



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.



Rapport

R64:1983

Nattsänkning av temperatur i flerbostadshus

Lars Jensen

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

ser

R
Be
[K
ade]

R64:1983

NATTSÄNKNING AV TEMPERATUR I FLERBOSTADSHUS

Lars Jensen

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810757-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen
för Byggnadskonstruktion, Lunds Tekniska Högskola, Lund

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

R64:1983

ISBN 91-540-3925-8

Statens råd för bygnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

SAMMANFATTNING

Inledning

Sverige har förbundit sig att i IEA-samarbetet ansvara för utvärdering av energibesparing vid nattsänkning. Detta skall ske i samarbete med Belgien, Danmark och USA. De svenska försöken skall ske i samarbete med HSB som svarar för fältmätningarna.

Nattsänkningens energibesparing har aldrig utvärderats i en mera omfattande undersökning. Besparingen kan uppskattas till högst några procent för flerbostadshus. Nattsänkning innebär att innetemperaturen sänks under natten, vilket sparar uppvärmningsenergi eftersom värmeförlusterna minskas med minskande temperaturskillnader inne-ute. Störst besparing fås, termiskt sett, med lätta byggnader och med byggnader som har liten utnyttjandetid, t ex skolor och kontor.

Nattsänkningens betydelse har utvärderats med trettio flerbostadshus på fem olika orter. Alla mätningar har skett med veckoavläsningar omfattande två innetemperaturer i varje hus, fjärrvärmeförbrukning och kall- och varmvattenmängd för varje hus. Nio utetemperaturmätningar har skett fördelat på de fem orterna. Nattsänkningen har kopplats in och ur periodiskt.

Försökshus

De fem försöksorterna var Ängelholm (6 hus), Trollhättan (4 hus), Norrköping (10 hus), Örebro (7 hus) och Lidköping (3 hus). Kraven på husen var att energimätare för värme (uppvärmning och varmvattenberedning) och mätningsmätare för tappvatten (både varm- och kallvatten) skulle finnas, vilket annars skulle bli kostsamt och ta tid att installera. Hus med termostatventiler skulle undvikas om möjligt och även hus med både till- och frånluftsventilation. Urvalet skulle sedan ske så att en någorlunda jämn spridning i byggnadsår erhöles. Ett hus slopades på grund av felaktig reglercentral.

En enkel uppdelning i 30-talshus och så vidare upp till 70-talshus ger fördelningen 4, 10, 5, 6 och 4 och görs uppdelningen efter ombyggnadsår förändras bilden till 2, 5, 5, 6 och 11. Radiatorsystemen var i samtliga fall tvårörssystem utom för ett hus som har ett ettrörssystem. Termostatventiler fanns i tre hus. Ventilationen är genomgående av självdraftstyp, 18 hus utav 29 hus. Resterande ventilationssystem är frånluftssystem. Våningsfördelning är 5 med 2 vån, 19 med 3 vån och 5 med 4 vån.

Antalet lägenheter per försökshus eller egentligen per försöksgrupp av hus fördelar sig som följer; 1-20 lgh 5 hus, 21-50 lgh 11 hus, 51-100 lgh 7 hus och 101-200 lgh 6 hus.

Mätutrustning

Temperaturmätningen skedde med så kallade TT-mätare som summerar temperaturen i tiden eller beräknar ett temperaturtidvärde, därav namnet TT-mätare.

Veckomedelvärdet för innetemperaturen mättes i två lägenheter i varje av de planerade 30 försökshusen. De två lägenheterna valdes så att en låg i mitten och i ytterkanten. Temperaturgivaren placerades 1.0 - 1.5 m över golv och i hallen eller där en vettig medeltemperatur för hela lägenheten kan mätas. Ytterväggar och närhet till värmeavgivande apparater och radiatorer undveks. De 58 innetemperaturerna fördelar sig på följande sätt; 17 enbart gavellägenhet, 9 enbart lägenhet högsta våningen, 10 både gavellägenhet och högsta våningen och 22 ingen av tidigare nämnda. Utegivarna placerades som de normala utegivarna till reglerutrustningen.

Försöksmetod

Försöken avsåg att omfatta vecka 43 (1981) till och med vecka 17 (1982) med avläsning varje vecka. Försökstiden på 28 veckor delades in i 5 tvåveckorsperioder och 6 treveckorsperioder. På varje försöksort delades försökshusen i två grupper som växelvis hade

nattsänkning inkopplad.

Försöksstarten försenades för vissa hus i en till två veckor. Byte mellan nattsänkning och inte nattsänkning genomfördes inte helt enligt schemat, men det har inte någon betydelse.

En fördel med ett från/till-försök jämfört med ett test/referensförsök eller ett före/efter-försök är att störande faktorer lättare kan elimineras, t ex uteklimatets normala årstidsvariation och även dess variation år från år.

En nackdel med ett från/till-försök är att inverkan från en period till en annan period inte kan försummas, när periodens längd börjar närma sig husens tidskonstanter. Denna inverkan har beräknats för en enkel modell.

Teoretisk utvärdering och slutsatser

De teoretiska beräkningarna visar att nattsänkningen medför en konstant temperatursänkning och en varierande temperatursänkning över dygnet. Den konstanta temperatursänkningen svarar oftast för större delen av besparingen och för en tidskonstant på 24 och 48 timmar och en nattsänkning på 8 timmar så beräknas den konstanta delen till 69% resp 84%. Den temperaturvariation som erhålls beror heller inte enbart på nattsänkningen utan variationer i hushållsel sammanfaller på ett förstärkande sätt. Detta framgår av tidigare och bättre mätningar på andra flerbostadshus. Hus utan utrustning för nattsänkning har alltså nattsänkning.

Försöksmetodens inverkan på mätresultatet har beräknats med en enkel modell. De periodiska in- och urkopplingarna av nattsänkningen medför att skillnaden i innetemperatur underskattas och att skillnaden i värmeeffekt överskattas.

Radiatorsystemets begränsande inverkan kan vara stor, men den har inte kunnat fastläggas. Vid stora nattsänkningar begränsas framledningstemperaturen neråt av returledningstemperaturen och denna i

sin tur av innetemperaturen. Reglercentralen och reglerventilen kan också begränsa nattsänkningen på grund av skalfel resp läckage.

Experimentell utvärdering och slutsatser

Den uppmätta besparingen ligger på omkring 4% beräknat på innetemperaturskillnad och 4% beräknat på värmeeffekt. Observera att detta inte innebär att inne-utetemperaturskillnaden varit 12% lägre under nattsänkningens 8 timmar, vilket motsvarar medelbesparing på 4% utslaget på 24 timmar. Större delen av besparingen beror på en konstant lägre innetemperatur och en mindre del på en under dygnet varierande innetemperatur och under natten lägre innetemperatur. Denna under dygnet varierande delen består i sin tur till en del av en naturlig variation som orsakas av de boende. Besparingen på grund av riktig nattsänkning är därför högst 1% för flerbostadshus.

De uppmätta medelvärdena för samtliga hus för innetemperaturskillnad, värmeeffektskillnad och relativ värmeeffektskillnad skiljer sig betydligt från de beräknade enligt uppställningen nedan

skillnad	uppmätt	beräknad	uppmätt/beräknad
innetemperatur, °C	0.5	1.1	0.45
värmeeffekt, W/m ² lghyta	1.5	4.0	0.37
relativ värmeeffekt	0.04	0.11	0.36

Korrektion har gjorts för enbart försöksmetodens inverkan. Det skiljer grovt en faktor 0.4, vilket inte kan förklaras med enbart radiatorsystemets inverkan. Andra orsaker kan vara felaktig in- och urkoppling eller avrapportering av nattsänkning och samtidiga ändringar av reglerkurvor.

Tidskonstanten har bestämts för varje försökshus med en enkel modellanpassning. Resultatet blev 13 fall med tidskonstant på 0-3 h och 14 fall med tidskonstant på 24-48 h.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	1
	Bakgrund	1
	Forskningsmetod	1
	Rapportdisposition	2
	Tillerkännande	2
2	FÖRSÖKSHUS, MÄTUTRUSTNING OCH FÖRSÖKSMETOD	3
	Försökshus	3
	Regler- och styrutrustningar	4
	Inne- och utetemperaturmätning	6
	Försöksmetod	8
3	TEORETISK UTVÄRDERING	15
	Nattsänkningens effekt	15
	Försöksmetodens inverkan	18
	Radiatorsystemets inverkan	25
4	EXPERIMENTELL UTVÄRDERING	33
	Mätdatabearbetning	33
	Spridning i medelvärden	34
	Medelvärde för samtliga hus	36
	Utetemperaturens inverkan	38
	Försök till bestämning av tidskonstant	49
	Jämförelse med andra mätningar	52
5	SLUTSATSER	71

1 INLEDNING

Bakgrund

Nattsänkning innebär att innetemperaturen sänks under natten, vilket sparar uppvärmningsenergi eftersom värmeförlusterna minskas med minskade temperaturskillnader inne-ute. Störst besparing fås, termiskt sett, med lätta byggnader och med byggnader som har liten utnyttjandetid, t ex skolor och kontor.

Sverige har förbundit sig att i IEA-samarbetet ansvara för utvärdering av energibesparing vid nattsänkning. Detta skall ske i samarbete med Belgien, Danmark och USA. I Belgien skall 20 småhus studeras på två olika orter. Fyra olika flerbostadshus med olika utförande skall användas i Danmark. Försök med nattsänkning i USA är tänkt att ske med ett höghuskomplex i New York. De svenska försöken skall ske i samarbete med HSB som svarar för fältmätningarna.

Nattsänkningens energibesparing har aldrig utvärderats i en mera omfattande undersökning. Besparingen kan uppskattas till högst några procent för flerbostadshus.

Forskningsmetod

Nattsänkningens betydelse har utvärderats med trettio flerbostadshus på fem olika orter. Alla mätningar har skett med veckoavläsningar omfattande två innetemperaturer i varje hus, fjärrvärmeförbrukning och kall- och varmvattenmängd för varje hus. Nio utetemperaturmätningar har skett fördelat på de fem orterna.

Nattsänkningen har kopplats in och ut veckovis efter ett angivet mönster. Värmekonsulenter från HSB har hållt i mätningarna och avrapporteringen gentemot institutionen för Byggnadskonstruktionslära vid Lunds Tekniska Högskola.

Rapportdisposition

Denna rapport kommer bara att beskriva den svenska utvärderingen av nattsänkning i flerbostadshus.

Efter denna inledning beskrivs i ett kapitel de aktuella försöks-
husen, mätutrustning och något om avläsningarna.

En teoretisk behandling av nattsänkningen och hur besparingen kan uppskattas med hänsyn till de speciella experimentvillkoren görs i nästföljande kapitel.

Mätningarna behandlas sedan i ett kapitel efter de riktlinjer som dragits upp i den teoretiska analysen och en del slutsatser dras.

Tillerkännande

Denna undersökning hade inte kunnat genomföras utan medverkan av de boende, som villigt har deltagit i försöken med olika avläsningar och in- och urkoppling av nattsänkning. Författaren vill därför rikta ett varmt tack till alla de som deltagit i försöken och särskilt ett varmt tack till Hans Malmer och Stig Svedberg som har valt ut försökshus, lärt upp avläsare och hållt i mätningarna på fältet.

2 FÖRSÖKSHUS, MÄTUTRUSTNING OCH FÖRSÖKSMETOD

Försökshus

De ursprungligen planerade tre försöksorterna blev fem; nämligen Ängelholm (6 hus), Trollhättan (4 hus), Norrköping (10 hus), Örebro (7 hus) och Lidköping (3 hus). Uppdelningen i fem orter berodde främst på svårigheterna att finna hus, vars boende och driftspersonal var villiga att delta i försöken. Kraven på husen var att energimätare för värme (uppvärmning och varmvattenberedning) och mängdmätare för tappvatten (både varm- och kallvatten) skulle finnas. Detta för att inte behöva installera nödvändiga mätare, vilket skulle bli kostsamt och ta tid. Kravet på energimätare medför att endast fjärrvärmeanslutna hus var aktuella. Ett "försökshus" kan därför i en del fall vara flera hus som har en gemensam undercentral. Hus med egna panncentraler har oftast ingen energimätare. Debitering sker med bränsleräkningarna. Hus med termostatventiler skulle undvikas om möjligt, då termostatventiler motverkar temperaturändringar. Samma sak gäller även för hus med både till- och frånluftventilation, om tillufttemperatur ej nattsänks. Urvalet skulle sedan ske så att en någorlunda jämn spridning i byggnadsår erhöles.

En enklare sammanställning av de utvalda husen ges i TAB.2.1. Försökshus nr 20 har helt utelämnats. Efter en tids mätningar konstaterades att reglerutrustningen var felaktig.

De i TAB.2.1 redovisade byggåren ger en något ojämn fördelning. En enkel uppdelning i 30-talshus och så vidare upp till 70-talshus ger fördelningen 4, 10, 5, 6 och 4 och görs uppdelningen efter ombyggnadsår förändras bilden till 2, 5, 5, 6 och 11.

Radiatorsystemen är tvårörssystem i samtliga fall utom för hus 8, som har ettrörssystem. Termostatventiler finns i hus 4, 15 och 18. Ventilationen är genomgående av självdragstyp, 18 utav 29. Resterade ventilationssystem är frånluftssystem. Den stora andelen självdragssystem beror till viss del på att husen har mellan 2 och 4 våningar. Våningsfördelning är 5 med 2 vån, 19 med 3 vån och 6

med 4 vån. Ett hus räknas som både 3- och 4-vånings, eftersom det består av flera huskroppar med olika antal våningar.

Ett krav på försökshus, som inte har nämnts tidigare var att försökshusen inte skulle ha för få lägenheter. Skälet till detta var att eftersom totala värmeförbrukningen för både uppvärmning och varmvatten mäts med befintlig värmemängdsmätare så blir spridningen orsakad av varmvattenförbrukningen störst i ett hus med få lägenheter. Uppvärmningsdelen beskrivs väl med reglercentralens inställningar och utetemperaturer.

Antalet lägenheter per försökshus eller egentligen per försöksgrupp av hus fördelar sig som följer; 1-20 lgh 5 hus, 21-50 lgh 11 hus, 51-100 lgh 7 hus och 101-200 lgh 6 hus.

Regler- och styrutrustningar

En sammanställning av försökshusens regler- och styrutrustningar, inställda reglerkurvor och nattsänkingsvärden återfinns i TAB.2.2. De olika förekommande regler- och styrutrustningarna beskrivs nedan.

Fabrikat Billman

beteckning	antal	årtal	datablad	beskrivning
k11 ZP	1	(1958)		klimatekompensator med dygnsprogramskiva (godtycklig nattsänkning) ratt 1 framledningstemperatur vid -20°C (framledningstemperatur vid 20°C är 20°C). ratt 2 parallell förskjutning ±20°C
CAV	1	(1960)		som k11 ZP
CVC 5AB	3	(1969)		som k11 ZP
CTE 6352	1	(1973)		generell reglercentral med utekompensering och begränsningsmöjligheter utan styrur
RVL 41.10	1	(1980)		klimatekompensator med styrur grafisk-fysisk reglerkurva ratt nattsänkning 0-15°C.

Fabrikat TA

beteckning	antal	årtal	datablad	beskrivning
TE-5	6	(1969)		klimatkompensator. ratt A: parallellförskjutning $\pm 20^{\circ}\text{C}$. ratt B: reglerkurva 0-8, styrur separat.
TE-6/FRZ	2	(1970)		som TE-5 med separat styrur (FRZ)
TE-6U	1	(1970)		som TE-5 med inbyggt styrur och ratt C: nattsänkning 0-35 $^{\circ}\text{C}$
TE-8	8	(1974)		som TE-5, styrur separat
TA210	4	(1979)		som TE-6U

Den enda större skillnaden mellan de förekommande reglercentralerna är att de tre äldre reglercentralernas styrursfunktion utgörs av en programskiva, som kan ges en mycket godtycklig form. Detta innebär att nattsänkning kan kombineras med morgonhöjning för att snabbare höja rumstemperaturen. Temperaturändringar behöver heller inte vara momentana som med dagens styrur.

Den klimatkompenserande grundfunktionen är i stort sett densamma för alla reglercentraler. Reglerkurvan är något krökt i en del fall. Exakt samma funktion kan därför inte fås med alla reglercentraler och skillnaden i framledningstemperatur kan bli någon grad. Reglerkurvans inställningssätt varierar givetvis också.

Ett mindre problem orsakade de äldre reglercentralerna med programskivor då in- och urkoppling av nattsänkningen krävde byte av programskivor. Någon reservskiva fanns ej tillgänglig.

Inne- och utetemperaturmätning

Temperaturmätningen sker med så kallade TT-mätare som summerar temperaturen i tiden eller beräknar ett temperaturtidvärde, därav namnet TT-mätare.

Veckomedelvärdet för innetemperaturen mäts i två lägenheter i varje av de planerade 30 försökshusen, dito för utetemperaturen vid 3 platser per tänkta tre försöksorter. Hur det blev i verkligheten framgår av TAB.2.3, som innehåller en sammanställning av TT-mätarnas placering.

De två lägenheterna per försökshus valdes så att en låg i mitten och i ytterkanten. Temperaturgivaren placerades 1.0 - 1.5 m över golv och i hallen eller där en vettig medeltemperatur för hela lägenheten kan mätas. Ytterväggar och närhet till värmeavgivande apparater och radiatorer undveks.

De 58 innetemperaturmätarna fördelar sig på följande sätt

- 17 enbart gavellägenhet
- 9 enbart lägenhet högsta våningen
- 10 både gavellägenhet och högsta våningen
- 22 ingen av ovanstående
- 58 totalt

Innetemperaturens medelvärde t_{inne} för ett visst tidsintervall kan beräknas genom att bestämma antalet markeringar på räkneverket och därefter beräknas p , antalet pulser/markeringar per timme. Den sökta temperaturen t_{inne} fås som

$$t_{inne} = 2.748 p + 10.0 \quad (2.1)$$

En pulsfrekvens på omkring 4/h motsvarar en innetemperatur på ca 20 °C. Antalet pulser/markeringar under en vecka blir då omkring 600, vilket ger en god avläsningsnoggrannhet.

Mätnoggrannheten är garanterad $\pm 0.3^{\circ}$ inom mätområdet $16-26^{\circ}\text{C}$. Linjäriteten för en givare är $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$. Utanför det angivna mätområdet så ökar mätfelen kraftigt.

