

**Rapport**

**R9:1982**

# **Energianvändning och energibesparing i Malmö**

**Undersökning av ett höghus**

**Lars Jensen  
Egon Lange**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	82-0002
Plac	Ser

V  
01/1

**Byggeforskningsrådet**

R9:1982

ENERGIANVÄNDNING OCH ENERGIBESPARING I MALMÖ

Undersökning av ett höghus

Lars Jensen  
Egon Lange

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750112-0  
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.

R9:1982

ISBN 91-540-3221-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 138727

## INNEHÅLL

1	INLDENING.....	5
2	FÖRSÖKSOBJEKT OCH MÄTUTRUSTNING.....	6
3	INTERVJUUNDERSÖKNING.....	23
4	ÅTGÄRDER.....	27
5	FÖNSTERPROVNING OCH SPÄRGASMÄTNING.....	37
6	FRÄNLUFTSTEMPERATURREGLERING.....	50
7	MÄTRESULTAT.....	75
8	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER.....	97
9	REFERENSER.....	101





## 1 INLEDNING

Samarbetsgruppen för byggnaders energiförsörjning har med anslag från Statens Råd för Byggnadsforskning studerat energianvändningen i ett elvärt flerfamiljshus i Bollnäs och i ett fjärrvärt flerfamiljshus i Tensta, Stockholm. I byggforskningens rapporter R10:1974 och R23:1975 har man redovisat energibehovets fördelning och dess beroende av olika faktorer. Det visade sig att möjligheterna till energibesparing var anmärkningsvärt stora.

Samarbetsgruppen beslöt nu att studera andra hustyper i andra klimat-zoner och ett 8-vånings flerfamiljshus på Holmaområdet i Malmö, ägt av Malmö Kommunala Bostadsaktiebolag, valdes ut för projektet under våren 1975. Under hösten 1975 då arbetet var långt framskridet visade det sig att det tänkta huset var olämpligt som mätthus på grund av problem med värmesystemet och ett nytt hus i kv Teknikern valdes ut. Ett urvalskrav var att mätuset skulle endast vara försett med frånluftsventilation och inte både från- och tilluftsventilation som var fallet med de tidigare mäthusen i Bollnäs och Tensta.

Grundidén i projektet var att mäta under en eldningssäsong och därefter mäta under en andra eldningssäsong efter det att huset åtgärdats ur energisparsynpunkt. Exempel på sådana åtgärder är fönstertätning, inreglering av radiatorsystem, inreglering av ventilationssystem, reducerad ventilation vid låga utetemperaturer, sänkt rumslufttemperatur och sänkt varmvattentemperatur.

Projekttiden var satt till 36 månader med arbetsinsatsen 9 månader för projektledaren Lars Jensen och 18 månader för ingenjör Egon Lange. På grund av hög arbetsbelastning så har utvärdering av projektet försenats. I gengäld så har mätning från fyra eldningssäsonger bearbetats i stället för ursprungliga två.

Förutom denna slutrapport så finns mätuset och mätutrustning, en intervjuundersökning och prov med frånluftstemperaturreglering avrapporterade i BKL 1976:1 av Lange (1976), BKL 1977:10 av Lundgren och Svärd (1977) resp BKL 1977:12 av Apelblat, Jensen och Rydström (1977).

## 2 FÖRSÖKSOBJEKT OCH MATUTRUSTNING

Malmö Kommunala Bostadsaktiebolag har med BPA som totalentreprenör låtit uppföra 2 st 8-våningshus innehållande totalt 144 lägenheter samt ett garage under mark, på kv Teknikern, Södertorpsområdet, 4 km söder om Malmö centrum. Husen stod klara för inflyttning våren 1971. Som mät-  
hus har det västra av de båda husen utvalts.

Detta kapitel finns utförligare redovisat i arbetsrapporten BKL 1976:1 av Lange (1976).

### Mätuset

Huset är ett 8-vånings flerfamiljshus med källare och totalt 72 lägenheter med storlek och lägenhetsfördelning angiven nedan

Lägenhet	Antal	Yta/lgh	Yta/sammanlagd
1 rokv	8	32 m <sup>2</sup>	256 m <sup>2</sup>
2 rok	8	60 m <sup>2</sup>	480 m <sup>2</sup>
2 rok	16	63 m <sup>2</sup>	1008 m <sup>2</sup>
3 rok	32	76 m <sup>2</sup>	2432 m <sup>2</sup>
4 rok	8	93 m <sup>2</sup>	744 m <sup>2</sup>
		Total lgh-yta	4920 m <sup>2</sup>

Huset ligger orienterat norr-söder. Mot söder, väster och norr finns ingen högre bebyggelse än villor och huset ligger mycket utsatt för vind i dessa riktningar. Mot öster ligger huset delvis skyddat av det andra identiskt lika höghuset, som ligger parallellt ca 50 m från mät-  
huset. Alla lägenheter är genomgående utom 1 rokv och 2 rok på söder-  
gaveln.

Källarvåningen innehåller gemensamma förråd, tvättstugor med torkrum, soprum, värme- och elcentral samt en fritidslokal som dock aldrig blivit använd.

Huset är uppdelat i 4 trapphus varav de två mittersta är identiska. Trapphusen betecknas i fortsättningen 1-4, där nr 1 är det sydligaste och nr 4 det nordligaste. Huset har flackt tak och saknar vind. Fläktrum och hissmaskinrum finns ovanpå varje trapphus i särskilda överbyggnader.

I FIG.2.1 återges en situationsplan. Lägenhetsindelningen återges i detalj för de fem olika lägenhetstyperna i FIG.2.2-2.4 för de tre olika trapphusutformningarna. Rumshöjden är 2.5 m. Källarbjälklaget är utbredda plattor av betong på mark. Källarytterväggar är av betong 200 mm med 30 mm träullsplatta som isolering. Beräknat k-värde är  $1.60 \text{ W/}^{\circ}\text{C,m}^2$ . Bärande källarinnerväggar är av 200 mm betong och icke bärande källarinnerväggar av 70 mm lättbetong.

Ytterväggar är utförda av fabrikstillverkade ytterväggselement (s k EV-vägg) bestående av 60 mm betong + 90 mm cellplast + 30 mm betong med utvändig yta av vit cementbas med vit ballast. Beräknat k-värde är  $0.40 \text{ W/}^{\circ}\text{C,m}^2$ . Vid balkonger består ytterväggen av asbestcementplattor + 8 mm luftspalt + 3.2 mm celluloscementskivor + 30 mm + 80 mm mineralullskivor mellan träreglar + 13 mm gipsplattor. Beräknat k-värde är  $0.44 \text{ W/}^{\circ}\text{C,m}^2$ .

Bärande innerväggar är av 200 mm betong och de icke bärande lägenhetsskiljande innerväggarna är utförda av dubbel regelstomme av stål med mineralullsisolering och med dubbla 13 mm gipsplattor på båda sidor. Icke bärande innerväggar i övrigt är utförda av gipsplattor på regelstomme av trä.

Mellanbjälklagen är utförda av prefabricerade bjälklagselement bestående av bärande lådformig underdel av förspänd betong + överplatta av betong. Fyllningen i elementen är 100 mm mineralull.

Översta bjälklaget är likt mellanbjälklagen, dock med 250 mm mineralull.

Fönsterna och glasade balkongdörrar är av typen 2-glas med kopplade bågar som är öppningsbara inåt. 3- och 4-rumslägenheterna har större perspektivfönster i vardagsrummet. Totala fönsterytan är  $814 \text{ m}^2$  vilket

utgör 16.5% av totala lägenhetsytan.

### Uppvärmningssystem

Huset förses med fjärrvärme från Malmö Energiverk. Mätning av energimängden för debitering sker gemensamt för båda husen och energimätaren är belägen i andra huset. I värmecentralen belägen i källarplan växlas vattnet i en prefabricerad abonnentcentral med separata plattvärmväxlare för radiatorvatten, tappvarmvatten samt hetvatten till varmluftsfläktar i torkrummen, Abonnentcentralens uppbyggnad beskrivs i FIG.2.5.

Radiatorsystemet är i källarplan tvårörs- och i övriga huset ettrörs-system. Radiatorerna är AGA's typ Termo-panel. Från värmecentralen fördelar sig rören konventionellt ut i källarens korridor, varifrån vertikala stigare går upp i trapphusen, dels vid hisschaktet och dels i lägenhetsförråden. På varje våning är anslutet ettrörsslingor om vardera 2-4 radiatorer. Varje slinga tar den östra resp den västra delen av tre- och fyrrumslägenheterna. Ett- och tvårumslägenheterna på södergaveln betjänas av vardera en ettrörsslinga. Denna rördragning framgår även i FIG.2.2-2.4 som visar planer av lägenheterna och trapphus.

Radiatorsystemet betjänar också de två tilluftsaggregat som är placerade i källaren. Batterierna saknar helt styrutrustning och är endast försedda med en fast strypventil. Detta innebär att framledningstemperaturen måste anpassas till både radiatorsystemet och ventilationsbehovet.

Hetvattensystemet levererar hetvatten i en separat krets till de fyra varmluftsapparaterna placerade i torkrummen. Dessa styrs med tidur och tvåläges motorventiler.

### Ventilationssystem

Lägenheterna ventileras med mekanisk frånluft. Från kontrollventiler i bad, wc och kök drages vertikala samlingskanaler i trapphuset upp till en i varje trapphus placerad frånluftsfläkt.

Av de två kanalerna i varje schakt ventilerar den ena lägenheterna på våning 1-4 och den andra lägenheterna på våning 5-8.

Samtliga kanaler på våningsplanen och samlingskanaler till fläktrum är av typ SPIRO-rör. Alla frånluftskanaler går i fyra schakt i varje trapphus på var sin sida om hisschaktet och på samma sätt på motsatt sida vid lägenhetsförråden.

Projekterade ventilationsmängder är för de olika lägenhetstyperna

lägenhets- typ	kök/kokvrå	bad	gäst- toalett	totalt
1 rok	40 m <sup>3</sup> /h	30 m <sup>3</sup> /h	-	70 m <sup>3</sup> /h
2 rok	80 "	60 "	-	140 "
3 rok	80 "	60 "	-	140 "
4 rok	80 "	60 "	50 m <sup>3</sup> /h	190 "

Totalt för samtliga lägenheter fås ventilationsmängden 9920 m<sup>3</sup>/h vilket ger 2.0 m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup> våningsyta, vilket ger en luftväxling på 0.8 oms/h.

Samtliga frånluftsventiler är av typen kontrollventiler som enkelt kan regleras med ett snöre. Totalflödet 9920 m<sup>3</sup>/h är därför för högt. Delvis stängda och framför allt med smuts igensatta kontrollventiler gör att flödet reduceras avsevärt.

Till klädkammaren i lägenheterna med 3 och 4 rok är draget en separat friskluftkanal (ø50 mm) upp över yttertak.

Uteluft tillföres alla sovrum och vardagsrum med antingen springventil eller vädringslucka. Springventilen är utformad så att uteluften ledes ner bakom radiatorn. Spjäll för avstängning av ventilen finns men springventilen släpper även i stängt läge in luft.

Hissmaskinrummen som tillsammans med fläktrummen för frånluftsfläktarna bildar en "låda" över yttertak på varje trapphus ventileras vardera med 150 m<sup>3</sup>/h via samma fläkt som lägenheterna.

Även soprummen i källarplan ventileras med vardera 400 m<sup>3</sup>/h via sopnedkasterna, som högst upp är anslutna till centralfläktarna.

I källarplan är 2 st tilluftsaggregat installerade, som ventilerar fritidslokalen i källarvåningen samt trapphusen. Luften tas in via ytterväggsgaller vid marknivå, filtreras och uppvärms i värmebatteri som går



direkt på radiatorsystemet och saknar regleringsutrustning. Härigenom får man ingen reglering av tilluftstemperaturen.

Det ena av de båda tilluftsaggregaten, TA1, betjänar fritidslokalen samt trappa 1 och 2 och det andra, TA2, betjänar trappa 3 och 4. De projekterade luftmängderna är för TA1  $1800 \text{ m}^3/\text{h}$  och för TA2  $960 \text{ m}^3/\text{h}$ .

En i källaren placerad frånluftsfläkt betecknad FF5 evakuerar fritidslokalen, tvättstugorna, städ, toaletter, personalutrymmen, torkrummen samt värmecentralen. Evakueringsluften,  $3065 \text{ m}^3/\text{h}$ , leds i ett betongrör ut i en utblåsningsbrunn på gården.

Via en separat friskluftskanal förses undercentralen med uteluft. All ventilation går kontinuerligt.

#### Sanitetsinstallationer

Ledningsdragningen för varm- och kallvatten sker i tre schakt som finns i varje trapphus tillsammans med ledningsdragningen för värme och ventilation. Varmvattencirkulation sker även i dessa vertikala schakt.

Spillvattenledningar ligger ingjutna i prefabricerade element. Golvbrunnen i badrum har slopats och ersatts med en väggbrunn, vilket förklarar byggandet. Alla övriga spillvattenenheter ansluts till väggelementet direkt eller med kortare ledningar. I en del fall sker ledningsdragning från kök dolt bakom badkar.



### Datalog med hålremsstans

Den vid Tenstamätningarna använda utrustningen har efter vissa förändringar använts för mätningarna. De förändringar som är gjorda är omformatering av stansskoden från Facitkod till ASCII-kod med jämn paritet. Vidare har stanssekvensen ändrats och förkortats. Tiden mellan registreringarna har också ändrats från 15 till 60 minuter.

Insamling och registrering av mätdata sker med hjälp av ett Modulog-ERG/A datalogsystem samt en Facit remsstans 4070. Systemet används för registrering av såväl analoga signaler, t ex spänningen från ett termoelement, som digitala signaler, t ex reläpulser från en energimätare.

Alla mätpunkter, såväl analoga som digitala, kopplas till dataloggen via en kopplingspanel med 15 digitala och 50 analoga ingångar.

### Temperaturmätning

Mätningarna i Tensta gjordes med motståndstermometrar typ Ni-1000 och mätbryggor fabrikat Wallac.

Mätningarna på Teknikern kom att omfatta ett stort antal mätpunkter och då kabellängderna trots husets storlek blev relativt korta har termoelement typ koppar-konstantan, NN24T, valts för att mäta temperaturer.

Ett termoelement mäter temperaturdifferensen mellan två lödställen, det kalla och det varma. Det ena lödstället på alla termoelementen har placerats i ett isotermblock av aluminium som isolerats väl. Temperaturen i isotermblocket mäts med en motståndstermometer över en mätbrygga. Denna temperatur registreras och går in i dataloggen som en kanal. Vid bearbetning av mätvärdena kommer alla temperaturvärden vid en mättidpunkt att justeras efter isotermblockets temperatur (referenstemperaturen). Referenstemperaturen tillåts alltså att ändra sig mellan varje mättidpunkt, men kommer under den korta tid en genommätning av alla kanaler tar, att hålla sig konstant.

### Mätning av vattenmängder och värmemängder

Vattenflödet för radiatorvatten, hetvatten, varmvatten, varmvattencirkulation och kallvatten mäts. Detta sker med vattenmängdsmätare placerade i mätriggjar på resp ledningar. Principskiss, storlek och typer visas nedan. Vattenmätarna har lånats av Malmö Energiverk.

### Sammanställning av vattenmätare

Medium	Fabrikat	Storlek	Dimensionerat flöde	Tryckfall vid dimensionerat flöde	Min flöde för noggrannhet	
					2%	5%
Värme	Pollux	Ansl 80	18.5 m <sup>3</sup> /h	0.2 mVp	6.0 m <sup>3</sup> /h	0.65 m <sup>3</sup> /h
Hetvatten	Pollux	Ansl 40	4.08 "	0.4 mVp	1.0 "	0.25 "
Varmvatten	Pollux	Ansl 50	160 l/min	0.3 mVp	50 l/min	8.3 l/min
Varmvattencirkulation	Pollux	Ansl 25	ca 20 "	0.1 mVp	8.3 "	3.0 "
Kallvatten	IMO	Ansl 50	240 l/min*	2.0 mVp	0.83 "	0.58 "

\*) Startvärde 0.1 l/min

Värmemängden för radiatorvatten, hetvatten, varmvatten och varmvattencirkulation mäts i elektroniska integreringsverk. Vattenmängden som mäts i vattenmätarna enligt ovan integreras med temperaturdifferensen mellan tillopps- respektive returtemperatur, varvid man får den förbrukade energimängden. Till integreringsverken, som lånats från Malmö Energiverk, hör normalt en givare som placerats på vattenmätaren och som ger 4 pulser (kontaktslutningar av tungelement) per visarvarv.

Upplösningen blir genom det lilla antalet pulser dåligt. En annan givare av fabrikatet Kamstrup har valts i stället. Denna arbetar med en lysdiod och en rund skiva som i periferin har omväxlande svarta och transparenta fält. Man får här en puls vid övergång från ett fält till ett annat. Givaren har som standard en skiva för 20 pulser per visarvarv, men genom att byta ut skivan kan man få bättre upplösning och

bättre utnyttja de i dataloggen inbyggda elektroniska räkneverken som kan ta emot 999 pulser.

Integreringsverken mäter som tidigare sagts temperaturdifferensen mellan tillopp och retur. Denna mätning sker med insticksgivare av typ Ni-100 som placeras i dykrör.

Genomgående har integreringsverk av Svensk Värmevärmnings fabrikat typ SVM 602 använts. Det kontaktverk vi använt är av Kamstrup-Metro A/S fabrikat som är försett med en impulsförstärkare för att passa till integreringsverket.

Mätning av varmvattenflöde sker genom att mäta varmvatten och varmvattencirkulationen tillsammans (utgående varmvattenflöde) med en mätare nr 1 och varmvattencirkulationen (återgående varmvattenflöde) med en mätare nr 2. Varmvattenflödet har beräknats genom att använda en speciell upp- och nerräknare som tar hänsyn till att upplösningen för mätare nr 2 är 10 ggr högre än för mätare nr 1. Upp- och nerräknaren ger pulser som motsvarar varmvattenförbrukningen.

#### Mätning av elenergi

Mätningen av elenergin sker med från Elverket i Malmö inhyrda mätare, fabrikat Siemens.

Husets totala elförbrukning och fastighetsel (trapphus, hissar, fläktar, pumpar, utebelysning mm) mäts.

Mätarna har en upplösning på 2 Wh/puls. De är anslutna med strömtransformatorer som transformerar ner strömmarna till 5 A. Mätarna får härigenom en upplösning på 60 Wh/puls för totalel och fastighetsel. Pulsantalet blir högt och delning måste ske för att komma ner i under 999 pulser per timme.

### Mätning av solenergi

Energien från sol- och himmelsstrålning mäts med en solarimeter som placerats ovan yttertak. Värdet från solarimetern integreras i en integrator, fabrikat Kipp & Zonen. Solarimetern mäter ett våglängdsområde från 0.3 till 2.5 micrometer, känsligheten är 7.9 mV per  $\text{cal/cm}^2/\text{min}$  eller 11.3 mV vid  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Integratorn ger 170 pulser per  $\text{kWh/m}^2$  och har ett fel på max 1 puls/6h. Solarimetern och integratorn har testats på laboratorium parallellt med en solarimeter och integrator av samma fabrikat.

### Mätning av vindhastighet

Vindhastighetsmätaren har hyrts från SMHI och monterats på en mast och placerats på tak. Vindmätaren ger en puls för var 500 m vindväg. Max belastning 50-60 m/s, min belastning 0.6 m/s.

### Mätning av vindriktning

En vindriktningsgivare av egen tillverkning har provats, men den gick sönder efter en tid. Givare består av vindflöjel som kopplats till två potentiometrar som är förskjutna  $90^\circ$  i förhållande till varandra. De två vinkelsignalerna filtreras kraftigt så att ett medelvärde erhålls för den sista timmen.

### Mätning av ventilationsmängder

Önskas kontinuerlig mätning av luftmängder finns det idag inga enkla och billiga givare vars utsignal går att elektriskt registrera. Normalt mätes luftmängder i kanaler med Prantlrör, strypflänsar, korsrör o dyl, men utsignalerna från dessa är låga tryck som är kostsamma att registrera på elektrisk väg.

Vid Byggnadskonstruktionsläras laboratorium utprovades en enkel givare

som gav en elektrisk spänning direkt proportionell mot luftmängden. Givaren bestod av en tachogenerator med en nylonpropeller. Tyvärr visade det sig att de egentillverkade givarna slutade att fungera efter en tid, främst på grund av försmutsning och förslitning.

Avsikten med dessa luftflödesmätningar var att undersöka hur luftflödena påverkas av främst uteklimatet och även de boende genom vädring.

#### Använda mätpunkter

Arbetet med installering av olika mätutrustningar såsom t ex temperaturgivare, el- och värmemängdsmätare kunde först påbörjas i december 1975.

#### Digitala kanaler

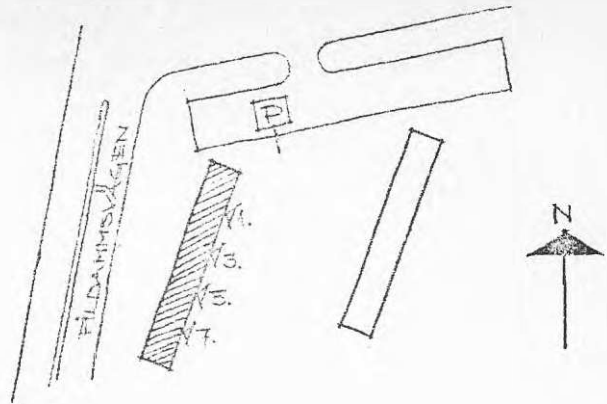
	enhet/puls	
1	Energianvändning, radiatorvatten	4000 kcal
2	Energianvändning, hetvatten	400 kcal
3	Energianvändning, varmvatten+ varmvattencirkulation	4000 kcal
4	Energianvändning, varmvatten- cirkulation	400 kcal
5	Vattenmängd, varmvatten	40 l
6	Vattenmängd, total vattenförbrukning	2.5 l
7	Vattenmängd, radiatorvatten	40 l
8	Vattenmängd, hetvatten	4 l
9	Vattenmängd, varmvattencirkulation	4 l
10	Elförbrukning, totalt	60 Wh
11	Elförbrukning, fastighetsel	60 Wh
12	Solinstrålning	$5.9 \times 10^{-3}$ kWh/m <sup>2</sup>
13	Vindhastighet	500 m

### Analoga kanaler

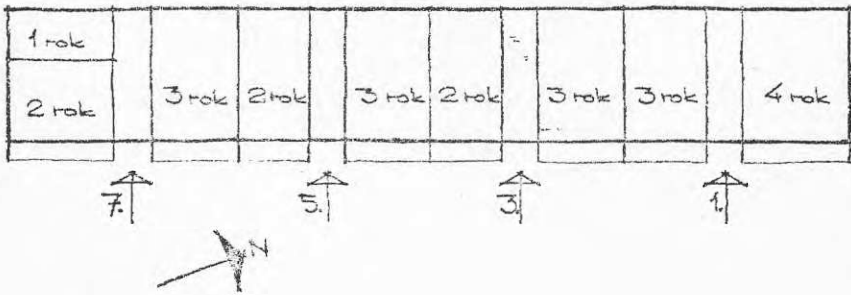
- 15 Referenstemperatur i termoblocket
- 16 Temperatur, ute (norr)
- 17 Temperatur, källare
- 18 Temperatur, tilluftsaggregat 1 (till trapphus)
- 19 Temperatur, tilluftsaggregat 2 (till trapphus)
- 20 Temperatur, frånluftsfläkt 5 (för källaren)
- 21 Temperatur, kallvatten
- 22 Temperatur, varmvatten
- 23 Temperatur, varmvattencirkulation
- 24 Temperatur, fjärrvärme tillopp
- 25 Temperatur, fjärrvärme retur
- 26 Temperatur, radiatorsystem tillopp
- 27 Temperatur, radiatorsystem retur
- 28 Temperatur, hetvatten tillopp
- 29 Temperatur, hetvatten retur
- 30 Temperatur, frånluft trappa 1
- 31 Temperatur, frånluft trappa 2
- 32 Temperatur, frånluft trappa 3
- 33 Temperatur, frånluft trappa 4

### Övriga specialmätningar

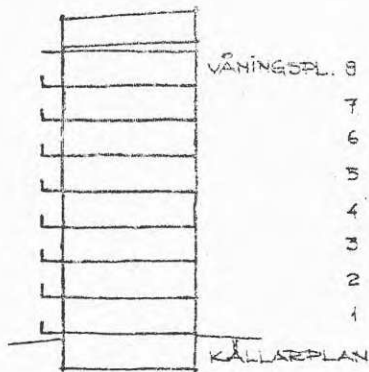
De hitintills redovisade mätpunkterna läses av och registreras kontinuerligt. Dessa mätningar kompletteras med provning av fönstertäthet, spårgasmätning av infiltration och normalventilation och mätning av luftflöden i olika frånluftsdon. Dessa mätningar redovisas i kapitel 5. De boendes synpunkter på värme och ventilation har insamlats med en enkätundersökning som redovisas i kapitel 3.



SITUATIONSPLAN



PLAN



SEKTION

FIG.2.1 Situationsplan för mätuset Teknikergatan 1-7, översiktsplanlösning och sektion.



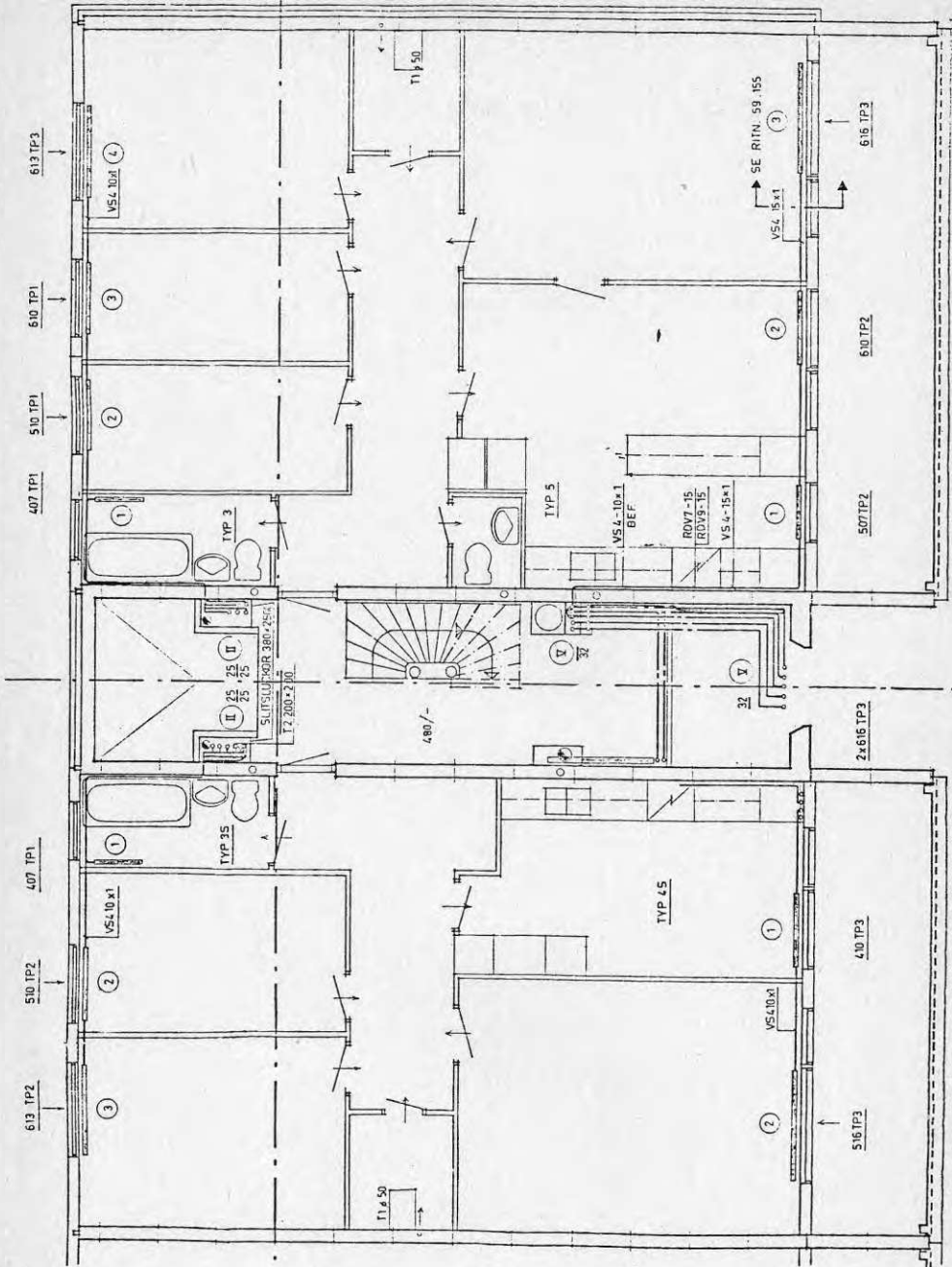


FIG.2.2 Lägenhetsplanlösning för trapphus, Teknikergatan 1. Våningsplan 1. Norrgavel.



