



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.



Jämförelse mellan uppmätt och beräknat rumstemperatur- förlopp

Tord Larsson

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac <i>8er</i>

R
AW

R68:1983

JÄMFÖRELSE MELLAN UPPMÄTT OCH BE-
RÄKNAT RUMSTEMPERATURFÖRLOPP

Tord Larsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
760229-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till Avd för installationsteknik, CTH, Göteborg.

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

R68:1983

ISBN 91-540-3949-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
LiberTryck Stockholm 1983

FÖRORD

Denna rapport redovisar resultatet av ett projekt som behandlar jämförelse mellan uppmätt och beräknat rumstemperaturförlopp i kontorsrum. Projektet har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning (BFR), anslag nr 760229-5.

Arbetet har utförts på Avd för installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola. Till prof Enno Abel riktas ett varmt tack för alla värdefulla synpunkter på genomförandet av fältmätningarna och beräkningarna samt för redovisningens uppläggning.

Till civ ing Teddy Rosenthal, Dalab, Solna, riktas ett varmt och stort tack. Utan hans stora välvilja har det inte varit möjligt att genomföra de i rapporten redovisade beräkningarna med datorprogrammet BRIS. Han har även givit värdefulla synpunkter på genomförandet av beräkningarna med datorprogrammet BRIS samt på beräkningarna med beräkningsmetoden Gertis.

Ett varmt tack riktas till:

- sekr Nina-Britta Rangvin som med stort tålamod gjort skrivmaskintext av manuskriptet,
- lab ing Tommy Sundström, för det år som han arbetat med BRIS-programmet och för hjälpen med mätutrustningens drift och installation,
- tekn dr Engelbrekt Isfält, KTH, för bidraget med synpunkter på tillämpningar med BRIS-programmet,
- civ ing Barbro Briheim, för dels hjälp med installation av mätutrustning samt för värdefulla synpunkter,
- civ ing Torbjörn Jilar för alla värdefulla synpunkter under dagar och nätter,
- civ ing Gunilla Espmark,
civ ing Poul Harryson,
civ ing Jerry Kröhnke och
civ ing Anders Moberg
civ ing Tamas Frommer
för beräkningshjälp.

Göteborg i juni 1982

Tord Larsson

INNEHÅLL

BETECKNINGSLISTA		5
SAMMANFATTNING		7
1	ARBETETS BAKGRUND OCH SYFTE	10
1.1	Inledning	10
1.2	Bakgrund	12
1.3	Möjlig utvidgning av målsättningen	14
2	MÄTPROGRAMMET	18
2.1	Mätobjekt	18
2.2	Mätsystem	20
2.3	Mätningarnas genomförande	23
2.4	Mätta storheter	24
2.5	Något om mätfel	28
3	METODER FÖR BERÄKNING AV RUMSTEMPERATURER	30
3.1	Teoretiska beräkningsmodeller	30
3.2	Empiriska beräkningsmodeller	34
3.3	Sammanfattning, beräkningsmodeller	35
3.4	Val av beräkningsmetod	35
4	JÄMFÖRELSE R MELLAN UPPMÄTTA OCH BERÄKNADE RESULTAT	37
4.1	Förutsättningar	37
4.2	Använda klimatdata	39
4.3	Jämförelse med BRIS	42
4.4	Jämförelse med Gertis metod	56
4.5	Jämförelse med TEMPO	60
5	SAMMANFATTANDE DISKUSSIONER	63
5.1	Syfte och genomförande	63
5.2	Studerade beräkningsprogram	63
5.3	Faktorer som påverkar resultatet av en temperaturberäkning	64
5.4	Startvärden	65
5.5	Fönsteröppning	66
5.6	Värmeövergångstalet mellan byggnadskonstruktion och rumsluft	67
5.7	Sammanfattande synpunkter	67
REFERENSER		69
BILAGA 1	Något om teorierna bakom datorprogrammet BRIS	B1
BILAGA 2	Något om teorierna bakom Gertis metod	B10
BILAGA 3	Något om teorierna bakom beräkningsmetoden TEMPO	B15
BILAGA 4	Något om bakgrunden till Carrier/ASHRAE-metoden för kylbehovsberäkning	B18

BETECKNINGSLISTA

<u>Beteckning</u>	<u>Storhet</u>	<u>Dimension</u>
A	yta	m^2
A	konstant	$^{\circ}C$
a	temperaturledningstal	$m^2 \text{ } ^{\circ}C$
a	konstant	-
b	konstant	-
c	specifik värmekapacitet	$Ws/kg \text{ } ^{\circ}C$
c	konstant	-
D	konstant	$1/^{\circ}C$
DN	dagnummer	1
d	tjocklek	m
f	korrektionsfaktor	1
h	klockslag	-
I	solinfall	W/m^2
K	konvektionsfaktor	1
k	lagringstal	$W/m^2 \text{ } ^{\circ}C$
L	karaktäristisk längd	m
m	rummets ytvikt	$kg/m^2 \text{ } gy$
Q	värmeenergi	Wh
Q̇	värmeflöde	W
q̇	värmeflöde per ytenhet	W/m^2
R	randvillkors storhet	W
T	absoluttemperatur	K
t	temperatur	$^{\circ}C$
V	volym	m^3
V̇	volymflöde	m^3/s
Ẇ	värmekapacitetsflöde	$W/^{\circ}C$
x	djup, längd	m
α	värmeövergångstal	$W/m^2 \text{ } ^{\circ}C$
ε	relativa strålningstalet	1
λ	värmeledningstal	$W/m \text{ } ^{\circ}C$
σ	dämpningskoefficient	$^{\circ}C \text{ } m^2/W$
ρ	densitet	kg/m^3

BETECKNINGSLISTA forts

<u>Beteckning</u>	<u>Storhet</u>	<u>Dimension</u>
τ	tid	timmar, s
φ	vinkelkoefficient	1
ψ	fördelningskoefficient	1
ψ	korrigeringsstillägg till Fouriermodulen $\frac{a\Delta\tau}{L^2}$	1

Index, undre

<u>Beteckning</u>	<u>Storhet</u>
e	ekvivalent ute
ekv	ekvivalent differens
f	fönster
g	golv
i	inblåsning
k	konvektion
l	lagring
m	räknare
n	räknare
p	konstant tryck
r	rums
T	total
u	ute
v	vägg, ventilations
y	yta

Index, övre

<u>Beteckning</u>	<u>Storhet</u>
-	medelvärde
*	medelvärde
0	före tidssteget $\Delta\tau$
1	efter tidssteget $\Delta\tau$

Syfte och bakgrund

Beräkning av rumstemperaturförlopp har med olika beräkningsmodeller pågått sedan slutet av 1950-talet. Syftet att göra beräkningar av rumstemperaturförlopp har varit att skaffa sig ett underlag att dimensionera värmeanläggningen under vinterfallet och ventilationsanläggningen under sommarfallet. Beräkningen av sommarfallet är mer komplicerad än vinterfallet på grund av att där kan inte värmebalansen betraktas som stationär. För sommarfallet är det svårt att finna några systematiska jämförelser mellan uppmätta och beräknade rumstemperaturförlopp. Rapporten behandlar sådana jämförelser. För att göra en jämförelse mellan dels beräknat rumstemperaturförlopp och dels uppmätt rumstemperaturförlopp under sommarfallet så måste man ha uppmätta ingångsdata att använda vid beräkningarna. I rapporten diskuteras varför rumstemperaturförloppet har valts som jämförande storhet och inte t ex luftbehandlingsanläggningens kyleffekt.

Det brukar finnas flera skäl till varför beräkningar av rumstemperaturförlopp med olika beräkningsmodeller ger resultat som inte överensstämmer med det uppmätta rumstemperaturförloppet. Ett av dessa skäl kan vara att olika beräkningsprogram har olika matematiska samband som mer eller mindre väl avspeglar det fysikaliska förloppet i rummet riktigt. Ett annat skäl kan vara att beräkningsmodellen ej tar med samtliga faktorer som påverkar rummets värmebalans. I rapporten redovisas därför olika beräkningsmodeller för rumstemperatur samt vilka approximationer som gjorts av teorin och vilka klimatpåverkande faktorer som ingår i beräkningsmodellerna.

Huvudsyftet med rapporten är att undersöka om det finns någon avvikelse mellan ett uppmätt och ett beräknat rumstemperaturförlopp. Dessutom behandlas frågan om de klimatpåverkande faktorer som beror av verksamheten har sådan inverkan på rumsklimatet att man bör beakta dessa speciellt vid beräkningarna. Ett exempel på en sådan klimatpåverkande faktor är öppnandet av fönster.

Mätningar

För att belysa ovan skisserade problem har rumstemperaturförloppet mätts i 30 kontorsrum i 4 olika kontorshus i Göteborg. För att få ett underlag för beräkningarna har dessutom i varje kontorsrum registrerats om fönstren varit öppna eller ej. I rapporten redovisas hur och varför ett flertal andra för beräkningarna väsentliga storheter har uppmätts. Nästan samtliga storheter har mätts upp var 20:e minut och samlats in med hjälp av en insamlingsenhet på Chalmers med fasta telefonledningar. Mätssystemet redovisas i rapporten. Dessutom har luftflödet till varje rum uppmätts vid några olika tillfällen. Bruket av persienner, belysning och maskiner har registrerats vid luftflödesmätningarna samt vid andra tillfällen. För bestämning av solvärmestillskottet till det enskilda rummet krävs uppgifter om solinstrålningen mot rummets fasad vid varje beräkningstidpunkt. Genom mätningar har konstaterats om solen lyser eller ej. Teoretiskt kan sedan solinstrålningen mot varje fasad beräknas. Tillvägagångssättet redovisas närmare i rapporten.

Modeller för beräkning av rumstemperaturer

Beräkningsmodeller för rumstemperaturer kan indelas på ett flertal olika sätt. Modellerna bygger på rent teoretiska betraktelser av rummens värmebalanser. Ju fler approximationer av teorin desto enklare blir modellen. Därför har beräkningsmodellerna indelats efter det beräkningshjälpmedel som behövs för att utföra beräkningarna. De i rapporten redovisade beräkningsmodellerna är BRIS-programmet, Gertis metod, TEMPO och kylbehovsberäkningsmetoden Carrier/ASHRAE. För dessa redovisas dels vilka approximationer av teorin som är gjorda, dels vilka rumstemperaturförloppspåverkande faktorer som ingår. I bilagorna till rapporten finns en utförlig sammanfattning av de ingående matematiska sambanden för respektive modell. Till klassen datorprogram som kräver en minidator för beräkningsarbetet hör BRIS-programmet. Till nästa klass beräkningsmodeller, där minst en stor programmerbar räknedosa skall användas för beräkningen, hör modellen Gertis metod. Till klassen handberäkningsmodeller hör dels TEMPO och dels den enda empiriska modellen, kylbehovsberäkningsmodellen. I rapporten redovisas varför kylbehovsberäkningsmodellen inte kan användas för beräkning av rumstemperaturförlopp. I tabellen nedan är redovisat en sammanfattning av beräkningsmodellerna.

Metod	Användarsätt	Uppbyggnad	Kan beräknas		Värmeväg i fasad	Resultatet beror på tidigare dygn	Resultatet beror på omkringliggande rum
			rumstemp	kylbehov			
BRIS	minidator	teoretisk	JA	JA	ingår	JA	JA
Gertis	större progr bar räknedosa	teoretisk	JA	JA	kan kompletteras	JA	NEJ
TEMPO	handberäkning	teoretisk	JA	JA		NEJ	NEJ
Carrier ASHRAE	handberäkning	empirisk	NEJ	JA	ingår	NEJ	NEJ

Jämförelse

För jämförelserna har i huvudsak två varma perioder använts. Med en varm period avses en period där den genomsnittliga medeltemperaturen dygn för dygn överskrids med mer än 1 °C. I rapporten redovisas ett uttryck för denna dygnsmedeltemperatur.

En förutsättning för en jämförelse mellan beräknat och uppmätt rumstemperaturförlopp skall kunna göras är att de ingående ingångsdata som beskriver rummet är korrekta. I rapporten redovisas att det har stor betydelse hur dessa rumsbeskrivande ingångsdata väljs. Däremot har inverkan av olika luftflöden i identiska rum inte så stor betydelse för resultatet vid jämförelser. Med startvärden avses de temperaturer som beräkningen startar med och med förberäkningstid avses det antal dygn som används för att beräkna tempera-

turfördelningarna i byggnadskonstruktionen som skall ligga till utgångspunkt för den egentliga beräkningen. Både valet av startvärde och förberäkningstidslängd har mycket stor betydelse för resultatet av jämförelse. Speciellt för temperaturnivån på rumstemperaturförloppet har både startvärdet och förberäkningstiden stor inverkan. Detta är väsentligt att känna till om temperaturnivåer används som kriterier för val mellan kylning av ventilationsluften eller ej vid projektering av luftbehandlingsanläggningar. I rapporten diskuteras också olika sätt att välja startvärdet. I BRIS-programmet går det att simulera möblerings inverkan på rumstemperaturförloppet men dess inverkan är ringa. Även fönsteröppningar går att simulera i BRIS-programmet och dessa ger en klar minskning av rumstemperaturens amplitud. Hur den praktiskt verk-samme ingenjören skall kunna beräkna inverkan av fönsteröppning måste studeras vidare.

För Gertis metod har även startvärdet och förberäkningstiden en avgörande betydelse för rumstemperaturnivån. Valet av det totala värmeövergångstalet, dvs summan av rumsytornas värmeövergångstal p g a konvektion och strålning, påverkar rumstemperaturamplituden på ett avgörande sätt. Av rapporten framgår att det totala värmeövergångstalet $6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ visar sig vara bra vid jämförelse mellan beräknat och uppmätt rumstemperaturförlopp.

Av rapporten framgår att för rumsberäkningsmodellen TEMPO man enbart kan erhålla rummets maximi- och minimitemperatur. För att en beräkning med beräkningsmodellen TEMPO skall kunna göras så måste man välja två faktorer som har stor inverkan på rumstemperaturens amplitud, dvs skillnaden mellan rummets maximi- och minimitemperatur. Dessa faktorer är konvektionsfaktorn och lagringstalet. Även nivåerna på rumstemperaturen avviker från de uppmätta vid beräkning med TEMPO. Den beräknade rumstemperaturens nivå beror enbart av det betraktade dygnets klimatbelastning medan den uppmätta rumstemperaturnivån beror förutom av det betraktade dygnets klimatbelastning även av lagrat värme i rummet från tidigare dygn. Det senare tar inte TEMPO hänsyn till.

Diskussioner

Det är ganska självklart att valet av starttemperaturer och längden på förberäkningen har inflytande på slutresultatet när det gäller BRIS och Gertis metod. Detta bekräftas klart av undersökningen när det gäller temperaturnivå. Däremot påverkar valet av förberäkningstid och starttemperatur inte rumstemperaturförloppets amplitud nämnvärt. I rapporten redovisas och diskuteras några vanliga sätt att välja förberäkningstid och startvärde, som nyttjare av beräkningsmodellerna använder. Det syntes dock som om en minsta förberäkningstid bör vara 3-4 dagar. I förberäkningstiden bör omväxlande soliga och mulna dagar användas. Utetemperaturen bör inte heller väljas extremt hög. Det syns finnas motiv för en standardisering av förberäkningsmetodiken.

Både mätningar och beräkningar tyder på att det finns anledning att beakta fönsteröppningar om man vill ha en realistisk bild av vad som händer rummet när det är som varmast. Den överskattning av rumstemperaturen som man erhåller då man inte tar hänsyn till möjligheten att öppna fönster är dock inte större än den överskattning som valet av förberäkning och startvärde kan ge upphov till vid beräkning.

1 ARBETETS BAKGRUND OCH SYFTE

1.1 Inledning

Det enskilda rummets värmebalans bildar i de flesta fall den naturliga utgångspunkten för valet och dimensioneringen av byggnadens uppvärmnings- och ventilationssystem. Då det gäller värmesystem är det nästan alltid kravet på temperaturhållning vid kall väderlek och den därur givna värmebalansen som dimensionerar anläggningen. Då det gäller luftbehandlings- och ventilationssystem är det också oftast en värmebalans som ligger till grund för utformningen och dimensioneringen. Här är det emellertid kravet på temperaturhållning under den varma årstiden som är avgörande. Även om detta inte är alltid helt klart uttalat, är det nämligen kravet på draglig inomhustemperatur vid varm väderlek som i de flesta fall styr ventilationssystemets dimensionering och utformning.

Vid dimensionering och konstruktion är således kraven ifråga om rumstemperatur avgörande för både uppvärmningsanläggningen och, om en sådan installeras, luftbehandlingsanläggningen. Dimensioneringen av värmeanläggningen är teoretiskt relativt enkel, då man normalt här kan utgå från den stationära värmebalansen mellan rummet och dess omgivning. Dimensioneringen av luftbehandlingsanläggningen däremot kan vara ett teoretiskt komplicerat problem eftersom här den med tiden varierande solinstrålningen och det termiska samspelet mellan byggnad och rumsluft har ett avgörande inflytande på rumstemperaturen. Här finns utvecklade beräkningsmodeller, som mer eller mindre fullständigt beaktar de inverkan faktorerna.

Är syftet en renodlad dimensionering av uppvärmnings- eller luftbehandlingsanläggningar, utgår man normalt helt enkelt från de två dimensioneringsfallen kallt vinterväder respektive varmt sommarväder. Värmeanläggningens dimensionering baseras på det kallaste utetillståndet och ventilationsanläggningens på det varmaste sommartillståndet. Även om det är principiellt väsentligt att begränsa den dimensionerande värmeeffekten, speciellt om en byggnad är fjärrvärmeansluten eller elvärmad, är mindre överdimensioneringar på värmesidan av marginell betydelse. En enkel värmebalansberäkning med utgångspunkt från stationära förhållanden är ofta helt tillfyllest.

Situationen är en annan på ventilations- och luftbehandlingssidan. Här kan överdimensioneringar ha betydande kostnadskonsekvenser, genom att de driver upp luftflödena och ökar motiven för installation av maskinell kylning. Ur dimensioneringssynpunkt är därför sommarfallet viktigt. De ofta avancerade beräkningsmodeller som används för studier av sommarfallet måste därför vara väl förankrade i verkligheten. Föreliggande arbete berör detta sommarfall.

De olika tillgängliga beräkningsmodellerna för bearbetning av rummets värmebalans under den varma årstiden, bygger naturligen på beräkningsmässigt gripbara samband och storheter. Det primära syftet med det föreliggande arbetet är att under verkliga förhållanden studera inverkan på rumstemperaturen av sådana faktorer som inte är beräkningsmässigt gripbara, såsom av verksamheten beroende förändringar i rummets beläggning och användande, tillfälliga fönsteröppningar m m. För att en sådan här undersökning skall bli meningsfull krävs ett ganska brett mätmaterial

med i stort likartad verksamhet i de studerade rummen. I kontorsrum har man en ganska väl definierad verksamhet och det är ganska lätt att finna för mätningar lämpade kontorshus. Kontorsrummet har därför valts som undersökningsobjekt.

Rumstemperaturer har sommartid mätts och registrerats under längre perioder i ett 100-tal kontorsrum. De uppmätta temperaturerna har sedan jämförts med vad beräkningar medelst i första hand BRIS gett för de aktuella rummen. Här har således rumstemperaturen valts som utgångspunkt för en bedömning av beräkningsmodellen.

Kraven ifråga om rumstemperatur utgör utgångspunkten för dimensioneringen av ventilationsanläggningen, det eventuella valet av maskinell kylning samt, om maskinell kylning väljes, dimensioneringen av denna. Den rumstemperatur som erhålles sommartid är för rummets nyttjare det påtagliga resultatet av installerade luftbehandlingsanläggningars prestation. Rumstemperaturen är dessutom förhållandevis enkelt mätbar. Det är därför naturligt att söka använda rumstemperaturen som utgångspunkt för en undersökning som den här aktuella. Emellertid är rumstemperaturen ett ganska grovt instrument för bedömning av beräkningsmodellens tillförlitlighet. Det momentana värmeutbytet mellan massor i rummet och rummets väggar, tak och golv å ena sidan och rumsluften å den andra sidan har ett dominerande inflytande på rummets värmebalans.

Genom att jämföra mätta och beräknade rumstemperaturer får man en god bild av hur väl beräkningsprogrammet avspeglar detta i sig svårgripbara värmeutbyte. Man får också en god bild hur tillförlitlig en beräkningsmodell är då man i samband med projekteringen vill bedöma en klimatanläggnings temperaturhållningsförmåga. Däremot får man inte direkt ett acceptabelt säkert underlag för bedömning av med vilken säkerhet man kan bestämma den kyleffekt som krävs för att säkerställa en viss sommartemperatur. Detta senare är nödvändigt om man vill utvidga arbetet från det rena dimensioneringsfallet till det fall att det är själva värmebalansen som efterfrågas. Denna blir intressant när man vill studera samspelet mellan inomhusklimatet, kyl- eller värmeanläggningen och byggnadens konstruktion. Sådana studier är idag av stor betydelse ur forsknings- och utvecklingssynpunkt. Det är därför naturligt att söka utvidga målsättningen för arbetet till att även omfatta värmebalansen.

För att kunna bedöma hur väl de teoretiskt uppsatta värmebalanserna överensstämmer med verkligheten bör man egentligen söka mäta värmeflödena i byggnaden. Sådana mätningar är emellertid svåra att genomföra med någon noggrannhet annat än i försöksanläggningar. Om man även här kunde utgå från en analys av rumstemperaturmätningar, skulle en fältmässig jämförelse mellan teori och praktik kunna genomföras med rimlig arbetsinsats.

Det mätmaterial som insamlats inom ramen för föreliggande arbete syns erbjuda möjligheter för en sådan analys. Det krävs dock vissa kompletterande mätningar i rum med höga externa värmelasster, dvs solinstrålning utan solskydd, och låga kyleffekter, dvs strypt luftflöde. Avsikten är att genomföra sådana mätningar under den kommande sommaren.

1.2 Bakgrund

I de allra flesta hus är rumstemperaturen den enda termiska klimatafaktorn av intresse. De klimattekniska beräkningar och värmebalans- och värmeflödesberäkningar som den enskilde projektören kommer i kontakt med är också nästan alltid på ett eller annat sätt knutna till rumstemperaturen. Sådana beräkningar i någon form krävs vid varje byggnadsprojektering. Omfattningen och den beräkningsmässiga nivån kan dock variera mycket från fall till fall. Man kan indela de beräkningssätt som används i två huvudgrupper:

1. Vid beräkningarna förutsätts att alla värmeströmmar sker i statisk jämvikt, dvs värmeströmmen betraktas som stationär under viss tidsperiod.
2. Vid beräkningarna beaktas variationerna i dels utetemperatur och rumstemperatur och dels interna och externa värmebelastningar. Byggnaden betraktas då som ett värmetekniskt instationärt system.

Då det endast är fråga om att dimensionera värmearläggningen så att man säkerställer önskad rumstemperatur vintertid eller att studera effekten av alternativa isoleringsutföranden är det normalt helt tillfyllest att förutsätta stationära värmeströmningsförlopp. Det är sådana beräkningar, dvs beräkningar hörande till den första av de två grupperna ovan, som rutinemässigt utförs vid alla projekteringar.

Då det emellertid är fråga om byggnader där luftbehandlings- och ventilationsanläggningen har till huvuduppgift att klara en acceptabel rumstemperatur sommartid, träder effekten av de varierande externa värmebelastningarna på grund av solinstrålningen i förgrunden. Värmeströmningsförloppen blir här icke-stationära, byggnadsstommens värmelagringsegenskaper blir av stor betydelse för resultatet och värmeflödena genom husets omslutning blir endast till en del bestämda av temperaturskillnaden mellan rummet och uteluften. De beräkningar som måste genomföras tillhör sålunda klart den andra av de två grupperna ovan.

Samma gäller då man i samband med bestämning av byggnadens värmebalans skall ta hänsyn till de värmelagringsegenskaper som huset har och sålunda beakta möjligheter att nyttiggöra varierande interna värmebelastningar och instrålade solenergi under den kalla årstiden.

Beräkningssättet för bestämning av dimensionerande värmebehov vid kall väderlek under förutsättande av stationära förlopp, är i det närmaste normerat. Alla utför sålunda sina beräkningar på ungefär samma sätt. Beräkningarna är också så enkla att eventuella skillnader i beräkningsmetodik eller grundantaganden framgår ganska tydligt. Då det gäller de mer avancerade beräkningarna som krävs för att studera instationära värmeströmningsförlopp blir emellertid modellerna betydligt mer avancerade och svåröverskådliga. I praktiken är det fråga om beräkningar som knappast är genomförbara annat än med hjälp av relativt stora datorer. Det finns visserligen några förenklade modeller som är relativt lätt tillgäng-

liga. Dessa har en förhållandevis underordnad plats i de diskussioner om beräkningsmetoder som förekommer.

Det finns idag ganska många olika beräkningsmodeller och datorprogram där byggnadskonstruktionens värmetekniska beteende ingår som en väsentlig del. De här programmen kan vara uppbyggda för det ena av de två skilda huvudsyftena:

1. Dimensionering av utrustning för klimathållning.
2. Beräkning av energibehov.

De dimensionerande programmen har byggts upp för att vara ett hjälpmedel vid utformning och dimensionering av i första hand luftkonditioneringsanläggningar. Representanter för denna grupp är VENTAC (fläkt) och de tidigare varianterna av BRIS. De energiberäknande programmen har i första hand utvecklats för att möjliggöra "parameterstudier", dvs studier av hur olika byggnadstekniska utföranden, olika temperaturregleringsprinciper samt detaljupbyggnader av luftbehandlings- och värmesystemen påverkar byggnadens totala energiförbrukning. Till programmen av den här typen hör JULOTTA (Byggnadskonstruktion, LTH) och energi-varianter av BRIS och VENTAC.

