt felfri utan bara "tillräckligt bra" för sitt syfte. Kända svagheter i programmet, t.ex. skönhetsfel i resultatpresentationen, kan möjligen accepteras. Ett fel som inverkar menligt på funktionen skall däremot alltid korrigeras.

Ofta utvecklas datorprogram av mer "kvalificerad" personal än de som senare skall använda dem i det dagliga arbetet. När ett program är utprovat av "kvalificerad" personal bör det även undersökas hur det fungerar när någon, som inte är "expert", utnyttjar det. Ofta kommer denna person att åstadkomma oväntade saker, som kan kräva att programmet ändras. Även programmets användarvänlighet kan på detta sätt förbättras.

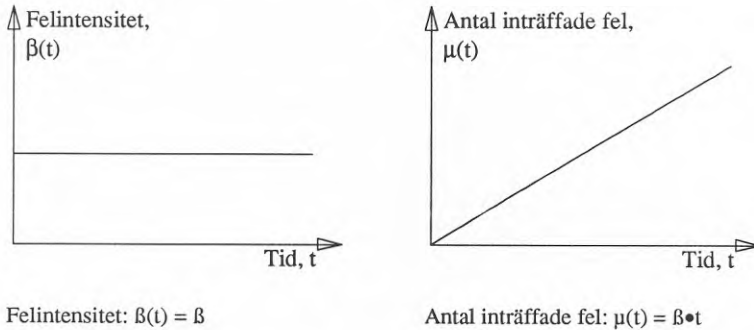
Det arbete, som läggs ner på validering, lönar sig alltid. Fel skall upptäckas och korrigeras så tidigt som möjligt. Om programmet tas i bruk och orsakar funktionsstörningar blir arbetsinsatsen för att gå tillbaka och göra korrekationer mångdubbelt större än den insats som krävts för att validera programmet. Det bör observeras att även välkända standardprogram kan ge oönskade resultat. Programmen används kanske på ett sätt som inte var tänkt från början och kan därigenom orsaka felaktigheter. Sammanfattningsvis kan således konstateras att en validering är nödvändig därför att:

- Hela programvaran måste utprovas
- Hela datorsystemet måste provas i sin rätta "miljö"
- Utprovnigen måste göras systematiskt och ge ett sammanfattande resultatet
- Sparade testfall gör utprovnigen upprepningsbar
- Den görs av en person som inte arbetat med programmeringen.
- Det är god ekonomi att upptäcka fel på ett tidigt stadium.

### 7.2.1.2 Felintensitet

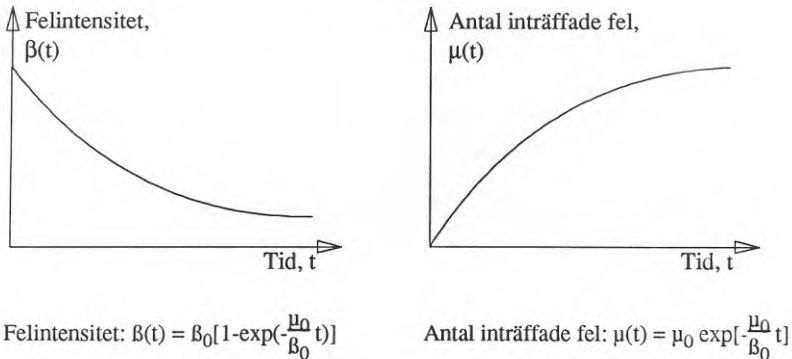
En godkänd validering innebär att inga fel enligt specifikationen hittas. Trots detta är det troligt att brister kommer att upptäckas när programmet börjar användas. Vikten av att finna och korrigera fel i programvaran kan visas som sambandet mellan felintensitet och det totala antalet inträffade fel. Under utvecklingsarbetet kommer man sannolikt att hitta många fel, vilka successivt korrigeras. Vid den avslutande valideringen är felintensiteten förmodligen redan från början lägre.

Om programvaran inte förändras kommer felintensiteten att vara konstant. Med konstant felintensitet kommer antalet inträffade fel att växa linjärt med tiden som programvaran används (se figur 7.2). Om däremot en programvara korrigeras när fel upptäcks kommer felintensiteten att minska. Detta medför att antalet inträffade fel inte växer lika snabbt (se figur 7.3). Efter en tids användning av programmet kommer det att märkas att en programvara som kontinuerligt provas och korrigeras, blir betydligt mera tillförlitlig.



Figur 7.2. Programvara som inte förändras (ref. C2.67).

Programvaran är inte tillräckligt bra för att börja användas om inte en ursprungligen hög felintensitet har börjat sjunka. I de fall felintensiteten redan från början är låg kan det emellertid vara svårt att urskilja hur tillförlitligheten ökar då upptäckta fel korrigeras. Exempel på modeller för att avgöra när utprovningen kan avbrytas ges exempelvis av Musa och Ackerman ("Quantifying Software Validation: When to stop testing?", IEEE Software, maj 1989). Där motiveras också valet av olika felmodeller.



Figur 7.3. Programvara där upptäckta fel successivt korrigeras (ref. C2.67).

### 7.2.1.3 Dokumentation av validering

En provningsplan måste utarbetas och dokumenteras redan i samband med upprättandet av kravspecifikationer i projekterings- och upphandlingsskedet. Provningsmomenten skall utformas så att de är upprepningsbara. Valideringsplanen kan t.ex. beskriva vilka indatasekvenser som skall kunna hanteras och vilka felaktigheter i indata och handhavande som systemet skall klara. Resultatet skall sedan också dokumenteras skriftligt. Om det finns kända begränsningar, vilka kan ge problem i framtiden, skall dessa anges. Valideringen kan inte betraktas som avslutad innan den finns dokumenterad. Dokumentationen är också viktig för att utprovningen skall kunna upprepas vid senare tillfällen. Det skall i detta sammanhang också dokumenteras i vilken datormiljö programmet validerades (typ av dator och version på operativsystem är exempel på faktorer som kan inverka på resultatet).

### 7.2.1.4 Sammanfattning av valideringsaktiviteter

Diskussionen kring valideringsproblematiken kan sammanfattas i följande punkter:

- Validering skall utföras innan en programvara tas i bruk.
- En person, som inte utfört själva programmeringen, bör utföra valideringen.
- Förändring av programvaran, datorsystemet eller specifikationen medför att valideringen skall göras om.
- En beskrivning av valideringens utförande skall finnas.

## 7.2.2 Metoder och standarder

Tillämpliga standarder beträffande driftsättning av programvarustyrda system är framförallt SS-ISO 9000-3 (i begränsad omfattning) samt olika amerikanska militärstandarder.

## 7.2.3 Forskning och utveckling

Inom IEA's båda annex 16 och 17 (ref. C3.88) för byggnadsautomation arbetar man med problem som även berör driftsättning av datoriserade styr- och reglersystem. Ett visst behov av ytterligare utvecklingsarbete beträffande valideringsaktiviteter kan finnas.

## 7.3 Regulatorer

### 7.3.1 Probleminventering

Det tycks vara en allmänt utbredd uppfattning att det sällan är några problem med regulatorerna i sig. De fel som uppträder härrör i första hand från brister i den elektriska inkopplingen. Däremot är, som tidigare nämnts, felinställning av regulatorparametrar vanligt förekommande. Detta hänger ofta ihop med att

- Planer för intrimning och funktionskontroll saknas
- Otillräckliga resurser har avsatts för intrimningsfasen
- Personal med rätt kompetens för arbetet saknas
- Regulatorutvecklarens instruktioner är bristfälliga eller för komplicerade
- De VVS-tekniska installationerna inte fungerar tillräckligt bra för att en intrimning av regulatorerna skall vara meningsfull.

### 7.3.2 Metoder och standarder

Novakovic (ref. C3.28) beskriver i en artikel hur man med hjälp av simuleringsprogrammet HVAC-Dynamics kan underlätta såväl projekterings- som driftsättningsfasen av VVS-tekniska anläggningar. Det finns idag många exempel på datoriserade hjälpmedel, som kan användas i samband med driftsättning av komplicerade anläggningar. Inom detta område finns ett behov att standardisera simulerings- och kontrollprocedurerna för att lättare kunna jämföra resultat från olika anläggningar och därmed underlätta tolkningen av resultaten och den kontinuerliga erfarenhetsåterföringen. Synpunkterna gäller både system med traditionella regulatorer och DDC-system.

### 7.3.3 Forskning och utveckling

Funktionskontroll i laboratoriemiljö finns behandlad i en Nordtestmetod (ref. C1.68). Det är naturligtvis möjligt att realisera en bärbar version av den utrustning som beskrivs i metoden för att kontrollera funktionen på installerade regulatorer. Här kan en del utvecklingsarbete vara nödvändigt.

Traditionella tumregelsmetoder, t.ex. Ziegler-Nichols metod, för parameterutval till PI- och PID-regulatorer tenderar att ge onödigt dåliga stabilitetsmarginaler. Det finns idag betydligt effektivare PC-baserade verktyg, som både analyserar systemet och ger besked om lämpliga inställningar. Det finns även möjlighet att med "analysatorn" helt överta systemets reglerfunktioner och direkt i anläggningen studera resultatet av olika inställningar.

En omfattande utveckling har bedrivits vid de tekniska högskolorna inom området systemsimulering och arbetet pågår fortfarande. Det finns emellertid ett behov av ytterligare forskningsinsatser med inriktning mot erfarenhetsåterföring från tillämpningar i verkliga anläggningar. I viss mån finns sådana resultat rapporterade (t.ex. Novakovic, ref. C3.28) och en del internationellt arbete pågår inom IEA annex 16 och 17. Publicerade resultat finns emellertid fortfarande i mycket begränsad omfattning.

## **7.4 VVS-installationer**

### **7.4.1 Probleminventering**

Från flera håll påtalas vikten av att de grundläggande VVS-tekniska installationerna fungerar på avsett vis för att den styr- och reglertekniska delen skall fungera. Detta har framhållits åtskilliga gånger i denna rapport och kan tyckas självklart. Den praktiska erfarenheten pekar emellertid på nödvändigheten av att ständigt påminna om detta förhållande. I övrigt hänvisas till kapitel 6.4-6.8.

### **7.4.2 Metoder och standarder**

Det finns åskilliga standarder som beskriver kravnivåer och mätförfarande för exempelvis värme- och ventilationsanläggningar. Många företag har också utarbetat egna riktlinjer för driftsättning av de VVS-tekniska installationerna. Däremot saknas en svensk motsvarighet till "ASHRAE Guideline 1-1989 (ref. C1.46)" och "ASHRAE standard 111-1988" (ref. C1.47), vilka behandlar driftsättning och överlåtande av kompletta anläggningar.

### **7.4.3 Forskning och utveckling**

I första hand finns behov av metodutveckling och systematisering av befintlig kunskap för att utforma standarder och rekommendationer för driftsättning av kompletta anläggningar (se 7.4.2).

## 8 Drift och underhåll (DU)

Det yttersta ansvaret för att drift och underhåll av en anläggning sköts på ett tillfredsställande sätt vilar helt och hållet på anläggningens innehavare. Även om det löpande arbetet läggs ut på serviceföretag är det ändå brukaren som bestämmer vilka resurser som avsätts till denna verksamhet, som väljer vem som skall utföra arbetet och som följer upp resultatet. Återigen är det en fråga om intresse och motivation, i detta fall

- *Ägarens intresse,*

som är avgörande för verksamhetens slutresultat.

DU-verksamheten börjar redan under projekterings- och upphandlingsfasen. I den mån LCC/LCP-analyser tillämpas vid upphandlingen måste man också bestämma omfattningen av och sätta pris på planerade DU-aktiviteter. I övergripande termer kan DU-verksamheten under ett systems livstid indelas i:

- Planering (behovsanalys)
- Anskaffning (upphandling)
- Användning (aktiv DU-fas)
- Avveckling (t.ex. försäljning eller destruktion, eftervård, dokumentation)

Den aktiva DU-fasen kan i sin tur delas in i tre huvudgrupper,

- Förebyggande underhåll
- Korrigerande underhåll
- Modifierande underhåll

I övrigt hänvisas till IEC 706 (ref. C1.31) för en mer ingående diskussion om förutsättningar och åtgärder med avseende på drift och underhåll.

### 8.1 Allmänna systemaspekter

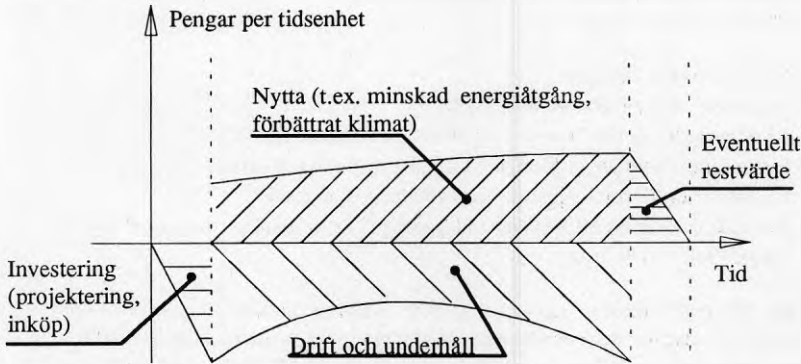
En stor del av del av de VVS-tekniska installationerna i byggnader har många drift-timmar per år och därmed blir ofta DU-kostnaderna av större betydelse, totalt sett, än kostnaderna för den ursprungliga investeringen. Som nämnts tidigare är investeringskostnaderna för många pumpar och fläktar bara några procent av DU-kostnaderna. Detta gäller även för styr- och reglersystemen, om än inte lika påtagligt. Figur 8.1 visar ett försök att illustrera relationerna mellan investering, DU-kostnader och värdet av den nytta som systemet producerat.



### 8.1.1 Ekonomi

I initialskedet har man enbart kostnader, t.ex. för projektering och upphandling. Efter driftsättningen börjar systemet leverera "nytta", till att börja med i begränsad omfattning. Allteftersom kantigheter i funktionen filas bort ökar värdet av nyttan medan kostnaderna för produktionen (d.v.s. DU-kostnaderna) minskar. Även prisutvecklingen för köpt energi, tjänster och material m.m. påverkar naturligtvis de inbördes relationerna mellan kostnader och intäkter för systemet.

Alla system har en begränsad teknisk eller kommersiell livslängd och efter en viss period kommer DU-kostnaderna för systemet att börja öka markant. När DU-kostnaden per tidsenhet blir högre än intäkten per tidsenhet av "nyttan" börjar det bli dags att förnya systemet. Om investeringen varit lönsam skall den positiva ytan vara större än den negativa ytan i figur 8.1.



Figur 8.1. Illustration av betydelsen av kostnader för drift och underhåll i relation till investeringens storlek.

För anläggningar med komplicerade system kan det vara nödvändigt med experthjälp. Ett väletablerat samarbete med den ansvarige leverantören, gärna i form av serviceavtal, upplevs av många användare som oerhört angeläget för systemets långsiktiga funktion. Lundberg (ref. C3.21) uppger att erfarenheterna av de större reglerföretagens service oftast är positiv. Det är emellertid fortfarande oerhört angeläget att den finns en underhållsansvarig person hos brukaren så att möjligheten till att föra en konstruktiv dialog mellan brukare och leverantör upprätthålls (ägarens intresse!). Kostnaden för serviceavtal upplevs ofta som betungande men då värderar man sällan den ökade intäkten av en väl fungerande anläggning. Erfarenheterna pekar mot att det vanligen är billigare och bättre att förebygga än att avhjälpa fel. Hagberg och Henriksson (ref. C3.11) understryker vikten av att ta hänsyn både till intäkts- och utgiftssidan av DU-verksamheten.

## 8.1.2 Dokumentation

Ett väl fungerande system för dokumentation är en förutsättning för att bedriva DU-verksamhet på ett bra sätt. Enligt Nybyggnadsreglerna § 9:4 (ref. C1.36) finns det också formella krav på dokumentation, vilka omfattar även styr- och övervakningsutrustning:

"För mekaniska och elektriska anordningar i byggnader skall det finnas instruktioner om kontroll, handhavande och underhåll av anordningarnas funktioner. Vid byggnadens slutförande skall anordningarna vara injusterade så att de uppfyller ställda funktionskrav."

Rekommendationer om vad drifts- och skötselansvisningar bör innehålla finns att tillgå på många håll (t.ex. ref. C2.41-42). Viktigt är att utformningen är anpassad till behov och kompetensnivå för den målgrupp den riktar sig till. Detta betyder att det kan bli nödvändigt med flera varianter av informationsmaterial. Huvudmoment i DU-instruktionerna kan exempelvis vara :

- Orientering om fastigheten,
- Apparater och komponentförteckning,
- Ritningsunderlag och beskrivning av inställningsvärden,
- Instruktioner som anger funktion, felindikering och felsökning,
- Instruktioner för förebyggande och avhjäljande underhåll,
- Instruktioner för att följa upp en anläggning (t.ex. driftstider, energiförbrukning, utbytesfrekvens m.m.)

Lämpligt utformade driftkort utgör ett gott stöd i DU-verksamheten. Dessa bör finnas för varje funktionsenhet som omfattar en eller flera huvudapparater. Korten skall finnas både i den centrala driftsinstruktionen och i anslutning till den utrustning de avser. Principskisser eller fotografiska illustrationer underlättar förståelsen för beskrivningen av de moment som behöver utföras.

Med tanke på den alltmer ökande komplexiteten i styr- och övervakningssystemen och med hänsyn till hur snabbt datorsystem "pensioneras" är dokumentationen oerhört väsentlig (se även 8.2.1). Förutom att dokumentationen måste föreligga på flera olika nivåer är det också viktigt att den är anläggningsspecifik, d.v.s. att den beskriver en viss bestämd anläggning inklusive eventuella ändringar och avvikelser som tillkommit under projekterings gång. Dessutom måste dokumentationen uppdateras kontinuerligt allteftersom nya ändringar införs (se även kapitel 4).

## 8.1.3 Funktionskontroll

För komplexa styrsystem är det väsentligt att en plan för systematisk funktionskontroll utarbetas redan i projekteringsstadiet. Möjligheter att införa störningar i systemet för att testa styrfunktionerna bör därvid beaktas. En förutsättning för en rationell och effektiv injustering är dessutom att en adekvat dokumentation finns tillgänglig i god tid före anläggningens överlämnande. Det kan vara lämpligt att vid upphandlingen särskilt beakta det branschspecifika tillägget till AB 72 "Villkor för styr-, regler- och övervakningsentreprenader SRE 89" (se även kapitel 4).

### 8.1.4 Probleminventering

Allmänt anses att elektronik sällan är något stort problem beträffande drift och underhåll. Det finns uppgifter om att vissa utrustningar har fungerat utan problem sedan 1950-talet. Däremot kan tillfälliga störningar i elektroniksystem, även om de inte medför behov av reparation av elektronikkomponenter, indirekt medföra omfattande åtgärder i andra systemdelar (se t.ex. avsnitt 6.2.1).

Beträffande den aktiva DU-fasen uppges i intervjuerna att ett problem är fastighetspersonalens bakgrund. Den övervägande delen av driftsansvarig personal har en bakgrund som byggnadsingenjörer/tekniker. Historiskt sett har därför intresse och kunskap om installationernas drift och underhåll varit bristfälligt. Utan att ha tillgång till någon statistik i denna fråga kan detta varken bekräftas eller dementeras i denna rapport. Större byggnader, av typen sjukhus och liknande, har dock oftast kvalificerad driftspersonal.

För att råda bot på svårigheterna med DU av komplicerade anläggningar säljer ofta stora leverantörer av styr- och reglersystem olika former av servicekontrakt. Från en del håll uppges att man tidigare anlitate konsulter på driftssidan, men att man numera sköter detta i egen regi. I detta sammanhang anses också att avsaknaden av möjligheter till mätning för funktionskontroll är ett generellt problem. Dessutom finns det sällan tid eller kompetens för att kontrollera att reglertekniska funktioner bibehålls; eventuellt utförs någon form av kontroll i samband med akuta problem.

Det anses också från flera håll att kompetensen hos både beställare och konsulter ofta är bristfällig. Däremot framförs både i intervjuer och i tidningsartiklar positiva omdömen om de stora leverantörernas sätt att sköta utbildningen på levererade system. Detta är mycket glädjande eftersom utbildningsfasen är ett oerhört viktigt inslag i arbetet för att lägga en solid grund för DU-verksamheten. Viss kritik framförs dock mot utformningen av dagens DU-instruktioner.

### 8.1.5 Metoder och standarder

Det finns ett antal standarder från IEC och ISO som behandlar problem med tillförlitlighet och kopplingen till planerat drift och underhåll. En del av dessa standarder finns även utgivna som svenska standarder. SS-IEC 706 (ref. C1.31) består av flera delar och behandlar tillförlitlighet och utrustningars underhållsmässighet. Standarden innehåller även relativt detaljerade beskrivningar av underhållets planering och genomförande ända från upphandlingsskedet. Man betonar också relationerna mellan säljare och köpare och ansvarsfördelningen mellan dessa parter.

ISO 9000-4 / IEC 300-1 (ref. C1.27) behandlar också tillförlitlighet och hur man genom allmänna kvalitetssäkringsrutiner förbättrar förutsättningarna för den långsiktiga tillförlitligheten. I detta arbete ingår drift och underhåll som en viktig del. Det finns även flera IEC-standarder som behandlar funktionssäkerhet (ref. C1.28-30).

Inom IEC 65A (ref. C1.48-49) pågår standardisering av programmerbara elektroniska system, främst med inriktning mot funktionssäkerhet. Särskilda avsnitt behandlar även drifts- och underhållsstrategier.

Statens Energiverk har tagit fram en allmän handledning för utformningen av drifts- och underhållsinstruktioner (ref. C2.42). Det finns även allmänna krav på instruktioner i Nybyggnadsreglerna (ref. C1.36) och, något mer detaljerat, i den tidigare byggnormen SBN 80 (ref. C1.41).

### 8.1.6 Forskning och utveckling

Datoriserade system för styrning och uppföljning av DU-verksamhet blir allt vanligare. En studie av det faktiska utfallet av att införa denna typ av system i ett antal anläggningar vore nyttigt att genomföra. En noggrant genomförd efterkalkyl på förhållandet mellan kostnad och nytta är av stort intresse som underlag för framtida investeringar i drift och underhåll. Denna typ av drift och underhåll behandlas bl.a. av Rejdin och Hellström (ref. C2.73).

Problem som direkt berör drift och underhåll av styr- och reglertekniska system inkluderar t.ex. service och reservdelsförsörjning. Elektroniksystem är komplicerade, teknikutvecklingen går snabbt och produkterna omsätts allt snabbare. Därmed riskerar service och reservdelsförsörjning att bli ett problem. En studie av de långsiktiga effekterna av den allt snabbare "datoriseringen" är därför angelägen. Detta gäller även övriga svagströmsinstallationer.

Ett annat område, som också är en direkt följd av den snabba utvecklingen, handlar om kompetensproblem för drifts- och underhållspersonal. Dagens drifts- och underhållspersonal saknar normalt kunskaper om elektroniska styr- och reglersystem. Riskerna för felaktig användning eller att uppkomna fel inte upptäcks är därför uppenbara. Frågor kring hur dessa problem skall bemästras anses ha hög prioritet.

Slutligen kan man även se ett behov av att ta fram modeller för enkla och lättförståeliga drifts- och skötselansvisningar med direkt inriktning mot styr- och reglertekniska system. Behov finns av enkla anvisningar för funktions- och statuskontroll, som kan användas av den ordinarie driftspersonalen i samband med felsökning och beslut om enklare åtgärder.

## 8.2 Datoriserade system

### 8.2.1 Probleminventering

En allmän synpunkt är att de möjligheter, som de datoriserade systemen erbjuder i form av självdiagnosticerande system, är mycket viktiga hjälpmedel i DU-verksamheten. Eftersom denna funktion tillsammans med alla övriga systemfunktioner förverkligas i form av datorprogram är drift och underhåll av programvaran en nyckelfråga för de datoriserade systemens funktion på lång sikt. Drift och underhåll av datorernas hårdvara följer samma mönster som motsvarande verksamhet för övrig elektronisk utrustning. I detta avsnitt kommer därför endast DU-aspekter på programvaran fortsättningsvis att behandlas. Skrivningen är till största delen hämtad från en SP-rapport av Jacobson et al (ref. C2.67).

#### 8.2.1.1 Administration av programvara

För att kunna utveckla, använda eller underhålla programvaror behövs någon form av styrning eller administration. Ett grundläggande krav är att den programvara som används skall vara entydigt definierad. I den mån en organisation arbetar efter ett formellt kvalitetssystem, t.ex. ISO 9000, är det rimligt att den som är kvalitetsansvarig också har det övergripande ansvaret för programvarukvalitén.

Ett system för styrning av DU-verksamheten för programvaror bör bygga på att det finns:

- Programansvariga till alla program
- Entydiga beteckningar för alla program
- En förteckning över de programvaror som används.

Det kan ofta vara lämpligt att utse en programansvarig för varje typ av programvara. Detta gäller även köpta standardprogram. Den programansvarige har därvid ansvar både för programmet och dess användning, underhåll och arkivering. Speciellt gäller för köpta standardprogram att man skall bevaka när uppdateringar ges ut. Då nya funktioner tillkommer skall även kravspecifikationen uppdateras. Den programansvarige ansvarar för att detta görs.

För att kunna identifiera olika program, samt olika versioner av ett visst program, måste varje program ha en entydig beteckning. Den fullständiga programbeteckningen indikeras vid användningen av programmet (t.ex. i bildskärmens övre kant). Den anges även vid resultatutskrift. För köpt standardprogramvara finns ofta en sådan identifikation, men inte alltid. Råprotokoll, rapporter från statusbestämning av olika anläggningsdelar, redovisning av energiekonomi m.m. skall klart indikera beteckningen på det använda programmet.

Det finns alltid en risk att ett program oavsiktligt ändras. Därför bör lösenord användas på olika nivåer och i tillräcklig omfattning för att säkra att viktiga inställningar och systemfunktioner inte ändras av obehörig personal av misstag eller av okunskap. En erfarenhet från många experimentbyggnadsprojekt, där SP medverkat, är att mycket tid får läggas på att vid upprepade tillfällen återställa inställningar som otillräckligt utbildad personal ger sig till att experimentera med.

Vidare behöver det finnas en förteckning över vilka programvaror som används och vem som ansvarar för vilken programvara. Exempelvis kan en kvalitetsmanual innehålla en förteckning över alla program som används inom ett område.

### 8.2.1.2 Uppdatering av programvarudokumentation

Två olika tillvägagångssätt är tänkbara för att hålla dokumentationen aktuell efter revision av programvaran. Antingen uppdateras hela dokumentationen då nya versioner av programmet tas i bruk eller så uppdateras endast de delar av dokumentationen som berörs av ändringar i programmet. Den nya dokumentationen skall förses med ett nytt versionsnummer och datum för revideringen. Om endast vissa delar uppdaterats måste det framgå att dokumentationen innehåller delar (kapitel) med tidigare versionsdatum än det senaste revisionsdatumet. Lämpligen kan detta noteras på respektive flik i t.ex. pärmregister eller på separata listor.

Gammal, inte längre giltig dokumentation, skall dras in. Det är den programansvarige som ser till att detta blir gjort. Det kan ibland vara lämpligt att spara äldre versioner av dokumentationen. Dessa måste dock förses med tydlig märkning, så att det framgår att de inte längre är giltiga. Förvaringen måste ske så att risk för förväxling med den giltiga dokumentationen inte föreligger. Det bör observeras att om man väljer att spara gammalt material så orsakar man lätt extra hanteringsarbete för att hålla olika utgåvor åtskilda.

### 8.2.1.3 Arkivering av programvara

Den som är ansvarig för programmet ansvarar för att både själva programmet (disketterna) och dess dokumentation arkiveras. I den mån man utvecklar egna program är naturligtvis arkiveringen mycket viktig. Programmet finns då inte att få tag på någon annanstans.

Även för specialprogram, där utvecklingsarbetet köpts utanför det egna företaget, är arkiveringen viktig. Den person som utfört arbetet kan ha flyttat eller konsultföretaget kan ha lagts ned. I sådana situationer kan naturligtvis nödvändiga ändringar av programmet bli besvärliga.

Vikten av arkivering gäller inte enbart specialprogram utan även köpta standardprogram. T.ex. kan man behöva återställa en ändrad konfigurationsfil. Även om programvaran går att köpa på nytt är det lämpligt att man har ett exemplar arkiverat inom det egna företaget.

Arkivexemplaret av ett program skall förvaras skilt från den plats där det används. Dokumentation arkiveras t.ex. i det rum där utrustningen finns eller på den programansvariges rum. Om beskrivningar av programmet är framställda på dator kan lämpligen även dessa filer lagras ihop med arkivdisketterna för programmet. Säkerhetskopiering ("back-up") av programmet skall göras och förvaras skilt från den plats där programmet används.

#### 8.2.1.4 Underhåll av programvara

När ett datoriserat system har använts en tid är det vanligt att användarna har synpunkter på de befintliga funktionerna och förslag till nya funktioner. Brister och fel kommer också att upptäckas efter en tid. Det blir därför nödvändigt att fortlöpande underhålla programvaran. Om underhållet utförs på fel sätt är det stor risk för att problem uppstår. För att undvika denna orsak till problem skall ett genomtänkt system finnas för underhåll. Konsekvenserna av bristande underhåll av en programvara illustreras av figurerna 7.2 och 7.3 i avsnitt 7.2.1.2.

Felrapporter och förslag om ändringar noteras lämpligtvis i någon form av loggbok. I loggboken antecknas funktionsstörningar, fel, "underligheter", rättelser, önskemål om ändrade eller nya funktioner m.m. Den programansvarige ansvarar sedan för att noteringarna i loggboken följs upp. Man bör dock undvika upprepade småändringar utan vänta och planera att genomföra flera ändringar på en gång.

Efter varje ändring skall en validering göras. Dess omfattning kan vara beroende på ändringens karaktär och storlek. Då valideringen är klar kan den nya versionen släppas för användning.

#### 8.2.1.5 Sammanfattning av DU-rekommendationer för hantering av programvara

##### *Administration*

- Varje programvara, även köpta standardprogram, skall ha en ansvarig.
- En förteckning över samtliga använda program skall finnas.
- Varje program skall ha en entydig beteckning/versionsnummer.
- Programmets beteckning/versionsnummer skall framgå både när man kör det och av eventuella utskrifter som programmet ger upphov till.

##### *Arkivering*

- Varje programvara skall finnas arkiverad.
- Arkivexemplaret av programmet skall förvaras skilt från den plats där det används.

### *Underhåll*

- Till varje system skall en loggbok finnas.
- Föreslagna ändringar skall diskuteras, beslutas samt godkännas av den som är programansvarig innan de genomförs.
- Efter varje ändring skall en validering göras.
- Den nya versionen skall gälla från en beslutad och angiven tidpunkt.

## **8.2.2 Metoder och standarder**

Inom CEN/TC 247 pågår standardisering av bl.a. zonregulatorer. I arbetsprogrammet ingår att ställa krav på utformningen av drifts- och skötselansvisningar m.m.

Inom IEC 65A (ref. C1.48-49) pågår standardisering av programmerbara elektroniska system, främst med inriktning mot funktionssäkerhet. Särskilda avsnitt behandlar även underhåll av programvara och systemens validering.

## **8.2.3 Forskning och utveckling**

I första hand behövs metodutveckling, systematisering och erfarenhetsåterföring av kunskaper beträffande mjukvarubaserade system. Därvid behövs metodik med särskild inriktning mot underhåll av datorprogram som behandlar byggnadsautomation.



## **8.3 Regulatorer**

### **8.3.1 Probleminventering**

Det är i allmänhet få problem med elektronik. Exempelvis finns det enligt uppgift regulatorer från 50/60-talet som fortfarande är i drift. Däremot finns ett stort kompetensproblem beroende på att varken VVS-tekniker, men framförallt inte byggnadstekniker, har några större kunskaper om reglersystem. Eftersom därmed många driftsansvariga saknar förståelse för de styr- och reglertekniska problemställningarna är det lätt att otillräckliga resurser avsätts för drift, underhåll och funktionskontroll av regulatorer. Problemen underlättas inte heller av att utformningen av DU-instruktioner anses vara något bristfällig.

Med hänsyn till förutsättningarna för att verkligen kunna funktionskontrollera regulatorer är den ofta förekommande bristen på möjligheter till mätning ett problem. Dessutom finns det sällan vare sig tid eller kompetens till att utföra denna kontroll annat än i samband med akuta fel.

### **8.3.2 Metoder och standarder**

Den danska standarden DS 468 (ref. C1.25) ger vissa vägledningar beträffande funktionsprovning, inreglering och efterjustering av regulatorer. I övrigt tycks det vara ganska sparsamt med standarder som är direkt inriktade mot drift- och underhåll av regulatorer.

### **8.3.3 Forskning och utveckling**

Standardiserade metoder och riktlinjer för drift och underhåll av regulatorer saknas i stor utsträckning idag. Därför kan ett visst behov av metodutveckling finnas.

## 8.4 VVS-installationer

### 8.4.1 Probleminventering

Det tidigare i flera sammanhang påpekade problemet med att de grundläggande VVS-tekniska installationerna måste fungera för att styr- och reglersystemen skall ha förutsättningar att fungera berör naturligtvis även drift- och underhållsidan. Även här gäller att avsaknaden av möjligheter till mätning för funktionskontroll ofta är ett problem.

### 8.4.2 Metoder och standarder

Anvisningar för utformning av drift och underhåll av VVS-installationer finns redovisade i många sammanhang. Här skall bara ges några exempel.

För ventilationsanläggningar finns detaljerade anvisningar i rapporten "Funktionskontroll av ventilationsinstallationer" från ASS/SP. Vidare finns en hel del material framtaget i samband med olika utbildningskampanjer i samband med införandet av lagen om ventilationskontroll (t.ex. ref. C2.41).

För värmeväxlare finns en särskild svensk standard-europastandard, SS-ENV 307 "Riktlinjer för utarbetande av de instruktioner för installation, drift och underhåll som erfordras för att upprätthålla prestanda hos alla typer av värmeväxlare". I denna standard finns även styrutrustning omnämnd. Man skiljer i standarden på särskilt och allmänt underhåll. Inom varje kategori skiljer man också på periodiskt respektive behovsstyrt underhåll.