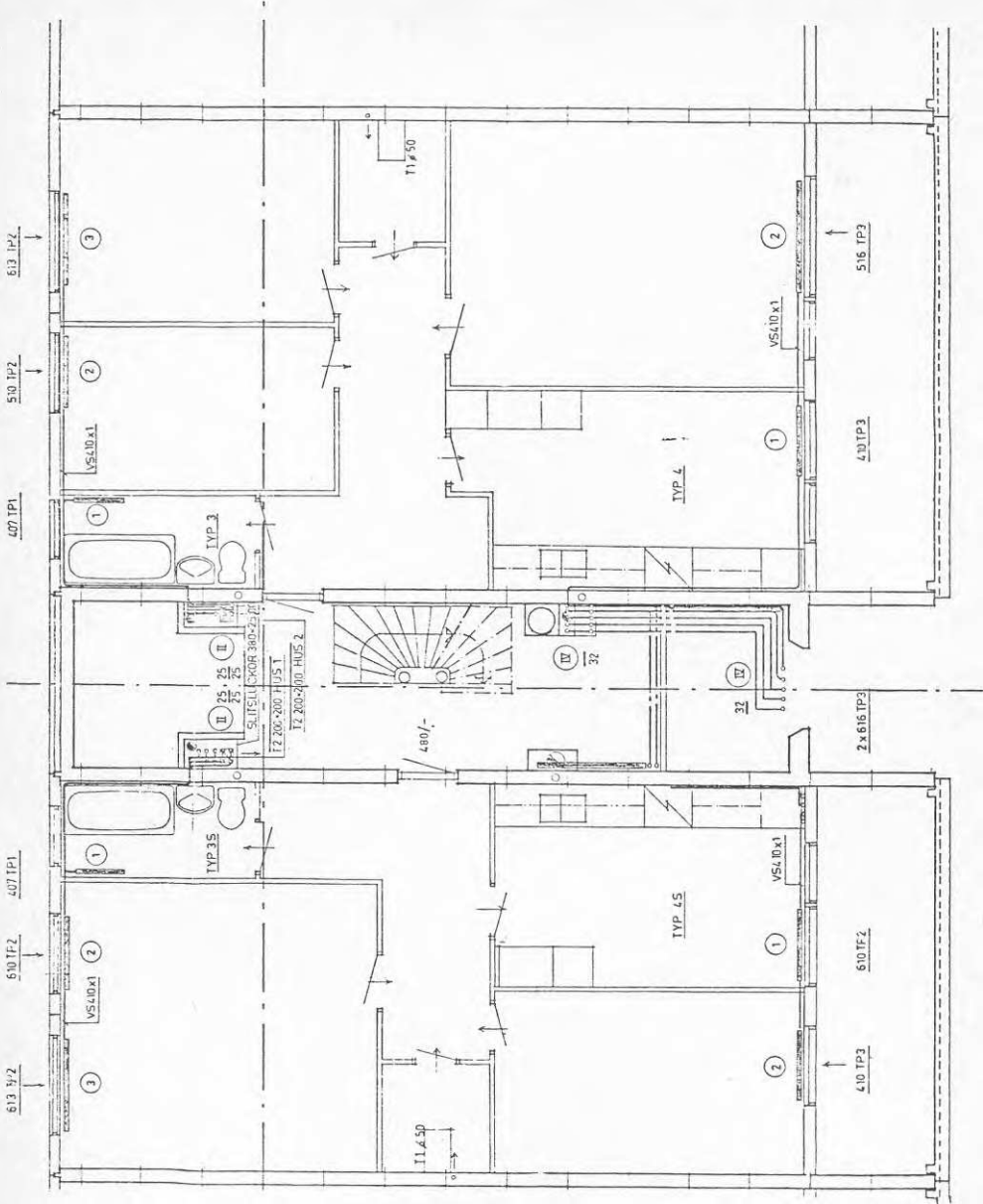
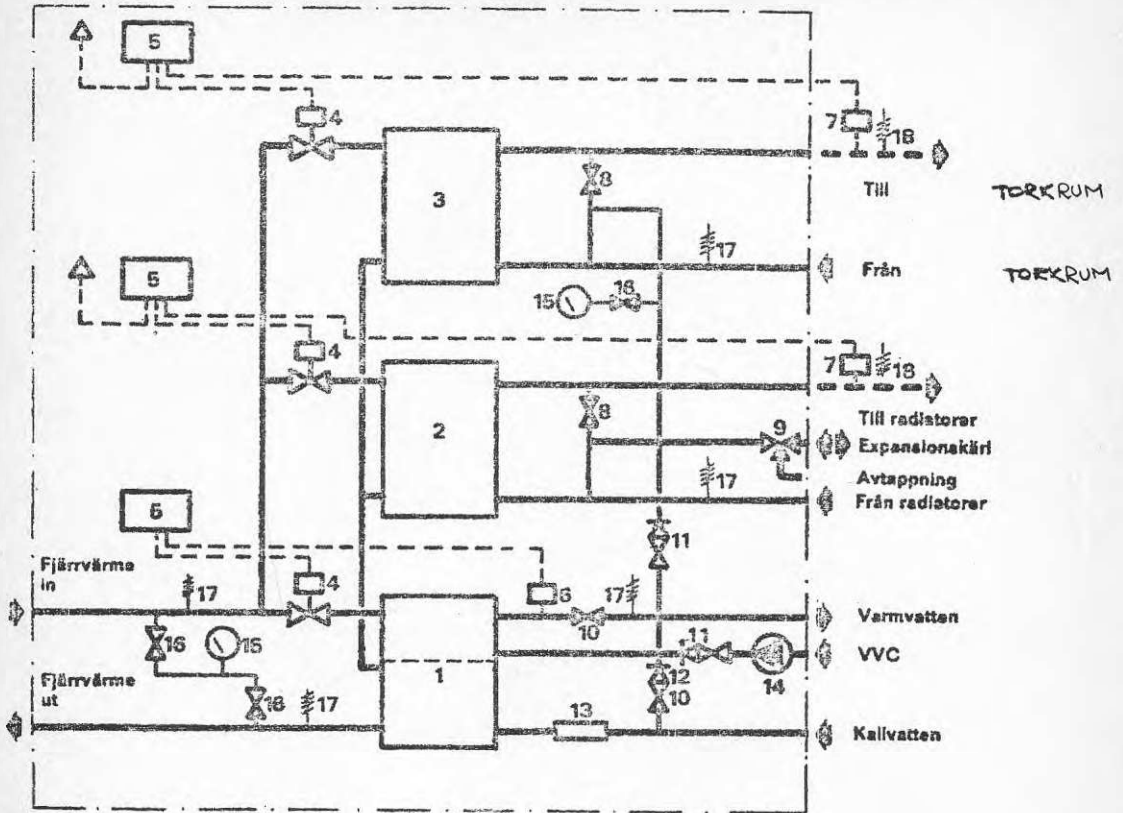


FIG.2.3 Lägenhetsplanlösning för trapphus, Teknikergatan 3 och 5. Våningsplan 1.





- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. Värmeväxlare varmvatten            | 10. Avstängningsventil                        |
| 2. Värmeväxlare radiatorer            | 11. Avstängningsventil med inbyggd backventil |
| 3. Värmeväxlare : tork                | 12. Backventil                                |
| 4. Styrventil                         | 13. Ventilrör med säkerhets- och vakuumentill |
| 5. Reglercentral                      | 14. VVC-pump                                  |
| 6. Dykgivare                          | 15. Tryckmätare                               |
| 7. Dykgivare, levereras lösa          | 16. Nålventil med kontrollfläns               |
| 8. Reglerventil med tryckmätningsslag | 17. Temperaturmätare                          |
| 9. Växelventil                        | 18. Temperaturmätare, levereras lösa          |
|                                       | ----- Leveransgräns                           |

FIG.2.5 Principschema för fjärrvärmeundercentral.

### 3 INTERVJUUNDERSÖKNING

#### Syfte

Huvudsyftet med denna enkätundersökning har varit att få kunskap om hur värmen, ventilationen mm har fungerat under den gångna vinter, dvs eldningssäsongen 76/77. Detta som underlag dels för planering av energibesparingsåtgärder inför nästa eldningssäsong, dels för efter-studier av hyresgästernas reaktioner under försöksverksamheten.

Tonvikten i undersökningen har lagts på

- att ge bakgrundsdata om hushållen
- att få kunskap om hyresgästernas egen bedömning av inomhusklimatet
- att försöka dra slutsatser om husets värmebalansering
- att lokalisera och ta vara på frågeställningar och problem rörande inomhusklimatet som ur hyresgästernas synvinkel är viktiga.

Hela undersökningen finns utförligt beskriven i arbetsrapport BKL 1977:10 av Lundgren och Svärd (1977). Här ges endast en sammanfattning av genomförandet och resultaten.

#### Genomförande

Efter inledande diskussioner med projektledningen angående vilka frågeställningar som borde inkluderas i undersökningen utarbetades ett frågeformulär. Detta formulär testades vid en provintervju i mätthuset.

Frågeformulären adresserades till lägenhetsinnehavarna och delades ut direkt i brevinkasten den 20/4. Till formulären bifogades ett introduktionsbrev, där det påpekades att vi personligen skulle komma att samla in formulären.

Fem dagar senare, 25/4, gick vi runt till samtliga lägenheter och samlade in frågeformulären. Där ingen var hemma vid något av de två be-

sök vi gjorde under eftermiddagen och kvällen lämnade vi ett frankerat svarskuvert (inkl frågeformulär och introduktionsbrev) i brevkastet.

När vi gick runt i huset för att samla in frågeformulären fick vi en värdefull direktkontakt med många hyresgäster, speciellt i de fall vi fick vänta medan frågorna besvarades. Förutom det positiva i en direktkontakt med hyresgästerna har vi anledning tro att metoden att personligen samla in frågeformulären ger en avsevärt högre svarsprocent än normalt då man endast bifogar svarskuvert.

Insamlandet av frågeformulären gjordes av fyra personer. Vi arbetade två och två och gick runt i var sin halva av huset två gånger, dels på eftermiddagen, dels senare på kvällen. Insamlandet klarades av på mindre än sex timmar. Vi hade då samlat in närmare 60% av formulären.

### Bortfall

Med de formulär som senare anlände per post erhöll vi 52 besvarade formulär. Bortfallet är 28%. Av de 20 som ej svarat vet vi att en vägrar och att fyra flyttat in så nyligen att de ej ansåg sig kunna bedöma lägenhetsklimatet under vintern. Bortfallet är något större för de fyra nedre våningsplanen än för de fyra övre (12 resp 8 hushåll).

Vi vet inte mycket mer om bortfallet än att dessa hyresgäster inte var anträffbara vid det tillfälle då formulären samlades in. Men gissningsvis skiljer sig bortfallet i vissa avseenden från populationen som helhet. Sålunda har vi på känn att t ex pensionärerna i större utsträckning har besvarat enkäten än yngre med mindre regelbunden hemmavistelse.

Kanske kan man också våga antagandet, att de som inte tagit enkäten som ett tillfälle att komma till tals, inte heller anser sig ha några nämnvärda synpunkter eller klagomål att framföra.

## Resultatsammanfattning

I all korthet kan undersökningens resultat summeras som följer:

### Om hyresgästerna:

Det är en förhållandevis hög andel (30%) pensionärshushåll i fastigheten. Likaså av småhushåll; hela 72% är en- och tvåpersonershushåll. Intressant är också socialgruppsammansättningen; endast 35% av hushållen tillhör socialgrupp III.

### Hur har värmen varit i vinter?

Det stora flertalet (70%) tycker att temperaturen i lägenheten för det mesta varit lagom under den gångna vintern. Det är företrädesvis pensionärerna som tycker det varit för kallt, medan det fåtal (10%) som menar att det varit för varmt alla är unga. Noteras kan att samtliga som säger det varit för kallt också uppger att man har drag i lägenheten.

Vi finner en viss tendens till att man tycker det är kallare ju högre upp man bor. Sex av de nio hushåll som tycker det är för kallt återfinns på de tre översta våningsplanen. Allra överst klagar vart tredje hushåll. Till detta kommer att lägenheterna i trapphus 1 mot söder bedöms som kallare än de övriga.

### Hur varmt vill man ha det?

Hushållens svar fördelar sig tämligen jämnt på temperaturintervallen 20-21 respektive 22-23 °C. Det är endast tre - och det är pensionärshushåll - som vill ha det varmare.

### Vad tycker man om ventilationen?

Ventilationen tycks på det hela taget fungera ganska bra; dock är det 20% som anser att ventilationen fungerar dåligt. Påfallande är att det nästan uteslutande är unga hushåll som klagar på ventilationen.

Anmärkningsvärt är att uppemot hälften av de boende i trapphus 1 är missnöjda med ventilationen i kök och badrum, medan så endast är fallet till en ringa del (15%) i huset i övrigt.

### Har man drag i lägenheten?

Ett knappt flertal (57%) uppger att de har drag någonstans i lägenheten. Vanligast är att det drar i köket, och då oftast från balkongdörren.

### Uppföljande undersökning

Någon uppföljande enkätundersökning har inte gjorts för att få de boendes synpunkter på de olika åtgärder som vidtagits. Ett skäl är att omsättningen i huset är omkring 10% per år vilket minskar antalet hyresgäster som även deltagit i den första enkätundersökningen.



#### 4 ATGÄRDER

I detta kapitel beskrivs de åtgärder som har vidtagits för att minska värmeförbrukningen och dessutom så görs en enkel analys av hur fönstertätning påverkar ventilationen och hur ventilationen påverkas av utetemperaturvarierad arbetsspänning till frånluftsfläktarna. De åtgärder som förvaltaren vidtagit under de aktuella åren för båda husen är en stegvis sänkning av reglerkurvan, utbyte av reglerutrustningen för värme 1980 samt en sänkning av garagetemperaturen.

##### Inreglering av radiatorsystemet

Byggnadsenergibyrån fick i uppdrag att beräkna installationsvärden för alla strypventiler. Först skedde en värmebehovsberäkning för hela huset. Med uppgifter på nödvändiga effekter för de olika ettrörsslingorna, 128 st i våning 1-8, så beräknades med ett datorprogram olika inställningsvärden för stamstrypventiler 14 st stora (ansl 25 och 32), 12 st mindre, 256 trimventiler på 128 enrörsslingor för radiatorer i lägenheter och 18 ventiler för olika radiatorgrupper i källaren.

Efter injusterings av värmesystemet gjord av MKB's personal enligt Byggnadsenergibyråns anvisningar så erhöles för höga temperaturfall i stammarna med ansl 25 i trappa 1 och 4 (husets gatusida). Tillhörande strypventiler öppnades upp något samtidigt som en nerstrykning skedde av de fyra stora stammarna ansl 32 en i varje trappa (husets entrésida). Denna efterinjusterings innebar att totalflödet ökades något.

I TAB.4.1 redovisas för de största stammarna ansl 25 och 32, de projekterade instrypningsvärdena av VVS-konstruktören, de beräknade av Byggnadsenergibyrån och de rådande. Tryckfallet har även angivits i de två första fallen.

Nedan görs en sammanställning mellan ursprungligen projekterade, datorberäknade, uppmätta och omskalade uppmätta värden.



		Projek <sup>1)</sup> terat	Datorber. enl BEB	Mätt feb 79	Omskalat
Utetemp	C <sup>0</sup>	- 14	- 14	- 9.6	- 14
Innetemp	C <sup>0</sup>	20	20	22.2	20
Framledn. temp	C <sup>0</sup>	80	60	60.6	61.1
Returtemp	C <sup>0</sup>	60	50.6	48.6	48.2
Temp, Fall	C <sup>0</sup>	20	9.4	12	12.9
Värmeeffekt	kW	317	234	185 <sup>2)</sup>	198 <sup>2)</sup>
Flöde	m <sup>3</sup> /n	18.5	21.3	14.6	14.6

1) Enligt beskrivning värmeanläggning, pumpen överdimensionerad.

2) En av temp.fall och flöde beräknad effekt blir något högre. Bristfälliga givare och dålig integrering med 1-timmes avläsningar är tänkbara orsaker.

En fingervisning om att denna efterjustering var nödvändig kan fås om värmeeffekten för de fyra stammarna med ansl 32 på husets entrésida åt öster jämförs med de åtta stammarna med ansl 25 på husets gatusida åt väster. De två värmeeffekterna är 108 kW för entrésidan och 83 kW.

Entrésidan har ett något större transmissionsbehov än gatusidan på grund av större fönsterytor och balkondörrar. Väggarnas värmeisolering skiljer sig marginellt.

Värmebehovet för ventilation som grovt är hälften av värmebehovet för transmission har beräknats efter golvytan på de fasadbelägna rummen. Här finns en skillnad mellan gatusida och entrésida för just den ventilationsbestämmande golvytan som är 220 m<sup>2</sup> resp 280 m<sup>2</sup> (större rum åt entrésidan). En omfördelning till samma ventilationsvärmebehov på båda sidor förändrar effektförhållandet från 83:108 kW till 87:104 kW och ett ventilationsförhållande 60/40 ger effektförhållanden på 90:101 kW.

Ventilationsförhållandet gatusida/entrésida kan mycket väl tänkas bli större än vad som redovisats ovan eftersom gatusidan är orienterad åt väster och 56 av 72 lägenheter är genomgående. Entrésidan åt öster är mindre utsatt för vind och balkongerna, som täcker hela entréfasaden, skyddar också något.

Detta är troligen en av orsakerna till att rummen åt väster anses som kallare. Vid västliga vindar som är den förhärskande vindriktningen i Malmö kommer troligen merparten av ventilationsluften in genom dessa rum. Detta ger upphov till en temperatursänkning då radiatorerna genom mindre golvyta har fått ett mindre ventilationspåslag mot väster. Saken förvärras också genom att de rum som i de flesta lägenheterna är orienterade åt öster, kök och vardagsrum, också har de största värmestillskotten i form av gratisvärme. Härigenom ökar temperaturskillnaden mellan lägenhetens båda sidor ytterligare. Försöker man att vädra ut sin övervärme på läsidan får detta troligen till resultat en ytterligare minskad rumstemperatur på vindsidan.

### Omtätning av fönster och balkongdörrar

Omtätning genomfördes hösten 1977.

De tidigare tätningslisterna, V-list av gummi, ersattes med slanglist av gummi för samtliga fönster och balkongdörrar. I omtätningens arbetet ingick även justering av snickerier och gångjärn. Arbetet omfattade också omtätning av fönster och balkongdörrar mellan karm och byggnad. I detta fall kompletterades den befintliga drevningen inifrån med mineralull och därefter pressades en gummislang in och tätningen fullbordades med heltäckande fogmassa i mindre spalter och med två fogmassasträngar mellan byggnad-slang och slang-karm. Den befintliga invändiga täcklisten spikades därefter åter på.

Omtätningens inverkan på infiltration och normalventilation behandlas i kapitel 5. Nedan görs en enkel analys av hur ventilationsluftflödet beror på både byggnadens lufttäthet och ventilationssystemets dimensionering. En förbättrad lufttäthet hos en byggnad innebär inte att ventilationsluftflödet i ett frånluftssystem minskar i motsvarande grad.

Sambandet mellan byggnadens läckflöde och tryckfallet över densamma före tätning antas kunna skrivas som

$$p_{bf} = a_{bf} q_f^2 \quad (4.1)$$

och efter tätning

$$p_{be} = a_{be} q_e^2 \quad (4.2)$$

Sambandet för tryckfallet i ventilationssystemet före tätning antas kunna skrivas som

$$p_{vf} = a_v q_f^2 \quad (4.3)$$

och efter tätning

$$p_{ve} = a_v q_e^2 \quad (4.4)$$

Frånluftsventilationen ändras ej i samband med tätningen.

Två fall av fläktkaraktistik skall användas, dels antas att fläkt-effekten är det samma före och efter tätningen och dels antas att fläktens tryckstegring är oberoende av luftflödet i det aktuella området.

Konstant fläkteffekt

$$P = p_{sf} q_f = p_{se} q_e \quad (4.5)$$

Konstant tryckstegring

$$p_{sf} = p_{se} \quad (4.6)$$

Fläktens tryckstegring är lika med tryckfallet i byggnaden och ventilationssystemet vilket ger

$$p_{sf} = p_{bf} + p_{vf} \quad (4.7)$$

och

$$p_{se} = p_{be} + p_{ve} \quad (4.8)$$

Efter insättning av (4.1) och (4.3) i (4.7) och (4.2) och (4.4) i (4.8) fås

$$p_{sf} = (a_{bf} + a_v) q_f^2 \quad (4.9)$$

$$p_{se} = (a_{be} + a_v) q_e^2 \quad (4.10)$$

Luftflödesförhållandet kan nu beräknas för konstant fläkteffekt med

insättning av (4.9) och (4.10) i (4.5) till

$$q_e/q_f = ((a_{bf}+a_v)/(a_{be}+a_v))^{1/3} \quad (4.11)$$

och för fallet konstant tryckstegring fås

$$q_e/q_f = ((a_{bf}+a_v)/(a_{be}+a_v))^{1/2} \quad (4.12)$$

I TAB.4.2 - 4.3 har flödesförhållandet före/efter tätning beräknats för olika tryckfallsförhållanden ventilation/byggnad för tätning 0,1, 2,5,10 och 20 och för olika grad av tätning 50,80 och 90% minskning av otätheter, vilket ger sambanden  $a_{be}=4a_{bf}$ ,  $a_{be}=25a_{bf}$  resp  $a_{be}=100 a_{bf}$ .

Siffrorna i TAB.4.2 - 4.3 visar att om tryckfallsandelen i ventilationssystemet är hög så ändras luftflödet endast i mindre omfattning. Det ideala fallet uppnås endast när tryckfallet i ventilationssystemet är noll och för fallet med konstant tryckstegring.

I den gjorda analysen har ventilationssystemet lämnats utan åtgärder. Antag att fläkteffekten minskas med faktorn  $r^3$  och tryckstegringen med faktorn  $r^2$ , då blir flödesförhållandet för konstant fläkteffekt före och efter tätning

$$q_e/q_f = r((a_{bf}+a_v)/(a_{be}+a_v))^{1/3} \quad (4.13)$$

och för konstant tryckstegring före och efter tätning

$$q_e/q_f = r((a_{bf}+a_v)/(a_{be}+a_v))^{1/2} \quad (4.14)$$

De två uttrycken visar att reduceras fläkteffekten med  $r^3$  och tryckstegringen med  $r^2$  så minskar flödesförhållandet med faktorn  $r$ .

### Åtgärder ventilationssystemet

Någon extra inreglering av ventilationssystemet har inte gjorts. Ett skäl till detta var att ventilationssystemets uppbyggnad som gör det mindre känsligt för felställda don. Kanalsystemet är uppdelat i två skilda system för de fyra lägre och högre våningarna. I stället så har en enkel utetemperaturvarierad frånluftsventilation införts. Nedan görs ett enkelt försök till analys om hur frånluftsflödet kommer att variera med utetemperaturen.

Frånluftsventilation varieras efter utetemperatur genom att med en vridtransformator variera spänningen till de fyra frånluftsfläktarna. Spänningen sänks linjärt från 380 V vid 12 °C ute till 280 V vid 5 °C. Detta innebär att fläkteffekten avtar kvadratisk med spänningen.

Om fläktens tryckstegring är proportionell mot fläktens effekt så erhålls en linjär flödesminskning efter utetemperatur från 12 °C till 5 °C. Ett annat antagande är att fläkteffekten är proportionell mot tryckstegringen gånger flödet, vilket ger att fläkteffekten är proportionell mot flödet i kubik eftersom tryckstegringen är proportionell mot flödet i kvadrat. Detta innebär att den med utetemperaturen kvadratisk avtagande fläkteffekten inte ger ett linjärt avtagande flöde. I detta fall fås att flödet  $q$  är proportionellt mot spänningen  $u$ , upphöjt till  $2/3$ , dvs  $q = k u^{2/3}$ . Sambandet mellan frånluftsflöde och spänning eller utetemperatur  $q = k u^{2/3}$  har ritats upp i FIG.4.1. Kurvan i FIG.4.1 visar att för måttliga spänningsändringar så avtar frånluftsflödet linjärt med spänningen.

Värmebehovet för transmission och ventilation är normalt en linjär funktion av temperaturskillnaden inne-ute. Med en med utetemperaturen varierande ventilation så förändras detta enkla samband. Olika värden på värmebehovet kan därför erhållas beroende på olika utetemperaturer.

Den nuvarande ventilationen omkring 50% av den projekterade med en rådande omsättning på 0.4 oms/h ligger något under minsta godtagbara uteluftsflöde vars motsvarande minsta omsättning är 0.5. Frånluftsflödet kan alltså egentligen inte sänkas till hälften om normen 0.5 oms/h skall

uppfyllas. Vid dålig luftkvalitet ökar säkert vädringen.

En annan observation är att ventilationsbehovet är störst under natten (högst personbelastning) samtidigt som uttemperaturen är lägre, vilket resulterar i ett lägre frånluftsflöde.

Orsaken till att man provade denna form av ventilationsstyrning var att den ofrivilliga infiltrationen ökar vid låga utomhustemperaturer. Det har dock visat sig att detta samband är mycket svagt. Bortfallet i den fläktstyrda delen av omsättningen kompenseras inte av en ökad omsättning av infiltrationen.

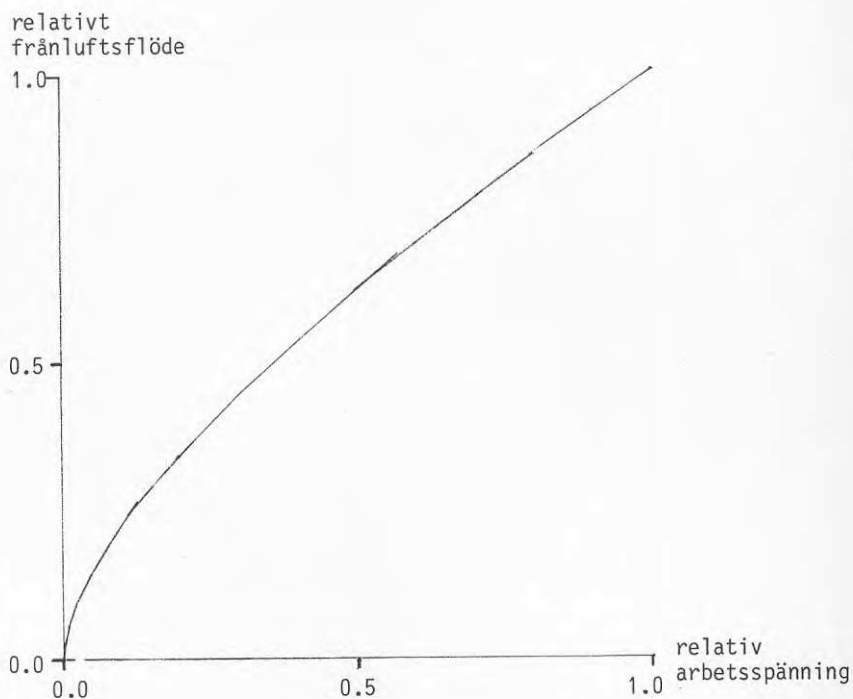


FIG.4.1 Relativt frånluftsflöde som funktion av relativ arbetsspänning. Fläkteffekt proportionell mot arbetsspänning i kvadrat och mot flöde i kubik.

TAB.4.1 Sammanställning över projekterade, datorberäknade och injusterade och rådande inställningsvärden för de största stammarna.

trappa	ansl	projekterat		datorberäknat injusterat		rådande 1981-05-12
		inst	tryckfall mm vp	inst	tryckfall mm vp	inst
1	32	2.0	980	5.2	3267	6.0
2	32	2.2	1440	4.6	2928	*)
3	32	2.2	1500	4.0	4696	4.0
4	32	1.4	400	5.8	1917	5.8
1	25	1.9	640	8.0	301	5.0
1	25	2.4	1070	2.8	3727	4.0
2	25	2.5	1400	1.0	5972	4.0
2	25	2.5	1450	2.8	4327	6.0
3	25	2.5	1470	1.0	6350	4.0
3	25	2.5	1500	2.4	4632	3.2
4	25	2.5	1520	2.8	4483	2.8
4	25	1.8	590	4.2	2508	4.5
TA-1	32	2.6	1970	2.8	6342	4.0
TA-2	32	2.7	2500	1.4	6482	1.4

\*) kunde ej läsas av



TAB. 4.2 Flödesförhållande efter/före tätning enligt uttrycket för konstant fläkteffekt (4.11) för olika tryckfallsförhållanden  $a_v/a_{bf}$  mellan ventilation och byggnad före tätning och för olika tryckfallsförhållanden  $a_{be}/a_{bf}$  mellan byggnad före och efter tätning

$a_v/a_{bf}$	$a_{be}=4a_{bf}$	$a_{be}=25a_{bf}$	$a_{be}=100a_{bf}$
0	0.63	0.34	0.22
1	0.74	0.43	0.27
2	0.79	0.48	0.31
5	0.87	0.59	0.39
10	0.82	0.63	0.46
20	0.96	0.78	0.56

TAB. 4.3 Flödesförhållande efter/före tätning enligt uttrycket för konstant tryckstegring (4.12) för olika tryckfallsförhållanden  $a_v/a_{bf}$  mellan ventilation och byggnad före tätning och för olika tryckfallsförhållanden  $a_{be}/a_{bf}$  mellan byggnad före och efter tätning

$a_v/a_{bf}$	$a_{be}=4a_{bf}$	$a_{be}=25a_{bf}$	$a_{be}=100a_{bf}$
0	0.50	0.20	0.10
1	0.63	0.28	0.14
2	0.71	0.33	0.17
5	0.81	0.45	0.24
10	0.89	0.56	0.32
20	0.94	0.68	0.42

## 5 FÖNSTERPROVNING OCH SPÄRGASMÄTNING

I detta kapitel beskrivs de fönstertäthetsprov, spärgasmätningar och luftomsättningsmätningar som genomförts. Fönstertäthet har provats både före och efter omtätning av fönster. Luftomsättningen för infiltration och normal ventilation har bestämts med spärgasmetoden. Den normala ventilationen har även mätts med luftflödesmätning av några frånluftsdon.

Fönsterprovning och spärgasmätning har utförts av Egon Lange, Urban Lundh och Agneta Olsson-Jonsson.

### Fönsterprovning

Vid dessa mätningar har ett mättält använts (se FIG.5.1). Detta är uppbyggt enligt följande princip. Ett plasttält fästes omkring fönstret på fasadens insida. Utanför detta tält anbringas ett skyddstält. Med hjälp av fläktar skapas i de båda tälten ett övertryck eller undertryck i förhållande till fönstrets utsida. Trycket regleras så att det blir lika stort i båda tälten. Härvid sker ingen luftströmning från det ena tältet till det andra. På grund av tryckskillnaden över fönstret kommer luft att strömma ut eller in genom otätheter i fönstret. Storleken på luftmängden, som strömmar ut, eller in, registreras av en gasmätare placerad i luftkanalen till innertältet.

På detta sätt bestäms luftläckaget genom fönstret vid olika tryckskillnader. Luftläckagets storlek fås som funktion av tryckskillnaden mellan innertältet och fönstrets utsida.

För täta fönster har mätningarna tillgått så att tryckskillnaden över fönstret har stegvis ökats från 0 till ca 300 Pa. Detta värde motsvarar en vindstyrka av ca 22 m/s och har ansetts som en rimlig gräns då det är få dagar som det blåser så mycket eller mer. För otäta fönster är det däremot svårt att komma upp i höga tryckskillnader. Här har i stället tryckskillnaden över fönstret stegvis ökats från 0 upp till det värde vid vilket luftläckaget är ca  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  som utgör övre gränsen för mätutrustningen.

Det kan som jämförelse nämnas att normvärdena för fönsters luftläckage är  $1.7 \text{ m}^3/\text{h}$  och  $5.6 \text{ m}^3/\text{h}$  för en fönsteryta (karmmått) på  $1 \text{ m}^2$  vid en tryckskillnad på 50 Pa respektive 300 Pa.

Sedan något av gränsvärdena uppnåtts har tryckskillnaden stegvis minskats till 0 igen. Därefter har tryckskillnaden åter ökat till gränsvärdena. Detta innebär att för varje fönster har tre mätpunktsföljder erhållits. Mätpunktsföljderna har legat väl samlade för samtliga undersökta fönster och därför redovisas endast kurvorna i fortsättningen. Samma förfarande har tillämpats för både över- och undertryck.

I FIG.5.2 - 5.5 redovisas luftflödeskurvorna för fyra fall enligt

FIG.	Rum	Fönstertyp	Karmmått mxm	Yta $\text{m}^2$	Luftläckage enligt norm $1.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ $5.6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	
5.2	vardagsrum	perspektiv	1.85x1.4	2.54	4.32	14.23
5.3	kök	inåtgående, kopplat	1.2 x1.4	1.68	2.86	9.41
5.4	sovrum	inåtgående, kopplat med vädringslucka	1.5 x1.6	2.40	4.08	13.45
5.5	badrum	inåtgående, kopplat	0.9 x0.9	0.81	1.38	4.35

Kurvorna i FIG.5.2 - 5.5 visar att fönsterna läcker mer än normvärdena som också har ritats in. Omtätningen av fönsterna har inte haft någon märkbar effekt.

De erhållna läckflödeskurvornas form har i en del fall bestämts genom att läsa av ett värde  $q_1$  vid 300 Pa och ett annat  $q_2$  vid 50 Pa. Sambandet mellan tryckfall  $p$  och flöde  $q$  antas kunna skrivas som  $p=kq^n$ , där  $k$  och  $n$  är konstanter. Formparametern  $n$  bestäms med de två avläsningarna  $q_1$  och  $q_2$  som  $n=\ln(300/50)/\ln(q_{300}/q_{50})$ . Nedan görs en sammanställning för sex olika fall.

rum	tätning	fall	$q_{300}$ $m^3/h$	$q_{50}$ $m^3/h$	n
bad	före	tryck	33.6	9.7	1.29
bad	före	sug	25.0	7.6	1.31
sov	före	tryck	27.5	8.0	1.29
sov	före	sug	29.0	8.3	1.31
sov	efter	tryck	21.	5.5	1.24
sov	efter	sug	24.	6.6	1.26

De erhållna värdena ligger något under normens formparameter  $n=1.31$ .

### Mätning av infiltration och normal ventilation

Infiltration och normalventilation har mätts upp med spårgasmetoden. Som jämförelse har den normala ventilationen också mätts upp med mätning av luftflöden i frånluftsdonen i de aktuella lägenheterna.

Den använda spårgasmetoden innebär att en viss mängd av en känd och mätbar gas tillförs rumsluften. Sedan gasen blandat sig väl med rumsluften mätes samhörande värden på gaskoncentration och tid. Ju större luftomsättningen är desto snabbare sjunker gaskoncentrationen.

Luftomsättningen kan beräknas enligt en massflödesbalans, vilken säger att ändringen av mängden spårgas i rummet är lika med den mängd gas som bortföres med utsugen luft.

Med mätningar på gaskoncentrationen  $c(t)$  vid två olika tidpunkter  $t_1$  och  $t_2$  så kan omsättningen  $n$  beräknas som

$$n = \ln(c(t_1)/c(t_2))/(t_2 - t_1)$$

Gaskoncentrationen har bestämts med hjälp av en gasanalysator, typ URAS 7N. Jämnt fördelat i lägenheten har placerats plastslangar som mynnat i analysatorns insugningsventil. Härmed fås ett medelvärde av gaskoncentrationen i lägenheten. Vid mätningarna har analysatorn kopplats till en XY-skrivare, vilken registrerat gaskoncentrationen kontinuerligt. Detta mätförfarande medför att ev störningar lätt har kunnat observerats. Luftomsättningen  $n$  erhålls genom att på den kurva XY-skrivaren ger avläsa två värden på gaskoncentrationen vid olika tidpunkter och sätta in dessa i ekvationen ovan.

Försöken har tillgått så att först så har alla luftdon och vädringsluckor stängts eller tejplats igen. Lustgas har sedan spridits ut i alla rum. Startkoncentrationen har varit omkring 0.2-0.3 volymsprocent. Alla innerdörrar har sedan lämnats öppna. Infiltrationen har sedan bestämts med en tidsperiod på upp till två timmar. Den normala ventilationen har sedan återställts genom att tejpens åter borttagits. Under en ny tidsperiod upp till två timmars längd så har omsättningen be-

stämmts. Någon ny tillsats av spårgas har inte skett. Detta behöver inte heller ske eftersom spårgasförlusten utan normal ventilation endast är omkring 20-40% under två timmar.

Mätningar har skett i 6 olika lägenheter i huset före och efter tätning av fönster. I ett fall så har fem mätningar gjorts före fönstertätning och två efter.

Vind och temperaturdifferens ute-inne har betydelse för vilket värde som erhålles på ventilationen. Därför har vindhastigheten samt inom- och utomhustemperatur registrerats vid varje mättillfälle.

I TAB.5.1 beskrivs de 6 lägenheternas typ, placering, yta, volym, projekterad ventilation och omsättning. Mätresultaten från spårgasmätningarna återges i TAB.5.2.

I TAB.5.3 görs en jämförelse mellan spårgasmätning och luftdonsmätning för den normala ventilationen.

#### Sammanfattning spårgasmätningar

De redovisade siffrorna i TAB.5.2 på infiltration och normalventilation visar både ökning och minskningar av omsättningen före och efter fönstertätning. För de fem lägenheterna som bara mätts en gång före och en gång efter så har både infiltration och normalventilation ökat efter omtätning för fyra lägenheter. Den mest genomtätta lägenheten med fem före och två efter-mätningar uppvisar obetydligt lägre infiltration och normalventilation före än efter fönstertätning för de fyra senaste mätningarna.

Tidsintervallet mellan före och efter-mätningar har i de flesta fallen varit mindre än en månad. Om man antar att uteklimatets inverkan varit helt slumpmässigt så borde fler fall än ett av sex haft lägre infiltration och normalventilation efter omtätning, om omtätning haft någon positiv effekt.

Frånluftsventilationen har varit konstant. Utetemperaturvarierad frånluftsventilation infördes senare.

#### Jämförelse spårgasmätning och luftdonsmätning av luftomsättning

I TAB.5.3 ges en sammanställning över spårgasmätt och luftdonsmätt luftomsättning vid normalventilation. De i TAB.5.3 redovisade mätresultaten har skett parvis samtidigt. Luftdonsmätningarna ger genomgående högre luftomsättningar.

Om enbart infiltration sker så borde de två mätsätten ge samma omsättning. Om även exfiltration förekommer så skall spårgasmätningen ge högre luftomsättningsvärden, eftersom luftdonsmätningarna endast mäter skillnaden infiltration-exfiltration.

Skillnaden är grovt 10-20% vilket skall jämföras med mätmetodernas mätfel på 10% för spårgas och 10% för luftdonsmätning.

De uppmätta luftomsättningsvärdena pekar på en luftomsättning på omkring  $0.5 \text{ h}^{-1}$ , vilket ligger 30-40% under den genomsnittliga projekterade luftomsättningen, vilket till viss del kan förklaras med försmutsning av kanaler och luftdon samt att de reglerbara kontrollventilerna inte var helt öppnade.

#### Multipel regressions analys av infiltration

Multipel regressionsanalys har använts för att undersöka hur infiltrationen berörs av vindhastighet, vindriktning och temperaturskillnad inne-ute. Analysen har genomförts för fallen före och efter omtätning, antalet mätdata är 9 resp 7.

Insignaler har varit vindhastighet  $v$ , vindhastighet vinkelrät byggnadens längdriktning  $v_n$ ; temperaturskillnaden inne-ute  $dt$  och kvadraten på  $v^2$  dvs  $v_n^2$  och  $dt^2$ . I TAB 5:4 redovisas modellparametrar  $a_0$  och  $a_1$  och modellfelets standavvikelse  $s$  för modeller med bara en insignal.



Antalet mätdata, bara 9 resp 7, är för litet, men modellenpassningen visar att grundinfiltrationparameterna är högre efter omtätning än före. Enbart vindhastigheten eller dess kvadrat har någon betydelse. I fallet före omtätning är tecknet felaktigt mot förväntat. Någon större skillnad mellan insignalerna  $v$ ,  $v^2$ ,  $v_n$  eller  $v_n^2$  fanns inte.

Modeller med fler än en insignal har anpassats till mätdata. Någon större förbättring erhålls inte med dessa modeller. Antalet modellparametrar börjar närma sig antalet mätdata, vilket är helt förkastligt.

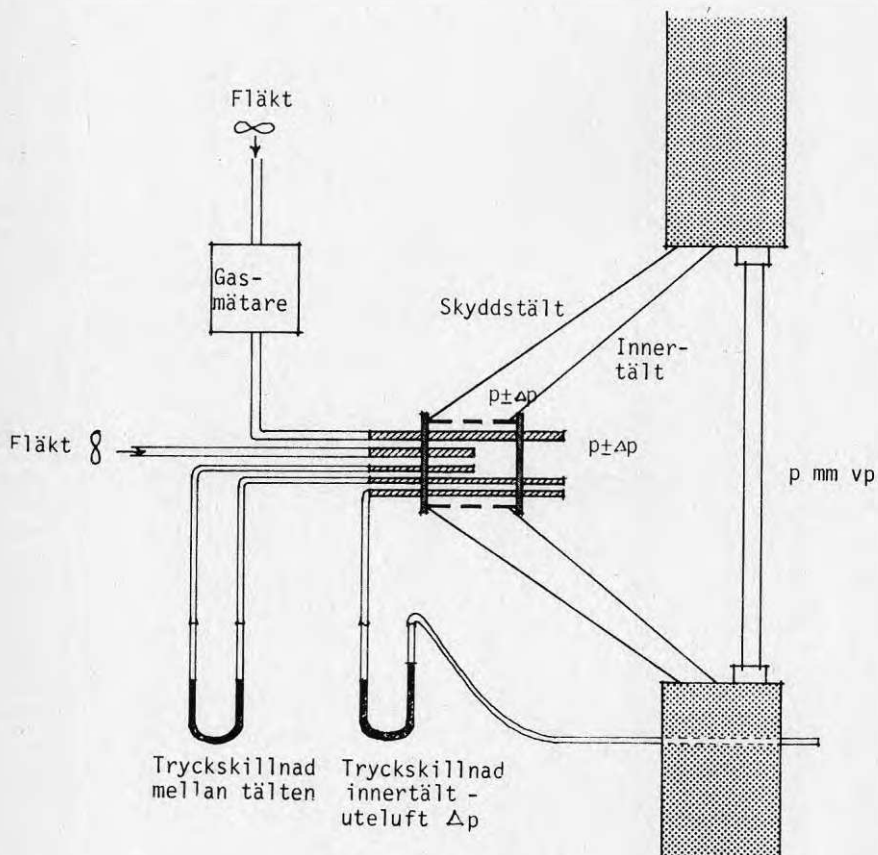
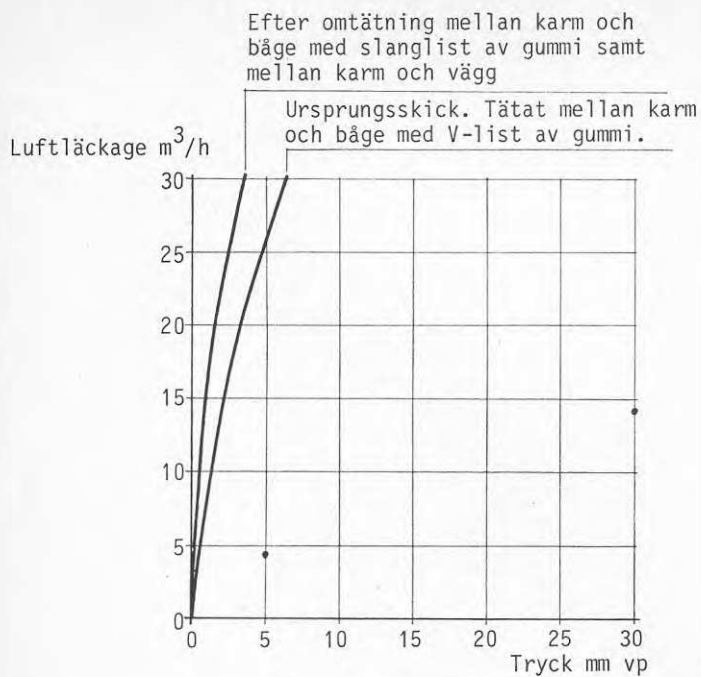
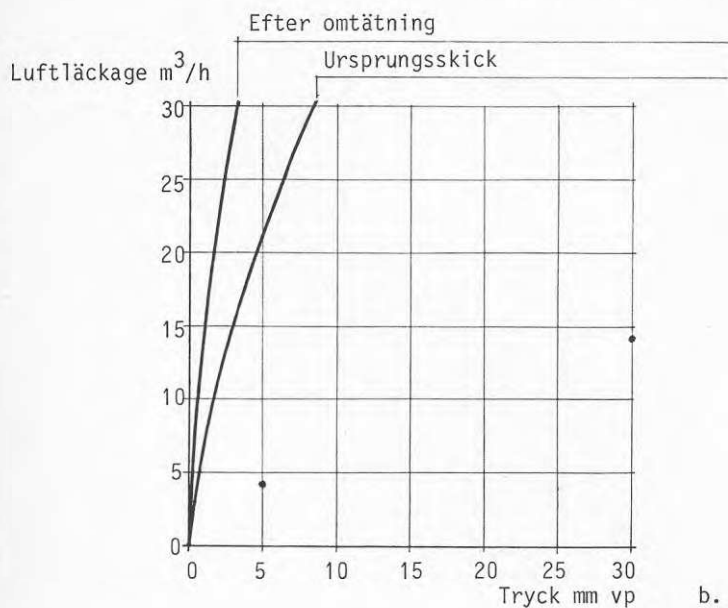


FIG.5.1 Principskiss över metod att mäta täthet hos fönster.



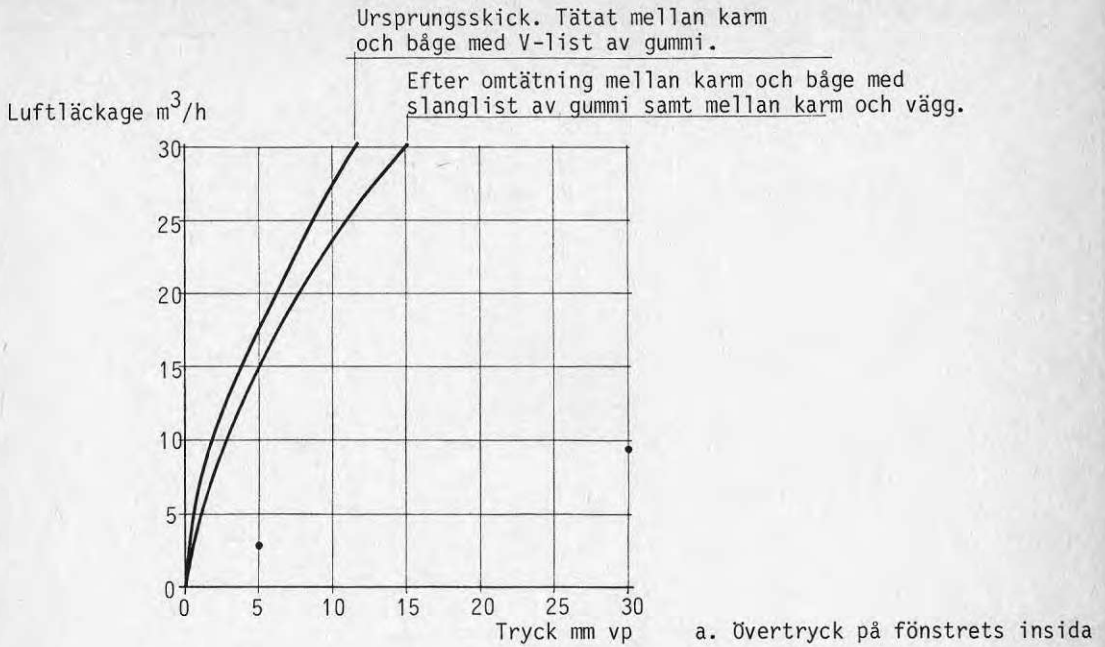
a. Övertryck på fönstrets insida

- Krav enl SBN 1975 för täthet mellan karm-båge.



b. Undertryck på fönstrets insida

FIG.5.2 Jämförelse mellan luftläckage före och efter omtätning mellan båge-karm-vägg. Perspektivfönster i vardagsrum. Yta  $2.54 \text{ m}^2$ . Karmmått  $1.85 \times 1.4 \text{ m}$ .



- Krav enl SBN 1975 för täthet mellan karm-båge.

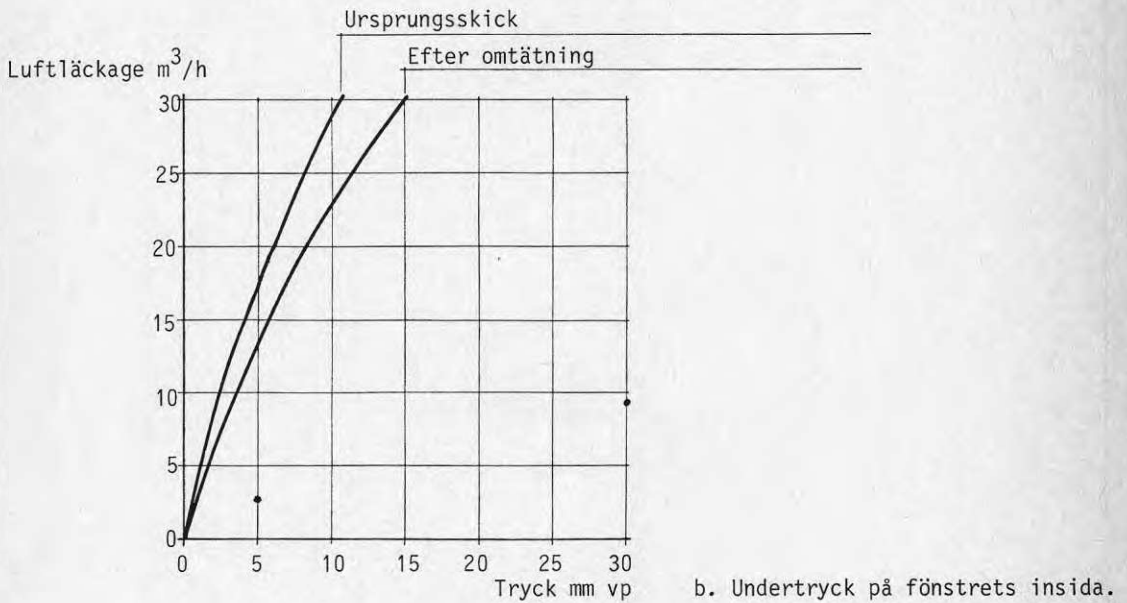
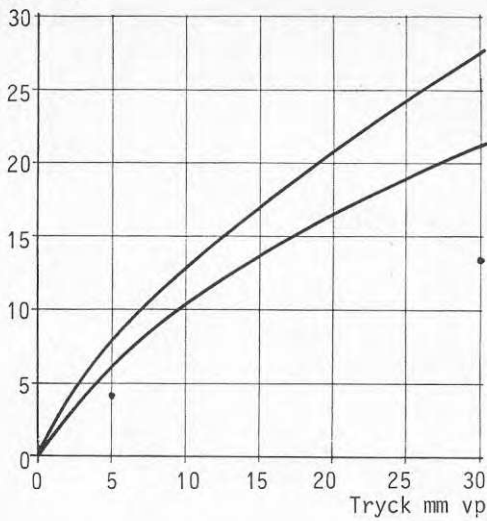


FIG.5.3 Jämförelse mellan luftläckage före och efter omtätning mellan båge-karm-vägg. Kök, inåtgående kopplat. Yta  $1.68 \text{ m}^2$ . Karm-mått  $1.2 \times 1.4 \text{ m}$ .

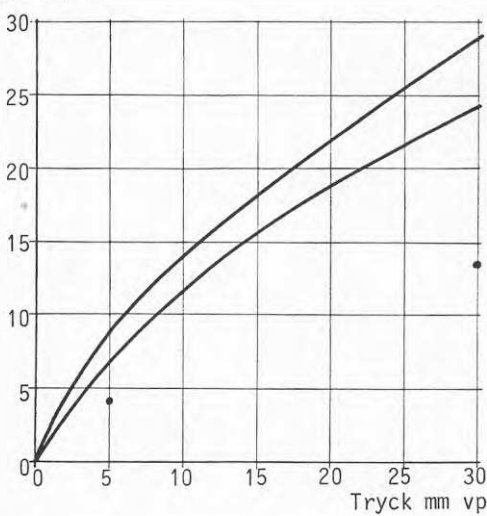
Luftläckage  $\text{m}^3/\text{h}$ 

Ursprungsskick. Tätat mellan karm och båge med V-list av gummi.

Efter omtätning mellan karm och båge med slanglist av gummi samt mellan karm och vägg.

a. Övertryck på fönstrets insida.

- Krav enl SBN 1975 för täthet mellan karm-båge.

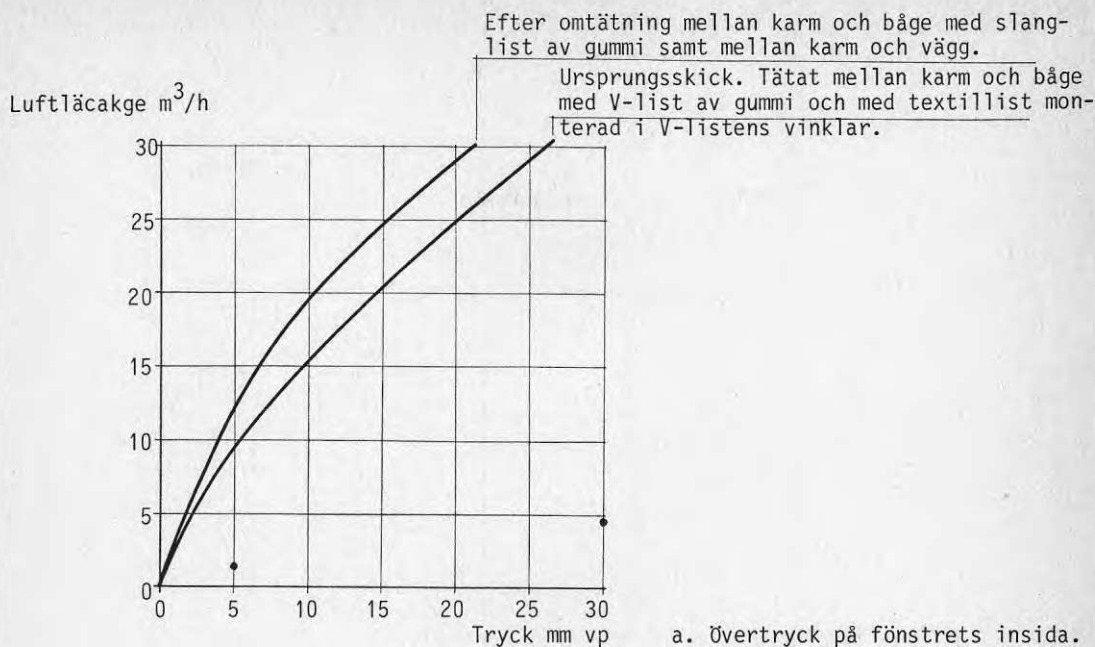
Luftläckage  $\text{m}^3/\text{h}$ 

Ursprungsskick

Efter omtätning

b. Undertryck på fönstrets insida.

FIG.5.4 Jämförelse mellan luftläckage före och efter omtätning mellan båge-karm-vägg. Sovrum, inåtgående kopplat med vädringslucka. Yta  $2.40 \text{ m}^2$ . Karmmått  $1.5 \times 1.6 \text{ m}$ .



- Krav enl SBN 1975 för täthet mellan karm-bäge.

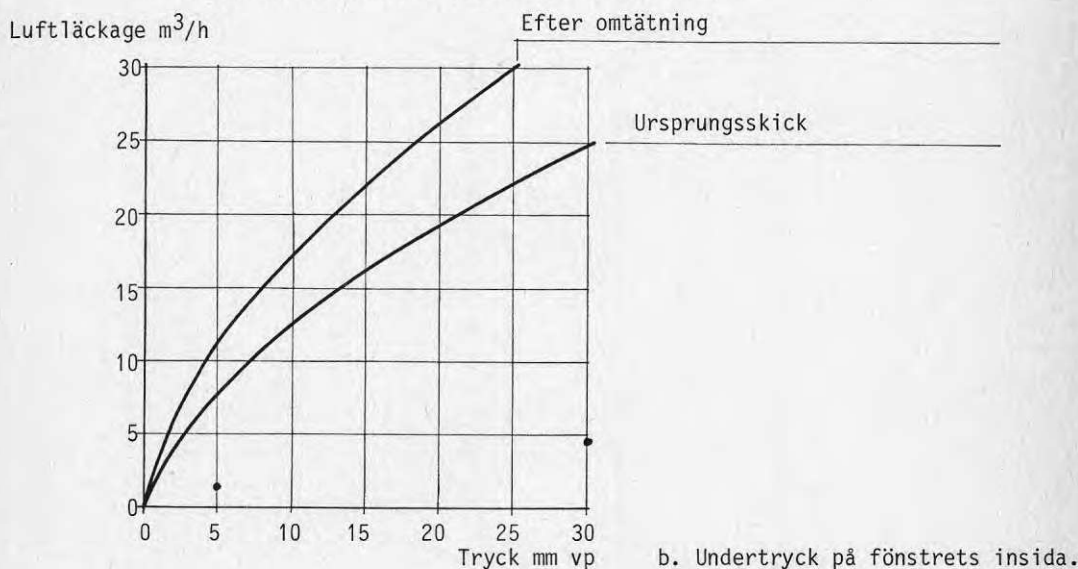


FIG.5.5 Jämförelse mellan luftläcakge före och efter omtätning mellan bäge-karm-vägg. Badrum, inåtgående kopplat. Yta  $0.81 \text{ m}^2$ . Karm-mått  $0.9 \times 0.9 \text{ m}$ .

TAB.5.1 Lägenhetssammansättning av infiltrations- och ventilationsprov.

lgh nr	typ	vån	tr	yta m <sup>2</sup>	volym m <sup>3</sup>	projekterat frånluftflöde m <sup>3</sup> /h	projekterad omsättning h <sup>-1</sup>
1	3rok	5	4	76	190	140	0.73
2	3rok	2	2	76	190	140	0.73
3	4rok	8	4	93	232	190	0.82
4	3rok	6	3	76	190	140	0.73
5	3rok	8	4	76	190	140	0.73
6	4rok	7	4	93	232	190	0.82

TAB.5.2 Sammansättning av infiltration och normalventilation för sex lägenheter, mätt med spårgas.

Lgh	Mätning	Uppmätta värden oms/h		Vindstyrka och -riktning m/s	Tempera- turskill- nad °C
		infiltra- tion	normal- ventilation		
1	ursprung	0.11	0.45	4 SV	6
1	ursprung	0.25	0.56	9 SV	9
1	ursprung	0.13	0.58	10 SV-V	18
1	ursprung	0.06	0.34	2	24
1	ursprung	0.05	0.43	3 SO-S	20
1	efter omtätn	0.09	0.42	4 NV	20
1	efter omtätn	0.05	0.37	6 S	17
2	ursprung	0.26	0.54	11 O	23
2	efter omtätn	0.14	0.26	4 NO-NV	27
3	ursprung	0.06	0.36	1 NO	17
3	efter omtätn	0.11	0.35	9 V-NV	20
4	ursprung	0.04	0.42	3 N	19
4	efter omtätn	0.27	0.73	10 SO-S	25
5	ursprung	0.08	0.53	1 NV	3
5	efter omtätn	0.14	0.61	2 SSV	3
6	ursprung	0.07	0.30	3 SV-SSV	4
6	efter omtätn	0.14	0.34	3 NO-S	6

TAB.5.3 Jämförelse mellan projekterad, spårgasmätt och luftdonsmätt luftomsättning både före och efter omtätning.

lgh nr	luftomsättning h <sup>-1</sup>		
	projekterad	spårgasmätt	luftdonsmätt
1	0.73	0.45	0.51
		0.56	0.50
		0.58	-
		0.34	0.42
		0.43	0.48
		0.42	0.55
		0.37	0.48
2	0.73	0.54	0.33
		0.26	0.29
3	0.82	0.36	0.40
		0.35	0.39
4	0.73	0.42	-
		0.73	0.61
5	0.73	0.53	0.65
		0.61	0.66
6	0.82	0.30	0.39
		0.34	0.43

TAB.5.4 Sammanställning av modellparametrar  $a_0$  och  $a_1$  och modellfelets standardavvikelse  $s$  för infiltration före och efter omtätning.

Modell	före omtätning			efter omtätning		
	$a_0$	$a_1$	$s$	$a_0$	$a_1$	$s$
$a_0$	0.1089	-	0.08034	0.1343	-	0.06344
$a_0 + a_1 v$	0.0187	0.0226	0.02630	0.0911	0.0082	0.05865
$a_0 + a_1 v^2$	0.0574	0.0019	0.02357	0.1015	0.0009	0.05482
$a_0 + a_1 v_n$	0.0526	0.0231	0.05416	0.1017	0.0089	0.05621
$a_0 + a_1 v_n^2$	0.0816	0.0020	0.05416	0.1056	0.0012	0.05101
$a_0 + a_1 dt$	0.1108	0.00013	0.08033	0.1090	0.0015	0.06208
$a_0 + a_1 dt^2$	0.1120	0.000013	0.08030	0.1049	0.00008	0.05984



## 6 FRÄNLUFTSTEMPERATURREGLERING

Prov med att reglera frånluftstemperaturen har skett i två omgångar, dels som korttidsexperiment och dels som långtidsexperiment.

### Korttidsexperiment

I första omgången genomfördes ett fåtal kortare prov upp till ett dygns längd med hjälp av en fjärrstyrd mät- och styrutrustning ansluten till en dator vid institutionen för Reglerteknik vid Lunds Tekniska Högskola, Lund. Proven finns dokumenterade i Apelblat, Jensen och Rydström (1977) och en sammanfattning i Jensen (1978). Försöken visade att frånluftstemperaturen kunde regleras med hög noggrannhet jämfört med den traditionella reglering som enbart är en framkoppling från utetemperaturen, som bestämmer framledningstemperaturen. Någon återkoppling från rumslufttemperaturen finns ej i detta fallet och därför så kommer rumslufttemperaturen att variera med onödiga övertemperaturer som följd. Olika former av gratisvärme utnyttjas dåligt. Övertemperaturen vädras ofta bort. Återkopplingsdelen i den använda datorbaserade regulatorn kan skrivas som

$$-40 e(t) - 1.2 \int e(t)$$

där  $e(t)$  är temperaturfelet och  $\int e(t)$  är summafelet. Nya styrsignaler beräknas varje minut. En momentan ökning av temperaturfelet med  $1^\circ\text{C}$  medför att framledningstemperaturen skall minska med  $40^\circ\text{C}$ . Siffrorna visar att små temperaturändringar i frånluften ger upphov till stora ändringar i framledningstemperatur. Detta medför att variationen i frånluftstemperatur bör bli mindre. Den andra termen är den integrerande delen i återkopplingsdelen. Den integrerande termen ser till att medelreglerfelet blir noll oberoende av olika störningar. Ett konstant fel på  $0.01^\circ\text{C}$  under 100 minuter ändrar framledningstemperaturen med  $1.2^\circ\text{C}$ . Regulatorn innehöll även framkoppling från utetemperaturen  $u(t)$  på formen

$$-1.75 u(t)+55$$

Denna framkopplingsterm svarar för huvuddelen av den önskade framledningstemperaturen. En utetemperatur på 0 °C och 20 °C ger en framledningstemperatur på 55 °C resp 20 °C.

### Långtidsexperiment

I den andra omgången var avsikten att tillämpa de vunna erfarenheterna från första omgången under längre tidsperioder och därmed kunna utvärdera eventuella besparingseffekter. Mätningar av alla temperaturer och energier skedde i detta fall med den normala datainsamlingsutrustningen med ett mätintervall på 1 timme. I fortsättningen kommer endast dessa experiment att behandlas i rapporten.

### Reglerutrustning

I den första omgången används en PI-regulator i programvara med återkoppling från frånluftstemperaturen och med framkoppling från uteluft. Denna regulator beräknade den önskade framledningstemperaturen såsom beskrivits tidigare.

Den regulator som skulle användas för de längre proven fick vara av någon konventionell typ. Den använda reglercentralen kan beskrivas som en normal framledningsregulator med en proportionell återkoppling från rumslufttemperaturen i detta fall frånluftstemperaturen. Frånluftstemperaturen uppmättes med serie- och parallellkoppling av fyra frånluftgivare av termistortyp så att de fyra givarna motsvarade en givare resistansmässigt. För små temperaturskillnader mellan de fyra givarna så mäter de fyra givarna i den angivna serie-parallellkopplingen ett medelvärde på frånluftstemperaturen. Medelvärdet på frånluftstemperaturen som redovisas i rapporten som innetemperatur är inte densamma som regulatorn arbetar med. När fyra termistorgivare användes för regleringen så var placeringen densamma som för de fyra registrerade termoelementen, nämligen efter var sin frånluftsfläkt. När antalet termistorgivare ökades till åtta, så placerades de reglerande givarna före frånluftsfläktarna i var sin frånluftskanal.

Ett problem med den aktuella reglercentralen TA-213 var den fasta proportionella återkopplingen. En del modifieringar har gjorts för att öka förstärkningen i återkopplingen. Den använda reglercentralens förstärkning mellan rumslufttemperatur och framledningstemperatur är 8-9 för reglerkurva 0-5. Reglerkurva 4 och 5 har använts. En förstärkningsändring på omkring 5 gånger vore önskvärd för att få samma proportionella återkoppling som i den datoriserade versionen som används vid korttidsexperimenten. En förstärkningsändring kunde bara åstadkommas genom att ändra motståndsvärden och inkopplingsätt av temperaturgivare. Reglercentralen användes i normalutförande under eldnings säsongen 79/80 fram till mitten av november. Nedan görs en enkel sammanställning av de modifieringar som gjorts.

datum	ändring	förstärkningsändring
13.11.79	parallellkoppling R14 extra motstånd 6.8 k	1.2
19.11.79	parallellkoppling R14 extra motstånd 6.8 k	1.1
21.11.79	parallellkoppling R9 extra motstånd 2.2 k halvering av toleransområde	-
4.3.80	inkoppling av 4 extra givare bortkoppling av motsvarande fast motstånd	2

De genomförda ändringarna sammantagna skall ge en förstärkningsändring på totalt 2.6 och känsligheten mellan rumslufttemperatur och framledningstemperatur blir då 21-23, vilket är något mindre än den proportionella förstärkningen för den tidigare provade regulatoren. Avsikten med de två första ändringarna var att öka känsligheten en faktor 2 resp 1.5 eller totalt 3, men en enklare analys i efterhand visar att förstärkningsändringen blir endast 1.2 resp 1.1. Orsaken till detta är att kopplingen är belastningsberoende (lågohmiga spänningsdelare och ingångsmotstånd till en operationsförstärkare). Nattsänkning har inte använts. Detta för att lättare kunna bedöma hur väl regleringen kunde ta bort variationer i innetemperaturen.

### Jämförelse timmedelvärden

Reglering utan återkoppling har använts fram till och med eldnings säsongen 78/79. Ett antal perioder under vintern och våren 79 har bearbetats. I TAB.6.1 har de olika periodernas medelvärden för värmeeffekt, framledningstemperatur, innetemperatur och utetemperatur. Kvoten mellan värmeeffekt och skillnaden inne-utetemperatur har också beräknats.

I slutet av ledningssäsongen 79/80 provades reglering med återkoppling från frånluften. Samma värden som i TAB.6.1 återges i TAB.6.2 för fallet med återkoppling.

Skillnaden med och utan återkoppling kan ses på kvoten mellan värmeeffekt och temperaturskillnad inne-ute i TAB.6.1 och TAB.6.2 för samma utetemperaturer.

Under förutsättning att uppvärmningseffekten är linjärt beroende av temperaturskillnaden inne-ute, så skall det inte vara någon skillnad mellan de två reglerfallen oberoende av inne- och utetemperatur. Höga innetemperaturer medför oftast vädring, vilket då ger en högre specifik värmeeffekt eftersom temperaturskillnaden minskas med vädringen.

I båda fallen så skall den specifika värmeeffekten avta med utetemperaturen, eftersom uppvärmningsbehovet till en del täcks med en del gratisvärme. Över en viss utetemperatur  $u_0$  krävs ingen extra uppvärmning. Den aktivt tillförda värmeeffekten kan skrivas som

$$P_v = k(u_0 - u) \quad u < u_0$$

Den här använda specifika värmeeffekten beräknas som

$$p_v = k(u_0 - u)/(i - u)$$

Innetemperaturen kan vara konstant eller en funktion av utetemperaturen  $u$ . Vid låga utetemperaturer så går  $p_v$  mot  $k$  och vid höga utetemperaturer så går  $p_v$  mot noll. Skillnaden mellan de två reglerfallet beror på ökad vädring orsakad av en under våren ökande innetemperatur.

Grundorsaken till de höga innetemperaturerna är att reglerkurvan är för högt inställd.

Skillnaden mellan de två reglerfallen framgår också av ett antal uppritade samband mellan värmeeffekt och temperaturerna för framledning inne och ute för timvärden. De fyra sambanden som redovisas är

värmeeffekt = f (framledningstemperatur)  
värmeeffekt = f (utetemperatur)  
värmeeffekt = f (innetemperatur)  
innetemperatur = f (utetemperatur)

Tre av sju perioder i TAB.6.1 med reglering utan återkoppling redovisas i FIG.6.1 - 6.3 och tre av fem perioder i TAB.6.2 med återkoppling redovisas i FIG.6.4 - 6.6.

## Reglering utan återkoppling

Sambandet mellan värmeeffekt och framledningstemperatur visar på ett klart samband. En för hög framledningstemperatur medför en för hög värmeeffekt. Eftersom radiatorsystemet arbetar med en stor temperaturskillnad så påverkas värmeavgivningen endast marginellt av ändringar i innetemperaturen. Korrelationen är genomgående högre än 0.9. Den spridningen kan bero på svängningar i framledningstemperatur orsakade av reglercentralen. Framledningstemperaturen är endast ett momentanvärde medan värmeeffekten är ett medelvärde för den senaste timmen.

Detta ger också upphov till en liten fasförskjutning mellan värmeeffekt och framledningstemperatur. Ett bättre värde på framledningstemperaturen hade varit ett medelvärde på ett värde i början av mätintervall och ett värde i slutet.

Detta beror på att utetemperaturen varierar dygnsperiodiskt och framledningstemperaturen regleras efter utetemperaturen, vilket medför att både värmeeffekt och framledningstemperatur varierar periodiskt.

Enkel analys visar att en fasförskjutning på 30 min för en periodtid av 24 timmar mellan två sinusformade signaler endast förändrar korrelationen med en faktor  $0.99 (\cos(\pi/24))$ .

Innetemperaturens inverkan på värmeeffekten tillsammans med framledningstemperaturen har undersökts genom att bestämma det linjära sambandet mellan värmeeffekt och temperaturskillnaden mellan framledning och inne. Korrelationen har genomgående blivit sämre. Detta kan förklaras med att innetemperaturen innehåller en del information som är rättvisande men också en del störningar som kan vara missvisande.

Sambandet mellan värmeeffekt och utetemperatur visar funktionen för reglering med enbart framkoppling från utetemperaturen. Den något mindre punktskaran som ligger underst härrör från nattsänkningen.

Sambandet mellan värmeeffekt och innetemperatur visar att värmeeffekten är i stort sett oberoende av innetemperaturen, vilket är väntat.

Det finns en liten tendens till att värmeeffekten avtar med stigande innetemperatur.

Sambandet mellan innetemperatur och utetemperatur visar att en ökning av utetemperaturen på  $10^{\circ}\text{C}$  ger en ökning av innetemperaturen på 1-2  $^{\circ}\text{C}$ . Innetemperaturen har varierat från omkring  $21^{\circ}\text{C}$  till  $25^{\circ}\text{C}$  för utetemperaturintervallet  $-10^{\circ}\text{C}$  till  $10^{\circ}\text{C}$ . Orsaken till detta beror på att en felaktig reglerkurva har använts som har gett för hög framledningstemperatur vid höga utetemperaturer. Punkterna i FIG.6.1-6.3 och de här angivna värdena visar bristerna hos regleringen utan återkoppling från innetemperaturen.

#### Reglering med återkoppling

De fyra olika sambanden redovisas för tre olika tidsperioder i FIG. 6.4-6.6. Sambandet mellan värmeeffekt och framledningstemperatur är bättre (högre korrelation) än jämfört med reglering utan återkoppling. I detta fall används en helt annan reglercentral och någon nattsänkning används inte. Korrelationen mellan värmeeffekten och temperaturskillnaden framledning-inne har också beräknats och har varit obetydligt lägre än den med enbart framledningstemperatur.

Sambandet mellan wärmeeffekt och utetemperatur har inte samma mönster som i fallet utan återkoppling. Ett flertal punkter visar att värmeeffekten varit förhållandevis låg vid låga utetemperaturer, vilket kan bero på gott utnyttjande av gratisvärme. Någon nattsänkning förekommer inte i detta fall.

Sambandet mellan wärmeeffekt och innetemperatur visar ganska väl återkopplingens inverkan. Värmeeffekten minskar grovt med 80-100 kcal/h $^{\circ}\text{C}$  innetemperaturändring. Detta stämmer någotsånär med den beräknade regulatorförstärkning på 21-23 mellan framlednings- och innetemperatur. Omräkningsfaktorn från framledningstemperatur till värmeeffekt är omkring 4-5 kcal/h $^{\circ}\text{C}$ . Den totala känsligheten mellan effekt och innetemperatur blir då omkring 84-105 kcal/h $^{\circ}\text{C}$ .



Sambandet mellan innetemperatur och utetemperatur har en mindre koppling på grovt 0.5 °C innetemperaturändring vid 10 °C utetemperaturändring. Den använda regleringen med proportionell återkoppling kan inte eliminera denna koppling helt. Rent teoretiskt krävs en mycket högre förstärkning eller en integrerande regulator. Det kan också rent praktiskt inte vara möjligt att reglera bort de innetemperaturvariationer som förekommer, eftersom det skulle kräva kylning av byggnaden. Detta gäller givetvis bara vid högre utetemperaturer, när gratisvärmen helt kan täcka värmebehovet.

### Jämförelse dygnsmedelvärden

Dygnsmedelvärden har beräknats från timvärden för de mätperioder som redovisats i TAB.6.1 och TAB.6.2 för de två reglerfallen och följande samband för de 79 resp 39 dygnsvärdena redovisas parvis i följande figurer.

FIG.	Samband
6.7	effekt = $f(ute)$
6.8	effekt = $f(inne-ute)$
6.9	effekt = $f(inne)$
6.10	specifik effekt = $f(ute)$
6.11	specifik effekt = $f(inne-ute)$
6.12	specifik effekt = $f(inne)$
6.13	inne = $f(ute)$

Ett beräknat linjärt samband anges också ovanför varje diagram. Korrelationskoefficienten anges på samma plats och betecknas med R.

Effektsambanden visar att reglerfallet utan återkoppling har högre värmeeffekt än reglerfallet med återkoppling vid samma utetemperatur, samma temperaturskillnad inne-ute och innetemperatur. Den beräknade specifika effekten visar också samma uppförande. Det sista sambandet i FIG.6.13, innetemperatur som funktion av utetemperatur, visar ganska väl skillnaden mellan bra och dålig reglering. För reglerfallet med återkoppling så ligger de flesta innetemperaturerna väl samlade medan reglerfallet utan återkoppling uppvisar en betydligt större spridning.

## Energibesparing

I detta avsnitt görs en enkel uppskattning av energibesparingen som fås med reglering av frånluftstemperatur. Jämförelse mellan de två reglersätten kan ske på ett flertal sätt.

En vanlig metod är att skala om den uppmätta energiförbrukningen efter uteklimatet (graddagar eller gradtimmar) och därefter jämföra de omskalade värdena. Denna metod skall inte användas här.

En annan metod är att bestämma ett samband mellan värmeeffekt och utetemperatur för de två reglersätten och därefter beräkna energiförbrukningen med hjälp av utetemperaturens varaktighet eller frekvensfunktion. Denna metod tar inte hänsyn till innetemperaturen, som kan vara olika i de två fallen.

En tredje metod är att beräkna det specifika värmebehovet i  $\text{kcal/h}^{\circ}\text{C}$  (värmeeffekt/temperaturskillnad inne-ute) för de två reglersätten. Tillsammans med utetemperaturens varaktighet eller frekvensfunktion så kan energiförbrukningen beräknas för samma temperaturskillnad inne-ute i de båda fallen. Innetemperaturen antas vara konstant t ex  $21^{\circ}\text{C}$ .

Egentligen skall det inte vara någon skillnad i energiförbrukning mellan de två reglersätten, om innetemperaturen är densamma. Det enklare reglersättet utan återkoppling har stora variationer i innetemperatur, vilket medför omfattande vädring och vilket i sin tur ger ett större specifikt värmebehov i förhållande till reglering med återkoppling från frånluften, vilket ger mindre temperaturvariationer och därmed mindre vädring.

För att kunna genomföra analysen så behövs utetemperaturens varaktighet eller frekvensfunktion. En förenklad frekvensfunktion kan fås genom att förenkla varaktighetskurvan med en rät linje. Frekvensfunktionen blir då lika med en konstant i ett intervall och för övrigt lika med noll. Årsmedeltemperaturen är  $8^{\circ}\text{C}$  för Malmö och i VVS-handboken fås då följande förenklade frekvensfunktion för utetemperaturen  $f(u)$ .

$$f(u) = \begin{cases} 0 & u < -6 \\ 8760/(22--6) & -6 < u < 22 \\ 0 & 22 < u \end{cases}$$

Den använda frekvensfunktionen är något oegentlig. En frekvensfunktion anger sannolikheter och en integration skall ge värdet 1.0, om den är normerad. I detta fall anger den driftstiden per år. Värmeeffekten som funktion av utetemperaturen har beräknats för 79 och 39 dygnsmedelvärden för de två reglersätten. Mätdata och samband återges i FIG.6.7. Observera skärningen med utetemperaturaxeln. Index 1 och 2 används för att beteckna reglering utan resp med återkoppling från frånluften.

$$P_1(u) = -5.834 u + 109.7$$

$$P_2(u) = -7.266 u + 87.65$$

Energiförbrukningarna enligt metod 2 kan beräknas för ett givet utetemperaturintervall (a,b) som

$$E_i(a,b) = \int_a^b P_i(u) f(u) du$$

Observera att integranden ej får vara negativ.

Energiförbrukningen har beräknats för två arbetsområden dels (0,10) °C och dels hela eldningssäsongen. Eldningssäsongens övre slut fås när effekten är noll. Gränstemperaturen är 18.8 °C och 12.1 °C för fallen utan och med återkoppling. Energiförbrukningen enligt metod 2 har beräknats till

$$E_1(0,10) = 293 \text{ MWh}$$

$$E_1(-6,18.8) = 624 \text{ MWh}$$

$$E_2(0,10) = 187 \text{ MWh}$$

$$E_2(-6,12.1) = 432 \text{ MWh}$$

Energiförbrukningen har beräknats enligt metod 3 med en konstant innetemperatur på 21 °C. Det specifika värmebehovet i kcal/h°C för de två

reglersätten kan enligt FIG.6.10 skrivas som

$$p_1(u) = -0.147u + 4.635$$

$$p_2(u) = -0.232u + 3.710$$

Energiförbrukningen kan beräknas för ett utetemperaturintervall (a,b) som

$$E_i(a,b) = \int_a^b p_i(u) (21-u) f(u) du$$

För de två reglersätten erhöles för intervallet (0,10)

$$E_1(0,10) = 232 \text{ MWh}$$

$$E_2(0,10) = 155 \text{ MWh}$$

Den specifika effekten är noll vid 31.5 °C utan återkoppling och vid 15.9 °C med återkoppling. För hela året så har intervallet (-6,16) °C använts i båda fallen med resultaten

$$E_1(-6,16) = 547 \text{ MWh}$$

$$E_2(-6,16) = 407 \text{ MWh}$$

De fyra redovisade energiförbrukningsparen visar att reglersättet med återkoppling ger en besparing på 36, 31, 33 resp 26%. Detta är ganska höga siffror. Beräkningarna är endast grundade på 79 och 39 dygnsvärden för de två reglersätten. Båda dataserierna omfattade en gynnsam tidsperiod med mycket solinstrålning (mars, april och maj). Beräkningsmetoden kan därför anses vara en extrapolation. Extrapolation är allmänt sett en farlig metod.

I kapitel 7 redovisas värmeförbrukning för de två eldningssäsongerna 78/79 (utan återkoppling) och 79/80 (delvis återkoppling). Värmeförbrukningen för enbart radiatorer är uppmätt till 731.000 kWh för 78/79 och 651.000 för 79/80 vilket ger 11%. Med hänsyn taget till normalår fås 653.000 resp 571.000 kWh som ger en besparing på 12.5%, se TAB.7.2.

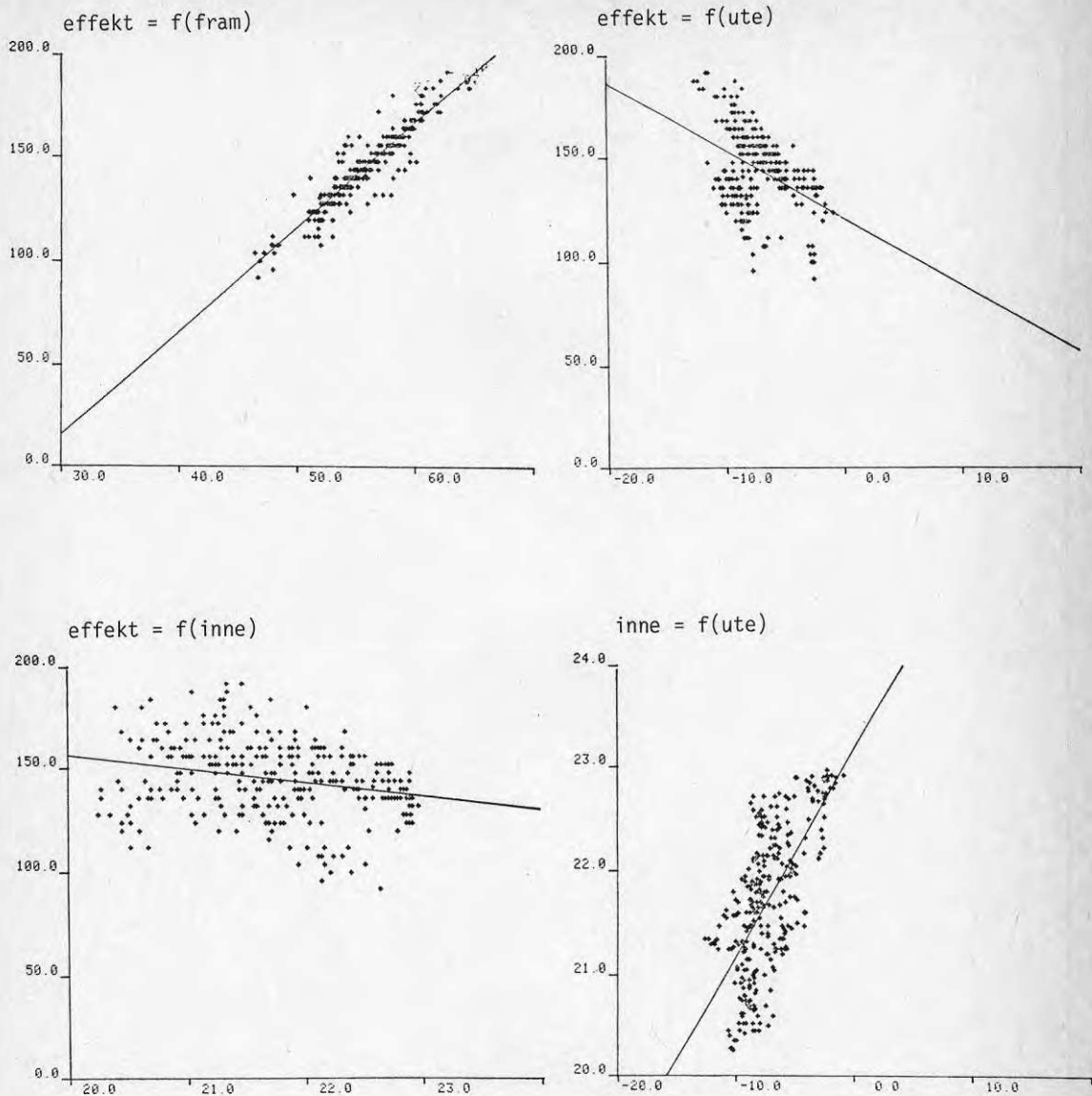


FIG.6.1 Samband mellan värmeeffekten i kcal/h, framlednings-, ute- och innetemperatur i °C för mätperioden från den 15.2.1979 till den 27.2.1979. Normal reglering.

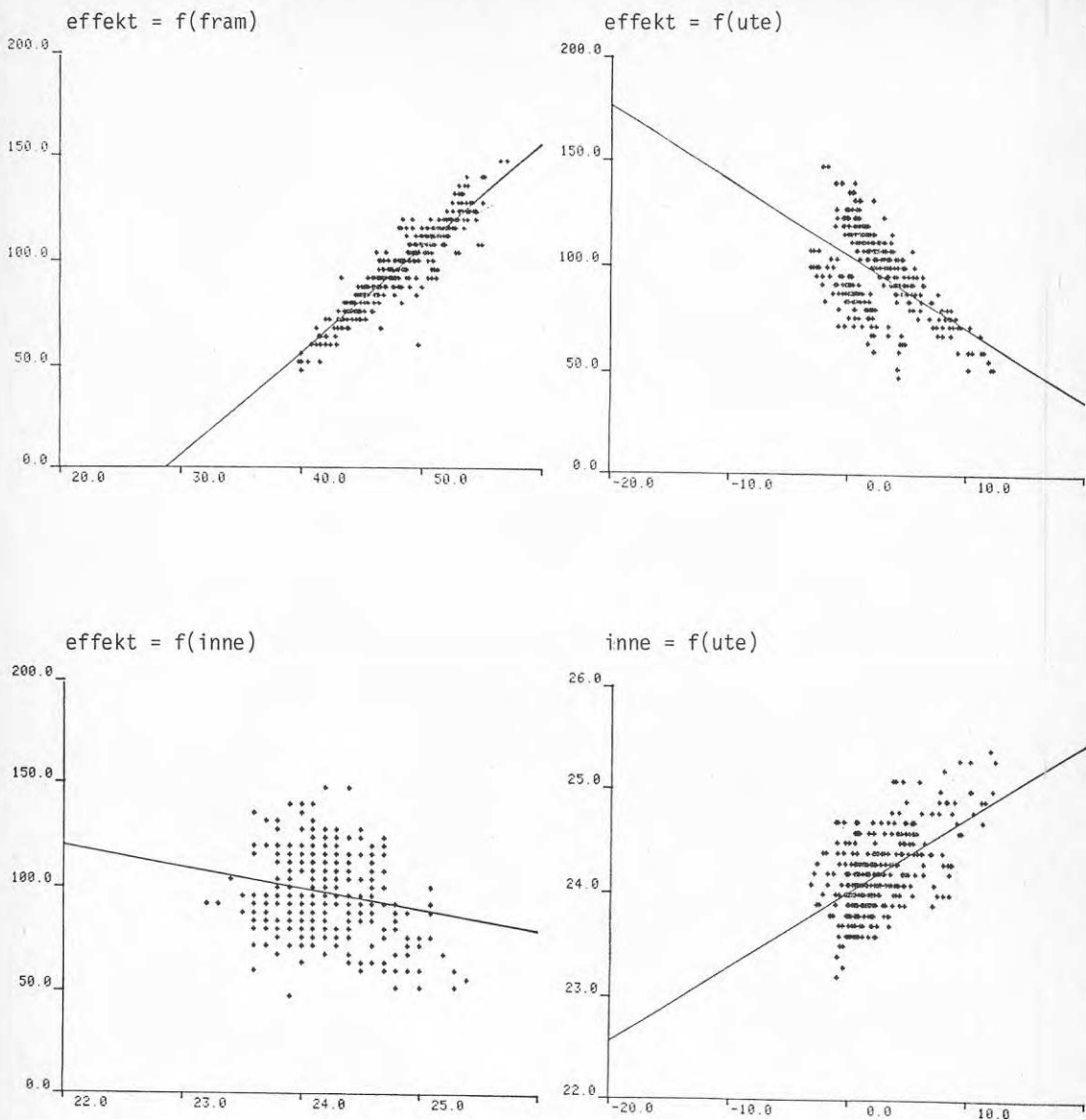


FIG.6.2 Samband mellan värmeeffekten i kcal/h, framlednings-, ute- och innetemperatur i  $^{\circ}\text{C}$  för mätperioden från den 27.3.1979 till den 11.4.1979. Normal reglering.

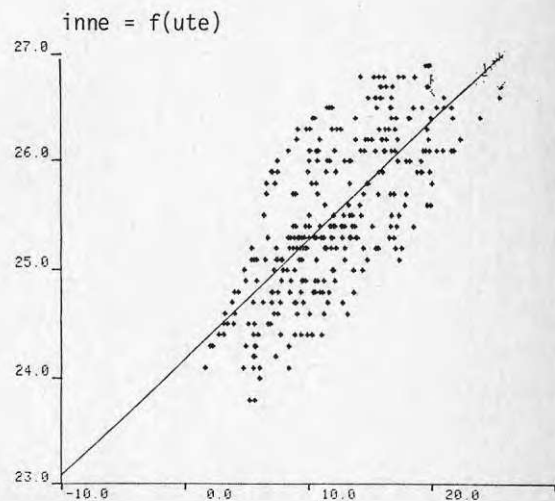
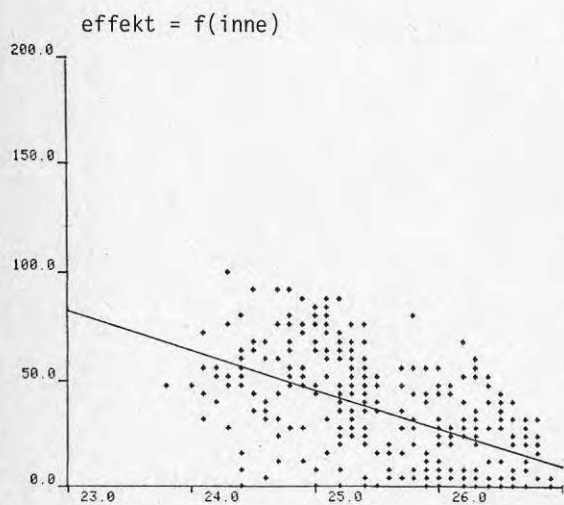
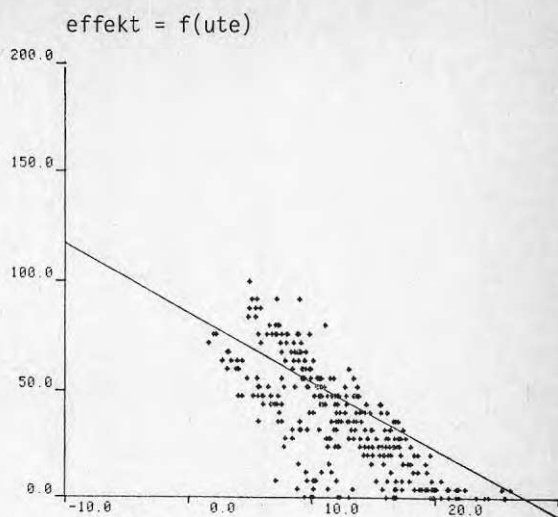
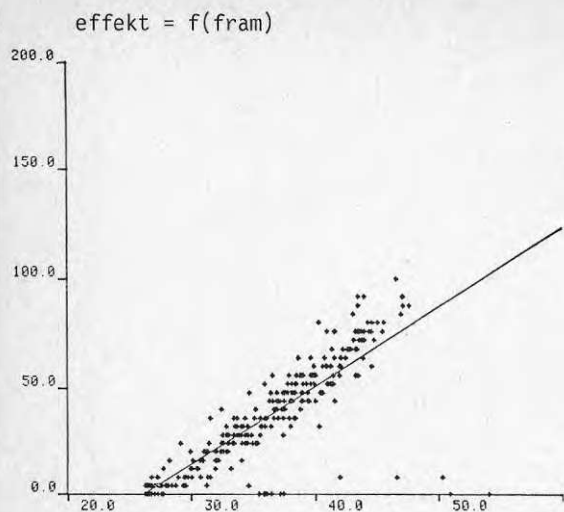


FIG.6.3 Samband mellan värmeeffekten i kcal/h, framlednings-, ute- och innetemperatur i  $^{\circ}\text{C}$  för mätperioden från den 8.5.1979 till den 21.5.1979. Normal reglering.



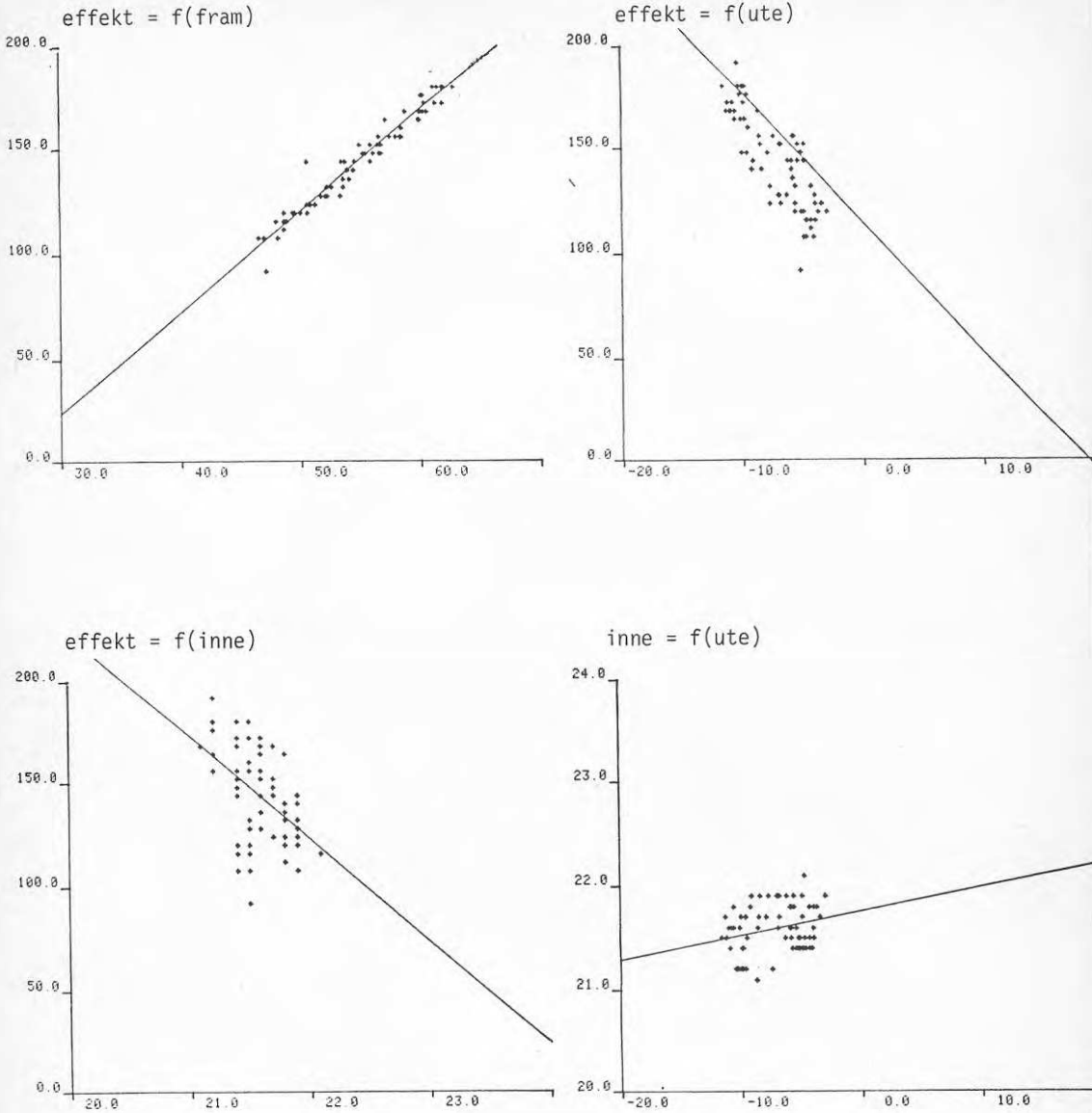


FIG.6.4 Samband mellan värmeeffekt i kcal/h, framlednings-, ute- och innetemperatur i °C för mätperioden från den 7.3.1980 till den 19.3.1980. Frånluftstemperaturreglering.

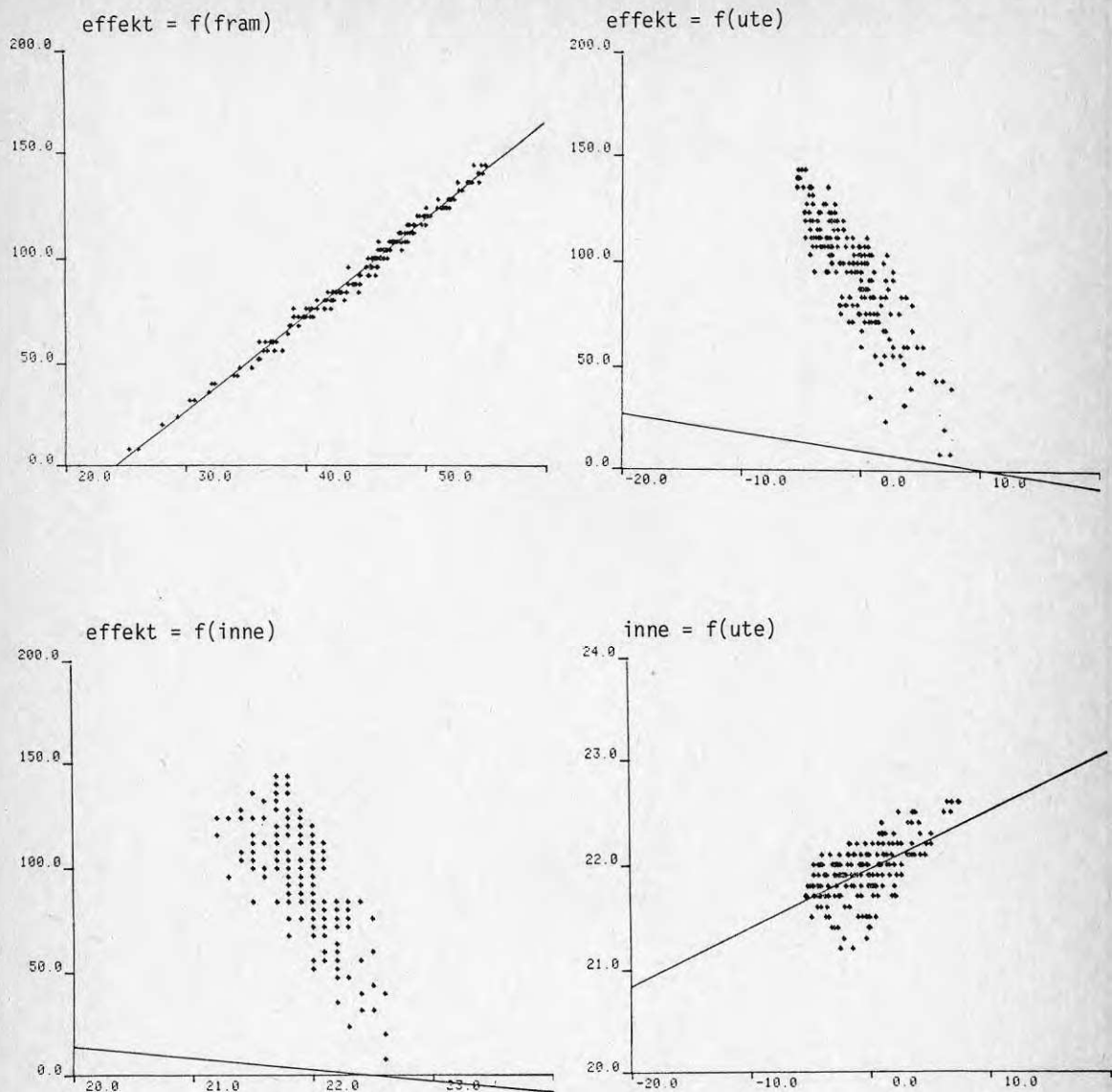


FIG.6.5 Samband mellan värmeeffekt i kcal/h, framlednings-, ute- och innetemperatur i °C för mätperioden från den 25.3.1980 till den 2.4.1980. Frånluftstemperaturreglering.

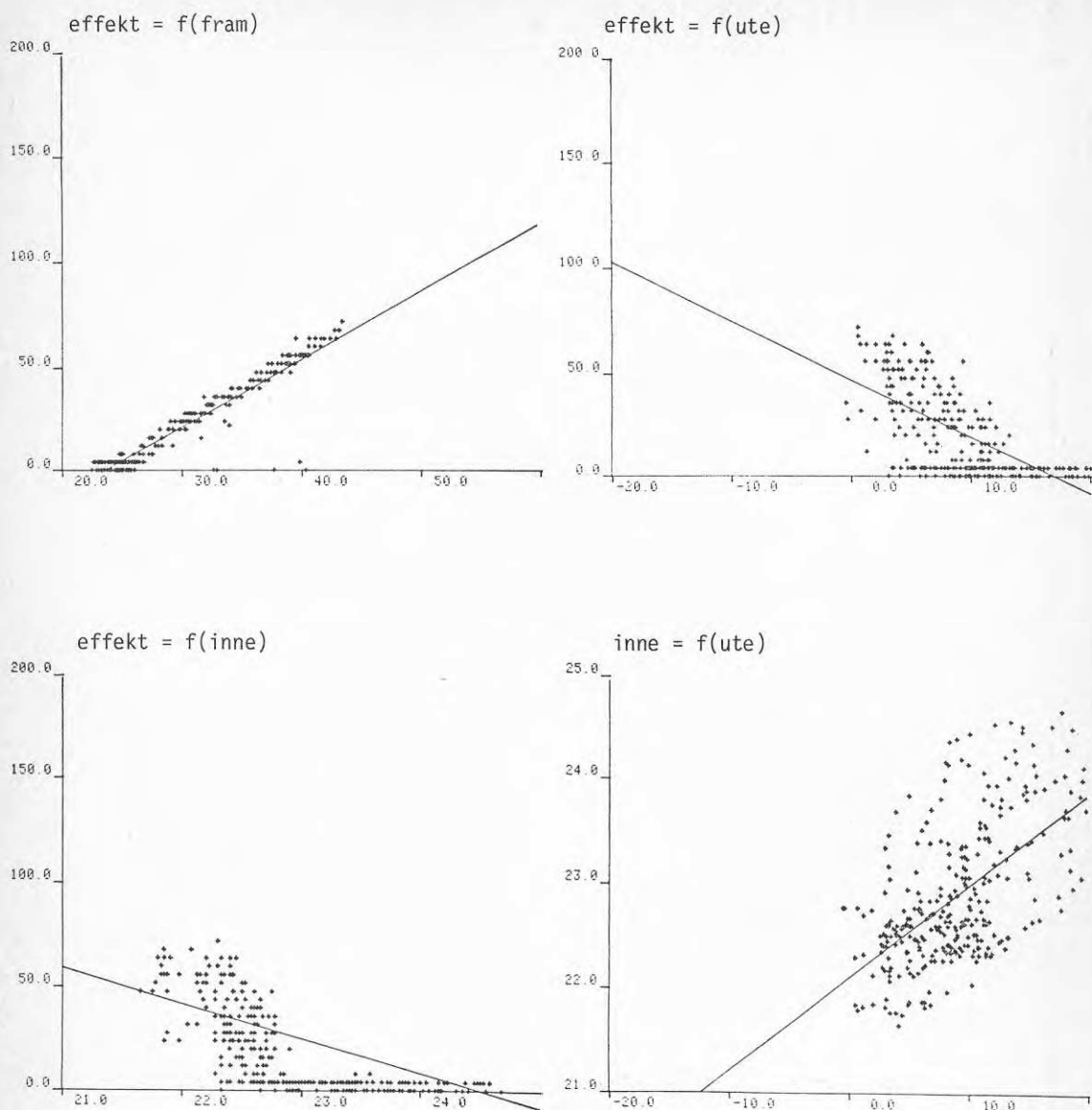


FIG.6.6 Samband mellan värmeeffekt i kcal/h, framlednings-, ute- och innetemperatur i  $^{\circ}\text{C}$  för mätperioden från den 9.5.1980 till den 22.5.1980. Frånluftstemperaturreglering.

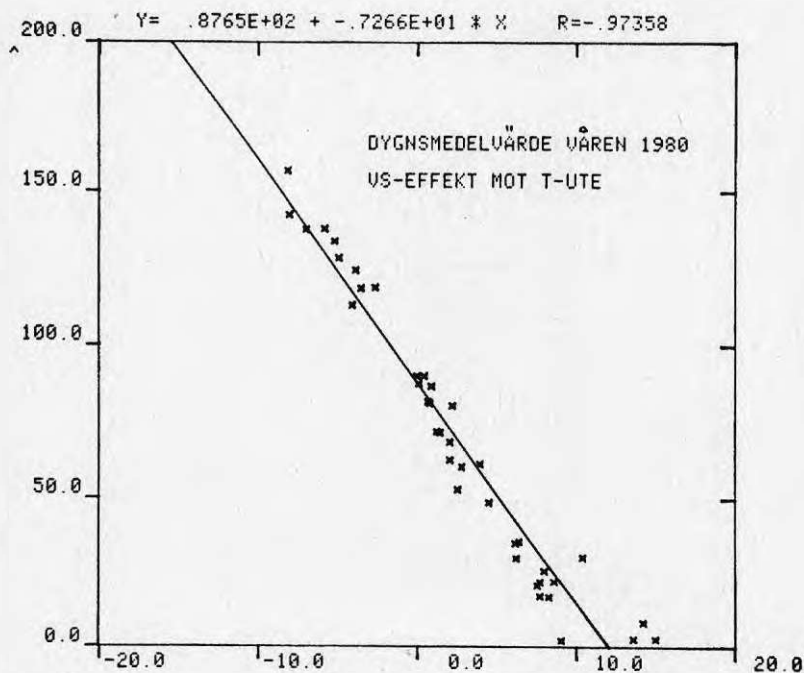
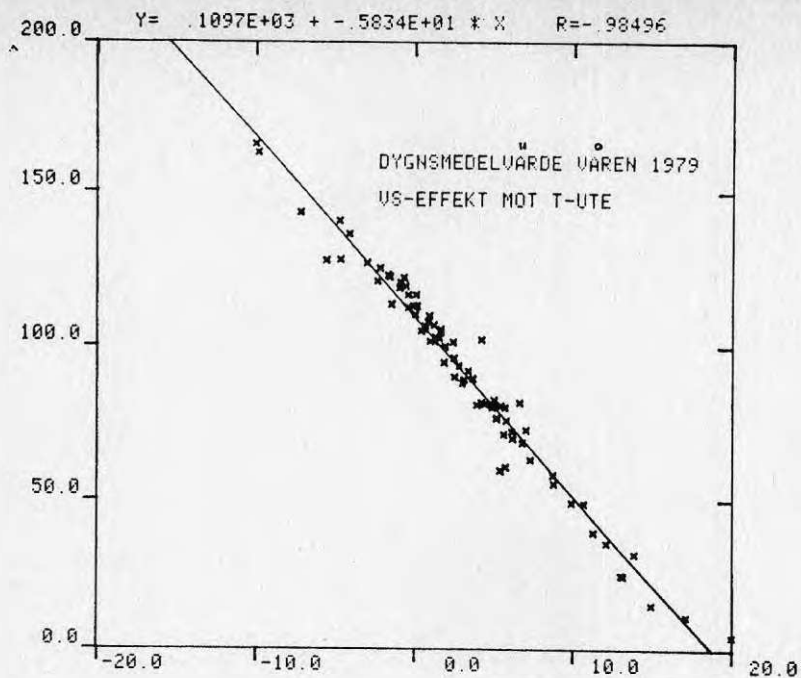


FIG.6.7 Samband mellan radiator effekt i kcal/h och utetemperatur

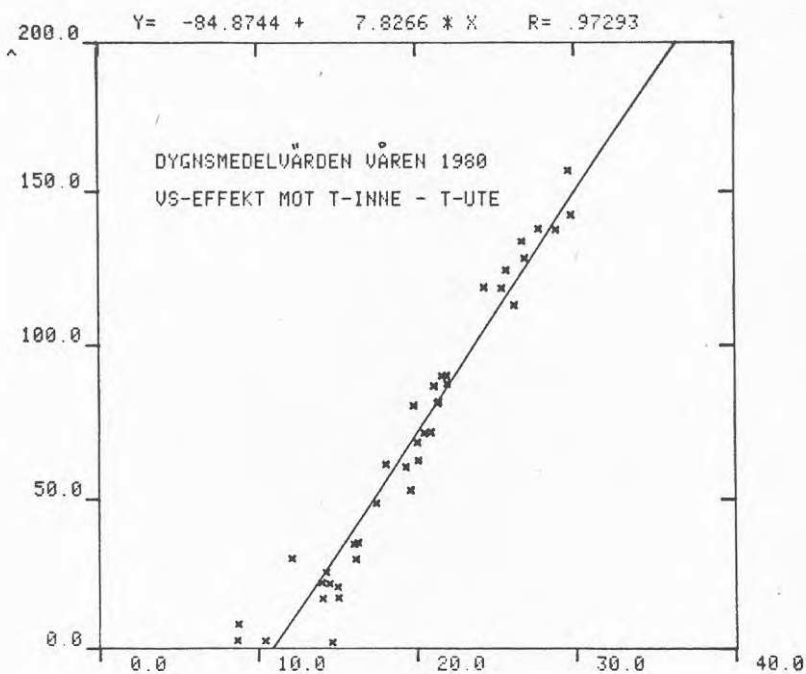
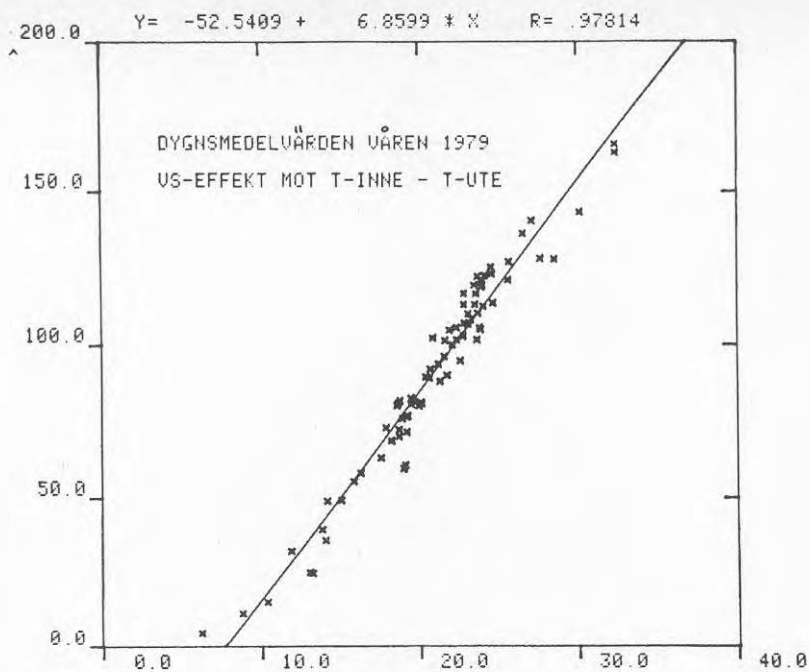


FIG.6.8 Samband mellan radiatoreffekt i kcal/h och inne-utetemperaturskillnad

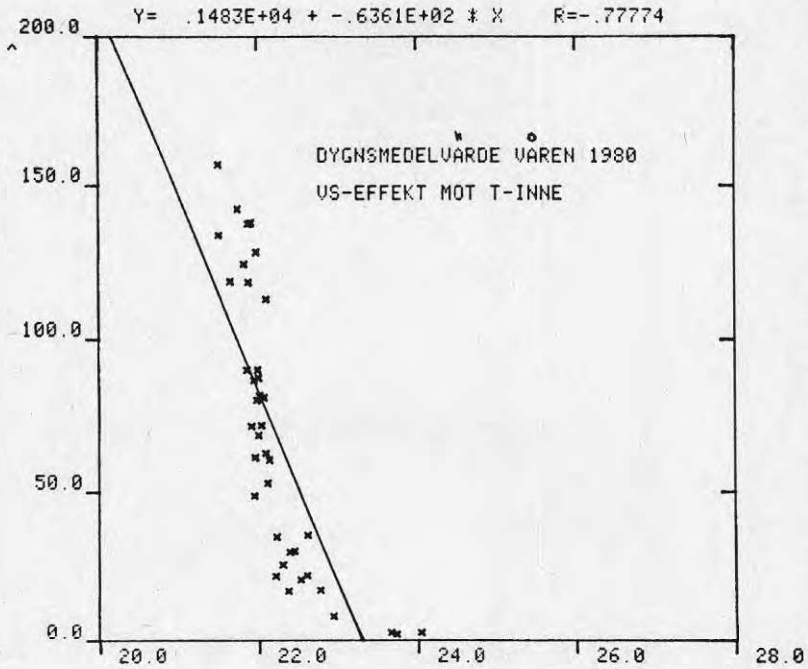
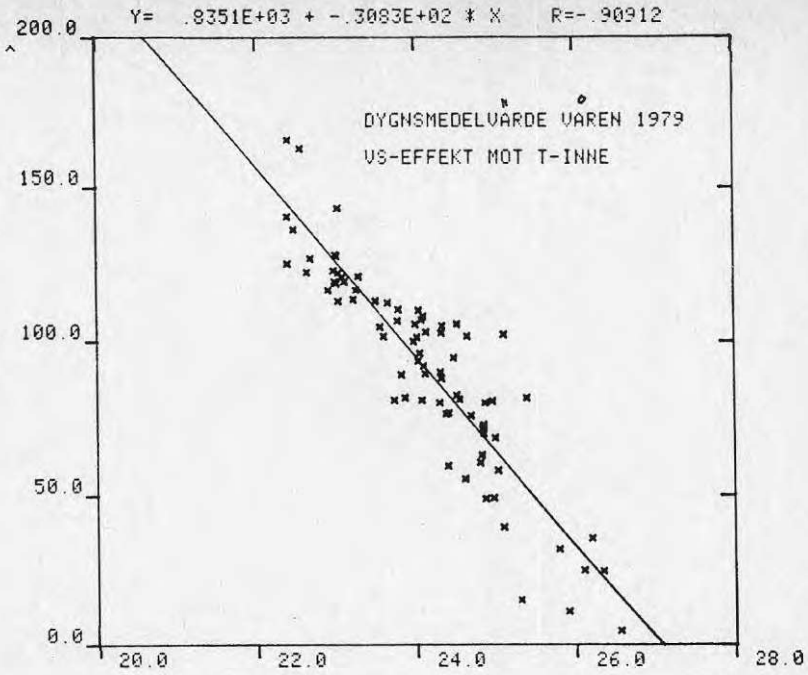


FIG.6.9 Samband mellan radiatoreffekt i kcal/h och innetemperatur

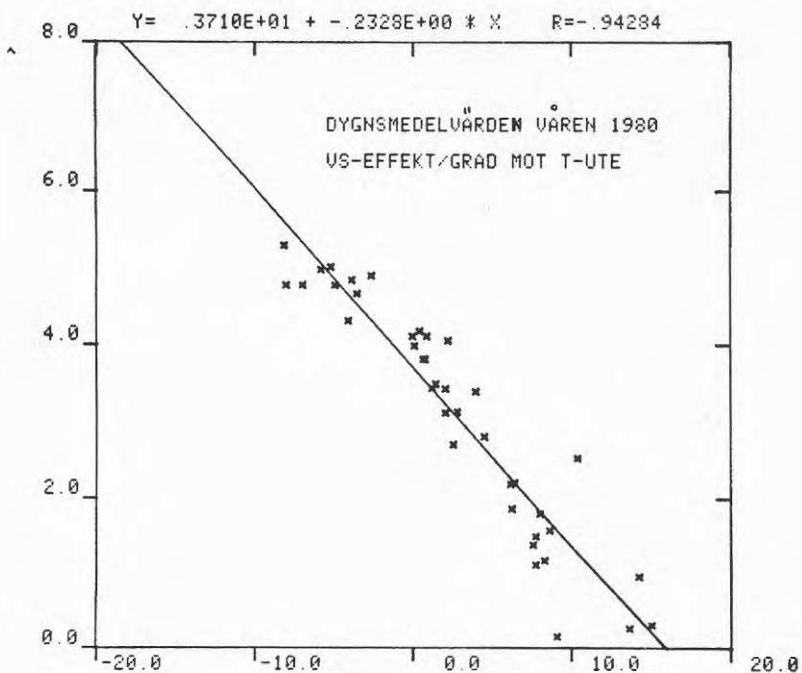
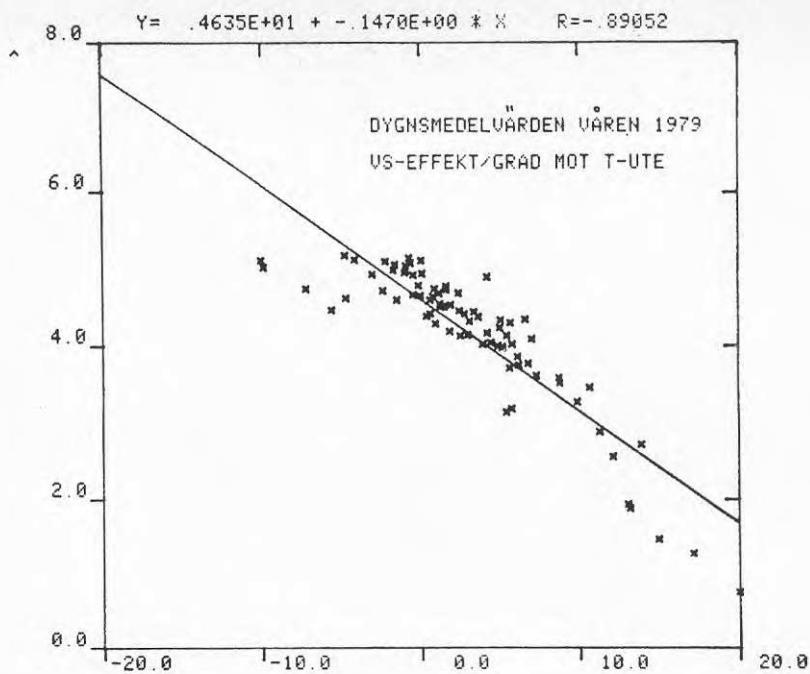


FIG.6.10 Samband mellan radiatoreffekt/inne-utetemperaturskillnad kcal/h, °C och utetemperatur



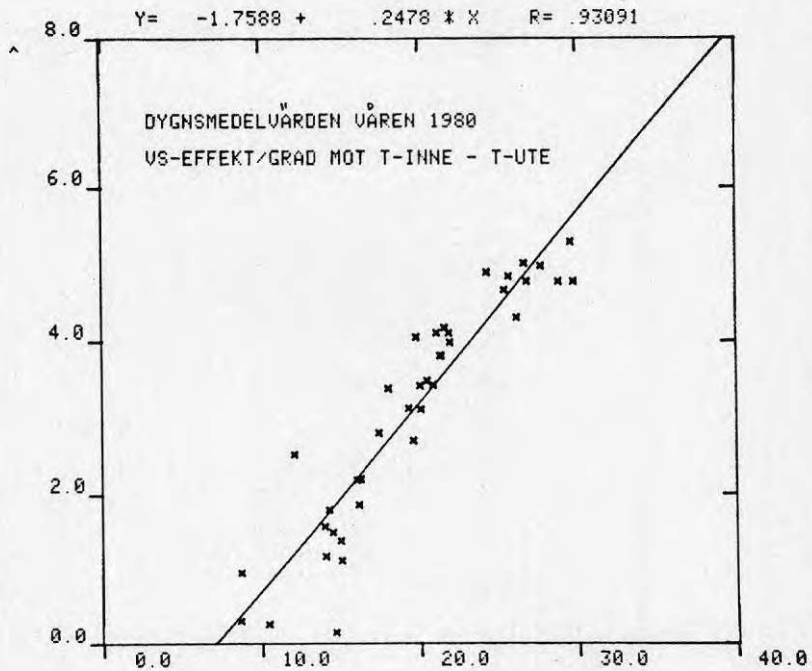
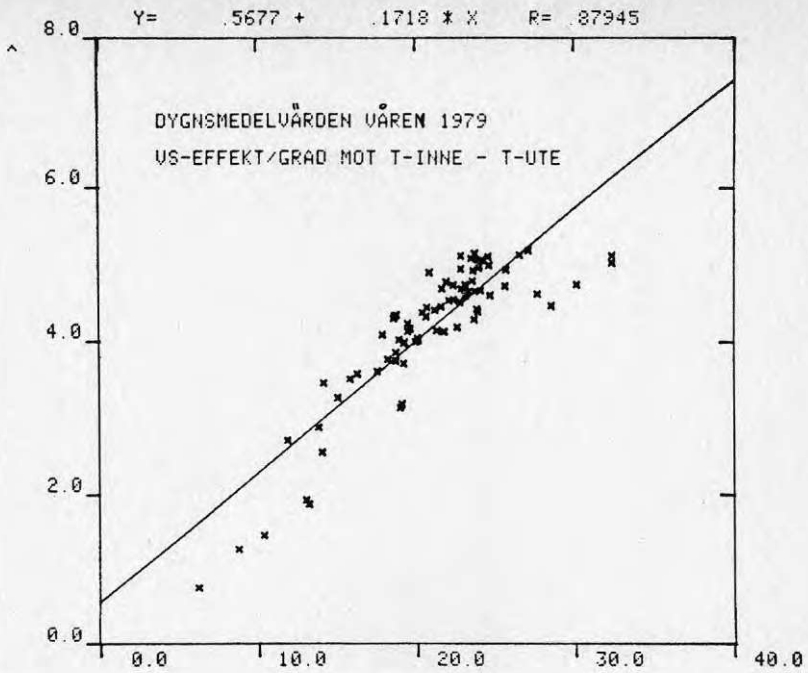


FIG.6.11 Samband mellan radiatoreffekt/inne-utetemperaturskillnad kcal/h, °C och inne-utetemperaturskillnad

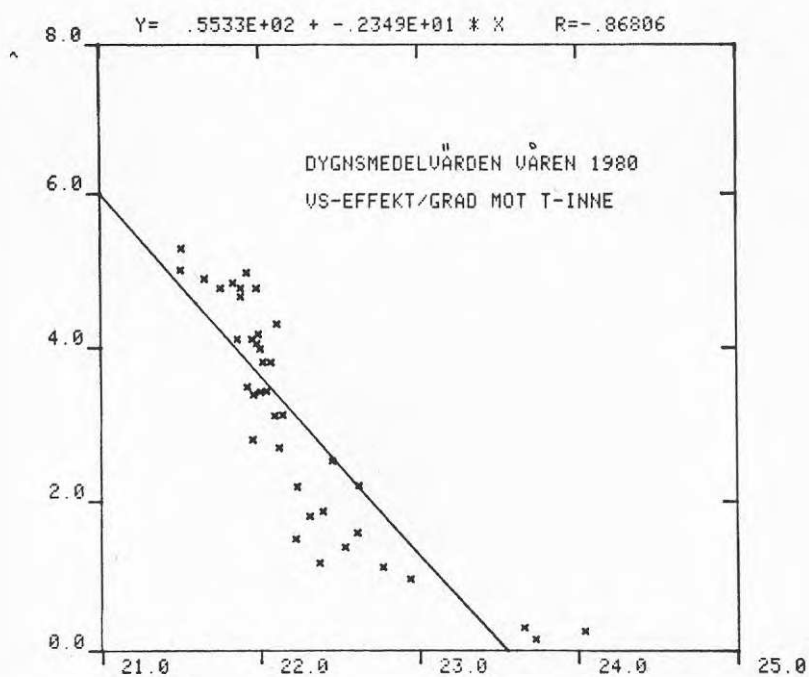
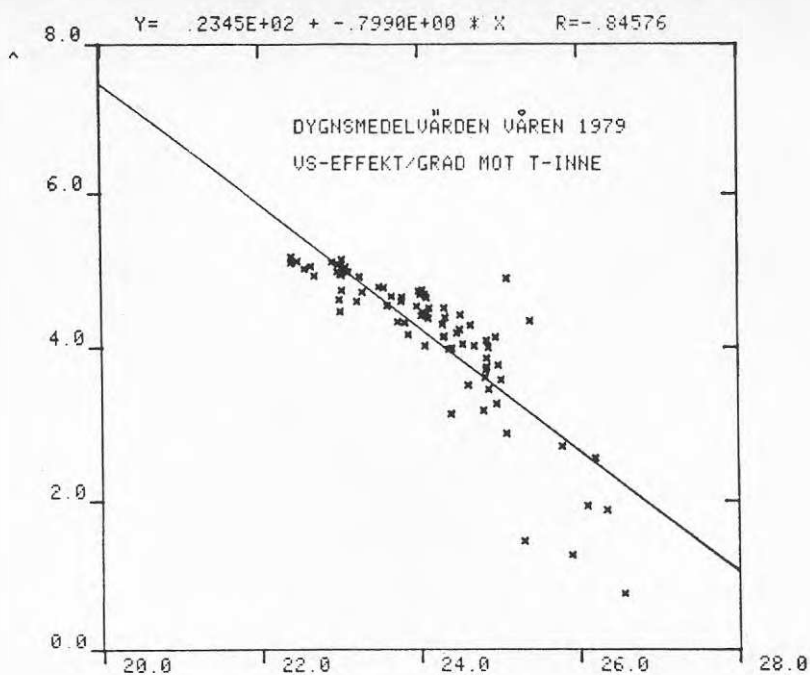


FIG.6.12 Samband mellan radiatoreffekt/inne-utetemperaturskillnad kcal/h, °C och innetemperatur

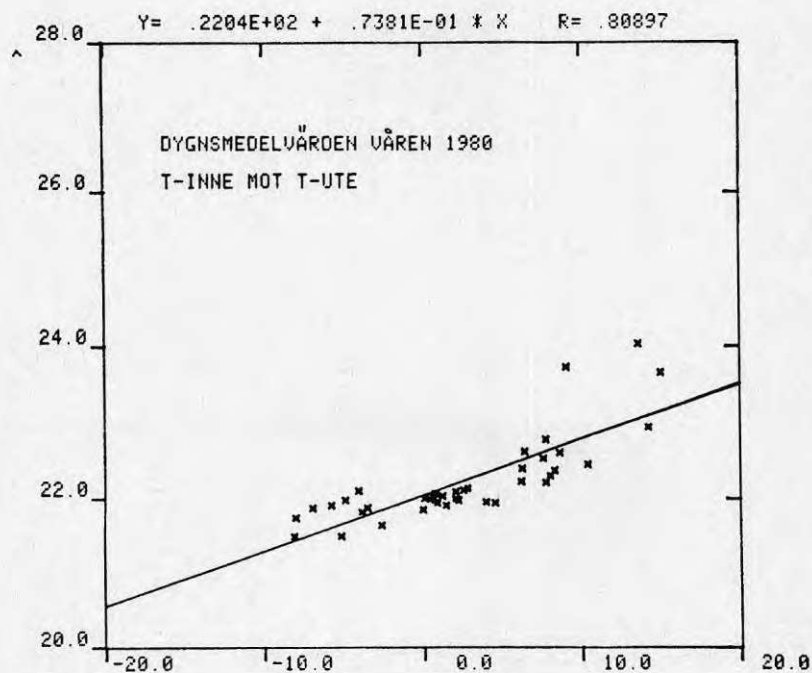
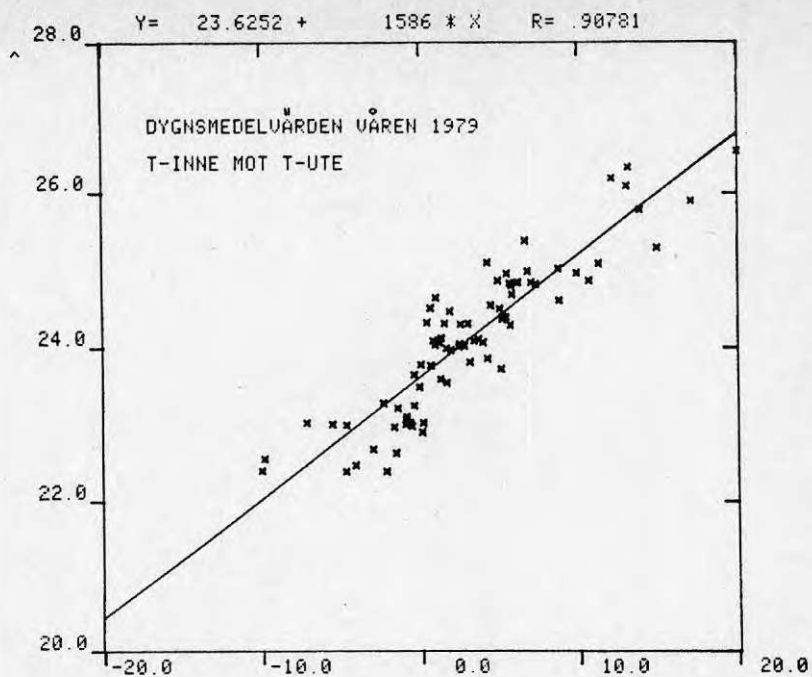


FIG.6.13 Samband mellan innetemperatur och utetemperatur för våren 1979 (överst) och våren 1980 (underst).

TAB.6.1 Sammanställning av medelvärden för värmeeffekt, framlednings-, ute-, innetemperatur och kvoten mellan värmeeffekt och temperaturskillnaden inne-ute för några mätperioder med normal reglering under 1979.

Tidsperiod	Värme- effekt  (1)  kcal/h	Temperatur (°C)			
		Framled- ning (2) °C	Ute (3) °C	Inne (4) °C	(1)/((4)-(3)) (5) kcal/h, °C
		15.2-27.2	145.4	55.84	-7.23
28.2-13.3	121.9	51.31	-1.37	22.88	5.02
14.3-26.3	123.3	52.60	-2.65	23.21	4.77
27.3-11.4	98.1	48.43	2.43	24.19	4.51
12.4-24.4	83.7	46.50	4.45	24.77	4.12
25.4-7.5	80.3	44.58	4.30	24.29	4.01
8.5-21.5	36.4	36.20	12.38	25.53	2.77

TAB.6.2 Sammanställning av medelvärden för värmeeffekt, framlednings-, ute-, innetemperatur och kvoten mellan värmeeffekt och temperaturskillnaden mellan inne-ute för några mätperioder med frånluftstemperaturreglering under 1980.

Tidsperiod	Värme- effekt  (1)  kcal/h	Temperatur (°C)			
		Framled- ning (2) °C	Ute (3) °C	Inne (4) °C	(1)/((4)-(3)) (5) kcal/h, °C
		17.3-29.3	144.6	55.01	-7.13
20.3-24.3	128.6	52.18	-5.40	21.94	4.71
25.3-2.4	95.0	44.98	-0.66	21.90	4.21
3.4-20.4	56.6	36.81	4.50	23.10	3.04
9.5-22.5	19.0	29.44	9.03	22.88	1.37

## 7 MÄTRESULTAT

Inom projektet har vi haft tre möjligheter att årsvis följa energiförbrukningen

- MKB's egna avläsningar av fjärrvärmeförbrukningen totalt för båda husen inklusive garaget. Dessa siffror avläses även av Malmö energiverk varje kvartal (71/72 - 80/81).
- Våra egna manuella avläsningar av energi- och vattenmätare avseende hus nr 1 som är gjorda med 14-dagarsintervall (76/77 - 79/80).
- Våra kontinuerliga mätningar med timmesavläsningar via datalog (76/77 - 79/80).

### 7.1 MKB's avläsningar

Inom hela sitt fastighetsbestånd på ca 20.000 lgh för MKB statistik på förbrukningen månadsvis. Denna statistik sammanställs och utgör bl a underlag för beslut om olika åtgärder inom beståndet.

Avläsningarna inom kv Teknikern görs på en energimätare som visar fjärrvärmeförbrukningen för de båda husen samt garaget totalt. Fjärrvärmeförbrukningen inkluderar uppvärmning av hus och garage, varmvatten, varmvattencirkulation och hetvatten till torkrum. Den interna uppdelningen mellan dessa delposter är okänd då vi enbart mätt på hus nr 1. En uppskattning kan däremot ske genom att dels studera förbrukningen under sommarmånaderna, som då normalt inte inkluderar uppvärmning och dels att studera våra egna mätningar i hus 1. Man får då fram att förbrukningen på samtliga delposter förutom värmen till husen ligger på ca 500.000 till 700.000 kWh/år. I TAB.7.1 och FIG.7.1 har använts 600.000 kWh och restposten antages vara uppvärmning som korrigeras efter normalår.

Som synes i TAB.7.1 har totala energiförbrukningen för hela kvarteret

minskat med totalt ca 30% under hela 70-talet varav ca 15% till följd av oljekrisen 73/74. Om antagandet att förbrukningen av varmvatten o d ligger på ca 600.000 kWh/år (ca 4.200 kWh/lgh,år) är riktigt skulle enbart uppvärmningsdelen ha minskat med 43% under 70-talet. Det är dock troligt att detta är en överskattning av besparingen då varmvattenförbrukningen o d troligen också sjunkit under 70-talet.

Under de år vi har mätt förbrukningen och från det år vi började med energibesparande åtgärder i det ena av de två husen (76/77) har totala förbrukningen för båda husen sjunkit med ca 15-20% inklusive garageuppvärmning. Enbart den antagna uppvärmningsandelen har också minskat med lika mycket. Hur stor andel av besparingen som ligger på hus 1 som vi arbetat med och på hus 2 som endast varit föremål för MKB's normala åtgärdsprogram går inte att säga men klart är att MKB medvetet under de aktuella åren pressat ner energiförbrukningen.

Sett på totala förbrukningen för båda husen har förbrukningen sjunkit från ca 280 kWh/m<sup>2</sup>,ly,år året 71/72 till ca 190 kWh/m<sup>2</sup>,ly,år året 80/81.

## 7.2 LTH's manuella avläsningar

Genom manuella avläsningar i samband med byte av hålremsor kan vi följa förbrukningen för de olika delposterna i hus 1, se TAB.7.2. Siffrorna från denna tabell används i TAB.7.3 för att visa fördelningen på m<sup>3</sup> och i TAB.7.4 för att visa fördelningen på medellägenhet. Brister i mätutrustningen har gjort att hetvattenförbrukningen till torkskåp för perioderna är beräknade värden. Detta gäller även för varmvattenförbrukningen för 79/80.

## Jämförelser med Tensta-Bollnäs projektet

Teknikern i Malmö är ju som nämndes i inledningen en följd av de mätningar som slutfördes 1973/74 inom Tensta-Bollnäs projektet och som redovisas i Byggforskningens rapporter R10:1974 och R23:1975.

Tensta-huset är ett fjärrvärmeuppvärmt 3-våningshus med balanserad ventilation medan Bollnäshuset som är i två hela plan och en souterrängvåning är uppvärmt med direktel och försett med balanserad ventilation med värmeväxling. Båda är byggda 1969.

Förbrukningarna för året 1971/72 är redovisade i R10:1974 före vidtagna energisparåtgärder och i R23:1975 redovisas besparingen för de båda husen efter mätningar 1973/74.

Resultatet i det eluppvärmda Bollnäshuset låg på blygsamma 5% medan man i Tensta kunde redovisa en besparing på värme, ventilation och varmvatten på hela 37% för mäthuset och 22% för hela kvarteret.

En jämförelse med kv Teknikern kan inte göras direkt av flera orsaker, bl a därför att årsförbrukningen efter åtgärder inte har redovisats för Tensta-Bollnäs. De tre husen skiljer sig installationsmässigt från varandra med olika uppvärmins- och ventilationssystem. Det har också hunnit hända en hel del under de 10 år som har gått sedan mätstarten i Tensta-Bollnäs. All tillgänglig statistik inklusive institutionen för Byggnadskonstruktionsläras många fältförsök visar att energiförbrukningen under 70-talet sjunkit även i fastigheter med "normal" skötsel och underhåll.

I TAB.7.5 och 7.6 redovisas energiförbrukningen för olika eldningsår från de tre områdena. Tabellerna visar att man i både Tensta och Malmö i början av sjuttioalet något åt efter att husen var färdiga låg på en förbrukning på runt  $300 \text{ kWh/m}^2, \text{ly}$ . Detta pekar på en hög inomhustemperatur som leder till en flitig vädring. Hög varmvattenförbrukning, dålig injustering av värmesystemet och bristfällig reglering spelar också in. Genom injustering av värmesystem och sänkning av inomhustemperaturen, minskad ventilation och vädring samt en lägre varmvattenförbrukning kan man efter 10 år redovisa en förbrukning som nästan halverats och som pekar på  $150 \text{ kWh/m}^2, \text{ly}$ . Denna besparing har möjliggjorts genom prisutvecklingen på oljan som också har lett till ett ökat medvetande hos de boende. Visserligen får man besparingseffekter i instrumenterade mäthus som är större än normalt därför att man genom mätningar kan studera effekterna av olika åtgärder



och se vilka marginaler man har men trenden för hela fastighetsbeståndet är densamma.

### 7.3 Kontinuerliga mätningar

Sedan våren 1976 fram till sommaren 1980 har kontinuerliga mätningar via datalog med remsstans skett varje timme. Under 1976-77 lästes hålrämsorna med mätresultaten in på institutionen för Reglertekniks dator PDP15 för kontroll och utvärdering. Sedan institutionen för Byggnadskonstruktionslära från 1976 började bygga upp sin mätcentral för energistudier som baseras på en HP-1000 minidator blev det enklare att läsa in remsorna. På denna dator har sedan dess blivit inläst och utvärderat remsor från;

eldningssäsongen 76/77 , dec 76 - april 77

eldningssäsongen 77/78 , sep 77 - maj 78

eldningssäsongen 78/79 , nov 78 - maj 79

eldningssäsongen 79/80, sep 79 - maj 80

Under detta avsnitt kommer vi att visa ett axplock från dessa mätningar. Från främst mars månad åren -79 och -80 redovisar vi en del energimängder och temperaturer. Exempel på hur mätningarna används för olika beräkningar och för att hitta samband mellan olika variabler visas under kapitel 6.

FIG.7.2 och 7.3 visar utetemperaturen under 4 dagar i mars 1979 resp 1980 med relativt kalla nätter och några minusgrader under dagen.

Framledningstemperaturen reglerades fram till 1979 med en konventionell reglering med nattsänkning. Under 1980 sköttes regleringen av en ny regulator med återkoppling från frånluftstemperaturen. FIG.7.4 visar framledningstemperaturen och returtemperaturen under mars -79 med nattsänkning på ca 6-8°C. FIG.7.5 visar förhållandet mellan framledningstemperatur och utetemperatur, den så kallade reglerkurvan. FIG.7.6 visar framledning- och returtemperatur under mars -80 med den nya regleringen. FIG.7.7 visar den nya reglerkurvan som dels är lägre

än 1979 och dels har en något större spridning än 1979. Det är främst vid varmare utetemperaturer som spridningen ökar.

Frånluftstemperaturen under samma period 1979 och 1980 för de fyra frånluftsfläktarna visas i FIG.7.8 och FIG.7.9. Medeltemperaturen visas i FIG.7.10 och 7.11. För 1979 syns nattsänkningen som går upp till ca 1 °C. Normalt blir dock resultatet av nattsänkningen endast ca 0.5 °C. Man kan också se att en högre dygnsmedelutetemperatur leder till en ökad inomhustemperatur. Under 1980 då målet med regleringen var en konstant inomhustemperatur ser vi att variationerna minskat betydligt. Tendensen till högre inomhustemperatur vid högre utetemperatur har nästan försvunnit.

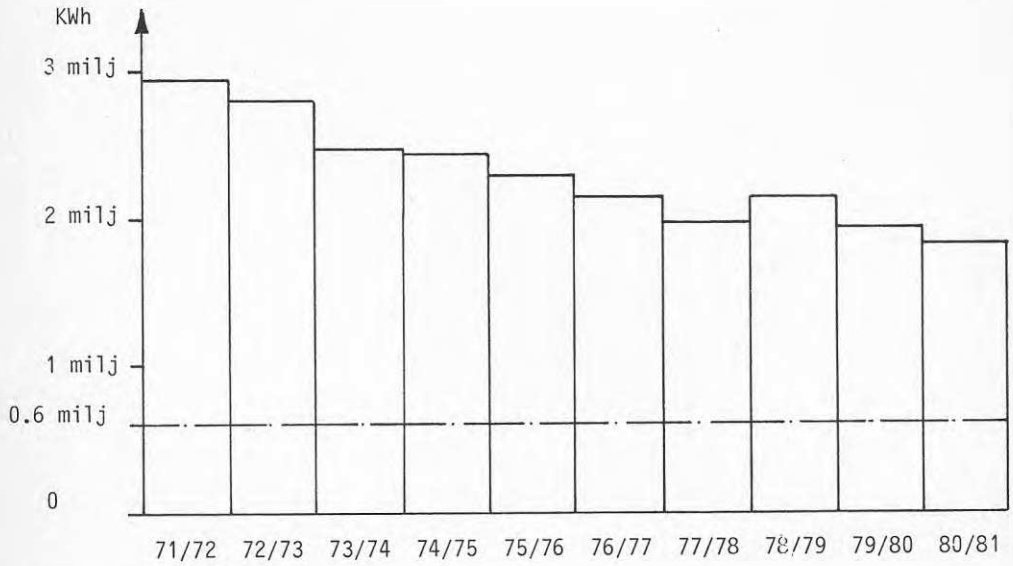
FIG.7.12 visar fjärrvärmemperaturen för tillopp och retur under mars 1979. FIG.7.13 visar varmvatten- och varmvattencirkulationstemperaturen under mars 1979. FIG.7.14 visar kallvattentemperaturen. Observera höjningarna under natten då ingen tappning sker.

FIG.7.15 visar mängden kallvatten, varmvatten och varmvattencirkulation under mars 1979. FIG.7.16 visar mängden värmevatten för radiatorsystemet under samma tid, som synes ett konstant flöde eftersom radiatorsystemet är ett ettrörssystem.

I FIG.7.17 och FIG.7.18 visas hushållsel för samtliga 72 hushåll samt fastighetselen för mars -79 och -80. Att det tredje dygnet är en söndag syns tydligt dels på den under hela dagen höga hushållselen och den under dagtid låga fastighetselen. I FIG.7.19 resp FIG. 7.20 visas effekten till radiatorsystemet och den totala elförbrukningen samt summan av dessa. Observera att elförbrukningen utgör en väsentlig del av husets energiintag. Redan vid temperaturer ute kring 0 °C överstiger eleffekten vid högbelastning effekten till radiatorsystemet. Detta indikerar svårigheterna vid injustering av värmesystem då målet är att hålla en jämn temperatur över dygnet och jämn temperatur mellan olika lägenheter. Hushållselen kommer här in som ett störande moment ojämnt fördelat över dygnet och ojämnt fördelat mellan olika lägenheter.

FIG.7.21 är radiatorsystemets effekt redovisad tillsammans med energin till varmvatten och varmvattencirkulation för mars 1979.

FIG.7.1 Total energiförbrukning, kv Teknikern, exklusive hushållsel.



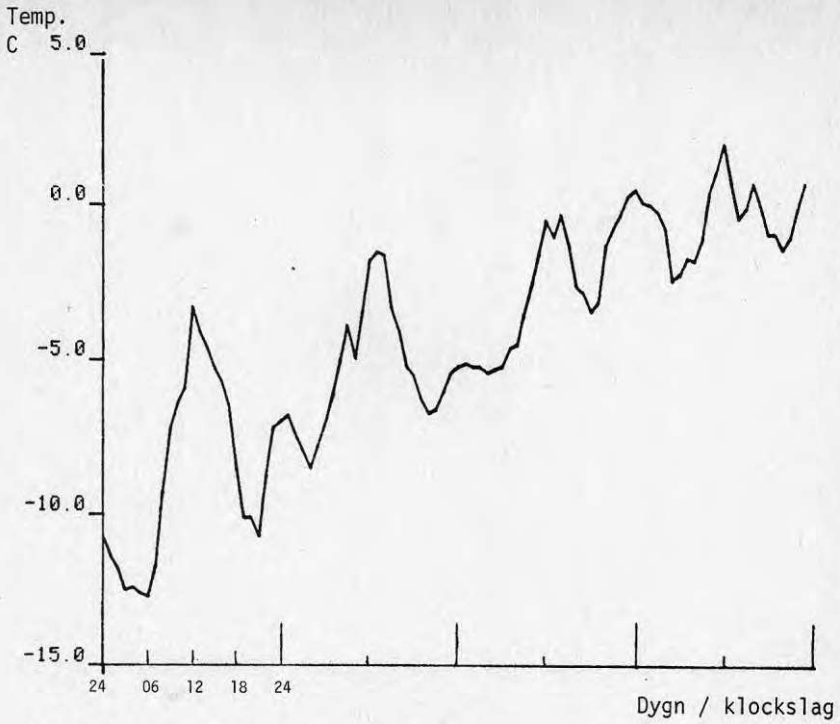


FIG.7.2 Utetemperatur 19-22/3 1979

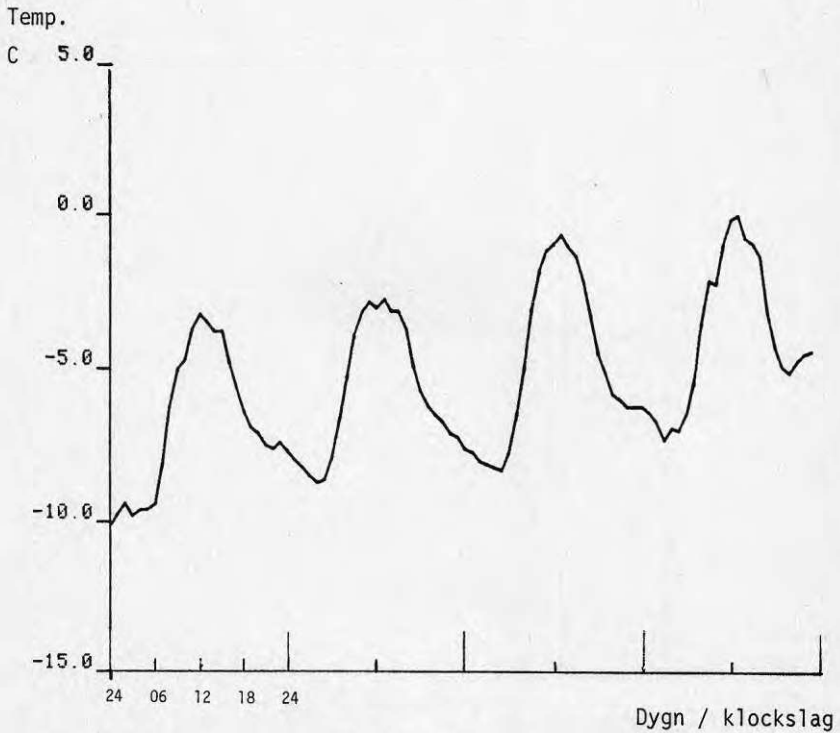


FIG.7.3 Utetemperatur 21-24/3 1980

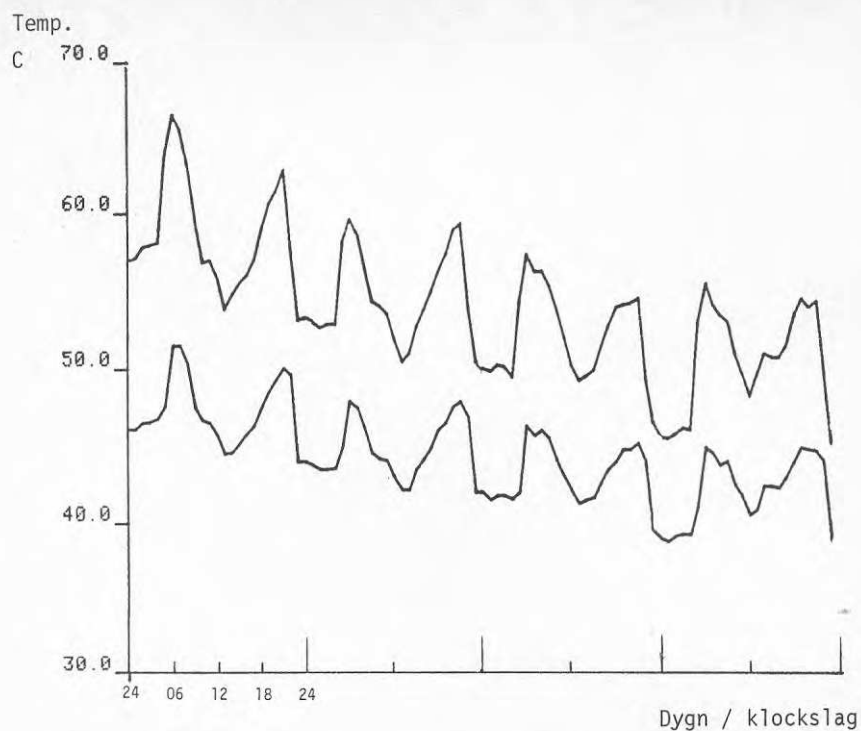


FIG.7.4 Framledning- och returtemp 19-22/3 1979

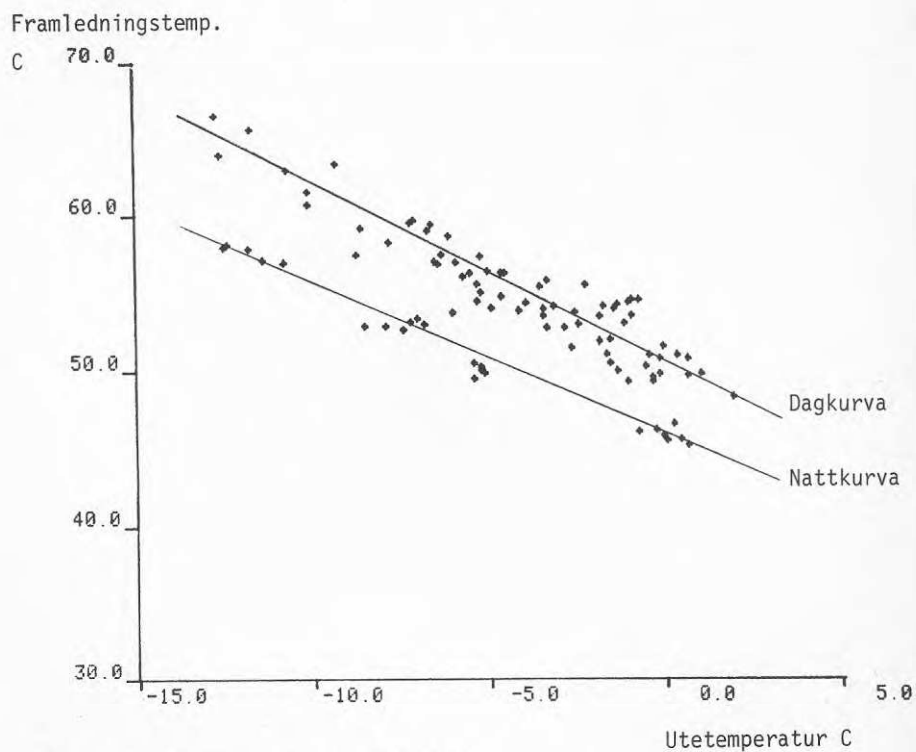


FIG.7.5 Reglerkurva 19-22/3 1979

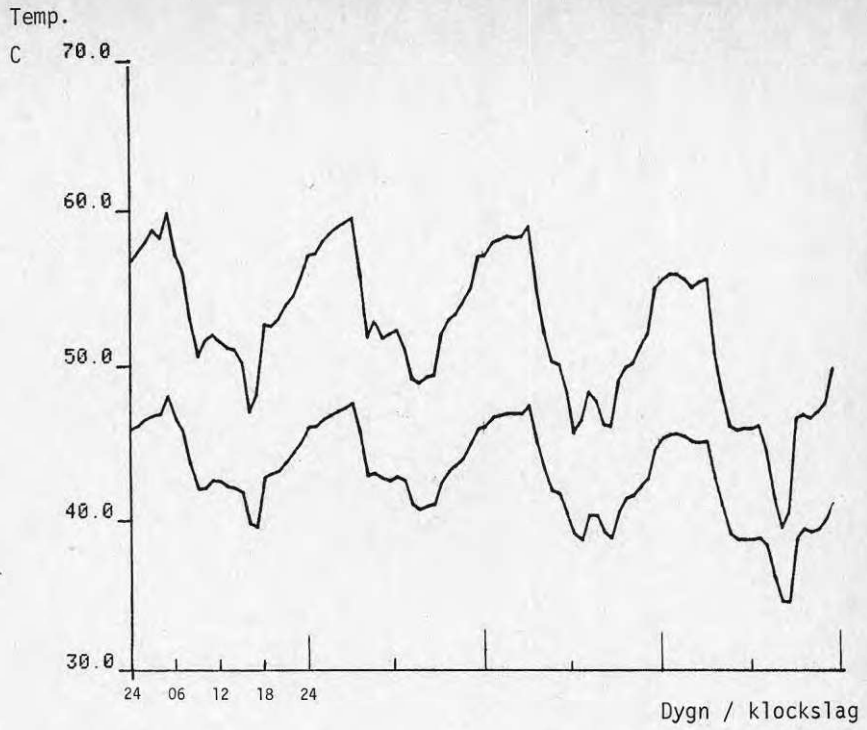


FIG.7.6 Framledning- och returtemp. 21-24/3 1980.

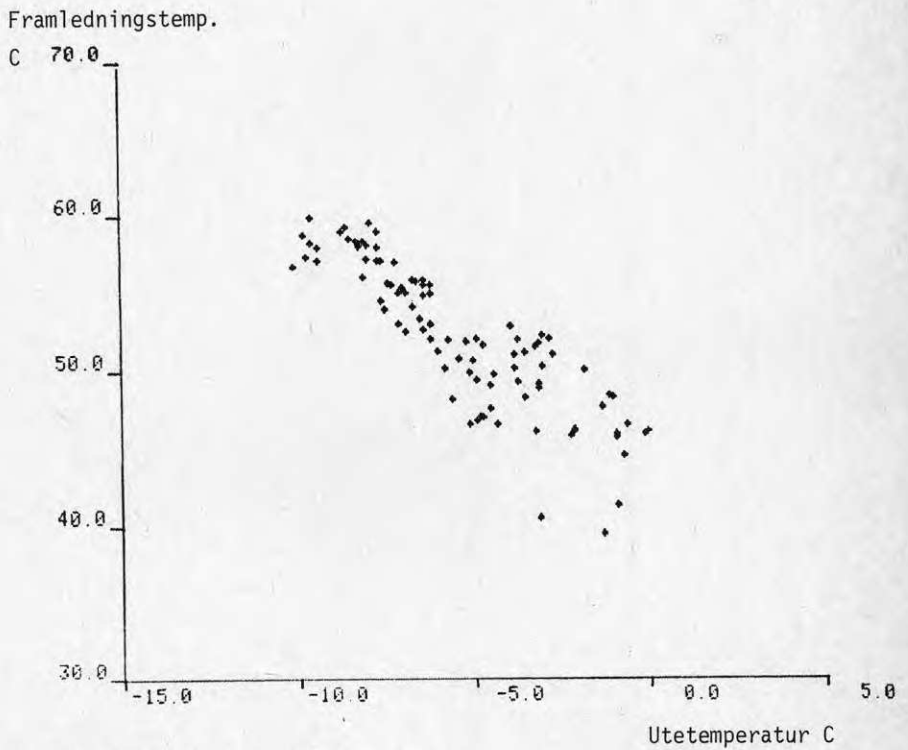


FIG.7.7 Reglerkurva 21-24/3 1980

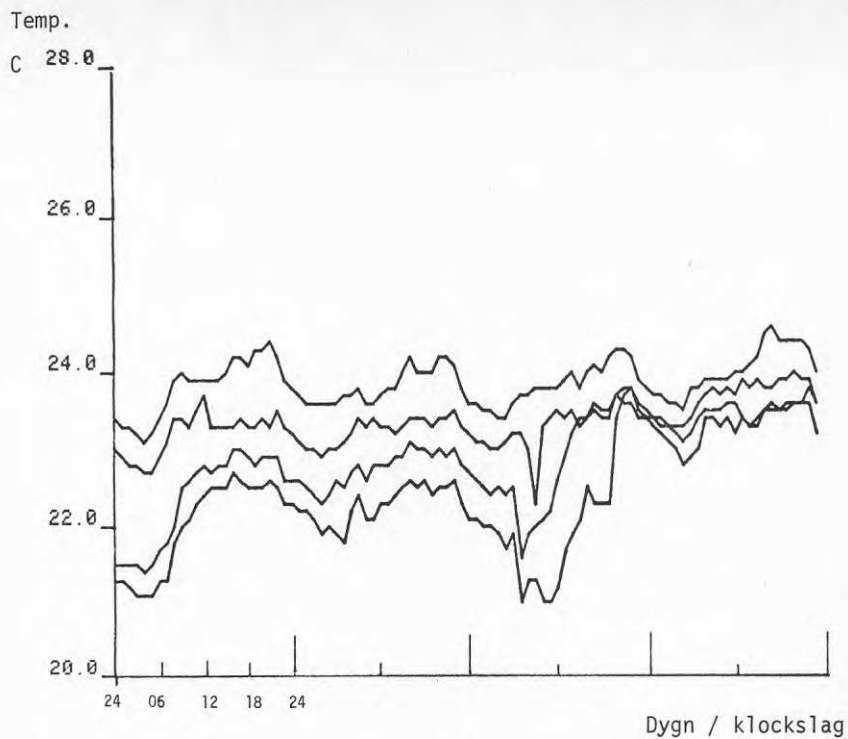


FIG.7.8 Frånluftstemp för fyra frånluftsfläktar 19-22/3 1979

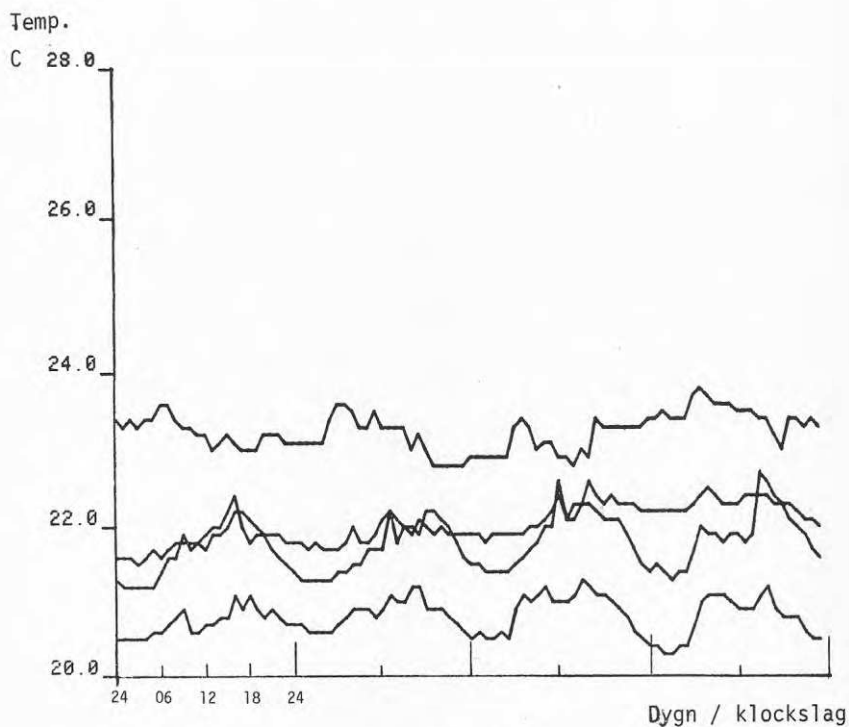


FIG.7.9 Frånluftstemp för fyra frånluftsfläktar 21-24/3 1980



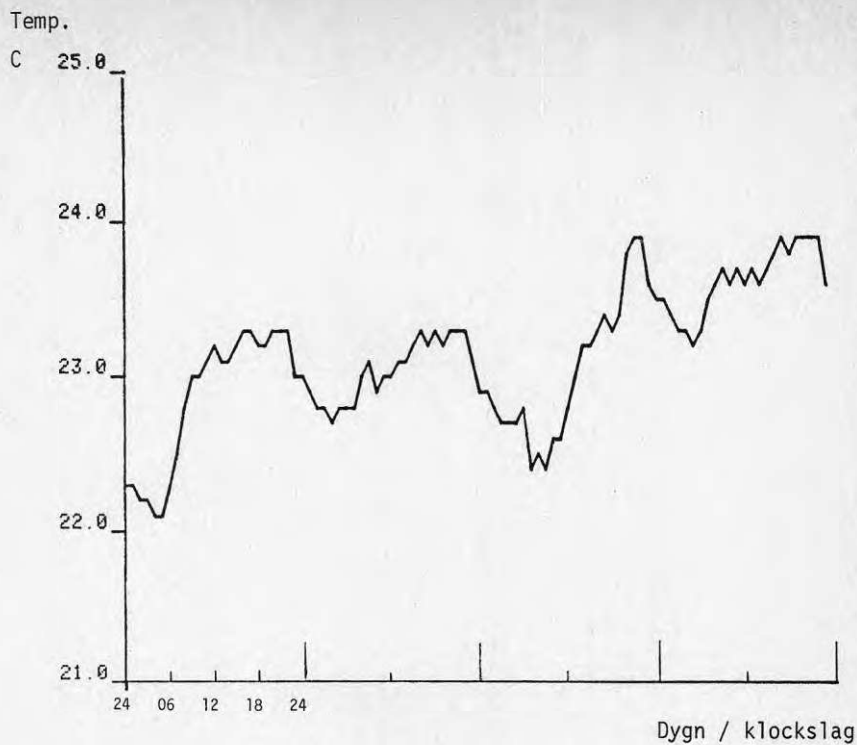


FIG.7.10 Medeltemp för fyra frånluftsfläktar 19-22/3 1979

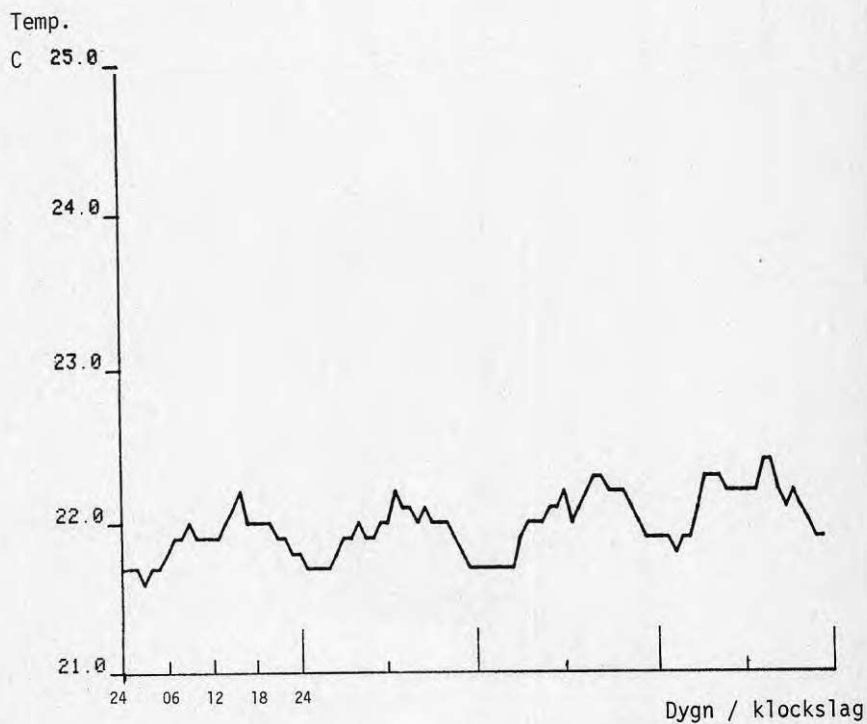


FIG.7.11 Medeltemp för fyra frånluftsfläktar 21-24/3 1980

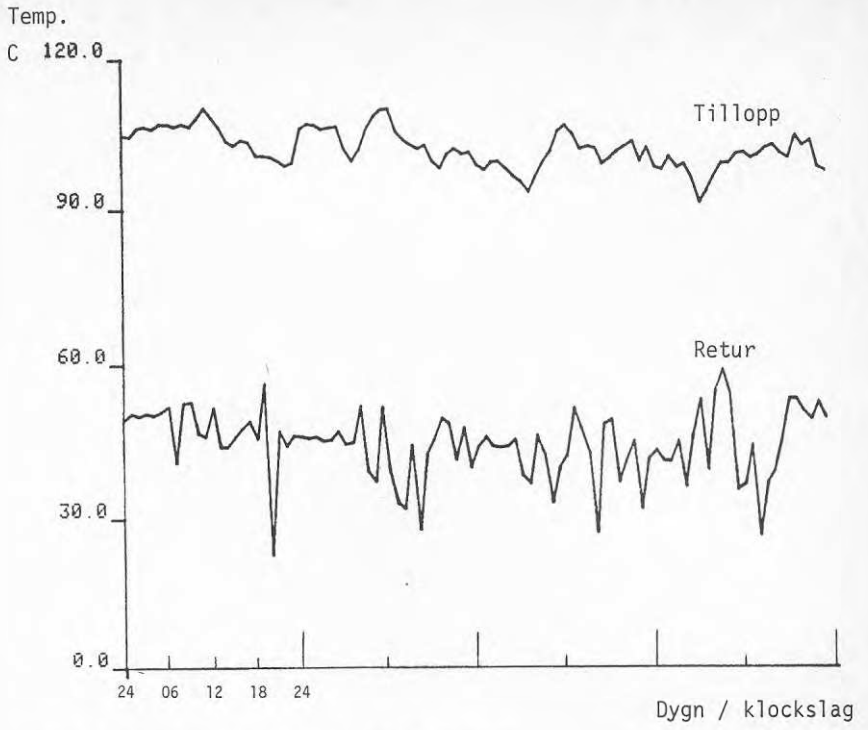


FIG.7.12 Fjärrvämetemp 19-22/3 1979

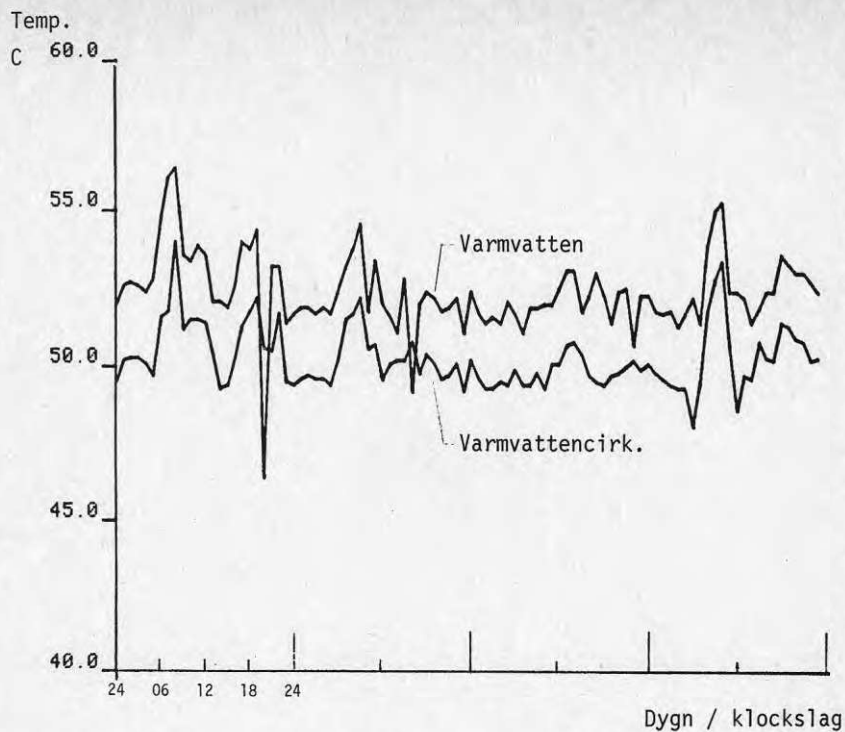


FIG.7.13 Varmvatten- och varmvattencirkulationstemp 19-22/3 1979

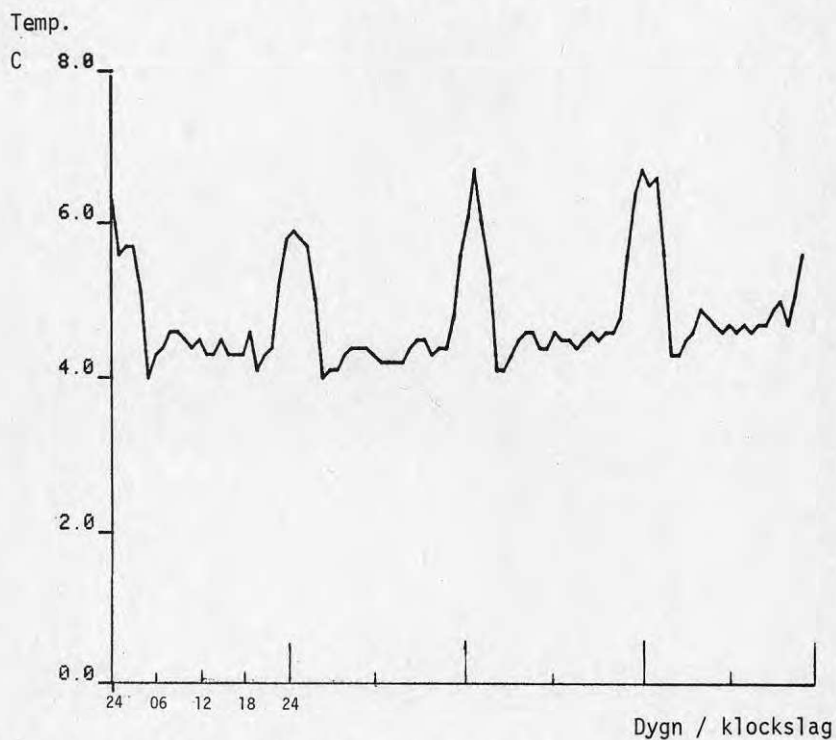


FIG.7.14 Kallvattentemp 19-22/3 1979

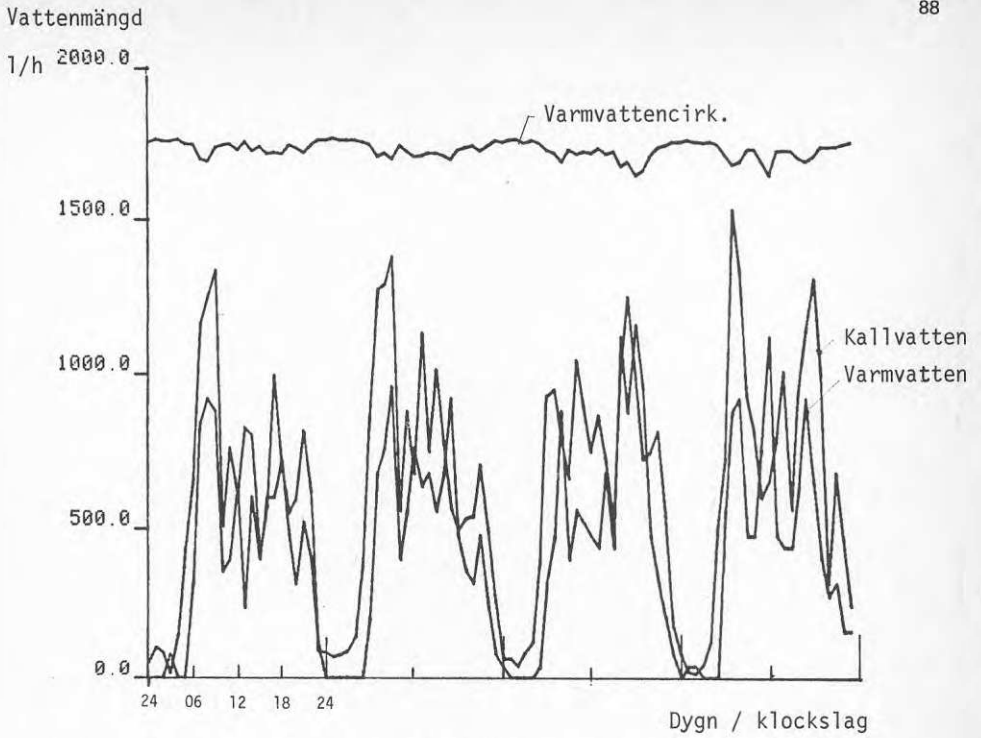


FIG.7.15 Kall-, varm- och varmvattencirkulationsmängd 19-22/3 1979

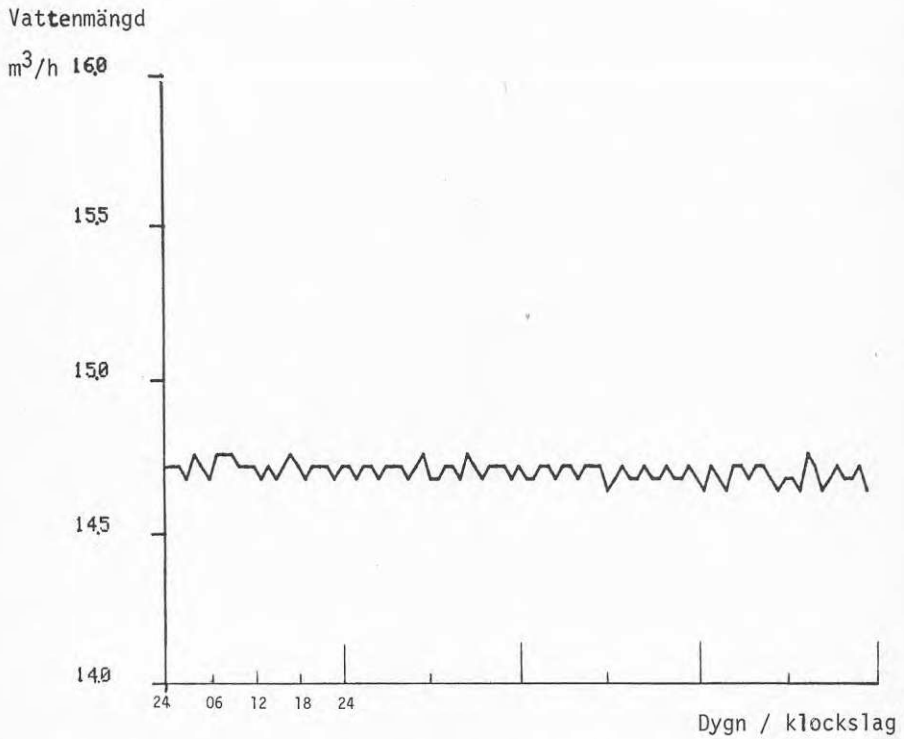


FIG.7.16 Vattenmängd radiatorkrets 19-22/3 1979

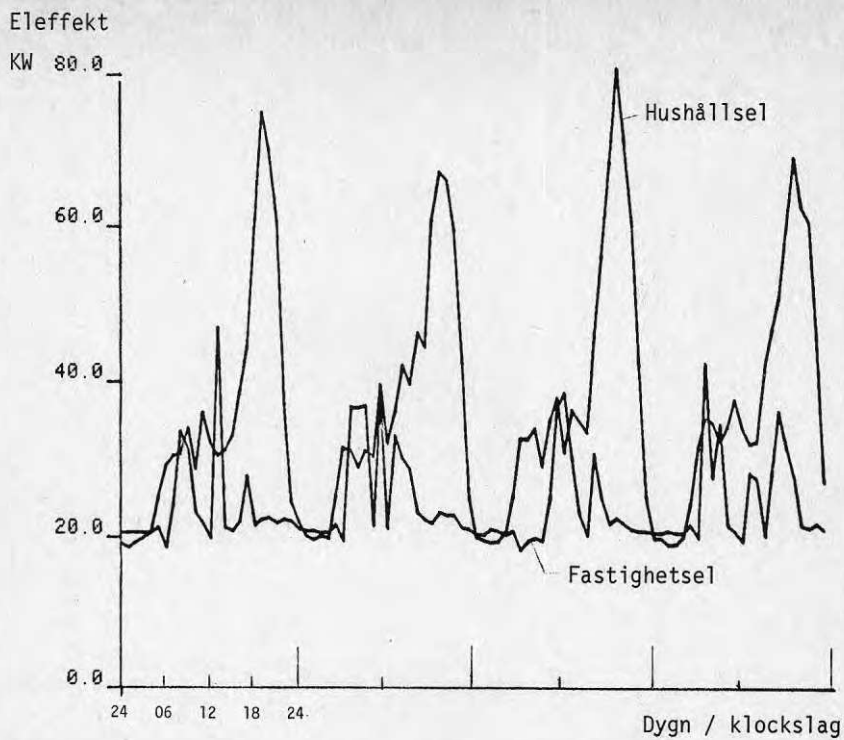


FIG.7.17 Hushållsel och fastighetsel 19-22/3 1979

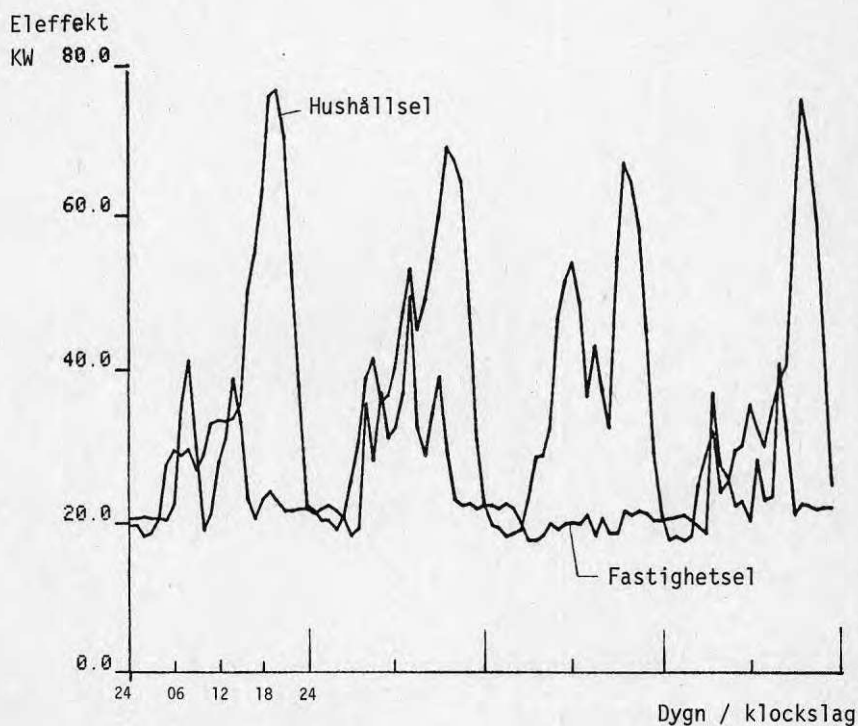


FIG.7.18 Hushållsel och fastighetsel 21-24/3 1980

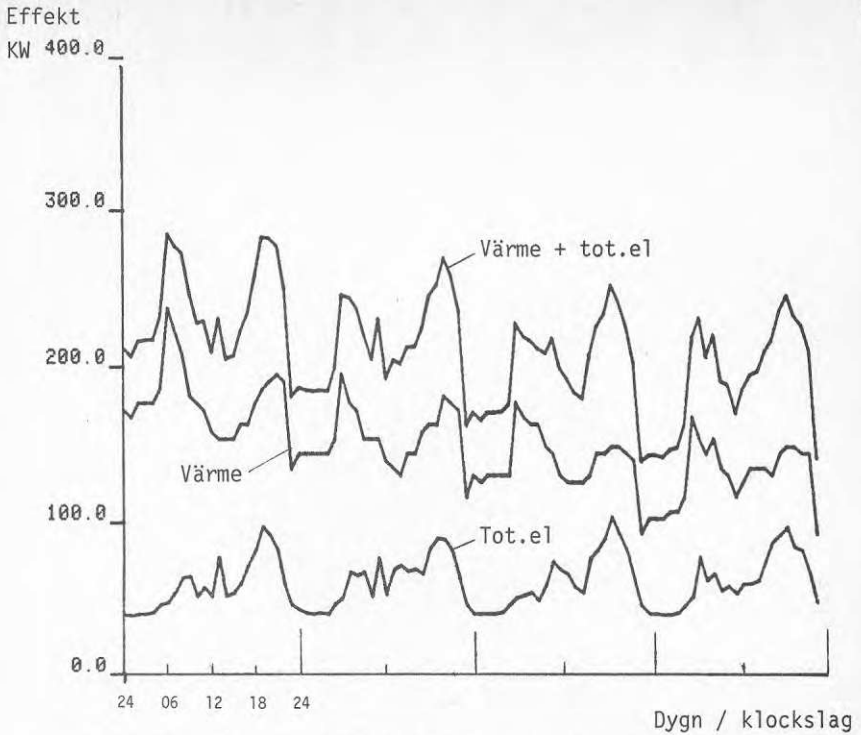


FIG.7.19 Värmeeffekt, totalel och summan 19-22/3 1979

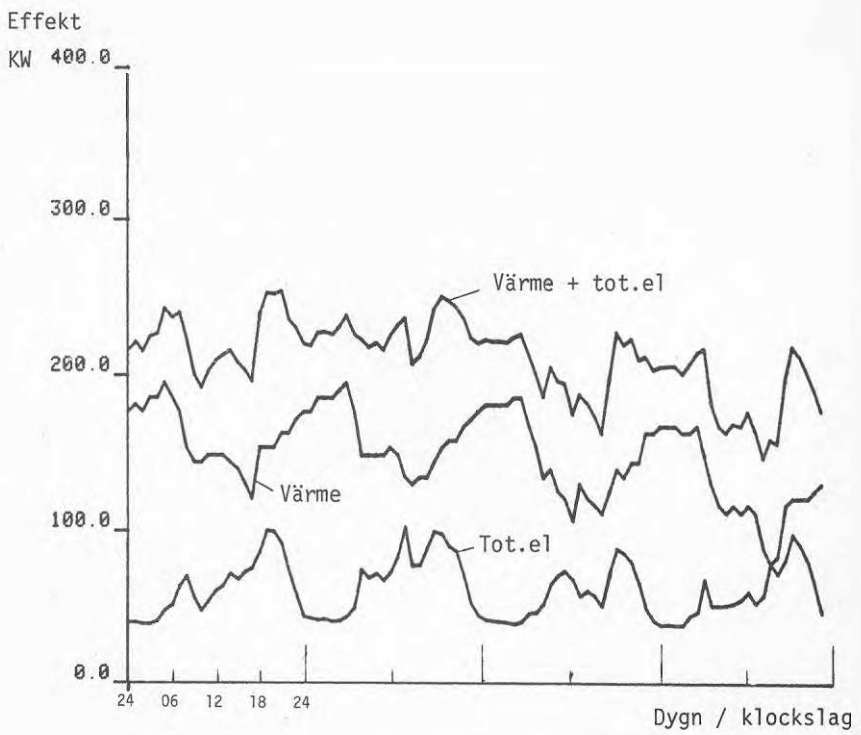


FIG.7.20 Värmeeffekt, totalel och summan 21-24/3 1980

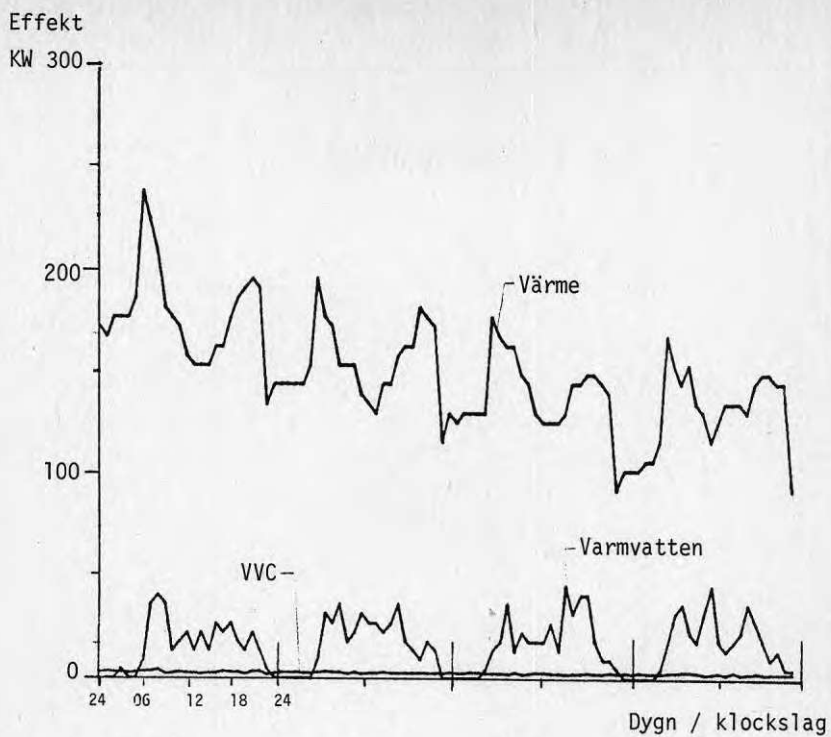


FIG.7.21 Värme, varmvatten och varmvattencirk.effekt 19-22/3 1979



TAB.7.1 Total energiförbrukning, kv Teknikern, exklusive hushållsel.

Eldnings- år	Total förbrukning hus 1+2+garage  kWh (kWh/m <sup>2</sup> ly)	Antagen förbrukad värme (-600.000)	% av normal- år	Korrigerad förbrukning efter normal- år
71/72	2.765.600 (281)	2.165.000	97	2.232.600
72/73	2.755.100 (280)	2.155.100	97	2.221.800
73/74	2.453.200 (249)	1.853.200	99	1.871.900
74/75	2.337.600 (238)	1.737.600	94	1.848.500
75/76	2.331.200 (237)	1.731.200	102	1.697.300
76/77	2.199.200 (223)	1.593.200	103	1.552.600
77/78	1.976.000 (201)	1.376.000	103	1.335.900
78/79	2.309.600 (235)	1.709.600	112	1.526.400
79/80	2.133.200 (217)	1.533.200	114	1.344.900
80/81	1.887.500 (192)	1.287.500	102	1.262.300

TAB.7.2 Energiförbrukning mäthuset, uppdelat i delposter

Eldningsår	76/77	77/78	78/79	79/80
% av normalår	103	103	112	114
Värme, radiatorer uppmätt (kWh)	742.000	661.000	731.000	651.000
Justerat efter normalår (kWh)	<u>720.000</u>	<u>642.000</u>	<u>653.000</u>	<u>571.000</u>
Varmvatten (kWh)	143.500	158.300	147.300	(150.000)
Varmvattencirk (kWh)	31.900	29.600	25.500	23.000
Hetvatten till tork- rum (beräknat) (kWh)	(30.000)	(30.000)	(30.000)	(30.000)
El för samt. lgh (kWh)	164.800	173.640	168.500	167.200
El till fastigheten (kWh)	106.400	109.000	106.800	109.400
Kallvatten (m <sup>3</sup> )	10.510	9.870	9.900	10.100

TAB.7.3 Fördelning kWh/m<sup>2</sup>ly,år (total lgh-yta = 4920 m<sup>2</sup>).

	76/77	77/78	78/79	79/80
Värme, radiatorer kWh/m <sup>2</sup> ly	146	130	133	116
Varmvatten kWh/m <sup>2</sup> ly	29	32	30	(30)
Varmvattencirkulation kWh/m <sup>2</sup> ly	6	6	5	5
Hetvatten (beräknat) kWh/m <sup>2</sup> ly	(6)	(6)	(6)	(6)
Hushållsel kWh/m <sup>2</sup> ly	33	35	34	34
Fastighetssel kWh/m <sup>2</sup> ly	22	22	22	22
Summa exkl el kWh/m <sup>2</sup> ly	187	178	174	157
Summa inkl el kWh/m <sup>2</sup> ly	242	235	230	213

TAB.7.4 Fördelning medellägenhet kWh/lgh, år

	76/77	77/78	78/79	79/80
Värme				
kWh/lgh	10000	8920	9070	7930
Varmvatten+varmvatten- cirkulation				
kWh/lgh	2440	2610	2400	(2400)
Hetvatten (beräknat)				
kWh/lgh	(420)	(420)	(420)	(420)
Lgh-el				
kWh/lgh	2290	2410	2340	2320
Fastighets-el				
kWh/lgh	1480	1510	1480	1520
Tot.vatten				
m <sup>3</sup> /lgh	146	137	138	140
Summa exkl el				
kWh/lgh	12860	11950	11890	10750
Summa inkl el				
kWh/lgh	16630	15870	15710	14590

TAB.7.5 Energiförbrukning exkl hushållsel. Angivna värden är ej korrigerade efter normalår.

<u>Bollnäs</u>			
70/71	Mäthuset	12.900 kWh/1gh	203 kWh/m <sup>2</sup> ly
<u>Tensta</u>			
70/71	Mäthuset	21.200 " "	301 " "
77/78	Hela kvarteret	16.460 " "	194 " "
78/79	" "	17.450 " "	206 " "
79/80	" "	16.480 " "	195 " "
80/81	" "	18.500 " "	219 " "
<u>Teknikern</u>			
71/72	Hela kv. inkl gar.	19.200 " "	281 " "
77/78	" " " "	13.720 " "	201 " "
78/79	" " " "	16.040 " "	235 " "
79/80	" " " "	14.810 " "	217 " "
80/81	" " " "	13.110 " "	192 " "
79/80	Mäthuset inkl hetv.	10750 " "	157 " "

TAB.7.6 Energiförbrukning uppdelad i delposter om kWh/m<sup>2</sup>ly

	Tensta 70/71 (69 m <sup>2</sup> /1gh)	Bollnäs 70/71 (64 m <sup>2</sup> /1gh)	Teknikern 79/80 (68 m <sup>2</sup> /1gh)
Värme+ventilation	244	133	116
Varmvatten+WC	60	58	35
Hushållsel	30	47	34
Fastighetssel	(21)	(21)	21

## 8 SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

### Inledning

Detta forskningsprojekt är en fortsättning av tidigare mätningar på energianvändningen i flerfamiljshus. Ett elvärt hus i Bollnäs och ett fjärrvärmewärmt hus i Tensta har tidigare undersökts och resultaten dokumenteras i rapporterna R10:1974 och R23:1975. Mätningarna visade att en betydande energibesparing kunde åstadkommas.

### Försöksobjekt och mätutrustning

För att komplettera de tidigare mätningarna bestämdes att det nya mäthuset skulle vara ett höghus och ligga i södra Sverige. Valet föll på ett åttavåningshus med vattenburen värme med ettrörsanslutna radiatorer och med frånluftsventilation. Byggår är 1971 och antalet lägenheter är 72 st. Mätutrustningen, en datalogger med hålremsstans, togs från mäthuset i Tensta. Fem vattenmängdsmätare, fyra värmemängdsmätare, två elenergimätare och ett trettiotal termoelementgivare för mätning av temperaturen installerades under hösten 1976. Termoelement valdes av kostnadsskäl. Referenstemperaturen löstes med ett väl isolerat aluminiumblock vars temperatur mättes med en motståndstermometer.

En av slutsatserna angående mätutrustningen är att alltid använda utprovade mätmetoder även om dessa kan vara kostsamma. Egna billiga mätsätt har i det långa loppet visat sig vara olämpliga. Tre exempel är mätning av vindriktning, luftflöden och varmvattenmängd och energi. De två förstnämnda slutade att fungera efter en viss tid. Den senare mättes som skillnaden mellan utgående varmvatten och varmvattencirkulation med en speciell vattenmängdsräknare. En vattenmängdsmätare skulle ha placerats in på ingående kallvattenledning till varmvattenväxlaren i stället trots en högre rördragningskostnad.

## Intervjuundersökning

Huvudsyftet med den gjorda enkätundersökningen har varit att ge bakgrundsdata om hushållen, att få kunskap om hyresgästernas egen bedömning av inomhusklimatet och att försöka dra slutsatser om husets värmebalansering. Pensionärsandelen är hög, 30%. Andelen en- och tvåpersonershushåll är hela 72%.

De flesta, 72%, tycker värmen varit lagom under ledningssäsongen 76/77. Temperaturönskemålen fördelar sig jämnt på intervallen 20-21 °C och 22-23 °C. Endast tre pensionärshushåll önskar högre temperatur.

Ventilationen tycks på det hela taget fungera ganska bra; dock är det 20% som anser att ventilationen fungerar dåligt. Ett knappt flertal (57%) uppger att de har drag någonstans i lägenheten.

Någon kompletterande undersökning efter åtgärdernas genomförande är inte utförd.

## Åtgärder

### Inreglering av radiatorsystemet

En av åtgärderna var att inreglera radiatorsystemet. Detta skedde först genom att datorberäkna inställningsvärden för 28 större stamstryppventiler och 256 trimventiler till 128 st ettrörsslingor för lägenheterna och 18 stryppventiler för olika radiatorgrupper i källaren. Inregleringen skedde därefter. Detta resulterade i en viss temperaturobalans så att vissa stamstryppventiler fick ställas om. Slutsatsen är att en datorberäknad inreglering är en tveksam åtgärd.

### Omtätning av fönster och balkongdörrar

De tidigare tätninglisterna (V-list av gummi) ersattes med slanglist av gummi. Omtätning skedde också mellan karm och vägg. Justering av snickerier och gångjärn gjordes också.

Effekterna av omtätningen har dels provats med spårgasmätning länghetsvis före och efter åtgärd och med täthetsprovning av enskilda fönster. Täthetsprovningen av fyra fönster före och efter omtätning påvisar ingen förbättring av tätheten. Spårgasmätningarna i sju lägenheter gav samma resultat, ingen skillnad i infiltrationen före och efter omtätning och samma resultat vid normal ventilation. Effekten av omtätning vid normal ventilation skall i och för sig bli liten eftersom en omfördelning av tryckfall över byggnadsdelar och i kanalsystem medför att luftflödet endast påverkas i mindre omfattning.

Ett annat mätresultat från fönstertäthetsproven som omfattade även karm-vägg var att läckflödet var flera gånger det tillåtna för enbart båge-karm.

#### Åtgärder, ventilationssystemet

För att minska ventilationsförlusterna så infördes ett utetemperaturvarierat frånluftsflöde genom att spänningsreglera fläktarna med en vridtransformator. Enkel analys visar att frånluftsflödet varierar i stort sett linjärt inom det valda arbetsområdet, men någon besparings-effekt har inte kunnat bestämmas från mätningar. Detta beror på ett flera åtgärder genomfördes samtidigt.

#### Frånluftstemperaturreglering

Prov med frånluftstemperaturreglering har gjorts i datorstyrda kort-tidsexperiment med gott resultat (se Apelblat, Jensen och Rydström (1977) och Jensen (1978)) och i enklare utförande under längre tid redovisade här i kapitel 6.

Trots att den enklare reglerutrustningen som provades under längre tid inte egentligen var vad som önskades så visar en jämförelse att reglering av uppvärmning (radiatorsystemet) med återkoppling från frånluftstemperaturen, som antas motsvara innetemperaturen, håller en jämnare frånluftstemperatur och därmed undviker vädring och onödig uppvärmning.



Skillnaden i uppvärmningsenergi är omkring 30% för samma innetemperatur för de tidsperioder som har studerats under våren 1979 och våren 1980. Detta värde kan inte extrapoleras till att gälla för hela året. Våren är en gynnsam period med mycket solinstrålning. Skillnaden för uppvärmningsenergin för de två eldningssäsongerna 78/79 och 79/80 är 12% till fördel för reglering med återkoppling. Det skall tilläggas att förstärkning i återkoppling ej var densamma hela tiden utan en ökning skedde i början av mars.

En större skillnad borde därför erhållas om den högre förstärkningen använts hela eldningssäsongen. En ytterligare förbättring bör också kunna uppnås om återkopplingen innehåller en integrerande del så att medelreglerfelet blir noll så länge uppvärmning krävs.

En sådan konventionell regulatortyp finns redan idag bortsett från inställningsområdet för förstärkning och integrationstid som kanske måste utökas.

#### Mätresultat

##### MKB's avläsningar

Dessa avläsningar avser mäthuset, ett tvillinghus och ett garage. Minskning i fjärrvärme minus varmvatten och omräknat till normalår är 42% räknat med eldningssäsongerna 71/72 och 72/73 som bas fram till 79/80 och 80/81. Med 75/76 och 76/77 som basår så fås minskning fram till 79/80 och 80/81 med 20%.

##### LTH's manuella avläsningar

Dessa avläsningar omfattar eldningssäsongerna 76/77 fram till 79/80. Med eldningssäsongen 76/77 som basår så fås följande minskning i uppvärmningsenergi (enbart radiatorsystem) omräknat till normalår 11%, 9% och 21%. Alla andra förbrukningar ändras inte nämnvärt.

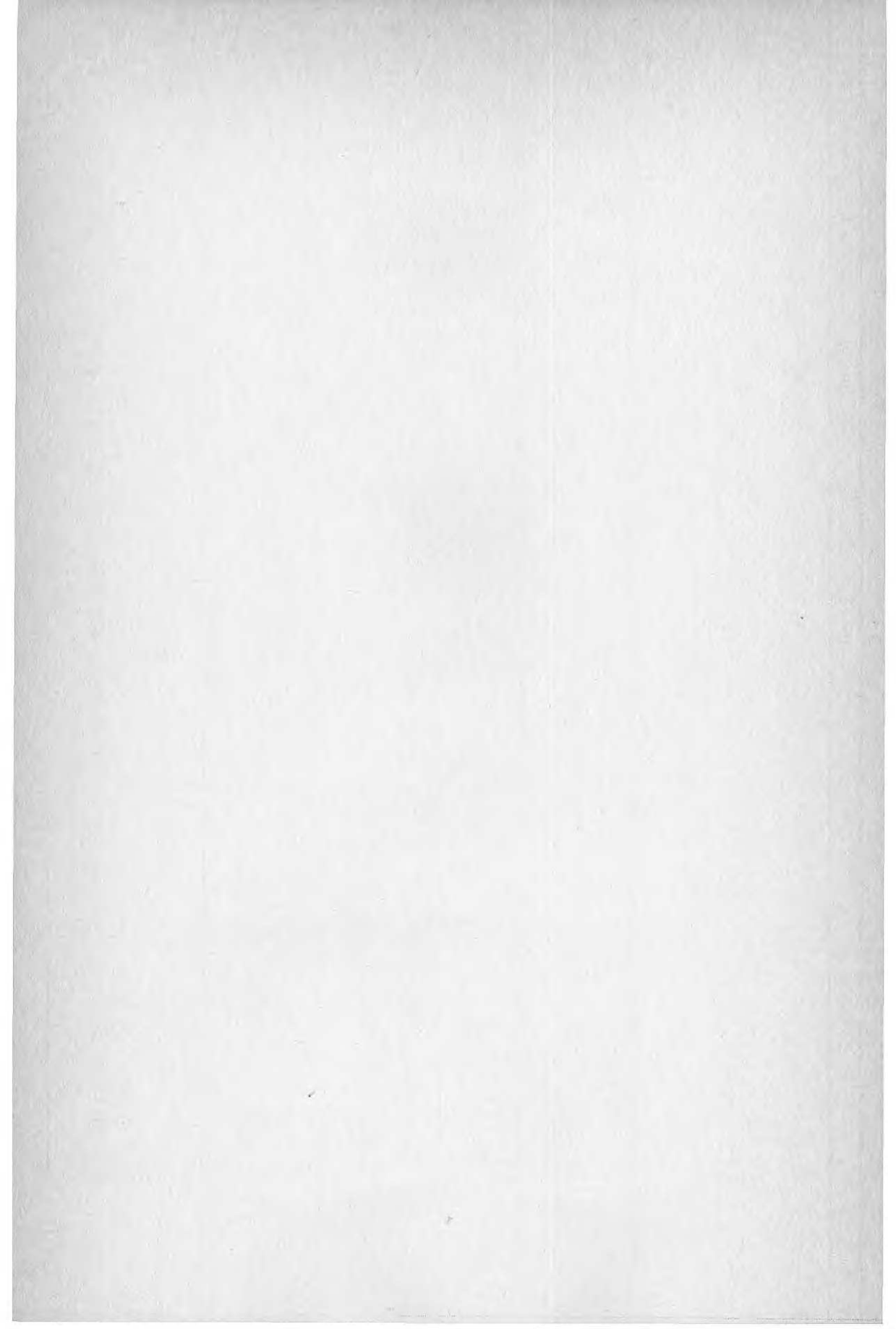
En anmärkning är att fastighetselen utgör 40% av mäthuset's totala

elförbrukning. En annan anmärkning är att varmvattenförbrukning ur energisynpunkt är omkring 2500 kWh/lgh, vilket är lågt.

## 9 REFERENSER

- Apelblat, J., Jensen, L. och Rydström, P. (1977): Frånluftstemperaturreglering av flerfamiljshus. Rapport BKL 1977:12.
- Lange, E. (1976): Energianvändning och energireduktion i höghus i Malmö. Delrapport 1, Rapport BKL BKL 1976:1.
- Lundgren, T. och Svärd, C. (1977): Energianvändning och energireduktion i höghus i Malmö. Delrapport 2. Rapport BKL 1977:10.
- Jensen, L. (1978): Digital reglering av klimatprocesser. BFR-rapport S37:1978.
- R10:1974, Byggeforskningen. Byggnadsenergigruppen: Energianvändning i byggnader.
- R23:1975, Byggeforskningen. Adamson, B., Hämler, J. och Mandorff, S., Energibesparing. En undersökning i två flerfamiljshus.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
750112-0 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Institutionen för byggnadskonstruktion,  
Lunds tekniska högskola, Lund.**

**R9: 1982**

**ISBN 91-540-3621-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700509**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**Cirka pris: 35 kr exkl moms**