Inom ramen för det internationella IEA-samarbetet (International Energy Agency) har ett 20-tal olika beräkningsmodeller för energibehov jämförts sinsemellan. [43]. Undersökningen har tillgätt så att man med givna krav ifråga om klimathållning beräknat energiförbrukningen för en viss väldefinierad fiktiv byggnad belägen i södra England. Det visade sig att det förelåg betydande skillnader mellan resultaten av de olika beräkningsprogrammen. Den högsta beräknade energiförbrukningen blev närmare dubbelt så stor som den lägsta. Detta betänkliga förhållande finns ganska väl analyserat i det här arbetet. Det framgår i denna analys att en del förenklade antaganden i beräkningsmodellerna syns leda till överskattningar av energibehovet. Ju mer detaljberäknande ett program är och ju färre sammanslagningar och förenklingar de i programmet ingående sambanden innehåller desto lägre syns de beräknade energibehoven bli. Man kan förmoda att de mer avancerande detaljberäknande programmen också avspeglar verkligheten på ett bättre sätt. Detta har dock inte inom IEA-arbetets ram bekräftats med praktiska mätningar.

Överhuvudtaget är det svårt att finna några systematiska jämförelser mellan resultat av datorberäkningar och verkliga förhållanden i byggnader. Det kan finnas olika skäl till att en beräkning ger resultat som inte överensstämmer med verkligheten. I stort torde man kunna inordna de tänkbara skälen i skilda grupper enligt följande:

1. Beräkningsprogrammet tar inte tillräcklig hänsyn till av verksamheten beroende klimatpåverkande faktorer.
2. De teoretiska samband som programmet bygger på avspeglar inte tillräcklig väl värmeströmmarnas verkliga förlopp.
3. Fysikaliska konstanter och värmetekniska grundstorheter såsom värmeledningstal, transmissionsfaktorer, strålningsutbyte och värmeövergångstal, avviker för mycket från verkliga värden.

4. Klimatstyrande storheter såsom tilluftsflöden, infiltrationsluftflöden, tillufttemperaturer, solavskärmande åtgärder, överensstämmer inte i verkligheten med vad som antagits vid beräkningen.

Det primära syftet med föreliggande arbete är att söka bedöma betydelsen av de oförutsebara verksamhetsberoende klimatpåverkande faktorerna, dvs felkällan enligt den första av grupperna ovan. Strävnan har således varit att söka besvara frågan:

Har av verksamheten beroende klimatpåverkande faktorer sådan inverkan på rumsklimatet att det bör beaktas speciellt vid beräkningarna?

Härmed avses variationer i den interna värmebelastningen, såsom tillfälliga förändringar i personantalet i rummet och tillfälliga tändningar och släckningar av ljuset, samt variationen i ventilation, såsom tillfälliga fönster- och dörröppningar. Målet har dock varit att studera den sammanlagda effekten av alla dessa delfaktorer och sålunda inte att separat undersöka inverkan av varje delfaktor för sig.

1.3 Möjlig utvidgning av målsättningen

Utöver frågan om de av verksamheten orsakade icke beräkningsbara faktorernas inverkan, är det naturligt att även söka få en bild av tillförlitlighet i stort av beräkningsprogrammen.

I det system av värmefflöden som utgör rummets momentana värmebalans, är de flesta ingående storheter givna i och med att man bestämmer sig för att studera ett visst rum eller ett visst hus. Sålunda är byggnadens värmetekniska egenskaper bestämda av den givna byggnadskonstruktionen. Utetemperaturen och solinstrålningen är bestämda av klimatet på orten resp ortens läge, soltiden och molnigheten. De interna värmebelastningarna ges av verksamheten i huset. Det variabelpar som kan studeras fritt är rumstemperaturen, eller egentligen rumsluftens temperatur, och den styrbara delen av värmeflödet till eller värmeförlust från rummet. Vilken av dessa två, rumstemperaturen eller den styrbara delen av värmeeffekten, som väljs till beroende resp oberoende variabel är ur fysikalisk och beräkningsmässig synpunkt likgiltigt. I praktiken är det dock den styrbara värmeeffekten som blir den beroende variabeln såväl om man ser på det verkliga fysikaliska förloppet i en byggnad i drift som då man studerar byggnadens värmetekniska beteende rent beräkningsmässigt. Sålunda regleras i praktiken den styrbara värmeeffekten så att rumstemperaturen hamnar vid en viss nivå eller inom ett visst område. Vid beräkningar är det ofta en dimensionerande styrbar effekt eller energibehovet under en längre period, exempelvis ett år, som man önskar bestämma. Även här utgår man då från en viss önskad temperaturnivå i rummet eller ett visst temperaturområde inom vilket rumstemperaturen skall hållas. Lika väl kan man emellertid tänka sig att man som beroende variabel väljer rumstemperaturen, vilket i praktiken innebär att denna kommer att variera alltefter hur den styrbara värmeflödet till eller värmeförlust varierar. I en byggnad med konstant tilluftsflöde men utan maskinell kylning, har man just detta senare fall. Tilluftens kyleffekt är bestämd av utetemperaturen och

rumstemperaturen kommer i varje ögonblick ställa in sig på en sådan nivå att värmebalansen gäller momentant. Rumstemperaturen kommer sålunda att variera.

Om man nu önskar bedöma tillförlitligheten av en beräkningsmodell kan man gå tillväga på följande två principiellt skilda sätt.

1. I en given väldefinierad byggnad regleras den styrbara värmeeffekten så att rumstemperaturen hålls konstant eller inom ett visst givet temperaturområde. Den styrda värmeeffektstillförseln eller -bortförseln mäts noggrant och jämförs med motsvarande värmeeffekter som erhålls vid en beräkning medelst den studerade beräkningsmodellen.
2. Den styrda värmestillförseln eller värmebortförseln regleras på ett väldefinierat sätt så att dess storlek är given. Den därigenom varierande rumstemperaturen mäts och jämförs med den temperatur som framräknas med motsvarande förutsättningar.

En avvikelse mellan beräknade resultat och verkligheten visar sig sålunda vid en kontroll av det första slaget genom en avvikelse i effekt eller energi och vid en kontroll av det andra slaget genom en avvikelse i rumstemperatur. I en given byggnad med givna yttre parametrar och ett givet beräkningsprogram råder ett visserligen komplicerat men ändå entydigt samband mellan dessa två avvikelser.

Ur en uppmätt avvikelse mellan verklig temperatur och beräknad temperatur skall man därmed kunna bedöma beräkningsmodellens tillförlitlighet för beräkning av rummets värmeöverskott eller värmeunderskott. Ser man emellertid närmare på sambandet mellan rumstemperaturen och värmeflödena i rummet finner man att rumstemperaturen är en ganska okänslig beroende variabel. Detta framgår tydligt ur Fig 1.1a och 1.1b, som visar exempel på hur rumstemperaturen påverkas av en förändring av tilluftens kyleffekt. Kurvorna i diagrammet har tagits fram genom beräkningar med utgångspunkt från mätta värden. De gäller för ett av rummen i mätprogrammet, ett kontorsrum vid ostfasad i Energiverkens hus i Göteborg. Rumstemperaturen i det aktuella rummet vid olika kyleffekter (ventilationsluftflöden) har med hjälp av BRIS-programmet beräknats för kl 06, 09, 12 och 15 en solig sommardag. Den faktiskt uppmätta rumstemperaturen och den kyleffekt tilluften vid måttillfället representerat, har använts för att "kalibrera" programmet för det aktuella rummet.

Som framgår ur figuren ger 30 à 40 % ändring av kyleffekten endast 1 °C ändring av rumstemperaturen. Orsaken till att sambandet mellan rumstemperatur och kyleffekt blir en så svagt lutande kurva är att här är det värmeutbytet mellan byggnadskonstruktionen och rummet som dominerar värmebalansen.

Rumsluftens temperatur varierar givetvis något mellan olika punkter i rummet. Man måste räkna med att den "rumstemperatur" som mäts kan skilja sig något från den genomsnittliga rumstemperatur som ingår i beräkningsmodellen. Vidare innehåller mätningen i sig ett mätfel. Med hänsyn till dessa onoggrannheter, som behandlas med ingående senare, krävs det åtminstone ett par graders avvikelse för en bedömning av beräkningsmodellen. Sambandet mellan

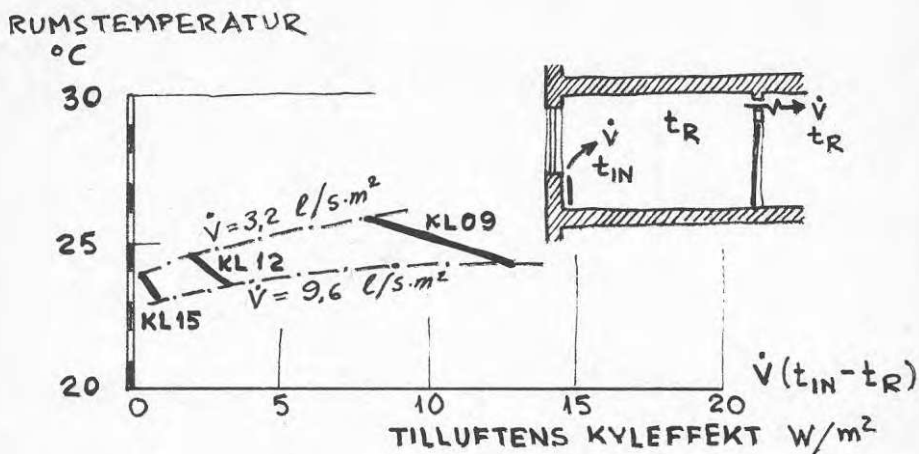


Fig 1.1a Sambandet mellan rumstemperatur och extern kyleffekt.
Ostfasad Energiverken, solskydd

rumstemperatur och kyleffekt får en ur denna synpunkt lämpligare form om man ökar den externa värmebelastningen exempelvis genom att avlägsna solskydden. För rummet i Fig 1.1a får man då de i Fig 1.1b visade kurvorna. Kurvornas lutning blir således betydligt brantare.

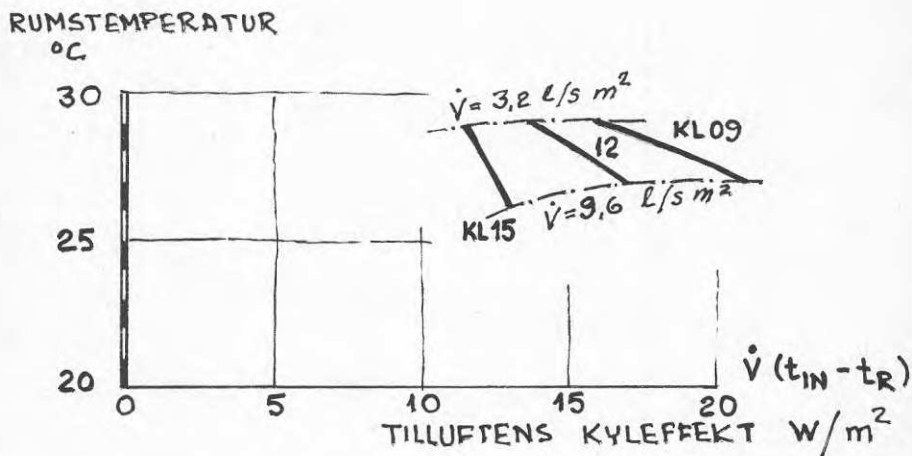


Fig 1.1b Beräknat samband mellan rumstemperatur och extern kyleffekt. Ostfasad Energiverken, inget solskydd

På likartat sätt kan man uppnå för bedömning av värmebalansen lämpade samband genom att ge rum ett välkontrollerat värmetillskott. Genom en kombination av å ena sidan ändring av sol-

skydd och interna värmelaster och å andra sidan kombinerade mätningar av rums- och väggtemperaturer syns man kunna utveckla en metod för en acceptabelt noggrann "kalibrering" av beräkningsmodeller över rummets värmebalans.

2 MÄTPROGRAMMET

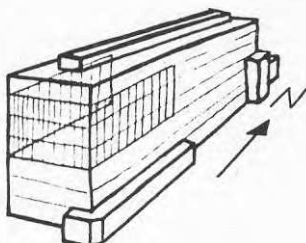
2.1 Mätobjekt

Fyra kontorshus i Göteborg har utvalts som mätobjekt.

Energiverken i Göteborg	(Hus E)
Skattehuset i Göteborg	(Hus S)
Länsstyrelsen i Göteborg	(Hus L)
VA-verket i Göteborg	(Hus V)

I samtliga hus har vanliga kontorsrum utvalts som mätrum. Husen har dubbla korridorssystem med mittkärna utan fönster. Rummen är i samtliga hus dels utvalda efter olika fasader i respektive hus samt dels utvalda så att rummen finns i 3 plan. Det senare för att minimera kabeldragningen och få tillgång till temperaturförlopp för omkringliggande rum. 14 rum har valts i planet där mätsystemets scanner stod, 7 rum i planet ovan och 7 rum i planet under. Rummen i respektive hus har också valts så lika varandra som möjligt.

Hus E är en kontorsbyggnad i 7 våningar, liggande i S-N riktning. Det vill säga större delen av kontorsrummen finns med fönster åt öster och väster. Några rum har söderfasad och några är hörnrum. Fasaden består av stenfasad med luftspalt och lätt yttervägg mellan betongpelare. Fönstren är fästade mellan pelarna. Innerväggarna är lätta gipsväggar med undantag av några väggskivor, som är av betong. Luftinblåsning sker med fönsterapparater och kanalerna är ingjutna i bjälklaget. Kontorsbyggnaden skymms ej för sol. I byggnaden finns ej maskinell kylning.



$$* m = 600-800 \text{ kg/m}^2$$

Fig 2.1.1 Perspektivskiss av Energiverken.
Vid de skuggade fasadytorna finns de rum som ingår i mätserien.

I Energiverken har den större delen av mätrummen haft en fasadvägg. Rummen är fördelade så att 9 rum har fasad mot öster, 3 rum mot söder och 10 rum mot väster. Dessutom ingår 3 + 3 hörnrum med fasaden mot öst och syd respektive syd och väst.

* Kontorsrummens ytvikt m [kg/m^2 gy] definieras såsom

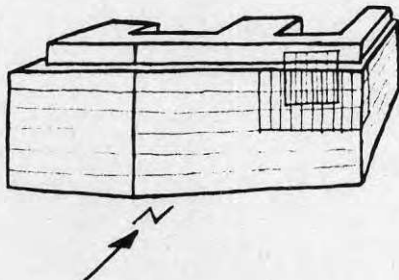
$$m = 0,9 \cdot \sum_{n=1}^n (\rho_n \cdot d_n \cdot A_n) / A_g$$

där

n är index för respektive vägg och tak
 ρ är densitet [kg/m^3] för vägg, tak eller golv
 d är tjockleken [m] hos vägg, tak eller golv
 A är ytan [m^2] för respektive vägg, tak eller golv
 g är index för golv

Hus S är en kontorsbyggnad i 6 våningar. Husets form är något komplex. De flesta rummen där mätningar har skett har nord- eller sydfasad. 11 rum har norrfasad och 14 rum har sydfasad. Dessutom har 3 av de i mätmaterialiet ingående rummen både syd- och östfasad.

Fasaden är av eloxerad plåt, luftspalt och lättfasad med betongbalk över fönstren. Huset är av pelarsystem och enbart lätta gipsväggar finns. Luftinblåsning sker med fönsterapparater med luftkanaler i planet under. Rumsluften går som överluft till korridorerna utanför, där centrala frånluftssystemet finns. Sydfasaden och östfasaden skymms ej för sol. Ingen maskinell kylning av ventilationsluften förekommer.

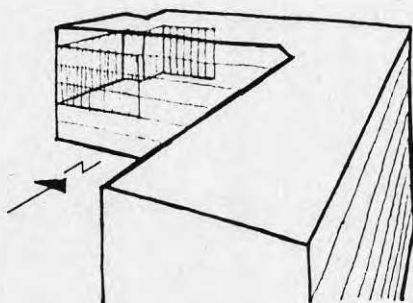


$m = 600-700 \text{ kg/m}^2$

Fig 2.1.2 Perspektivskiss av Skattehuset.
Vid de skuggade fasadytorna finns de rum som ingår i mätserien.

Hus L är en kontorsbyggnad med 6 våningar i syd- och västfasad och 8 våningar i nord- och östfasad. Mätningar har skett i 8 rum med fönster åt norr, 15 rum med fönster åt söder och 5 rum med fönster åt väster.

Fasaden består av tegel och lätt yttervägg mellan betongpelaren. Innerväggarna är av lättbetong. I byggnadens ventilationssystem finns ej maskinell kylning av ventilationsluften.

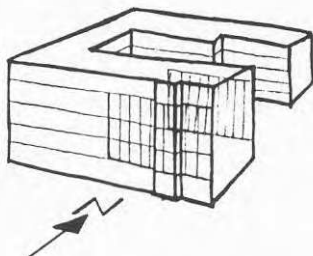


$m = 700-800 \text{ kg/m}^2$

Fig 2.1.3 Perspektivskiss av Länsstyrelsen.
Vid de skuggade fasadytorna finns de rum som ingår i mätserien.

Hus V är en kontorsbyggnad i 5 våningar. I huset har 17 rum med fasad mot söder använts för mätningar samt 11 rum med fasad mot norr. Husets fasad består av eloxerad plåt med luftspalt.

Fasaden är en lätt konstruktion mellan pelare. Innerväggarna är av gips. Kontorsbyggnaden skymms ej för sol. Ingen maskinell kylning av ventilationsluften förekommer.



$$m = 600-700 \text{ kg/m}^2$$

Fig 2.1.4 Perspektivskiss av VA-verket.
Fasader med skuggade ytor är fasader där rum finns som ingår i mätserien.

2.2 Mätssystem

Det mätsystem som köptes upp hade en del mycket speciella förutsättningar att uppfylla. Mätssystemet skulle var 20:e minut samla in uppgifter från fyra olika hus i Göteborg. Husen ligger i olika delar av det centrala Göteborg. Dessutom var det inte en information som skulle samlas upp i varje hus utan ett 30-tal informationer från varje hus. I varje hus fanns inte mätpunkterna samlade på ett ställe utan utspridda i 3 plan samt efter minst två olika fasader.

När mätsystemet byggdes upp fanns inte några alternativ som finns idag. Idag finns ett flertal mer eller mindre färdiga mätsystem i handeln. Nedan beskrivs mätsystemet som valdes att användas.

Mätsystemet som använts här är uppbyggt i följande tre huvudsteg

- en centralenhet på Chalmers,
- en scanner i varje hus där mätning har skett,
- givargrupper anslutna till scannern i varje hus.

Mätsystemet redovisas i princip i Fig 2.2.1.

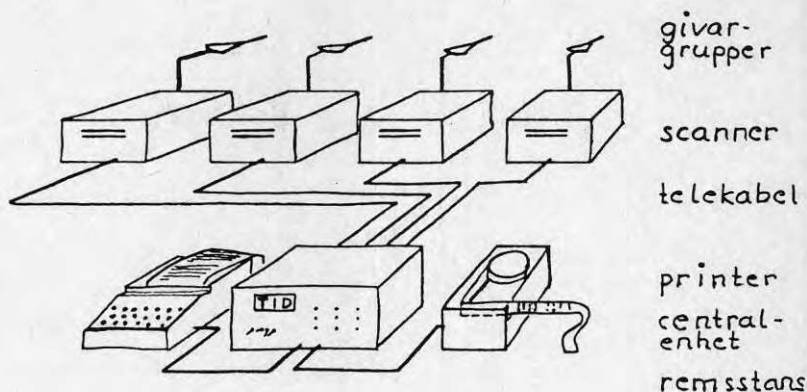


Fig 2.2.1 Mätssystemets principiella utseende.
I varje hus där mätningarna sker, finns en scanner och ett antal givar-grupper. Printer, centralenhet och remsstans finns på Chalmers

Centralenheten innehåller en klocka för angivande av svensk normaltid, mätintervalltimer, "växel" för inkoppling av den fasta telefonlinjen till varje hus där scannern står. Vid centralenheten finns dessutom en remsstans och printer. Mellan centralenheten och respektive scanner finns fasta tvåtrådiga av Televerket hyrda telefonlinjer. Avståndet mellan Chalmersområdet och respektive hus är mellan 2 och 4 km. På grund av det ringa avståndet blev det billigare att hyra fasta ledningar mellan respektive hus, där mätningarna sker i, och Chalmers, än att använda modem och ringa upp varje hus. Då mätdataöverföringen sker digitalt kunde 2x4 st modem samt samtalskostnaderna insparas.

Varje scanner består av enheter som vid uppringning från centralenheten mäter givarnas värden, omvandlar dessa till för kommunikationen lämpliga signaler samt sänder informationen via telefonnätet till centralenheten.

Givargrupperna består av givare för mätning av temperatur, fönsteröppning och solsken. Givarna består av Pt-100 givare för mätning av temperaturer, brytare för registrering av fönsteröppning samt termostapel för registrering av solsken. Pt-100 givaren är kopplad tretrådigt till scannern för att kompensera bort större delen av onoggrannheten som erhålls på grund av kabelavståndet mellan givare och scanner. Utetemperaturgivaren är placerad i ett förnicklat mässingrör för att minska påverkan av solstrålning, se Fig 2.2.2.

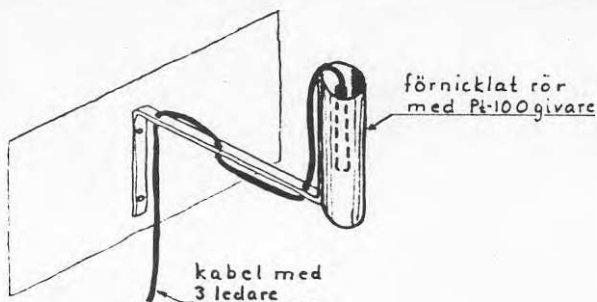


Fig 2.2.2 Uteluftgivare. Principen att på en yttervägg fästa upp Pt-100 givaren för utelufttemperaturmätning i skydd för solstrålar

Termostapeln för solskensregistrering har på båda sidor matt svarta ytor över vilka temperaturdifferensen mäts.

Då installationen av mätutrustningen har skett i lokaler där verksamhet pågår, har undertaket i korridoren till största del använts för kabeldragning från rum till scanner. I Fig 2.2.3 visas principiellt kabeldragning och givareplacering i ett rum och i Fig 2.2.4 visas principiella kabeldragningen från respektive rum till scanner.

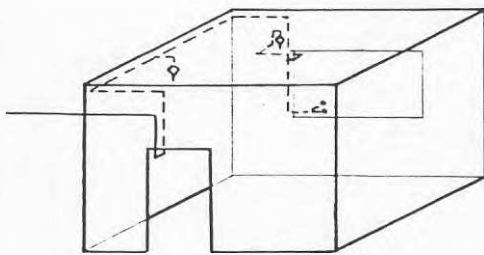


Fig 2.2.3 Principiell kabeldragning till rumstemperaturgivaren samt fönsterbrytaren. Dessutom har husets utetemperaturgivare inritats

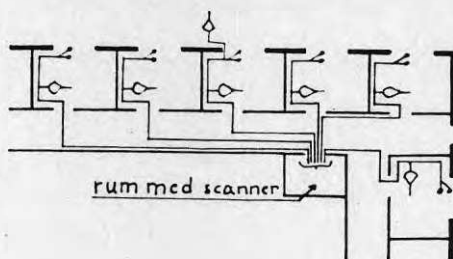


Fig 2.2.4 Principiella kabeldragningen i undertaket i kontorshus. I rummen visas rumstemperaturgivaren och fönsterbrytaren. Utanför huset syns utetemperaturgivaren

För övrigt har kabel spikats på väggen. Det största problemet uppstår vid inkoppling och kablarna i scannern, då det är ett 30-tal 3-ledar kablar samt lika många 2-ledar kablar som skall in i rummet med scannern. Ett annat problem som är värt att påpeka är att få tag på ett rum för scannern med uttag för elström samt få Televerket att dra ev telefon dit. Det första var svårast då alla rum i en kontorsbyggnad alltid utnyttjas till bristningsgräns. Dock har det i samtliga hus varit möjligt att välja rum där verksamheten och mätningarna kunnats samordnas väl.

2.3 Mätningarnas genomförande

Projektet startade 1976 med planering och förhandling om möjlighet att utnyttja husen som mätobjekt med ägarna och brukarna till de hus som valts. Samtliga hus är kontorshus belägna i centrala Göteborg. Upphandlingen av mätsystemet påbörjades med hjälp av den kravlista som uppställdes. Det mätsystem som valdes fanns vid uppköpet enbart i prototyp som visade mätprincipen. Systemet fanns inte i kommersiellt utförande och var inte utprovat. Dessutom var företagets resurser små och företaget var mycket beroende av ett annat stort företag som köpte större delen av deras tjänster, vilket gjorde att vår leverans blev mycket försenad. Ett flertal då okända fel (enligt mätsystemtillverkaren) upptäcktes i de mikroprocessorer PROM som styrde mätinsamlingen i respektive scanner. Felen gjorde att de PROM som användes först fick bytas ut och när det inte hjälpte fick nya programrutiner konstrueras. Det finns således en stor varning att ge till uppköpare av komplexa mätsystem.

Köp beprövade mätsystem eller ha tillgång till mycket kunnigt folk som kan språket i denna bransch och förstår vad det är för fel, som skall rättas till.

Installationen i det första huset E blev klar i slutet av sommaren 1977 och den första modifierade scannern levererades. Scan-

nern var då en kombinerad scanner och centralenhet. De första mätdata erhöles 1977 men inte i några sammanhängande bitar, dock tillräckligt för att kunna ställa upp rutiner för att bearbeta mätdata.

Under 1977-78 installerades mätutrustning, givare och kablar i hus S och L. Enbart en scanner till hus S och centralenheten på Chalmers levererades. Dock erhöles mätningar för större delen av sommaren 1978 för hus E och S. Under sommaren 1979 kunde även hus V inkopplas och leveransprov göras. För sommaren 1979 finns således ett stort sammanhängande material för samtliga 4 hus. Dock började man då att bygga om i hus V mot slutet av sommaren så några mätpunkter fick utgå.

2.4 Mätta storheter

När man gör en sådan här stor insamling av mätvärden måste man ha klart för sig vilka storheter som är väsentliga. Man kan mäta en mängd olika storheter men man måste dels tänka på mätsystemets storlek och dels tänka på vad storheterna som man mäter skall användas till. I detta fall har valts de storheter som ingår i de beräkningsprogram som har använts. Dock har en begränsning skett såtillvida att alla storheter inte mätts var 20:e minut utan vissa normalt konstanta storheter har endast kontrollerats någon gång under året.

Utöver mätning av rumstemperatur och registrering av fönsteröppning har även medtagits en del ur beräkningssynpunkt viktiga systemvariabler såsom utetemperatur vid respektive hus, framledningstemperatur till radiatorerna, tilluftstemperatur i huvudsystemet. Vidare registreras även om fasaden är solbestrålad.

För att beräkningen skall bli korrekt har rummen som ingår i undersökningen och de klimatanläggningar som försörjer dessa rum klarlagts noggrant värme- och ventilationstekniskt. Detta innebär bl a att luftflödet för samtliga rum mätts med spårgas, och att rummen har inventerats på möjlig belysningseffektsanslutning. Rummen är dessutom kartlagda vad beträffar material i väggar, golv och tak, rummens läge i huset, om persiennerna används m m.

Mätmaterialiet kan delas in i

- 1 registrerade storheter,
- 2 registrerade storheter som bearbetats,
- 3 storheter, som vid några tillfällen har inventerats, kartlagts och bearbetats.

Till den först nämnda gruppen hör alla temperaturmätningar, till den andra gruppen hör t ex solinfallet till respektive rum och till den tredje gruppen hör t ex mätning av luftflöden i respektive rum.

Registrerade storheter

Till de registrerade storheterna hör de till varje hus centralt

mätta utetemperaturerna, inblåsningstemperaturen och temperaturen på radiatorns framledning. Till denna grupp räknas naturligtvis mätningarna av rumstemperaturen, samt registreringen av om fönster har varit öppet eller ej.

Utetemperatur

Mätpunkten för registrering av utetemperaturen har funnits på utsidan av en fasad i varje hus och varit placerad i mittenplanet av de undersökta 3 planen, och om möjligt i skydd för solstrålning.

Inblåsningstemperatur

Registrering har skett centralt i varje hus i den del av tilluftsystemet som betjänar aktuell byggnadsdel. Genom stickprovsmätningar har mätningarna jämförts för olika delar i systemet varvid ingen märkbar avvikelse konstaterats.

Rumstemperatur

Registrering av rumstemperaturen sker i varje rum. Det kan vara av intresse att här något närmare gå in på hur rumstemperaturmätningens punkt bestämts. Punkten där rumsluftens temperatur mäts på, får inte påverkas av störningskällor så att en ej representativ lufttemperatur erhålls. Exempel på sådana störningskällor är:

- strålningsvärme från belysning,
- solstrålning,
- personer i rummet,
- övriga kalla och varma ytor.

Temperaturen vid mätpunkten måste å andra sidan vara en representativ rumstemperatur. Mätpunktens temperaturgivare får ej heller störa verksamheten i rummet.

Av ovannämnda skäl har temperaturen mätts i närheten av frånluftsdonet, någon decimeter från väggen och taket.

Fönsteröppning

Vid ett fönster i varje rum har registrering skett av om det är öppet eller ej. Rumsanvändaren har informerats om att först öppna det fönster där registrering skett. Rumsanvändaren har valt fönstret. Däremot vet man inte vare sig storleken på luftflödet som går genom fönstret eller vilken riktning flödet har. Detta innebär att man inte vet om man kyler eller värmer rummet med uteluft eller om rummet kyls eller värms med luft från korridor eller annat rum. Det enda man med säkerhet vet är att det registrerade fönstret i rummet är stängt eller ej. Vid besök i huset har det noterats om rätt fönster är öppet eller ej. I nästan samtliga fall av kontroller har rätt fönster varit öppet.

Registrerade storheter som bearbetats

Det finns endast en storhet som mätts var 20:e minut och som har bearbetats för att direkt kunna användas i beräkningsarbetet. Denna storhet är solinfallet.

Solinfall

Registrering av solinfall har skett på insidan av ett fönster mot söder. Av nivåerna på signalen från givaren kan följande fall avskiljas:

- om det är natt,
- om det är mulen dag,
- om det är klar dag med solsken.

Däremot har givaren inte kunnat kalibreras så att storleksordningen på infallet i t ex W/m^2 kunnat erhållas.

Datum och ovan nämnda registrering av solinfallet tillsammans med ett flertal rumstemperaturer från rum med fönster åt samma håll har gett möjlighet att bedöma ungefärliga solinfallet, W/m^2 , för samtliga fasader. Med andra ord har det varit möjligt att bestämma ungefärliga solinfallet i W/m^2 för samtliga fasader i respektive byggnad genom beräkningar. Nedan beskrivs hur rekonstruktionen har gått till.

För solinfallet har dels diffust solinfall, dels direkt solinfall, först beräknats med hjälp av ett datorprogram i BASIC av Jilar, Larsson [19]. Detta har skett för respektive datum och fasadorientering samt för solinfall genom respektive fönstertyp och på fasad. Referens [19] innehåller ett urval av sambanden som finns i Brown och Isfält [24]. Därefter har med hjälp av solinfallsmätarna och rummens temperaturförlopp ett troligt solinfall konstruerats.

Ett exempel må nämnas för att förklara principen. Om solinfallsmätaren sitter bakom ett fönster mot söder så vet man inte om solen skiner kl 8 på ostfasaden eller kl 16 på västfasaden. Detta vet man inte då infallsvinkeln mellan solinfallsmätaren och den direkta solstrålen kan vara så stor att givaren inte har erhållit något mätbart direkt solinfall.

Då har temperaturförloppen under dagen i övriga rum i ost respektive väst studerats och analyserats. Temperaturförloppens karaktär ger nämligen viss upplysning om solinstrålningen. Om solen enbart skiner på morgon och middag så kan ett solinstrålningsförlopp konstrueras av denna information för ost-, syd- respektive västväggen. Fig 2.4.1 ger exempel på detta. Om solen inte skiner kommer enbart den diffusa solstrålningen att användas som instrålad sol-effekt.

Det är i och för sig diskutabelt att använda enbart beräknade solvärden. Man skall komma ihåg att vid normal projektering av luftbehandlingsanläggningar så används oftast värden tagna ur Höglund & Stephenson [25] eller beräknade ur [24]. Dessa gäller för helt klara dagar. De i referenserna [24] och [25] erhållna värdena är således allmänt använda vid beräkning av rumstemperaturer under soliga dagar. Därför valdes att enbart kontrollera om det var solsken eller om det icke var solsken.

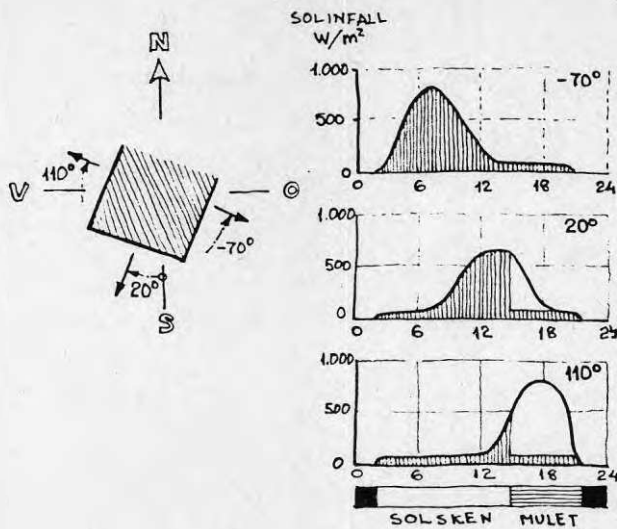


Fig 2.4.1 Rekonstruktion av solinfall på andra fasader än den som solinfallsmätaren sitter på. I exemplet ovan sitter solinfallsmätaren på sydfasaden riktad med azimuten 20°. Solinfallsförloppen för fasaderna -70° respektive 110° är gjorda

Kartläggning

De storheter som inte kontinuerligt var 20:e minut har registrerats men behövs för att en beräkning av rumstemperaturen skall kunna ske, har kartlagts och inventerats. Respektive hus klimat-anläggning har kartlagts och studerats. Dessa storheter som kartlagts är luftflöde, belysningseffekter, rum för rum. Under luftflödesmätningarna har rummets geometri och material kontrollerats mot tillgängliga ritningar. Bruket av persienner och belysning har även kartlagts. I viss mån har dessa storheter bearbetats så att tidsförlopp har erhållits.

Klimatanläggningen

Klimatanläggningen har studerats dels vilka rum den betjänar, dels hur den styr och reglerar. Detta låg som bas vid utväljning av rum. Värmetekniskt har detta inte kunnat följas, att samma stam skall betjäna alla rum, då olika fasader oftast styrs med olika shuntgrupper. Dock har framledningstemperaturen i en stam kontrollerats så inte värmen varit på.

Luftflöde

Luftflöde har mätts två gånger under mätningarnas gång. Avvikelsen mellan mätningarna ligger inom $\pm 5\%$ kring medelvärdet för

nästan samtliga mätningar. För några rum har markant större avvikelse erhållits. Dessa rum har ej bearbetats vid jämförelsen. Luftflöde har mätts med spårgas.

Belysningseffekter

Antalet belysningskällor och typ samt elektriska maskiner och deras effekt har inventerats under luftflödesmätningarna. Detta för att kunna bedöma värmetillskottet från belysning m m.

Rummets geometrier och material

Under spårgasmätningen av luftflöden kontrollerades vilket material som fanns i rummets omslutningsytor samt storleken på fönster och övriga mått.

Med hjälp av befintliga relationsritningar har de väsentligaste materialen och geometrierna i rummet erhållits.

Användande av persienner och belysning

Genom att stickprovsmässigt gå genom husen under olika typer av väderlek har respektive rumsinnehavares beteende vad beträffar användandet av persienner och belysning erhållits. I princip kan storheten belysning av eller på samt persienner nere eller uppe användas. Nyanserna fällda eller icke fällda persienner har ej använts. I samtliga rum var ej gardinerna fördragna.

Personal

Antalet arbetande personal har kartlagts för varje rum. Detta skedde dels vid luftflödesmätningarna dels vid stickprovsinventeringen av bruket av belysning och persienner.

2.5 Något om mätfel

Temperatur-tidskurva

Temperaturmätningarna har skett var 20:e minut och tidsregistreringen kan ha ett fel på högst 20 minuter då mätklockan ibland inte har fungerat som den skall och tidsangivelserna har vid de ovannämnda tillfällena rekonstruerats.

Mätonoggrannheten på temperaturmätningarna är för hela systemet $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ och upplösningen på temperaturmätningen är $0,1^{\circ}\text{C}$. Ritas temperatur-tidskurva av mätningarna med felet in i en figur kan det se ut som i Fig 2.5.1. Varje Pt-100 givare som inkopplats i systemet har kalibrerats vid ett flertal tillfällen och kontrollerats under mätningarnas gång.

Som framgår av Fig 2.5.1 så blir för hela tid-temperaturförloppet felet större än ovan angivna. Felet i temperatur ökas med ökad absolut lutning på tid-temperaturförloppet. Maximalt temperaturfel i exemplet Fig 2.5.1 är $\pm 1^{\circ}\text{C}$ beroende på felet i tidsangivelserna. Märk dock att i exemplet är förloppet konstruerat för att åskådliggöra mätfelsområdet.

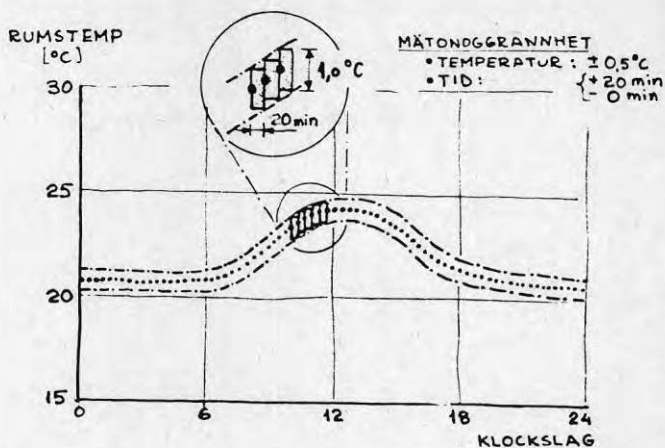


Fig 2.5.1 Exempel på hur man grafiskt kan åskådliggöra mätonoggrannhet i tid och temperatur. Inom området som begränsas av de streckprickade kurvorna skall den mätta tid-temperaturkurvan ligga

Solvärden

Det har tidigare framgått att solvärdena är beräknade efter information från en solskensgivare samt rumstemperaturens förlopp i olika rum. Solintensiteterna har beräknats med hänsyn tagen till dagnummer, dvs datumets löpande nummer med början i januari samt väggens verkliga asimut. Värdena för transmitterad total solinstrålning som erhållits ur [19] har vid olika tillfällen jämförts med [25] och de stämmer bra om man tar hänsyn till transmissionen genom englasfönster. Solvärdena har korrigerats med hänsyn till aktuella fönsterglas till antal och typ.

Storleken på de använda värdenas onoggrannhet är svårt att uppskatta om de skall jämföras med de verkliga värdena.

Det största felet ligger i kvaliteten på observationer, dvs man har inte kunnat registrera några nyanser mellan mulet och klart samt andelen diffus solstrålning av den totala solstrålningen på respektive yta.

3 METODER FÖR BERÄKNING AV RUMSTEMPERATUREN

3.1 Teoretiska beräkningsmodeller

Flertalet av de beräkningsmodeller som finns tillgängliga för bestämning av rumsklimat bygger i huvudsak på teoretiskt underlag. Det finns dock även några beräkningsmetoder som är väsentligen empiriskt underbyggda. Här behandlas först de teoretiska modellerna.

De modeller som bygger på rent teoretiska betraktelser av rummets värmebalanser kan bygga på mer eller mindre fullständiga teoretiska resonemang. Ju noggrannare och mer detaljerat de värmetekniska förloppen behandlas desto mer komplicerad blir beräkningsmodellen och desto mer avancerade beräkningshjälpmedel krävs för beräkningen. Genom approximationer i teorin i sänkning av detaljeringsnivån kan kraven på beräkningshjälpmedlen sänkas. En klassindelning i program av olika nivåer sker lämpligen med utgångspunkt från vilken nivå på beräkningshjälpmedel som krävs. Detta är detsamma som att klassindela efter hur teoretiskt detaljerad och fullständig beräkningsmodellen är. Man kan då göra följande indelning.

- Datorprogram som kräver minst en stor minidator för beräkningsarbetet. Här kommer datorprogrammet BRIS att användas som representant för denna grupp.
- Beräkningsprogram som kan programmeras in i en stor programmerbar räknedosa. Här kommer Gertis metod att användas som representant för denna grupp.
- Handberäkningsmodeller bearbetbara i färdiga blanketter med normal räknedosa eller räknesticka som hjälpmedel. Här kommer beräkningsmetoden TEMPO att användas som representant för gruppen.

Nedan beskrivs kortfattat de tre för respektive huvudgrupp representativa modellerna BRIS, Gertis metod samt TEMPO. En mer uttömmande beskrivning av modellerna har bifogats som bilagor till föreliggande rapport.

Datorprogrammet BRIS

En av de mest använda teoretiska beräkningsmodellerna för rumsklimat är datorprogrammet BRIS (Brown, Bring, Isfält), i äldre litteratur även kallad Browns metod för rumsklimatberäkning, se [1-4], Brown och Isfält [28]. Programmet finns nu i ett par olika upplagor på Inst för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, och på Dalabföretagen.

Liknande program som till stor del bygger på de teorier som finns i [1-4] är programmet VENTAC (Fläkt), [5,6] och programmet "Beräkning av rumstemperatur" (Bengt Dahlgren AB), se Alriksson [7]. Datorprogrammen är ganska lika vilket framgår av t ex [8].

Det finns ett flertal datorprogram utanför Sverige som jämförts med datorprogrammet BRIS, se t ex Isfält et al [26] och Wieczynski [27]. Skillnaden i metoderna ligger dels i olika smärre teoretis-

ka approximationer men dels framförallt i sättet att numeriskt lösa Fouriers värmeledningsekvation och in- och utdatarutinerna. I BRIS används Crank-Nicolson's metod för att lösa Fouriers värmeledningsekvation och ekvationssystemet som erhålls löses med relaxationsmetoden, se Rosenthal [10,11].

Det finns varianter på BRIS där man kan få klimatdata genererade av datorn med hjälp av angivande av temperaturnivåer, datum och ortens läge m m.

Dessutom finns det ett flertal beskrivna beräkningsmetoder i Sverige än ovan nämnda, som kan tillföras denna grupp, se t ex Adamson [9] men dessa beskrivs inte närmare här.

I datorprogrammet BRIS tas hänsyn till

- solstrålningen som sprids diffust från fönstret och man skiljer på kort- och långvågig strålning vid fördelningen av strålningen till rummets väggar,
- att värmeövergångstalen är temperaturberoende och olika för väggar, golv, tak och fönster,
- att man värmetekniskt kan koppla olika eller lika rum med gemensamma väggar,
- värmevägans tidsmässiga utbredning i den solbelysta fasaden samt i väggar i rummets omslutning,
- att man kan ange tidsberoende värmebelastningar,
- att man kan ange läckluftflöde genom fasader,
- och att man utan större svårigheter kan beräkna rumstemperaturens förlopp för flera olika på varandra följande dygn.

En utförligare sammanfattning av beräkningsmodellen framgår av Bilaga 1.

Det är möjligt att i det annars beräkningsmässigt omöblerade rummet lägga in ytor på rummets omslutningsytor som värmetekniskt kan lagra eller avge värme och ha värmeupptagnings/avgivningsytan större än dess yta på väggen. Det är således möjligt att simulera möbler som sitter på omslutningsytorna i rummet.

Datorprogrammet BRIS används för både forskning och ingenjörsarbete, men det är ännu endast utnyttjat av ett litet antal specialister, enligt [11]. Programmet användbarhet framgår av t ex Isfält [18].

Resultat från programmet har jämförts med mätningar. Av dessa nämns två nedan. I Ahlström och Isfält [29] redovisas för det där beskrivna rummet, att man fått samma värmebalans vid dels mätningen dels beräkning med datorprogrammet BRIS. Vidare redo-

visas dels en ur mätvärden beräknad och dels en ur resultatet från BRIS beräknad operativ temperatur för rummet. Skillnaden mellan dessa är för det redovisade dygnet mindre än $0,5^{\circ}\text{C}$. Tyvärr framgår inte noggrannheten av mätningarna. Den överslagsmässiga operativa rumstemperaturen som här har använts är det aritmetriska medelvärdet av rumslufttemperaturen och golvytttemperaturen. Detta gäller i alla fall för mätvärdena. Ifall det är så med resultatet från BRIS framgår ej. Normalt är inte modellen för den operativa temperaturen i BRIS ansatt så. Vilket gemensamt startvärde eller värden som används på samtliga variabler första tidssteget framgår inte klart. Eftersom programmet måste känna samtliga 50-80-tal temperaturer i rummets samtliga delar vid varje tidpunkt för att kunna beräkna temperaturerna vid nästa tidpunkt så benämns de temperaturer som ansätts till det första tidssteget för startvärden. Valet av startvärde har stor betydelse för resultatet.

En annan jämförelse mellan uppmätt klimat och beräknat klimat framgår av Källblad [30] och [4]. Här har redovisats den maximala skillnaden, $1,5^{\circ}\text{C}$. De högsta rumstemperaturerna varje dag liksom temperaturförloppet är detsamma vid mätning och beräkning. Det framgår inte hur lätt eller svårt det var att med hjälp av BRIS-programmet komma till det redovisade resultatet.

Beräkningsmetod enligt Gertis

Beräkningsmetoden har bl a utarbetats av Gertis [31] och bearbetats av Peterson [12]. Beräkningsmodellen presenteras och tillämpas i [10,11] samt en tillämpning visas av Mundt [13]. En programlistning i BASIC finns i [10]. I [12] och [13] framgår att programmerbara räknedosor kan användas.

Gertis beräkningsmetod möjliggör en teoretisk beräkning av rumstemperaturen sommartid med beaktande av solinstrålning och byggnadskonstruktionens värmelagringsförmåga. Genom ett starkt förenklat betraktelsesätt i fråga om värmeutbytet mellan byggnadsdelarna och deras omgivning och genom ett förutsättande av geometrisk och värmeteknisk symmetri kring alla byggnadsdelar, har den teoretiska modellen kunnat förenklas så mycket att beräkningarna kan genomföras med relativt enkla hjälpmedel. Som nämnts är exempelvis programmerbara räknedosor tillfyllest. Gertis metod används av några konsultföretag för studier av rumstemperaturens förlopp i småhus.

Gertis metod enligt nämnda referenser, tar således hänsyn till

- solinstrålning och intern värmebelastning i betraktade rum,
- lagring av värme i rummets väggar och bjälklag.

Metoden förutsätter:

- att väggar och bjälklag har en symmetrisk sektion,
- att temperaturen varierar likadant i det rummet som undersöks och samtliga de rum som angränsar till det undersökta rummet.

Metoden tar inte hänsyn till:

- att det då föreligger en principiell skillnad mellan värmeutbyte genom konvektion och värmeutbyte genom strålning,
- att det kan ske en värmetransport till eller från rummet genom transmission genom yttervägg och fönster,
- att solstrålningen mot ytterfasaden kan ge ett tidsförskjutet värmestillskott till rummet.

En utförligare beskrivning av metoden framgår i Bilaga 2.

Trots de här approximationerna och förenklingarna av den grundläggande teorin tycks man vid jämförande beräkningar komma fram till i stort samma rumstemperaturer som med BRIS-programmet, se [10,11].

Man kan kompensera för transmissionsvärmetransporter genom fasad och fönster genom att lägga in en separat beräknad korrigeringsfaktor på den interna värmeutvecklingen. Det är även i och för sig möjligt att ta hänsyn till värmeväggen genom fasaden, men detta kan i många fall komplicera den numeriska beräkningsmodellen betydligt.

Det är även möjligt att införa temperaturberoende värmeövergångstal och att tidpunkt för tidpunkt skilja mellan konvektivt och strålningsmässigt överfört värme till omslutningsytorna i rummet. Man har dock då lämnat det som syns vara huvudändamålet med Gertis program, dvs att möjliggöra rumstemperaturberäkningar med hjälp av en enkel räknedosor.

Beräkningsmetoden TEMPO

En handberäkningsmetod finns redovisad av Børresen, se [14,15]. Beräkningar genomföres på blanketter.

Rummets temperaturnivå erhålls som summan av tre beräkningar, nämligen

- utetemperaturens dygnsmedelvärde,
- ett tillägg som är kvoten mellan till rummet tillförd medeleffekt under dygnet och summan av värmetransportstorheterna, dvs ventilationsluftens värmekapacitetsflöde och ΣkA för fasader,
- och en amplitud som är halva maximalt till rummet tillförd effekt av sol, internt värme och transmission delat med värmetransportstorheterna inklusive värmetransportstorheten av lagrad effekt i rumsväggarna.

I Bilaga 3 ges en utförligare sammanfattning av beräkningsmodellen TEMPO.

Man kan här se att beräkningsmodellen är över dygnet stationär så-

tillvida att den kommer att ge samma rumstemperaturer om samma belastningar används dygn för dygn då lagrad värme inte kan påverka nästa dygn. Det vill säga att metoden är beroende av startvärde och rummets tidigare värmestatus. Vidare tar metoden inte hänsyn till rummets orientering och värmevägen genom fasaden. Den skiljer dock i beräkningen schablonmässigt på solstrålningen i konvektiv- och strålningsvärme. Man kan skilja på tre typer av rum, nämligen lätt, medeltungt och tungt. Även hörnrum kan beräknas. Beräkningar med metoden är lätt att göra.

I [14] anges även hur kyleffektbehovet kan beräknas.

3.2 Empiriska beräkningsmodeller

Med empiriska beräkningsmodeller avses här beräkningsmodeller som bygger på mätta värden varur ett allmängiltigare beräkningsunderlag erhålls. Den mest använda är Carrier/ASHRAE:s beräkningsmodell för kylbehov. Den finns i ett flertal varianter.

Kylberäkningsmodell enligt Carrier/ASHRAE

Beräkningsmodellen, som normalt benämns även "kylbehovsberäkning" beskrivs i Fläkt [35], ASHRAE [16,34], Carrier [32] och i VVS [17]. Metoden är avsedd för handberäkning och bygger på två storheter nämligen

- dels ekvivalent temperaturdifferens,
- och dels lagringsfaktorer för strålningsvärme.

Med metoden kan enbart kylbehov beräknas trots att rumstemperaturen ingår som parameter. Detta beror på att man förutsätter att rumstemperaturen är ansatt att vara ett visst värde. Detta framgår dock enbart klart i [35]. Metoden redovisas mer ingående i Bilaga 4.

Metoden tar hänsyn till värmevägens tidsmässiga utbredning och amplitudändring i fasaden genom den ekvivalenta temperaturdifferensen. Denna temperaturdifferens har inget med den ekvivalenta utetemperaturen att göra. Den senare är ett stationärt betraktande av solens tillskott av värmeströmmen genom fasader, se t ex Höglund [33]. Den ekvivalenta temperaturdifferensen tar hänsyn till solvärmertilskottet genom en fasad, genom att amplitudändra och tidsförskjuta detta genom ett instationärt betraktelsesätt. Det instationära betraktelsesättet gör att olika fasadriktningar ger klockslagsvis olika ekvivalenta temperaturdifferenser för samma vägg samt att olika väggkonstruktioner ger olika ekvivalenta temperaturdifferenser.

Det måste också påpekas att den ekvivalenta temperaturdifferensen definieras olika beroende på vilken källa som studeras. Jämför [16] med [32] och [34]. Där ingår olika temperaturdifferenser mellan rummet och ute i uttrycket för ekvivalent temperaturdifferens. Detta finns ej i [17], vilken är gjord för svenska förhållanden. För att t ex numeriskt lösa Fouriers ekvation och beräkna en ekvivalent temperaturdifferens oberoende av hur den definieras, måste dock solintensiteten med som ingångsvärde. Detta gör att man för svenska förhållanden inte utan vidare kan använda källorna [16,32,34].

För lagringsfaktorerna som är gjorda oberoende av solintensiteten har samma definition i källorna använts, dvs hur mycket värme som avges till rumsluften p g a solbelastning om rumstemperaturen är konstant, se [32] och [16].

Sammanfattningsvis kan inte Carrier/ASHRAE:s metod för kylbehovsberäkning användas för att beräkna rumstemperaturer. Man bör, om den används, vara uppmärksam på de olika definitionerna som finns.

3.3 Sammanfattning, beräkningsmodeller

Tidigare har fyra olika beräkningsmodeller för rumsklimat kortfattat beskrivits. Det finns flera men enbart dessa har ansetts ha så stor användarpotential att de har tagits med. Det finns många varianter av beräkningsmodellerna. Beräkningsmodellerna kan indelas i användarvänlighet, dvs vilken typ av beräkningshjälpmedel som behövs. Vidare kan de indelas i grad av förenklingar och om beräkningsmodellen är enbart teoretiskt uppbyggd eller om den är uppbyggd på empiriskt sätt. I Fig 3.3 redovisas en sammanställning över de utmärkande dragen för respektive program.

Metod	Användarsätt	Uppbyggnad	Kan beräknas rumstemp kylbehov		Värmeväg i fasad	Resultatet beror på tidigare dygn	Resultatet beror på omkringliggande rum
BRIS	minidator	teoretisk	JA	JA	ingår	JA	JA
Gertis	större progr bar räknedosa	teoretisk	JA	JA	kan kompletteras	JA	NEJ
TEMPO	handberäkning	teoretisk	JA	JA		NEJ	NEJ
Carrier ASHRAE	handberäkning	empirisk	NEJ	JA	ingår	NEJ	NEJ

Fig 3.3 De utmärkande dragen i respektive beräkningsmetod. Av figuren framgår att i tre metoder kan rumstemperaturen beräknas och i enbart två ingår fasadens värmetröghet. Två av metoderna är av sådan typ att resultatet av en storhet, t ex rumstemperaturen, beror på tillstånden som systemet hade en tidpunkt före. De andra två räknas i ett fortvarighetstillstånd.

De ovan nämnda beräkningsmetoderna kan rangordnas i tillgänglighet för en konsulterande ingenjör såtillvida att förmågan att tillgodogöra sig en metod beror på förmågan att dels kunna tillämpa och använda en dator och dels kunna tillämpa och förstå en beskrivning av beräkningsmodellen.

3.4 Val av beräkningsmetod

Vid valet av beräkningsmetod så valdes först att enbart använda

datorprogrammet BRIS. Den version som används finns på Dalab AB och är daterad 1969 och uppdaterad till 1975 års version.

Motivet till att använda BRIS-programmet var enbart att det var den beräkningsmetod som kunde ta hänsyn, utan ändringar i programmet, till de flesta av de frågeställningar som ställdes, dvs

- att kunna jämföra uppmätt klimat med beräknat,
- och att kunna dra slutsats om det fel som givs för några icke beräkningsbara faktorer.

När väl en metod att använda BRIS-programmet hittats, som gav svar på ovan ställda frågor, så gjordes samma sak även med Gertis metod för några av rummen samt senare även med metoden TEMPO. Försök har även gjorts med Carrier/ASHRAE:s kylbehovsberäkningsmetod men den har inte lyckats att ändras så att man även kan erhålla rums-temperaturen.

I datorprogrammet BRIS har inga ändringar gjorts. I Gertis metod har Rosenthals programlistning i [13] använts, vilken har kompletterats med timvis stationärt uträknade transmissionsförluster genom fasader och ventilation med variabel inblåsningstemperatur. Vidare har programmet kompletterats med möjligheten att räkna över flera dygn. En viss justering av metoden har gjorts, nämligen genom sättet att ange materialkonstanter för väggar av olika material, se Kröhnke och Moberg [36].

I beräkningsmetoden TEMPO har inga ändringar gjorts mer än att införa variabel temperaturnivå på inblåsningsluften. Av TEMPO-modellen har en BASIC-variant gjorts som kan läsa indata från Gertis-programmet. Det senare för att snabbt kunna erhålla resultat. Utdatarutinerna, dvs sättet att erhålla resultat, har omarbetats i både Gertis metod och TEMPO. I modellen för TEMPO har i utskriften införts en varierande rumstemperatur i form av en sinuskurva som svänger kring rumsmedeltemperaturen.

4 JÄMFÖRELSE MELLAN UPPMÄTTA OCH BERÄKNADE RESULTAT

4.1 Förutsättningar

De tre i föregående avsnitt behandlade beräkningsmodellerna BRIS, Gertis metod samt TEMPO representerar, som inledningsvis framhållits, tre skilda nivåer för temperaturberäkningsprogram. Det syns försvarbart att nyttja dessa tre artskilda beräkningsmodeller som representativa för var sin modellnivå.

Innan man går in närmare på jämförelserna kan det vara klarläggande att något beröra hur de olika programmen används i föreliggande arbete. Själva användningssättet innebär en anpassning till att beräkningsresultat skall jämföras med löpande temperaturmätningar utan att man avlägsnar sig från de arbetsrutiner som gäller då beräkningsmetoderna används i praktisk verksamhet. Användningssättet är därmed inte helt konventionellt men beräkningsmetoderna i sig är precis desamma som de som används i praktiken.

Då man praktiskt skall beräkna ett temperaturförlopp med hjälp av BRIS, bestämmer man sig för ett begynnelsestillstånd med en viss vald temperatur i det studerade rummet. Det förutsätts då att rummet befinner sig i stationär jämvikt med omgivningen. Rumstemperaturen framräknas därefter timme efter timme under en 24-timmarsperiod med hänsyn tagen till variationerna i externa och interna värmebelastningar under dygnet. Programmets huvudarbete består i att för varje timme bestämma alla de temperaturer som påverkar rummets totala värmebalans. Alltefter hur detaljerat man definierar rummets konstruktion kan det bli ett betydande antal temperaturer, ofta över 100, som sålunda räknas fram varje timme, se Fig 4.1.1. Dessa temperaturer, som normalt är alla sinsemellan olika finns i programmet och kan läggas i en separat fil efter beräkningstimme 24.

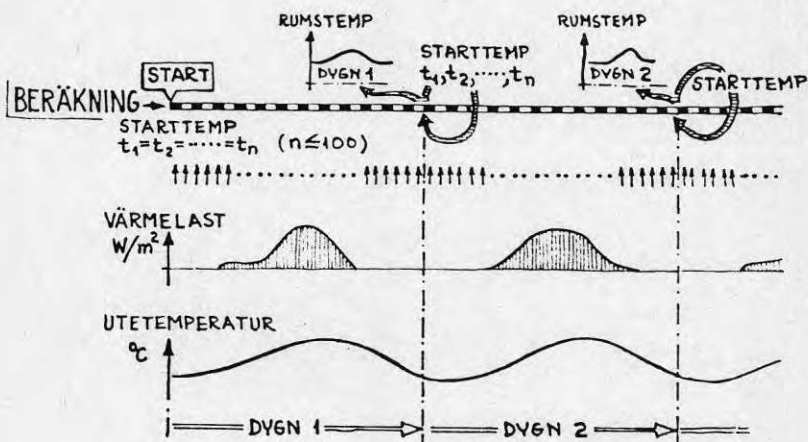


Fig 4.1.1 Beräkningsschema för BRIS med två på varandra följande dygn med olika klimat och värmelast

Denna temperaturfil kan sedan läggas till utgångspunkt för beräkning av nästa dygn. Här har man sålunda icke längre temperaturerna som gäller vid stationär jämvikt utan de temperaturer som uppnåtts efter 1 dygns instationära förlopp. Beräkningarna kan sedan repeteras dygn efter dygn med temperaturerna från ett dygn som utgångspunkt för beräkning av nästa dygn.

Vid Gertis beräkningsmodell förenklas rummet värmetekniskt så långt att värmeströmmarna kan definieras med endast sju temperaturer. Det är således beräkningsmässigt en mycket stor förenkling jämfört med BRIS. Vid beräkning ansätter man här en utgångstemperatur och förutsätter att alla dessa sju temperaturer är sinsemellan lika. Man ansätter sedan externa och interna värmelaster och får efter den första timmen en spridning av de sju beräkningstemperaturerna, som något bättre ansluter sig till verkligheten än det för första timmen antagna jämviktsvärdet. Nästa timme utgår således från de under första timmen framräknade sju temperaturerna och så fortsätter det sedan timme efter timme, se Fig 4.1.2.

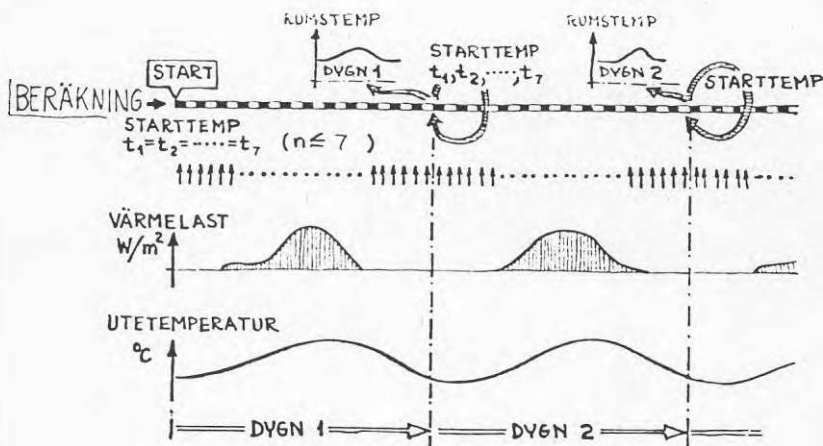


Fig 4.1.2 Beräkningsschema för Gertis metod med två på varandra följande dygn med olika klimat och värmelast

I beräkningsmodellen TEMPO utgår man från utetemperaturens medelvärde, medelvärdet av den tillförda effekten samt den tillförda effektens amplitud. Beräkningen resulterar i rumstemperaturens medelvärde under ett dygn, rumstemperaturens max- och min-värde under dygnet, dvs rumstemperaturens amplitud. Här får man således inte något tidsförlopp under dygnet, se Fig 4.1.3.

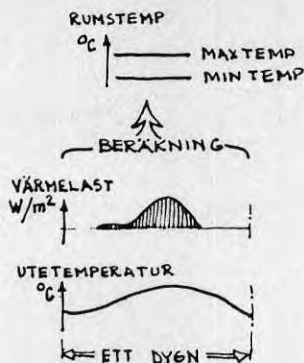


Fig 4.1.3 Beräkningsschema för TEMPO.
I TEMPO påverkar föregående dygn inte rumstemperaturen

I avsnitt 2.5 har mät noggrannheten berörts. Som visats där måste man räkna med en mät noggrannhet på $\pm 0,7$ °C. Detta innebär att man måste räkna med att de verkliga rumstemperaturerna kan ligga upp till $0,7$ °C från de kurvor över uppmätta temperaturer som redovisas.

Då beräkningsmodellerna är beräkningsmässigt komplicerade, som fallet är med BRIS och även i viss mån Gertis program, kan man inte undvika ett visst beräkningsfel, som inte är knutet till beräkningsprincipen som sådan utan till beräkningens praktiska genomförande; programmet måste utformas så att beräkningstiderna inte blir orimligt långa. För BRIS får man här räkna med att felet kan bli upp till $\pm 0,5$ °C, Rosenthal [38].

4.2 Använda klimatdata

Som framgår av det tidigare har mätningar pågått under två somrar med temperaturmätningar var 20:e minut. Det insamlade mät materialet är således omfattande. Mätserierna är dock inte helt kontinuerliga på grund av dels att mätutrustningen varit utsatt för vissa störningar dels att en del hållremсор för dataregistrering tagit slut före byte. För att föreliggande redovisning skall bli gripbar och de jämförelser mellan mätningar och beräkningar som sker skall bli överskådliga har ett par tidsperioder utvalts för närmare studium. Urvalet har bestämts av önskemålet att perioden skall omfatta ett antal på varandra följande dagar och att mätningarna under denna period skall vara kompletta och ostörda.

En varm period eller "värmebölja" karaktäriseras av att utetemperaturen under en längre tid ligger högre än den för årstiden normala. Det torde finnas olika sätt att kvantitativt definiera begreppet varm period. I [20] definierar Bigelius och Taesler en följd av dygn, som var och en har en medeltemperatur som överskrider den för respektive datum genomsnittliga medeltemperaturen med mer än 1 °C. Den här allmänna definitionen blir dock meningsfull först om man även har definierat "den genomsnittliga medeltemperaturen"

på ett entydigt sätt.

För det här aktuella arbetet har medeltemperaturen definierats med utgångspunkt från månadsmedelvärden för orten, hämtade ur VVS-Handboken [17]. Utgår man från att månadsmedelvärdet även är dygnsmedelvärdet den 15:e i varje månad, stämmer följande uttryck väl för hela sommarhalvåret i Göteborg (15 mars-15 oktober).

$$\bar{t}_u = \sum_{n=0}^3 A_n \cdot \cos \left[n \cdot \frac{DN-202}{400} \cdot 2\pi \right] \text{ [}^\circ\text{C]}$$

där konstanterna är:

$$\begin{aligned} A_0 &= 6,032 \\ A_1 &= 10,944 \\ A_2 &= 0,478 \\ A_3 &= 0,103 \\ DN &= \text{dagnummer} \end{aligned}$$

De varma dagarna kan därmed karaktäriseras i temperaturhänseende av $t_u^* - \bar{t}_u$, där t_u^* är den aktuella dagens dygnsmedeltemperatur beräknat ur mätvärden.

Då solinstrålningen är av stor betydelse för rumstemperaturen är det viktigt att även ha med denna vid karaktäriseringen av de olika dagarna. Det syns naturligt att göra detta genom att ange den totala globala solinstrålningen under respektive dag, korrigerad för molnighet enligt principen som visats i Fig 2.4.1. Enklast sker detta genom att ange solinstrålningen mot en horisontell yta beräknad enligt Browns ekvation, se exempelvis [44].

I de följande jämförelserna har i huvudsak använts två perioder av dygn, dag 164-167 respektive dag 222-225, båda från år 1978. För dessa dagar gäller följande klimatdata.

Dagnummer	Dygnet medeltemp t_u^* °C	Dygnet temp-amplitud °C	Total beräkn solinstrålning Wh/m ² , dygn	Dygnet beräkn normaltemp \bar{t}_u °C	$t_u^* - \bar{t}_u$
164	19,8	2,9	1247	15,3	4,5
165	19,7	4,9	1247	15,4	4,3
166	18,6	5,3	8469	15,5	3,1
167	20,8	9,5	8469	15,6	4,9
222	17,1	4,0	1078	16,9	0,7
223	16,4	3,7	1078	16,8	- 0,4
224	20,5	7,9	6813	16,8	3,7
225	19,0	6,3	3998	16,7	2,3

Fig 4.2.1 Klimatdata för de två perioder som huvudsakligen studeras i det följande

För dygnets amplitud har valts definition enligt [21], dvs halva skillnaden mellan dygnets maximitemperatur och dygnets minimitemperatur.

Det finns flera dygn som är använda av mätmaterialiet, men de i Fig 4.2.1 är de mest frekventa som används. I datorprogrammet BRIS är cirka 500 rumsdygn beräknade för ett 20-tal olika rum. Vissa rum i mätmaterialiet är precis identiska i orientering, material och till storlek. Enbart luftflöde åtskiljer dessa något. Andra rum är materialmässigt sett identiska men har olika riktningar.

Rummen förutsätts alltid värmetekniskt vara angränsande till rum där temperaturförloppet är identiskt det betraktade rummet.

Bearbetningen har enbart pågått tills en metod har hittats som ger svar på de frågeställningar som ställdes i projektet. Det återstående mätmaterialiet kommer att användas för fortsatt arbete med studier av rumstemperaturberäkningsmodeller och utarbetande av handberäkningsmodeller.

I modellen Gertis metod har cirka 40 rumsdygn beräknats för cirka 8 olika dygn, detsamma gäller TEMPO.

4.3 Jämförelse med BRIS

Oberoende av hur ett beräkningsprogram är uppbyggt kan det givetvis ge med verkligheten överensstämmande resultat endast om de ingångsdata som beräkningen bygger på är korrekta. I ett teoretiskt avancerat program som BRIS, i vars beräkningsrutin ingår att för varje tidssteg fastställa ett betydande antal jämviktstemperaturer, krävs dessutom att temperaturfördelningen i byggnadskonstruktionen är något så när korrekt från början. Den som står i begrepp att börja en beräkning av rumstemperaturer, kan rimligen inte veta mycket om den verkliga temperaturfördelningen i byggnadskonstruktionen. Man kan emellertid skaffa sig en bild av denna genom att förlägga startpunkten för beräkningarna på en tidpunkt före den period för vilken rumstemperaturen skall beräknas. Man utgår då från något antaget medelvärde och låter datorn räkna sig fram till en temperaturfördelning som är acceptabelt riktig som utgångspunkt för den fortsatta beräkningen.

När man diskuterar tekniska beräkningar och beräkningsmodeller bör man alltid söka sätta sig in i den situation som den som räknar normalt befinner sig i. Rumstemperaturberäkningar är normalt intressanta i ett projekteringsskede, dvs man behandlar beräkningsmässigt en byggnad som ännu inte uppförts. Som utgångspunkt för beräkningarna kan man ha ganska detaljerade uppgifter om det studerade rummet och den byggnad rummet befinner sig i. Man kan därmed på ett väldefinierat sätt ansätta eller beräkna ingångsdata för den egentliga rumstemperaturberäkningen. Däremot kan det vara svårare att förutsäga vilken inverkan verksamheten kommer att ha. Här kommer man in på de inledningsvis diskuterade av verksamheten beroende klimatpåverkande faktorernas inverkan.

Sammanfattningsvis har man sålunda följande tre skilda slag av ingångsdata att ta hänsyn till:

1. Väldefinierade konstruktionsdata.
2. Temperaturfördelningar som kan framräknas ur konstruktionsdata, antaget uteklimatförlopp och beräkningsbar solinstrålning.
3. Av verksamheten beroende inverkan faktorer.

Man inser att den som genomför beräkningarna måste vara mycket kritisk när man väljer utgångsdata och arbetssätt. Detta belyses i Fig 4.3.1, som visar hur beräkningsresultatet kan falla ganska långt från verkligheten vid en okritisk användning av ett i sig mycket välutformat beräkningsprogram. Figuren visar för ett visst rum, Energiverkens rum E1, och en viss dag, dygn 225 år 1978 (13 augusti), dels framräknade rumstemperaturer med två olika utgångsförutsättningar och dels uppmätta rumstemperaturer.

Den översta kurvan i figuren är framräknad utan hänsyn till de solskydd, persienner mellan glas, som i verkligheten användes. Vidare har antagits att temperaturerna i byggnadskonstruktionen har samma genomsnittliga värde, 25 °C, vid beräkningens början. Här har man sålunda i ingångsdata för beräkningen dels ett fel i "konstruktionsdata" och dels ett fel i temperaturfördelningen i byggnadskonstruktionen. I den andra framräknade rumstemperaturkurvan har detta beaktats. Här har förutsatts riktig solavskärm-

ning och dessutom har beräkningarna påbörjats 3 dygn före den aktuella dagen så att programmet skall kunna räkna in sig mot en riktig temperaturfördelning i byggnadskonstruktionen. Den beräknade kurvan har därmed närmat sig den uppmätta. Fortfarande ligger den dock några grader för högt. Detta beror främst på att rummets vädringsfönster i det här aktuella fallet varit öppet nästan hela dagen.

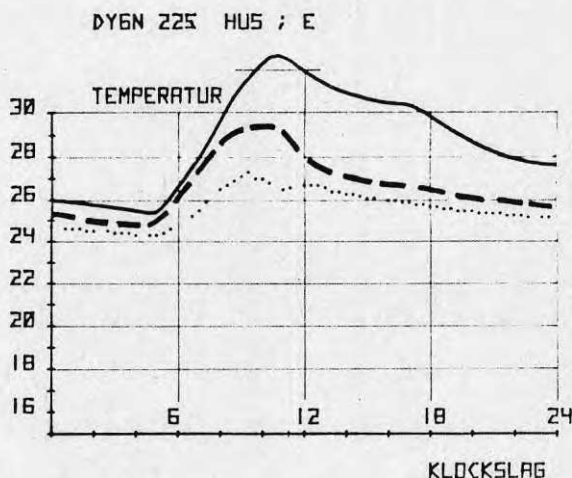


Fig 4.3.1 Exempel på hur beräknade rumstemperaturer kan avvika från den verkliga rumstemperaturen vid:

1. Beräkning med sämre solavskärmning än den verkliga och utan förberäkning av temperaturfördelningen i byggnadskonstruktionen
2. Med rätt solavskärmning och 3 dygns förberäkning av temperaturfördelningen i byggnadskonstruktionen men utan hänsyn tagen till att rummets vädringsfönster varit öppet

Det i Fig 4.3.1 studerade rummet har fönster mot öster. En motsvarande beräkning för fyra likadana rum vid västerfasad i samma byggnad har i stort bekräftat resultaten i Fig 4.3.1.

Som tidigare poängterats är temperaturfördelningen i byggnadskonstruktionen vid beräkningarnas början av stor betydelse för slutresultatet. Vid förberäkning av denna temperaturfördelning börjar man med att ansätta en medeltemperatur i byggnadskonstruktionen, som sålunda då datorn räknat igenom några dagar omvandlas till en riktig temperaturfördelning. Valet av denna medeltemperatur påverkar givetvis den temperaturfördelning som fås vid beräkningens slut. Vidare påverkas denna temperaturfördelning av den uteklimatvariation som antas för perioden och givetvis av hur många dagar beräkningen får löpa. Då man känner slutresultatet,

dvs då man som här har mätvärden över hur rumstemperaturen i verkligheten ligger, kan man givetvis prova olika värden på ingångstemperatur, uteklimat och beräkningstid tills man får ett beräkningsresultat som väl överensstämmer med de verkliga förhållandena. Detta tillvägagångssätt är intressant som ett led i arbetet att finna allmängiltiga regler för hur beräkningarna bör tillgå för ett tillförlitligt slutresultat.

I Fig 4.3.2 visas resultatet av ett sådant anpassande till uppmätta värden. Här har det visat sig att en rumstemperaturberäkning, gjord av uppmätta klimatdata under 4 på varandra följande dygn, och en starttemperatur det första dygnet på 23 °C, ger en god överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta rumstemperaturer redan det tredje dygnet.

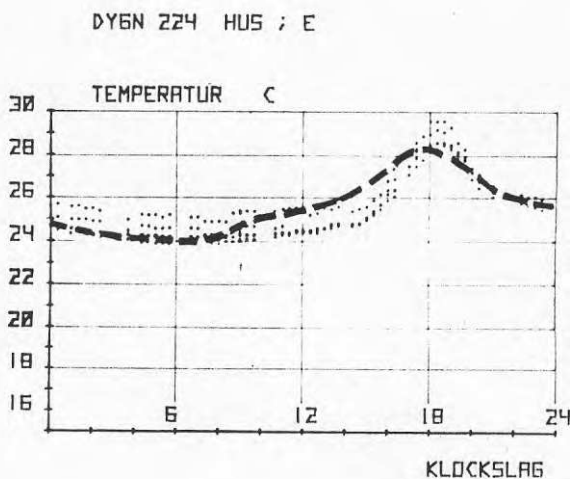


Fig 4.3.2 Temperaturförlopp för de fyra lika väster-rummen E2. Prickad kurva visar de mätta temperaturförloppen, streckad kurva det beräknade temperaturförloppet

För de fyra lika rummen E2 där enbart luftflödet skiljer rummen åt, redovisas de mätta rumstemperaturförloppen som en kurvskara i Fig 4.3.2. I kapitel 1 har ingående diskuterats luftflödets inverkan på rumstemperaturen. Då dessa rum har luftflöden, som inte skiljer sig mer än en faktor två, kommer de beräknade rumstemperaturförloppen inte att skilja sig mycket åt. Därför har den mätta rumstemperaturen i Fig 4.3.3 korrigerats och normerats att gälla för det luftflöde som beräkningen gjorts för. Detta enbart för att visa hur olika rumstemperaturförloppen kan vara i identiska rum, med samma luftflöde. Spridningen kan bero av verksamheten. Korrigeringen av de uppmätta rumstemperaturerna har skett enligt

$$t_r^{\text{korr}} = \frac{\dot{V}_r^{\text{mätt}}}{\dot{V}_r^{\text{norm}}} (t_r^{\text{mätt}} - t_i^{\text{mätt}}) + t_i^{\text{mätt}}$$

där

t är temperatur °C, med index

r för rums-,

i för inblåsnings-,

korr står för korrigerad

\dot{V} är luftens volymflöde m³/s med index enligt ovan samt

norm står för den norm som korrigeringen skett mot

DYGN 224 HUS ; E KORR LUFTFLOEDE

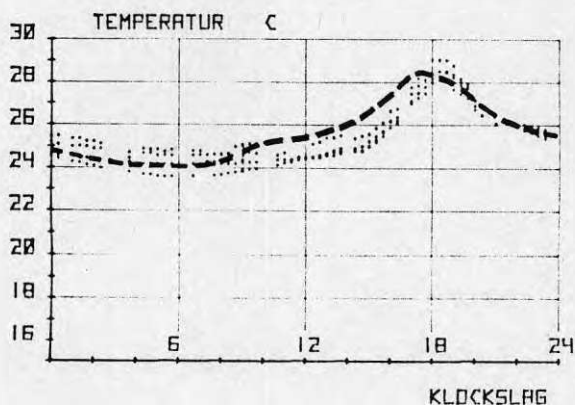


Fig 4.3.3 Temperaturförlopp för de fyra lika rummen E2. Prickad kurvskara korrigerade mätvärden, streckad kurva beräknade värden med normflödet

Jämförs Fig 4.3.2 med Fig 4.3.3 framgår att spridningen på de uppmätta temperaturförloppen är mindre för Fig 4.3.3 med korrigerade mätvärden. Dock finns spridningen kvar vilken kan bero av verksamheten. Av verksamheten beroende faktorer kommer att redovisas längre fram.

Fig 4.3.3 visar att det går att med BRIS beräkna en rumstemperatur som väl ansluter sig till den verkliga, om man känner denna verkliga temperatur. Här har ju i praktiken starttemperaturen och förberäkningstiden valts så att man hamnar rätt. Vidare har den verkliga utetemperaturvariationen under förberäkningstiden använts vid förberäkningen. Sett ur praktisk synpunkt är det således fråga om en ganska verklighetsfrämmande situation, då man således så att säga utgår från facit. För praktisk användning krävs en beräkningsmetodik som med god sannolikhet leder fram till ett beräkningsresultat som väl ansluter sig till verkligheten. Ett närmare studium av samspelet mellan förberäkning och slutresultat kan vara till hjälp härvidlag.

Förberäkningstid och startvärde

En bild av hur valet av förberäkningstid och startvärde inverkar på slutresultatet får man genom att variera dessa vid beräkning av rumstemperaturerna för ett uppmätt fall. Här har valts en sammanhängande varm period i augusti 1978 (dag 222-225). Den under denna period uppmätta utetemperaturen och solinstrålningen visas i Fig 4.3.4, som även redovisar den uppmätta rumstemperaturen i ett rum (rum E3, Energiverken, fasad mot öster).

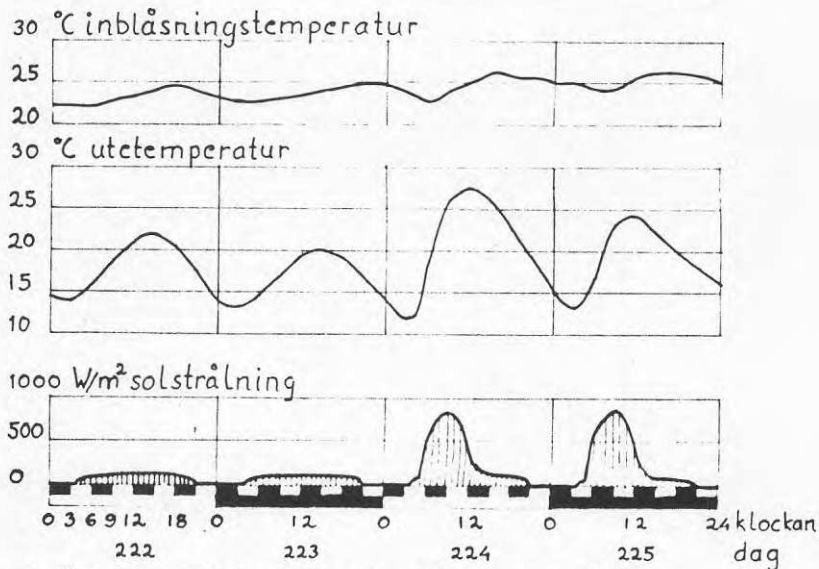


Fig 4.3.4 Uppmätt utetemperatur och solinstrålning under tidsperioden dag 222-225 år 1978 samt uppmätt temperatur i rum E3, vid Energiverkens ostfasad

För detta rum har rumstemperaturen beräknats med olika förberäkningstider och startvärden. I Fig 4.3.5 visas den beräknade rumstemperaturen dygn 224 och dygn 225 om man inte gör någon förberäkning så att temperaturerna i byggnadskonstruktionen får svänga in sig. Startpunkten för beräkningen har här lagts i början av dygn 224 och beräkningen har genomförts med tre olika valda starttemperaturer. Sålunda har antagits att jämviktstemperaturen i byggnadskonstruktionen är 10 °C, 20 °C respektive 25 °C. Man

ser här att det valda startvärdet mycket starkt påverkar slutresultatet. I det här aktuella fallet blir överensstämmelsen ändå ganska god då starttemperaturen valts till 25 °C, vilket ungefär råkar sammanfalla med den verkliga rumstemperaturen vid starttillfället.

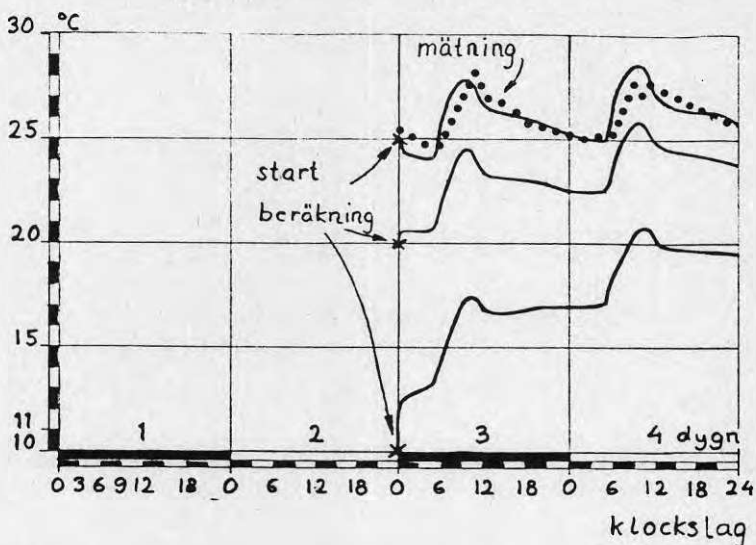


Fig 4.3.5 Beräknade rumstemperaturer vid olika startvärden utan förberäkning.
Dag 222-225 1978, Rum E3, Energiverkens ostfasad

Då man ser på kurvorna i Fig 4.3.5 får man inte dra för långtgående slutsatser av att kurvan med startvärdet + 25 °C fått god överensstämmelse med den uppmätta temperaturkurvan. Det diagrammet säger är att i det här fallet den beräknade rumstemperaturens amplitud i stort överensstämmer med den verkliga. Temperaturnivån däremot bestäms helt av vilken starttemperatur som väljs.

Förberäkningens inverkan på slutresultatet belyses av diagrammet i Fig 4.3.6. Här har för samma rum och samma tidsperiod som i föregående figur en förberäkning av rumstemperaturen skett med början två dagar tidigare. Här har fyra starttemperaturer valts, 10 °C, 15 °C, 20 °C och 25 °C. De beräknade temperaturerna liksom de uppmätta redovisas för hela perioden. Beräkningen har skett med utgångspunkt från den verkliga, uppmätta rumstemperaturen och solinstrålningen under perioden. Man ser väl ur figuren hur den beräknade temperaturkurvan genom förberäkningen närmar sig den verkliga, uppmätta temperaturkurvan, även om starttemperaturen valts långt från verkligheten. Genom förberäkningen minskar således risken för att man genom en olyckligt vald starttemperatur hamnar på en helt felaktig nivå.

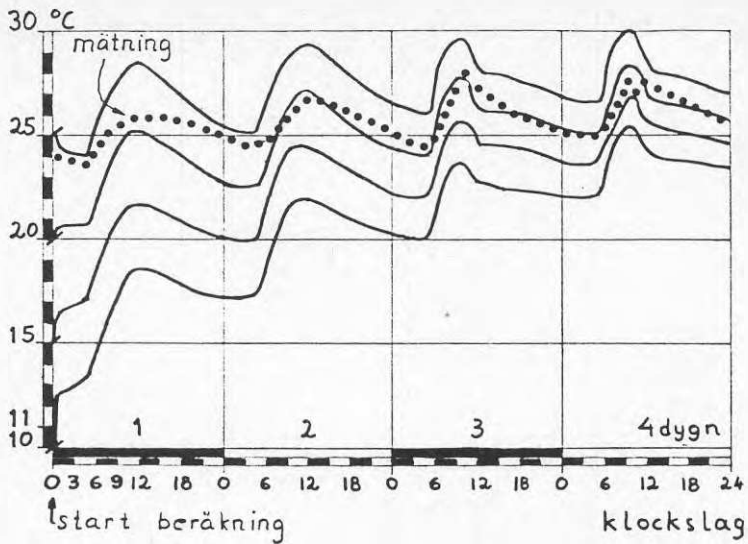


Fig 4.3.6 Beräknade rumstemperaturer vid olika startvärden med förberäkning. Tidsperioden dag 222-225 år 1978, rum E3, vid Energiverkens ostfasad

I Fig 4.3.7 visas samma sak för ett rum vid söderfasad i Skattehuset.

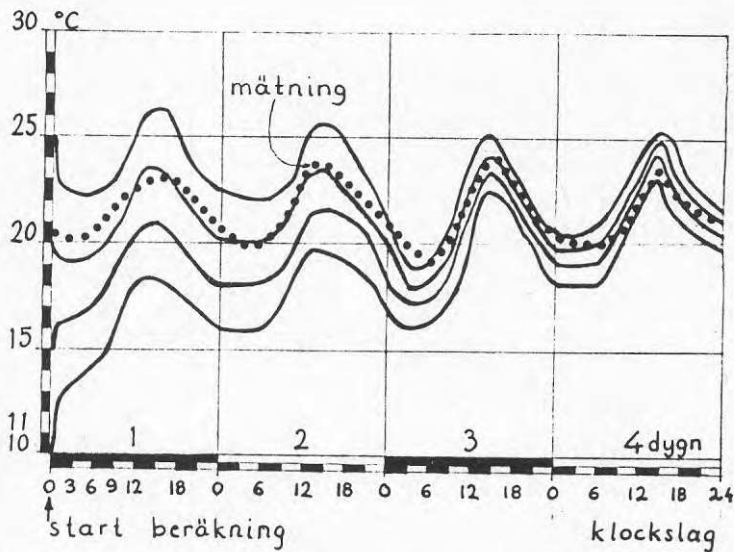


Fig 4.3.7 Beräknade rumstemperaturer vid olika startvärden med förberäkning. Dag 222-225 1978, rum S1, Skatteverkets söderfasad

Temperaturkurvorna i de två sista figurerna skiljer sig visserligen åt i fråga om nivån, men har annars i stort samma karaktär. Nivåskillnaden beror väsentligen på att temperaturstyrningen i luftbehandlingsaggregaten i Energiverken och Skatteverket är olika. Sålunda har tilluften till Energiverkens rum en högre temperatur än tilluften till rummen i Skattehuset.

De här redovisade exemplen åskådliggör hur resultatet av en rums-temperaturberäkning styrs av valet av starttemperatur och förberäkningstid. Exempelen visar också att det "riktiga" valet av starttemperatur, dvs det val som ger ett med verkligheten bäst överensstämmande resultat, inte har ett från fall till fall givet förhållande till rumstemperaturen. Dock syns beräkningsresultatet ansluta sig bäst till den verkliga temperaturen om man vid förberäkning väljer en starttemperatur lägre än den rumstemperatur som kan förväntas. I moderna kontorshus som det här studerade (den till rummet hörande byggnadsmassan ligger mellan 600 och 800 kg/m² golvyta) syns att två à tre dagars förberäkning och en starttemperatur på cirka 20 °C kan ge med verkligheten väl överensstämmande värden. Detta gäller således även om det är en värmebölja som skall studeras.

Ett ofta aktuellt motiv för att i samband med projekteringen beräkna rumstemperaturen är att man önskar underlag för bedömning av behovet av maskinell kylning av tilluften. En slutsats man kan dra ur diagrammet i Fig 4.3.6 och 4.3.7 är att man lätt kan förledas till en överskattning av problemen med för hög temperatur. Det ligger nära till hands att bestämma en övre gränstemperatur och sedan grunda bedömningen av eventuellt behov av maskinell kylning på hur den beräknade rumstemperaturen ligger i förhållande till denna gränstemperatur. I Fig 4.3.8 visas detta för det i Fig 4.3.6 visade fallet. Vi kan anta att man just använder sig av dygnet 3 och 4 i det i denna figur behandlade fallet, i kombination med en gränstemperatur på + 27 °C som underlag för sin bedömning. Har man då i samband med förberäkningen valt en starttemperatur på + 25 °C, får man den övre kurvan i figuren (kurva A). Denna överskrider den valda gränstemperaturen på + 27 °C med 17 timmar under dygn 3 och 18 timmar under dygn 4, dvs rummets temperaturförhållanden är knappast acceptabla. Om man i stället vid förberäkningen hade valt starttemperaturen + 20 °C, hade den undre kurvan i figuren (temperaturkurva B) erhållits. Denna överskrider gränstemperaturen + 27 °C fyra timmar under dygn 3 och 6 timmar under dygn 4. Ett sådant överskridande kan mycket väl accepteras under en värmebölja. Här kan således valet av starttemperatur vid förberäkningen i praktiken avgöra installation av kylanläggning.

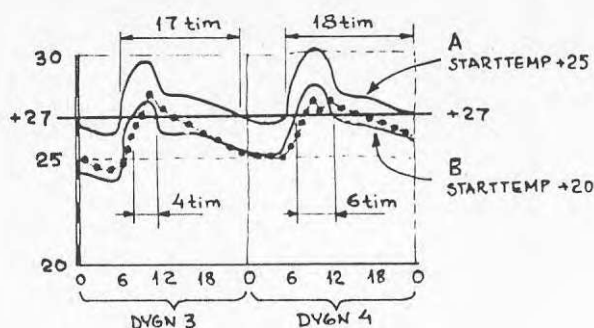


Fig 4.3.8 Figuren visar hur många timmar som den beräknade rumstemperaturen överstiger en vald gränstemperatur. Väljs startvärdet 25°C i stället för 20°C så erhålls ungefär 12 timmar mer där beräknad rumstemperatur överskrider den ansatta gränstemperaturen

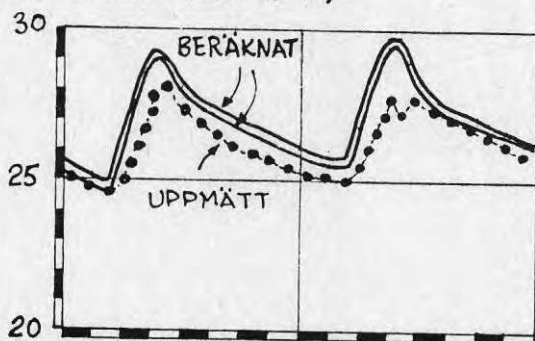
Det är således viktigt att man vid den här typen av bedömningar har klart för sig att den beräknade temperaturkurvan i sin helhet kan ligga någon grad över det verkliga värdet, vilket drastiskt kan öka det skenbara överskridandet av gränstemperaturen. Givetvis undviks den här typen av problem om man i stället ser på en eller ett par varma dagar och utgår från en varaktighetskurva för rumstemperaturen för hela sommarperioden.

Beräkningsresultatens här diskuterade starka beroende av sättet att genomföra beräkningarna är givetvis väl känt för dem som arbetar ingående med de mer avancerade beräkningsmodellerna. Risker är dock att de som sedan skall dra slutsatser ur beräkningsresultaten inte alltid är medvetna härom. Det har gått att få en överblick av de i praktiken vedertagna tillvägagångssätten vid beräkningarna dels genom diskussioner med Engelbrekt Isfält och Teddy Rosenthal och dels genom en del uppsatser som mer eller mindre marginellt berör frågan.

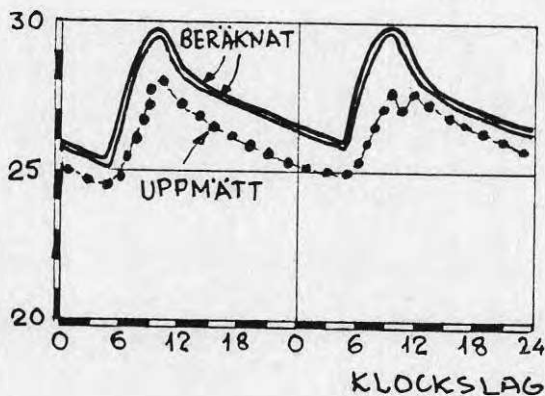
Ett vanligt tillvägagångssätt är att man anpassar förberäkningstiden efter rummets massa så att man kan vara säker på att ett fortvarighetstillstånd uppnås för de dagar som beräkningen avser. Man utgår då vanligen från att samtliga dagar, således även de under förberäkningen, har samma utetemperaturvariation och har samma solinstrålningsförhållanden. För tunga rum kan det då bli fråga om en förberäkning upp till kanske 20 dygn. Med hänsyn till den fysikaliska bakgrunden, dvs att värmeböljor med 20 dagars längd knappast är tänkbara i Sverige, kan man kanske ifrågasätta det här angreppssättet. Är rummet att betrakta som lätt, uppnås fortvarighetstillståndet snabbare och förberäkningstiden minskar således. Med den här metoden torde startvärdet bli av underordnad betydelse för slutresultatet.

Det här förberäkningssättet har provats genom tillämpning på samma fall som det i de tidigare figurerna behandlade, dvs rum E1 i Energiverken dag 224 och 225 år 1978. Detta visas i Fig 4.3.9 som visar rumstemperaturen framräknad med förberäkningstiderna 5 respektive 9 dagar. För hela förberäkningsperioden har de uppmätta klimatdata för dag 224 som redovisas i Fig 4.3.4 använts. Utetemperaturen antas således variera mellan $+13$ och $+27$ ° och dagarna betraktas som helt molnfria. Vid förberäkningen har antagits två starttemperaturer, $+20$ °C respektive $+25$ °C. Man ser direkt i figuren att valet av starttemperatur här har mycket liten betydelse för slutresultatet. I båda förberäkningsfallen ligger således kurvorna för de två skilda starttemperaturerna blott någon bråkdel grad åtskilda. Det jämviktstillstånd som man sålunda uppnått ger emellertid en temperaturnivå som ligger ett par grader över den verkliga, uppmätta rumstemperaturen. Temperaturkurvans form och dess amplitud överensstämmer däremot ganska väl med den uppmätta kurvans punkt.

RUMSTEMPERATUR (°C)



FÖRBERÄKNING 5 DVGN
STARTTEMPERATUR
 $+20$ °C OCH $+25$ °C



FÖRBERÄKNING 9 DVGN
STARTTEMPERATUR
 $+20$ °C OCH $+25$ °C

Fig 4.3.9 Beräknade rumstemperaturer jämförda med uppmätt rumstemperatur. Det övre diagrammet visar resultatet vid 5 dygns förberäkning med startvärden $+20$ °C respektive $+25$ °C. Det undre diagrammet visar samma sak med skillnaden att förberäkningstiden här varit 9 dygn. Diagrammen gäller för rum E1 i Energiverken. Förberäkningen har skett med samma varma väderlek under hela förberäkningstiden.

Trots den långa förberäkningstiden kvarstår alltså ett så stort fel i temperaturnivån att den okritiske betraktaren kan få en felaktig uppfattning om rumsklimatet. Om man exempelvis även här utgår från $+27^{\circ}\text{C}$ som utgångspunkt för bedömningen av rumstemperaturen ger den beräknade kurvan ett betydligt större överskridande än vad man får i verkligheten. Med 9 dygns förberäkning fås en något högre temperaturnivå än med 5 dygns förberäkning. En lång förberäkningstid är således inte i sig en garanti för god överensstämmelse i verkligheten.

Inom sjukhussektorn sker beräkningarna ofta med 5 dygns förberäkning där man ansätter samma värmebölja under hela förberäkningsperioden.

Den metod som används är att utgå från en veckas förberäkning där man först lägger in 5 dygn (arbetsdagar) med full verksamhet och intern värmeutveckling och därefter 2 dygn (helger) med fullt uteluftflöde men ingen verksamhet. Man får då ett startvärde för nästa arbetsvecka. Klimatet för denna kan då väljas enligt [20] eller [21].

I [26] beskrivs det finska programmet HEAT. Här nämns att man utgår från ett startvärde som konstrueras med utgångspunkt från det för den aktuella tiden gällande uteklimatet. Med utgångspunkt från detta medelklimat förberäknar man först under 2 dygn och därefter förberäknar man ytterligare 2 dygn med det klimat som ska gälla för de dagar som beräkningen avser. Därmed anser man ha fått acceptabla utgångsvärden för den egentliga beräkningen.

I [7] diskuteras anpassning av klimatet under förberäkningstiden efter byggnadens värmetröghet. Man förberäknar således med en värmebölja vars nivå väljs lägre ju större byggnadens värmetröghet är och ju längre det således tar att nå ett värmetekniskt jämviktstillstånd.

Möblering

Möbler kan, som tidigare nämnts, simuleras genom att lägga in värmelagrande ytor (s k värmare utan effekt) på rummets omgivningsytor som enbart kan lagra och avge värme. Detta sker genom att man ansätter en ytförstoringsfaktor som utgör den beräkningsmässiga kompensationen för möbleringen. Eftersom massan i möblerna är av underordnad betydelse jämfört med omgivande rumsytors massa, så inverkar inte normalmöbleringen på rumsklimatet nämnvärt, se även Adamson [37]. Möblering är en faktor som beror av verksamheten i respektive rum. Förutom luftflödet kan möbleringen ha givit den skillnad i rumstemperaturförlopp som redovisas i Fig 4.3.3. Man kan genom att ansätta värmelagrande ytor efter rummets omslutningsytor erhålla en viss amplitudminskning av den beräknade rumstemperaturen från BRIS-programmet. Ett sådant exempel redovisas i Fig 4.3.10. Där redovisas två beräknade rumstemperaturförlopp dygn 225 för de fyra identiska rummen S1 i Skattehuset. Temperaturförloppen som redovisats har bägge beräknats med start dygn 222 och startvärde 20 °C. Den ena redovisade beräkningen är gjord för rum som är att betrakta som omöblerat, medan det andra rummet har beräknats som om det vore möblerat, genom att ansätta värmelagrande ytor på väggarna.

DYGN 225 HUS ; 5

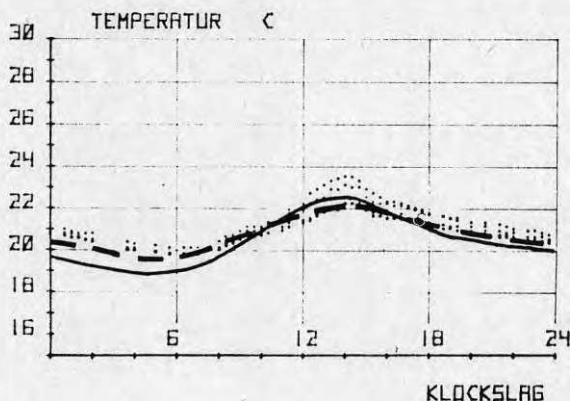


Fig 4.3.10 Inverkan av värmelagrande ytor. De prickade rumstemperaturförloppen redovisar mätningar för de fyra identiska rummen S1. Troligen har två rum persienner på annat läge än de övriga två rummen. Den heldragna kurvan redovisar beräknat temperaturförlopp under det 4:e dygnet då rummet är att betrakta som omöblerat. Det streckade temperaturförloppet redovisar rumstemperaturen under det 4:e dygnet med hänsyn tagen till möbleringen.

För ett flertal rum har motsvarande beräkningar gjorts, med samma resultat. Man har således genom att införa värmelagrande ytor för att simulera möblering erhållit en viss amplitudminskning på temperaturförloppet i rummet. Egentligen kan denna simulering jämföras med att man gör rummet större, dvs man inför större ytor för värmeövergång, och därmed bygger in större värmeövergångsförmåga i rummet. I BRIS-programmet kan inte ovannämnda ytors massor eller ytförstoring beräknas utan måste ansättas som värden och testas genom beräkning för att se om dessa värden på massan och ytförstoring ger önskat resultat. Här är således en av verksamheten beroende inverkan som finns anledning att studera mer ingående. Möbleringens inverkan tycks dock vara ganska marginell även om den beräknade temperaturkurvans form med möbler ansluter sig bättre till den verkliga.