Utetemperaturen mäts också med TT-mätare, som har två valbara mätområden; $-25^{\circ}\text{C} -- +5^{\circ}\text{C}$ och $-5^{\circ}\text{C} -- +25^{\circ}\text{C}$. Ur praktisk synpunkt hade det varit svårt att arbeta med olika mätområden och vid laboratorieprov konstaterades det att en kalibreringskurva kunde bestämmas för området från -25°C upp till 20°C . Kurvan består av ett linjärt samband för intervallet från -25°C upp till 5°C och ett för 5°C upp till 15°C . Noggrannheten för denna enkla kalibreringskurva uppskattas till $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$. Olika kalibreringskurvor gäller för varje givare och de använda kalibreringskurvorna återges i FIG.2.1.

Mätnoggrannheten eller mätfel i utetemperatur är större än de tidigare angivna $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, eftersom detta värde gäller för mätning av konstanta temperaturer. I det aktuella fallet så varierar utetemperaturen och pulserna/markeringarna summeras under en hel vecka. Detta innebär att den uppmätta pulsfrekvensen inte ger rätt medeltemperatur beroende på den uppmätta temperaturens medelvärde och variation i förhållande till kalibreringskurvans brytpunkt vid 5°C .

En enkel förklaring till felmätningen ges i FIG.2.1, där utetemperaturen har bara antagit två olika värden under lika lång tid. Den uppmätta medelfrekvensen ger en lägre temperatur än den verkliga.

En enkel beräkning av hur stort felet blir har gjorts för samtliga använda utegivare. Utetemperaturen har antagits variera sinusformat i tiden med ett givet medelvärde och en given amplitud. Skillnaden i uppmätt temperatur jämfört med det givna medelvärdet redovisas i TAB.2.4.

Felet är givetvis noll när utetemperaturen inte varierar över brytpunkt på 5°C , vilket framgår av siffrorna i TAB.2.4. Störst fel fås när utetemperaturens medelvärde sammanfaller med brytpunkten 5°C .

Utegivarna placerades som de normala utegivarna till reglerutrust-

ningen för framledningstemperaturstyrning.

Försöksmetod

Försöken avsåg att omfatta vecka 43 (1981) till och med vecka 17 (1982). Avläsning gjordes varje vecka, vilket ger 29 avläsningar. Avrapportering skedde efter hand. Avläsningar gjordes med en speciell blankett som återges i BIL.2.1. En enkel beskrivning av försökshuset gjordes inledningsvis med hjälp av en tvåsidig beskrivningsmall, som återges i BIL.2.2. Försökstiden på 28 veckor delades in i 5 tvåveckorsperioder och 6 treveckorsperioder. På varje försöksort delades försökshuset i två grupper. Den ena gruppen hade nattsänkning inkopplad och den andra inte och byte skedde enligt försöksuppläggningsplanen nedan.

Vecka	Periodlängd veckor	Nattsänkning husgrupp 1	inkopplad husgrupp 2
43,44	2	ja	nej
45,46	2	nej	ja
47,48	2	ja	nej
49,50	2	nej	ja
51,52	2	ja	nej
53,1,2	3	nej	ja
3,4,5	3	ja	nej
6,7,8	3	nej	ja
9,10,11	3	ja	nej
12,13,14	3	nej	ja
15,16,17	3	ja	nej

Försöksuppläggningsplanen följdes i stora drag. Försöksstarten försenades för vissa hus i en till två veckor. Byte mellan nattsänkning och inte nattsänkning genomfördes inte helt enligt schemat, men det

har inte någon betydelse utan det viktigaste är att nattsänkningen kopplas in och ur ett flertal gånger.

Fördelen med ett från/till-försök jämfört med ett test/referens-försök eller ett före/efter-försök är att störande faktorer lättare kan elimineras, t ex uteklimatets normala årstidsvariation och även dess variation år från år.

En nackdel med ett från/till-försök är att inverkan från en period till en annan period inte kan försummas, när periodens längd börjar närma sig husens tidskonstanter. Denna inverkan analyseras närmare i nästa kapitel.

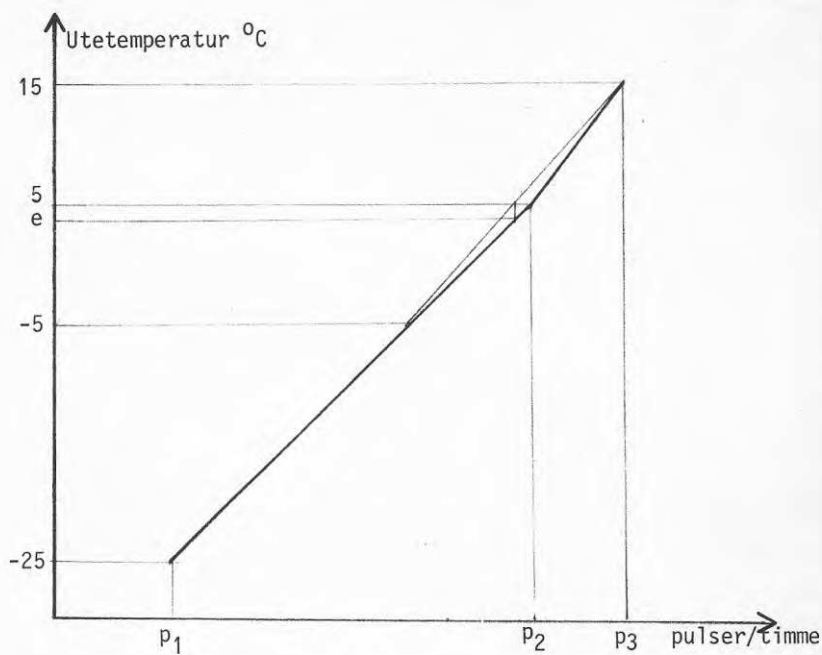


FIG.2.1 Kalibreringskurva a för utetemperaturgivare och exempel med felmätning (medelvärde av -5°C och 15°C ger $e^{\circ}\text{C}$ och inte 5°C). Parametrarna p_1 , p_2 och p_3 anges nedan.

givare nr	antal pulser/timme vid utetemperatur		
	-25°C	5°C	15°C
	p_1	p_2	p_3
101	1.9	8.0	9.6
102	2.1	8.7	10.4
103	1.8	8.3	10.1
104	2.0	8.4	10.1
105	2.1	9.2	11.0
106	1.9	8.6	10.2
107	1.8	8.1	9.9
108	2.1	8.2	9.9
109	2.0	8.0	9.6

TAB.2.1 Försökshusens byggnadsår, geografiska läge, antal lägenheter, total lägenhetsyta, antal våningar och huskroppar och typ av ventilationssystem.

Hus nr	Byggår	Ort	Lägenheter antal	total- yta	Våningar antal	Huskropp antal	Ventilations- system
1	68	Ängelholm	171	10888	4	4	F
2	61	"	81	4797	3	4	S
3	43	"	24	1236	2	1	S
4	43	"	26	1354	2	1	S
5	52	"	42	2486	3	2	S
6	48	"	52	3162	3	2	S
7	71	Trollhättan	90	5550	3	4	F
8	71	"	84	5598	3	4	F
9	53	"	146	7474	4	4	S
10	52	"	161	8694	4	7	S
11	56	Norrköping	74	2301	3	2	S
12	36	"	33	1998	3	2	S
13	46/72	"	23	1151	3	2	S
14	38/74	"	18	903	3	1	S
15	49/79	"	30	2106	3	3	S
16	42/75	"	36	1818	3	2	S
17	47/74	"	60	3657	3	4	S
18	47/75	"	36	2088	3	2	S
19	40/71	"	15		3	1	F
21	44	Örebro	26	1374	3	1	S
22	45	"	45	2385	3	1	S
23	74	"	20	1278	2	1	F
24	73	"	12	888	2	1	F
25	66	"	124	9716	3	2	F
26	66	"	137	10990	3	2	F
27	66	"	77	5617	3	2	F
28	62	Lidköping	85	4888	3/4	1	F
29	39	"	36	1743	3	1	S
30	57	"	104	7166	4	2	F

TAB.2.2 Försökshusens regler- och styrutrustningar, inställda reglerkurvor och nattsänkingsvärden.

Hus nr	Reglercentral			Framledningstemp vid utetemp			Nattsänkning		
	beteckning	kurva	parallell oC	-10oC oC	0oC oC	10oC oC	från kl	till kl	djup oC
1	TA TE-8/FRZ	5	0	66	50	35	22	06	10
2	"	5	0	66	50	35	22	06	10
3	"	4	0	53	47	33	22	06	10
4	"	5	0	66	50	35	22	06	10
5	"	5	0	66	50	35	22	06	10
6	"	5	+2	68	52	37	22	06	10
7	TA TE-6/FRZ	4	+5	68	55	40	22	06	10
8	"	4	+5	68	55	40	22	06	10
9	TA TE-8/FRZ	3	-2	55	46	32	22	05	10
10	"	4	-3	61	47	33	22	05	10
11									
12	TA TE-5	3	0	55	45	35	23	06	10
13	"	3	+3	58	48	38	23	06	10
14	Billman CVC 5AB	-	-	55	45	35	22	05	10
15	TA 210 U	3	±0	55	45	35	23	06	10
16	Billman RVL41.10	-	±0	54	45	35	23	06	?
17	Billman K11 ZP	-	-	?	?	?	22	05	10
18	Billman CVC 5AB	-	-	53	43	33	22	05	10
19	"	-	-	53	43	33	22	05	10
21	Billman CTE 6352	-	-	53	42	28	22	06	10
22	Billman CAV	-	-	48	40	35	22	06	10
23	TA TE-6U	3	0	57	45	37	22	06	10
24	TA TE-5	3	0	57	45	37	22	06	10
25	"	3	0	57	45	37	23	0530	10
26	"	3	0	57	45	37	23	0530	10
27	"	3	0	57	45	37	23	06	10
28	TA 210 U	3.5	+5	58	53	38	22	06	15
29	"	2	+2	54	46	36	22	06	12
30	"	3	+7	57	47	40	?	?	?

TAB.2.3 Temperaturgivarnas nummer och placering, (våning (siffra),
gavellägenhet (g) och högsta våningen (h))

Hus nr	Ort	Innetemperatur ₁		Innetemperatur ₂		Utetemperatur nr
		nr	placering	nr	placering	
1	Ångelholm	1	2	2	3	103
2	"	3	3gh	4	1g	-
3	"	5	1	6	2h	-
4	"	7	1	8	1	-
5	"	9	3h	10	3hg	-
6	"	11	1	12	3h	102
7	Trollhättan	13	2	14	1g	101
8	"	15	2g	16	1	-
9	"	17	4gh	18	1g	-
10	"	19	1g	20	3	-
11	Norrköping	38	1g	24	3h	104
12	"	22	2	36	2g	-
13	"	21	3gh	32	2g	-
14	"	39	3h	37	2g	-
15	"	25	3gh	23	2	106
16	"	31	2	27	3gh	-
17	"	26	3	34	3gh	-
18	"	33	3gh	28	2	105
19	"	29	1g	40	3h	-
21	Örebro	50	3gh	51	2	-
22	"	48	1g	49	2	-
23	"	52	1	54	1g	-
24	"	58	2h	60	1g	-
25	"	53	3h	57	2g	-
26	"	59	1g	56	3h	108
27	"	45	3gh	55	2	-
28	Lidköping	43	?	47	?g	-
29	"	42	?	46	?g	-
30	"	41	?	44	?	107

TAB.2.4 Mätfel vid sinusvarierande utetemperatur med olika medelvärde och amplitud och för olika utetemperaturgivare.

Givare nr	Amplitud °C	Medelvärde				
		-5°C	0°C	5°C	10°C	15°C
101	5	.00	.00	-.34	.00	.00
	10	.00	-.23	-.68	-.30	.00
	15	-.19	-.54	-1.02	-.69	-.24
102	5	.00	.00	-.36	.00	.00
	10	.00	-.25	-.72	-.32	.00
	15	-.20	-.58	-1.09	-.75	-.26
103	5	.00	.00	-.27	.00	.00
	10	.00	-.18	-.54	-.22	.00
	15	-.15	-.43	-.81	-.52	-.18
104	5	.00	.00	-.32	.00	.00
	10	.00	-.22	-.65	-.28	.00
	15	-.18	-.52	-.97	-.65	-.22
105	5	.00	.00	-.38	.00	.00
	10	.00	-.26	-.76	-.34	.00
	15	-.21	-.61	-1.14	-.80	-.28
106	5	.00	.00	-.45	.00	.00
	10	.00	-.31	-.90	-.43	.00
	15	-.25	-.72	-1.35	-1.01	-.35
107	5	.00	.00	-.23	.00	.00
	10	.00	-.16	-.45	-.18	.00
	15	-.13	-.36	-.68	-.42	-.15
108	5	.00	.00	-.26	.00	.00
	10	.00	-.18	-.52	-.21	.00
	15	-.14	-.42	-.78	-.50	-.17
109	5	.00	.00	-.32	.00	.00
	10	.00	-.22	-.64	-.27	.00
	15	-.18	-.51	-.95	-.64	-.22

3 TEORETISK UTVÄRDERING

I detta kapitel behandlas först hur den använda nattsänkningen påverkar innetemperaturen. Analysen visar att besparingen kan delas upp i en konstant besparing över hela dygnet och en varierande del. Den konstanta delen är ofta den dominerande. Med en enkel modell undersöks hur.

Sist i kapitlet behandlas radiatorsystemets inverkan på besparingen.

Nattsänkningens effekt

Den typ av nattsänkning som används i flerbostadshus är ur regler-teknisk synpunkt enbart en framkoppling (styrning) utan någon återkoppling från rumstemperaturen. Detta innebär att rumstemperaturen kommer att variera under dygnet på ett periodiskt sätt, om alla andra påverkansfaktorer försummas. Med en enkel modell kan denna periodiska variation beskrivas och denna periodiska variation återges i FIG.3.1.

Modellen för huset är ett första ordningens system med en tidskonstant T . Rumstemperaturen varierar mellan nivåerna i_1 och i_2 under tiden t_1 resp t_2 . Temperaturnivån i_1 är den som erhålls i jämvikt utan nattsänkning. Nivån i_2 erhålls vid ständig nattsänkning dygnet runt.

Rumslufttemperaturen $i(t)$ som funktion av tiden t och med index 1 kan under icke nattsänkning beskrivas med

$$i_1(t) = e^{-t/T} i_1(0) + (1 - e^{-t/T}) i_1 \quad 0 \leq t \leq t_1 \quad (3.1)$$

och under nattsänkningssfasen (index 2) som

$$i_2(t) = e^{-t/T} i_2(0) + (1 - e^{-t/T}) i_2 \quad t_1 \leq t \leq t_1 + t_2 \quad (3.2)$$

Följande två randvillkor gäller

$$i_1(t_1) = i_2(0) \quad (3.3)$$

$$i_2(t_1+t_2) = i_1(0) \quad (3.4)$$

och med utnyttjande av (3.1) och (3.2) så fås sambanden

$$i_2(0) = a i_1(0) + (1-a)i_1 \quad (3.5)$$

$$i_1(0) = b i_2(0) + (1-b)i_2 \quad (3.6)$$

där

$$a = e^{-t_1/T} \quad (3.7)$$

$$b = e^{-t_2/T} \quad (3.8)$$

Brytpunkterna $i_1(0)$ och $i_2(0)$ kan beräknas som

$$i_1(0) = (b(1-a)i_1 + (1-b)i_2)/(1-ab) \quad (3.9)$$

$$i_2(0) = ((1-a)i_1 + a(1-b)i_2)/(1-ab) \quad (3.10)$$

Den totala energibesparingen är proportionell mot

$$E_t = (i_1 - i_2)t_2 \quad (3.11)$$

vilket inses av att medelvärdet för insignalen är i_1 under t_1 tidsenheter och i_2 under t_2 tidsenheter, vilket betyder att besparingen i förhållande till i_1 -nivån är $(i_1 - i_2)t_2$.

Den konstanta besparingen kan skrivas som

$$E_c = (i_1 - i_2(0))(t_1 + t_2) \quad (3.12)$$

dvs skillnaden mellan i_1 (rumstemperatur utan nattsänkning) och pe-

riodiciteten högsta värde $i_2(0)$ gånger periodicitetens längd (t_1+t_2) . Enkla beräkningar ger följande

$$E_c = (i_1 - i_2)(t_1 + t_2) a(1-b)/(1-ab) \quad (3.13)$$

Förhållandet f mellan den konstanta besparingen och den totala kan beräknas som

$$f = E_c/E_t = \frac{(t_1+t_2)}{(t_2)} \frac{a(1-b)}{(1-ab)} \quad (3.14)$$

Den dynamiska andelen d blir då

$$d = 1-f \quad (3.15)$$

En annan intressant storhet är skillnaden e mellan periodicitetens högsta och lägsta värde och också i förhållandet till den maximalt möjliga skillnaden $(i_1 - i_2)$ (relativ variation g).

$$e = i_2(0) - i_1(0) \quad (3.16)$$

$$g = e/(i_1 - i_2) \quad (3.17)$$

Med användande av (3.9) och (3.10) så fås att

$$e = (i_1 - i_2)(1-a)(1-b)/(1-ab) \quad (3.18)$$

och

$$g = (1-a)(1-b)/(1-ab) \quad (3.19)$$

Några typiska värden på den konstanta och dynamiska delen av besparingen f resp d och förhållandet g mellan toptilltopp-värdet och den maximalt möjliga skillnaden återges för några olika tidskonstanter T och olika längd på nattsänkningen t_2 i TAB.3.1.

Försöksmetodens inverkan

I detta avsnitt skall de periodiska försökens inverkan på nattsänkningens energibesparing undersökas. Detta görs med en enkel modell och några förenklade antaganden.