För värmepumpinstallationer har Bergström och Larsson utarbetat en handbok för fastighetsskötare och driftspersonal, "Drift och underhåll av värmepumpar" (BFR-rapport T5:1989). Lagerqvist och Larsson har gjort motsvarande sammanställning för villavärmepumpar i rapporten "Drift- och underhållsinstruktioner för villavärmepumpar" (BFR-rapport T7:1989). Slutligen behandlas serviceavtal och utbildning av driftspersonal av Werner och Högberg i skriften "Värmepumpar - Riktlinjer för projektering och upphandling" (ref. C2.45).

### 8.4.3 Forskning och utveckling

Något särskilt behov av ytterligare forskning och utveckling tycks inte föreligga inom området underhåll och drift av VVS-installationer. Möjligen kan det vara intressant att utvärdera praktiska tillämpningar av "produktionsanpassat underhåll" och vilka eventuella vinster en sådan verksamhet kan resultera i.

## 9 Erfarenhetsåterföring

"Somliga lär sig av misstagen, för andra går bara tiden". Med detta något drastiska påstående inleds diskussionen kring betydelsen av erfarenhetsåterföring. Om positiva och negativa erfarenheter utnyttjas på rätt sätt behöver inte ens de negativa erfarenheterna alltid ses som en kostnad. Drar man de rätta slutsatserna av ett misslyckande kan kostnaden ses som en investering för att undvika framtida problem.

Med exempelvis LCC/LCP-metoder kan man tillämpa ett rationellt tekniskt / ekonomiskt betraktelsesätt beträffande drift och underhåll av styr- och reglersystem med tillhörande VVS-tekniska installationer. I ett sådant system utgör erfarenhetsåterföringen den livsviktiga återkopplingen i ett slutet system, som kontinuerligt skall optimera anläggningens funktion och driftsekonomi. I denna rapport kommer endast några allmänna synpunkter att lämnas. Den principiella frågeställningen är densamma oavsett typen av system eller komponent och i viss mån har frågan redan berörts tidigare i rapporten i samband med krav på dokumentation.

### 9.1 Probleminventering

Introduktionen av datoriserade styr- och reglersystem ger unika möjligheter till analys och uppföljning av funktion och DU-behov för byggnader och deras installationer. För att erfarenhetsåterföringen skall fungera på ett bra sätt måste den emellertid vara:

- Planerad,
- Målinriktad,
- Dokumenterad.

#### 9.1.1 Planering och målinriktning

*Planeringen* av erfarenhetsåterföringen skall tillse att verksamheten får en lämplig utformning med hänsyn till *ändamålet* och den tilltänkta *målgruppen*. Precis som i fallet med DU-instruktioner kan det vara nödvändigt att *dokumentation* och *resultatredovisning* utformas på flera olika nivåer beroende på om avnämaren t.ex. är en driftsmaskinist eller en ekonomiansvarig chef. För att ha ett värde måste erfarenhetsåterföringen leda till någon form av beslut och bra beslut kan endast fattas om ett korrekt beslutsunderlag når rätt person på ett sådant sätt att personen kan/orkar tolka underlaget på rätt sätt.

Systematisk användning av erfarenhetsåterföring är väsentlig i alla faser av DU-verksamheten (se inledningen till kapitel 8). Vid *behovsanlys* och *planering* inför nyanskaffning utgör erfarenheterna från tidigare anläggningar ett utomordentligt värdefullt beslutsunderlag. Detta kan gälla allt från systemutformning till val av ett visst fabrikat av någon komponent eller ett behov av serviceavtal.

Under den aktiva DU-fasen, d.v.s. i samband med *förebyggande*, *korrigering* och *modifierande* underhåll, kan tidigare erfarenheter användas för att bestämma olika typer av förebyggande underhåll och lämplig underhållsfrekvens. Ett förebyggande

underhåll med optimal periodicitet är alltid mer ekonomiskt än ett korrigerande underhåll. Emellertid kan man endast genom dokumenterad erfarenhetsåterföring hitta den optimala periodiciteten. Det förebyggande underhållet kan omfatta allt från smörjningsintervaller för motorer och kalibreringsintervall för givare till validering av systemfunktioner. Strävan är hela tiden att minska behovet av korrigerande och modifierande åtgärder genom val av rätt metod och utrustning från början, kompletterat med ett optimalt mått av förebyggande underhåll. Exempel på anpassning av underhållsintervall redovisas i avsnitt 9.2 i samband med bestämning av kalibreringsintervall för givare.

Systematisk erfarenhetsåterföring ger också möjligheter till att sätta pris på avsaknad av eller brister i det förebyggande underhållet. Därmed har man ett underlag för att beräkna DU-verksamhetens intäkter, vilket är en förutsättning för att tillämpa LCC / LCP-analys av fastighetsdriften. Slutligen utgör den dokumenterade erfarenhetsåterföringen också ett viktigt underlag för modifiering av befintliga och utformning av nya DU-rutiner.

### 9.1.2 Validering av systemfunktion

En speciell och ofta kortvarig form av erfarenhetsåterföring tillämpas i samband med valideringen av en anläggnings funktion i samband med nybyggnad eller ombyggnad. Om man exempelvis installerar en BEMS-anläggning med motivet att minska kostnaderna för fastighetsdriften utförs normalt någon form av efterkontroll under garantitiden för att verifiera att besparingsmålet verkligen uppnåtts. Denna typ av verksamhet brukar man i vissa sammanhang kalla för PIPA, d.v.s. "Post Implementation Performance Analysis" (se t.ex. ref. C2.15).

De flesta funktioner, som angivits i kravspecifikationen i samband med en upphandling, kan verifieras genom en mer eller mindre momentan mätning. Detta är dock sällan möjligt beträffande byggnadens energianvändning. Antingen får man mäta under en längre sammanhängande period eller också mäta intensivt under ett antal begränsade perioder av året. De viktigaste metoderna för att studera effekten av energibesparande åtgärder är:

- Mätning före/efter åtgärd,
- Jämförelse mot en kontrollgrupp av byggnader,
- Till/från jämförelse.

*Mätning före/efter åtgärd* är en lämplig metod vid ombyggnad men förutsätter att det finns ett väldokumenterat underlag från fastighetens tidigare drift. Vid nybyggnad är man hänvisad till jämförelser mot olika typer av nyckeltal för likande byggnader eller sofistikerade simuleringar (se t.ex. Bach, ref. C3.88).

*Jämförelser mot en kontrollgrupp av byggnader* kan användas med fördel när exempelvis samma BEMS-installation görs på en så stor grupp av byggnader att externa störstorheter utjämnas statistiskt. Man skiljer därvid på "matchade" och "sammanvägda" kontrollgrupper. Genom att välja ut ett antal byggnader med liknande utformning, verksamhet och klimatförhållanden kan kontrollgruppens storlek hållas nere. För

"sammanvägda" kontrollgrupper, som består av slumpvis utvalda byggnader, blir det erforderliga antalet oftast ohanterligt.

*Tillfrån jämförelser* är möjliga om en åtgärd är "reversibel", d.v.s. byggnaden kan användas med eller utan den nya funktionen. Detta är ofta möjligt med BEMS-anläggningar och därmed kan även denna metod användas.

### 9.1.3 Dokumentation

Erfarenhetsåterföring utan ett genomtänkt system för dokumentation är normalt inte möjlig. Med tanke på personalförändringar, begränsningar i den mänskliga minnesförmågan m.m. håller inte system som bygger på "muntlig tradition". Samtidigt är det av stor vikt att inte i onödan komplicera dokumentationen.

Datoriserade system ger stora möjligheter men kan samtidigt upplevas som hinder. För många personer kan det innebära en viss tröskel att behöva gå till en terminal och bläddra i ett antal menyer för att notera en genomförd åtgärd, t.ex. kontroll av en fläktrem. För denna typ av enkla åtgärder kan det därför vara praktiskt med enkla loggböcker, som förvaras lokalt i anslutning till den utrustning de berör.

För att erfarenhetsåterföringen skall göra största möjliga nytta måste emellertid någon person ha ett ansvar för en övergripande uppföljning. Det är först när man tittar på den totala byggnaden, eller ett antal liknande byggnader, som man kan särskilja de generella problemen av typen fel systemlösning, problem med vissa typer av komponenter m.m., från specifika problem av typen problem med ett visst fabrikat, problem med vissa driftsförhållanden o.s.v. Som hjälpmedel i arbetet med att dra slutsatser av ett stort material har de datoriserade systemen mycket stora fördelar gentemot en rent manuell hantering.

### 9.1.4 Övriga synpunkter

I bilaga B redovisas ett antal spridda synpunkter, som även berör behovet av erfarenhetsåterföring. Från flera håll framförs åsikten att den nödvändiga erfarenhetsåterföringen i allmänhet brister. Å andra sidan finns även exempel på hur införandet av systematisk erfarenhetsåterföring i ett fjärrvärmenät åstadkommit besparingar av storleksordningen 1 Mkr per år. Besparingen har uppnåtts genom minskade kulvertförluster med hjälp av förbättringar av reglerfunktionen i undercentralerna, som i sin tur förbättrat returvattnets avkylning.

Ett annat vanligt förekommande problem, som avsevärt skulle kunna minskas med hjälp av erfarenhetsåterföring, är brister i projekteringsfasen. Lösningar från tidigare genomförda projekt kopieras ofta utan eftertanke. Därvid saknas både *behovsanalysen* i det nya projektet och *tillvaratagandet av erfarenheter* från tidigare projekt.

Vid kontakter med driftspersonal har det framförts att man saknar ett utbyte av erfarenheter med driftspersonal från andra organisationer. Ju fler kontakter man får med organisationer som har liknande byggnader och verksamhet, desto bredare erfarenhetsunderlag får man för beslut som rör den egna verksamhetens utveckling. Detta berör både den dagliga verksamheten i form av förebyggande, korrigerande och modifierande underhåll och planerade nyinvesteringar eller avvecklingar.

## 9.2 Metoder och standarder

Flera internationella standarder beskriver generella program för att säkra den långsiktiga funktionen för olika typer av komponenter och system. I samtliga standarder betonas vikten av dokumentation av *iakttagelser, åtgärder och förändringar*. Nedan följer en kort presentation av krav och rekommendationer från några av de viktigaste dokumenten.

### 9.2.1 ISO 9000-4 / IEC 300-1

ISO 9000-4 (ref. C1.27) behandlar planeringen av aktiviteter för att säkra en utrustnings eller verksamhets funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet. För att uppfylla standardens krav behövs detaljerade beskrivningar beträffande rutiner, analytiska och statistiska metoder samt övriga hjälpmedel som används för att definiera, styra och utvärdera verksamhetens tillförlitlighetsegenskaper. Dessa beskrivningar skall vara dokumenterade.

#### 9.2.1.1 Metoder

Organisationen måste upprätta och underhålla ett system med statistiska eller andra relevanta kvalitativa eller kvantitativa metoder och modeller, som lämpar sig för att förutsäga, analysera och skatta verksamhetens tillförlitlighetsegenskaper. Utbildningsprogram bör finnas framtagna och tillämpas för samtliga personalkategorier som berörs av tillförlitlighetsprogrammet.

#### 9.2.1.2 Databaser

Organisationen bör upprätta och underhålla databaser för att säkra återföringen av erfarenheter från verksamhetens tillförlitlighet. Erfarenheterna kan exempelvis grundas på resultatet av provningar, iakttagelser m.m. Genom upprättandet av en databas kan förbättringar av befintliga system och underhållsrutiner underlättas.

#### 9.2.1.3 Tillförlitlighetsregister

Alla dokument som innehåller någon form av krav, med anledning av organisationens tillförlitlighetsprogram, måste förvaras under en period vars längd relateras till en produkts livslängd eller en verksamhets föränderbarhet. Kraven kan exempelvis avse tillförlitlighetsplaner och resultat från analyser och förutsägelser beträffande tillförlitlighet, instruktioner för och resultat från utvärderingar av tillförlitlighet m.m. En överordnad förteckning över samtliga relevanta dokument, inklusive deras revisionsstatus, bör finnas tillgänglig och kontinuerligt uppdateras (i enlighet med ISO 9001).

### 9.2.1.4 Erfarenhetsåterföring

Den organisation, som vill uppfylla ISO 9000-4, rekommenderas att upprätta och underhålla rutiner för att hantera, dokumentera, lagra och analysera fel och brister som framkommit under provning, utvärdering eller på annat sätt genom information om hur verksamheten fungerar. Behovet av erfarenhetsåterföring skall finnas dokumenterat och framfört till berörd personal.

### 9.2.2 IEC 812

IEC 812 (ref. C1.32) beskriver metoder för att på ett systematisk sätt analysera varför någonting inte fungerar som det skall och effekterna av den bristande funktionen. Man talar i detta sammanhang om FMEA, "Failure Modes and Effects Analysis", samt FMECA, "Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis". Ett komplett FMECA program innehåller följande beståndsdelar:

- a) Benämningen på den systemdel som granskas,
- b) Systemdelens tilltänkta funktion,
- c) Identifieringsnummer för systemdelen,
- d) Feltyp,
- e) Felets orsak,
- f) Felets följeffekt,
- g) Metod för att spåra felet,
- h) Kvalitativ beskrivning av felets betydelse och alternativa möjligheter att ersätta systemdelens funktion,
- i) Kommentarer; För FMECA kan även följande punkter inkluderas:
- j) Systemdelens kritiskhet,
- k) Sannolikhet för felaktig funktion.

Uppföljningen av en komponent eller systemdel kan registreras på någon form av blankett (se t.ex. figur 9.1). På blanketten bör även förslag till modifieringar och förbättringar noteras. Vidare bör noteringarna även omfatta:

- Eventuella onormala omständigheter,
- Feleffekt på grund av brister i redundanta systemdelar,
- Identifiering av speciellt kritiska egenskaper,
- Förtydligande kommentarer till övriga noteringar,
- Hänvisning till andra noteringar som har betydelse för en sekventiell feleffektanalys.





## 9.2.3 IEC 706-3

IEC 706 (ref. C1.31) är en serie standarder som behandlar förutsättningarna för underhåll av olika typer av utrustningar. Del 3 beskriver verifiering av utrustningars funktion med speciell inriktning mot insamling, analys och presentation av driftserfarenheter.

### 9.2.3.1 Checklista för erfarenhetsåterföring

Exempel på viktiga aspekter beträffande erfarenhetsåterföring ges, t.ex. :

- **Tillräcklighet beträffande det planerade underhållet**  
Finns det några oförutsedda svårigheter beroende på t.ex. driftsförutsättningarna? Har det förekommit en onormal åtgång av reservdelar?
- **Lämplighet beträffande metoder och utrustning för efterkontroll**  
Finns det tillräckligt med mätuttag för efterkontroll? Behövs ytterligare metoder, verktyg eller mätutrustning?
- **Kompetensnivå som erfordras för underhållet**  
Orsakas DU-problem av otillräcklig utbildning eller problem i gränssnittet människa/maskin?
- **Möjlighet för utförande av underhåll**  
Är de använda uppföljnings- och kontrollprocedurena tillräckliga för att diagnosticera och hitta orsaken till felfunktioner? Är bytbara enheter lätt åtkomliga för utbyte?
- **Tillräcklighet beträffande instruktioner**  
Är DU-instruktionerna tillräckliga och lättförståeliga?
- **Underhållsmässighet för programvara**  
Har mjukvarudelar, som är nödvändiga i DU-processen, beaktats i tillräcklig omfattning, t.ex. med avseende på utprovning, validering, utbildning, instruktioner?
- **Säkerhetsåtgärder**  
Finns det någon risk för att personfara skall uppstå i samband med DU-åtgärder?

Ovanstående check-lista beträffande rutiner för erfarenhetsåterföring och problem relaterade till detta arbete ger möjligheter till att på ett kvalitativt sätt skatta underhållsmässigheten för en utrustning. Det går emellertid åt en avsevärd tid för att skaffa det erforderliga underlaget samt att analysera och dra slutsatser ur detta underlag.

### 9.2.3.2 Behov av insamlade DU-data

IEC 706-3 beskriver också metoder för insamling och redovisning av underlag. Exempel på olika typer av blanketter för ekonomisk och teknisk uppföljning visas i bilagor. Man bedömer att den bästa källan till kvantitativ information beträffande underhållsmässighet för utrustningar är DU-data som fortlöpande insamlats vid den dagliga driften och underhållet. För att på bästa sätt kunna dra slutsatser ur ett sådant material bör det åtminstone omfatta följande punkter:

- Identifiering av komponenten, anläggningsdelen etc.,
- Orsak till underhållsåtgärden,
- Typ av underhåll som utförts; underhållet kan antingen vara planerat (förebyggande; exempelvis inspektion, återkommande kalibrering m.m.) eller oplanerat (korrigerande; exempelvis reparation på plats, utbyte av trasig utrustning m.m.),
- Arbetstimmar för underhållsåtgärden,
- Kalendertid som åtgått för underhållsåtgärden,
- Total avställningstid för utrustningen på grund av underhållsåtgärden, d.v.s. aktiv underhållstid plus fördröjningstid,
- Drifttid för varje komponent/delsystem,
- Antal DU-personal och deras kompetensnivå,
- Användning av provnings- och kontrollutrustning,
- Förbrukning av reservdelar och material.

Statistisk utvärdering av dessa och liknande data över en tillräckligt lång tidsperiod kan ge en bra underlag för kvantitativ bedömning av behovet av underhåll. Kunskap från uppföljningen av verkliga anläggningar kan också bli en viktig bas för förbättring av projekteringsunderlaget till kommande anläggningar.

### 9.2.4 SS-ISO 10 012-1

Som avslutning på presentationen av olika internationella standarder med anknytning till erfarenhetsåterföring redogörs här i korta drag för SS-ISO 10 012-1 (ref. C1.90), vilken behandlar kvalitetssäkringskrav på mätutrustning. Som tidigare påpekats utförs sällan någon regelmässig kontroll av de givare som förser styr- och reglersystemen med den grundläggande informationen. Inte förrän en givare helt slutar fungera eller dess visning är uppenbart felaktig vidtas några åtgärder (se även 6.8.1).

### 9.2.4.1 Dokumentation av metrologisk bekräftelse

Som en del av den något kryptiska benämningen "metrologisk bekräftelse" ingår kalibrering. Det finns emellertid många andra sätt att direkt eller indirekt förvissa sig om att en givare fungerar på ett tillfredsställande sätt, därav den något ovanliga benämningen "metrologisk bekräftelse".

Standardens krav är egentligen avsedda för regelrätt mätutrustning, som exempelvis kan användas vid olika typer av garantiprovningar eller liknande. En hel del av innehållet är emellertid principiellt tillämpligt även för givare som ingår i styr- och regler-system. I byggnader med stor energianvändning kan ju även avvikelser med delar av grader medföra betydande ekonomiska konsekvenser. Följande punkter anges som krav på dokumentation enligt standarden:

- Beskrivning och entydig identifikation av varje utrustning,
- Datum för varje avslutad bekräftelse,
- Kalibreringsresultat som erhållits efter och, när så är tillämpligt, före varje justering och reparation,
- Gällande bekräftelseintervall,
- Identifikation av bekräftelserutinen,
- Fastställda gränser för tillåtna avvikelser,
- Uppgift om kalibreringskälla som använts för att uppnå spårbarhet till nationella eller internationella normaler,
- Uppgift om osäkerheterna vid kalibrering av utrustningen och den kumulativa effekten av dessa,
- Uppgifter om varje utfört underhåll såsom service, justering, reparation och modifiering,
- Uppgift om varje begränsning i användningen,
- Identifikation av personer som utfört bekräftelsen,
- Personer som ansvarar för den dokumenterade informationens riktighet,
- Entydig identifikation (t.ex. löpnummer) av varje kalibreringsintyg och andra tillämpliga dokument.

Mycket av ovanstående dokumentation kan naturligtvis vara onödig för givare som ingår i styr- och regler-system. De bitar som behandlar underhåll och metrologisk bekräftelse är emellertid nödvändiga för den kontinuerliga erfarenhetsåterföringen. Genom denna erfarenhetsåterföring kan man anpassa bekräftelseintervallen till ekonomiskt optimala längder och urskilja typer eller individer av givare som inte håller måttet.

#### 9.2.4.2 Metoder för att bestämma bekräftelseintervall

SS-ISO 10 012-1 redogör i en bilaga för olika metoder att bestämma lämpliga bekräftelseintervall för givare och annan mätutrustning. Metodiken kan sannolikt användas för bestämning av andra typer av serviceintervall än de som berör metrologisk bekräftelse. Därvidlag skiljer man på rutiner för nyinstallerad utrustning och rutiner för översyn av intervallen för befintlig utrustning.

##### *Första intervall*

Vid bestämningen av det första bekräftelseintervallet får man oftast förlita sig på någon form av ingenjörsmässig intuition baserad på tidigare erfarenheter. Faktorer som är värda att beakta i detta sammanhang omfattar t.ex.:

- Tillverkarens rekommendationer,
- Drifttid och miljöbelastning
- Krav på noggrannhet.

##### *Översyn av intervallens längd*

Utan ett system för systematisk uppföljning och översyn av bekräftelseintervallens längd riskerar man att kontrollera viss utrustning i onödan och därmed få onödigt höga underhållskostnader. Å andra sidan riskerar också att annan utrustning kontrolleras för sällan med åtföljande risk för bristfällig funktion och förhöjda driftskostnader.

Det finns ett antal olika metoder tillgängliga för att optimera bekräftelse- och underhållsintervallen. Metoderna skiljer sig åt bland annat beroende på om utrustningar behandlas individuellt eller i grupper, om utrustningar inte klarar att innehålla sina kravspecifikationer beroende på att de driver med tiden eller på grund av användning eller om det finns data tillgängliga från den tidigare bekräftelseverksamheten, som utnyttjas för bestämningen av intervalllängd. Exempel på metoder, som finns beskrivna i ISO 10 012-1, är:

- *Trappstegsmetoden* (intervallens längd ökas om utrustningen ligger inom den specificerade toleransen och minskas om den ligger utanför),
- *Kontrolldiagram* (samma punkter väljs från varje bekräftelse och plottas mot kalendertid; från denna typ av diagram kan både spridning och drift skattas),
- *Kalendertid* (liknade utrustningar grupperas och antalet som faller utanför toleranserna noteras; om alltför stor andel av populationen faller utanför minskas intervallet för hela gruppen och vice versa),
- *Drifttid* (metoden liknar den föregående men istället för att basera bekräftelseintervallet på kalendertid används den faktiska driftstiden),
- *Driftskontroll* (metoden utgör ett komplement till någon form av regelrätt bekräftelse; kontrollen utförs under drift genom att stickprovsmässigt testa ett

urval eller kombinationer av utvalda parametrar; kontrollen kan t.ex. utföras automatiskt från ett centralt datorsystem eller finnas inbyggd i givaren, jämför diskussionen av intelligenta givare i 6.8.3.2)

### 9.3 Forskning och utveckling

Någon systematisk forskning beträffande styr- och reglersystemens långsiktiga funktion verkar inte bedrivas vid högskolorna. Det finns emellertid fortfarande ett visst behov av att *systematisera erfarenhetåterföringen* från byggnader med diskreta regulatorer repektive integrerade system av typen BEMCS. Aggerholm (ref. C2.61) redovisar erfarenheter från några anläggningar dels med diskreta regulatorer och dels med DDC-system. Erfarenheterna från denna undersökning pekar på att det är fler problem med DDC-anläggningarna än det är med de enklare systemen. Underlaget är dock för litet för att dra generella slutsatser och överhuvudtaget finns det ganska lite faktaunderlag från denna typ av undersökningar redovisat. Däremot finns det desto mer av personliga uppfattningar och tyckanden presenterade i olika sammanhang.

För befintliga små och medelstora uppvärmningsanläggningar, som styrs och regleras med regulatorer eller processorer, kan det vara av intresse med en enklare form av uppföljning. Frågeställningarna kan exempelvis beröra hur funktionen upplevs av brukaren, om det finns utbildad driftspersonal, hur anläggningen upphandlats och dokumenterats m.m. Resultaten kan ge information om anläggningarnas användbarhet.

Analys av anläggningsfunktionen i kategorin "anläggningar som inte fungerar" kan ge information om kritiska funktionsegenskaper. I detta bör studier av reglertekniska problem och samfunktioner mellan olika anläggningsdelar ingå. Behovet av korrigerande åtgärder för att överföra anläggningen till kategorin "fungerande anläggning" bör också granskas. I byggnader, som uppges fungera, kan intensivmätningar av intressanta parametrar ge svar på om den funktion, som upplevs som god, verkligen är det. I anläggningar, som verkligen fungerar, kan studier av styr- och reglerkomponenters långtidsstabilitet vara intressant.

## 10 Diskussion

Det skrivs för närvarande en hel del om styr- och reglerteknik i allmänhet och och byggnadsautomation i synnerhet i fackpress och facklitteratur. Däremot förekommer mycket lite av faktisk information kring de styr- och reglertekniska systemens långsiktiga funktion. Kontakter med högskolor och företag visar också att det finns mycket lite av systematiserad verksamhet inom detta problemområde.

I denna rapport har ett försök gjorts att beskriva de allmänna problemställningar som berör den långsiktiga funktionen i termer av *beständighet*, *underhåll* och *drift* (BUD). Med utgångspunkt från dessa allmänna resonemang, samt med hjälp av egna erfarenheter från tidigare byggforskningsprojekt och intervjuer med tillverkare, konsulter, förvaltare och energitjänstföretag, kan man dra vissa slutsatser. Bland annat kan man konstatera att underlag i hög grad saknas för att kunna bedöma de reglertekniska systemens *användbarhet*. Framförallt saknas en systematiserad *erfarenhetsåterföring*.

Systemens användbarhet bestäms till stor del av deras *funktion*, *livslängd* och *kostnad*. För att kunna bedöma förutsättningarna för olika typer av system behöver man därför identifiera *kritiska funktionsegenskaper* och ställa upp *funktionskriterier* för dessa egenskaper. Funktionskriterierna måste på något sätt kunna verifieras, vilket medför behov av metoder för *egenskapsprovning* och *åldringsprovning* (*provning för livslängdsbedömning*). Egenskaper och kriterier finns i viss utsträckning behandlade i olika nationella och internationella standarder.

Någon övergripande sammanställning över krav på egenskaper, som är viktiga för styr- och reglersystems långtidsfunktion, tycks i dagsläget inte finnas. Däremot finns ett antal väletablerade standarder som beskriver allmän *kvalitetssäkring*, *tillförlitlighet*, *feleffektanalys*, *underhållsmässighet* m.m. Dessa standarder är i allmänhet även tillämpliga på styr- och reglertekniska installationer. Med tanke på den snabba utveckling som sker inom det styr- och reglertekniska området är det viktigt att även beakta aspekter som berör *föränderbarhet* och *förnybarhet*.

Vid diskussion av styr- och reglertekniska system måste man beakta att den största delen av systemet ligger utanför den utrustning som traditionellt går under benämningen styr- och reglerteknisk utrustning. Byggnaden och dess installationer, inklusive verksamhet och personal, ingår i reglerobjektet. Reglerobjektet påverkas, förutom av reglersystemet, även av yttre störningar i form av klimatvariationer m.m. Vidare ingår givare och mätvärdesomvandlare i återkopplingslingor. Långsiktiga förändringar i en eller flera av dessa delar kommer därför att påverka styrning och reglering. För att styr- och reglersystemet skall fungera på ett bra sätt måste de grundläggande funktionerna i byggnad och installationer vara korrekta. Här finns inga genvägar!

Det bör vidare framhållas att grunden till en långsiktigt bra funktion läggs i samband med upphandlingsfasen. En genomtänkt behovsanalys, kombinerad med relevanta funktionskrav, är nödvändig för att ge underlag för en ekonomisk värdering. För att genomföra upphandlingen på ett effektivt sätt är projektstyrning nödvändig både på beställar- och leverantörssidan.

Det räcker emellertid inte med att bara ställa krav i upphandlingsskedet. För att verkligen få den funktion man efterfrågar måste funktionskontroller planeras in både för den nya anläggningen och i den fortlöpande DU-verksamheten. Kontrollmöjligheter måste planeras in redan i projekteringsfasen och svara mot de funktionskrav som ställts. Krav utan möjlighet till verifiering är inte särskilt meningsfulla.

Genomgående måste stora krav ställas på dokumentation för att den långsiktiga funktionen skall kunna säkras. Detta gäller både dokumentation av den nya anläggningen men i kanske ännu högre grad dokumentation av förändringar och modifieringar som görs i samband med anläggningens användning. Dokumentation av DU-verksamhet utgör den viktigaste informationskällan för att kunna vidta korrigerande och modifierande åtgärder. Informationen från denna erfarenhetsåterföring kan även utnyttjas vid projekteringen av nya anläggningar.

För att alla dessa önskemål och förutsättningar verkligen skall bli uppfyllda finns det en faktor som är viktigare än någonting annat:

#### *Beställarens/brukarens intresse*

Det är beställaren, som genom medverkan i behovsanalysen och genom att ställa tillräckliga resurser till förfogande, ser till att upphandlingsfasen kan genomföras på ett rimligt bra sätt. Det ankommer också på beställaren att se till att den efterfrågade funktionen verkligen uppnås. Slutligen är det brukarens/förvaltarens ansvar att denna funktion kan upprätthållas i den fortlöpande, långsiktiga driften.

## 11 Referenser

1. Bankvall, C, et al, 1986. "Beständighet inom bygg- och installationsområdet". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport G4:1986. Stockholm.
2. Nordtest, 1992. "Fackgrupp VVS - Handlingsplan 1992-1994". Nordtest, Esbo, Finland.
3. Rafferty, K, 1992. "Geothermal district heating - A century of service". ASHRAE Journal, September, pp. 22-23.
4. Schmidtbauer, B, 1988. "Analog och digital reglerteknik". (Studentlitteratur.) Lund.



## **Bilaga A: Konsulterade företag**

Följande företag har konsulterats i samband med den sammanställning som gjorts i denna rapport:

- Borås lasarett, Drifteknisk Service, Borås
- Borås Energi, Borås
- Chalmers Tekniska Högskola (CTH), Reglerteknik, Göteborg
- Elektrostandard AB, Katrineholm
- EVR&Wahlings AB, Örebro
- INU Control, Borås
- Kungliga Byggnadsstyrelsen, Göteborg och Stockholm
- Landis&Gyr, Huddinge
- SP, Energiteknik, Borås
- SP, Fysik och Elteknik, Borås
- Stacfa, Skärholmen
- Tour & Andersson AB, Malmö
- Universitetet i Lund, Tekniska högskolan (LTH), Byggnadskonstruktionslära, Lund

## Bilaga B: Sammanfattning av kontakter med företag

De företag och organisationer som kontaktats redovisas i bilaga A. Avsikten var från början att betydligt fler organisationer skulle intervjuas men det visade sig mer tidskrävande än planerat att nå kontakt med rätt personer. Därför fick antalet begränsas av tidsskäl. Nedan följer ett antal mer eller mindre spontana kommentarer som dykt upp i samband med de personliga kontakterna. Diskussionerna fördes hela tiden med utgångspunkt från ett frågeformulär. Frågorna är i denna bilaga markerade med kursiv stil.

### B1 Probleminventering

*Finns det några aspekter som är särskilt kritiska/problematiska med avseende på styr- och regelsystems långsiktiga funktion beträffande nedanstående komponenter (t.ex. projektering, driftsättning, beständighet, underhåll och drift, systemlösningens robusthet m.a.p. parameterförändringar m.m.)?*

#### B1.1 Givare

- Snabbhet viktig vid direktberedning av varmvatten i fjärrvärmesystem (uppges från flera källor).
- Olämplig eller felaktig montering av givare inte ovanligt.
- Försmutsning sker av oskyddade givare i luftkanaler (uppges från flera källor).
- Fuktgivare är normalt den givartyp som har kortast livslängd (uppges från flera källor).
- Osäkert med livslängd för CO<sub>2</sub>- och VOC-givare.
- Förändring av inställningsvärden på filtervakter
- Förbindningar till termistorer problematiska
- Utegivare och rumsgivare av termistortyp måste sorteras (stora toleranser)
- Ibland kan läckage uppstå i dyrkor för temperaturgivare i fjärrvärmesystem p.g.a. porer i materialet.
- Problem med dålig auktoritet för luftflödesgivare i VAV-don. Dessutom behov av individuell kalibrering.
- Ofta felplacerade givare (t.ex. varmvattenvärmning i badhus med 3 min transporttid för vattnet mellan givare och reglerobjekt)
- Total avsaknad av givare där mätning borde ha skett (möjlighet till installation saknas).
- Kontroll av givare saknas.
- Vissa fabrikat av temperaturgivare går ofta sönder.
- Vissa fabrikat av fuktgivare har för dåliga egenskaper för att klara en acceptabel reglering.

## B1.2 Ställdon

- Ställdon har begränsad livslängd (5-7 år). I tillämpningar som ställer krav på snabba och ofta återkommande aktivering, t.ex. värmning av tappvatten via direktväxling med fjärrvärmevatten, kan livslängden bli mycket kort (< 2 år). Vid direktväxling är även ställdonets snabbhet problematisk.
  - Fjäder i termomotorer utsatt del.
  - Nu finns ställdon som tar ett antal olika insignaler.
- Elektromagnetiska ställdon är snabba och har litet mekaniskt slitage men är känsliga för ökade krav på ställkraft vid försmutsning (filter krävs i systemet).
- Triac till termomotorer har kort livslängd.
  - Fjäderåtergång på ställdon problematisk, föredrar motordrift åt båda håll.
  - Problem med ställdonsmotorer.
  - Gångtid för ställdonsmotorer viktig.

## B1.3 Ventiler och spjäll

- Reglerventiler känsliga för igensättning p.g.a. smutsigt vatten, t.ex. beroende på svetsloppor, korrosionsprodukter, kalkavlagringar, sand m.m. (uppges från flera källor).
  - Läckage ofta problem i återluftsystem (uppges från flera källor).
  - Man kan inte förutsätta att reglerventiler och spjäll är täta på sikt. Försmutsning kan hindra fullständig stängning.
  - Ofta trasiga spjällmotorer.
  - Driftomläggningar kan ge andra tryckdifferenser, vilket ger behov av ventilbyte.
- S.k. "split-range ventiler" är robusta med avseende på förändringar.

## B1.4 Pumpar och fläktar

- Ledskenerreglering till fläktar kan kärva om den inte används regelbundet (normalt inget problem).
- Felaktig funktion p.g.a. fel driftpunkt för fläktar eller pumpar.

## B1.5 Motorer

Se problem med ställdon och spjäll.

## B1.6 Regulatorer

- Kritiska delar utgörs av potentiometrar, elektrolytkondensatorer, lödningar, optoingångar. Optokomponenter har dock fått en kraftigt förbättrad livslängd under senare år (> 20 år).
- Livslängd för regulatorer > 15 år.
- Sällan problem med elektroniska regulatorer (uppges av flera källor).
- Problem med för små dödband, som inte kan justeras, vid sekvensreglering med äldre typer av regulatorer.
- Problem med självinställande regulator, stora krav på korrekt ventildimensionering, reglerparametrar kan inte påverkas av brukaren.
- Problem om regulatorer har för många inställningsmöjligheter. För mycket "hokus pokus" och för svårt att programmera uppges från flera håll.
- Regulatorer ändrar inställningsvärden vid spikar på nätet.

## B1.7 Datorer - hårdvara

- Laddningsbara batterier har begränsad livslängd (NiCd, Li). Batteritillverkare hävdar 10 % kapacitetsminskning på 10 år, i realiteten helt slut efter 5 år.
- Sällan problem med datorer.
- Problem med vissa datorer, framförallt bildskärmar.
- Information, t.ex. bōrvärden, försvinner vid strömavbrott.

## B1.8 Datorer - mjukvara

- Viktigt med "support".
- Systemen ofta krångliga att använda för den som inte är van vid datorer (uppges från flera källor).
- Mer självdiagnostik behövs.
- Den som gör utformningen av programvaran måste ha VVS-teknisk systemkunskap.

## B1.9 Systemutformning

- Man tittar sällan på systemens robusthet vid förändringar i anläggningarnas egenskaper.
- Projekteringshandbok för konsulter saknas.
- Riktlinjer finns för klassificering av inneklimat (ref. C1.42)
- Cirka 30 % av anläggningarna levereras utan dokumentation.
- Lättare med system med en huvuddator. Kan dock vara problematiskt om denna slås ut.
- Största problemet är VVS-teknisk överdimensionering.
- Felplacering av givare är kritiskt för systemfunktionen (dödzoner, fel information om utetemperatur).

## B1.10 Projektering

- Centralt bolag sköter upphandling.
- Konsulter anlitas vid upphandling.
- Störningstålighet finns inte nämnt i programhandlingar.

## B1.11 Driftsättning

- Injustering av VVS-systemen viktig men ofta bristfälligt utförd.
- Självdiagnosticerande system är ett viktigt hjälpmedel.
- Kontrollprogram saknas för funktionskontroll av styr- och regler. Vissa leverantörer kontrollerar funktioner som föreskrivits i programhandlingar.
- Hårdare krav behövs beträffande korrekt funktion i slutändan.
- Injusteringsprotoll levereras på samtliga anläggningar från många större leverantörer i samband med driftsättning.
- Regulatorerna står oftast med inställda schablonvärden.
- Normalt kontrolleras att allt fungerar på något sätt, däremot sällan kontroll av reglertekniska funktioner/egenskaper.

## B1.12 Drift och underhåll

- Självdiagnosticerande system är viktigt hjälpmedel i DU-verksamheten.
- Få problem med elektronik.
- Problem med att byggnadsingenjörer ofta (till 95 %?) svarar för fastigheternas underhåll. För lite intresse och kunskap beträffande installationerna. Sjukhus har dock oftast kvalificerad driftspersonal.
- Stora leverantörer säljer ofta servicekontrakt.
- Avsaknad av möjligheter till mätning för funktionskontroll är ofta ett problem.
- Sällan tid eller kompetens för att kontrollera att reglertekniska funktioner bibehålls; eventuellt kontroll i samband med akuta problem.
- Tidigare anlitas konsulter på driftssidan, numera sköts detta i egen regi.
- Vissa utrustningar har fungerat "utan problem" sedan 1950-talet.

## B1.13 Erfarenhetsåterföring

- Erfarenhetsåterföringen brister i allmänhet (se även B1.14).
- Ofta ger problem med reglering upphov till dålig avkyllning i fjärrvärmnät. Erfarenhetsåterföring visar var problemen ligger och har medfört minskade returtemperaturer (en minskning av returtemperaturen från 60 °C till 50 °C ger minskade förluster värda 1 Mkr per år).

## B1.14 Övriga synpunkter

- Intresse och engagemang hos beställaren är A och O.
- Ofta dålig kompetens hos både beställare och konsulter.
- Projektlösningar kopieras ofta utan eftertanke. Behovsanalys saknas!
- Vissa leverantörer sköter utbildningen på ett utmärkt sätt.
- Utbyte av erfarenheter med driftspersonal från andra organisationer saknas.
- Utformning av DU-instruktioner är sisådär.
- Dålig avkylning på vattnet i fjärrvärmenät ger även upphov till reglerproblem.
- Största reglerproblemet är att försöka reglera på stillastående flöde.
- Nattsänkning ger reglertekniska problem i fjärrvärmenät. Däremot är toppar i tappvattenförbrukning inget problem. Tappvatten ger ökat flöde och sänkt retur, vilket gör att temperaturdifferensen blir geografiskt utslätad med cirka en timmes fasförskjutning. Nattsänkning/morgonhöjning ger däremot både ökat flöde och ökad returtemperatur, vilket medför att effektbehovet slår i genom direkt.

## 2 Metoder för laboratorieprovning och egenskapsredovisning

*Vilka metoder/standarder använder er organisation för utvärdering och redovisning av nedanstående komponenters egenskaper (t.ex. funktion, miljötolighet, EMC, dimensioner, signalnivåer m.m.)? Ser ni något behov av nya eller förbättrade befintliga standarder?*

- Avsaknaden av harmoniserade standarder för egenskapsredovisning i form av enhetligt utformade tekniska datablad upplevs ofta som besvärande.

### B2.1 Givare

- Projektering utifrån tekniska datablad anses normalt inte ge några problem, men standard för viktiga egenskaper saknas ibland. Egna datablad saknar hänvisning till standard även där sådan finns.
- Uppdatering av symbolstandarden för givare behövs. Nya typer av givare finns som inte ingår i standarden. Dessutom behöver man kunna särskilja olika montagesätt på ett bättre sätt.
- IEC 337 används för mätvärdesomvandlare.

### B2.2 Ställdon

Synpunkter saknas.

## **B2.3 Ventiler och spjäll**

- Täthetsklasser finns för spjäll.

## **B2.4 Pumpar och fläktar**

Synpunkter saknas.

## **B2.5 Motorer**

Synpunkter saknas.

## **B2.6 Regulatorer**

Synpunkter saknas.

## **B2.7 Datorer - hårdvara**

Synpunkter saknas.

## **B2.8 Datorer - mjukvara**

Synpunkter saknas.

## **B2.9 System**

Synpunkter saknas.

## **B2.10 Övrigt**

- Beställare behöver informeras om förekommande standarder (även tillverkare).
- Metodutveckling behövs avseende provning av elektrostatfilter.
- Stora organisationer har ofta egna kravspecifikationer (t.ex. Fortifikationsförvaltningen, KBS, SPRI). Annars gäller NR och VVS-AMA.

## **B3 Metoder för besiktning och mätning**

*Vilka metoder/standarder använder er organisation för besiktning och mätning av nedanstående komponenters funktion i samband med driftsättning av en anläggning? Ser ni något behov av nya eller förbättrade metoder?*

- Metoder saknas genomgående, varje besiktningsförrättare gör på sitt eget vis.
- Vissa organisationer har börjat utarbeta metoder, för närvarande saknas emellertid dessa.

### **B3.1 Givare**

Synpunkter saknas.

### **B3.2 Ställdon**

Synpunkter saknas.

### **B3.3 Ventiler och spjäll**

Synpunkter saknas.

### **B3.4 Pumpar och fläktar**

Synpunkter saknas.

### **B3.5 Motorer**

Synpunkter saknas.

### **B3.6 Regulatorer**

Synpunkter saknas.

### **B3.7 Datorer - hårdvara**

Synpunkter saknas.



### **B3.8 Datorer - mjukvara**

Synpunkter saknas.

### **B3.9 System**

Synpunkter saknas.

## **B4 Forskning**

*Bedriver er organisation egen forskning eller utveckling inom något av nedanstående tillämpningsområden? Ser ni något särskilt angeläget område för att bedriva ytterligare forskning, metodutveckling eller erfarenhetsåterföring?*

Det allmänna intrycket är att i stort sett ingen forskning bedrivs med inriktning mot långtidsfunktion för styr- och reglertekniska installationer på systemnivå.

### **B4.1 Givare**

- Utveckling av billiga, robusta och tillförlitliga givare för luftflöde och lufthastighet.
- Vidareutveckling av CO<sub>2</sub>-och VOC-givare.
- Kombination VOC-givare och elektrostatfilter för styrning av uteluft/återluft är tänkbar (t.ex. i samband med varierande försmutsning av uteluften).
- Enkla och tillförlitliga givare för luftflöde till VAV-don behövs. Individuell kalibrering för kostsamt.

### **B4.2 Ställdon**

Synpunkter saknas.

### **B4.3 Ventiler och spjäll**

- Långtidsegenskaper för radiatortermostatventiler har undersökts i ett byggforskningsprojekt vid SP. Området anges som angeläget även på andra håll.

## **B4.4 Pumpar och fläktar**

Synpunkter saknas.

## **B4.5 Motorer**

Synpunkter saknas.

## **B4.6 Regulatorer**

Synpunkter saknas.

## **B4.7 Datorer - hårdvara**

Synpunkter saknas.

## **B4.8 Datorer - mjukvara**

Synpunkter saknas.

## **B4.9 System**

- Stora leverantörer arbetar med modellbeskrivning av system och adaptiva regulatorer.
- Behov av forskning finns avseende elektrostatfilter och styrning av återluft.

## **B4.10 Övrigt**

Synpunkter saknas.

## B5 Kvalitetsstyrning

*Tillämpar er organisation något av de formella kvalitetssystem som finns etablerade idag (t.ex. ISO 9000/EN 29 000)? I vilka avseenden anser ni att tillämpningen av kvalitetssystem förbättrar förutsättningarna för reglersystems långsiktiga funktion i anläggningar?*

- Uppbyggnad av någon form av kvalitetssystem pågår.
- En tillverkare har formellt certifierat kvalitetssystem enligt ISO 9000.
- Inget formellt system men nyckeltal för den administrativa och tekniska verksamheten har tagits fram.

*Tillämpar er organisation regelmässigt någon form av LCC/LCP bedömning i samband med anskaffning av reglersystem (i den mån ni är beställare av reglersystem)?*

- Kanske (osäkert).

## **Bilaga C: Bibliografi - Uppdelad efter typ av dokument (rapport, standard etc.)**

### **Innehåll**

- C1      Standarder**
  - C1.1      Allmänna systemaspekter
  - C1.2      Reglerprinciper
  - C1.3      Datoriserade system
  - C1.4      Regulatorer
  - C1.5      Givare
  - C1.6      Övriga komponenter (ställdon, ventiler m.m.)
  
- C2      Rapporter och handböcker**
  - C2.1      Allmänna systemaspekter
  - C2.2      Reglerprinciper
  - C2.3      Datoriserade system
  - C2.4      Regulatorer
  - C2.5      Givare
  - C2.6      Övriga komponenter (ställdon, ventiler m.m.)
  
- C3      Artiklar och föredrag**
  - C3.1      Allmänna systemaspekter
  - C3.2      Reglerprinciper
  - C3.3      Datoriserade system
  - C3.4      Regulatorer
  - C3.5      Givare
  - C3.6      Övriga komponenter (ställdon, ventiler m.m.)

## **C1 Standarder**

### **C1.1 Allmänna systemaspekter**

#### **C1.1.1 Internationell standard**

##### *ISO*

C1.1 ISO 2533, 1975-05-00. "Standard Atmosphere".

C1.2 ISO 7730-1984. "Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort".

(Se C1.27) ISO 9000-4. "Tillförlitlighet - Planläggning och genomförande av aktiviteter för funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet".

##### *IEC*

C1.3 IEC 68-2-38, 1974-00-00. "Environmental testing. Part 2: Tests. Test Z/AD: Composite temperature/humidity cyclic test".

C1.4 IEC 68-2-39, 1976-00-00. "Basic environmental testing procedures. Part 2: Tests. Test Z/AMD: Combined sequential cold, low air pressure, and damp heat test".

C1.5 IEC 68-3-1, 1974-00-00. "Basic environmental testing procedures. Part 3: Background information. Section One - Cold and dry heat tests".

C1.6 IEC 68-3-1A, 1978-00-00. "Basic environmental testing procedures. Part 3; Section One - Cold and dry heat tests".

C1.7 IEC 68-3-2, 1976-00-00. "Basic environmental testing procedures. Part 3: Background information. Section Two - Combined temperature/low air pressure tests".

C1.8 IEC 255-0-20, 1974-00-00. "Contact performance of electrical relays. Part 0-20: Electrical relays. Contact performance of electrical relays".

C1.9 IEC 271, 1974 "Dependability - Part 1-4: List of basic terms, definitions and related mathematics for reliability".

C1.10 IEC 654-1, 1979. "Operating conditions for industrial process measurement and control equipment. Part 1: Temperature, humidity and barometric pressure".

C1.11 IEC 654-2, 1979. "Operating conditions for industrial process measurement and control equipment. Part 2: Power".

C1.12 IEC 654-3, 1983. "Operating conditions for industrial process measurement and control equipment. Part 3: Mechanical influences".

- C1.13 IEC 654-4, 1987. "Operating conditions for industrial process measurement and control equipment. Part 4. Corrosive and erosive influences".
- C1.14 IEC 668, Technical Committee No. 65, 1980. "Dimensions of panel areas and cut-outs for panel and rack-mounted industrial-process measurement and control instruments".
- C1.15 IEC 801-1, 1984. "Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment. Part 1: General introduction".
- C1.16 IEC 801-2, 1984. "Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment. Part 2: Electrostatic discharge requirements".
- C1.17 IEC 801-3, 1984. "Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment. Part 4: Radiated electromagnetic field requirements".
- C1.18 IEC 873, Technical Committee No. 65, 1986. "Methods of evaluating the performance of electrical and pneumatic analogue chart recorders for use in industrial-process control systems".
- C1.19 IEC 1000-1-1, Technical Committee No. 77, 19xx. "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1: Application and Interpretation of fundamental definitions and terms".

### **C1.1.2 Europeisk standard**

*CEN*

-

*CENELEC*

- C1.20 EN 50 081-1, 1992. "Electromagnetic compatibility: Generic emission standard, part 1: Residential, commercial and light industry"
- C1.21 EN 50 082-1, 1992. "Electromagnetic compatibility: Generic immunity standard, part 1: Residential, commercial and light industry"
- C1.22 HD 413.1 S1, 1981. "Operating conditions for industrial-process measurement and control equipment; Part 1: Temperature, humidity and barometric pressure".

### **C1.1.3 Nordiska metoder och riktlinjer**

- C1.23 Nordtest, 1990. "NT ELEC 016G: Electrical Equipment: Environmental Test Procedures".
- C1.24 NKB, 1981. "NKB - Riktlinjer för inneklimat". (Nordiska Kommittén för Byggbestämmelser.) Rapport nr. 40, 1981.

### C1.1.4 Nationella standarder utanför Sverige

- C1.25 DS 468, Utg 1, 1990-05. "DIF's norm för automatiska regleringssystemer til VVS-tekniske anlaeg".
- C1.26 VDI 2068, 1991. "Mess-, Überwachungs- und Regelgeräte in heiztechnischen Anlagen mit Wasser als Wärmeträger".
- DIN 19226, 1968. "Regelungstechnik und Steuerungstechnik, Begriffe und Benennungen".

### C1.1.5 Svensk standard

SS 401 06 01, Utg 2, 1987-02-15. "Industriell processtyrning - Grundläggande terminologi".

#### SS-IEC

- C1.27 SS-IEC 300, Utg 1, 1989-02-15, ISO 9000-4. "Tillförlitlighet - Planläggning och genomförande av aktiviteter för funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet".
- C1.28 SS-IEC 409, Utg 1, 1989-02-15. "Tillförlitlighet - Riktlinjer för uppställning av krav i specifikationer för elektronikkomponenter".
- C1.29 SS-IEC 419, Utg 1, 1987-05-20. "Elektronikkomponenter - Partikontroll och periodisk kontroll".
- C1.30 SS-IEC 605, Utg 1, 1989-02-15. "Tillförlitlighet - Funktionssäkerhet hos utrustningar - Provning".
- C1.31 SS-IEC 706, Utg 1, 1989-02-15. "Tillförlitlighet - Underhållsmässighet hos utrustningar".
- C1.32 SS-IEC 812, Utg 1, 1989-02-15. "Tillförlitlighet - Feleffektanalys (FMEA: failure mode and effects analysis)".
- C1.33 SS-IEC 863, Utg 1, 1989-02-15. "Tillförlitlighet - Presentation av predikteringar".

### C1.1.6 Övriga svenska metoder och normer

- C1.34 VVS AMA, 19xx. "Styr- och övervakningsenheter i tekniska system".
- C1.35 AMA-nytt VVS EL, 1991. "Upphandlingsföreskrifter".
- C1.36 Boverket, BFS 1988:18. "NR 1: Nybyggnadsregler".
- C1.37 Boverket, 1989. "Hus och hälsa - Inneklimat och energihushållning".

- C1.38 Boverket, Byggeforskningsrådet, 1992. "Utbildningskampanj för sunda hus: Hus och hälsa - Utbildningsmaterial '92".
- C1.39 Boverket, 1993. "BBR: Boverkets Byggregler '94 - Remissutgåva".
- C1.40 Socialstyrelsen, 1988. "Termiskt inomhusklimat". Allmänna råd från Socialstyrelsen 1988:2. Stockholm.
- C1.41 Statens planverk, PFS 1980:1. "SBN 80: Svensk Byggnorm".
- C1.42 Svenska Inneklimatinstitutet, 1990. "Klassindelade inneklimat- och ventilationssystem - Riktlinjer och specifikationer". (Riktlinjeserien - Svenska Inneklimatinstitutet.) Rapport R1.
- C1.43 Svensson, H, 1992. "Byggsektorns regler 1993". (Svensk Byggtjänst.) Stockholm.

#### **C1.1.7 Branschstandarder**

- C1.44 ASHRAE 55-1981. "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".
- C1.45 ASHRAE 62-1981 R. "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality".
- C1.46 ASHRAE Guideline 1-1989. "Guideline for Commissioning of HVAC Systems".
- C1.47 ANSI/ASHRAE 111-1988. "Practices for Measurement, Testing, Adjusting, and Balancing of Building Heating, Ventilation, Air-conditioning, and Refrigeration Systems".

### **C1.2 Reglerprinciper**

### **C1.3 Datoriserade system**

#### **C1.3.1 Internationell standard**

##### *IEC*

- C1.48 IEC 65A, Secretariat 123, 1992. "Draft - Functional safety of programmable electronic systems: Generic aspects Part 1: General requirements".
- C1.49 IEC 65A, Secretariat 122, 1991. "Draft - Software for computers in the application of industrial safety-related systems".



- C1.50 IEC 625-1, 1979. "An interface system for programmable measuring instruments (byte serial, bit parallel). Part 1: Functional specifications, electrical specifications, mechanical specifications, system applications and requirements for the designer and user".
- C1.51 IEC 625-2, 1980, "An interface system for programmable measuring instruments (byte serial, bit parallel). Part 2: Code and format conventions".
- C1.52 IEC SC 65A, Draft: Functional aspects of electrical / electronic / programmable electronic systems: General aspects. Part 1: General requirements.

### **C1.3.2 Europeisk standard**

#### *CEN*

- C1.53 CEN/TC 247 /WG 3, 1993. "Building Management Products and Systems for HVAC-applications - System functions".  
  
CEN/TC 247 /WG 4, 1993. "System neutral data transmission for HVAC applications".
- C1.54 HSE, 1987. Guidelines - Programmable Electronic Systems in Safety Related Applications: Parts 1 and 2.

#### *CENELEC*

- C1.55 prEN 61131-3, 1992. "Programmable controllers; Part 3: Programming languages".

### **C1.3.3 Nordiska metoder och riktlinjer**

Nordtest Technical Report 145, "Guidelines for the development of software to be used in test and measuring laboratories".

### **C1.3.4 Nationella standarder utanför Sverige**

- C1.56 DIN V VDE 0801 (preliminary standard), 19xx. "Principles for computers in safety-related systems".
- C1.57 Mumma, S A, 1992-1994. "Direct Digital Control System Documentation Practices". (ASHRAE.) Ongoing investigation by TC 1.4 Control Theory and Application.

**C1.3.5 Svensk standard***SS-ISO*

- C1.58 SS-ISO 9000-3, 19xx. "Kvalitetssystemstandarder - Del 3: Riktlinjer för tillämpning av SS-ISO 9001 vid utveckling, leverans och underhåll av programvara".

**C1.3.6 Övriga svenska metoder och normer**

-

**C1.3.7 Branschstandarder**

-

**C1.4 Regulatorer****C1.4.1 Internationell standard***ISO*

-

*IEC*

- C1.59 IEC 381, Technical Committee No. 65, 19xx. "Analogue signals for process control systems".
- C1.60 IEC 381-1, 1982. "Part 1: Direct current signals".
- C1.61 IEC 381-2, 1978. "Part 2: Direct voltage signals".
- C1.62 IEC 382, Technical Committee No. 65, 1971. "Analogue pneumatic signals for process control systems".
- C1.63 IEC 546-1, 1987. "Controllers with analogue signals for use in industrial-process control systems. Part 1: Methods of evaluating the performance".
- C1.64 IEC 546-2, 1987. "Controllers with analogue signals for use in industrial-process control systems: Part 2: Guidance for inspection and routine testing".

**C1.4.2 Europeisk standard***CEN*

- C1.65 CEN/TC 247 /WG 2, 1993. "Draft outline of a standard for electronic individual zone control equipment for HVAC applications".

*CENELEC*

- C1.66 HD 530.1.S1, 1989. "Controllers with analogue signals for use in industrial-process control systems; Part 1: Methods of evaluating the performance".
- C1.67 HD 530.2 S1, 1989. "Controllers with analogue signals for use in industrial-process control systems; Part 2: Guidance for inspection and routine testing".

**C1.4.3 Nordiska metoder och riktlinjer**

- C1.68 Nordtest, 1986. "NT ELEC 006: Control equipment in heating systems: Function and stability".

**C1.4.4 Nationella standarder utanför Sverige**

-

**C1.4.5 Svensk standard***SS-ISO*

-

*SS-IEC*

- C1.69 SS-IEC 546, Utg 2, 1990-12-05. "Industriell processtyrning - Styrutrustning med analoga in- och utsignaler".

*SS*

-

**C1.4.6 Övriga svenska metoder och normer**

-

**C1.4.7 Branschstandarder**

-

**C1.5 Givare****C1.5.1 Internationell standard***ISO*

- C1.70 ISO 386, 1977-12-00. "Liquid-in-glass laboratory thermometers; Principles of design, construction and use".
- C1.71 ISO 2186, 1973-03-00. "Fluid flow in closed conduits: Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements".
- C1.72 ISO 7726, 1985-07-00. "Thermal environments; Instruments and methods for measuring physical quantities".

*IEC*

- C1.73 IEC/DIS 72, 1991-11-00. "Draft IEC 730-2-9 AMD 1: Automatic electrical controls for household and similar use; Part 2: Particular requirements for temperature sensing controls".
- C1.74 IEC/DIS 72, 1992-01-00. "Amendment to IEC 730-2-9: Particular requirements for temperature sensing controls; Clause 23: Addition to radio interference suppression requirements".
- C1.75 IEC/DIS 72, 1992-04-00. "Amendment to IEC 730-2-9: Temperature sensing controls (subclause 4.1: Conditions of test)".
- C1.76 IEC 258, 1968. "Direct acting recording electrical measuring instruments and their accessories (korshänvisning till IEC 751)".
- C1.77 IEC 584-1, 1977. "Thermocouples. Part 1: Reference tables".
- C1.78 IEC 584-1 AMD 1, 1989, "Thermocouples; Part 1: Reference tables; Amendment No. 1 to publication 584-1:1977".
- C1.79 IEC 584-2, 1982, "Thermocouples. Part 2: Tolerances".
- C1.80 IEC 688, Technical Committee No. 85, 1992. "Electrical measuring transducers for converting a.c. electrical quantities to analogue or digital signals".
- C1.81 IEC 751, 1983. "Industrial platinum resistance thermometer sensors".
- C1.82 IEC 751 AMD 1, 1986. "Industrial platinum resistance thermometer sensors".
- C1.83 IEC 770, 1984. "Methods of evaluating the performance of transmitters for use in industrial-process control systems".
- C1.84 IEC 770-2, 1989. "Transmitters for use in industrial-process control systems: Part 2: Guidance for inspection and routine testing".

**C1.5.2 Europeisk standard***CEN*

- C1.85 prEN 472, 1991. "Pressure gauges; vocabulary".

*CENELEC*

- C1.86 prEN 60730-2-9, 1991. "Automatic electrical controls for household and similar use; Part 2: Particular requirements for temperature sensing controls".
- C1.87 HD 446.2 S2, 1990. "Thermocouples; Part 2: Tolerances".

**C1.5.3 Nordiska metoder och riktlinjer**

- C1.88 Nordtest, 1988. NT BUILD 340: Relative Air Humidity: Calibration of electrical instruments".
- C1.89 Nordtest, 1992. "NT ELEC 020: Psychrometers for test chambers: Calibration".

**C1.5.4 Nationella standarder utanför Sverige****C1.5.5 Svensk standard***SS-ISO*

- C1.90 SS-ISO 10 012-1, 1992. "Kvalitetssäkringskrav på mätutrustning - Del 1: System för metrologisk bekräftelse av mätutrustning".

*SS-IEC*

- C1.91 SS-IEC 584-2, 19xx. "Industriella termoelement - Del 2: Toleranser".
- C1.92 SS-IEC 751, 19xx. "Industriella temperaturgivare med motstånd av platina (Överensstämmer med harmoniseringsbeslut i HD 459 S2)".

*SS*

- C1.93 SS 441 05 05, Utg 2, 1985-12-25. "Tillförlitlighet mätteknik - Ordlista".
- C1.94 SS 443 51 14 (IEC 50(301)), Utg 1, 1989-02-15. "Elektrisk mätteknik - Ordlista".
- C1.95 SS 485 30 15, Utg 1, 1979-09-15. "Industriella termoelement - Typer - Användning - Tabeller".
- C1.96 SS 485 30 16 (IEC 584-2 1 ed 1982), Utg 1, 1984-09-15. "Industriella termoelement - Toleranser".
- C1.97 SS 485 30 17, Utg 1, 1987-04-01. "Industriella temperaturgivare med motstånd av platina" (avviker från IEC 751).

*SEN*

- C1.98 SEN 01 02 20, Utg 1, 1964-12-01. "Elektroteknisk ordlista - Del 20. Mätdon för vetenskap och industri" (avviker från IEC 50, (20)).

*SMS*

C1.99 SMS 1554, Utg 2, 1975-11-15. "Tryckmätare - Allmänna tekniska bestämmelser".

C1.100 SMS 1562, Utg 1, 1975-11-15. "Tryckmätare - Terminologi".

**C1.5.6 Övriga svenska metoder och normer**

-

**C1.5.7 Branschstandarder**

-

**C1.6 Övriga komponenter (ställdon, ventiler m.m.)****C1.6.1 Internationell standard***ISO*

C1.101 ISO 5210, 1991-09-00. "Industrial valves; Multi-turn valve actuator attachments".

C1.102 ISO/DIS 5211, 1989-06-00. "Industrial valves; Part-turn valve actuator attachments" (revision of ISO 5211-1:1977, ISO 5211-2:1979 and ISO 5211-3:1982).

C1.103 ISO 5211-3, 1982-06-00. "Part-turn valve actuator attachment; Part 3: Dimensions of driving components".

C1.104 ISO 5219, 1984-06-00. "Air distribution and air diffusion; Laboratory aerodynamic testing and rating of air terminal devices".

C1.105 ISO 5220, 1981-12-00. "Air distribution and air diffusion; Aerodynamic testing and rating of constant and variable dual or single duct boxes and single duct units".

C1.106 ISO 5599-1, 1989-11-00. "Pneumatic fluid power; five-port directional control valves; Part 1: Mounting interface surfaces without electrical connector".

C1.107 ISO 5599:2, 1990-01-00. "Pneumatic fluid power; five-port directional control valves; Part 2: Mounting interface surfaces with optional electrical connector".

C1.108 ISO 5599-3, 1990-01-00. "Pneumatic fluid power; five-port directional control valves; Part 3: Code system for communication of valve functions".

- C1.109 ISO 7244, 1984-05-00. "Air distribution and air diffusion; Aerodynamic testing of dampers and valves".
- C1.110 ISO 7368, 1989-08-00. "Hydraulic fluid power; two-port slip-in cartridge valves; cavities".
- C1.111 ISO/DIS 9461, 1991-09-00. "Hydraulic fluid power; Identification of valve ports, subplates, control devices and solenoids".
- C1.112 ISO/DIS 10130, 1991-08-00. "Hydraulic fluid power; Solenoid-operated directional control valves; Identification of electrical connector locations".

### *IEC*

- C1.113 IEC 534-1, 1987. "Industrial-process control valves. Part 1: Control valve terminology and general considerations".
- C1.114 IEC 534-2, 1978. "Industrial-process control valves. Part 2: Section one - Sizing equations for incompressible fluid flow under installed conditions".
- C1.115 IEC 534-2-2, 1980. "Industrial-process control valves. Part 2: Flow capacity. Section two - Sizing equations for compressible fluid flow under installed conditions".
- C1.116 IEC 534-2-3, 1983. "Industrial-process control valves. Part 2: Flow capacity. Section three - Test procedures".
- C1.117 IEC 534-2-4, 1989. "Industrial-process control valves; Part 2: Flow capacity; Section four: Inherent flow characteristics and rangeability".
- C1.118 IEC 534-3, 1976-. "Industrial-process control valves. Part 3: Dimensions. Section One: Face-to-face dimensions for flanged, two-way, globe-type control valves".
- C1.119 IEC 534-3-2, 1984. Industrial-process control valves. Part 3: Dimensions. Section Two: Face-to-face dimensions for flangeless control valves except wafer butterfly valves".
- C1.120 IEC 534-4, 1982. "Industrial-process control valves. Part 4: Inspection and routine testing".
- C1.121 IEC 534-4 AMD 1, 1986-00-00. "Industrial-process control valves. Part 4: Inspection and routine testing".
- C1.122 IEC 534-5, 1982. "Industrial-process control valves. Part 5: Marking".
- C1.123 IEC 534-6, 1985. "Industrial-process control valves. Part 6: Mounting details for attachment of positioners to control valve actuators".
- C1.124 IEC 534-7, 1989. "Industrial-process control valves: Part 7: Control valve data sheet".

- C1.125 IEC 534-8-1, 1986. "Industrial-process control valves. Part 8: Noise considerations. Section one - Laboratory measurement of noise generated by aerodynamic flow through control valves".
- C1.126 IEC 730-2-8, 1992. "Automatic electrical controls for household and similar use: Part 2: Particular requirements for electrically operated water valves, including mechanical requirements".
- C1.127 IEC 1136-1, Technical Subcommittee No. 22G, 19xx. "Semiconductor power converters - Adjustable speed electric drive systems - General requirements. Part 1: Rating specifications, particularly for d.c. motor drives".

### **C1.6.2     Europeisk standard**

#### *CEN*

- C1.128 EN 215-1, 1987. "Thermostatic Radiator Valves - Part 1: Requirements and test methods".
- C1.129 EN 215-1, 1987. "Thermostatic radiator valves; Part 1: Requirements and test methods".
- C1.130 prEN 215-2, 1986. "Thermostatic radiator valves; Part 2: Dimensions and details on connection".
- C1.131 HD 1215.2, 1988. "Thermostatic radiator valves; Part 2: Dimensions and details on connection".

#### *CENELEC*

- C1.132 prEN 60534-1, 1992. "Industrial-process control valves; Part 1: Control valve terminology and general considerations (IEC 534-1:1987)".
- C1.133 prEN 60534-2, 1992. "Industrial-process control valves; Part 2: Flow capacity; Section 1: Sizing equations for incompressible fluid flow under installed conditions (IEC 534-2:1978)".
- C1.134 prEN 60534-2-2, 1992. "Industrial-process control valves; Part 2: Flow capacity; Section 2: Sizing equations for compressible fluid flow under installed conditions (IEC 534-2-2:1980)".
- C1.135 prEN 60534-2-3, 1992. "Industrial-process control valves; Part 2: Flow capacity; Section 3: Test procedures (IEC 534-2-3:1983)".
- C1.136 prEN 60534-8-2, 1992. "Industrial-process control valves: Part 8: Noise considerations: Section 2: Laboratory measurement of noise generated by hydrodynamic flow through control valves (IEC 534-8-2:1991)".



**C1.6.3 Nordiska metoder och riktlinjer**

- C1.137 Nordtest, 1979. "NT VVS 002: Radiator - Thermostatic valves - Adjustability and constancy".

**C1.6.4 Nationella standarder utanför Sverige****C1.6.5 Svensk standard***SS-IEC*

- C1.138 SS-IEC 447, Utg 1, 1981-09-15. "Elektriska styrdon - Manöverriktningar".
- C1.139 SS-IEC 534-2, Utg 1, 1983-06-25. "Industriell processtyrning - Reglerventiler - Flödesberäkningar för inkompressibla medier".
- C1.140 SS-IEC 534-2-2, Utg 1, 1983-06-25. "Industriell processtyrning - Reglerventiler - Flödesberäkningar för kompressibla medier".

*SS-EN*

- C1.141 SS-EN 60 730-1, Utg 1, 1992-02-15. "Automatiska elektriska styr- och reglerdon för hushållsbruk - Del 1: Allmänna fordringar".
- C1.142 SS-EN 60 730-2-1, Utg 1, 1992-02-15. "Automatiska elektriska styr- och reglerdon för hushållsbruk - Del 2: Särskilda fordringar på styr- och reglerdon för elektriska hushållsapparater".
- C1.143 SS-EN 60 730-2-1 T1, 19xx. "Automatiska elektriska styr- och reglerdon för hushållsbruk - Del 2: Särskilda fordringar på elektriska styr- och reglerdon för hushållsapparater". (Återger Am A11, 1992 till EN 60 730-2-1, utg 1, 1991).

**C1.6.6 Övriga svenska metoder och normer**

- C1.144 SIB, 1978. "Meddelande M78:5 Regler för provning av radiator-termostatventiler". (Statens institut för byggnadsforskning.) Gävle.

**C1.6.7 Branschstandarder**

## C2      Rapporter och handböcker

### C2.1      Allmänna systemaspekter

- C2.1      Adamson, B, 1991. "Arbetstidsstyrd uppvärmning och ventilation. En parameterstudie". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1991:10. Lund.
- C2.2      Ahlström, M, Normark, P, Qvist, B, 1992. "Energistyrning". (Värmeforsk.) Rapport 341.
- C2.3      Andersson, K, Jensen, L, 1980. "Styr- och reglertekniska och funktioners inverkan på energiförbrukningen". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R14:1980. Stockholm.
- C2.4      Bankvall, C, m. fl., 1986. "Beständighet inom bygg- och installationsområdet". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport G4:1986. Stockholm.
- C2.5      Bergström, U, 1985. "Frånluftsvärmepumpar i flerbostadshus". (Statens Provningsanstalt.) SP-rapport 1985:08. Borås.
- C2.6      Brännström, H, Sandström, N-Å, 1991. "Instruktioner för drift och underhåll av VVS-komponenter i fastigheter". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R58:1991. Stockholm.
- C2.7      Carlson, R A, Di Giandomenico, R, 1991. "Understanding Building Automation Systems" (ASHRAE).
- C2.8      CIBSE, 1985. "Applications Manual - Automatic Controls" (ASHRAE).
- C2.9      Fanger, O, 1991. "Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings". (Commission of the European Communities - Concerted Action.) Cost project 613: WG6, Ventilation Requirements.
- C2.10      Fredlund, B, 1986. "Energimätning i flerbostadshus-Malmö". Rapport BKL 1986:23. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R59:1987. Stockholm.
- C2.11      Fredriksen, S, Werner, S, 1992. "Fjärrvärme - Teori, teknik och funktion".
- C2.12      Gardener, P, 1984. "Energy Management Systems in Buildings". (Energy Publications.) xxx, United Kingdom.
- C2.13      Honeywell, 1976. "Variable Air Volume Systems Manual". (Honeywell, Minneapolis.) USA.
- C2.14      Häggbom, S, Nylund, P O, 1989. "Värt att veta om vattenburen värme". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport R42:1989. Stockholm.

- C2.15 IEA, 1987. "Source Book för Energy Auditors, volumes 1 - 2". (Statens råd för Byggnadsforskning.) Rapport D11:1987. Stockholm.
- C2.16 Jensen, L, 1984. "Styr-och reglertekniska problem inom solvärmetekniken". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R39:1984. Stockholm.
- C2.17 Jensen, L, 1983. "Nattsänkning av temperatur i flerbostadshus". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R64:1983. Stockholm.
- C2.18 Jensen, L, 1986. "Enkla prognoser av fjärrvärmeeffekt". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:12. Lund.
- C2.19 Jensen, L, 1986. "Auktoritetsdimensionering". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:3. Lund.
- C2.20 Jensen, L, 1986. "Enkel systemanalys för byggnad med inglasning och ventilationsvärmeåtervinning". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:30. Lund.
- C2.21 Jensen, L, 1986. "Automatisk injustering av flödessystem". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:4. Lund.
- C2.22 Jensen, L, 1987. "Uppskattning av flödesfördelning vid auktoritetsdimensionering". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1987:16. Lund.
- C2.23 Jensen, L, 1988. "Analys av injusteringsmetod enligt försöksmetoden". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1988:5. Lund.
- C2.24 Jensen, L, 1988. "Analys av injustering enligt computermetoden". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1988:6. Lund.
- C2.25 Jensen, L, 1989. "Dynamiskt årsvärmebehov. En enkel analys". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1989:2. Lund.
- C2.26 Jensen, L, 1989. "Värmelagring". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1989:9. Lund.
- C2.27 Jensen, L, 1991. "Modellmetoden - en framtida injusteringsmetod". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1991:18. Lund.
- C2.28 Johnson Controls, 1982. "Energy Conservation Control". EC2. (Dec.) Johnson Controls Company, Milwaukee.
- C2.29 Levenhagen, J L, Spethman, D H, 19xx. HVAC Controls and Systems (ASHRAE).
- C2.30 Levin, B, 1982. "Survey of the international development in indoor climate control". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport D:1982. Stockholm.

- C2.31 Lindvall, T, Malmström, T-G, Svennberg, S, 1990. "Ventilationssystem funktion, utformning och drift". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R16:1990. Stockholm.
- C2.32 Månsson, L-G, Svennberg, S A, 1993. "Demand Controlled Ventilating Systems - Case Studies". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport D1:1993.
- C2.33 Månsson, L-G, Svennberg, S A, 1993. "Demand Controlled Ventilating Systems - Source Book". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport D2:1993.
- C2.34 Mörk, P, 1986. "Energistyrning i skolor". (Statens Byggeforskningsinstitut.) SBI-anvisning 149. Hörsholm, Danmark.
- C2.35 National Electric Contractors Association (NECA), 1975. "Electric Load Management". (Electrical Design Library Series.)
- C2.36 Olesen, B W, 1982. "Thermal Comfort". Technical Review. No. 2. Brüel & Kjaer, OML (Ontario Ministry of Labour).
- C2.37 Petitjean, R, Nykom, N, 1989. "Total injustering". (Tour & Andersson.) Ljung.
- C2.38 Purdy, D C, 1991. "A Guide to Writing Successful Engineering Specifications" (ASHRAE).
- C2.39 Raatschen, W, 1990. "Demand Controlled Ventilating Systems - State of the art review". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport D9:1990.
- C2.40 Ruud, S, Fahlén, P, Andersson, H, 1992. "Demand Controlled Ventilation - Full scale tests in a conference room". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport D5:1993. Stockholm.
- C2.41 SIFU, 1992. "Funktionskontroll av luftbehandlingsinstallationer". Borås.
- C2.42 Statens Energiverk, 1985. "Idéhandbok - Driftinstruktioner, underhållsinstruktioner". (Telub Teknikinformation.) Växjö.
- C2.43 Sönsteröd, G, 1987. "Reglerstrategins inverkan på värmepumpsdrift i bivalenta system". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R108:1987. Stockholm.
- C2.44 Sönsteröd, G, 1988. "Värmepump och oljepanna i bivalent drift - Fältmätningar på typfall". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R3:1988. Stockholm.
- C2.45 Werner, G, Högberg, E, 19xx. "Värmepumpanläggningar - Riktlinjer för projektering och upphandling". (VVS-Tekniska Föreningen.)

## C2.2 Reglerprinciper

- C2.46 Andersson, S, Fredriksen, S, Wollerstrand, J, 1992. "Snabb tappvatten-reglering med framkoppling - Undersökning av Danfoss självverkande ventil AVTQ". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport LUTMDN/(TMVK-3153)1-55/(1992).
- C2.47 Hedin, B, Jensen, L, 1983. "Regler- och styrprinciper för inomhustemperaturen i flerbostadshus med vattenburen värme". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1983:6. Lund.
- C2.48 Hedin, B, 1989. "Reglering av inomhustemperaturen i flerbostadshus med central återkoppling". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport R50:1989. Stockholm.
- Hägglund, 1990. "Praktisk processreglering". (Studentlitteratur).
- C2.49 Jensen, L, 1978. "Digital reglering av klimatprocesser". (Lunds Tekniska Högskola.) Lund.
- C2.50 Jensen, J, 1981. "Energibesparing med entalpistyrning. Utvärdering med klimatdata". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1981:2. Lund.
- C2.51 Jensen, L, 1984. "Driftoptimering av kopplade värmeväxlare för värmeåtervinning". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1984:9. Lund.
- C2.52 Jensen, L, 1986. "Entalpistyrning utan givare". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:10. Lund.
- C2.53 Jensen, L, 1986. "Förenklad dygnsdriftoptimering av fjärrvärmesystem". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:14. Lund.
- C2.54 Jensen, L, 1986. "Reglerprinciper för fjärrvärmeproduktion med flera parallella enheter". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:15. Lund.
- C2.55 Jensen, L, 1986. "Reglerprinciper för en hetvattenpanna". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:16. Lund.
- C2.56 Jensen, L, 1986. "Assessment of night setback in apartment buildings". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:21. Lund.
- C2.57 Jensen, L, 1987. "Minskad utnyttjningsgrad för CO<sub>2</sub>- reglering". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1987:18. Lund.
- C2.58 Jensen, L, 1988. "Determination of Impulse Response Functions for Flow Systems". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1988:10. Lund.
- C2.59 Jensen, L, 1988. "Impulse Response Functions for Different Ventilation Principles". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1988:11. Lund.

- C2.60 Jensen, L, 1988. "Algoritmer för funktionsminimering". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1988:14. Lund.
- Åström, K J, Wittenmark, B, 1984. "Computer Controlled Systems - Theory and Design". (Prentice-Hall).

### C2.3 Datoriserade system

- C2.61 Aggerholm, S, 1990. "Styrning af varme- og ventilationsanlaeg med programmerbar elektronik". (Statens Byggeforskningsinstitut.) SBI-rapport 208. Hørsholm, Danmark.
- C2.62 Aggerholm, S, Reinhold, C, 1990. "Afprøvning af programmerbar varme- og ventilationsautomatik". (Statens Byggeforskningsinstitut.) SBI-anvisning 161. Hørsholm, Danmark.
- C2.63 Aggerholm, S, 1992. "Afprøvning av programmerbar varme- og ventilationsautomatik". (Dansk VVS, 975).
- C2.64 Bremer, P, 1991. "Sikkerhet i mikrodatorbaserade styr- och övervaknings-system". (Statens Provningsanstalt.) SP-rapport 1991:20. Borås.
- C2.65 Cho, C H, 1984. "Computer-based Energy Management Systems - Technology and Applications". (Academic Press Inc.) Orlando, Florida, USA.
- C2.66 Jacobson, J, 1992. "Utvärdering av programvarustyrda apparater". (Statens Provningsanstalt.) SP-rapport 1992:09. Borås.
- C2.67 Jacobson, J, Kjell, G, Lau, P, Thorén, I, Tunare, J, Åkesson, E, 1993. "Programvarukvalitet i mät- och provutrustning". (Statens Provningsanstalt.) SP-rapport 1993:08. Borås.
- C2.68 Jensen, L, 1981. "Datorreglering av klimatprocesser". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R77:1981. Stockholm.
- C2.69 Jensen, L, Tiljander, S-G, 1981. "Marknadsundersökning av datoriserade styr- och regler-system för byggnadsklimatsystem". (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R88:1981. Stockholm.
- C2.70 Jensen, L, 1986. "Några Metoder för programmering av processfunktioner". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:22. Lund.
- C2.71 Johnson, B W, 1989. "Design and Analysis of Fault Tolerant Digital Systems". (Addison-Wesley Publishing Company Inc.) xxxx.
- C2.72 Redmill, F J, 1988. "Dependability of Critical Computer Systems 1". (Elsevier Science Publisher Ltd.) Guidelines produced by the European Workshop on Industrial Computer Systems, EWICS TC 7, xxx.

- C2.73 Rejdin, A, Hellström, S, 1992. "Datorbaserade system med komponenter för styrning och övervakning av byggnader". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport R27:1992.

## **C2.4 Regulatorer**

-

## **C2.5 Givare**

- C2.74 Eriksson, B, Löfstedt, B, Valbjörn, O, 1976. "Mätning av termiskt inneklimat". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Bygghörsningsens informationsblad B5:1976.
- C2.75 Fahlén, P, 1992. "Värmemätning i vätskesystem". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport R13:1992. Stockholm.
- C2.76 Fahlén, P, Andersson, H, Ruud, S, 1992. "Demand Controlled Ventilating Systems - Sensor tests". (Statens Provningsanstalt.) SP-rapport 1992:13. Borås.
- C2.77 Raatschen, W, 1991. "Demand Controlled Ventilating Systems - Sensor Market Survey". (Statens Råd för Byggnadsforskning.) Rapport D2:1992.

## **C2.5 Övriga komponenter (ställdon, ventiler m.m.)**

- C2.78 Jensen, L, 1986. "Analys av termostatsventilers statiska egenskaper". (Lunds Tekniska Högskola.) Rapport BKL 1986:12. Lund.

## C3 Artiklar och föredrag

### C3.1 Allmänna systemaspekter

- C3.1 Alcorn, L H, Huber, P J, 1988. "Decoupling supply and return fans for increased stability of VAV systems". ASHRAE Trans., Vol. 94, part 1, sid 1484-1492.
- C3.2 Andreas, U, Wolff, D, 1984. "Verfahren der Heizungsregelung im Wohn- und Nichtwohnbau". HLH, nr. 8, 1984, sid. 361-370.
- C3.3 Andrews, J W, Strasser, J, 1992. "Laboratory Testing of Control Strategies to Reduce Peak Air-Conditioning Loads". ASHRAE Proc., november 1992, 3673.
- C3.4 Asplund, L, Hedberg, P-O, 1992. "Styr och regler för energisektorn - Hur länge ska djungelns lag råda?". VVS-Forum, nr 9, sid 90-91.
- C3.5 Avery, G, 1989. "The myth of pressure-independent VAV terminals". ASHRAE Journal, August, 1989, sid. 28-30.
- C3.6 Becker, G, 1988. "Förläng livet på lödställena". Elteknik med aktuell elektronik, nr 8, sid 34-38.
- C3.7 Berglund, L G, Gonzalez, R R, 1978. "Human Response to Temperature Drifts". ASHRAE Journal, August, sid. 38-41.
- C3.8 Christiernin, G, 1992. "Accelererade miljöprov behöver vässas". Elektronik i Norden, nr 11, sid 38.
- C3.9 Energimagasinet, 1989. "Samarbete som ger resultat - Ökat anseende bland kunderna för styr & reglertekniken". Energimagasinet, nr 5, sid 24-25.
- C3.10 Grindal, A, 1991. "VVS-reglering - En fråga om att tro på verkligheten". Energi & Miljö, nr 1, sid 35-38.
- C3.11 Hagberg, L, Henriksson, H, 1988. "Lönsamhet genom produktionsanpassat underhåll". (STF Ingenjörsutbildning.) Kurs i industriell temperaturmätning, mars 1988. Linköping.
- C3.12 Haines, R W, 1981. "Economy Cycle Controls". Heating/ Piping/ Air Conditioning. April, sid. 111-113.
- C3.13 Haines, R W, 1982-1983. "Roger Haines on Controls - A Series of Articles". Heating/ Piping/ Air Conditioning. Augusti 1982 - mars 1983.
- C3.14 Helgesen, R, 1991. "Slutt på tidkrevende og kostbar inregulering". Norsk VVS, nr. 10, 1991, sid.36-37.
- C3.15 Holmer, I, 1984. "Människa och klimat: Problempåverkan och utvärdering". VVS & Energi nr 4. sid 45-48.



- C3.16 Isfält, E, 1989. "Tillförlitlighet och driftskostnad - en fråga om byggnadens dynamik". VVS & Energi, nr 4, sid 96-97.
- C3.17 Johnson, G. A., 1985. "From Constant Air to Variable". ASHRAE Journal (Jan.). sid. 107-114.
- C3.18 Liljestrand, B, Nykom, N, 1989. "Varierat differenstryck problem i stora anläggningar". VVS & Energi, nr 4, sid 75-81.
- C3.19 Liptak, B G, 1979. "Savings Through CO Based Ventilation". ASHRAE Journal, (July), sid. 38-41.
- C3.20 Landis & Gyr, 1990. "Kvalitetssäkring - Om kvalitetssäkring för styr-, regler- och övervakningsprojekt från Landis & Gyr (Sverige) AB. Huddinge.
- C3.21 Lundberg, L, 1990. "Serviceavtal -eller inte, vad får underhållet kosta". Energi & Miljö, nr 12, sid 44-45.
- C3.22 Lundin, K Å, 1989. "Ett perfekt system kräver intensiv simulatorträning". VVS & Energi, nr 9, sid 65-78.
- C3.23 Mc Kinley, A D, 1988. "Modern Building Services - More Than Computerized HVAC". ASHRAE Transactions, vol 94, part 1, sid 934-947.
- C3.24 Muller, K G, 1993. "Enge Wechselbeziehungen zwischen Regelung und Rohrhydraulik". HLH, nr 1, sid 21-24.
- C3.25 Mutambara, A W, Hittle, D C, 1990. "Energy effects of various control strategies for variable-air-volume systems". ASHRAE Trans., Vol. 96, part 1, 1990.
- C3.26 Nelson, K W, MacArthur, J W, 1978. "Energy Savings Through Setback". ASHRAE Journal, Vol. 20, No. 9, sid 49- and ASHRAE Transaction. Vol. 84, pt 2, 1978, sid. 319-334.
- C3.27 Nordtest, 1992. "Fackgrupp VVS - Handlingsplan 1992-1994". Nordtest, Esbo, Finland.
- C3.28 Novakovic, V, 1989. "HVAC-dynamics - Ett redskap for kvalitetssikring av slutleveransen i klimaanlegg". (Automatikk.) Oslo, Norge.
- C3.29 Ogasawarv, S, Taniguchi, H, Sukehira, C, 1979. "Effect of Energy Conservation by Controlled Ventilation - Case Study of a Department Store". Energy & Buildings. Vol. 2, sid. 3.
- C3.30 Ribbefjord, S, 1989. "Reglertekniken kan inte fungera med fel flöden". VVS & Energi, nr 9, sid 76-78.
- C3.31 Reed, M A, 1983. "Control Changes Enable VAV Conversion". Heating/Piping/Air Conditioning. (March), sid 109-110.
- C3.32 Sandell, R, 1975. "Drift-service-underhåll av styr- och reglersystem". VVS, nr 4.

- C3.33 Sandesten, S, Larsson, T, Scheja, C, 1993. "Intelligenta styr- och reglersystem - Finns de?". VVS-Tekniska föreningen, 28 januari 1993, Göteborg.
- C3.34 Sandström, B, 1984. "Villavärmepumpar - Reglersystemet avgör lönsamheten". VVS & Energi, nr 1, sid 29-30.
- C3.35 Spethman, D H, 1985. "Electrical Energy Management". ASHRAE Transactions, V. 87, part 1.
- C3.36 Stoecker, N F, Daber, R P, 1978. "Conserving Energy in Dual Duct Systems by Reducing the Throttling Ranges of Air - Temperature Controllers". ASHRAE Transactions, Vol. 84.
- C3.37 Werner, S, 1992. "Erfarenheter av flödesbegränsare i abonnentcentraler". (Värmeverksföreningens tekniska möte.) Mars, 1992. Sundsvall.
- C3.38 Wiggin, M E, Morris, R H, 1985. "Electronic Control for Fume Hoods". Heating/Piping/Air Conditioning, (Feb.) sid 59-64.
- C3.39 Woods, J E, Winakur, G, Maldonadoz, F, Kipp, S, 1982. "Subjective and Objective Evaluation of CO-Control Variable Ventilation System". ASHRAE Transactions. Vol. 88, part 1.
- C3.40 Wolff, D, 1991. "Heizungsregelung - energiesparend und umweltschonend (I)". Wärmetechnik, nr. 3, 1991, sid. 180-186.
- C3.41 Åkerlund, E, 1989. "Temperaturreglering av tappvarmvatten - Byggherrens gökunge i driftsekonomböet". VVS & Energi, nr 3, sid 79-80.

## **C3.2 Reglerprinciper**

- C3.42 Backus, A O, 1982. "Energy savings through improved control of heat pump setback". ASHRAE Journal, February, sid. 24-28.
- C3.43 Baumgarth, S, 1991. "Strategien zur energieoptimalen Heizungsregelung". HLH, nr. 5, maj 1991, sid. 315-318.
- C3.44 Bengtsson, G, 1986. "Adaptiv reglerteknik i Firstline". Automation, nr. 7, 1986, sid 16-21.
- C3.45 Burd, A L, 1992. "Determination of Rational Control Strategy on Building Space Heating Load". ASHRAE Proc., november 1992, 3676.
- C3.46 Bentsen, L, 1985. "New VAV controls for fume hoods". Heating/ Piping / Air Conditioning, February, sid. 67 -69.
- C3.47 Bullock, C E, 1978. "Thermostat Setback & Residential Heat Pumps". ASHRAE Journal, September, sid. 38-43.
- C3.48 Gibson, G L, Kraft, T T, 1993. "Electric demand prediction using artificial neural network technolog". ASHRAE Journal, (March), sid. 60-68.

- C3.49 Glad, T, 1988. "Nu kan vi analysera olinjära reglerproblem". Elteknik med aktuell elektronik, sid 71-72.
- C3.50 Grindal, A, 1984. "Hva alle VVS-ingeniører som et minimum bør vite om regulerbarhet". Norsk VVS, nr 11, sid 850-859.
- C3.51 Grindal, A. "Klimaregulering med forhåndsbestemt kvalitet - Hvordan ønsket reguleringskvalitet kan velges og estimeres på prosjekteringsstadiet - og siden dokumenteres ved målinger på de ferdige anleggene". Automatikk, sid. 27-29.
- C3.52 Hartman, T B, 1988. "Dynamic control: Fundamentals and considerations". (ASHRAE.) ASHRAE TRANS., Vol. 94, Part 1, sid 599-609.
- C3.53 Hutter, E, Menneteau, F-D. "Experimentation of an optimal heating control". (CSTB.) Sid. 1-15. Frankrike.
- C3.54 Jong-Hwan Kim, Keh-Kun Choi, 1987. "Design of Direct Pole Placement PID-Self-Tuners". IEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. IE-34, no. 3, 1987.
- C3.55 Kreider, J F, Curtiss, P, Brandermuehl, M, 1992. "Adaptive Control of HVAC Processes using Predictive Neural Networks". ASHRAE Proc. 3671.
- C3.56 Kreider, J F, Anstett, M, 1992. "Application of Neural Networking Models to Predict Energy Usage". ASHRAE Proc. 3672.
- C3.57 Levine, M, Moll, L W, 1981. "Beyond Setback: Energy Efficiency Through Adaptive Control". ASHRAE Journal, (July), sid. 37-39.
- C3.58 Liliesköld, G, 1993. "Europa satsar på fuzzy". Elektroniktidningen.
- C3.59 Liliesköld, G, 1993. "Programvara kombinerar fuzzy-logik och nervnät". Elektroniktidningen.
- C3.60 Lundin, K Å, 1987. "Adaptiva ventilationssystem och intelligenta byggnader". (VVS-Tekniska Föreningen.) Konferens 27 oktober 1987. Göteborg.
- C3.61 MacCluer, C R, 1989. "The control of radiant slabs - A resurgence in radiant slab heating requires new control practices". ASHRAE Journal, September 1989, sid. 28-33.
- C3.62 Magnuski, M J, 1988. "Review of ASHRAE Symposium session on the application of adaptive control to real HVAC applications". International Journal of Refrigeration, Vol. 11, January 1988, sid 11-15.
- C3.63 Mitchell, J W, 1989. "Optimal control of HVAC Equipment with consideration of Thermal Storage in the Structural Mass of Buildings". (ASHRAE.) TC 4.6, Building Operations Dynamics.
- C3.64 Novakovic, V, Ögård, O, 1989. "Reguleringsteknisk analyse av behovsstyrt ventilasjon". Norsk VVS, nr. 1, 1989, sid. 8-14.

- C3.65 Oja, V, 1988. "Exempel på temperaturreglerkretsar". (STF Ingenjörsutbildning.) Kurs i industriell temperaturmätning, mars 1988. Linköping.
- C3.66 Persson, G, 1993. "Totalintegrerade styrsystem". Automation, nr 2, sid 7-8.
- C3.67 Pfannspiel, D, Knapp, T, 1991. "Regelungstechnische Lösungen auf dem PC". HLH, nr. 5, maj 1991, sid. 309-314.
- C3.68 Poulsen, H, 1991. "Dynamisk modellering - fremtidens dimensioneringsverktøj?". VVS Danmark, september 1991.
- C3.69 Paoluccio, J P, Burfield, J A, 1981. "University Evaluates Dead Band Control Strategy". ASHRAE Transactions, Vol. 87, part 1.
- C3.70 Pienta, WT, 1992. "Integrating building automation and control". ASHRAE Journal, September, sid. 54-58. ASHRAE Transactions, Vol. 87, part 1.
- C3.71 Puthenpura, SC, Sinha, N K, 1987. "Robust Identification from Impulse and Step Responses". IEEE Trans. on ind. el., Vol. IE-34, no. 3, sid 366-370.
- C3.72 Rösnes, T, 1992. "Fuzzylogik - Vad är det?". Automation, nr. 2, 1992, sid 5-8.
- C3.73 Shapiro, M M, Yager, A J, Ngan, T H, 1988. "Test hut validation of a microcomputer predictive HVAC control". ASHRAE Trans., Vol. 94, part 1, sid 644-663.
- C3.74 Stoten, D P, 1989. "A minimal controller synthesis, adaptive algorithm for environmental systems". IIR Proc., (publ. 1990). Bristol, UK.
- C3.75 Thielman, D E, 1983. "Chiller Optimization by Energy Management Control Systems". ASHRAE Journal. (Nov.) sid. 60-62.
- C3.76 Togeby, M, 1989. "VVS-systemer kan være kaotiske". VVS Danmark, nr. 10, oktober 1989, sid 55-58.
- C3.77 Toijer, D, 1989. "Köp inte adaptiva system i onödan". Elteknik, sid 77-79.
- C3.78 Toijer, D, 1990. "Expertsystem". Elteknik, sid 31-32.
- C3.79 Toijer, D, 1993. "Oskarp logik trimmar regulatorm". Elektroniktidningen, nr 8, sid 30-31.
- C3.80 Waldemark, J, 1992. "Neurala nätverk och oskarp logik, användbara hjälpmedel vid drift, utvärdering och simulering av fjärrvärme". Seminarium om fjärrvärmeforskning i Sverige, 27 augusti, 1992. Lund.
- C3.81 Åström, K J, 1990. "Automatic tuning for precise process control". (SAAB.) Griffin.
- C3.82 Årzén, K E, 1988. "Expertsystemet klarar krångliga processer". Elteknik med aktuell elektronik, sid 66-69.

- C3.83 Öberg, T, 1991. "Verktyg för processoptimering med många användningsområden". Energimagasinet, nr. 3, 1991, sid. 46-49.

### C3.3 Datoriserade system

- C3.84 Aggerholm, S, 1992. "Afprövning av programmerbar automatik". Dansk VVS, 975.
- C3.85 Anderson, R, 1991. "Gems to look for in EMCS". Heating/Piping/Air Conditioning, Nov. 1991, sid. 47-52.
- C3.86 Autic System, 1993. "Bygg ditt system grafiskt och kommunicera under Windows". Automation, nr 2, sid 11-15.
- C3.87 Aublin, J P, 1993. "Ein Haus-Netz zur Steuerung und Überwachung". HLH, nr 1, sid 39-40.
- C3.88 Bach, H, et al, 1992. "Building Energy Management Systems (BEMS)". HLH, nr. 3, mars 1992, sid. 105-107.
- C3.89 Baille, J D, Langford, P L, 1985. "Microprocessor control of a system". ASHRAE Journal, September, sid. 22-27.
- C3.90 Birtles, A B, John, R W, Smith, T H, 1984. "Study of the Performance of an Energy Management System". Building Services Engineering Research & Technology, Vol. 5, No. 4.
- C3.91 Bolsing, B, 1992. "Ett huvuddatorprogram som klarar det mesta". Energi & Miljö, nr 9, sid 49-50.
- C3.92 Davidson, F G, 1992. "Direct digital control documentation employing graphical programming". ASHRAE Journal, (September), sid. 46-52.
- C3.93 Ford, T, 1989. "Direct Digital Control or electronic controls: The owner's view". AIRAH J., no. 12, 1989. Australien.
- C3.94 Forsberg, S, 1991. "Lägesrapport: Datoriserad styrning och övervakning - Tekniken och behovet". ByggSverige, nr 4, sid 20-33.
- C3.95 Forsberg, S, 1991. "Lägesrapport: Datoriserad styrning och övervakning - Produkter och marknad". ByggSverige, nr 4, sid 34-44.
- C3.96 Hartman, T, 1988. "Documenting Dynamic Control". Heating/Piping/Air Conditioning, (October), sid 87-90.
- C3.97 Hartman, T, 1989. "Industry Efforts Towards Protocol Standards". Heating/Piping/Air Conditioning, (October), sid 89-99.
- C3.98 Hartman, T, 1992. "Promising Control Innovations with New Generation DDC". Heating/Piping/Air Conditioning, (November), sid 55-59.

- C3.99 IEC, 1991. "The Thinking Building: An intelligent idea for the future". IEC Bulletin, Nov./Dec. 1991.
- C3.100 Karlsson, J, 1992. "Subventioner och nya utbildningar banar väg för "domotique". Byggforskning, nr. 1, 1992, sid. 12-18.
- Musa, J D, Ackerman, A F, 1989. "Quantifying Software Validation: When to stop testing?". IEEE Software, maj 1989.
- C3.101 Rösnes, T, 1993. "Kommunikation - automationens och processteknikens livsnerv". Automation, nr 2, sid 5-6.
- C3.102 Stoecker, W F, 1980. "Refrigeration Control with Enhanced Microcomputers". Heating/Piping/Air Conditioning. (Nov.) sid.48.
- C3.103 Valen-Sendstad, J, 1993. "Kommunikasjon mellom forskjellige automatikk systemer". Scanref, nr 1, sid 22-25.
- C3.104 Wai-Fuk Ho, 1992. "Development of a Software Package for Self-Tuning of 3-Term DDC Controllers". ASHRAE Proc., november 1992, 3674.
- C3.105 Winchcombe, R, 1989. "Have direct digital controls (DDC) lived up to their reputation?". AIRAH J., no. 12, 1989. Australien.
- C3.106 Östlund, G, 1991. "Digitala nätverk optimerar styr- och reglertekniken". Energi & Miljö, nr. 9, 1991, sid. 65-68.

### C3.4 Regulatorer

- C3.107 Dexter, A L, Haves, P, 1989. "A robust self-tuning predictive controller for HVAC applications. (ASHRAE Trans.) Vol 95, part 2, 1989, sid 431-438.
- C3.108 Kleimann, A, 1992. "Regeln ohne Lehrgeld - Einsatz von mikroprozessor-gesteuerten Temperaturregeln in der Kältetechnik". Die Kälte, nr 9, sid 614-621.
- C3.109 Persson, K, 1990. "Kontinuerligt självinställande regulatorer utvecklar byggnadsautomationen". Energi & Miljö, nr 2, 1990, sid 43-45.
- C3.110 Toijer, D, 1993. "Välj rätt metod för autotrimning". Elektroniktidningen, nr 6, sid 14.
- C3.111 Wallenborg, A, 1991. "Automatic tuning of HVAC controls may save commissioning time, money". Air Cond. Heat. Refr. News, no. 8, 1991. Sid 20-22.
- C3.112 Wallenborg, A, 1991. "A new self-tuning controller for HVAC systems". ASHRAE Trans., Vol. 97, part 1, sid 19-25.

### C3.4 Givare

- C3.113 Engel, H O, 1992. "Einheitliche Anzeige-/Bedienoberfläche von Prozessmessgeräten". *Technisches Messen*, nr 9, sid 367-370.
- C3.114 Fullman, C, Helm, B M, 1981. "Deadband Thermostats Pro & Con". *ASHRAE Journal*, July, sid. 51-53.
- C3.115 Ham, P J, 1984. "Untersuchung der statischen und dynamischen Eigenschaften von Raumthermostaten für Zweipunktregelung". *HLH*, nr. 8, augusti 1984, sid 379-387.
- C3.116 Kao, J Y, Pierce, FT, 1983. "A Study of Sensor Error on Building Energy Consumption". *ASHRAE Journal*, Vol. 25, No. 12.
- C3.117 Kao, JY, 1985. "Sensor Errors". *ASHRAE Journal*. (Jan.) sid. 100-106.
- C3.118 Lund-Madsen, T, Schmidt, T P, Helk, U, 199x. "Termostatplaceringens betydning for komfort og energiforbrug". *Dansk VVS*, 057.
- C3.119 Preuss, A, 1992. "Smart/Hart - Kommunikation für Prozessmessgeräte". *Technisches Messen*, nr 9, sid 361-366.

### C3.5 Övriga komponenter (ställdon, ventiler m.m.)

- C3.120 Falk, V, 1992. "Ny generation af frekvensomformere til VVS-anlaeg". *VVS Denmark*, augusti, vol. 28, no. 9, sid. 22-23.
- C3.121 Garland, M W, 1980. "Compressor Capacity Control for Air-Conditioning Systems". *ASHRAE Journal*, April, sid. 37-39.
- C3.122 Gertmar, L, 1992. "Hur kan det som var omöjligt igår bli verklighet idag? - Om asynkronmotorers och frekvensomriktarens utvecklingsfaser fram till dagens pålitliga parhästar". (Malmö Energi.) Seminarium den 15 september, 1992. Malmö.
- C3.123 Hammar, T, 1992. "Reglerventilers reglerområde och reglerkaraktär". *Automation*, nr. 6, 1992.
- C3.124 Malmö Energi, 1992. "Effektivare elmotordrift". (Svensk Energiutveckling och Malmö Energi AB.)
- C3.125 Pyötsiä, J, Husu, M, 1992. "Korrekt beräkning av reglerventiler i processystem". *Automation*, nr 1, sid 13-16.
- C3.126 Trane Company of Canada, 1977. "Coil Control - Part II". *TRANE Engineers Newsletter*, (Oct.).
- C3.127 Trane Company of Canada, 1979. "Fan Selection & Control in Variable Air Volume Systems". *TRANE Engineers Newsletter*, (Oct.).









**R43:1993**

ISBN 91-540-5588-1

Byggeforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6813043

Abonnemangsgrupp:

W. Installationer

Distribution:

Svensk Byggtjänst

171 88 Solna

Cirkapris: 127 kr inkl moms