Fönsteröppningars påverkan

En annan faktor som påverkar rumstemperaturen och kan insorteras i gruppen av verksamheten beroende inverkan faktorer är fönsteröppning. I kapitel 2 har det närmare redovisats hur registrering av fönsteröppning har gått till. Genom att öppna ett fönster finns det möjlighet att ventilerarummet mera än den ventilation som ventilationssystemet ger rummet. Dock är det inte möjligt att direkt avgöra hur man skall praktiskt behandla fönsteröppning i BRIS-programmet. Genom att öppna ett fönster så kan rummets värmebalans påverkas på ett flertal olika sätt. Värmebalansen beror enbart på den luft som kommer in i rummet, under förutsättning att rumsluften är fullständigt omrörd och har samma temperatur överallt i rummet. Under dessa antaganden kan inte värmebalansen påverkas av hur rumsluften går ur rummet. Till rummet kan således

- luft komma från korridoren med den temperatur som råder i korridoren,
- luft komma utifrån med antingen den temperatur som det är i uteluften eller den temperatur som uteluften har som strömmar efter fasadväggen.

Det räcker inte med att känna temperaturen på den luft som man ventilerar ett rum med utan man måste även känna storleken på det luftflöde som rummet är ventilerat med.

I BRIS-programmet kan man förutom tilluften från ventilationssystemet även beakta läckluft med uteluft. Här har man således en möjlighet att simulera fönsteröppning om man känner storleken på fönsteröppning om man känner storleken på läckluftflödet och att läckluften kommer utifrån och har samma temperatur som uteluften. Detta har gjorts i Fig 4.3.11. Här har rumstemperaturförloppet beräknats för dygn 225 med start dygn 222 och startvärdet 23 °C för dels rum utan läckluft och dels samma rum med läckluftflödet 0,5 av rummets ventilationsluftflöde. Rummet i Fig 4.3.11 har haft ett fönster öppet under samtliga dagar som ingått i beräkningen.

DYGN 225 HUS ; E

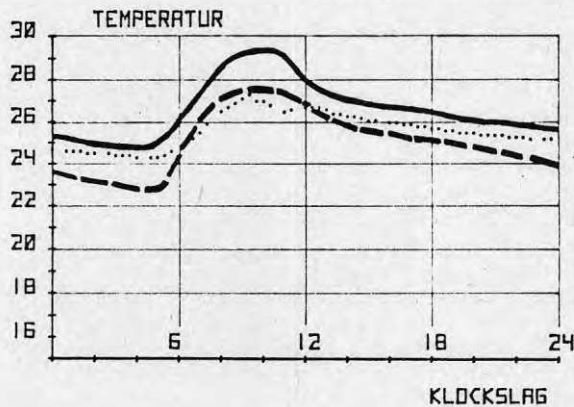


Fig 4.3.11 Rumstemperaturförlopp för rum med öppet fönster.
 Den prickade kurvskaran är det mätta rumstemperaturförloppet dygn 225 rum E1.
 Den heldragna kurvan är temperaturförloppet beräknat utan inläckning av uteluft.
 Den streckade kurvan är rumstemperaturförloppet beräknat med ett uteluftsflöde in i rummet som är 0,5 av den balanserade ventilationens luftflöde i rummet.

Av figuren ovan framgår att man erhåller en betydlig temperatur-sänkning om rummet ventileras med uteluft. Dock ligger nattemperaturerna för lågt. BRIS-programmet är så uppbyggt att man kan beräkna olika parametrar inte bara rumstemperaturen. Man skulle således kunna genom att i BRIS-programmet ange rumstemperaturen söka beräkna uteluftläckflödet och därmed erhålla storleken timma för timma för nämnda flöden. Detta skulle vara möjligt om det enbart är fönsteröppningen som ger avvikelsen mellan den beräknade rumstemperaturen och den uppmätta rumstemperaturen. Som framgått ovan är fönsteröppningen en faktor som påverkar rumstemperaturförloppet och beror av verksamheten. Det finns således anledning till att studera fönsteröppningars inverkan på rumstemperaturförloppet under mera laboratoriemässiga förhållanden, för att därmed kunna kvantifiera fönsteröppningars påverkan på rumstemperaturförloppet.

4.4 Jämförelse med Gertis metod

Beräkningsmodellen i Gertis metod har redovisats i kapitel 3. Det finns dock anledning att här ånyo något se på de principiella skillnaderna mellan Gertis metod och BRIS-programmet. Då måste först framhållas att Gertis metod är teoretiskt väl underbyggd men för att åstadkomma ett mera tillgängligt beräkningsinstrument än BRIS har man gjort vissa förenklingar. Det principiellt viktigaste är att man dels kraftigt minskat på antalet av de temperaturer i byggnadskonstruktionen som ingår i beräkningen och dels ersatt den kontinuerliga beräkningen av värmeövergångstal med konstanta antagna sådana. Det här minskar givetvis den teoretiska modellens överensstämmelse med verkligheten och begränsar möjligheten att detaljerat anpassa beräkningsgången till de verkliga förloppen i byggnadskonstruktionen. För den som skall genomföra beräkningen för ett visst bestämt fall tillkommer dessutom en grupp av storheter till som måste antas i samband med beräkningen och som kan styra slutresultatet, dvs utöver starttemperatur och förberäkningstid ska man här även välja värmeövergångstal.

I avsnitt 4.3 genomfördes en indelning av ingångsdata i de tre artskilda grupperna konstruktionsdata, ingångsdata över temperaturfördelningen i byggnadskonstruktionen samt sådana data som är knutna till verksamheten. Under konstruktionsdata samlades de tekniska uppgifterna om rummet och byggnadskonstruktionen medan ingångsdata avsåg den mångfald av temperaturer i byggnadskonstruktionen som kunde tas fram genom förberäkning. När man nu i Gertis metod ska ansätta även värmeövergångstal kan det vara naturligt att lägga dessa i gruppen konstruktionsdata. Därmed kommer således i denna grupp att finnas inte bara sådana data som är givna av byggnaden och därmed givna för den som genomför beräkningen utan även sådana som ska antas.

Då det gäller av verksamheten beroende indata, som exempelvis fönstervädning och liknande krävs vissa kompletteringar i modellen, som dock kan göras av den som utför beräkningarna.

Startvärde och förberäkningstid

Ett exempel på val av startvärde och dess inverkan på det ur Gertis metod framräknade rumstemperaturförloppet och dess nivå visas i Fig 4.4.1. Där har rumstemperaturförloppet beräknats för rum E1 för enbart dygn 225 med startvärdet 20 °C. Detta redovisas som streckad kurva i Fig 4.4.1. Som synes av figuren så ligger det beräknade rumstemperaturförloppet betydligt lägre än det uppmätta rumstemperaturförloppet. Detta beror på valet av startvärde.

DYGN 225 HUS ; E

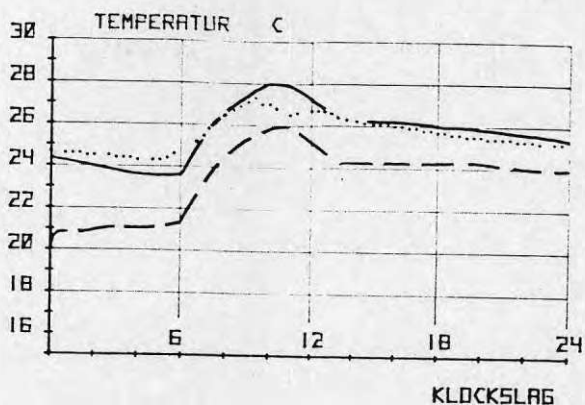


Fig 4.4.1 Inverkan av startvärde och förberäkningstid vid beräkning med Gertis metod.
 Prickad kurva mätt temperaturförlopp dygn 225.
 Streckad kurva beräknat temperaturförlopp för enbart dygn 225 med startvärde 20 °C.
 Heldragen kurva beräknat temperaturförlopp det 4:e dygnet med start vid 20 °C det första dygnet

Man ser här i figuren ovan att liksom för BRIS-programmet så kommer valet av startvärde att ha betydelse för nivån på rumstemperaturen. Gör man däremot en förberäkning kan inverkan av startvärdet på nivån minskas betydligt. I Fig 4.4.1 finns redovisat som heldragen linje det beräknade temperaturförloppet dygn 225 med 3 dygns förberäkning med uppmätta klimatdata och startvärdet 20 °C. Här framgår att det beräknade rumstemperaturförloppet väl är anpassat till det uppmätta rumstemperaturförloppet. Liksom i BRIS-programmet så kan man erhålla ett bättre resultat om man gör några dygns förberäkning med Gertis metod. I originalversionen av Gertis metod, se t ex Rosenthal [10,11] så kan värme enbart transporteras ur systemet med ventilationsluften. I den här använda versionen av Gertis metod kan dessutom värme transporteras genom fönster och fasad till uteluften. Detta gör att det här beräknade rumstemperaturförloppet kommer att mer följsamt följa med de i indata inlagda väderleksförändringarna. Jämföres Fig 4.4.1 med Fig 4.3.6 så framgår att ett framräknat rumstemperaturförlopp med Gertis metod väl överensstämmer med ett framräknat temperaturförlopp från BRIS-programmet. I figurerna framgår även inverkan av startvärdet. En diskussion om startvärdets och förberäkningens betydelse i beräkningsresultat från Gertis metod är naturligtvis väsentlig, men eftersom resultatet från Gertis metod är detsamma som för BRIS-programmet när det gäller förberäkningen och startvärden och en ingående diskussion om startvärdet och förberäkningen har behandlats för BRIS-programmet i Kap 4.3 så finns det ingen anledning att här med djupgående behandla

detta. Dock bör nämnas att det enbart är 7 stycken temperaturer som skall angivas som startvärden om man vill använda Gertis metod. Det är således betydligt färre än i BRIS-programmet. Detta framgår i Fig 4.1.2 respektive 4.1.1.

Val av värmeövergångstal

För den praktiskt verksamme ingenjören som vill använda beräkningsmodellen Gertis metod är det väsentligt att bestämma det totala värmeövergångstalet mellan rumsytorna och rumsluften. Med det totala värmeövergångstalet avses summan av värmeövergångstalen för dels konvektion och dels strålning. Även värmeövergångstalet för strålning skall då relateras till temperaturdifferensen mellan aktuell rumsyta och rumsluften. Det konvektiva värmeövergångstalet är ungefär $1-3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, och det ovan nämnda strålningsövergångstalet är ungefär $4-5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

För att visa hur valet av totalt värmeövergångstal inverkar på rumstemperaturförloppsberäkningen har beräkningar gjorts med olika värden på totala värmeövergångstalet. Följande värden har då använts: 2, 5, 6, 7 och $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Värdet $2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ på totala värmeövergångstalet innebär att man bara tar hänsyn till det konvektiva värmeövergångstalet. Valet $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ motsvarar mycket högt valda värden för både det konvektiva värmeövergångstalet och strålningsrelaterade värmeövergångstalet. Valet 5, 6 eller $7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ är att betrakta som rimliga val. Beräkningen är gjord med fyra på varandra följande dygn med ett startvärde det första dygnet av $20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Enbart det 4:e dygnet redovisas i Fig 4.4.2. Det framgår av figuren att beräkning med det totala värmeövergångstalet $2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ger dels ett pendlande resultat, vilket beror på att tidsteget valts stort (1 timma), dels en stor amplitud på rumstemperaturförloppet. Valet $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ger en mycket liten temperaturamplitud.

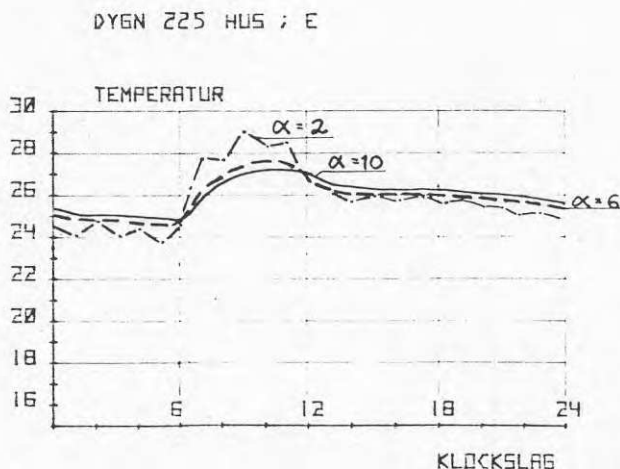


Fig 4.4.2 Det totala värmeövergångstalets inverkan på beräknat rumstemperaturförlopp med Gertis metod

De i Fig 4.4.1 gjorda beräkningarna är gjorda för värmeövergångstalet $6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Det totala värmeövergångstalet $6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ har erhållits genom att göra beräkningar med Gertis metod för olika totala värmeövergångstal. I Fig 4.4.3 redovisas en sådan beräkning för det 4:e av fyra på varandra följande olika dygn. Som startvärde dygn 1 har valts $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.

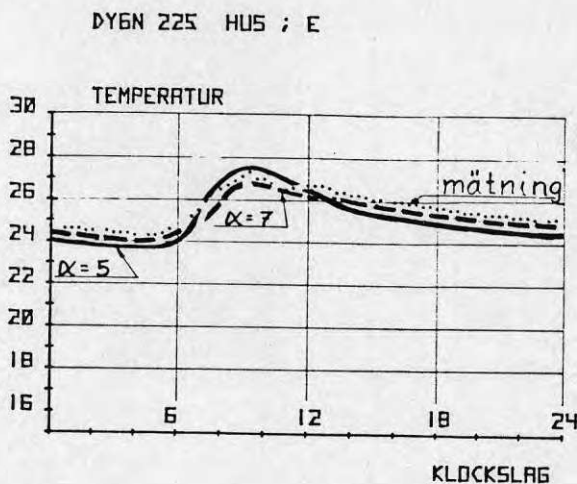


Fig 4.4.3 Det totala värmeövergångstalets inverkan på beräknat rumstemperaturförlopp med Gertis metod. Prickad kurva mätning. Heldragen kurva beräkning med totalt värmeövergångstal $5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Streckad kurva beräkning med totalt värmeövergångstal $7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Som framgår ovan så minskar temperatursvängningarna med ökat totalt värmeövergångstal. Motsvarande minskande amplitudsvängningar i beräknat rumstemperaturförlopp har erhållits vid parameterstudier av värmeövergångstal i dataprogrammet BRIS, se Wieczynski [41]. I Rosenthal [11] framgår att vid stora fönsterytor bör större värmeövergångstal väljas än vid mindre fönsterytor. Beräkningar med Gertis metod och jämförelser med uppmätta rumstemperaturförlopp har visat att vid mindre fönsteryta i förhållande till fasadytan har beräkningar med totalt värmeövergångstal 6 visat sig vara bättre än med det totala värmeövergångstalet $7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Det totala värmeövergångstalet 5 har inte i något fall visat sig vara bättre

än med beräkningar gjorda med totala värmeövergångstalet $6 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Dock har inget entydigt samband mellan procent fönsteryta och totalt värmeövergångstal kunnat erhållas.

Verksamhetens inverkan

Fönsteröppningarnas inverkan på rumstemperaturförloppet går inte att studera på annat sätt än att i sambandet för rummets värmebalans lägga till en faktor som beror av antalet luftflöden in i rummet från uteluften. Här skulle man då vara tvungen att göra ännu ett tillägg i Gertis metod.

Övriga synpunkter

Gertis metod har dock en svaghet i det rent datortekniska genom att dess indatarutin inte är kommersiellt utvecklad, dvs att det inte finns några kontroller av indata i programmet. Detta påpekar Rosenthal i [10] och [38]. Detta är i och för sig möjligt att komplettera, men det krävs utvecklingsarbete av användaren. Man får dessutom tillsvidare själv beräkna total värmebelastning timma för timma av sol, persienner, belysning m m. Det är ett gott initiativ av Rosenthal att i [10], [11] och [38] publicera en BASIC-variant av Gertis metod. Den här använda och kompletterade varianten av Rosenthal's Gertis-program finns listad i [36].

4.5 Jämförelse med TEMPO

Beräkningsmodellen TEMPO har noggrant redovisats i kapitel 3. Beräkningsmodellen är mycket förenklad i jämförelse med BRIS-programmet och Gertis metod. Den största förenklingen är att beräkningsmodellen TEMPO inte beräknar rumstemperaturen timma för timma utan endast beräknar rumstemperaturens medelvärde under dygnet och rumstemperaturens amplitud, se Fig 4.1.3. För den praktiskt verkssamme ingenjören är metoden lätt att använda eftersom metoden är handberäkningsmetod med lätt användbara blanketter.

Med beräkningsmodellen TEMPO kan man enbart använda en typ av beräkningsingångsdata, nämligen konstruktionsdata. I Gertis metod skulle nyttjaren själv bedöma storheten på det totala värmeövergångstalet. I beräkningsmodellen TEMPO skall den praktiskt verkssamme ingenjören själv inom vissa gränsvärden bedöma två stycken storheter, nämligen lagringstalet och konvektionsfaktorn. Men dessa två storheter skall väljas på olika sätt beroende på om rummet är tungt eller lätt.

När det gäller de andra två typerna av ingångsdata, dvs temperaturfördelningen i rummets väggar och av verksamheten beroende ingångsdata så ingår dessa inte i beräkningsmodellen. Vissa typer av ingångsdata som beror av verksamheten kan man komplettera beräkningsmodellen med, som dock måste göras av den som utför beräkningarna.

I Fig 4.5.1 redovisas två exempel på beräkningsresultat med beräkningsmetoden TEMPO. Det finns här anledning påpeka att de i figuren redovisade kurvorna enbart skall studeras som max- och minrumtemperaturer. Förloppet har av redovisningstekniska skäl redovisats som sinuskurvor med maximala temperaturen på samma klockslag som det uppmätta temperaturförloppets maximala temperatur. Rummet skall enligt förutsättningarna räknas som tungt. För att studera hur känslig metoden är för valet av konvektivfaktor och lagringstal så har rummet även beräknats som lätt.

DYGN 225 HUS ; E

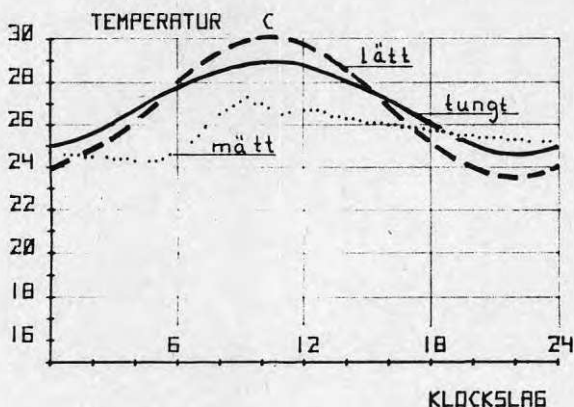


Fig 4.5.1 Rumstemperaturer beräknade med metoden TEMPO. Punkterad linje det mätta temperaturförloppet. Helderagen kurva beräknat temperaturförlopp som om rummet vore tungt. Streckad kurva beräknat temperaturförlopp som om rummet vore lätt vilket det inte skall vara. De beräknade temperaturförloppen är konstruerade.

Som framgår av Fig 4.5.1 är det beräknade temperaturförloppet för tungt rum dels till nivån för högt och dels är amplituden för stor. För det lätta rummet är amplituden 1°C större än för tungt rum.

I Fig 4.5.2 redovisas ännu ett exempel beräknat med samma förutsättningar. Den enda skillnaden är att här redovisas ett rum från Skattehuset. Även här erhålls för stor amplitud men i motsats till beräkningarna i Fig 4.5.1 har vi här för låg nivå på den beräknade rumstemperaturen.

DYGN 225 HUS ; 5

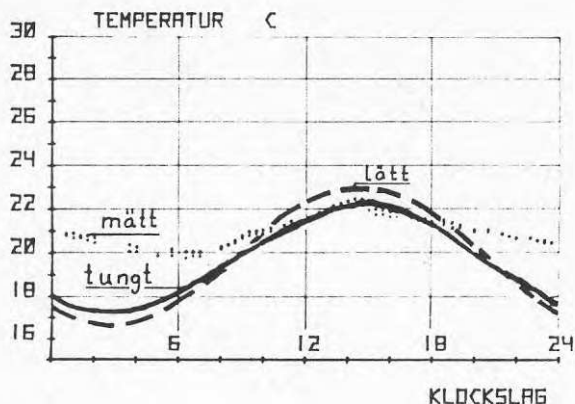


Fig 4.5.2 Temperaturförlopp beräknat med beräkningsmetoden TEMPO.
Mätt temperaturförlopp prickad linje.
Beräknat temperaturförlopp heldragen kurva för tungt rum och streckad kurva för lätt rum.
De beräknade temperaturförloppen är konstruerade.

Rummet som redovisas i figuren ovan skall enligt förutsättningarna vara ett tungt rum också.

Som framgår av Fig 4.5.1 och 4.5.2 så spelar valet av de två tidigare nämnda storheterna, konvektionsfaktorn och lagringstalet, en stor betydelse för den framräknade rumstemperaturamplituden. Vi har således ett liknande fenomen som i Gertis beräkningsmodell där användaren själv fick bestämma det totala värmeövergångstalet. I beräkningsmodellen TEMPO måste användaren bedöma om rummet är tungt eller lätt och därmed välja en storlek på konvektionsfaktorn och lagringstalet.

5.1 Syfte och genomförande

Beräkningsmässiga studier av de värmetekniska förloppen i byggnader används i projektionssammanhang huvudsakligen för dimensionering och för framtagning av underlag för systemval. I forsknings- och utvecklingssammanhang är sådana studier viktiga för parameterstudier inom området byggnad-installationer-energi. Då det vid projektering normalt är fråga om att utforma en anläggning som uppfyller ställda temperaturkrav har man här närmast intresse av att beräkna de rumstemperaturer som kommer att fås vid olika utformningar av byggnader och dels installationer. Vid parameterstudier är det ofta energibehovet under året eller en del av detta, som är av intresse. Man har därmed två beräkningsmål, vilket avspeglas i att det finns såväl sådana beräkningsmodeller som är inriktade på att bestämma rumstemperatur, som sådana som främst syftar till bedömning av energibehov. Ur beräkningssynpunkt är det egentligen en fråga om detaljutförande och i viss mån mängden räkneoperationer om beräkningen resulterar i rumstemperaturer, värmeflöden eller en energimängd.

Det primära syftet med föreliggande arbete är att bidra till tillförlitligheten av beräkningsresultaten. Härför har rumstemperaturer mätts i stort kontinuerligt (3 mätningar/timme) under ett par somrar i fyra kontorshus i Göteborg. Mätningar har skett och mätvärden registrerats med ett för ändamålet uppbyggt mätsystem med digital överföring av mätvärden till en central, styrande och registrerande enhet. Antalet studerade rum har varierat, men som mest har rumstemperaturerna i närmare 100 rum mätts och registrerats tillsammans med viktigare uteklimatdata. Det sålunda insamlade mätmaterial har sedan använts för jämförelse med teoretiskt framräknade rumstemperaturer.

Här har sålunda undersökningen begränsats till temperaturberäkande beräkningsmodeller. Huvudorsaken härtill är att det är förhållandevis lätt att mäta rumstemperaturer. Mätning av energiflöden med någon noggrannhet är mycket svår att genomföra i ett befintligt hus under normal användning. Ur en jämförelse mellan mätta och beräknade rumstemperaturer skulle man teoretiskt kunna dra slutsatser även om energiflöden. Det här framtagna mätmaterial är dock inte lämpat härför.

5.2 Studerade beräkningsprogram

Vid beräkning av rumstemperaturer sommartid är dels de värmetekniska förloppen i byggnadskonstruktionen och dels värmeströmmarna mellan byggnadskonstruktionen och luft av avgörande betydelse. De olika beräkningsmodeller som finns tillgängliga för rumstemperaturberäkning har sin tyngdpunkt på en mer eller mindre teoretiskt avancerad behandling av dessa värmetekniska förlopp och värmeströmmar. Ju mer detaljerat beräkningsprogrammet söker efterlikna verkligheten desto mer avancerade beräkningshjälpmedel erfordras. Ur användarens synpunkt är den viktigaste frågan vilken möjlighet han har att använda ett visst program. Här är ofta nivåer på beräkningshjälpmedlen avgörande. Det är därför naturligt att klassindela programmen efter beräkningshjälpmedel. Följande klassindelning har valts här

1. Beräkningsprogram som kräver en minidator (80 kbytes användarminne).

2. Beräkningsprogram anpassade för större programmerbara räknedosor (250 programsteg) eller BASIC-programmerbar bordskalkylator (12 kbytes användarminne).
3. Handberäkningsmodeller.

Som representanter för de tre klasserna har här valts 1. BRIS, 2. Gertis metod samt 3. TEMPO. I avsnitt 3 behandlas dessa tre beräkningsmodeller närmare.

5.3 Faktorer som påverkar resultatet av en temperaturberäkning

Då man skall genomföra en beräkning med hjälp av någon av de beräkningsmodeller som finns utgår man från ett antal ingångsdata, som definierar problemet. Dessa ingångsdata är av tre slag

- A. Konstruktionsdata som definierar byggnaden och dess installationer
- B. Styrdata för beräkningen. Här ingår uppgifter som bestämmer beräkningen av uteklimatförlopp och solinstrålning samt startvärden på temperaturfördelningar i byggnadskonstruktionen
- C. Data om verksamheten, dvs uppgifter om interna värmeutvecklingars storlek, variation och karaktär, uppgifter om solskyddens användning, uppgifter om vädring etc

Den första förutsättningen för ett korrekt beräkningsresultat är givetvis att beräkningen sker med korrekta konstruktionsdata. Dessa data, som kan omfatta uppgifter om rumsdimensioner, fönsterarea, solskydd, fasadriktning, byggnadens konstruktion osv, kan bestämmas helt i samband med projekteringen och behöver inte innehålla oklarheter eller tvetydigheter.

Styrdata för beräkningen väljs i samband med att beräkningen utförs. Uteklimatförlopp kan normeras och solinstrålningen bestämmas med god noggrannhet med hjälp av vedertagna beräkningsprinciper och statistiska uppgifter om molnighet. Den rådande temperaturfördelningen i byggnadskonstruktionen däremot är något som man måste ta ställning till i samband med beräkningen. I de mer avancerade beräkningsmodellerna är detta val nödvändigt. Det påverkar också slutresultatet.

Av de data som är knutna till verksamheten är en del standarduppgifter om interna värmeutvecklingar givna. Sålunda känner man väl karaktären av den belysning som skall installeras och man har vissa dimensionerade förutsättningar i fråga om personbeläggning och värmeavgivande utrustning. Hur den verkliga personbeläggningen blir och hur den varierar samt hur exempelvis vädring kommer att ske kan vara svårt att förutsäga.

Vid planeringen av detta arbete syntes de av verksamheten beroende svårförutsägbara faktorerna vara de som borde studeras i första hand. Under arbetets gång har emellertid frågan om hur startvärdet för temperaturfördelningen i konstruktionen skall väljas visat

sig vara väl så viktig.

5.4 Startvärden

För de avancerade beräkningsmodellerna, som här exemplifieras av BRIS och Gertis metod, bestäms startvärdet för temperaturfördelningarna i byggnadskonstruktionen normalt genom att man sätter alla temperaturer i byggnadskonstruktionen lika med ett visst antal startvärden och därefter låter beräkningen fortgå några dygn. Denna förberäkning leder fram till en temperaturfördelning i byggnadskonstruktionen som man sedan utgår ifrån för den egentliga rumstemperaturberäkningen. Såväl starttemperaturerna för förberäkningen som förberäkningstiden bestäms i samband med beräkningsarbetet. Det är i sig ganska självklart att valet av starttemperaturer och förberäkningstid liksom genomförandet av förberäkningen har inflytande på slutresultatet. Detta bekräftas också klart av undersökningen, vad gäller temperaturnivå. Däremot påverkar valet av förberäkningstid och starttemperaturer inte rumstemperaturförloppet amplitud nämnvärt.

En jämförelse mellan uppmätta rumstemperaturer och rumstemperaturer beräknade med utgångspunkt från skilda sätt att genomföra förberäkningen, visar att man lätt kan få en beräknad rumstemperatur vars nivå ligger ett par grader över den verkliga. Detta gäller även när man tillämpar förberäkningssätt som är vedertagna.

Det vanligaste motivet för att genomföra rumstemperaturberäkningar av det här slaget är att ge underlag för en bedömning av vilka luftflöden som bör väljas eller om maskinell kylning av tilluften behöver installeras. Det kan då synas naturligt att utgå från en viss gränstemperatur som inte bör överskridas under alltför stor del av de studerade dagarna. Om den beräknade rumstemperaturkurvans nivå ligger ett par grader högre än den som man verkligen kommer att få i huset med en viss teknisk lösning, kan man få en helt felaktig uppfattning om under hur lång tid den valda gränstemperaturen kommer att överskridas. Detta kan då i sin tur leda till att man väljer ett överstarkt system, vilket kan ha betydande kostnadskonsekvenser. Det är således viktigt att den som gör bedömningarna om systemval verkligen är medveten om att den beräknade kurvans nivå kan vara ett par grader för hög.

Den genomförda undersökningen tyder på att man genom lämplig förberäkningsrutin kan komma mycket nära den verkliga rumstemperaturkurvan. Ju kortare förberäkningstid man väljer desto större betydelse har starttemperaturen som väljs för beräkningen. Utsträcks förberäkningen över en längre period än 5 dagar blir dock starttemperaturens inverkan försumbar. Detta talar för att förberäkningstiden bör väljas längre än 5 dagar. Det är viktigt att man inte väljer extrema värmeförhållanden under förberäkningen. Sålunda bör man anta omväxlande soliga och mulna dagar och med den verkliga verksamheten överensstämmande interna belastningar, dvs intern värmebelastning enbart under arbetsdagar och arbetstid. Utetemperaturen bör inte heller väljas extremt hög. Det syns finnas motiv för en standardisering av förberäkningsmetodiken.

5.5 Fönsteröppning

Har man en ventilationsanläggning utan maskinell kylning av tilluften och sålunda vid varm väderlek har en tillufttemperatur som i stort följer utetemperaturen, kan öppning av fönster bidra till bortförsel av överskottsvärme från rummet. Förutsättningen för att så sker är att man ökar luftväxlingen i rummet med luft som har lägre temperatur än rumsluftens temperatur. Betraktar man den extra luft som tillförs rummet p g a fönsteröppningen kan man urskilja tre fall.

1. Luft strömmar ut ur rummet genom fönstret och ersätts med luft som kommer från omgivande lokaler.
2. Luft strömmar in genom fönstret. Den inströmande luften sammansätts dock väsentligen av utefter fasaden uppströmande varm luft, och har därmed en temperatur som ligger högre än utetemperaturen.
3. Luft med utetemperatur strömmar in genom fönstret.

Det är endast i det tredje fallet som man kan räkna med nämnvärt bidrag till rummets kylning och därmed till en sänkning av rumstemperaturen. I ett stort hus av det slag som de här studerade kontorsbyggnaderna, kan man räkna med att man har en kombination av dessa tre fall. Riktningen av luftflödet genom ett öppet fönster, väsentligen inifrån och ut eller utifrån och in, är svårt att bedöma generellt, även om sannolikheten för utströmning genom fönstret borde vara större vid högt belägna rum och sannolikheten för inströmande luft borde vara större vid lågt belägna rum. Då det gäller utefter fasaden uppströmande luft som värms bör en österfasad vara speciellt utsatt.

Av praktiska skäl har det inte varit möjligt att göra samtidiga mätningar i lågt belägna och högt belägna rum i husen. De uppmätta rummen har varit samlade i de våningar som ligger mitt i husen. Det finns dock ett antal rum i mätaterialet som haft öppet fönster under längre tid. Några sådana rum vid österfasad har specialstuderats genom jämförelser mellan beräknade värden och uppmätta värden.

Vid beräkningarna har här de verkliga förhållandena efterliknats i möjligaste mån. Sålunda har förberäkning skett med de uteklimatdata, solinstrålningsdata och de interna värmebelastningar som rått i verkligheten. I det fall att hänsyn inte tagits till att fönster varit öppna har beräkningarna lett till en rumstemperatur vars toppvärde legat ett par grader över det uppmätta. Den beräknade rumstemperaturens amplitud under dygnet har också visat sig bli ett par grader större än den uppmätta. Genom att anta att det öppnade fönstret ökar luftväxlingen i rummet med 0,5 omsättningar per timme och att luft inkommer med utetemperatur får man en beräknad temperatur vars toppvärde överensstämmer med den uppmätta. Amplituden under dygnet blir dock fortfarande ett par grader större än den verkliga.

Sammanfattningsvis tyder resultaten på att det finns anledning att beakta fönsteröppning om man vill ha en realistisk bild av vad som händer i rummet när det är som varmast. Den överskattning av rumstemperaturen som erhålls då man inte tar hänsyn till möjligheten att öppna fönster syns dock inte vara nämnvärt större än den som valet av förberäkningstid och startvärde i samband med beräkning av temperaturerna kan ge upphov till.

5.6 Värmeövergångstalet mellan byggnadskonstruktion och rumsluft

Värmeutbytet mellan byggnadskonstruktion och rumsluft avgörs i beräkningarna av värmebehovstalen som ansätts. Värmeövergången från byggnadskonstruktionen till rummet sker genom strålning och egenkonvektion, och i de mer avancerade programmen kan man sätta in de kända sambanden härför, dvs värmeövergångstalet uttrycks som funktioner av temperaturdifferenser. Så sker i BRIS-programmet. Det finns dock stora program där man sätter in konstanta värden på värmeövergångstal. Detta är en förenkling som är svårförståelig om programmet i övrigt ligger på en sådan nivå att det krävs stor beräkningskapacitet. Går man ner ett steg till sådana program som kan bearbetas i en programmerbar räknedosa, är emellertid denna förenkling nödvändig liksom andra förenklingar.

Gertis metod representerar denna förenklade programnivå. Här skall man således i samband med beräkningens utförande välja dels förberäkningstid, dels startvärde för förberäkningen och dels ett värmeövergångstal. Härtill kommer således ytterligare en i beräkningskedet valbar storhet som påverkar beräkningsresultatet.

Valet av värmeövergångstal påverkar väsentligen amplituden av rumstemperaturens variation under dygnet. Således ger ett lågt antaget värde på värmeövergångstalet en ökad amplitud hos rumstemperaturen. I praktiska beräkningar syns man normalt välja ett värmeövergångstal mellan $\alpha = 5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ och $\alpha = 7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. De här genomförda studierna tyder på att valet av α -värden mellan dessa gränser inte har någon stor betydelse ur nivåsynpunkt. Däremot syns den beräknade rumstemperaturkurvans amplitud överensstämma något bättre med verkligheten om man väljer $\alpha = 6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

5.7 Sammanfattande synpunkter

Avslutningsvis kan det vara på sin plats att sammanfattande redogöra för några erfarenheter som vunnits och resultat som erhållits ur det här redovisade arbetet.

För det första finns anledning framhålla att det är ganska svårt att verifiera beräkningsmodeller för värmetekniska förlopp med mätningar i befintliga byggnader i användning. Det praktiska arbetet med att få fram tillförlitliga mätningar i erforderlig omfattning stöter ofta på oväntade svårigheter. Det går knappast att följa verksamheten i byggnaden så i detalj att det går att renodla effekten av de påverkande faktorer som man vill studera. Öväntade driftstörningar i den mätutrustning som används kan medföra att mätningsserier måste göras om och att helhetsbilden i arbetet störs. Den som till äventyrs planerar något arbete av den här karaktären bör därför räkna med en betydande arbetsinsats.

Det är svårt, om ens praktiskt genomförbart, att med acceptabel tillförlitlighet mäta de inre energiflödena i en befintlig bygg-

nad. Rumstemperaturen, som är ett resultat av rummets momentana värmebalans, är lättare att mäta. Om man vill bedöma tillförlitligheten hos ett teoretiskt beräkningsprogram är dock rumstemperaturen ett något trubbigt värderingshjälpmedel. Genom byggnadskonstruktionens starkt dämpande inverkan krävs det normalt ganska stora förändringar i kyleffekt och värmeeffekt för att rumstemperaturen skall ändra sig påtagligt. I rapportens inledning behandlas denna problematik närmare.

Jämförelsen mellan resultat av beräkningar efter olika beräkningsprogram och mätningar i de studerade byggnaderna tyder på att beräknade temperaturer tenderar lägga sig något över uppmätta temperaturer. Använder man teoretiskt framräknade rumstemperaturer som underlag vid dimensionering bör man vara medveten om detta. En framräknad rumstemperaturkurva som har ett par grader för hög nivå kan leda till att problemen med för hög temperatur överskattas i projekteringskedet. Det kan ligga nära till hands att bedöma det eventuella behovet av maskinell kylning genom att se hur lång tid av dagen en viss maxtemperatur överskrids. På grund av rums-temperaturkurvans form kan en liten höjning av denna kurvas nivå leda till en påtaglig ökning av överskridandetiden. Här finns risk för förhastade beslut om maskinell kylning.

Förutsätter man att alla tekniska ingångsdata är korrekta är det beräkningsprogrammets utformning och beräkningarnas praktiska genomförande som avgör slutresultatet. För de här studerade medeltunga kontorshusen har det visat sig att valet av mer eller mindre avancerat beräkningsprogram inte påverkar slutresultatet mer än de arbetsrutiner som tillämpas vid beräkningen. I de mer avancerade programmen, här exemplifierade genom BRIS och Gertis metod, har förberäkningen av temperaturfördelningen i byggnadskonstruktionen en stor betydelse. I valet av starttemperatur, längden av förberäkningsperioden samt det uteklimat och värmelastförhållanden som väljs, kan påverka den framräknade rumstemperaturkurvans nivå med ett par grader. Valet av värmeövergångstal, då de som i Gertis metod inte beräknas utan väljs vid beräkningen, påverkar rumstemperaturens amplitud. Det finns därför anledning att betona vikten av att beräknade rumstemperaturvärden nyttjas med en viss varsamhet.

- [1] Brown, G. 1963, Metod för datamaskinberäkning av värme- och ljusstrålning i rum. (VVS, nr 10.)
- [2] Brown, G. 1963, Metod för datamaskinberäkning av kyl- och värmebehov. (VVS, nr 11.)
- [3] Brown, G. 1964, Metod för datamaskinberäkning av kyl- och värmebehov - ett exempel. (VVS, nr 2.)
- [4] Brown, G. 1971, Datorprogram för beräkning av temperatur och kylbehov i rum. (Byggnadsingenjören, nr 7-8.)
- [5] VENTAC, 1976, Dataprogram för beräkning av klimat-anläggningar, teknisk information, ADB-beräkningar.
- [6] AB Svenska Fläktfabriken, 1977, VENTAC, Dataprogram för beräkning av klimatanläggningar, kortfattad teknisk beskrivning. ADB-beräkningar.
- [7] Alriksson, L. 1976, Dataprogram nr 4, Beräkning av rumstemperatur, programbeskrivning. (Bengt Dahlgren AB.)
- [8] AB Svenska Fläktfabriken, 1977, A comparison between the computer programs BRIS and VENTAC. (presented at "The Seventh CIB Congress and General Assembly", Edinburg University, 14-21 September.)
- [9] Adamson, B. 1968, Värmebalans vid rum och byggnader. Arbetsrapport 1968:1. (Inst för byggnadskonstruktionslära, LTH.)
- [10] Rosenthal, T. 1979, Beräkning av rumstemperaturer sommartid. (VVS, nr 7/8.)
- [11] Rosenthal, T. 1979, Small computer programmes. Tekniska Meddelanden 1979:3. (Inst för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Stockholm.
- [12] Peterson, F. Klimatberäkningar. Kompendium I:2. (Inst för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Stockholm.
- [13] Mundt, E. 1978, Riktad operativ temperatur. Rapport 21. (Inst för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Stockholm.
- [14] Børresen, B A , 1979, TEMPO, Temperatur of kjøleeffekt kan håndberegnes - gjør beregninger under byggemøtet. (Saertrykk fra Norsk VVS, nr 6.)
- [15] Børresen, B A, 1979, TEMPO, Temperatur of kjøleeffektberegning.
- [16] ASHRAE Guide and Data Book. Fundamentals and Equipment for 1965 and 1966.

- [17] VVS data och tabeller, 1974.
(Förlags AB VVS.) Stockholm.
- [18] Isfält, E, 1972, Värmelagringseffekter i byggnader.
(VVS. nr 12.)
- [19] Jilar, T, Larsson, T, 1979, Systematiserad beräkning
av solinstrålning mot godtyckligt orienterade ytor.
Internskrift 14. (CTH/Installationsteknik.) Göteborg
- [20] Begelius, A, Taesler, R, 1975, Effekt- och energi-
beräkningar för luftbehandlings-, kyl- och värmein-
stallationer. (Byggforskningens Rapport R50:1975.)
- [21] Adamson, B, 1970, Val av klimatdata vid beräkning
av högsta rumstemperatur. (Byggforskningens Rapport
R49:1970.)
- [22] Abel, E, Larsson, T, Rilby, A m fl, 1977, Systematisk
undersökning av rumstemperaturer i befintliga byggnader.
Rapport 1977:1, (CTH/Installationsteknik.) Göteborg.
- [23] Kjellander, T, Källberg, B, Odaterad, Mätssystemet i
Täby. Inst för Byggnadsteknik KTH, Stockholm.
- [24] Brown, G, Isfält, E, 1975, Solinstrålning och sol-
avskärmning (Byggforskningen) Rapport R19:1974 Stockholm.
- [25] Höglund, I, Stephenson, DG, 1968, Tabeller för beräkning
av solinstrålning mot byggnader. Statens institut för
byggnadsforskning. Rapport 49:1968 Stockholm.
- [26] Isfält, E, Puntilla, A, Rodseth, A, Odaterad, Investiga-
tion of three computer programs for calculation of indoor
climate. Department of Heating and Ventilating, Royal
Institute of Technology, Stockholm.
- [27] Wiczynski, J, 1976, A comparison between the computer
programs BRIS and MAXI. Department of Heating and ventilating,
Royal Institute of Technology, Stockholm.
- [28] Isfält, E, 1973, Byggforskningens datorprogram BRIS för
beräkning av rumsklimat samt värme och kyleffekter. STF-
ingenjörsutbildning, Stockholm.
- [29] Ahlström, K-E, Isfält, E, 1973, Värmebalanser i ett kon-
torslandskap. Tekniska meddelanden 9-14. Inst för uppvärm-
ning och ventilationsteknik 1973:2, KTH, Stockholm.
- [30] Källblad, K, 1970, Rumstemperaturstudier vid Lunds
Tekniska Högskola, Nordisk indklima symposium, Resumé af
foredrag, København.
- [31] Gertis, K, 1970, Die Erwärmung von Räumen infolge Sonnen-
einstrahlung durch Fenster. Veröffentlichungen aus dem Ins-
für Tech. Physik, Stuttgart, Heft 65.
- [32] Carrier, 1972, System design manual, 1 Load Estimating,
New York.

- [33] Höglund, I, 1973, Metod för beräkning av extrema yttemperaturer hos isolerade ytterkonstruktioner, Byggforskningsrapport R6:1973.
- [34] ASHRAE, 1980, 1977 Fundamentals. New York.
- [35] Svenska Fläktfabriken 1971, Projekteringshandbok, kap 2 kylbehovsberäkning.
- [36] Kröhnke, J, Moberg, A, 1981, Värmeövergångstalens och starttemperaturers betydelse i klimatberäkningsmetod enligt Gertis. E26:1981. (CTH/Installationsteknik.) Göteborg.
- [37] Adamson, B, 1981, Lätt eller tung byggkonstruktion, Papper utdelat på VVS-Tekniska Föreningens seminarium "Fel att bygga lätt och tätt". Stockholm.
- [38] Rosenthal, T, 1981, Beräkning av rumstemperaturer sommartid - Ett enkelt dataprogram. Tekniska meddelanden 1981:2. (Inst för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Stockholm.
- [39] Lundberg, L, 1974, Sommarklimat i kontorslokaler, P-27 metoden. Intern information. (Byggnadsstyrelsen UVVS.) Stockholm.
- [40] Taesler, R, Isfält, E, odaterat, Choice of Climatological data for testing of computations of energy requirements in buildings. (Inst för uppvärmnings- och ventilationsteknik, Kungliga Tekniska Högskolan.) Stockholm.
- [41] Wieczynski, J, odaterat, The influence of heat transfer coefficients on indoor climate. Rapport nr 5 i A4-serien. (Inst för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Stockholm.
- [42] Espmark, G, Harryson, P, 1980, Modell för beräkning av ekvivalent temperaturdifferens. E13:1980. (CTH/Installationsteknik.) Göteborg.
- [43] Comparison of Load Determination Methodologies for Building Energy Analysis Programs. Final report, 1981. (National Technical Information Service NTIS.) Springfield, Virginia.
- [44] Brown, G, Isfält, E, 1969, Instrålning från sol och himmel i Sverige under klara dagar. Rapport 19. (Statens institut för byggnadsforskning.) Stockholm.

BILAGA 1

Något om teorierna bakom
datorprogrammet BRIS

Något om teorierna bakom BRIS-programmet

I BRIS tar man hänsyn till den principiella skillnaden mellan värmeövergång genom strålning och konvektion. Vidare skiljer man den kortvågiga solstrålningen från den långvågiga värmestrålningen i beräkningarna.

Användaren av BRIS-programmet kan själv föreskriva ett totalt värmeövergångstal på fasadytor, medan i rummet beräknas värmeövergången vid varje tidsteg.

Långvågig strålning

Den långvågiga strålningen mellan ytorna behandlas endast nedan. Nettoutbytet av den långvågiga strålningen, \dot{Q}_{nm} , från ytan A_n till ytan A_m kan tecknas som

$$\dot{Q}_{nm} = 5,75 \cdot \epsilon \cdot A_n \varphi_{nm} \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right] \quad [\text{W}]$$

där 5,75 är strålningstal för en svart kropp $[\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^4]$

ϵ är ytans relativa strålningstal

A_n ytan $[\text{m}^2]$

φ_{nm} är vinkelkoefficienten för ytan A_n med ytan A_m

T_n yttemperatur på ytan A_n $[\text{K}]$

Vinkelkoefficienten φ_{nm} är ett mått på hur stor del av ytan A_n :s totala "synfält" som upptages av ytan A_m . Vinkelkoefficienten är en ren geometrisk storhet oberoende av φ ex materialet på ytorna. Summan av samtliga vinkelkoefficienter för en yta är 1, dvs

$$\sum_m \varphi_{nm} = 1$$

Dessutom gäller att $\varphi_{nn} = 0$.

Kortvågig strålning

Kortvågig strålning sprids diffust från fönster. Till en rumsyta A_n i rummet kan den kortvågiga strålningen tecknas såsom

$$\dot{Q}_{nf} = \psi_{fn} A_f I_T \quad [\text{W}]$$

där A_f = fönstrets yta $[\text{m}^2]$

ψ_{fn} = fördelningskoefficienten från fönstret till ytan A_n

I_T = totalt direkt transmitterad sol- och himmelsstrålning $[\text{W}/\text{m}^2]$

Fördelningskoefficienten, ψ_{fn} , är ett mått på hur mycket av fönstrets transmitterade solstrålning som träffar ytan, A_n . Här tas då naturligtvis även hänsyn till att solenergin reflekteras till ytan A_n från andra ytor. Här gäller också att summan av en ytas fördelningskoefficienter är 1 men att

$$\psi_{nm} \neq 0$$

På motsvarande sätt kan göras för andra kortvågiga strålningskällor såsom belysning vilka i princip antingen kan vara punktformiga eller vara en del av en yta. Fördelningskoefficienten för en yta beror av vinkelkoefficienten till ytan samt reflektionsfaktorn. För att beräkna fördelningskoefficienterna för en yta måste vinkelkoefficienterna för ytan vara kända.

Den till en yta A_n totalt tillförda effekten \dot{Q}_n från strålningen i rummet blir då A_n summan av kortvågig och långvågig strålning.

$$\dot{Q}_n = \psi_{fn} \cdot A_f \cdot I_T + 5,75 \cdot \epsilon \cdot A_n \sum_m \varphi_{nm} \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right] \quad [W]$$

som i BRIS kan förenklas till

$$\dot{Q}_n = \psi_{fn} \cdot A_f \cdot I_T + 5,75 \cdot \epsilon \cdot A_n \sum_m \varphi_{nm} (t_n - t_m) f_{nm} \quad [W]$$

där f_{nm} har satts till 1 eftersom yttemperaturerna för vanliga rumsytor avviker mycket lite från varandra

Konvektiv värmeöverföring

Den konvektiva värmeövergången mellan rumsytorna och rumsluftens beräknas i princip enligt Min et al [41]

$$\alpha_k = a(t_r - t_y)^b \cdot L^c \quad [W/m^2 \text{ } ^\circ C]$$

där a, b och c är konstanter

och L en karakteristisk längd för ytan

Värmeledning

I BRIS betraktas all värmeeström i alla väggar som endimensionell. Där löses Fouriers ekvation

$$\frac{\partial t^2}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau}$$

numeriskt med Crank Nicolson's metod. Det innebär att för varje vägg delas materialet in i skikt med tjockleken Δx som är

parallella med väggytan. Därefter numreras skiktindelningen. Varje sådan numrerad skiktindelning kallas nod.

Antag att nod n har temperaturen t^0 vid tidpunkten 0 , och att de angränsande noderna $n-1$ och $n+1$ har temperaturen t_{n-1}^0 och t_{n+1}^0 .* Under inverkan av temperaturgradienterna vid gränssytorna av nod n antas, nodens temperatur efter tidsintervallet Δt ha ändrats till t_n^1 , samtidigt som de angränsande nodernas temperaturer blivit t_{n-1}^1 och t_{n+1}^1 , se Fig B1.1

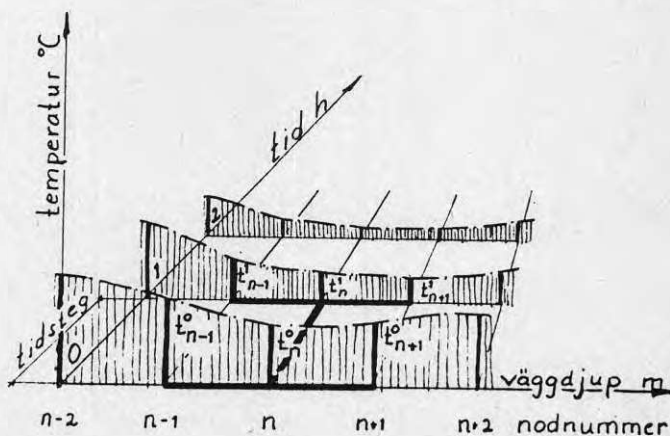


Fig B1.1 Beräkningsmodell enligt Crank Nicolson's metod. Med hjälp av tre kända temperaturer t^0 erhålls tre temperaturer t^1 i nästa tidsled. Genom att i väggdjupled flytta figuren erhålls trippelvis samband mellan kända och okända temperaturer. På så sätt kan ett ekvationssystem ställas upp.

Temperatur-tidsderivatan approximeras med en framåtdifferens i tidsled enligt

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} \approx \frac{\Delta t_n}{\Delta \tau} = \frac{t_n^1 - t_n^0}{\Delta \tau}$$

Därefter bildas två första temperaturderivator som framåtdifferenser i x -led, dels för längssteget mellan $n-1$ till n och dels för längssteget mellan n till $n+1$. Differenserna bildas som medelvärde över tidssteget $\Delta \tau$ vilket ger att

$$\frac{\partial t}{\partial x_{n-1}} \approx \frac{\Delta t}{\Delta x_{n-1}} = \frac{t_{n-1}^0 - t_n^0 + t_{n-1}^1 - t_n^1}{2\Delta x}$$

* Som framgår är beteckningssättet här: nodnummer sätts som index under beteckningen och att tidssteg sätts som index över beteckningen, $t_{\text{nodnummer}}^{\text{tidssteg}}$ t ex t_{n+1}^1

$$\frac{\partial t}{\partial x}_n \approx \frac{\Delta t}{\Delta x}_n = \frac{t_n^0 - t_{n+1}^0 + t_n^1 - t_{n+1}^1}{2\Delta x}$$

Därefter erhålls andra temperaturderivatan som en centraldifferens för dessa första derivator enligt

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \approx \frac{\frac{\Delta t}{\Delta x}_{n-1} - \frac{\Delta t}{\Delta x}_n}{\Delta x} = \frac{t_{n-1}^0 - 2t_n^0 + t_{n+1}^0 - t_{n-1}^1 + 2t_n^1 - t_{n+1}^1}{2\Delta x^2}$$

$$\text{men} \quad \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau}$$

Då erhålls

$$\frac{t_n^1 - t_n^0}{\Delta \tau} \cdot \frac{1}{a} = \frac{1}{2\Delta x^2} (t_{n-1}^0 - 2t_n^0 + t_{n+1}^0 + t_{n-1}^1 - 2t_n^1 + t_{n+1}^1)$$

Detta ställes upp i matrisform:

$$\left[1 \quad 2\left(\frac{\Delta x^2}{a \cdot \Delta \tau} - 1\right) \quad 1 \right] \begin{bmatrix} t_{n-1}^0 \\ t_n^0 \\ t_{n+1}^0 \end{bmatrix} = \left[-1 \quad 2\left(\frac{\Delta x^2}{a \cdot \Delta \tau} + 1\right) \quad -1 \right] \begin{bmatrix} t_{n-1}^1 \\ t_n^1 \\ t_{n+1}^1 \end{bmatrix}$$

eller:

$$\left[1 \quad A_1 \quad 1 \right] \begin{bmatrix} t_{n-1}^0 \\ t_n^0 \\ t_{n+1}^0 \end{bmatrix} = \left[-1 \quad A_2 \quad -1 \right] \begin{bmatrix} t_{n-1}^1 \\ t_n^1 \\ t_{n+1}^1 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

eller ännu mer förenklat

$$A t^0 = B t^1$$

Man kan, vilket är mycket vanligt, förenkla Fig B1.1 så att den enbart visar de noder som används i den aktuella beräkningen samt tidssteget. Man brukar då enbart redovisa temperaturerna med respektive beteckning. Man erhåller då en figur som kallas beräkningsmolekyl. Beräkningsmolekylen för Fig B1.1 kommer då att se ut som nedan i Fig B1.2.

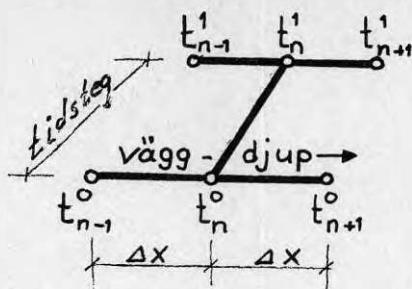


Fig B1.2 Beräkningsmolekyl enligt Crank Nicolson's metod

På liknande sätt kan differenssamband för

- gränssytan mellan två materialskikt,
- luftskikt i fasad,
- vid ytan av ett luftskikt,
- fasadytor,
- skikt som kommer att vara värmekniskt symmetriskt,
- insida av väggar m m

ställas upp. Se t ex Brown [1-4] eller Espmark och Harryson [42]. Här är dock enbart fasadytorna och insidan av väggen av intresse för de innehåller värmeövergångstal.

För en fasadyta enligt Fig B1.3 kan värmebalansen ställas upp.

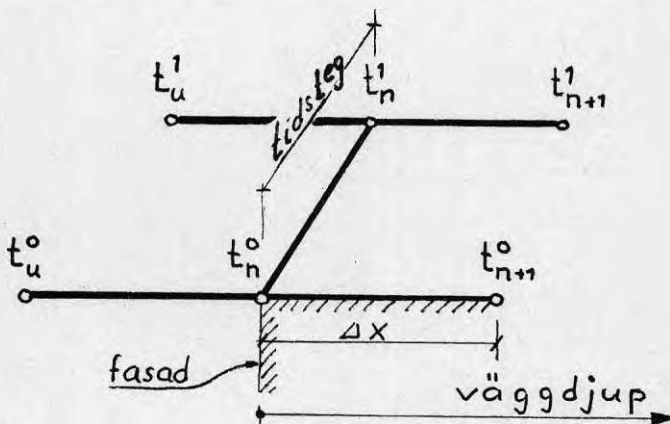


Fig B1.3 Beräkningsmolekyl för en fasadyta. Här ingår även de kända utetemperaturerna i tidpunkten 0 och 1

Eftersom utetemperaturerna i tidpunkten 0 och 1 ingår, kommer värmebalansen att bli enligt

$$[D_1 \quad 1] \begin{bmatrix} t_n^0 \\ t_{n+1}^0 \end{bmatrix} + R = [D_3 \quad -1] \begin{bmatrix} t_n^1 \\ t_{n+1}^1 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

dvs
$$A t^0 + R = B \cdot t^1$$

där D_1 , R och D_3 innehåller fasadytans totala värmeövergångstal, α_y , vilket i BRIS föreskrivs av användaren. Konstanten R kan tecknas såsom

$$R = \frac{\alpha_y}{\lambda} \Delta x (t_e^0 - t_e^1)$$

där t_e = den ekvivalenta utetemperatur som är ett mått på yttemperaturen på fasadytan och beror av solstrålningen I [W/m^2 °C] på fasadytan samt materialets absorptionsfaktor för sol- och himmelsstrålning och det totala värmeövergångstalet α_y .

Den ekvivalenta utetemperatur kan då uttryckas som

$$t_e = t_u + \frac{\varepsilon I}{\alpha_y}$$

Faktorn R_2 innehåller alltså randvillkoren solstrålning och utetemperatur på fasaden och kan då uttryckas i matriser som

$$R_2 = \frac{\alpha_y}{\lambda} \Delta x \left[\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{\varepsilon I^0}{\alpha_y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{\varepsilon I^1}{\alpha_y} \end{bmatrix} \right]$$

dvs en konstant k och en randvillkors matris innehållande det kända solinfallet och utetemperaturerna både nu och i nästa tidssteg.

På motsvarande sätt ställs sambanden upp för rumsytorna men där kommer varje yta att kopplas dels till de andra ytorna genom sambanden för värmestrålning samt dels till rumsluften.

För rumsluften antas då gälla att fullständig omrörning råder så att rumsluftens temperatur erhålls av

$$\rho_c p (\dot{V}_i t_i^0 + \dot{V}_n t_n^0) + \dot{Q}_{intern} = \rho_c p (\dot{V}_i + \dot{V}_n) t_r^1 + \sum \alpha_{kn} A_{n,n} (t_r^1 - t_n^0)$$

där α_k är beräknat för $t_r^0 - t_n^0$, dvs enbart för tidpunkten 0.

Sambandet ovan i matrisform blir då

$$\begin{aligned}
 & [\alpha_{k1} A_1 \quad \alpha_{k2} A_2 \quad \alpha_{kn} A_n] \begin{bmatrix} t_1^0 \\ t_2^0 \\ \vdots \\ t_n^0 \end{bmatrix} + \rho c_p [\dot{V}_i \quad \dot{V}_n] \begin{bmatrix} t_1^0 \\ t_n^0 \end{bmatrix} + \dot{Q}_{intern} = \\
 & = [\rho c_p (\dot{V}_1 + \dot{V}_n) + \sum \alpha_n A_n] t_r^1 \quad (1.3) \\
 & A t^0 + k_1 R^0 + k_2 = B t^1
 \end{aligned}$$

Detta ovan är i matrisform sorterat efter kända temperaturer t^0 , nya och gamla randvillkor samt temperaturer i nästa tidssteg. Görs det för samtliga samband för varje vägg och för rumsluften så kommer man att få ett ekvationssystem som i princip ser ut enligt nedan

$$\begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t^1 \end{bmatrix}$$

Man erhåller då ekvationssystemet

$$A t^0 + \sum k R = B t^1$$

där

A är kopplingsmatris innehållande termer likt A i samband (1.1, 1.2, 1.3)

t^0 är kända temperaturer i nuläget, dvs innan nästa tidssteg. Temperaturerna är även starttemperaturer vid 1:a tidssteget

R^0 är kända randvillkor i nuläget, t ex solinstrålning, utetemperatur

k_1, k_2 icke dimensionslösa konstanter som för över randvillkor till rätt dimension

R är kända randvillkor

B kopplingsmatris innehållande termer likt b i samband (1.1, 1.2, 1.3)

t^1 är de temperaturer man söker i nästa tidssteg. När dessa är beräknade ersätter de t för att ännu ett tidssteg skall beräknas

En rent analytisk lösning av ekvationssystemet blir då

$$t^1 = B^{-1}[At^0 + \Sigma kR]$$

vilket för den oinvidge ser mycket lätt ut. Men nu skall man komma ihåg att ifall man delar upp varje vägg och bjälklag i t ex 6 delar samt har två fönster i rummet så kommer kolonnmatrisen t att innehålla säg 50 element eller temperaturer. Detta innebär att man har exakt lika många okända temperaturer i kolonnmatrisen t . Matriserna A och B blir då en icke ren bandmatris med dimensionen 50x50.

I och med storleken på ekvationssystemet så är det enda tillgängliga användningsmetoden större datorer. Detta av flera skäl vilka nämns nedan

För det första skall ekvationssystemet ställas upp och varje element skall in på rätt plats i matriserna. Detta klarar man inte utan datorer.

För det andra skall ekvationssystemet lösas och även det klarar man inte utan datorer.

Och för det tredje - även om man tror sig klara av både att ställa upp ekvationssystemet och lösa det så skall det ställas upp igen vid nästa tidssteg med nya randvillkorsmatriser R och konvektiva värmeövergångstal i bandmatriserna A och B - även detta talar för datorer.

Dessutom kan man i datorprogrammet lägga in kontroller att beräkningen är rimlig vilket ökar datortiden men är nog så viktig.

I BRIS löses ekvationssystemet med relaxationsmetoden, dvs man gissar en del av lösningen varefter man successivt beräknar de andra värdena i lösningen. Med hjälp av det då erhållna resultatet görs en ny beräkning tills skillnaden mellan den nyss erhållna lösningen och den förra lösningen är så liten att man kan acceptera felet.

Märk här att vid första tidsberäkningssteget så måste man ansätta temperaturerna t . Dessa ansatta temperaturer kallas startvärden eller starttemperaturer. Normalt kan de i BRIS anges som ett och samma värde för samtliga temperaturer, eller också kan värden från tidigare beräkningar av samma rum användas.

BILAGA 2

Något om teorierna bakom
Gertis metod

Något om teorierna bakom Gertis metod

Gertis metod förutsätter att det betraktade omöblerade rummet utsätts för en stor konstant värmelast, från t ex solinfall, personvärme och interna värmekällor. Beräkningarna görs i tidssteg om 0,5 till 1 timma. Det resultat som erhålls är rumsluft- och väggytetemperaturer.

Då ett rum är utsatt för en konstant värmelast under en längre tid, kommer rumsluftens temperatur och temperaturen hos en godtycklig väggyta att variera ungefär i enlighet med Fig B2.1.

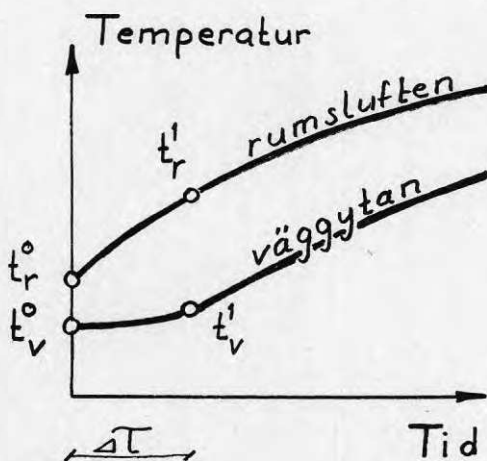


Fig B2.1 Rumsluftens temperatur, t_r , och en väggytas temperatur, t_v , då värmeförseln till rummet är konstant under en längre period. Efter Peterson, Rosenthal och Mundt.

Rumsluften kommer att stiga Δt_r under tidssteget Δt . Detta medför att temperaturen efter tidssteget Δt kan tecknas som

$$t_r^1 = t_r^0 + \Delta t_r \quad [^{\circ}\text{C}]$$

där t_r är rumstemperaturen
 0 innebär före tidssteget Δt
 1 innebär efter tidssteget Δt
 Δt_r är höjningen av rumstemperaturen

Den till rummet totalt tillförda värmeenergin ΔQ under tidssteget $\Delta \tau$ blir

$$\Delta Q = \dot{Q} \Delta \tau = \dot{V} \rho c_p \Delta t_r + \dot{V} \rho c_p \Delta t_r + \bar{\alpha} A (t_r^0 - t_v^0) \Delta \tau \quad [\text{Wh}]$$

Här är \dot{Q} den till rummet totalt tillförda värmeeffekten (internt+externt) [W]

$\dot{V} \rho c_p$ rumsluftens totala värmeupptagningsförmåga [Wh/°C]

$\dot{V} \rho c_p$ ventilationsluftens värmekapacitetsflöde [W/°C]

$\bar{\alpha}$ det vägda medelvärdet av rumsytornas värmeövergångstal [W/m² °C]

t_v^0 det vägda medelvärdet av rumsytornas temperatur [°C]

A totala omslutningsytan [m²]

Storleken på luftens värmeupptagningsförmåga och ventilationsluftens värmekapacitetsflöde kan anses som ringa jämfört med omslutningsytornas förmåga att ta upp värme. Man kan där försumma de första två termerna i högra ledet i sambandet ovan. Då går det att lösa ut rumstemperaturen i nästa tidssteg vilket då blir

$$t_r^1 = t_v^0 + \frac{\dot{Q}}{\bar{\alpha} A} = t_r^0 + \Delta t_r \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.1)$$

Under förutsättning att temperaturförloppet i det studerade rummet är identiskt med de omgivande rummens temperaturförlopp samt att värmelasten \dot{Q} är konstant, har Fouriers värmeledningsekvation lösts analytiskt. Då har följande erhållits för varje vägg

$$t_{vn}^1 = t_{vn}^0 + \dot{q}_n \cdot \sigma_n \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.2)$$

där t_{vn}^1 är väggtemperaturen efter tidssteget [°C]

σ_n en dämpningskoefficient som beror av materialet och tjockleken av väggen som tidssteget med dimension [°C m²/W]

\dot{q}_n till respektive vägg (n) tillfört värme per ytenhet [W/m²]

Dämpningskoefficienten σ kan uttryckas som

$$\sigma = \frac{L}{\lambda} \left[\frac{\alpha \Delta \tau}{L^2} + \psi_0 \right] \quad [^\circ\text{C m}^2/\text{W}]$$

där L är väggens halva tjocklek [m]
 λ väggens värmeledningstal [W/m °C]
 a väggens temperaturledningstal [m²/s]

och ψ_0 kan uttryckas som medelvärde av ψ för olika avstånd x i väggen från väggmitt.

$$\psi = \frac{3x^2 - L^2}{6L^2} - \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{(-1)^n}{n^2} \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) e^{-\{n^2\pi^2 \frac{a\Delta\tau}{L^2}\}} \right]$$

Totala infallande värmeströmmen till väggarna är

$$\dot{Q} = \sum_n \dot{Q}_n = \sum_n \dot{q}_n A_n \quad [\text{W}]$$

varav för en vägg blir

$$\dot{q}_n = \alpha_n (t_r^1 - t_{vn}^0) \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.3)$$

Lös t_{vn}^1 och sätt in i den tidigare kända

$$t_{vn}^1 = t_{vn}^0 + \dot{q}_n \sigma_n \quad [^\circ\text{C}]$$

$$\alpha_n (t_r^1 - t_{vn}^0) = \dot{q}_n (1 + \alpha_n \sigma_n)$$

$$\dot{q}_n = \frac{\alpha_n (t_r^1 - t_{vn}^0)}{1 + \alpha_n \sigma_n} \quad [\text{W/m}^2]$$

$$\dot{Q} = \sum_n \dot{Q}_n = \sum_n \dot{q}_n A_n = \sum_n \frac{A_n \alpha_n (t_r^1 - t_{vn}^0)}{1 + \alpha_n \sigma_n} \quad [\text{W}]$$

Om $t_{vn}^0 \approx t_v^0$, dvs samma temperaturer erhållits på alla väggarna vid förra tidssteget, erhålls

$$t_r^1 = \frac{\dot{Q}}{\frac{A_n \alpha_n}{1 + \alpha_n \sigma_n}} + t_v^0 \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.4)$$

Om så inte är fallet erhålls

$$\dot{Q} = t_r^1 \cdot \sum_n \frac{A_n \alpha_n}{1 + \alpha_n \sigma_n} - \sum_n \frac{A_n \alpha_n t_{vn}^0}{1 + \alpha_n \sigma_n}$$

$$t_r^1 = \frac{\dot{Q} + \sum_n \frac{A_n \alpha_n t_v^0}{1 + \alpha_n \sigma_n}}{\sum_n \frac{A_n \alpha_n}{1 + \alpha_n \sigma_n}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.5)$$

Beräkningsgången blir då

- 1 Beräkna först respektive väggytas dämpningskoefficient σ med hjälp av materialdata och antaget beräkningstidssteg.
- 2 Bestäm värmeövergångstal för innerytorna 5-7 [$\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$]. Eventuellt kan värmeövergångstalen göras beroende av temperaturdifferensen mellan rumsluftens och rumsytorna samt bero på vilken typ av yta, vägg, golv, tak det är.
- 3 Ställ upp värden på värmestillskottet till rummet i tidsordning med samma tidsindelning som valts i pkt 1.
- 4 Bestäm starttemperaturerna på omslutningsytorna.
- 5 Beräkna t_r^1 ur (12.4) eller (12.5) efter första tidssteget.
- 6 Beräkna först respektive ytas tillförda värme per ytenhet ur (12.3), beräkna därefter yttemperaturerna ur (12.2) för varje yta.
- 7 Gör om från pkt 5.

I princip är beräkningsgången enligt nedan som ger temperaturerna efter ett tidssteg

$$t_r^1 = \text{konst}_1 \dot{Q} + t_v^0 \quad \text{beräkning av rumstemperaturen efter ett tidssteg}$$

$$t_v^1 = \text{konst}_2 \dot{Q} \cdot (t_r^1 - t_v^0) + t_v^0$$

beräkning av väggtemperaturerna efter samma tidssteg

I konst_1 och konst_2 ingår respektive ytas värmeövergångstal. Valet av starttemperaturer på väggytorna är av stor betydelse. Om man till effektbehovet \dot{Q} kopplar transmissionsförluster och ventilationsförluster kommer i den första ekvationen ovan t_r^0 att ingå. Använder man temperaturberoende värmeövergångstal kommer de att beräknas enligt $\alpha_n = k_3 (t_r^0 - t_{vn}^0)^{k_4}$.

BILAGA 3

Något om teorierna bakom
beräkningsmetoden TEMPO

Något om teorierna bakom beräkningsmetoden TEMPO

Rummets dygnsmedeltemperatur, \bar{t}_r , beräknas enligt

$$\bar{t}_r = \frac{\Sigma \dot{Q}}{(\dot{V}_{pc} + \Sigma kA)} + \bar{t}_u = \frac{\Sigma \dot{Q}}{24 \dot{W}} + \bar{t}_u = \overline{\Delta t}_r + \bar{t}_u \quad [^{\circ}\text{C}]$$

där $\Sigma \dot{Q}$ är totala summan av till rummet transmitterad solenergi per dygn, samt energitillskottet för belysningsvärme, solvärme och energihöjningen av ventilationsluften över utetemperaturnivån [Wh/dygn]

\dot{V}_{pc} = ventilationsluftens värmebärarflöde [W/°C]

ΣkA = ytterväggens totala värmeförlust per [W/°C]

\bar{t}_u = dygnets medeltemperatur för uteluften [°C]

\dot{W} = $\dot{V}_{pc} + \Sigma kA$ rummets värmetransportförmåga [W/°C]

Till ovan beräknade dygnsmedeltemperatur för rumsluften tillkommer temperaturvariation över dygnet, som beror av rummets värmeeffektvariation över dygnet samt rummets förmåga att lagra värme. Temperaturvariationen beräknas enligt

$$\pm \Delta t_r = \frac{\frac{2}{3} I \cdot K_k + \frac{1}{3} I + \Sigma \dot{Q} + \dot{W}_{vf} (\Delta t_u)}{2 \cdot (\dot{W}_{vf} + K_l \cdot A_g)} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

där I maximala transmitterade solvärmets genom fönstren (stråldelningsdelen = 2/3) (konvektionsdelen = 1/3) [W]

K_k konvektionsfaktor, är ett mått på hur mycket värme som avges till rumsluften

$K_k = 0,7$ för lätt rum

$K_k = 0,2-0,3$ för rum med ytor som till 50 % eller mer består av betong

$\Sigma \dot{Q}$ maximala summan av internt värme [W]

\dot{W}_{vf} värmetransportförmågan för ventilation och fönster [W/°C]

Δt_u maximala skillnaden i utetemperatur $t_{u \max} - t_{u \min}$ [°C]

A_g golvarean [m²]

K_ℓ lagringstal
5-7 för lätt rum och
12,5-15 för tungt rum [W/m² °C]

Då erhålles rummets temperatur som

$$t_r = \bar{t}_u + \overline{\Delta t}_r \pm \Delta t_r \quad [^\circ\text{C}]$$

eller under förutsättning att detta kan approximeras med en sinuskurva så erhålls

$$t_r = \bar{t}_u + \overline{\Delta t}_r + \Delta t_r \cdot \cos\left(\frac{h - h_{\max}}{24} \cdot 2\pi\right) \quad [^\circ\text{C}]$$

där h är klockslaget och

h_{\max} är tidpunkten då maximal rumstemperatur i rummet ansätts

Märk här att rumstemperaturen anges som en medeltemperatur \pm en temperatur som svänger kring medelvärdet. Vid vilket klockslag max-temperaturen i rummet infaller kan ej beräknas.

BILAGA 4

Något om bakgrunden till
Carrier/ASHRAE-metoden
för kylbehovsberäkning

Något om teorierna bakom kylbehovsberäkning
enligt Carrier/ASHRAE

Till rummet tillförd effekt \dot{Q} [W] ett visst klockslag vid konstant rumstemperatur kan beräknas enligt

$$\dot{Q} = (kA)_v (t_u - t_r + \Delta t_{ekv}) + A_f [I_{max} \cdot k_1 \cdot k_2 + k_f (t_u - t_r)] [W] \quad (4.1)$$

Här är	$(kA)_v$	produkten av väggens värmegenomgångstal och yta [W/°C]
	t	temperatur °C med index u för ut, r för rum
	Δt_{ekv}	ekvivalent temperaturdifferens [°C]
	A_f	fönstrets yta [m ²]
	k_f	fönstrets värmegenomgångstal [W/m ² °C]
	I_{max}	maximal solstrålning genom en-glasfönster [W/m ²]
	k_1	solskydds- och fönsterkoefficient
	k_2	lagringsfaktor beroende av tid och rumstyp

Faktorerna k_1 , k_2 , I_{max} och Δt_{ekv} finns tabellerade för olika rumstyper, väggtyper, väggriktningar, klockslag och årstider.

Till detta kan på motsvarande sätt tilläggas termer för belysning m m. Denna till rummet tillförda effekt skall ventileras bort, dvs att det bortförda värmets är då

$$\dot{Q} = \dot{V}_{pc} (t_r - t_i) [W] \quad (4.2)$$

Här är	\dot{V}_{pc}	luftens värme- eller köldbärarflöde [W/°C]
	i	är index för inblåsningsluft

Det inses lätt att om man ser på sambanden (4.1) och (4.2) kan man lätt lösa ut rumstemperaturen och få den tidsmässigt beroende av övriga termer men det får inte göras p g a metodens förutsättning.

Om man nu förutsätter att det för en viss ansatt rumstemperatur erhålls en viss tillförd effekt så kan antingen luftflödet eller

inblåsningstemperaturen erhållas i ekv (4.2). Antag att man låser luftflödet. Antag vidare att denna effekt, som då erhålls, är dimensionerande.

Vid nästa klockslag kommer effekten att bli mindre beroende på inverkan av lagringsfaktorn och ekvivalenta temperaturdifferensen samt ev även utetemperaturen ändras. Då måste inblåsningstemperaturen ökas för att sambanden skall gå ihop om luftflödet är konstant. Observera att man inte kan ändra rumstemperaturen och därmed erhålla ett rumstemperaturförlopp. För ändrar man rumstemperaturen ändras förutsättningen. Däremot kan man beräkna inblåsningstemperaturförloppet för konstant luftflöde. För att timma för timma kunna beräkna lagringsfaktorerna och ekvivalenta temperaturdifferensen måste rumstemperaturen vara konstant.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
760229-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till Avd för installationsteknik, CTH, Göteborg.**

R68: 1983

ISBN 91-540-3949-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700768

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms