

# Digital reglering av klimatprocesser

Lars Jensen

*Behovet av klimatreglering har ökat kraftigt sedan 1960-talet. Ett av skälen till detta är den ändrade byggtekniken, som innebär lättare konstruktioner med större inre värmebelastning från belysning, maskiner, personer och solinstrålning genom stora fönsterytor. De ökade värmebelastningarna kan klaras av med ett flertal olika klimatsystem. Dessa system kräver någon form av reglering.*

*Under 1970-talet har kravet på bättre reglering ökat ytterligare på grund av de stigande energipriserna. Anläggningar förses med olika typer av värmeåtervinning, vilket komplicerar klimatsystemen och därmed också reglerutrustningen.*

## Bakgrund

Reglertekniken inom VVS-sektorn har av många betraktats som underutvecklad. Skälet till detta är främst kostnadskraven. Ett reglersystem skall framför allt vara billigt. Tekniska prestanda kommer i andra hand. Driftskostnader beaktas heller inte alltid vid val av klimatsystem.

I stora byggnadskomplex ökar kravet på att effektivt kunna övervaka och styra alla funktioner, eftersom arbetskostnaden är hög. För detta ändamål finns det ett flertal olika övervaknings- och styrsystem. Många system baseras på mikro- och minidatorer. I de flesta fall kombineras dessa utrustningar med reglerutrustningar av konventionellt utförande. Nästa steg i utvecklingen är att låta datorn ta över regleringen och ersätta de konventionella regulatorerna.

Ett annat genomgående drag hos reglertekniken inom VVS-sektorn är att det knappast finns någon samordning mellan olika reglerkretsar. En sådan samordning kan vara svår att utföra med konventionell teknik. Om datorer används krävs det kunskap om processteknik men endast en obetydlig ökning av programvara.

Datortekniken har hittills använts vid dimensionering av klimatsystem, främst för statistiska beräkningar. I vissa fall genomförs också simuleringar av

temperaturförloppet i rum. Genomgående för dessa simuleringar är att olika byggnadsdelar, såsom golv, väggar och tak, beskrivs väl medan själva klimatsystemet med reglerutrustning oftast förenklas starkt.

## Forskningsprojekt

Utgående från den bakgrund som skisserats ovan startades 1970 ett forskningsprojekt stött av Statens Råd för Byggnadsforskning. Projektets huvuduppgifter var att utveckla processkänedom och teknik för modellbygge samt att genomföra reglerexperiment med klimatprocesser. Projektet inriktades från början på digital reglering.

## Resultat

Avhandlingen består till största delen av resultat från forskningsarbetet. En mindre del har erhållits i samband med förvärvsarbete med datorsystem för styrning, övervakning och reglering av klimatsystem. Arbetet har omfattat många experiment med olika komponenter och klimatsystem. Den totala experimenttiden omfattar ungefär 1 500 timmar. En flyttbar mät- och styrutrustning har använts för all slutning till en fast dator via telefonnätet eller via kabel. Program har utvecklats för helt automatiserade experiment. Experimentutrustningen beskrivs i kapitel 3.

Enkla teoretiska modeller kan erhållas ur mass- och energibalanskvationer. Det visas hur okända eller osäkra modellparametrar kan fastläggas genom mätningar på processen. Fördelen med modeller baserade på fysikaliska ekvationer är att inverkan av parameterändringar kan undersökas enkelt. I kapitel 4 presenteras de metoder som använts för att erhålla de matematiska modellerna.

I kapitel 5 tillämpas de i kapitel 4 beskrivna metoderna för flera vanliga klimatprocesser såsom rum, luftkanaler, värmeväxlare och bostadshus. Enkla teoretiska modeller har tagits fram och jämförts med experimentellt bestämda modeller. Resultaten visar att de enkla teoretiska modellerna grovt

# Byggeforskningen Sammanfattningar

S37:1978

Nyckelord:  
uppvärmning ventilation, reglerteknik,  
datorstyrning, digital teknik

Sammanfattning S37:1978 hänför sig till forskningsanslag 740622-5 från Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för byggnadskonstruktionslära, LTH, Lund.

UDK 697

62=53

681.32

Sammanfattning av:  
Jensen, L., 1978, *Digital reglering av klimatprocesser*. (Inst. för byggnadskonstruktionslära, LTH.) Lund. Doktorsavhandling LUTFD2/(TFRT-1014)/1-263/(1978). 257 s., ill. Pris 100 kr.

**Källskriften är skriven på svenska.**  
Svensk och engelsk sammanfattning utges separat av Statens råd för byggnadsforskning.

Källskriften distribueras av:

Inst. för byggnadskonstruktionslära,  
LTH,  
220 07 Lund

stämmer överens med de experimentella. Problemet är att bestämma vissa fysikaliska storheter, t ex värmeövergångstal, tillräckligt noggrant. Resultaten visar också att det är lätt att bestämma experimentella modeller för klimatprocesser genom identifiering. Modellerna är genomgående av första och andra ordningen.

### Reglering

Analogt med modellbyggnadsdelen beskrivs först de metoder som använts för att dimensionera regulatorer. En korrekt inställd PI-regulator klarar många reglerfall. Eftersom processernas förstärkning och tidskonstanter varierar med drifttillstånd, kan det dock vara besvärligt att justera regulatorn korrekt. Tyngdpunkten i arbetet har därför varit att undersöka olika enkla självinställande regulatorer. Ett specialfall av en sådan regulator har upptäckts under avhandlingsarbetet. Denna regulator har kallats *kvotregulatorn*, därför att den statiska förstärkningen skattas som kvoten mellan senaste styrvariabel och senaste mät-signal. Regulatorn kan skrivas som

$$u(t) = u(t-1) y_r/y(t),$$
$$u(t) > 0, y(t) > 0, y_r > 0. \quad (*)$$

Kvotregulatorn har inget medelfel, och kan således tolkas som en I-regulator med variabel förstärkning. Kvotregulatorn kan användas för att reglera statiska olinjära processer som beskrivs av

$$y(t+1) = f(u(t)). \quad (**)$$

Kravet för stabilitet är att

$$0 < f'(u) < 2f(u)/u. \quad (***)$$

Kvotregulatorn kan modifieras genom att införa dämpning. Med dämpning kan en större klass av statiska processer regleras. Kvotregulatorn kan också användas för att reglera linjära dynamiska processer. Lokal och global stabilitet visas för vissa typer av överföringsfunktioner. Samplingsintervallet är en viktig dimensioneringsparameter. Det bör väljas så att mer än halva stegsvaret har erhållits efter ett samplingsintervall. Detta kan leda till långa samplingsintervall. Ett kortare samplingsintervall kan användas om dynamisk kompensering, baserad på skattning av en första ordningens modell av processdynamiken, införs. Val av lämplig *reglerprincip* är ett

annat tema, som behandlas i kapitel 6. Grundtanken är att undvika svåra reglerproblem genom lämpligt val av mätta och reglerade storheter. Även beräknade storheter kan användas. När en dator används för reglering krävs endast lite extra programvara för de nödvändiga beräkningarna. En annan observation är att de i reglerprinciperna ingående storheterna kan vara ytterst informativa jämfört med de primära reglerstorheterna.

I kapitel 7 ges exempel från olika experiment med reglering av klimatprocesser. Genomgående för experimenten är att prov har gjorts utan reglering, med normal reglering och med olika digitala regulatorer. Varje prov har omfattat någon störning eller någon börvärdesändring.

Först ges exempel på reglering av ett elradiatoruppvärmt rum och ett radiatoruppvärmt bostadshus. I det första fallet provades olika regulatorer. Resultaten visade att en viss förbättring kan fås med mer komplicerade regulatorer. De temperaturvariationer som erhöles med en PI-regulator skiljde sig dock inte mycket från de som erhöles med den mest komplicerade regulatorn. Bostadshuset provades med en förbättrad reglering med återkoppling från frånluftstemperaturen. Proven visade att temperaturen kunde regleras avsevärt bättre än med enbart framkoppling. Ur reglerteknisk synpunkt är detta inget märkvärdigt. Ur energibesparingssynpunkt är detta förbättrade reglersätt viktigt, ty den ökade installationskostnaden förräntas på mellan ett och två år. I ett avsnitt ges exempel på reglering av olika ventilerade rum. Olika regulatorer provades på en lektionssal. Resultaten med PI-regulatorn skiljde sig även här inte avgörande från de resultat som erhöles med mer komplicerade regulatorer.

Med ett försöksrum visas hur ren till-från reglering kan förbättras genom att använda en modell i regulatorn. En dead-beat styrlag beräknas utgående från modellen. Styrlagen används för att bestämma om insignalen skall vara till eller från.

I en annan försöksserie med ett sjukhusrum provades ett modifierat reglersätt för en eftervärmare. Värmetillskottet i tilluften regleras normalt genom spjällreglering av ett värmebatteri med konstant vattenflöde. Det

modifierade reglersättet med ett puls-längdsmodulerat flöde kunde fås att reglera bättre än det normala. Flödesregleringen är också att föredra ur energisynpunkt, då den inte medför några onödiga värmeförluster från värmebatteriet i avstängt tillstånd. En sådan värmeförlust kan leda till ett ökat kylbehov sommartid.

I två fall ges exempel på hur kvotregulatorn kan användas för tilluftsreglering av ett elektriskt värmebatteri och en värmepumpsanläggning, som regleras i åtta steg. Reglering av stegprocesser med en PI-regulator sker med ständig in- och urkoppling av ett steg. Detta inträffar inte med kvotregulatorn. I stället fås ett konstant reglerfel, som varierar med behovet.

I ett avsnitt med en entalpväxlare används med gott resultat både en ny reglerprincip och en självinställande regulator för att reglera en tilluftstemperatur.

I det sista underavsnittet belyses användning av nya reglerprinciper. Först behandlas reglering av temperatur och fukt. I ett annat fall beräknas det mest ekonomiska driftssättet för en klimatanläggning med flera efterbehandlingsdelar och en gemensam förbehandlingsdel. Reglering av effekt och utgående vattentemperatur för en elpanna beskrivs sist i avsnittet. En förbättrad reglering erhöles genom att beräkna den önskade ingående vattentemperaturen från den önskade effekten och den önskade utgående vattentemperaturen. En parameter, som beskriver vattenflödet, uppdaterades rekursivt ur mätdata.

För att kunna tillämpa de nya idéer som presenteras i avhandlingen krävs ett effektivt programmeringssätt. Det är knappast möjligt att utnyttja ett generellt standardprogram för att klara av alla tyfall, då en sådan lösning leder till ett dåligt utnyttjande av datorns minnesutrymme. I kapitel 8 beskrivs ett processstyrningsspråk som utvecklats för tillämpning av digital reglering. Driftserfarenheterna från ett tiotal datorsystem, där språket använts, är goda. Språket är interpretativt, vilket medför att programmet enkelt kan ändras on-line. En annan fördel är en hög packningstäthet jämfört med andra högnivåspråk såsom ALGOL, BASIC och FORTRAN.