Innetemperaturen varierar beroende på om nattsänkning används eller ej. Detta medför att en del energi kan lagras i byggnadens stomme. Vid övergång från en till-period till en från-period så måste extra värme tillföras för att kompensera den lägre temperaturnivån hos byggnadens stomme. Det omvända gäller när byte sker från en från-period till en till-period, då kan byggnadsstommens högre temperaturnivå utnyttjas som ett extra energitillskott. Det går därför inte att mäta skillnaden i energiförbrukning mellan från- och till-perioder, trots hänsyn tagen till olika temperaturskillnader inne-ute. Det krävs en noggrann analys. I det följande antas att

- 1 Värmeöverföringen mellan radiatorsystemet och byggnaden är proportionell mot temperaturskillnaden
- 2 Värmeöverföringen mellan byggnaden och omgivningen är proportionell mot temperaturskillnaden
- 3 Värmelagringen i byggnaden är proportionell mot innetemperaturen
- 4 Omgivningens temperatur antas vara konstant
- 5 Radiatorsystemets framledningstemperatur antas vara konstant för varje från- och till-period

Det sistnämnda antagandet innebär att nattemperatursänkning och andra variationer i framledningstemperatur jämnas ut. Detta för att underlätta analysen. Avsikten med modellen är att beskriva nattsänkningens långtidsinverkan.

Följande beteckningar används

$i(t)$ innetemperatur, $^{\circ}\text{C}$

$u(t)$	utetemperatur, $^{\circ}\text{C}$
$r(t)$	radiatorframledningstemperatur, $^{\circ}\text{C}$
kA	byggnadens värmeöverföringskapacitet, $\text{W}/^{\circ}\text{C}$
hA	radiatorsystemets värmeöverföringskapacitet, $\text{W}/^{\circ}\text{C}$
C	byggnadens värmekapacitet, $\text{Wh}/^{\circ}\text{C}$
T	byggnadens tidskonstant, h
p	periodlängd, h
q, r, s, t	tid, h
nsb	natttemperatursänkning i radiatorframledningstemperatur utslaget på ett dygn, $^{\circ}\text{C}$

Värmelagringens inverkan kan försummas om försöksperioden med och utan nattsänkning görs tillräckligt lång. I ett sådant fall så gäller följande två statiska värmebalanskvationer för de två försöksperioderna, nämligen

$$hA(r_1 - i_1) + kA(u - i_1) = 0 \quad (3.20)$$

och

$$hA(r_2 - i_2) + kA(u - i_2) = 0 \quad (3.21)$$

där suffix 1 och 2 står för utan och med nattsänkning. Följande samband gäller för framledningstemperaturen

$$r_2 = r_1 - nsb \quad (3.22)$$

och enkla räkningar ger

$$i_2 = i_1 - nsb \frac{hA}{(kA + hA)} \quad (3.23)$$

Energibesparingen kan beräknas på två sätt med utgångspunkt dels från hela byggnaden och dels från enbart radiatorsystemet. Energibesparingen kan därför antingen beräknas som skillnaden i byggnadens värmeförlust för de två tidsperioderna eller som skillnaden i från radiatorsystemet till byggnaden avgiven värme för de två perioderna. De två beräkningssätten kan skrivas som

$$I_{qrm} = kA \int_q^r (i_1 - u) - (i_2 - u) dt \quad (3.24)$$

och

$$R_{qrm} = hA \int_q^r (r_1 - i_1) - (r_2 - i_2) dt \quad (3.25)$$

Enkla räkningar med utnyttjande av (3.23) ger att

$$I_{qrm} = R_{qrm} = (r - q) \text{ nsb } hA \text{ kA} / (hA + kA) \quad (3.26)$$

Energibesparingen är som väntat proportionell mot nattsänkningens storlek (nsb) och mot försöksperiodens längd (r-q).

Innetemperaturen kan i det dynamiska fallet beskrivas med två differentialekvationer, en för från-perioden och en för till-perioden, nämligen

$$T \dot{i}_1(t) = i_1 - i_1(t) \quad (3.27)$$

$$T \dot{i}_2(s) = i_2 - i_2(s) \quad (3.28)$$

där i_1 och i_2 är de statiska temperaturnivåerna som fås enligt (3.20) och (3.21) och T är modellens tidskonstant som beräknas som

$$T = C / (hA + kA) \quad (3.29)$$

Lösningar till dessa två differentialekvationer kan skrivas som

$$i_1(t) = i_1(0)e^{-t/T} + (1 - e^{-t/T})i_1 \quad (3.30)$$

$$i_2(s) = i_2(0)e^{-s/T} + (1 - e^{-s/T})i_2 \quad (3.31)$$

De två okända startvärdena $i_1(0)$ och $i_2(0)$ kan bestämmas genom att använda de två randvillkoren

$$i_1(p) = i_2(0) \quad (3.32)$$

$$i_2(p) = i_1(0) \quad (3.33)$$

Enkla beräkningar ger att

$$i_1(0) = (ai_1 + i_2)/(1+a) \quad (3.34)$$

$$i_2(0) = (ai_2 + i_1)/(1+a) \quad (3.35)$$

där

$$a = e^{-p/T} \quad (3.36)$$

Energibesparingen beräknad på sänkt innetemperatur mellan två godtyckliga tidpunkter q och r under en frånperiod och en tillperiod kan beräknas som

$$I_{qr} = \int_q^r kA(i_1(t) - i_2(t))dt \quad (3.37)$$

Efter insättning av (3.30) och 3.31) fås efter räkningar

$$I_{qr} = \int_q^r kA((i_1 - i_2)(1 - 2e^{-t/T}/(1 + e^{-p/T})))dt \quad (3.38)$$

och ytterligare räkningar ger

$$I_{qr} = kA(i_1 - i_2)(r - q)(1 - 2T(e^{-q/T} - e^{-r/T})/((r - q)(1 + e^{-p/T}))) \quad (3.39)$$

Differensen $(i_1 - i_2)$ ersätts med uttrycket (3.23) vilket ger

$$I_{qr} = \frac{hA + kA}{(hA + kA)} nsb(r - q)(1 - 2T(e^{-q/T} - e^{-r/T})/((r - q)(1 + e^{-p/T}))) \quad (3.40)$$

Den möjliga besparingen under samma tidsintervall (r, q) med ständig nattsänkning är I_{qrm} och fås enligt (3.26). Detta innebär att den uppmätta kvantiteten I_{qr} skall korrigeras så att den möjliga besparingen I_{qrm} kan beräknas som

$$I_{qrm} = I_{qr} f_1(p, r, q, T) \quad (3.41)$$

där

$$f_1(p, q, r, T) = 1 / (1 - 2T(e^{-q/T} - e^{-r/T}) / ((r-q)(1 + e^{-p/T}))) \quad (3.42)$$

Hur stora korrektionerna är visas i TAB.3.2 för fallen mätning alla mätveckor (av), bara sista veckan (sv), och alla veckor utom första veckan (ifv) i varje frånperiod och tillperiod. De tre korrektionerna fås som

$$g_{av} = f_1(p, 0, p, T) \quad (3.43)$$

$$g_{sv} = f_1(p, p-168, p, T) \quad (3.44)$$

$$g_{ifv} = f_1(p, 168, p, T) \quad (3.45)$$

Ett annat sätt att beräkna skillnaden i energiförbrukning är att utgå från av radiatorsystemet avgiven värme. Denna energimängd mäts med värmemängdsmätare. Skillnaden mellan en från- och en tillperiod mellan två godtyckliga tidpunkter q och r kan skrivas som

$$R_{qr} = \int_q^r hA(r_1(t) - i_1(t) - r_2(t) + i_2(t)) dt \quad (3.46)$$

Radiatorsystemets framledningstemperaturer $r_1(t)$ och $r_2(t)$ är konstanta under de två perioderna som skall jämföras och skillnaden är nattsänkningen nsb . Detta ger

$$R_{qr} = hA \, nsb(r-q) - hA \int_q^r (i_1(t) - i_2(t)) dt \quad (3.47)$$

Integralen i den andra termen kan ersättas med I_{qr}/kA , vilket ger

$$R_{qr} = hA \, nsb(r-q) - hA \, I_{qr}/kA \quad (3.48)$$

och med utnyttjande av (3.40) så fås att

$$R_{qr} = \frac{hA}{(hA+kA)} \frac{kA}{(hA+kA)} \text{nsb}(r-q) \frac{(1+(hA/kA)2T(e^{-q/T}-e^{-r/T}))}{((r-q)(1+e^{-p/T}))} \quad (3.49)$$

Den möjliga besparingen

$$R_{qrm} = \frac{hA}{(hA+kA)} \frac{kA}{(hA+kA)} \text{nsb}(r-q) \quad (3.50)$$

kan beräknas med den uppmätta besparingen R_{qr} och (3.49) till

$$R_{qrm} = R_{qr} f_2(p, q, r, T, hA/kA) \quad (3.51)$$

där

$$f_2(p, q, r, T, hA/kA) = \frac{1}{(1+(hA/kA)2T(e^{-q/T}-e^{-r/T}))/((r-q)(1+e^{-p/T}))} \quad (3.52)$$

Korrektionsfaktorn för besparingen i värmeeffekten fås på analogt sätt som för besparingen i innetemperatur för fallet mätning alla veckor och återges i TAB.3.2 för två fall på kvoten $hA/kA=1$ (lågtemperatursystem) och $hA/kA=0.5$ (högtemperatursystem) och korrektionen h_{av} kan skrivas som

$$h_{av} = f_2(p, 0, p, T, hA/kA) \quad (3.53)$$

Korrektionsfaktorerna h_{sv} och h_{ifv} har inte beräknats, men generellt så kan sambandet (3.48) utnyttjas och efter insättning av

$$I_{qr} = \frac{hA}{(hA+kA)} \frac{kA}{(hA+kA)} \text{nsb}(r-q) / f_1(p, q, r, T) \quad (3.54)$$

och

$$R_{qr} = \frac{hA}{(hA+kA)} \frac{kA}{(hA+kA)} \text{nsb}(r-q) / f_2(p, q, r, T, hA/kA) \quad (3.55)$$

så fås efter förenklingar att

$$f_2(p, q, r, T, hA/kA) = 1/(1+(hA/kA)(1-1/f_1(p, q, r, T))) \quad (3.56)$$

Skillnaden mellan de två beräkningssätten är inget annat än den värme som lagras under en från-period och som sedan utnyttjas under en till-period. Denna skillnad kan beräknas som

$$S_{0p} = R_{0p} - I_{0p} \quad (3.57)$$

och enkla räkningar ger att

$$S_{0p} = 2nsb \ hA \ T(1-e^{-p/T})/(1+e^{-p/T}) \quad (3.58)$$

Ett alternativt beräkningssätt till skillnaden $R_{0p} - I_{0p}$ är att beräkna skillnaden i lagring direkt mellan en från-period och en till-period

$$S_{0p} = S_1 - S_2 \quad (3.59)$$

där

$$S_1 = C(i_2(0) - i_1(0)) \quad (3.60)$$

och

$$S_2 = C(i_1(0) - i_2(0)) \quad (3.61)$$

Enkla räkningar med utnyttjande av (3.29), (3.34) och (3.35) ger att

$$S_{0p} = 2nsb \ hA \ T(1-e^{-p/T})/(1+e^{-p/T}) \quad (3.62)$$

Uttrycket för utnyttjat lagrat värme under en försökscykel med en till-period och en från-period kan delas upp i en husberoende del $hA \ nsb \ 2T$ och en försöksberoende del $(1-e^{-p/T})/(1+e^{-p/T})$. Den försöksberoende delen ökar från noll till ett när från- och till-periodens längd går från noll mot oändligheten. Detta innebär att största överföringen av lagrat värme sker när periodlängden är som störst, men samtidigt så ökar både I_{0p} och R_{0p} , vilket innebär att kvoten mellan S_{0p} och I_{0p} eller R_{0p} avtar med ökande periodlängd p .

Radiatorsystemets inverkan

Den totala besparingen, beräknad enligt (3.11), har beräknats utan hänsyn till radiatorsystemets statiska och dynamiska egenskaper. Det är uppenbart att framledningstemperaturen inte kan sänkas under rumstemperaturen och inte heller under returtemperaturen. Många radiatorsystem arbetar med små temperaturskillnader mellan fram- och returledning och med låga fram- och returledningstemperaturer. Stora nattsänkningar av framledningstemperaturen kommer därför att begränsas i många fall.

I detta avsnitt görs därför en enkel uppskattning av hur mycket den enligt (3.11) beräknade besparingen skall minskas med beroende på olika radiatorsystems statiska och dynamiska egenskaper.

En enkel dynamisk modell används för att beskriva radiatorsystemet och följande antagande görs

- 1 radiatorsystem är ett första ordningens system med framledningstemperatur som insignal och returledningstemperatur som utsignal och tidskonstanten är T_{rad}
- 2 innetemperaturen antas vara konstant

Följande beteckningar används

- $f(t)$ framledningstemperatur
 $r(t)$ returledningstemperatur
 $i(t)$ innetemperatur

För returledningstemperaturen gäller

$$T_{rad} \dot{r}(t) = -(r(t) - i(t)) + g(f(t) - i(t)) \quad (3.63)$$

För framledningstemperaturen gäller följande gränser neråt

$$f(t) \geq r(t) \geq i(t) \quad (3.64)$$

När värmeförseln stängs av helt vid nattsänkning då blir $r(t) =$

$f(t)$. Radiatorsystemets dynamik förändras betydligt. Tidskonstanten T_{rad} ökar till $T_{\text{rad}}/(1-g)$.

Innetemperaturen har antagits vara konstant, eftersom den ändrar sig betydligt mindre och långsammare än fram- och returledningstemperaturen. Innetemperaturens relativa variation är liten enligt faktorn g i TAB.3.1. Det möjliga temperaturintervallet i_1-i_2 är också det mätligt. Antagandet om konstant innetemperatur förenklar också analysen.

Nattsänkningens effekt kan beräknas som sänkning i framledningstemperatur. Korrektionen för radiatorsystemets inverkan kan därför beräknas som kvoten mellan modellens beräknade sänkning i framledningstemperatur och den önskade sänkning. Korrektion kan delas upp i en statisk del g_s och en dynamisk del g_d . Den statiska korrektionen fås när villkoret $f(t) \geq i(t)$. Radiatorsystemets dynamik kan sägas ha försumrats i detta fall. Den dynamiska korrektionen utgår med det statistiskt korrigerade fallet som bas och villkoret $f(t) \geq r(t)$ skall då vara uppfyllt. Följande samband råder mellan korrektionerna g_t , g_d och g_s

$$g_t = g_d g_s \quad (3.65)$$

Dessa korrektioner har beräknats och summerats för utetemperaturer i ett intervall ($u_{\text{min}}, 20$ °C), där $u_{\text{min}} = -20$ °C, -10 °C och 0 °C och redovisas i TAB.3.3. Nattsänkningen är 10 °C och 8 h. Radiatorsystemets tidskonstant $T_{\text{rad}} = 10$ min.

Siffrorna i TAB.3.3 visar att radiatorsystemets inverkan inte kan försummas. Den förväntade besparingen kan i många fall minska till hälften. Låga framledningstemperaturer och små temperaturskillnader mellan fram- och returledning har störst inverkan. Beräkningar har även gjorts för andra värden på $T_{\text{rad}} = 20$ min och $T_{\text{rad}} = 30$ min, men korrektionsfaktorerna minskade bara några procent.

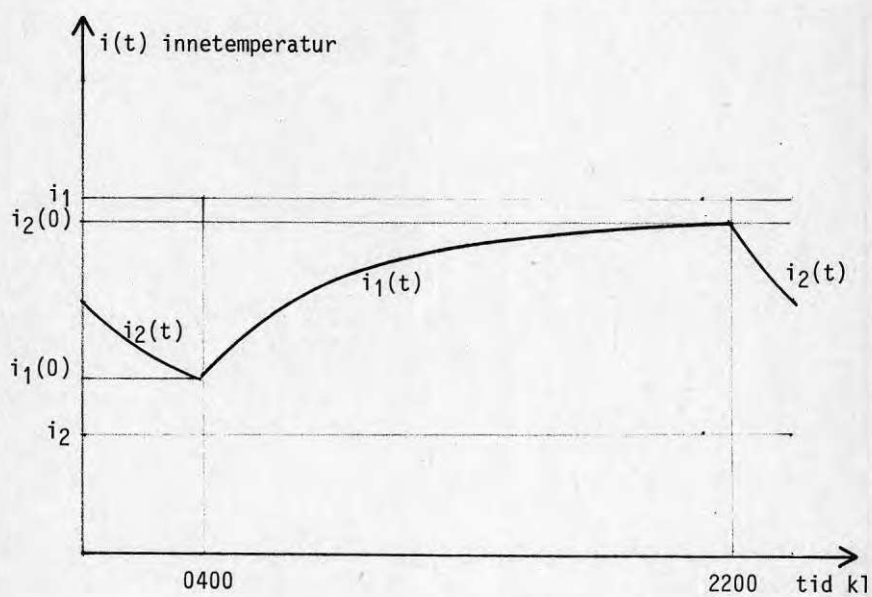


FIG.3.1 Nattsänkningens dygnsinverkan vid sänkning mellan kl 2200 och kl 0400.

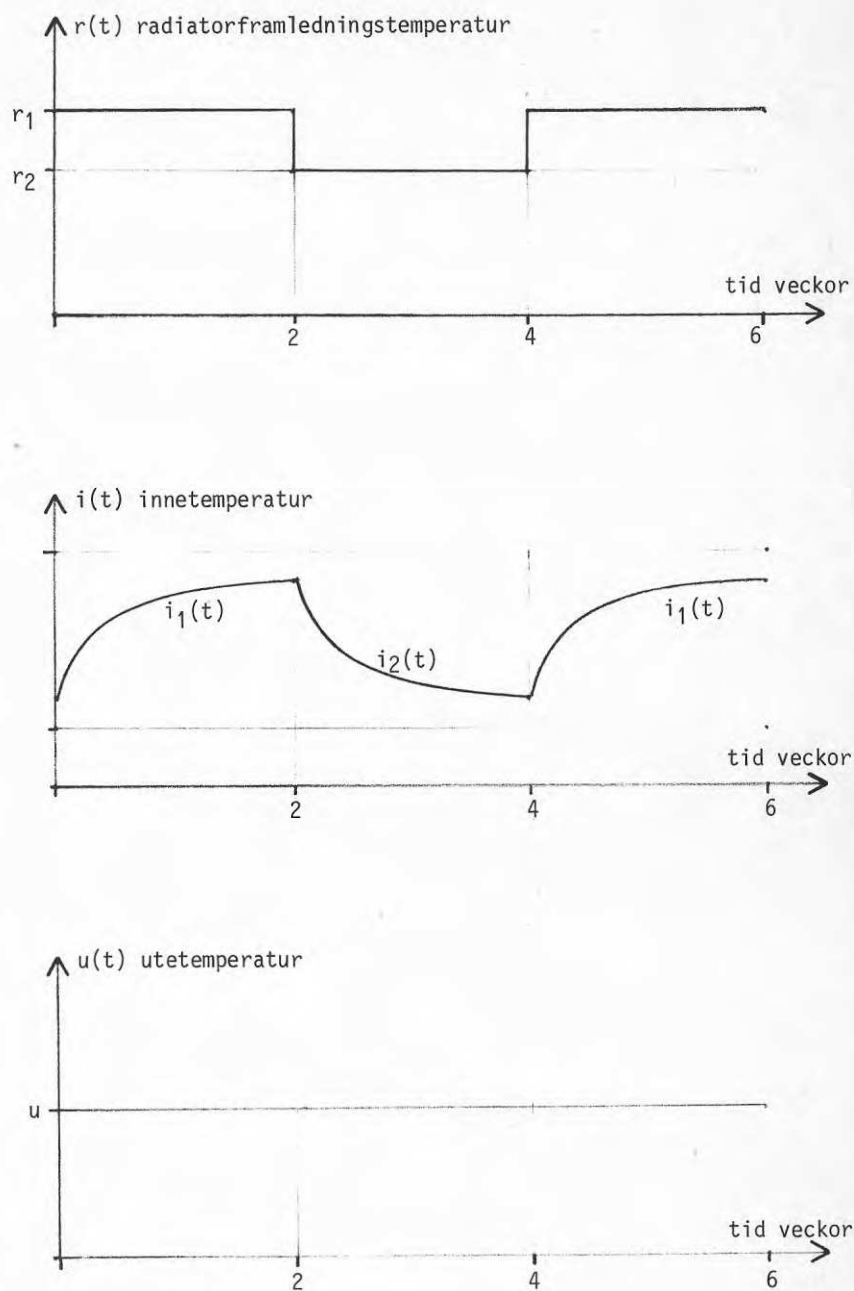


FIG.3.2 Nattsänkningens långtidsinverkan där dygnsförloppet har försummats.

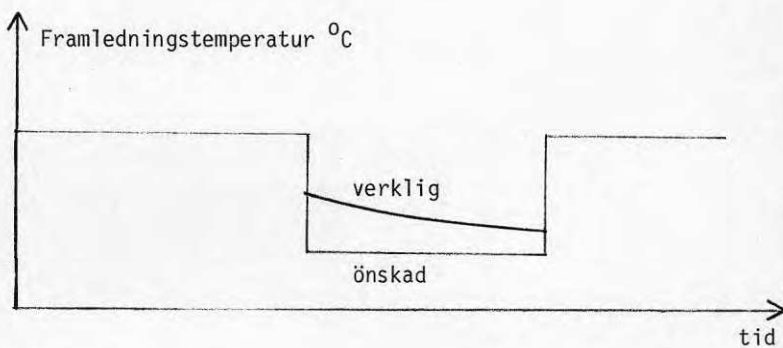
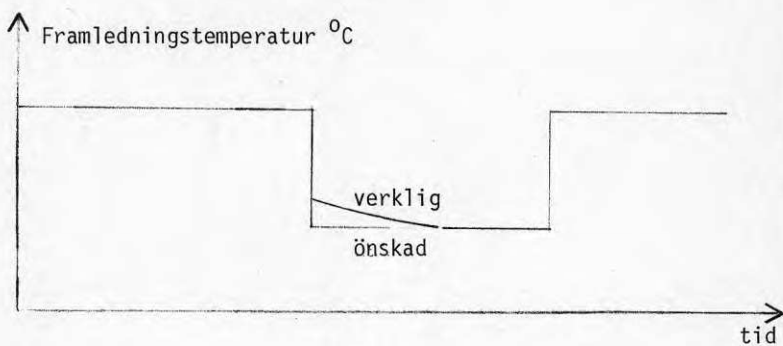
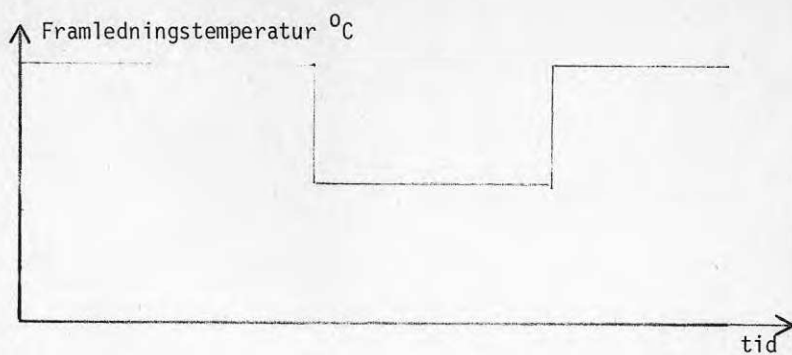


FIG.3.3 Radiatorsystemets inverkan på nattsänkningen; överst ingen inverkan, mitten liten inverkan och nederst stor inverkan.

TAB.3.1 Relativ, konstant och dynamisk besparing och relativ variation vid nattsänkning.

Tids- konstant T	Längd t_2 h	Nattsänkning relativ besparing		Relativ varia- tion g
		konstant f	dynamisk d	
12	6	0.406	0.594	0.354
"	8	0.445	0.555	0.414
"	10	0.489	0.511	0.450
24	6	0.661	0.339	0.185
"	8	0.691	0.309	0.218
"	10	0.722	0.278	0.238
48	6	0.821	0.179	0.093
"	8	0.839	0.161	0.111
"	10	0.857	0.143	0.121
72	6	0.879	0.121	0.062
"	8	0.891	0.109	0.074
"	10	0.904	0.096	0.081

TAB.3.2 Korrektion av försöksmetodens inverkan på nattsänkningen för olika tidskonstanter T och periodlängder p. Korrektion värmeförluster:

$$g_{av} = f_1(p, 0, p, T) \quad \text{alla veckor}$$

$$g_{sv} = f_1(p, p-168, p, T) \quad \text{bara sista veckan före byte}$$

$$g_{ifv} = f_1(p, 168, p, T) \quad \text{inte första veckan efter byte}$$

Korrektion tillfört väre alla veckor:

$$g_{1t} = f_2(p, 0, p, T, 1) \quad \text{lågtemperatursystem}$$

$$g_{ht} = f_2(p, 0, p, T, 0, 5) \quad \text{högtemperatursystem}$$

Tids- konstant T h	Periodlängd p h	Korrektioner				
		g_{av}	g_{sv}	g_{ifv}	g_{1t}	g_{ht}
24	168	1.399	1.399	-	.788	.875
	336	1.167	1.000	1.000	.875	.933
	504	1.105	1.000	1.000	.913	.955
	672	1.077	1.000	1.000	.933	.966
	840	1.061	1.000	1.000	.946	.072
48	168	2.164	2.164	-	.650	.788
	336	1.399	1.017	1.017	.779	.875
	504	1.235	1.001	1.009	.849	.913
	672	1.167	1.000	1.006	.875	.933
	840	1.129	1.000	1.004	.897	.946
72	168	3.397	3.397	-	.586	.739
	336	1.726	1.080	1.080	.704	.826
	504	1.399	1.007	1.043	.778	.875
	672	1.273	1.001	1.029	.824	.903
	840	1.207	1.000	1.021	.854	.921
96	168	5.114	5.114	-	.554	.713
	336	2.164	1.189	1.189	.650	.788
	504	1.605	1.029	1.106	.726	.841
	672	1.399	1.005	1.070	.778	.875
	840	1.296	1.001	1.052	.814	.897
120	168	7.320	7.320	-	.537	.698
	336	2.720	1.334	1.334	.613	.760
	504	1.859	1.069	1.195	.684	.842
	672	1.549	1.016	1.130	.738	.849
	840	1.399	1.004	1.096	.778	.875

TAB.3.3 Korrektionsfaktorer för radiatorsystemets inverkan på nattsänkningen (totalt g_t , dynamiskt g_d och statiskt g_s) för olika fram- och returtemperaturer t_{fram} och t_{retur} vid -20 °C och olika utetemperaturintervall ($u_{min}, 20$ °C). Nattsänkning 10 °C och 8 h. Radiator-systemets tidskonstant $T_{rad}=10$ min.

u_{min} °C	t_{fram} °C	t_{retur} °C	Korrektionsfaktor		
			g_t	g_d	g_s
-20.0	60.0	48.0	.665	.760	.875
	70.0	55.0	.732	.813	.900
	80.0	62.0	.776	.847	.917
	60.0	52.0	.515	.589	.875
	70.0	60.0	.610	.677	.900
	80.0	68.0	.675	.736	.917
	60.0	56.0	.270	.309	.875
	70.0	65.0	.338	.375	.900
	80.0	74.0	.405	.442	.917
-10.0	60.0	48.0	.553	.664	.833
	70.0	55.0	.642	.741	.867
	80.0	62.0	.702	.790	.889
	60.0	52.0	.391	.469	.833
	70.0	60.0	.486	.561	.867
	80.0	68.0	.567	.637	.889
	60.0	56.0	.203	.243	.833
	70.0	65.0	.253	.292	.867
	80.0	74.0	.304	.342	.889
0.0	60.0	48.0	.378	.504	.750
	70.0	55.0	.471	.589	.800
	80.0	62.0	.553	.664	.833
	60.0	52.0	.261	.348	.750
	70.0	60.0	.326	.407	.800
	80.0	68.0	.391	.469	.833
	60.0	56.0	.135	.180	.750
	70.0	65.0	.169	.211	.800
	80.0	74.0	.203	.243	.833

4 EXPERIMENTELL UTVÄRDERING

Mät databearbetning

All mät databearbetning har skett med hjälp av dator. De gjorda avläsningarna har skrivits in på ett dataelement för varje hus. Varje dataelement inleds med 8 rader som innehåller vardera hus nr, antal gjorda avläsningar, total lägenhetsyta m^2 , skalfaktor energimätare och vattenmätare, nummer på TT-mätare för innetemperatur nr 1, dito nr 2 och dito utetemperatur och därefter 4 reservrader. De följande raderna innehåller en avläsning per rad med 12 poster som är följande; vecko nr, datum (år, månad, dag), klockslag (timme, minut), nattsänkning antal dygn, 2 reservposter, värme- och vattenmängdsavläsningar, TT-mätare avläsningar för innetemperatur nr 1 och 2 och utetemperatur (i förekommande fall) och sist en reservpost.

Vid bearbetningen så beräknas först tidsintervallet mellan två avläsningar. Värme- och vattenmängd fås efter omskalning av skillnaden mellan de två avläsningarna. Ytterligare en omskalning görs till effekt och flöde per m^2 lägenhetsyta. Denna sista omskalning gör det möjligt att redovisa olika stora hus tillsammans. Medeltemperaturen för de tre TT-mätarna beräknas på liknande sätt efter uttrycket (2.1) och kalibreringskurvor i FIG.2.1.

Felaktigheter i avläsningstidpunkten påverkar alla de beräknade variablerna. Medelvärmeeffekten P , innetemperaturen i och utetemperaturer u beräknas som

$$P = k_v M_v / T_{int} \quad (4.1)$$

$$i = k_i M_i / T_{int} + l_i \quad (4.2)$$

$$u = k_u M_u / T_{int} + l_u \quad (4.3)$$

där k_v , k_i , l_i , k_u och l_u är skalningsparametrar och T_{int} är avläsningsintervallets längd. M_v , M_i och M_u är antalet pulser/markeringar. De tre uttrycken (4.1-3) ovan visar att ett fel i T_{int} påverkar

P , i och u olika eftersom skalningen inte är likformig. Om $l_i=0$ och $l_u=0$, då hade fel i T_{int} inte haft någon betydelse vid undersökning av linjära samband mellan dessa variabler.

Medelvärden för värmeeffekt i W/m^2 lghyta, innetemperatur nr 1 och 2, utetemperatur och temperaturskillnad inne-ute återges i TAB.4.1-4.3 för hela mätperioden, för nattsänkingsdelen och för icke nattsänkingsdelen. Skillnaden mellan nattsänkning och icke nattsänkning har också beräknats.

Spridning i medelvärden

Spridningen av innetemperaturernas medelvärden är följande

intervall från °C	frekvens
18 -	1
19 -	3
20 -	8
21 -	19
22 -	18
23 -	4
24 -	1
<hr/>	
Totalt	54

Antalet medelvärden är 54 då hus nr 20 fick uteslutas och 4 innetemperaturmätningar fick uteslutas på grund av diverse fel.

Fördelning för skillnaden i innetemperatur mellan icke nattsänkning och nattsänkning ger en grov bild (se nedan) över nattsänkningens effekt oberoende av andra faktorerers inverkan

intervall från °C	frekvens
-0.2 -	4
0.0 -	11
0.2 -	13
0.4 -	16
0.6 -	6
0.8 -	4
<hr/>	
Totalt	54

De uppmätta medelvärmeeffekterna fördelar sig som följer

intervall från	frekvens
W/m^2 lghyta	
20 -	3
30 -	10
40 -	12
50 -	4
<hr/>	
Totalt	29

Dessa siffror skall jämföras med en normal årsförbrukning på 240 kWh/år och m^2 lghyta, därav är 40 kWh/år och m^2 lghyta varmvattende- len vilket ger grovt 5 W/m^2 lghyta jämnt utslaget över året. Den resterande värmedelen slås ut på 5000 timmar (208 dygn), vilket ger en uppvärmningseffekt på 40 W/m^2 lghyta under eldningssäsong. Detta ger totalt en värmeeffekt på 45 W/m^2 lghyta under eldningssäsongen.

Skillnaden i värmeeffekt mellan icke nattsänkning och nattsänkning fördelar sig som följer

intervall från	frekvens
W/m^2 lghyta	
-2 -	7
-0 -	7
2 -	4
4 -	5
6 -	4
8 -	1
10 -	0
12 -	1
<hr/>	
Totalt	29

Det kan vara olämpligt att jämföra skillnader i värmeeffekt för olika hus eftersom husens utformning, isolerstandard och ventilation bestämmer värmeåtgången och därmed den tidigare redovisade värmeeffekten W/m^2 lghyta. Ett sätt att göra alla husen ännu mer jämförbara är att dividera värmeeffekten med medeleffekten så att en så kallad relativ värmeeffekt erhålls. Skillnaden i relativ värmeeffekt mellan fallen utan nattsänkning och med nattsänkning ger därför besparingen direkt i procent av totala värmebehovet för både uppvärmning och varmvattenberedning. Skillnaden i relativ värmeeffekt mellan

icke nattsänkning och nattsänkning fördelar sig som följer

intervall från frekvens

-0.04 -	6
0.00 -	6
0.04 -	2
0.08 -	2
0.12 -	9
0.16 -	3
0.20 -	0
0.24 -	1
<hr/>	
Totalt	29

En observation är att den relativa värmeeffekten fördelar sig i två grupper kring 0.00 och 0.12, vilket kanske är något oväntat. En förklaring till detta kan vara att utetemperaturen har varit lägre för gruppen kring värdet 0.00 än för gruppen kring värdet 0.12.

Medelvärde för samtliga hus

Medelvärdena har beräknats för värmeeffekt W/m^2 lghyta, relativ värmeeffekt, utetemperatur, innetemperatur och temperaturskillnad innetem- ute för samtliga hus. Samma sak har även gjorts för skillnaden mellan fallet utan nattsänkning och med nattsänkning och värdena återges i TAB.4.4-6.

Tre olika medelvärden har beräknats med avseende på mätdata, nämligen för alla mätveckor (av), för sista veckan i varje nattsänkingsperiod eller icke dito (sv) och för alla veckor utom den första mätveckan i varje nattsänkingsperiod eller icke dito (ifv). Skillnaden mellan de två sista bearbetningarna är inte stor eftersom nattsänkingsperioderna har varit två och tre veckor långa. Antalet ingående mätveckor för fallet (sv) är högst 10-11 eftersom fler byten har inte skett mellan nattsänkning och icke nattsänkning.

Siffrorna i TAB.4.4-6 är något förbryllande beroende på utetemperaturens störande inverkan. Om utetemperaturens inverkan vore densamma, då borde skillnaden i innetemperatur vara lägst för metod (av) och

högst för metod (sv). Samma sak gäller även för skillnaden i inne-ute-temperaturskillnad. Motsatt ordningsföljd borde gälla för skillnaden i värmeeffekt, som borde vara lägst för metod (sv) och högst för metod (av).

Besparingseffekten beräknad som kvoten mellan skillnadseffekt och totaleffekt ger 0.073 (2.96/40.58) eller 7.3%. Bakom denna uträkning ligger antagandet att ingen effekt går till varmvattenberedning, men antas varmvattenberedningseffekt vara 5 W/m^2 lghyta då fås besparingseffekten 0.083 (2.96/35.58) eller 8.3%. Observera att besparingseffekten är bara rättvisande om utetemperaturen har varit lika under perioder med och utan nattsänkning.

Besparingseffekten kan också beräknas som skillnad i innetemperatur dividerat med skillnaden i inne-utetemperatur, vilket ger 0.016 (0.37/22.91) eller 1.6%. Bakom denna beräkning av besparingseffekten ligger antagandet att det inte finns något gratisvärmestillskott från hushållen eller sol. Antag att gratisvärmestillskottet täcker värmebehovet ner till en given utetemperatur u_0 . Besparingseffekten beräknas då som $0.37/(u_0+1.17)$. Detta har gjorts nedan för några värden på u_0 .

u_0	besparingseffekt
$^{\circ}\text{C}$	%
10	3.3
12	2.8
14	2.4
16	2.2
18	1.9

Observera att det inte tagits hänsyn till att det varit lägre utetemperaturer när nattsänkning inte varit inkopplat. Sådana skillnader skall i och för sig inte betyda något eftersom reglerutrustningen skall kompensera för just uteklimatets variationer. Innetemperaturen skall därför vara oberoende av utetemperaturen. Det motsatta gäller för värmeeffekten som beror på utetemperaturen och reglerutrustningen.

De här redovisade besparingseffekterna beräknade på innetemperatur

eller värmeeffekt borde vara lika, men det skiljer grovt en faktor 3. En förklaring är att försöksmetoden underskattar skillnaden eller besparingen i innetemperatur och överskattar skillnaden eller besparingen i värmeeffekt och en annan att utetemperaturen påverkar skillnaden i värmeeffekt men inte i innetemperatur.

De i TAB.3.2 redovisade korrektionerna för försöksmetodens inverkan kan användas för att beräkna en felkattningskvot mellan de två besparingseffekterna. Detta har gjorts för några perioder och tidskonstanter nedan.

period p h	tidskonstant T h	lågtemperatur- system g_{lt}/g_{av}	högtemperatur- system g_{ht}/g_{av}
336	24	1.33	1.50
336	48	1.80	2.20
336	72	2.45	3.18
504	24	1.21	1.31
504	48	1.47	1.70
504	72	1.80	2.20

Siffrorna visar att det saknas en bit till faktorn 3 för mindre tidskonstanter.

Utetemperaturens inverkan

Utetemperaturens inverkan på skillnaden i innetemperatur, värmeeffekt och relativ värmeeffekt mellan ingen nattsänkning och nattsänkning skall undersökas med några enkla linjära regressionsmodeller.

I fortsättningen används följande beteckningar

$d_i = i_1 - i_2$	medelskillnaden i innetemperatur i mellan fallet utan och med nattsänkning för ett hus
$du = u_1 - u_2$	dito för utetemperatur u
$dP = P_1 - P_2$	dito för värmeeffekt P
$dp = p_1 - p_2$	dito för relativ värmeeffekt p

Skillnaden i innetemperatur mellan fallet utan och med nattsänkning kan beräknas genom att bilda skillnaden mellan uttrycken (3.20) och (3.21) vilket ger

$$di = i_1 - i_2 = \frac{hA}{(hA+kA)}(r_1 - r_2) + \frac{kA}{(hA+kA)}(u_1 - u_2) \quad (4.4)$$

Skillnaden $r_1 - r_2$ ersätts med \overline{nsb} temperatursänkningen utslaget över dygnet vilket ger att

$$di = \frac{hA}{(hA+kA)} \overline{nsb} + \frac{kA}{(hA+kA)} du \quad (4.5)$$

För ett högtemperatursystem gäller grovt att $2hA = kA$, vilket ger

$$di = \overline{nsb}/3 + 2du/3$$

Av uttrycket framgår det att innetemperaturskillnaden är starkt beroende av utetemperaturen om det inte finns någon styrning av framledningstemperaturen efter utetemperatur.

Reglerutrustningens uppgift är att variera framledningstemperaturen r linjärt med utetemperaturen u , vilket kan skrivas

$$r = ku + l \quad (4.6)$$

och används detta uttryck i (4.4) och sätts nattsänkningen till noll då fås

$$di = \frac{hA}{(hA+kA)} k(u_1 - u_2) + \frac{kA}{(hA+kA)} (u_1 - u_2) \quad (4.7)$$

eller förenklat till

$$di = \frac{(hAk+kA)}{(hA+kA)} du \quad (4.8)$$

Om reglerparametern k valts felaktigt så beror skillnaden di på dito du . Rätt val är givetvis $k = -kA/hA$. Reglerparametern l , som svarar för parallellförskjutningen, har ingen inverkan.

Skillnaden i värmeeffekt dP kan enkelt beräknas som

$$dP = hA((r_1 - i_1) - (r_2 - i_2)) \quad (4.9)$$

och med utnyttjande av (4.4) och

$$r_1 = ku_1 + 1 \quad (4.10)$$

$$r_2 = ku_2 + 1 - \overline{nsb} \quad (4.11)$$

så fås att

$$dP = \frac{hAkA}{(hA+kA)} ((k-1)du + \overline{nsb}) \quad (4.12)$$

Parametern k är alltid negativ och därför beror dP både på skillnaden du och på \overline{nsb} .

Uppmätt innetemperaturskillnad

En enkel redovisning av skillnaden i innetemperatur mellan ingen nattsänkning och nattsänkning, d_i , ges i FIG.4.1 som funktion av motsvarande skillnad i utetemperatur, du . Något synbart samband mellan de två temperaturskillnaderna d_i och du finns inte, vilket är helt i sin ordning då reglercentralens klimatkompenseringsfunktion håller innetemperaturen i stort sett konstant oberoende av utetemperaturen.

De i FIG.4.1 redovisade mätdata har anpassats till modellen nedan

$$d_i = a + b(du - \overline{du}) + e \quad (4.13)$$

där a och b är modellparametrar, \overline{du} är medelvärdet för du och e är modellfelet. Skillnaden i innetemperatur d_i mellan ingen nattsänkning och nattsänkning vid samma utetemperatur fås genom att sätta $du=0$, vilket ger

$$d_{i_0} = a - b \overline{du} \quad (4.14)$$

Om modellfelen antas vara normalfördelade, då är det möjligt att beräkna ett konfidensintervall med en given konfidensgrad c , dvs att för givet du och med en given sannolikhet $1-c$ ligger di i ett beräknat intervall. Konfidensintervallet fås som

$$di = \hat{a} + \hat{b}(du - \bar{du}) \pm s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(du - \bar{du})^2}{S_{du}^2}} t_{c/2}(n-2) \quad (4.15)$$

där \hat{a} och \hat{b} är skattade modellparametrar till (4.13), s är den skattade standardavvikelsen, n är antalet observationer (antalet hus) och $t_{c/2}(n-2)$ är t -fördelningsfunktionen.

Parametrarna \hat{a} , \hat{b} och s skattas med hjälp av de beräknade summorna

$$S_{du}^2 = \sum_{i=1}^n (du_i - \bar{du})^2 \quad (4.16)$$

$$S_{dudi} = \sum_{i=1}^n (du_i - \bar{du})(di_i - \bar{di}) \quad (4.17)$$

$$S_{di}^2 = \sum_{i=1}^n (di_i - \bar{di})^2 \quad (4.18)$$

Modellparametrarna fås som

$$\hat{a} = \bar{di} = \sum_{i=1}^n di_i / n \quad (4.19)$$

$$\hat{b} = S_{dudi} / S_{du}^2 \quad (4.20)$$

$$s^2 = (S_{di}^2 - (S_{dudi})^2 / S_{du}^2) / (n-2) \quad (4.21)$$

Korrelation r som anger hur beroende di är av du kan beräknas som

$$r = S_{dudi} / (S_{du}^2 S_{di}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4.22)$$

Modellparametrarna a och b , korrelationskoefficienten r , värdet di_0 (enligt 4.6) och ett konfidensintervall för sannolikheten 99% anges

i TAB.4.7 för modellen (4.5) och för de tre mätdatafallen (av), (sv) och (ifv). För sannolikheten 90% och 99.9% så ändras det i TAB. 4.7 angivna intervallet med en faktor 0.63 resp 1.33 kring medelvärdet för intervallet som är d_{i0} . Tre fall av försökshus har undersökts, nämligen 29 st, 20 st och 9 st.

I gruppen med 29 hus ingår inte hus nr 20. I gruppen med 20 hus har alla hus utslutits som uppvisade liten inverkan av nattsänkning i enkla linjära regressionsmodeller. Nattsänkningen gav i vissa fall felaktig inverkan (högre innetemperatur, högre värmeeffekt). De utslutna husen var i denna grupp hus nr 6, 11, 12, 15, 16, 20, 22, 26, 27 och 28.

I den minsta gruppen med 9 hus valdes hus 1-10 utom hus 6 ut efter att ha sett på innetemperatur som funktion av utetemperatur och dito för värmeeffekten. Alla hus med avvikande mätvärden slopades.

Siffrorna i TAB.4.7 visar att medelsänkningen i innetemperatur d_{i0} är 0.37 °C, 0.34 °C och 0.47 °C för de tre mätmetoderna av, sv och ifv och för fallet 29 hus. Egentligen så borde sv-värdet vara störst och av-värdet borde vara minst. De erhållna värdena är okorrigerade för försöksmetodens inverkan. Försöksmetodens inverkan kan överskattas genom att välja en lång tidskonstant på två dygn ($T=48$ h) och en kort periodtid på två veckor ($p=336$ h) och på tre veckor ($p=504$ h) och då fås följande korrektioner enligt TAB.3.2

	p=336 h	p=504 h
g_{av}	1.399	1.235
g_{sv}	1.017	1.001
g_{ifv}	1.017	1.009

Metoderna sv och ifv är identiska.

Nedan görs en sammanställning av de korrigerade värdena för fallen 29 och 9 hus.

antal hus metod	Innetemperaturändring °C					
	Okorrigerat		Korrigerat			
	29	9	p=336 h 29	9	p=504 h 29	9
av	0.37	0.52	0.52	0.73	0.46	0.64
sv	0.34	0.55	0.35	0.56	0.34	0.55
ifv	0.47	0.64	0.48	0.65	0.47	0.65

Värdena för metoderna av och ifv stämmer bra överens medan metod sv ger ett avvikande värde.

Utetemperaturberoendet är litet då parametern b är liten och korrelationskoefficienten r är nära noll, vilket är väntat då reglerutrustningen skall hålla innetemperaturen konstant oberoende av utetemperaturen.

Jämförelse beräknad och uppmätt innetemperaturskillnad

Nattsänkning har genomgående varit $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ och omfattat 8 h (se TAB. 2.2). Skillnaden i innetemperatur mellan fallet utan nattsänkning och fallet med kan beräknas enligt (3.23)

$$d_i = i_1 - i_2 = \text{nsb} \frac{hA}{(hA+kA)}$$

Observera att här står nsb för medelsänkning över dygnet i radiator-temperatur, som i det aktuella fallet är $3.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($10\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 8\text{h}/24\text{h}$). Kvoten $hA/(hA+kA)$ varierar från 0.33 för högtemperatursystem och till 0.5 för lågtemperatursystem. För ett högtemperatursystem fås temperaturskillnaden

$$d_i = i_1 - i_2 = 3.3 \cdot 0.33 = 1.11\text{ }^{\circ}\text{C}$$

under förutsättning att utetemperaturen är densamma. Denna skillnad skall jämföras med den uppmätta och korrigerade på $0.5\text{--}0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ för

mätmetoden (av). En del av skillnaden kan förklaras av radiatorsystemets inverkan, men endast en mindre del och inte hela skillnaden.

Slutsatsen är att de beräknade siffrorna ej stämmer med de uppmätta trots de gjorda korrektionerna.

En korrektion för radiatorsystemets inverkan är svår att göra, då temperaturfallet i de aktuella radiatorsystemen är okända. Det kan påpekas att den inställda framledningstemperaturkurvan inte säger något om returledningstemperaturen eller temperaturfallet.

Någon kontroll har heller inte gjorts av reglercentralerna att den inställda nattsänkningen på 10 °C verkligen resulterar i en sänkning av framledningstemperaturen på 10 °C. Ett systematiskt fel kan orsakas av ett skalfel.

En korrekt fungerande reglercentral är heller ingen garanti för att den inställda nattsänkningen uppnås, eftersom en läckande reglerventil dämpar nerregleringen av framledningstemperaturen. Detta har stor inverkan när radiatorsystemet arbetar med små temperaturskillnader.

Uppmätt värmeeffektskillnad

Värmeeffekten har behandlats på samma sätt som innetemperaturen. Modellen är i detta fall

$$dP = a + b(du - \bar{d}\bar{u}) + e \quad (4.23)$$

Medelbesparingen blir därför med hänsyn tagen till att utetemperaturen inte varit den samma under icke nattsänkning som under nattsänkning följande

$$dP_0 = a - b \bar{d}\bar{u} \quad (4.24)$$

I TAB.4.8 återges de beräknade parametrarna a , b , dP_0 , korrelationskoefficienten r och ett konfidensintervall (dP_1, dP_2) för modellen

(4.23) med sannolikheten 99% för de tre mätmetoderna (av), (sv) och (ifv) och för fallen 29, 20 och 9 hus. Medelvärdena för dP har ritats upp som funktion av du för varje försökshus i FIG.4.2.

Medelbesparingen fås som dP_0 och den är okorrigerad 2.35 W/m^2 lghyta, 2.91 W/m^2 lghyta och 1.47 W/m^2 lghyta för fallet 29 hus. Storleksordningen borde vara störst, minst och mitt emellan. De tre korrektionsfaktorerna h_{av} , h_{sv} och h_{ifv} för $T=48$ h, $hA/kA=0.5$ och $p=336$ h och $p=504$ h kan beräknas enligt (3.42) och (3.56) och är som följer

	p=336 h	p=504 h
h_{av}	0.875	0.913
h_{sv}	0.992	0.999
h_{ifv}	0.992	0.995

Mätmetod	Medeleffektändring W/m^2 lghyta					
	Okorrigerat		Korrigerat			
	antal hus	9	p=336 h		p=504 h	
29			9	29	9	
mätmetod						
av	2.35	3.05	1.50	1.94	1.70	2.21
sv	2.91	2.67	2.89	2.65	2.91	2.67
ifv	1.47	2.55	1.46	2.53	1.46	2.54

Värdena för fallen (av) och (ifv) ligger i närheten av varandra medan fallet (sv) avviker markant.

Skillnaden i relativa värmeeffekten har behandlats på samma sätt som skillnaden i innetemperatur och värmeeffekt. Modellen

$$dp = a + b(du - \overline{du}) + e \quad (4.25)$$

har anpassats till mätdata från de 29 husen och resultatet återges i TAB.4.9. Medelskillnaden oberoende av utetemperaturen ($du=0$) fås som

$$dp_0 = a - b\overline{du} \quad (4.26)$$

Korrelationskoefficienterna i TAB.4.7 är -0.79, -0.76 och -0.98 för fallen (av), (sv) resp (ifv). Korrelation är också högre än för motsvarande fall med värmeeffektskillnaden i TAB.4.6.

Skillnaden i den relativa värmeeffekten korrigeras på samma sätt som för värmeeffekten. Nedan görs en sammanställning

Mätmetod	Okorrigerat		Korrigerat			
			p=336 h		p=504 h	
antal hus	29	9	29	9	29	9
mätmetod						
av	0.058	0.078	0.037	0.050	0.042	0.056
sv	0.070	0.067	0.069	0.066	0.070	0.067
ifv	0.038	0.063	0.038	0.062	0.038	0.063

Värdena för mätmetod (av) och (ifv) stämmer något så när, medan mätmetoden (sv) avviker.

Jämförelse beräknad och experimentell effektskillnad

Värmeförbrukningen i ett bostadshus ligger omkring $240 \text{ kWh/m}^2\text{lghyta}$ därav $40 \text{ kWh/m}^2\text{lghyta}$ för varmvatten. Medeleffekten för varmvatten blir då högst $5 \text{ W/m}^2\text{lghyta}$. Om eldningssäsongens längd antas vara 5000 h så blir medeleffekten för uppvärmning $40 \text{ W/m}^2\text{lghyta}$. Medeleffekten för värme under eldningssäsongen blir då omkring $45 \text{ W/m}^2\text{lghyta}$.

Medelvärmeeffekten för alla hus har uppmätts till $40.6 \text{ W/m}^2\text{lghyta}$. Medeleffekten för uppvärmning uppskattas då till $36 \text{ W/m}^2\text{lghyta}$.

Hur stor blir besparingen för en given nattsänkning? Nattsänkningen har varit på $10 \text{ }^\circ\text{C}$ och 8 h genomgående. Värmeeffekten kan sägas vara proportionell mot temperaturskillnaden framledning och innetemperatur. Utetemperaturens medelvärde har varit $-1.2 \text{ }^\circ\text{C}$. Detta ger en genomsnittlig framledningstemperatur på $50 \text{ }^\circ\text{C}$ enligt reglerkurvorna i TAB.2.2. Innetemperaturens medelvärde har varit $21.7 \text{ }^\circ\text{C}$. Tempera-

turskillnaden framledning och innetemperatur blir då omkring 28°C och när nattsänkning används, så minskas denna temperaturskillnad med 3.3°C . Besparingen blir därför omkring 11% ($3.3/28$) eller omkring $4\text{ W/m}^2\text{lghyta}$ (0.11×36). Detta värde skall egentligen också justeras för radiatorsystemets inverkan enligt faktorn g_t i TAB.3.3, men detta görs inte eftersom korrektion är mycket osäker.

Den uppmätta och för försöksmetoden korrigerade värmeeffekten är omkring $1.5\text{ W/m}^2\text{lghyta}$. Skillnaden till den beräknade värmeeffektskillnaden på omkring $4\text{ W/m}^2\text{lghyta}$ är också avsevärd och av samma storleksordning som för fallet med innetemperaturskillnaden och beräknas kvoterna mellan uppmätt och beräknad innetemperaturskillnad och värmeeffektskillnad fås 0.45 ($0.5/1.11$) resp 0.37 ($1.5/4.0$). De uppmätta korrigerade värdena är alltså endast omkring 50% av de beräknade. Denna skillnad kan inte bara bero på radiatorsystemet utan också på andra orsaker som att nattsänkningens storlek inte stämmer eller att nattsänkningen inte har kopplats in och ur enligt det på avläsningsblanketten angivna sättet.

Ett problem med de gjorda korrektionerna är att de förutsätter att byggnadens dynamik kan beskrivas med ett första ordningens system och med en given tidskonstant. Tidskonstanten har antagits vara 2 dygn. En högre antagen tidskonstant hade medfört att den korrigerade värmeeffektskillnaden hade minskat ytterligare och samtidigt som den korrigerade innetemperaturskillnaden hade ökat. Kvoterna mellan mätt korrigerad skillnad och beräknad skillnad är förhållandevis lika för de två fallen innetemperatur och värmeeffekt när korrektioner gjorts för tidskonstanten $T=48\text{ h}$. Kvoterna skulle därför bli mer olika för större tidskonstanter.

Ett grovt överslag på tidskonstanten T beräknad enligt (3.29) kan vara av intresse ur jämförelsesynpunkt. Parametrarna C , hA och kA uppskattas för $1\text{ m}^2\text{ lghyta}$ som följer. Den termiska massan antas motsvara 0.4 m^3 betong, vilket ger

$$C = 0.4\text{ m}^3 \cdot 2200\text{ kg/m}^3 \cdot 960\text{ J/kg}^{\circ}\text{C} = 844800\text{ J}^{\circ}\text{C}$$

Radiatorvärmeeffekten uppskattas till 36 W vid en temperaturskillnad på 30 °C mellan en framledningstemperatur på 52 °C och en inne-temperatur på 22 °C. Detta ger att

$$hA = 36 \text{ W}/30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 1.2 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$$

Samma radiatorvärmeeffekt antas täcka uppvärmningen upp till en utetemperatur på 17 °C. Den genomsnittliga utetemperaturen har varit -1 °C, vilket då ger att

$$kA = 36 \text{ W}/(17 \text{ }^{\circ}\text{C} - (-1) \text{ }^{\circ}\text{C}) = 2.0 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$$

och slutligen fås att

$$T = C/(hA+kA) = 844800 \text{ J}/^{\circ}\text{C} / 3.2 \text{ W}/^{\circ}\text{C} = 264000 \text{ s}$$

$$\approx 73 \text{ h} \approx 3 \text{ dygn}$$

Försök till bestämning av tidskonstant

Antag att innetemperaturen kan beskrivas med följande första ordningens differentialekvation, vars tidskonstant är T och med en allmän insignal $\tilde{u}(t)$ och som har förstärkningen g . Differentialekvationen blir då

$$T \dot{i}(t) = -i(t) + g \tilde{u}(t) \quad (4.27)$$

Termen $g \tilde{u}(t)$ med den allmänna signalen är tänkt att vara en linjär kombination av signaler.

$$g \tilde{u}(t) = g_1 \tilde{u}_1(t) + g_2 \tilde{u}_2(t) + \dots + g_n \tilde{u}_n(t) \quad (4.28)$$

I det aktuella fallet så har antalet signaler varit fyra ($n=4$), där

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1(t) & \text{ medeleffekt, W/m}^2 \text{ lghyta} \\ \tilde{u}_2(t) & \text{ medeltemperatur, } ^\circ\text{C} \\ \tilde{u}_3(t) & \text{ nattsänkning, antal dygn} \\ \tilde{u}_4(t) & \text{ konstant} \end{aligned}$$

Antag vidare att signalen $\tilde{u}(t)$ är konstant under tidsintervallet $(t, t+p)$. Innetemperaturen $i(t+p)$ kan nu skrivas som

$$i(t+p) = e^{-p/T} i(t) + \int_t^{t+p} e^{-(t-s)/T} g \tilde{u}(t) ds/T \quad (4.29)$$

och om $\tilde{u}(t)$ är konstant under tidsintervallet $(t, t+p)$ då kan (4.29) förenklas till

$$i(t+p) = a i(t) + (1-a)g \tilde{u}(t) \quad (4.30)$$

där

$$a = e^{-p/T} \quad (4.31)$$

Om $\tilde{u}(t)$ är konstant uppdelat på två tidsintervall $(t, t+q)$ och $(t+q, t+p)$ med värdena $\tilde{u}(t)$ och $\tilde{u}(t+p)$, då förändras (4.30) till följande

$$i(t+p) = a i(t) + g(\tilde{u}(t+p) - a\tilde{u}(t) + (\tilde{u}(t) - \tilde{u}(t+p))e^{-q/T}) \quad (4.32)$$

Ovanstående är bara ett samband mellan två momentana temperaturer $i(t+p)$ och $i(t)$ och den under tidsperioden p konstanta insignalen $\tilde{u}(t)$. Mätningarna, som har gjorts, är inte momentana utan ackumulerade värden för en given tidsperiod. Om sambandet (4.32) integreras över en tidsperiod p vilket ger att

$$\int_0^p i(t+p+s) ds = a \int_0^p i(t+s) ds + \int_0^p g(\tilde{u}(t+p) - a\tilde{u}(t) + (\tilde{u}(t) - \tilde{u}(t+p))e^{-q/T}) dq \quad (4.33)$$

De två integralerna för innetemperaturen motsvarar uppmätta medelvärden betecknade med $\tilde{i}(t)$ och $\tilde{i}(t+p)$. Den tredje integralen löses och då fås

$$\begin{aligned} \tilde{i}(t+p) &= a \tilde{i}(t) + \\ &+ g(1 - (1-a)T/p)\tilde{u}(t+p) + \\ &+ g((1-a)T/p - a)\tilde{u}(t) \end{aligned} \quad (4.34)$$

Om $\tilde{u}(t) = \tilde{u}(t+p)$ då förenklas (4.34)

$$\tilde{i}(t+p) = a \tilde{i}(t) + g(1-a)\tilde{u}(t) \quad (4.35)$$

vilket mer liknar ett första ordningens system.

Avsikten med modellen (4, 34) är att beräkna tidskonstanten T med hjälp av uppmätta värden på $\tilde{i}(t)$ och $\tilde{u}(t)$. Tidskonstanten T har inte kunnat bestämmas direkt utan istället så har ett antal olika värden provats, nämligen följande; 0,3,6,12,18,24,48,72,96 och 120 timmar. Modellen har ändrats till

$$\tilde{y}(t+p) = g \tilde{v}(t+p) + e(t+p) \quad (4.36)$$

där

$$\tilde{y}(t+p) = (\tilde{i}(t+p) - a \tilde{i}(t)) / (1-a) \quad (4.37)$$

och

$$\tilde{v}(t+p) = ((1-(1-a)T/p) \tilde{u}(t+p) + ((1-a)T/p - a) \tilde{u}(t)) / (1-a) \quad (4.38)$$

$e(t+p)$ är modellfel

Minsta kvadratmetoden har använts för att minimera modellfelets ($e(t+p)$), summakvadrat i modellen (4.36). Detta har gjorts för de tidigare angivna tidskonstanterna T . Den tidskonstant T som har gett lägst summakvadrat för modellfelet har bestämt modellens tidskonstant.

Modellanpassningen har också skett för fall där mätdata har slopats, men detta medför att modeller med olika tidskonstanter kan ha slopat helt olika mätdata. Detta medför i sin tur att modellfelets summakvadrat beräknas för olika mätdata och därför så är det inte rätt att jämföra de olika modellernas summakvadratfel, vilket har gjorts. Fallet med inga slopade mätdata är givetvis helt jämförbart. I TAB. 4.10 återges de funna tidskonstanterna för de 29 försökshusen och för olika antal slopade mätdata.

Siffrorna i TAB.4.10 visar att för inga slopade mätdata så blir tidskonstanter mindre eller lika med 3 timmar i 13 fall och större eller lika med 24 timmar i resterade 16 fall. När mätdata slopas så sker en förskjutning mot högre tidskonstanter.

I TAB.4.11 görs en sammanställning av fördelningen av de erhållna tidskonstanterna för de 29 försökshusen.

Jämförelse med andra mätningar

Noggranna mätningar timme för timme har genomförts på ett flerbostadshus i Malmö. Arbetet har avrapporterats i R9:1982. Huset värms med radiatorer i ett tvårörssystem och ventileras med ett frånluftssystem. Mätningar har skett varje timme av bland annat fram- och returtemperatur till radiatorsystem, frånluftstemperatur för var och en av fyra frånluftssystem (ett per trapphus), utetemperatur och radiator effekt. Frånluftstemperaturen ger ett bra medelvärde för innetemperaturen för flera lägenheter.

I FIG.4.3-6 redovisas utetemperatur, fram- och returtemperatur, frånluftstemperatur och totaleffekt värmeeffekt för tiden 19/3-22/3 1979.

Medeltemperaturerna i FIG.4.3-5 har uppskattats för

ute	-4 °C
fram	54 °C
retur	44 °C
inne	23 °C

Nattsänkningen uppskattas grovt till 10 °C under 6 timmar. Besparingskvoten fås enkelt som $10 \cdot 6 / (24 \cdot (54 - 23))$ till 0.08 eller 8%. En mycket grov uppskattning av nattsänkningens dynamiska inverkan på innetemperaturen görs med hjälp av frånluftstemperaturen i FIG.4.5. Frånluftstemperaturen varierar bortsett från en långsam uppgång över hela perioden högst 1 °C eller i genomsnitt 0.5 °C. Besparingskvoten för innetemperaturen beräknas som $24 \cdot 0.5 / (24 \cdot (23 - 4))$ till 0.02 eller 2%.

Skillnaderna i de två besparingseffekterna kan tolkas som att nattsänkningen består till tre fjärdedelar av en konstant besparing och till en fjärdedel av en varierande besparing (den egentliga nattsänkningen).

Om nattsänkning kopplas bort, så visar det sig att innetemperaturen varierar över dygnet orsakat av de boendes aktivitet. Detta innebär

att den normala nattsänkningen förstärks. I FIG.4.7-9 återges samma temperaturer som innan i FIG.4.3-5 för ett fall där nattsänkningen är bortkopplad och där en viss reglering sker efter just frånluft-temperaturen. Dygnsvariationerna i FIG.4.9 uppskattas i detta fall till högst 0.5 °C. Besparingskvoten beräknad för denna ofrivilliga nattsänkning fås som $24 \cdot 0.25 / (24 \cdot (22 - (-5)))$ till 0.01 eller 1%. Detta innebär att nattsänkningen i FIG.4.5 består till hälften av riktig nattsänkning och till andra hälften av ofrivillig eller naturlig nattsänkning.

Denna uppdelning av nattsänkningen blir också naturlig om byggnadens totala eleffekt och uppvärmningseffekt ritas upp som funktion av tiden. Detta har gjorts i FIG.4.6 och FIG.4.10. Kurvorna visar att både den totala eleffekten och uppvärmningseffekten sjunker lika mycket i början av natten. Den uppritade summaeffekten visar hur de två effekterna samverkar och förstärker nattsänkningen.

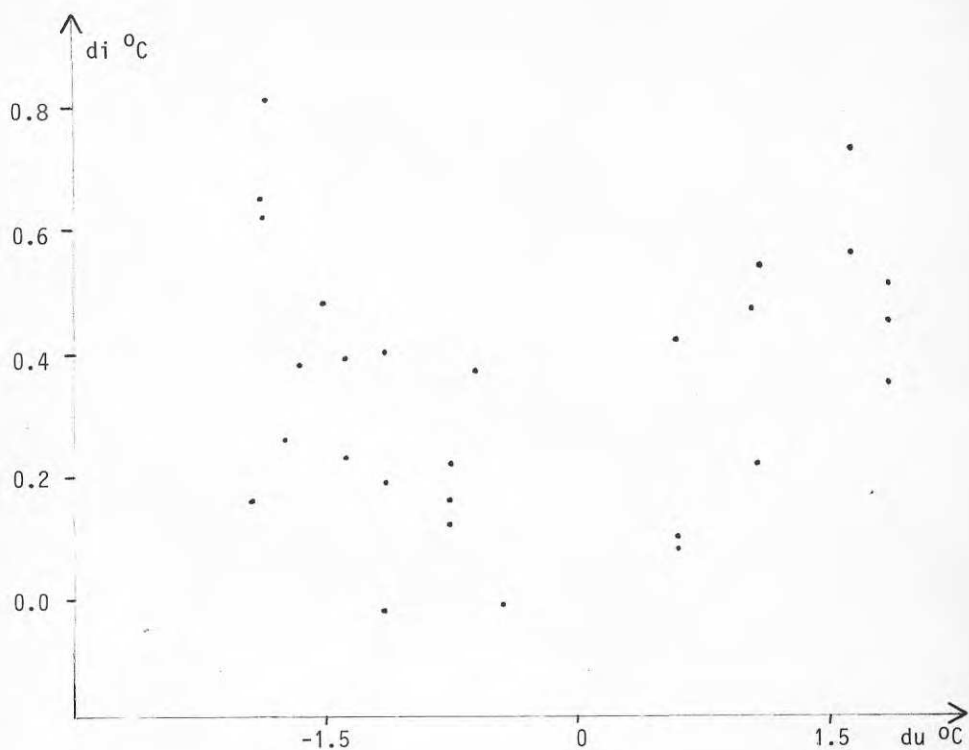


FIG.4.1 Skillnad i innetemperatur mellan fallet utan och med nattsänkning d_i som funktion av samma skillnad i utetemperatur d_u för 29 hus.

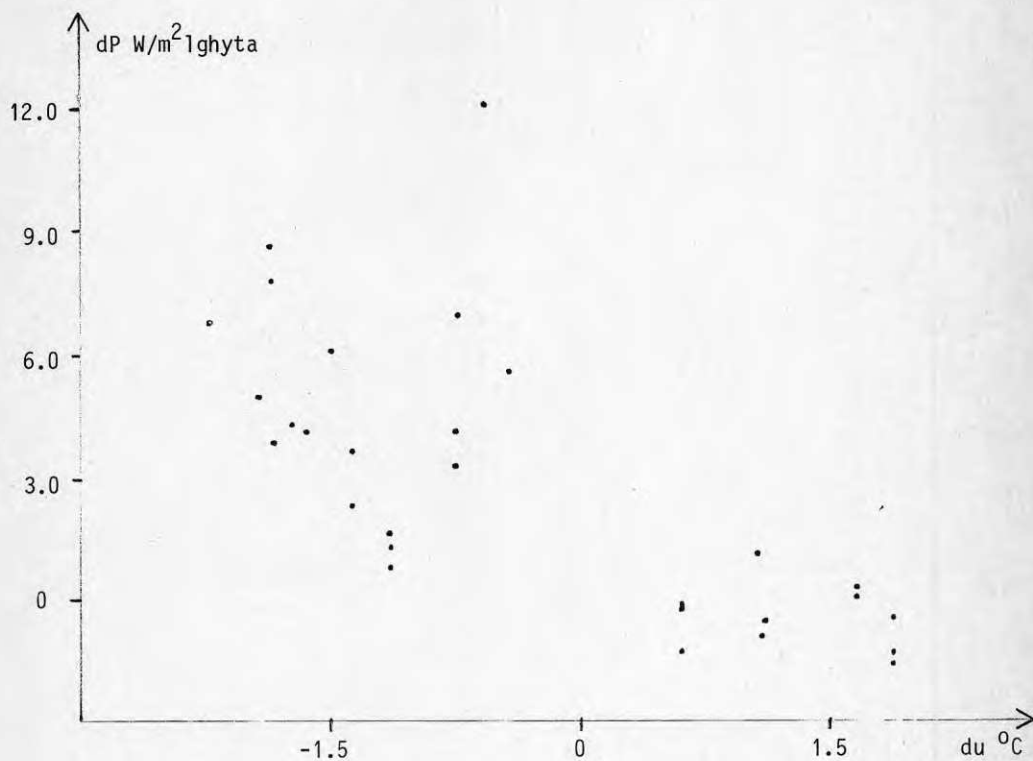


FIG.4.2 Skillnad i värmeeffekt mellan fallet utan och med nattsänkning dP som funktion av samma skillnad i utetemperatur du för 29 hus.

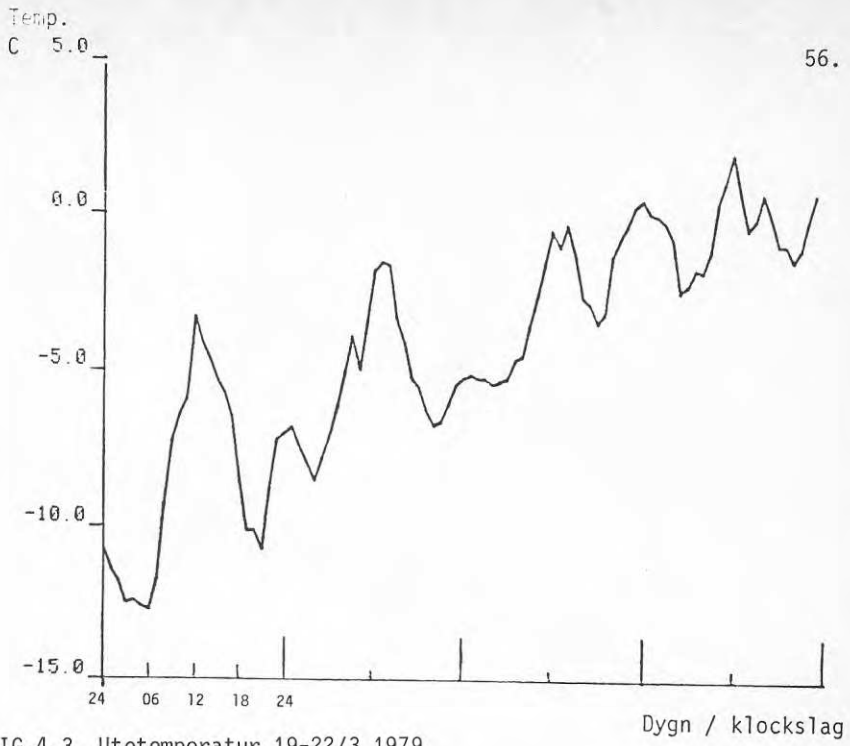


FIG.4.3 Utetemperatur 19-22/3 1979

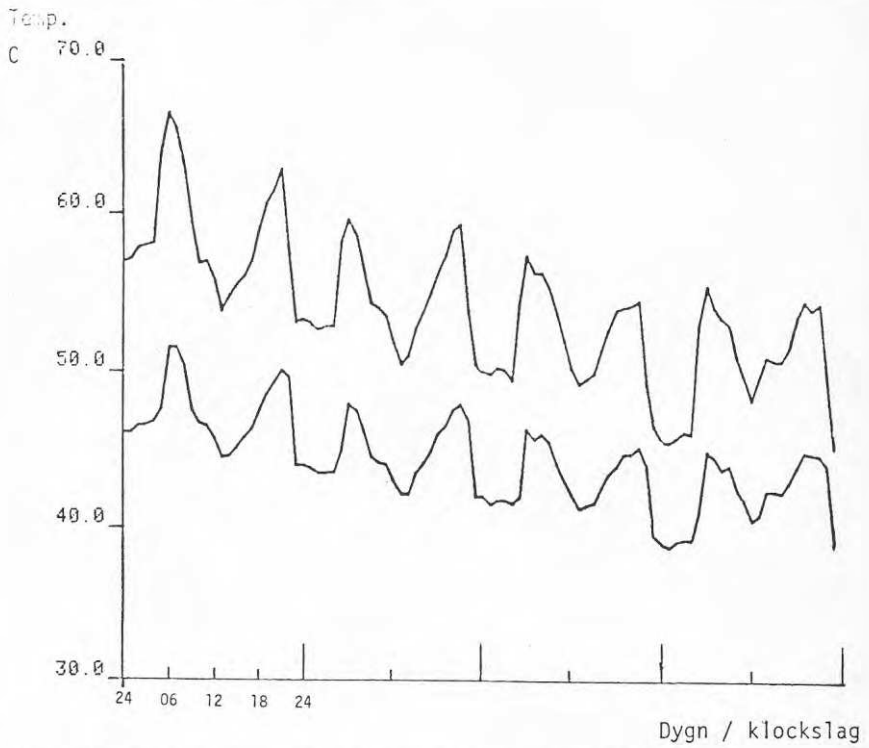


FIG.4.4 Framledning- och returtemperatur 19-22/3 1979

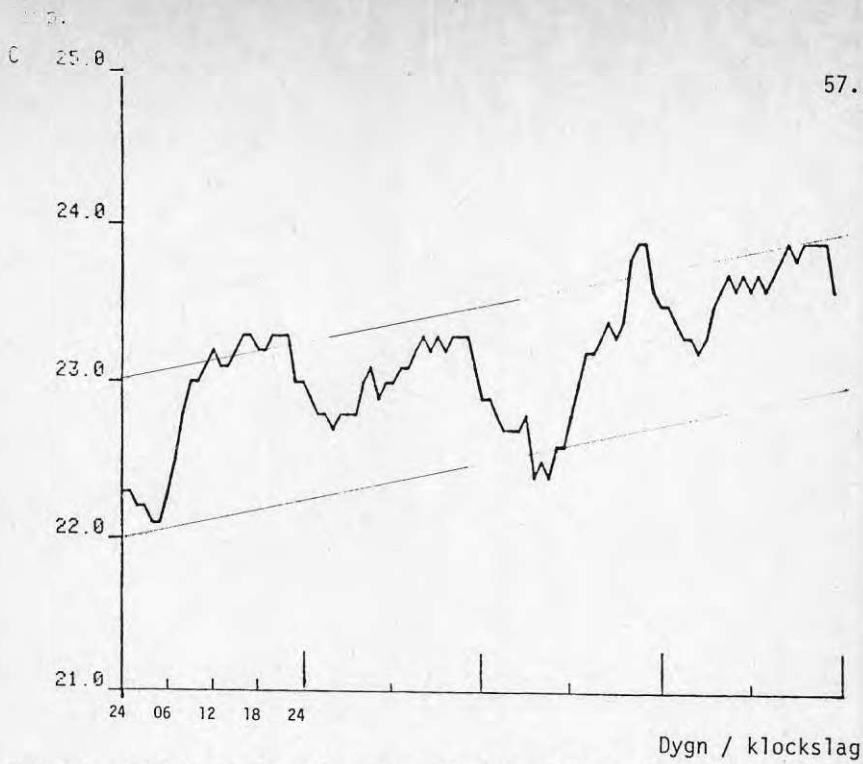


FIG.4.5 Medeltemperatur för fyra frånluftsfläktar 19-22/3 1979

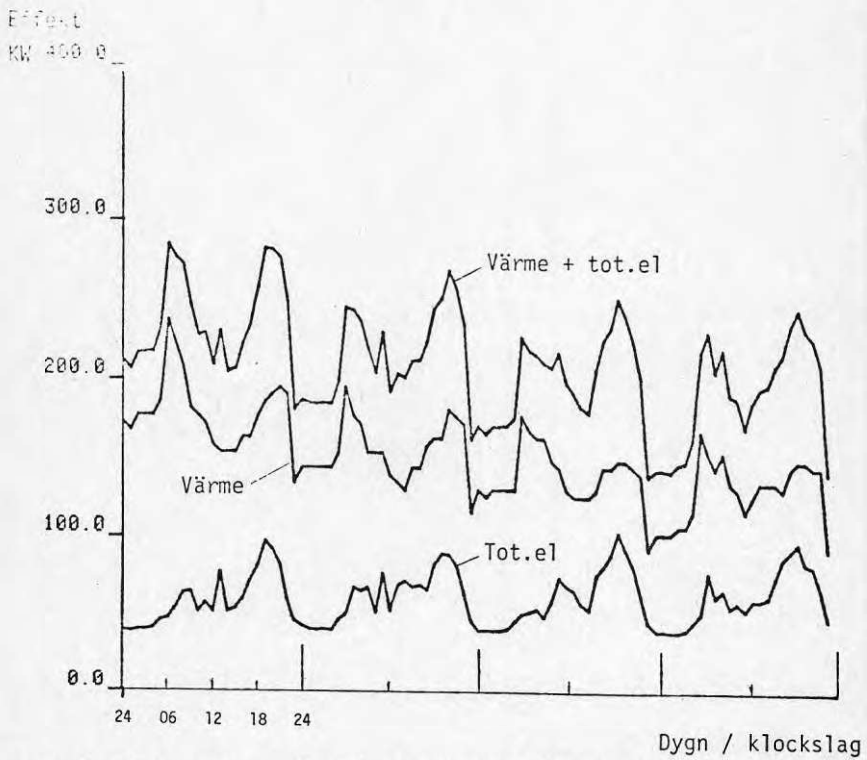


FIG.4.6 Värmeeffekt, totalel och summan 19-22/3 1979

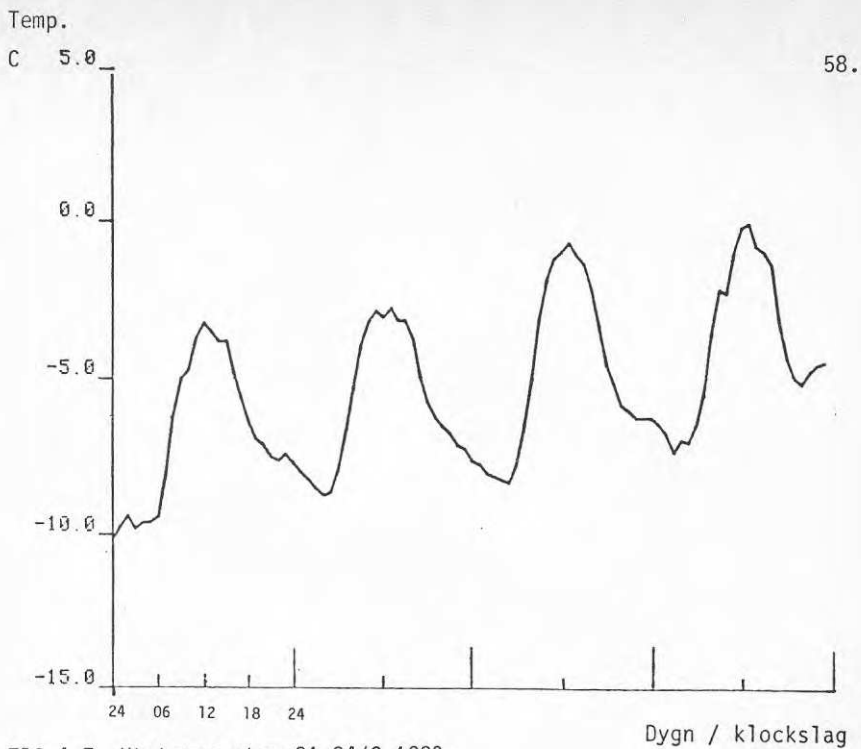


FIG.4.7 Utetemperatur 21-24/3 1980

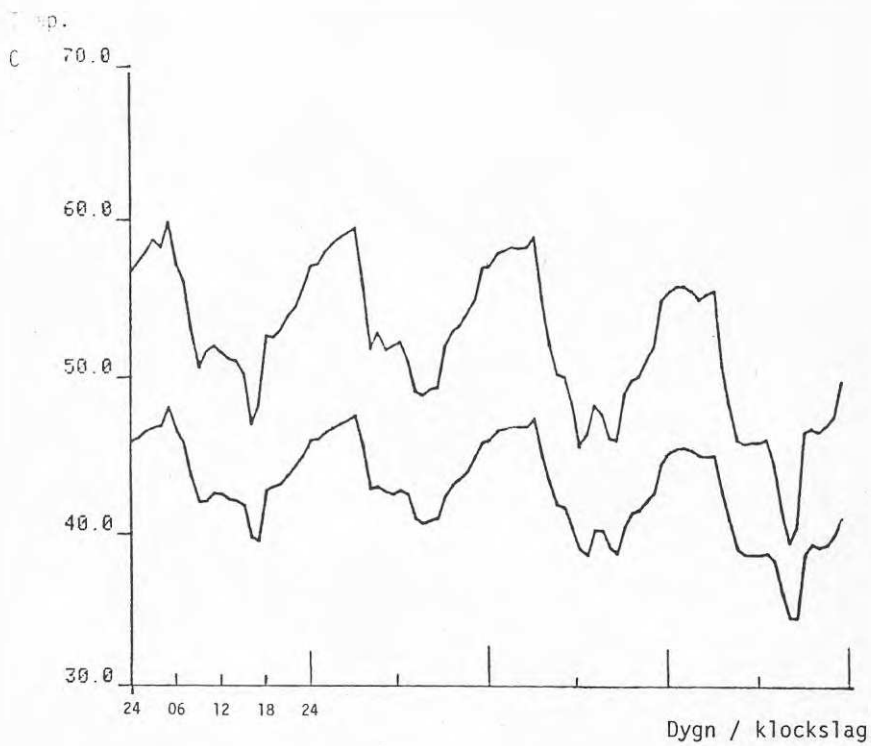


FIG.4.8 Framledning- och returtemperatur 21-24/3 1980

Temp.

C 25.0

59.

24.0

23.0

22.0

21.0

24 06 12 18 24

Dygn / klockslag

FIG.4.9 Medeltemperatur för fyra frånluftsfläktar 21-24/3 1980

Effekt

KW 400.0

300.0

200.0

100.0

0.0

24 06 12 18 24

Dygn / klockslag

Värme + tot.el

Värme

Tot.el

FIG.4.10 Värmeeffekt, totalel och summan 21-24/3 1980

TAB.4.1 Medelvärden för effekt/m²lghyta, innetemperatur nr 1 och nr 2 och utetemperatur för försökshus 1-10 och för hela mätperioden (rad a), för nattsänkningsdelen (rad b), för icke nattsänkningsdelen (rad c) och skillnaden (rad d = rad c - rad b).

Hus nr	Rad	Medeleffekt W/m ² lghyta	Medeltemperatur		ute
			inne nr 1	inne nr 2	
1	a	27.99	22.77	21.13	2.48
	b	25.89	22.62	21.03	3.32
	c	30.21	22.93	21.23	1.59
	d	4.31	.31	.21	-1.73
2	a	54.13	21.60	22.61	1.23
	b	49.93	21.27	22.31	2.14
	c	58.56	21.94	22.94	.27
	d	8.62	.67	.63	-1.87
3	a	48.74	22.82	21.35	1.24
	b	44.96	22.53	21.03	2.14
	c	52.74	23.12	21.70	.29
	d	7.78	.58	.66	-1.86
4	a	46.32	22.21	23.41	1.24
	b	46.89	21.98	23.10	.29
	c	45.78	22.42	23.69	2.15
	d	-1.11	.43	.59	1.86
5	a	39.88	22.16	21.51	1.24
	b	40.00	22.04	21.16	.29
	c	39.77	22.27	21.84	2.14
	d	-.24	.23	.68	1.86
6	a	33.24	22.90	22.30	1.24
	b	33.95	22.74	22.10	.29
	c	32.56	23.05	22.50	2.14
	d	-1.40	.31	.39	1.86
7	a	30.27	23.09	22.54	-.61
	b	28.29	22.91	22.35	.18
	c	32.41	23.28	22.75	-1.45
	d	4.11	.37	.40	-1.64
8	a	30.80	22.85	21.98	-.61
	b	30.53	22.53	21.71	-1.45
	c	31.05	23.14	22.23	.18
	d	.52	.61	.51	1.64
9	a	39.38	21.72	20.43	-.62
	b	36.41	21.49	20.20	.12
	c	42.52	21.97	20.68	-1.39
	d	6.11	.47	.48	-1.50
10	a	43.90	22.11	21.39	-.61
	b	43.76	21.69	21.06	-1.45
	c	44.03	22.51	21.70	.18
	d	.27	.82	.64	1.64

TAB.4.2 Medelvärden för effekt/m²lghyta, innetemperatur nr 1 och nr 2 och utetemperatur för försökshus 11-19 och för hela mätperioden (rad a), för nattsänkningsdelen (rad b), för icke nattsänkningsdelen (rad c) och skillnaden (rad d = rad c - rad b).

Hus nr	Rad	Medeleffekt W/m ² lghyta	Medeltemperatur		
			inne nr 1	inne nr 2	ute
11	a	47.78	21.59	20.57	-1.26
	b	47.11	21.34	20.35	-1.80
	c	48.42	21.84	20.78	-.75
	d	1.31	.50	.43	1.05
12	a	40.63	23.43	-	-1.18
	b	41.01	23.32	-	-1.73
	c	40.27	23.53	-	-.64
	d	-.75	.22	-	1.08
13	a	58.81	21.96	22.15	-1.17
	b	58.98	21.92	21.65	-1.73
	c	58.64	22.01	22.63	-.64
	d	-.34	.10	.98	1.10
14	a	46.96	22.37	21.67	-1.19
	b	41.03	22.22	21.46	-.89
	c	53.12	22.53	21.88	-1.49
	d	12.09	.31	.42	-.60
15	a	38.90	22.58	20.75	-1.18
	b	39.49	22.54	20.70	-1.49
	c	38.33	22.61	20.79	-.89
	d	-1.16	.07	.09	.60
16	a	40.39	21.46	21.44	-1.18
	b	40.37	21.47	21.33	-1.49
	c	40.42	21.45	21.55	-.89
	d	.04	-.02	.21	.60
17	a	55.25	20.35	21.12	-1.30
	b	51.83	20.39	20.87	-.93
	c	58.81	20.31	21.38	-1.69
	d	6.99	-.07	.51	-.75
18	a	33.77	22.48	22.24	-1.30
	b	31.71	22.38	22.18	-.93
	c	35.90	22.58	22.30	-1.69
	d	4.19	.20	.12	-.76
19	a	42.16	22.82	23.25	-1.30
	b	40.53	22.73	23.23	-.93
	c	43.86	22.92	23.28	-1.69
	d	3.33	.18	.05	-.76

TAB.4.3 Medelvärden för effekt/m²lghyta, innetemperatur nr 1 och nr 2 och utetemperatur för försökshus 21-30 och för hela mätperioden (rad a), för nattsänkingsdelen (rad b), för icke nattsänkingsdelen (rad c) och skillnaden (rad d = rad c - rad b).

Hus nr	Rad	Medeleffekt W/m ² lghyta	Medeltemperatur		
			inne nr 1	inne nr 2	ute
21	a	43.16	21.33	22.33	-3.18
	b	43.20	21.05	22.18	-3.48
	c	43.11	21.60	22.47	-2.88
	d	-.09	.55	.29	.60
22	a	41.68	20.56	21.61	-5.37
	b	39.43	20.53	21.51	-4.50
	c	44.39	20.60	21.74	-6.43
	d	4.96	.08	.24	-1.93
23	a	22.19	21.74	19.53	-3.35
	b	21.15	21.56	19.50	-2.74
	c	23.50	21.97	19.56	-4.11
	d	2.35	.41	.06	-1.37
24	a	30.91	20.99	19.93	-3.35
	b	29.29	20.88	19.71	-2.74
	c	32.96	21.13	20.22	-4.11
	d	3.67	.25	.52	-1.37
25	a	27.90	22.50	21.08	-3.41
	b	27.15	22.42	20.95	-2.78
	c	28.50	22.57	21.18	-3.92
	d	1.35	.15	.23	-1.14
26	a	46.25	18.08	19.62	-3.41
	b	45.31	18.16	19.56	-2.78
	c	47.00	18.01	19.67	-3.92
	d	1.70	-.15	.11	-1.15
27	a	30.78	24.24	20.61	-3.41
	b	30.30	24.02	20.38	-2.78
	c	31.17	24.42	20.79	-3.92
	d	.87	.40	.41	-1.14
28	a	33.32	21.69	-	-1.28
	b	31.74	21.36	-	-.52
	c	35.59	22.17	-	-2.36
	d	3.86	.81	-	-1.84
29	a	47.72	20.83	-	-1.29
	b	44.96	20.43	-	-.37
	c	51.72	21.41	-	-2.61
	d	6.76	.98	-	-2.24
30	a	53.48	-	21.65	-1.03
	b	51.02	-	21.66	-.84
	c	56.68	-	21.64	-1.28
	d	5.66	-	-.01	-.44

TAB.4.4 Medelvärden (1) och medelskillnader (2) mellan ingen natt-sänkning och nattsänkning för 29 hus och för

- a värmeeffekt, W/m^2 lghyta
- b relativ värmeeffekt
- c utetemperatur, $^{\circ}C$
- d innetemperatur, $^{\circ}C$
- e inne-utetemperatur, $^{\circ}C$

och för tidsperioderna

- av alla mätveckor
- sv sista mätveckan i varje period
- ifv alla mätveckor utom första i varje period

Variabel		Mätmetod		
		av	av	ifv
a	1	40.58	40.59	40.54
	2	2.96	4.17	2.24
b	1	1.000	0.999	1.002
	2	0.073	0.101	0.059
c	1	-1.17	-1.03	-1.05
	2	-0.35	-1.35	-0.45
d	1	21.74	21.70	21.79
	2	0.37	0.28	0.47
e	1	22.91	22.74	22.84
	2	0.72	1.63	0.92

TAB.4.5 Medelvärden (1) och medelskillnader (2) mellan ingen nattsänkning och nattsänkning för 20 hus och för

- a värmeeffekt, W/m^2 lghyta
- b relativ värmeeffekt
- c utetemperatur, $^{\circ}C$
- d innetemperatur, $^{\circ}C$
- e inne-utetemperatur, $^{\circ}C$

och för tidsperioderna

- av alla mätveckor
- sv sista mätveckan i varje period
- ifv alla mätveckor utom första i varje period

Variabel		Mätmetod		
		av	sv	ifv
a	1	41.19	41.44	40.91
	2	3.82	4.39	4.29
b	1	1.000	1.005	0.996
	2	0.094	0.104	0.110
c	1	-0.84	-1.03	-0.88
	2	-0.47	-0.85	-1.48
d	1	21.81	21.70	21.86
	2	0.41	0.30	0.54
e	1	22.65	22.73	22.74
	2	0.88	1.15	2.00

TAB.4.6 Medelvärden (1) och medelskillnader (2) mellan ingen natt-sänkning och nattsänkning för 9 hus och för

- a värmeeffekt, W/m^2 lghyta
- b relativ värmeeffekt
- c utetemperatur, $^{\circ}C$
- d innetemperatur, $^{\circ}C$
- e inne-utetemperatur, $^{\circ}C$

och för tidsperioderna

- av alla mätveckor
- sv sista mätveckan i varje period
- ifv alla mätveckor utom första i varje period

Variabel		Mätmetod		
		av	sv	ifv
a	1	40.16	40.58	40.89
	2	3.37	4.17	3.29
b	1	1.000	1.010	1.020
	2	0.086	0.103	0.081
c	1	0.55	0.21	0.07
	2	-0.18	-0.95	-0.43
d	1	22.09	22.00	22.13
	2	0.52	0.58	0.64
e	1	21.54	21.79	22.06
	2	0.69	1.52	1.06

TAB.4.7 Parametrarna a , b , d_{i_0} , r och konfidensintervallet (d_{i_1}, d_{i_2}) för modellen (4.13) och för de tre mätmetoderna (av), (sv) och (ifv) och för 29 hus, 20 hus och 9 hus.

Antal hus	Mät- metod	r	Parametrar			d_{i_0}	d_{i_1}	d_{i_2}
			a	b				
29	av	-0.02	0.373	-0.004	0.37	0.24	0.50	
29	sv	0.15	0.277	0.047	0.34	-0.17	0.84	
29	ifv	-0.13	0.470	-0.013	0.47	0.26	0.67	
20	av	0.09	0.413	0.016	0.42	0.26	0.58	
20	sv	0.14	0.300	0.051	0.34	-0.37	1.06	
20	ifv	0.01	0.514	0.001	0.51	0.24	0.80	
9	av	0.27	0.515	0.021	0.52	0.35	0.69	
9	sv	-0.31	0.578	-0.025	0.55	0.26	0.85	
9	ifv	-0.04	0.635	-0.002	0.64	0.44	0.83	

TAB.4.8 Parametrarna a , b , dP_0 , r och konfidensintervallet (dP_1, dP_2) för modellen (4.23) och för de tre mätmetoderna (av), (sv) och (ifv) och för 29 hus, 20 hus och 9 hus.

Antal hus	Mätmetod	r	a	Parametrar			
				b	dP_0	dP_1	dP_2
29	av	-0.71	2.96	-1.74	2.35	1.03	3.65
29	sv	-0.66	4.7	-0.93	2.91	1.19	4.63
29	ifv	-0.93	2.24	-1.71	1.47	0.03	2.91
20	av	-0.70	3.82	-1.79	2.98	1.20	4.76
20	sv	-0.77	4.39	-1.26	3.32	1.33	5.31
20	ifv	-0.93	4.29	-1.77	1.66	-0.35	3.67
9	av	-0.93	3.37	-1.85	3.05	1.34	4.75
9	sv	-0.94	4.17	-1.58	2.67	0.53	4.81
9	ifv	-0.95	3.29	-1.72	2.55	-0.39	5.50

TAB.4.9 Parametrarna a , b , dp_0 , r och konfidensintervallet (dp_1, dp_2) för modellen (4.25) och för de tre mätmetoderna (av), (sv) och (ifv) och för 29 hus, 20 hus och 9 hus.

Antal hus	Mätmetod	r	a	Parametrar			
				b	dp_0	dp_1	dp_2
29	av	-0.790	0.073	-0.044	0.058	0.033	0.083
29	sv	-0.753	0.101	-0.022	0.070	0.039	0.102
29	ifv	-0.971	0.059	-0.041	0.041	0.019	0.063
20	av	-0.801	0.094	-0.044	0.074	0.042	0.105
20	sv	-0.883	0.105	-0.030	0.079	0.048	0.110
20	ifv	-0.985	0.110	-0.041	0.049	0.029	0.069
9	av	-0.99	0.085	-0.044	0.078	0.064	0.091
9	sv	-0.99	0.103	-0.039	0.067	0.043	0.090
9	ifv	-0.99	0.081	-0.042	0.063	0.036	0.090

TAB.4.10 Tidskonstant beräknad för modellen (4.25) för olika hus och för olika antal slopade mätdata.

Hus nr	Antal slopade mätdata					
	0	1	2	3	4	5
1	96	72	72	120	120	120
2	48	48	48	48	6	72
3	0	24	48	48	48	48
4	0	0	12	48	48	48
5	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3
7	48	12	24	12	12	12
8	48	48	48	48	48	48
9	24	72	72	72	48	48
10	0	24	0	18	48	3
11	48	48	24	24	96	72
12	3	3	3	3	3	3
13	0	0	24	3	3	3
14	48	48	48	48	48	48
15	0	0	0	0	18	24
16	3	3	0	24	24	24
17	0	0	0	0	3	3
18	24	24	48	48	24	120
19	24	0	24	24	24	72
21	24	24	24	0	0	0
22	48	48	48	48	0	48
23	0	0	0	0	24	0
24	48	48	48	72	48	18
25	24	48	24	48	48	48
26	0	0	0	0	0	24
27	24	24	24	24	3	3
28	72	72	72	72	72	72
29	24	48	48	48	48	24
30	0	0	0	0	0	48

TAB.4.11 Fördelning av tidskonstanter för modellen (4.25) och för olika antal slopade mätdata.

Antal slopade mätdata	Tidskonstant h									
	0	3	6	12	18	24	48	72	96	120
0	9	4	0	0	0	7	7	1	1	0
1	8	4	0	1	0	5	8	3	0	0
2	7	3	0	1	0	7	8	3	0	0
3	6	4	0	1	1	4	9	3	0	1
4	4	6	1	1	1	4	9	1	1	1
5	2	7	0	1	1	4	8	4	0	2

5 SLUTSATSER

De teoretiska beräkningarna visar att nattsänkningen medför en konstant temperatursänkning och en varierande temperatursänkning över dygnet. Den konstanta temperatursänkningen svarar oftast för större delen av besparingen och för en tidskonstant på 24 och 48 timmar och en nattsänkning på 8 timmar så beräknas den konstanta delen till 69% resp 84%. Den temperaturvariation som erhålls beror heller inte enbart på nattsänkningen utan variationer i hushållsel sammanfaller på ett förstärkande sätt. Detta framgår av tidigare och bättre mätningar på andra flerbostadshus. Hus utan utrustning för nattsänkning har alltså nattsänkning.

Försöksmetodens inverkan på mätresultatet har beräknats med en enkel modell. De periodiska in- och urkopplingarna av nattsänkningen medför att skillnaden i innetemperatur underskattas och att skillnaden i värmeeffekt överskattas.

Radiatorsystemets begränsande inverkan kan vara stor, men den har inte kunnat fastläggas. Vid stora nattsänkningar begränsas framledningstemperaturen neråt av returledningstemperaturen och denna i sin tur av innetemperaturen. Reglercentralen och reglerventilen kan också begränsa nattsänkningen på grund av skalfel resp läckage.

Den uppmätta besparingen ligger på omkring 4% beräknat på innetemperaturskillnad och 4% beräknat på värmeeffekt. Observera att detta inte innebär att inne-utetemperaturskillnaden varit 12% lägre under nattsänkningens 8 timmar, vilket motsvarar medelbesparing på 4% utslaget på 24 timmar. Större delen av besparingen beror på en konstant lägre innetemperatur och en mindre del på en under dygnet varierande innetemperatur och under natten lägre innetemperatur.

De uppmätta medelvärdena för samtliga hus för innetemperaturskillnad, värmeeffektskillnad och relativ värmeeffektskillnad skiljer sig betydligt från de beräknade enligt uppställningen nedan

skillnad	uppmätt	beräknad	uppmätt/beräknad
innetemperatur, °C	0.5	1.1	0.45
värmeeffekt, W/m ² lghyta	1.5	4.0	0.37
relativ värmeeffekt	0.04	0.11	0.36

Korrektion har gjorts för enbart försöksmetodens inverkan. Det skiljer grovt en faktor 0.4, vilket inte kan förklaras med enbart radiatorsystemets inverkan. Andra orsaker kan vara felaktig in- och urkoppling eller avrapportering av nattsänkning och samtidiga ändringar av reglerkurvor.

Tidskonstanten har bestämts för varje försökshus med en enkel modellenpassning. Resultatet blev 13 fall med tidskonstant på 0-3 h och 14 fall med tidskonstant på 24-48 h.

Forskningsprojektet visar också att de slutsatser som kan dras beror på vad som har mätts och hur ofta det har mätts. Ett exempel på detta är att radiatorsystemets inverkan har inte kunnat fastställas, eftersom mätningar saknas. Ett annat exempel är att byggnadernas tidskonstant inte har kunnat fastställas tillfredsställande.

Avläsningsblankett nattsänkning

Hus nr Husgrupp nr Avläsare

Avläsning

Mätareställningar

Nr Natt- nr · dag sänk. ja/nej	Vecka · dag	Vecko- Månad	Dag	Tim	Min	Värme total (MWh) Värme rad. (MWh)	Värme vv (MWh) Mängd fv/vv (m ³)	Inne		Ute
								mätare nr	mätare nr	mätare nr
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										

Anmärkningar:

BIL.2.2 Blankett, beskrivning av försökshus.

BESKRIVNING FÖRSÖKSHUS NR HUSGRUPP NR

Ort

Fastighetsbeteckning

Gatuadress

Placering/orientering/planläsning

Antal lägenheter

Lägenhetsfördelning

Antal trapphus

Antal våningar

Total lägenhetsyta

Tvättstugor

Garage

Andra lokaler (icke bostäder)

Byggnadsår

Byggnadsdata

Väggar k-värde/konstruktion

Tak - " - " -

Fönster " - " -

Primärvärme

fjärrvärme

oljepanna, typ fabrikat

Sekundärvärme

radiatorer

fasad uppdelat

ventilation

hetvatten (torkrum)

Värmesystem

radiatorer, dim, temperatur

radiatorer

etrör/tvärörssystem

termostatventiler

pumpdrift 1+2 hast

vattenflöde

BIL.2.2 (forts)

Reglerutrustning

reglercentral, typ fabrikat

utegivare placering

reglerkurva inställningar

utetemperatur framledningstemperatur returtemperatur

-10°C

0°C

+10°C

Nattsänkning

godtycklig tidkurva

kopplingsur tidsintervall sänkning

använda inställningar

Morgonhöjning

analogt med nattsänkning

Ventilation

självdrag

frånluft

frånluft/tilluft

luftflöde m³/h

tilluft trapphus

Placering TT-mätare

Innegivare₁ nrInnegivare₂ nr

Utegivare nr

Avläsare

Namn:

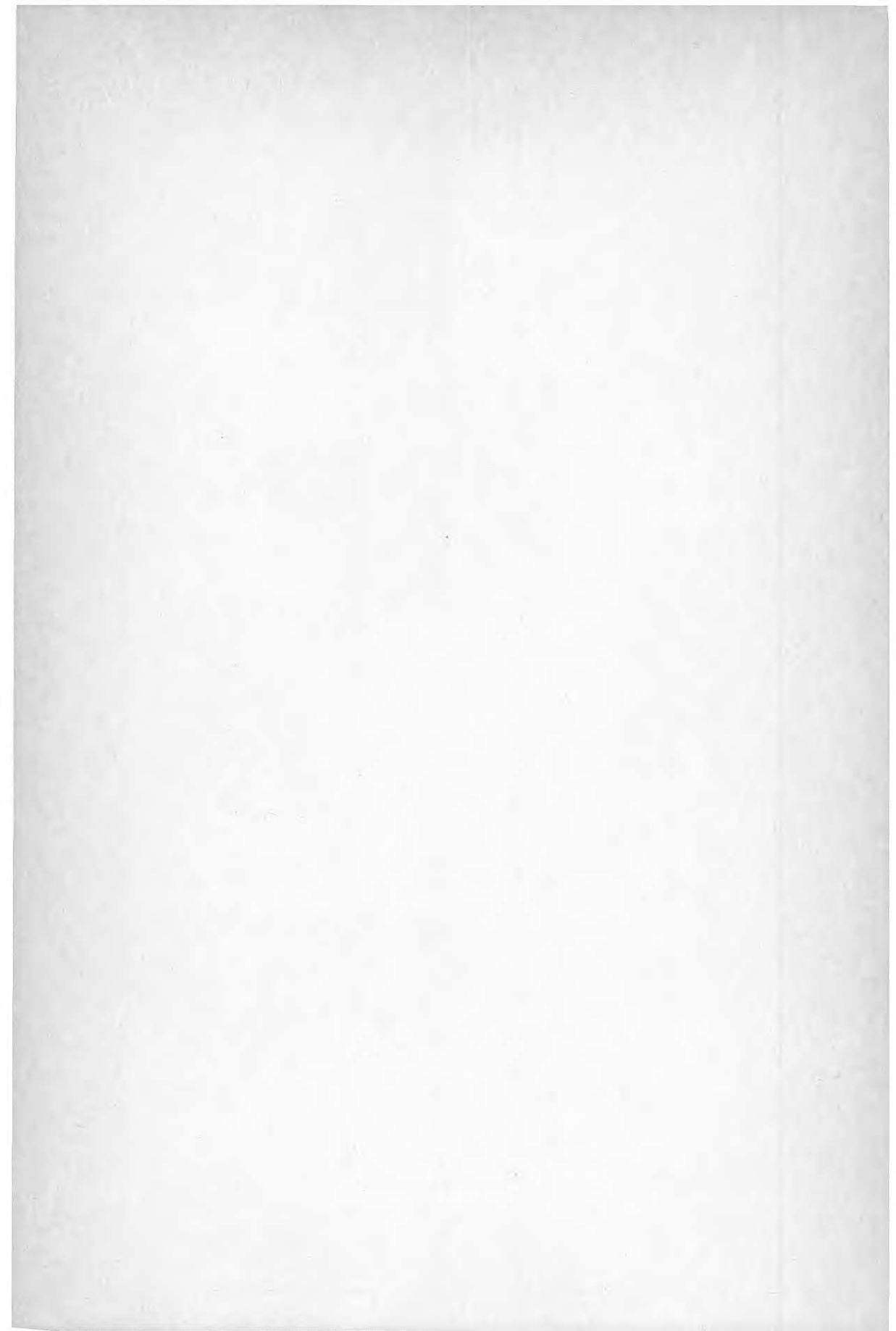
Adress:

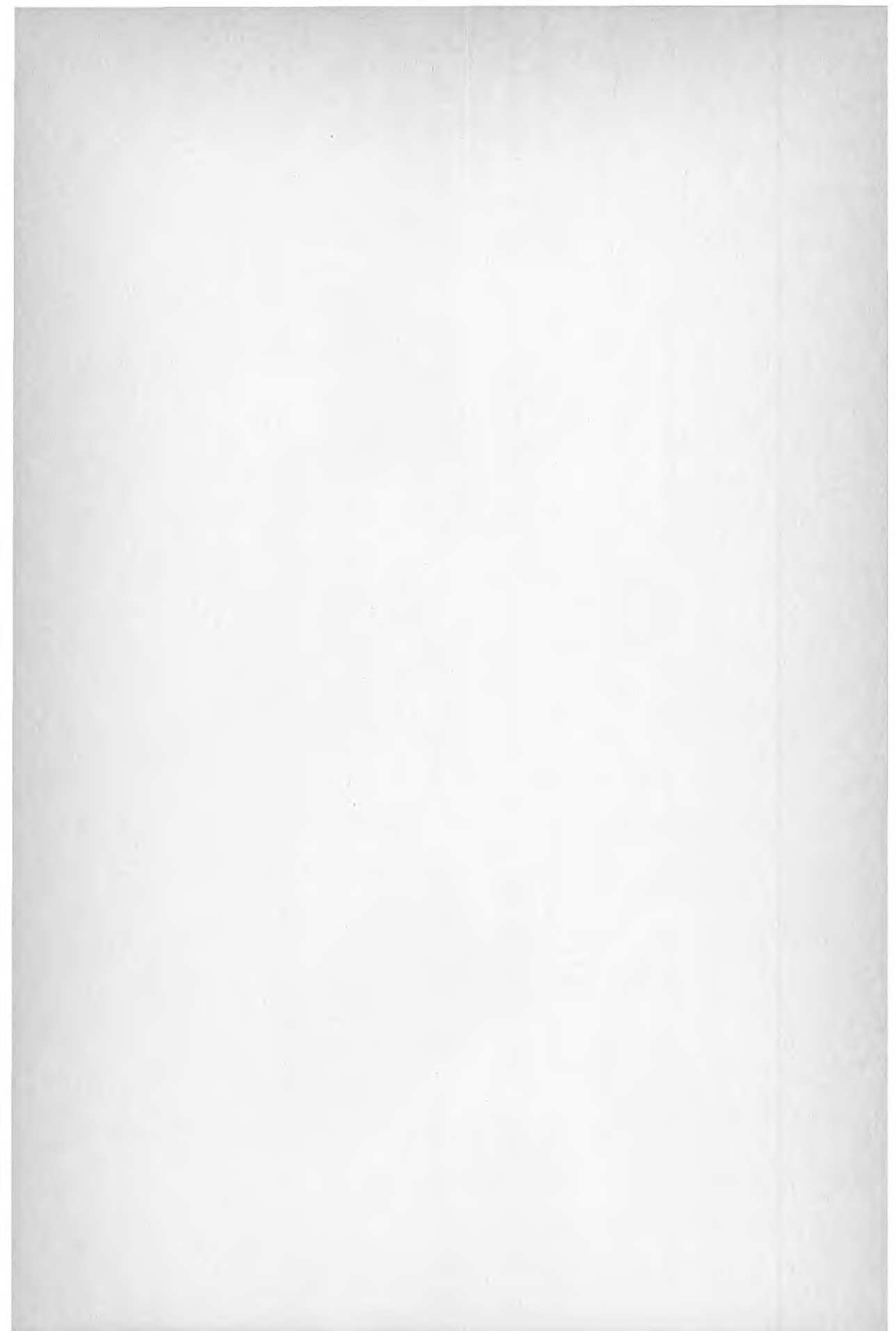
Telefon:

Ansvarig värmekonsulent

Namn:







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
810757-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till Institutionen för Byggnadskonstruktion,
Lunds Tekniska Högskola, Lund.**

R64: 1983

ISBN 91-540-3925-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 600764

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms