



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

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



**Rapport**

**R10:1974**

**Energianvändning  
i byggnader**

**Byggnadsenergigruppen**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HÖGSKOLAN I KTH  
SEKTIONEN FÖR VÄRME- OCH  
BIBLIOTEKET

# Energianvändning i byggnader Mätningar och studier i flerfamiljshus

## Byggnadsenergigruppen

*Energianvändningen i flerfamiljshus studeras sedan något år tillbaka av Samarbetsgruppen för byggnaders energiförsörjning. Genom avancerade mätmetoder och databehandling av mätvärden samlas detaljerade informationer om konsumenternas energianvändning.*

*Föreliggande rapport redovisar resultaten från kontinuerliga energimätningar utförda i två flerfamiljshus, ett med eluppvärmning i Bollnäs och ett i Tenstaområdet, utanför Stockholm, värmeförsörjt från fjärrvärmeverk. Sammanlagt ingår i mätningarna 63 lägenheter, varav 28 i Bollnäs och 35 i Tensta. De värden som redovisas i fortsättningen härrör från ett års mätningar, från september 1971 till och med augusti 1972.*

*Syftet med mätningarna är att undersöka hur energin utnyttjas i flerfamiljshus och kartlägga hur de totala energibehoven fördelas på olika specifika energibehov, såsom uppvärmning, varmvatten, ventilation etc. Resultaten väntas på sikt leda till konstruktiva förbättringar på systemen för värmeförsörjning, till effektivare och mer energibesparande drift av byggnader, samt till bättre metoder att uppställa prognoser för energianvändningen.*

*Mätningar och bearbetningar av mätvärden har utförts av Byggnadsenergigruppen (BEG) som är en utredningskommitté inom Samarbetsgruppen för byggnaders energiförsörjning.*

*Energianvändningen uppmäts dels totalt och dels uppdelat på för värme, varmvatten, ventilation, fastighets- och hushållsel. Vidare uppmäts ute- och innetemperatur, sol- och himmelstrålning samt vindhastighet.*

### Mätsystem och databearbetning

Mätsystemets uppgift är att lämna underlag för uppställning av teoretiska modeller och för dimensionering av anläggningar för uppvärmningssystem för byggnader. För detta erfordras då att mätningarna sker med mycket små tidsintervall samt att resultaten registreras i en form som är lämplig för vidare bearbetning. Stora krav ställs även på mätnoggrannhet och tillförlitlighet. För att tillgodose dessa önskemål valdes ett helautomatiskt mätsystem, som var

15:e minut registrerar mätvärdena på en pappershållare.

De bearbetade värdena presenteras dels i kvartsredovisningar, vilka visar värden för varje kvart under dygnet, dels i veckoredovisningar, vilka visar summor för varje dygn och för hela veckan av de olika beräknade värdena i kvartsredovisningen. Dessutom finns högsta kvartsmedeleffekten under veckan för de olika punkterna framtagna.

Efter samråd med intressenter inom byggnadsområdet har tre olika huvudtyper av bearbetningar i dator gjorts. Dessa är undersökning och uppritning av samband mellan olika mätstorheter, tidskurvor och varaktighetskurvor.

### Projektbeskrivning

#### Bollnäs

Det elvärmda bostadsprojektet i Framnäsområdet utanför Bollnäs omfattar 360 lägenheter. Husen är försedda med balanserad ventilation och värmeåtervinning av ventilationsluften. Tappvarmvattnet uppvärms till största del nattetid och ackumuleras i för varje byggnad gemensam behållare. Tilluften förvärms, och övrig uppvärmning av byggnaderna sker via elradiatorer med påbyggda termostater. Kollektiv debiteringsmätning tillämpas på all elenergi. Beräknat k-värde för ytterväggskonstruktionen är  $0,27 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### Tensta

Flerfamiljshuset vid kvarteret Stadinge i Tenstaområdet utanför Stockholm omfattar sex fastigheter med totalt 113 lägenheter. Husen är värmeförsörjda från fjärrvärmeverket och utrustade med balanserad ventilation utan värmeåtervinning. Hushållselen mäts individuellt, övrig förbrukning mäts kollektivt. Ytterväggskonstruktionens k-värde är  $0,37 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Intervjuundersökning

För att få kännedom om flera faktorer som kan påverka utvärderingen av energimätningarna har en intervjuundersökning genomförts av Statistiska Centralbyråns Utredningsinstitut under april månad 1971.

Undersökningen ger bl a information om hur hyresgästerna utnyttjar viss utrustning i lägenheterna och vad de

## Byggnadsforskningen Sammanfattningar

### R10:1974

Nyckelord:

energianvändning, energimätning, flerfamiljshus

*AB Svensk Värmemättnings  
Inbegränsningsverk*

Rapport R10:1974 hänför sig till forskningsanslag D 329 från Statens råd för byggnadsforskning till Samarbetsgruppen för byggnaders energiförsörjning.

UDK 697.003  
621.317.3  
697.347  
728.2  
SfB (59)  
ISBN 91-540-2311-4

Sammanfattning av:

Byggnadsenergigruppen, 1974. *Energianvändning i byggnader. Mätningar och studier i flerfamiljshus.* (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R10:1974, 110 s., ill. 22 kr exkl moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, 111 84 Stockholm  
Telefon 08-24 28 60  
Grupp: installation



anser om värmeförsörjningen, ventilationen och den sanitära utrustningen etc. Man kan av undersökningen t ex klarlägga sambandet mellan energibehov och hushållets storlek, medlemmarnas ålder, eventuell vistelse utom hemmet på dagarna osv.

Förutom hushållen i mätusen intervjuades andra hushåll i Bollnäs och Tensta. Dessutom genomfördes intervjuer i Jönköping, Upplands-Väsby och Åkerred. I Jönköping bodde de intervjuade i elvärmda flerfamiljshus medan undersökningen i Upplands-Väsby och Åkerred innefattade hushåll boende i elvärmda småhus och radhus. Totalt ingick 328 hushåll i undersökningen.

### Inneklimatmätningar

Rumsklimatet har närmare studerats i fyra lägenheter i respektive mätus. Vid uppmätning av frånluftsflyde framgick det att i Bollnäs huset uppfylldes Svensk Byggnorms minikrav på luftflödenas storlek endast i en lägenhet. I Tensta var det en lägenhet som inte klarade minimikraven.

Lägenheterna i Bollnäs respektive Tensta är försedda med två olika typer av inblåsningssystem. I Bollnäs förekommer framkantsinblåsning via tilluftsdon bakom radiator och i Tensta förekommer bakkantsinblåsning via tilluftsdon placerat på innervägg.

Framkantsinblåsning har i de flesta fall visat sig ge tillfredsställande resultat i fråga om frihet från drag. Detta har i stort sett också bekräftats vid mätningarna i Bollnäs.

Att dimensionera tilluftsdon vid bakkantsinblåsning ställer sig i regel betydligt svårare. Ofta erhålles luftnedslag i rummets vistelsezon beroende på att konvektionsströmmen från radiatoren är motriktad tilluftströmmen. Mätningarna i Tenstälägenheterna uppvisar inga hastigheter i vistelsezonen som överstigit 0,2 m per sekund vid det aktuella måttillfället. Tilluftstemperaturen var dock, väl att märka, högre än rumstemperaturen vid samtliga måttillfällen.

### Radiatoruppvärmning

Bollnäs huset utnyttjade under mätåret 6 900 kWh per lägenhet för uppvärmning med radiatorer. En jämförelse baserad på *graddagtalet* för ortens normalår under bränslesäsong samt beräknat värmebehov enligt transmissionsberäkning med innetemperaturen 20°C ger värde som är 19 % lägre än uppmätt värde, vilket motsvarar ca 1 300 kWh per lägenhet.

I Tenstahuset utnyttjades 10 900 kWh per lägenhet för uppvärmning via radiatorer. En teoretisk beräkning som utgår från registrerade utetemperaturer och dimensionerande innetemperatur ger ett

värde som är ca 2 600 kWh lägre per lägenhet och år.

Efter utvärdering av mätresultaten kan vissa slutsatser dras beträffande värmelanläggningarnas drift och funktion. Inomhustemperaturen har i bägge mätusen konstaterats ligga mellan 23 och 25°C — mot avsedda 20°. Vid projekteringen av elvärmelanläggningen i Bollnäs synes transmissionsförlusterna för huset ha överskattats. Erforderliga effektkrav vid en dimensionerande utetemperatur av -22°C är enligt transmissionsberäkning utan traditionella extrapåslag 62 kW. Installerad effekt är 118 kW.

Radiatorernas termostater kan inställas på fyra alternativa effektsteg. Om högsta effektsteget väljes kommer uppvärmningseffekten att vara inkopplad under mycket korta tider. Vid låga utetemperaturer — t ex under 0°C — finns därmed uppenbara risker för skallras från fönster.

I Tensta sker uppvärmningen med radiatorer som matas från en abonnentcentral, gemensam för sex flerfamiljshus. Ojämn värmefördelning mellan olika lägenheter har konstaterats. Orsakerna till detta är sannolikt felaktig dimensionering och bristfällig inreglering av värmesystemet.

Icke önskvärda temperaturavvikelser försöker man i system med värmevatten ofta avhjälpa genom att höja vattentemperaturen så mycket att även de sämst värmda lägenheterna får en acceptabel temperatur. Övriga lägenheter får då en för hög temperatur, som i regel sänks genom vädring. Mycket tyder på att detta till stor del kan förklara Tenstahusets relativt höga energibehov för uppvärmning och dess höga inomhustemperatur.

### Ventilation

Båda mätobjekten har balanserad ventilation, dvs fläktstyrd från- och tilluft. Det elvärmda huset i Bollnäs är försett med en regenerativ värmeväxlare i ventilationssystemet. Därvid tillvaratas en stor del av frånluftens värmeinhåll för uppvärmning av uteluften till lägenheterna. I Tensta tillämpas inte värmeåtervinning ur ventilationsluften. Värmeväxlarens energibesparande egenskaper kan bedömas om man jämför energibehovet för luftuppvärmning i de två mätusen. I Bollnäs registrerades energiförbrukningen till 1 600 kWh per lägenhet under mätåret. Motsvarande förbrukning i Tensta registrerades till 5 960 kWh.

För Tenstahuset har ett förväntat energibehov beräknats för luftförvärmning med utgångspunkt från medelutetemperatur under luftuppvärmningsperioden, normgivande inblåsningstem-

peratur samt det faktiska antal dagar som luftuppvärmningen pågått. Det uppmätta energibehovet överstiger med ca 25 % förväntat behov och antyder därmed en överförbrukning av energi för luftuppvärmning på ca 1 500 kWh per lägenhet.

Mätresultaten från Tenstahuset för uppvärmning och ventilation indikerar problem att få dessa anläggningar att fungera som avsetts. Det faktum att den teoretiska överförbrukningen för dessa två specifika behov tillsammans uppgår till 4 000 kWh per lägenhet, medför att man måste betrakta dessa anläggningars funktion som otillfredsställande. Överförbrukningen motsvarar i energi ett normalt hushålls årsbehov av varmvatten.

En bidragande orsak till dessa höga förbrukningar kan vara den utförda värme- och ventilationsanläggningens systemlösning. Fastigheten har inte ett renodlat värmesystem utan en kombination av värme och ventilationssystem med gemensam cirkulationskrets.

Om radiatorkretsen och tilluftsaggregat har gemensam temperaturregleringsutrustning måste tilluftsaggregatet dimensioneras för lägre framledningstemperatur än radiatorerna. Orsaken till detta förfarande är i första hand att man vid värmebehovsberäkningen för transmissionsförluster i regel inte tar vederbörlig hänsyn till värmeavgivning från t ex människor, belysning, sol och — inte minst — friliggande, oisolerade, värmeledningsrör. Radiatorerna kräver därför lägre framledningstemperatur än vad som förutsatts vid dimensioneringen av tilluftsaggregatet, erfarenhetsmässigt 15 à 20°C lägre än den dimensionerande. Om ovan nämnda dimensioneringskriterier följs kan systemlösningen som sådan mycket väl tillämpas.

En viktig förutsättning för god energianvändning i detta sammanhang är att även ventilationsanläggningen blir korrekt inreglerad. För balanserade ventilationssystem (FT-system) är det dessutom viktigt att vattensidans inreglering intimt samordnas med radiatorsystemets.

### Varmvatten

Uppmätt energibehov till varmvatten i Bollnäs huset var 3 680 kWh per lägenhet, vilket motsvarar 57,5 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta. Variationerna mellan olika månader har varit stora. Varmvattnets energibehov i förhållande till det totala energibehovet är störst under juli månad, 55,6 %, och minst under januari, 20,8 %. Förbrukningen var störst under mars månad, 373,3 kWh/lägenhet. Under juli månad var förbrukningen 204,3 kWh/lägenhet, dvs 55 % av marsförbrukningen.



Tappvarmvattnet uppvärms i Bollnäs-huset till största delen nattetid och ackumuleras i gemensam ackumulator. Den installerade totala effekten för vattenvärmningen är 60 kW. Laddning sker med full effekt mellan kl 21.00 och 07.00. Under dagtid sker laddning med reducerad effekt, 12 kW. Den installerade effekten är onödigt stor med tanke på magasinets ackumuleringsförmåga. El-nätet blir onödigt kraftigt belastat om många elvärmda vattenvärmare används på detta sätt.

En i rapporten redovisad beräkning visar att endast 44 kW av de installerade 60 kW tillgodogörs i ackumulatorn. Installerad maximal effekt reducerades därför på prov till 36 kW. Denna effekt möjliggör ett energiuttag under ett dygn av 16,3 kWh/lägenhet. Största dygnsbehov under mätperioden har varit 15,3 kWh/lägenhet.

Uppmätt energibehov per år till varmvatten i Tenstahuset var 4 132 kWh per lägenhet vilket motsvarar 59,9 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta. Energiförbrukningen för varmvatten har varit störst under den kallare årstiden. Under juli månad var energibehovet 51 % av behovet under januari. Lördagar och söndagar är veckodagar med störst varmvattenförbrukning. Dessa dagar har två utdragna höglaster med maxförbrukning omkring kl 11.30 och 18.00. Maximala effekter har även iakttagits under vardagskvällen omkring kl. 18.00, varvid

förbrukningen är mer koncentrerad än under lördag och söndag.

Energiförbrukningen för varmvattencirkulation (vvc) är enligt Tenstamätningen 30 kWh/dygn eller ca 0,85 kWh/lägenhet och dygn. Vissa dagar med hög varmvattenförbrukning har energibehovet för vvc:n varit omkring 24 kWh/dygn. Varmvattencirkulationens andel av totala energibehovet för varmvatten blir då ca 7–8 %.

Bollnäs-huset har ej varmvattencirkulation. Avsaknaden av vvc har inte uppvisat ökad varmvattenförbrukning pga extra spolning för att få tillräcklig temperatur.

Dygnsbehovet av tappvarmvatten har i jämförelse med tidigare publicerade undersökningar ökat med 40 % under den senaste tioårsperioden. Det har varit en allmänt utbredd uppfattning att badkarstappningar är den dominerande orsaken till detta. Undersökningen har emellertid konstaterat att badens inverkan på det totala varmvattenbehovet sannolikt inte är av den omfattning som man tidigare trott. Detta åskådliggörs i rapporten med en beräkning som utgår från varmvattenförbrukningen i Tensta under mars månad. Beräkningen visar att knappt 30 % av månadens totala varmvattenförbrukning kan hänföras till badkarstappningar.

### Hushållsel

Hushållselförbrukningen i mäthuset i

Bollnäs och Tensta registrerades till 3 008 resp 2 050 kWh per lägenhet och år, vilket är 20 resp 9 % av husens totala energibehov under mätåret. Skillnaden i hushållselförbrukningen, 47 %, mellan mäthuset är anmärkningsvärd. Det kollektiva mätförloppet för el som tillämpas i Bollnäs-huset kan vara en bidragande orsak till att man där har en högre energiförbrukning för hushållsel. Andra faktorer som kan förklara avvikelserna mellan mäthuset är att Bollnäs-huset till 73 % är utrustat med torkskåp, vilka har en normal årsförbrukning av ca 700 kWh, samt att hushållen där har en högre andel hemmavarande under dagtid. I sammanhanget kan också nämnas att en undersökning som genomförts av bl a Svenska Elverksföreningen visar att hushåll i storstadsregioner allmänt sett har en lägre elförbrukning än i landsorten.

I utredningen undersöks möjligheten att beskriva uppvärmningseffekten med enkla linjära statistiska modeller. De variabler som ingår i modellerna är inne-temperatur, utetemperatur, solstrålning, vind, hushålls- och fastighetseffekt.

Uppvärmningseffekten borde egentligen beskrivas med en dynamisk modell på grund av husets tröghet, men det visar sig att reglersystemet kan till viss del motverka denna.

Resultatet från modellenpassningen blir att uppvärmningseffekten kan beskrivas med en konstant multiplicerad

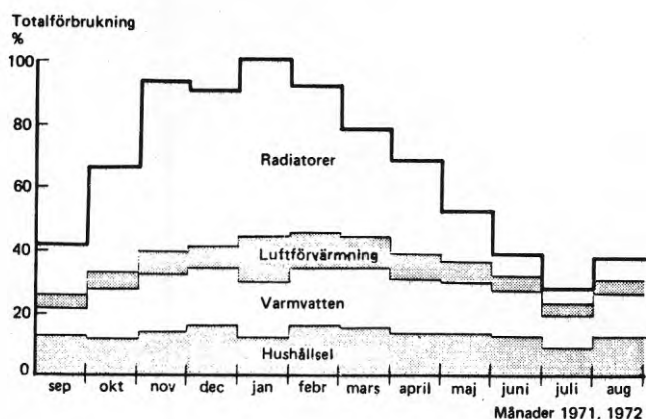


FIG. 1 Bollnäs

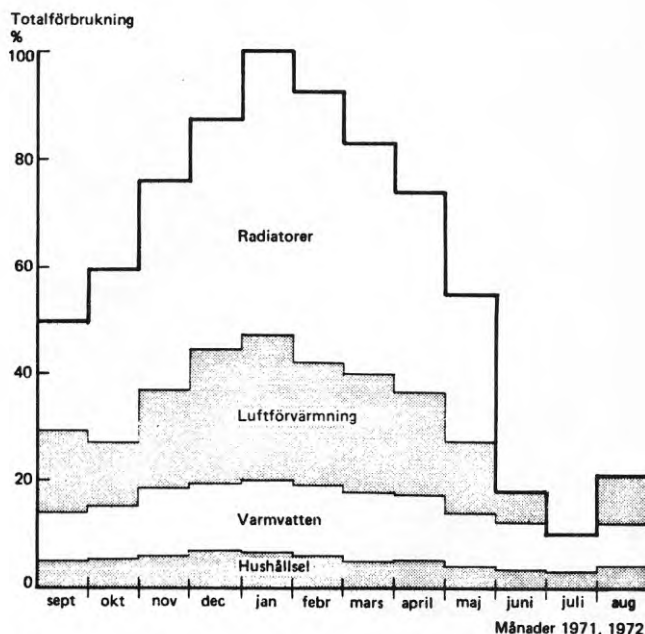


FIG. 2 Tensta

Diagrammen visar det totala energibehovets variation under året. Dessutom framgår i figuren delbehovets variation under året.

med inne-utetemperaturdifferensen eller en konstant multiplicerad med utetemperatur plus en annan konstant. Obedydligt bättre modell Anpassning fås om fler påverkansfaktorer tas med i modellerna.

Rapporten beskriver energisituationen i två av landets 50-60 000 flerfamiljs-hus. Urvalet medger alltså inga generella slutsatser. Därtill krävs omfattande studier bl a av hur representativa mät-

objekten är. En lokal kontroll i Tensta har dock genomförts där värmeförbrukningen i abonnentområdet, som inkluderar mäthuset, jämförts med övriga områden i Tensta och Rinkeby. Resultatet av jämförelsen blev att mäthusets abonnentområde endast med 3 % avvek från normalvärdet för värmeförbrukning i övriga områden.

Parallellt med fortsatta mätningar har under det senaste året (1973-74) mo-

difieringar och justeringar vidtagits i mäthuset för att minska energianvändningen. Preliminära resultat visar att den verkliga förbrukningen kan minskas så mycket som tidigare redovisade "överförbrukningar" anger. Samarbetsgruppen avser att i en kommande forskningsuppgift redovisa resultat av en jämförelse före och efter en noggrann inställning och intrimning av värmeanläggningarna.

# Use of energy in buildings Measurements and studies in blocks of flats

## The building energy group

*A year or two ago the Joint Committee for the Supply of Energy to Buildings launched a study of the use of energy in blocks of flats. Detailed information on the ways in which consumers use the energy available.*

*This report presents the results of continuous recordings of energy consumption conducted in two blocks of flats; one block is situated in Bollnäs in Northern Sweden and has electrical heating, while the other is situated on the Tensta housing estate outside Stockholm and is served by a district heating system. Measurements cover a total of 63 flats, 28 of which are located in Bollnäs and 35 in Tensta. The values listed hereafter derive from a whole year's measurements begun in September 1971 and ended in August 1972.*

*The purpose of the measurements was to investigate the ways in which energy was used in blocks of flats and to plot what proportions of the total energy requirement were used for different specific energy-consuming functions, e.g. heating, hot water, ventilation etc. In the long term it is hoped that the results obtained will lead to constructive improvements in heating systems, to more economical and efficient operation of engineering service in buildings and to the development of better methods for forecasting the use of energy.*

*Measurements and analyses of the values recorded were carried out by the BEG group (Building energy group) which is a sub-committee of the Joint Committee for the supply of Energy to Buildings.*

*Measurements were taken of the total amount of energy used plus of the amounts used for heating, hot water, ventilation, lighting of common areas and domestic lighting separately. Measurements were also taken of the indoor and outdoor temperatures, radiation from sun and sky and wind velocity.*

### Measurement system and data processing

The purpose of the measurement system is to provide a basis for the construction of theoretical models and for the design of heating plants to serve buildings. This means that measure-

ments must take place at extremely frequent intervals and that the results must be recorded in a form suited to further processing. Requirements governing dimensional accuracy and reliability are also very strict. A fully automatic measuring system was therefore chosen whereby measurements are taken every 15 minutes and recorded on a paper tape in order to satisfy the requirements.

The values once processed are presented in two forms, i.e. in the form of 15-minute tables which give the values for each 15 minutes throughout the day in the form of weekly tables which give the totals of the different values calculated in the 15-minute tables for each day and for the whole week. The highest 15-minute mean effect during the week for the different points is also indicated.

Following consultations with interested parties in the building energy sector, three different main types of computer processing were used. These are investigation and plotting of correlations between different measuring units, time curves and duration curves.

### Description of project

#### Bollnäs

The housing area heated by electricity lies in Framnäs outside Bollnäs and comprised 360 flats. The blocks are equipped with balanced ventilation and a system for recovery of heat from exhaust air. The domestic hot water supply is largely heated at night and is then stored in a tank common to all flats in a block. Input air is preheated. Other heating of the buildings takes place through the medium of electric panels with built-in thermostats. All energy consumed is metered and charged on a collective basis. The calculated U-value for the outer wall structure is  $0.27 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### Tensta

The flats in the Stadinge section of Tensta housing estate outside Stockholm are housed in six blocks containing at total of 113 dwellings. The buildings are heated from a district heating plant and are equipped with balanced ventilation without heat recovery. Electricity

## National Swedish Building Research Summaries

### R10:1974

#### Key words:

use of energy, measurement of energy, block of flats

Report R10:1974 refers to Grant D 329 from the Swedish Council for Building Research to the Joint Committee for the supply of Energy to Buildings.

---

UDC 697.003  
621.317.3  
697.347  
728.2  
SfB (59)  
ISBN 91-540-2311-4

#### Summary of:

The building energy group, 1974, *Energi-användning i byggnader. Mätningar och studier i flerfamiljshus*. Use of energy in buildings. Measurements and studies in block of flats. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R10:1974, 110 p., ill. Sw Kr 22.

**The report is in Swedish with Swedish and English summaries.**

---

#### Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403  
S-111 84 Stockholm, Sweden



consumed by households is metered individually and all other consumption collectively. The U-value of the outer wall structure is  $0.37 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .

### Opinion poll

An opinion poll was conducted by the Survey Division of the Central Bureau of Statistics in April 1971 in order to find out whether there are other factors which may affect the evaluation of measurements of energy consumption.

This poll provided, for example, information on the ways in which tenants use certain items of equipment in their homes and what they think of the heating system, the ventilation and the sanitary appliances etc. The results of the poll also made it possible to plot the correlation between energy requirement and size of household; age of members, any absence from home during the day etc.

Other households in Bollnäs och Tensta were also interviewed in addition to those resident in the blocks where measurements were carried out. Interviews were also interviewed in Jönköping, Upplands-Väsby and Åkerred. In Jönköping the persons interviewed lived in electrically heated blocks of flats, while in Upplands-Väsby and Åkerred the survey even covered families in one-family houses of various types. The survey covered a total of 328 households.

### Measurements of indoor climate

The room climate was subjected to detailed study in four flats in the respective blocks. In measuring the flow of exhaust air it emerged that in the case of the block in Bollnäs the minimum requirement set out in the Swedish Building Standard (Svensk Byggnorm) in respect of the magnitude of air flows was satisfied only in a single flat. In Tensta on the other hand, there was only one flat which did not satisfy the minimum requirement.

The flats in Bollnäs and in Tensta are equipped with two different types of injection systems. In Bollnäs flats have front wall injection via an intake behind the radiators. In Tensta, flats have rear wall injection via an intake situated in the rear wall.

In most cases front wall injection has proved to yield satisfactory results as regards freedom from draughts. This was also by and large confirmed by the measurements conducted in Bollnäs.

Design of air intakes for rear wall injection is as a rule considerably more complicated. Often a draught occurs in the inhabited zone of the room due to a collision between the current of convected air from the radiator and the flow of

incoming air. Measurements carried out in the flats in Tensta however revealed no velocities in the inhabited zone in excess of 0.2 m/s on the occasion in question. This would indicate a well balanced throw on the part of the intake valve.

### Radiator heating

In the course of the year during which measurements were carried out 6,900 kWh per flat were used in the Bollnäs block for heating via radiators. A comparison based on the *graddagtalet*<sup>1</sup> for a normal year in the locality during the heating season and the calculated heat requirement according to a transmission calculation with the indoor temperature of 20°C yields a value which is 19 % lower than the value recorded, which was the equivalent of 1,300 kWh per flat.

In the Tensta block, 10,900 kWh were used for heating via radiators. A theoretical calculation based on outdoor temperatures recorded and on design indoor temperatures yields a value which is approximately 2,600 kWh lower per flat and year.

Following evaluation of the results of measurements certain conclusions could be reached regarding the running and performance of the heating plants. In both the blocks studied the indoor temperature was found to lie between 23 and 25°C as against the 20°C intended. It would seem that the transmission losses for the block were overestimated in designing the electrical heating plant in Bollnäs. The necessary effect at a design outdoor temperature of -22°C is 62 kW according to a calculation of transmission losses without the traditional extra margin. The effect installed was 118 kW. In theory this means that it should be possible to maintain a temperature of +20°C indoors at a prevailing outdoor temperature of -60°C.

The thermostats on the radiators can be set for four different effects. If the highest effect is selected, the actual heating will take place only over very short periods. At low temperatures (e.g. below 0°C) there is thus a clear risk of downward draughts occurring from windows.

In Tensta, flats are heated by radiators served by a sub-plant shared by six blocks of flats. Uneven distribution of heat among the different flats was noted. The causes of this are probably faults in design and incorrect balancing of the heating system.

Attempts are often made to correct

<sup>1</sup> *Graddagtalet* = the sum of the outdoor temperature for each day over a period of one year.

undesirable deviations in temperature in the case of water-based heating systems by raising the temperature of the water to a level where even the most poorly heated flats are given an acceptable indoor temperature. The temperature in the other flats is then consequently too high, a fault which is as a rule corrected by means of airing. There is strong evidence that this is the main reason for the relatively high energy requirement in the Tensta flats and their high indoor temperature.

### Ventilation

Both the blocks of flats are equipped with balanced ventilation, i.e. fancontrolled input and exhaust air. The electrically heated block in Bollnäs also has a regenerative heat exchanger in the ventilation system permitting a large amount of the heat contained in the exhaust air to be recovered for heating outdoor air being fed into the flats. In Tensta there is no heat recovery from exhaust air. The energy-saving properties of the heat exchanger can be assessed by comparing the amount of energy required to heat the air in the two blocks studied. In Bollnäs an energy consumption of 1,600 kWh per flat and year was recorded over the year in question. In Tensta the corresponding figure was 5,960 kWh.

In the case of the block in Tensta, an anticipated energy requirement was calculated for heating the air based on the mean outdoor temperature during the period when the air was being heated, the normative injection temperature and the actual number of days during which the air was heated. The energy requirement recorded was some 25 % in excess of the anticipated requirement and thus indicates that an extra 1,500 kWh per flat were consumed for heating the air.

The results obtained from the Tensta block in respect of heating and ventilation indicated that problems arise in trying to get these plants to function as intended. The fact that the theoretical excess consumption for these two specific purposes together amounts to 4,000 kWh per flat means that the way in which these plants are working must be regarded as unsatisfactory. The excess consumption is in terms of energy equal to a whole year's supply of hot water for a normal family.

A contributory cause of this high level of consumption may be the design of the heating and ventilation systems. The block is not equipped with a simple heating system, but instead with a combined heating and ventilation system with a common circulation circuit.

If the radiator circuit and the input air

plant have the same temperature balancing equipment, the input air plant must be designed for a lower input temperature than the radiators. The reason behind this is primarily that when including transmission losses in calculations of heat requirements, insufficient attention is as a rule paid to heat emission by e.g. the human body, lighting, the sun and, last but not least, exposed, uninsulated heating pipes. The radiators therefore require a lower input temperature than that assumed necessary when designing the input air equipment; experience has shown that this temperature needs to be 10–20°C lower than the design temperature.

An important prerequisite for economical use of energy in this context is a correctly adjusted ventilation system. This applies above all for balanced ventilation systems where the adjustment of the water supply needs to be closely co-ordinated with the radiator system.

### Hot water

The amount of energy required for hot water in the Bollnäs block was found to be 3,680 kWh per flat, or 57.5 kWh per m<sup>2</sup> floor area. There were marked variations from month to month. The amount of energy needed for hot water in relation to the total need for energy is at its height in July (55.6 %) and at its lowest ebb in January (20.8 %). The level of consumption was greatest in March (373.3 kWh/flat). In July it was 204.3 kWh/flat, i.e. 55 % of the figure for March.

Hot running water for the Bollnäs

block is largely heated at night and is stored in a common tank. The total installed effect for heating the running water is 60 kW. Charging with full effect takes place between 9 p.m. and 7 a.m. During the daytime the effect for charging is reduced to 12 kW. The installed effect is unnecessarily large in view of the storage capacity of the tank. The electrical system is also subjected to an unnecessarily heavy load if many electrically operated water heaters are used in this way.

A calculation included in the report shows that only 44 kW of the 60 kW installed are utilized for accumulating heat. The maximum effect installed was therefore reduced on trial to 36 kW. This effect permits an energy output of 16.3 kWh/flat in the course of one day. The highest daily requirement during the measuring period was 15.3 kWh/flat.

The annual energy requirement recorded for hot water in the Tensta block was 4,132 kWh per flat, or the equivalent of 55.9 kWh per m<sup>2</sup> floor area. The energy requirement for hot water was at its height during the cold season. In July the energy requirement was 51 % below that for January. Hot water consumption is at its height on Saturdays and Sundays. These two days of the week are protracted peak periods with consumption reaching a maximum around 11.30 a.m. and 6 p.m. Maximums were also noted on weekday evenings around 6 p.m.; in such cases the consumption was more concentrated than on Saturdays and Sundays.

The energy requirement for hot water circulation is 30 kWh/day according to

the measurements in Tensta, or 0.85 kWh/flat and day. On some days with a high level of hot water consumption the amount of energy needed for hot water circulation was in the region of 24 kWh/day. The proportion of the total energy requirement represented by hot water circulation is then around 7–8%.

The Bollnäs block has no hot water circulation system. However, the absence of this did not prove to cause higher hot water consumption due to tenants leaving taps running to achieve the required temperature.

The daily requirement for hot running water has when compared to earlier studies increased by 40 % over the past ten years. The general opinion has been that this increase was due to the increase in the number of baths taken. The study showed however that the effect of baths on the total hot water requirement was probably not as great as was earlier believed. This is revealed in the report with the help of a calculation based on the hot water consumption in Tensta in March. The calculation shows that scarcely 30 % of the total hot water consumption for the month can be traced back to baths.

### Domestic electricity supply

The amount of electricity consumed by the households covered by the study was 3,008 kWh/flat and year for the Bollnäs block and 2,050 for the Tensta block, i.e. 20 and 9 % respectively of the total energy requirement of the blocks during the study year. The differ-

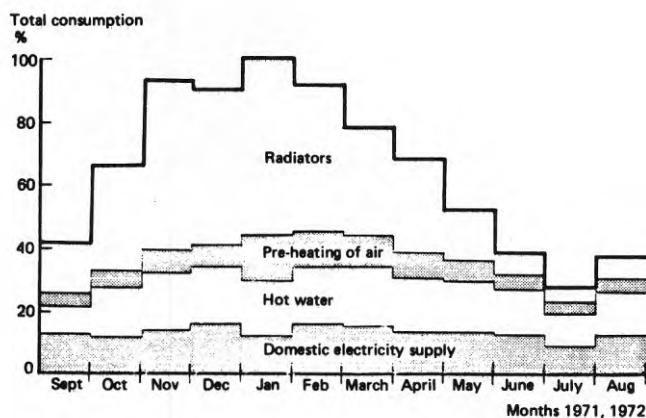


FIG. 1 Bollnäs

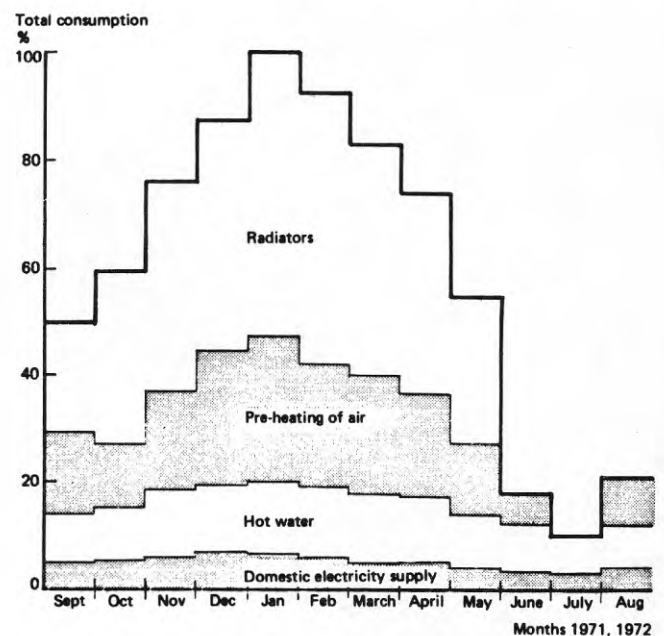


FIG. 2 Tensta

The diagrams shows the variation in the total energy requirement over the year and also the variations in the amount of energy required by the different services.

ence in the amount of electricity used by households in the different blocks — 47 % — is worthy of note. The collective charging system used in the Bollnäs block may be a contributory cause of the higher consumption of domestic electricity. Other factors which may explain the deviation between the two blocks are that 73 % of the flats in the Bollnäs block are equipped with driers, which normally consume around 700 kWh per annum, and that the households in Bollnäs include a larger proportion of persons at home during the daytime. It is worth noting in this context that a study conducted by the Swedish Association of Electricity Boards shows that households in the metropolitan regions generally use less electricity than households in country districts.

The survey examines the possibility of describing the heating effect by means of simple linear, static models. The

variables included in the models are indoor temperature, outdoor temperature, solar radiation, wind, electrical effect for households and electrical effect for the property as a whole.

The heating effect should rightfully be described using a dynamic model based on the inertia of the building. However, it has been found that the controls system can counteract this to a certain extent.

The result obtained from adjustment of the model will be that the heating effect can be described by a constant multiplied by the difference between the indoor and outdoor temperatures or by a constant times the outdoor temperature plus another constant. Adjustment of the models can be marginally improved if more of the factors influencing the outcome are included.

This report describes the energy situation in two of the country's 50,000–60,000 blocks of flats. Thus it

is obviously useless to try to reach any general conclusions on the subject. For this we would need comprehensive studies of, for instance, how representative the subjects of the measurements are. A local check was carried out in Tensta whereby the heat consumption in the area served by the heating plant and including the block studied was compared with other areas in Tensta and nearby Rinkeby. The comparison revealed that the area in which the sample block is situated deviated by only 3 % from the normal level of heat consumption in the other areas.

Measurements were continued and along with these modifications and adjustments have been made to the blocks studied in the past year 1973–1974 in order to reduce the amount of energy used. The Joint Committee plans to publish the results of a comparison before and after careful setting and running in of the heating plants.



Rapport R10:1974

ENERGIANVÄNDNING I BYGGNADER

Mätningar och studier i flerfamiljshus

av Byggnadsenergigruppen inom Samarbetsgruppen för  
byggnaders energiförsörjning

---

Denna rapport avser anslag nr D 329 från Statens råd för byggnadsforskning till Samarbetsgruppen för byggnaders energiförsörjning, Stockholm.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm  
ISBN 91-540-2311-4

## INNEHÅLL

	FÖRORD	5
1	MÄTSYSTEM . . . . .	8
1.1	Allmänt . . . . .	8
1.2	Instrument och metoder . . . . .	8
1.3	Mätnoggrannhet . . . . .	9
1.4	Erfarenhet och rekommendation . . . . .	10
2	DATABEHANDLING AV MÄTVÄRDEN . . . . .	13
2.1	Allmänt . . . . .	13
2.2	Inläggning på magnetband . . . . .	13
2.3	Korrektion av mätvärden . . . . .	13
2.4	Bearbetning och urval . . . . .	13
2.4.1	Bollnäs . . . . .	14
2.4.2	Tensta . . . . .	14
2.4.3	Allmänt om redovisning . . . . .	15
2.5	Åtkomlighet av mätvärden . . . . .	15
3	DATABEARBETNING . . . . .	18
3.1	Allmänt . . . . .	18
3.2	Undersökning och uppritning av en mätvariabel som funktion av en annan mätvariabel . . . . .	19
3.2.1	Uppritning av en effekt som en funktion av en temperatur . . . . .	19
3.2.2	Uppritning av en effekt som en funktion av en effekt . . . . .	19
3.2.3	Uppritning av en temperatur som funktion av en temperatur . . . . .	20
3.2.4	Uppritning av en temperatur som funktion av en effekt . . . . .	20
3.3	Tidskurvor . . . . .	20
3.3.1	Varmvatteneffekt som funktion av tiden . . . . .	20
3.3.2	Effekter som funktion av tiden . . . . .	20
3.3.3	Medeldygnstidskurvor för innetemperatur, utetemperatur, solstrålning och vindstyrka . . . . .	20
3.3.4	Tidskurvor för utetemperatur och kall- vattentemperatur . . . . .	21
3.4	Varaktighetskurvor . . . . .	21
3.4.1	Varaktighetskurvor för effekter . . . . .	21
3.4.2	Temperaturens varaktighet . . . . .	22
3.4.3	Mätsättets påverkan på varaktighetskurvan . . . . .	22
4	PROJEKTBESKRIVNING . . . . .	28
4.1	Bollnäs . . . . .	28
4.2	Tensta . . . . .	28
5	RESULTATREDOVISNING . . . . .	34
5.1	Allmänt . . . . .	34
5.2	Totalt energibehov . . . . .	35
5.2.1	Bollnäs . . . . .	35
5.2.2	Tensta . . . . .	35
5.3	Uppvärmning, radiatorer . . . . .	36
5.3.1	Bollnäs . . . . .	36
5.3.2	Tensta . . . . .	36
5.4	Energibehov för luftförvärmning . . . . .	37
5.4.1	Bollnäs . . . . .	37
5.4.2	Tensta . . . . .	38



5.5	Energibehov till varmvatten . . . . .	38
5.5.1	Bollnäs . . . . .	38
5.5.2	Tensta . . . . .	39
5.6	Hushållsel . . . . .	39
5.6.1	Bollnäs . . . . .	39
5.6.2	Tensta . . . . .	40
6	STATISKA MODELLER FÖR UPPVÄRMNING . . . . .	62
6.1	Inledning . . . . .	62
6.2	Modeller . . . . .	63
6.3	Modellanpassning . . . . .	65
6.4	Diskussion av modellernas användbarhet . . . . .	66
6.4.1	Modellerna 1-4, timmedelvärden . . . . .	66
6.4.2	Modell 5, timmedelvärden . . . . .	67
6.4.3	Modellerna 1-4, dygnsmedelvärden . . . . .	68
6.5	Värmebehovsberäkning Bollnäs . . . . .	68
6.6	Värmebehovsberäkning Tensta . . . . .	69
6.7	Jämförelse med graddagar . . . . .	69
7	INTERVJUUNDERSÖKNING . . . . .	78
7.1	Urval . . . . .	78
7.2	Intervjuperson . . . . .	79
7.3	Svarsprocent . . . . .	79
7.4	Inomhustemperatur . . . . .	79
7.5	Ljudnivå . . . . .	79
7.6	Luftfuktighet . . . . .	79
7.7	Varmvatten . . . . .	80
8	INNEKLIMATMÄTNINGAR . . . . .	82
8.1	Komfortkriterier . . . . .	82
8.1.1	Lufthastighet . . . . .	82
8.1.2	Strålningsutbyte . . . . .	82
8.1.3	Luftfördelning . . . . .	82
8.1.4	Luftflöden . . . . .	83
8.2	Mätmetoder . . . . .	84
8.3	Mätobjekt . . . . .	85
8.4	Mätresultat . . . . .	85
8.4.1	Luftflöden och fuktighet . . . . .	85
8.4.2	Lufthastigheter . . . . .	86
8.4.3	Vertikala temperaturgradienter samt strålnings- ningstemperaturer . . . . .	87
9	DISKUSSION . . . . .	93
9.1	Uppvärmning och ventilation . . . . .	93
9.2	Varmvatten . . . . .	95
9.3	Hushållsel . . . . .	98
9.4	Totalbehov . . . . .	99
	LITTERATUR . . . . .	110

## FÖRORD

I början av 1960-talet kunde i Sverige en förändring inom området för byggnaders energiförsörjning skönjas. Elenergin vann ökat insteg, värmekraftverk blev allt vanligare, kärnkraftverk övervägdes och naturgas hägrade som en kompletterande energikälla. Samtidigt förmärktes en tendens till ökande energianvändning. Således har inomhustemperaturen successivt höjts, varmvattenåtgången stegrats och kraven på ventilationskomfort ökats. Man ställde sig frågan hur en ohämmad ökning på sikt skulle komma att påverka ekonomi och råvarutillgångar. Med utvecklingen följde naturliga krav på avancerad teknologi inom anläggnings- och driftområdet. Nya systemlösningar utarbetades, apparaturrustningen moderniserades, kompletterades och växte i omfång.

De nya idéerna omsattes snabbt i praktisk tillämpning; ibland innan de i alla avseenden var fullt mogna och allsidigt prövade i försöksverksamhet.

Energiköparen - fastighetsägaren ställdes stundom inför svåra valproblem. Han kunde ju inte vara benägen att hårt engagera sig i ekonomiskt kanske vådlig försöksverksamhet. Även den sakkunnige konsulten kunde tveka att rekommendera oprovade nyheter.

I denna situation väckte några tekniker, vilka tillsammans hade en allsidig överblick över byggnaders energiförsörjning, tanken på en ideellt saklig diskussion i organiserad form kring de föreliggande problemen. Man tog kontakt med VVS-Tekniska föreningen och den 17 april 1966 kom en rundabordskonferens till stånd. Vid detta tillfälle bildades Samarbetsgruppen för byggnaders energiförsörjning med uppgift att följa utvecklingen på området och att ta sådana utvecklingsfrämjande initiativ, som gruppen kunde finna motiverade.

Gruppen består för närvarande av följande ledamöter

energiplanerare

Civilingenjör Rolf Gradin, Industridepartementet

energiproducenter

Direktör Lars Dirke, Tekniska verken, Eskilstuna  
Civilingenjör Sven Groop, Statens Vattenfallsverk  
Överingenjör C-G Lilje, Stockholms Gas- och Vattenverk  
Civilingenjör Åke Olsson, Svenska Värmeverksföreningen  
Direktör Lars Pehrzon, Svenska Petroleum Institutet

energiprojektörer

Civilingenjör C-G Colleen, egen vvs-konsultbyrå  
Civilingenjör Sture Håål, Ingenjörfirman  
Bergman & Co AB (v ordförande)  
Civilingenjör Berndt Isaksson, Ingenjörfirman  
Orrje & Co AB (ordförande)  
Överingenjör Olle Lindgren, Hugo Theorells Ingenjörbyrå AB

energikonsument

Direktör Lennart Sävestrand, Göteborgs Stads Bostads AB

forskare

Professor Bo Adamson, Lunds Tekniska Högskola  
Civilingenjör Arne Boysen, Statens råd för byggnadsforskning

sekreterare

Ingenjör Johannes Hämler, Svenska Värmeverksföreningen.

Gruppens målsättning är att verka för att byggnaders energiförsörjning sker med hänsyn tagen till god boende- och vistelsekomfort och till god ekonomi.

Denna målsättning skall gruppen uppfylla genom att

följa den teknologiska, sociologiska och fysiologiska utvecklingen inom området

initiera forskning och utredningsverksamhet på byggnadsenergiområdet

i egen regi bedriva undersökningar, när så kan vara påkallat verka för att kännedom om framkomna resultat och vunna erfarenheter sprids

vara beredd att avge remissvar inom byggnadsenergiområdet.

Gruppen erhöll medel från Statens råd för byggnadsforskning (BFR) för en förberedande undersökning, som syftade till att klarlägga vilka utredningar som tidigare utförts eller påbörjats rörande byggnaders energiförsörjning. Resultatet blev en sammanställning och jämförelse av tidigare utredningsresultat. Slutsatserna från denna forskningsuppgift, som redovisades till byggforskningsrådet, fick bestämma det fortsatta programmet.

Under större delen av åren 1968 och 1969 fortsatte arbetet med studier rörande energistatistik, kapital- och underhållskostnader för anläggningar samt mall för jämförande kostnadsberäkningar.

Till en början tog man upp frågan om ett enhetligt beräkningsförfarande. Det visade sig nämligen att det inte förelåg någon allmänt accepterad beräkningsmetod lämplig för ekonomisk jämförelse av olika projekt. Inom Samarbetsgruppen utarbetades då en särskild beräkningsmall bl a grundad på vissa, fixerade data. Denna betecknades som "Datamallen". Den har redovisats i Byggnadsforskningens rapport R9:1970.

Redan i utredningsarbetets första skede stod det vidare klart att tillräckligt statistikmaterial ej fanns tillgängligt för noggrann bedömning av energibehovet i bostadshus. Det rådde stor brist på väl underbyggda mätvärden. Olika faktorerers inverkan på energibehovet liksom även detaljerade uppgifter beträffande fördelningen på värme, varmvatten, hushållsel och ventilation, var oklar.

För att ge en bättre bild av energianvändningen befanns nödvändigt att verkställa mätningar i befintliga bostadshus. Därigenom kunde man få kännedom om faktiska energi- och effektbehov



av olika slag och för olika ändamål samt få underlag för bedömning av framtida behov och kostnad för byggnaders energiförsörjning.

För att planlägga och leda energimätningarna tillsatte Samarbetsgruppen en utredningskommitté, benämnd Byggnadsenergigruppen (BEG). I gruppen ingick civilingenjör Arne Boysen (ordf), civilingenjör Rolf Gradin och direktör Torbjörn Waldenby samt som experter professor Bo Adamson, tekn dr Folke Peterson. Vid tidpunkten för rapportens utarbetande består BEG av professor Bo Adamson (ordf), civilingenjör Arne Boysen, civilingenjör Åke Olsson och tekn dr Folke Peterson och med ingenjör Johannes Hämler som sekreterare och utredningsman. Vidare har medverkat civilingenjör Bengt Ekström, LTH, vid databehandling av materialet, civilingenjör Lars Jensen, LTH, vid databearbetning och studier av statistiska modeller samt civilingenjör Björn Källberg, KTH, vid utformandet och driften av mätsystemet.

Efter utarbetning av mätmetoder och anskaffning, installation och injustering av mätutrustning igångsatte BEG den 1 september 1971 kontinuerliga energi- och klimatmätningar vid två relativt nybyggda bostadshus, ett med fjärrvärmeuppvärmning i Tensta i Stockholm och ett med eluppvärmning i Bollnäs.

Målsättningen med mätverksamheten kan översiktligt uttryckas med följande:

- att utveckla praktiska mätmetoder
- att samla in ett detaljerat mätmaterial som sedan kan läggas till grund för dimensionering av anläggningar och apparater
- att med hjälp av mätmaterial, skapa bättre underlag till jämförelser mellan olika lösningar, olika energislag etc och bland annat komplettera den s k "datamallen", Byggeforsknings rapport R9:1970.

Mätningarna - som nu pågått i två år - innefattar att energi uppmäts dels totalt och dels separat för belastningskategorierna värme, varmvatten, ventilation, fastighets- och hushållsel. Vidare uppmäts ute- och innetemperaturen, sol- och himmelstrålning samt vindhastighet. Resultaten behandlas i dator.

Det är samarbetsgruppens förhoppning att dessa energi- och effektmätningar kan utgöra underlag för noggrann dimensionering av varmvatten- och uppvärmningssystem. Detta underlag bör även kunna utnyttjas vid drift av redan befintliga anläggningar.

I dagens läge, med ökande oljepriser, med svårigheter att uppnå de begränsningar i svavelutsläpp som krävs av Naturvårdsverket, och med säkerhetsaspekterna inom kärnkrafttekniken under diskussion, har betydelsen av den genomförda undersökningen stärkts. Åtgärder efterlyses från bl a Energiprognosutredningen för att minska effekt- och energibehoven, och när det gäller hur dessa åtgärder skall väljas och bedömas bör undersökningar av detta slag vara betydelsefulla.

SAMARBETSGRUPPEN FÖR BYGGNADERS  
ENERGIFÖRSÖRJNING

Stockholm i januari 1974

## 1 MÄTSYSTEM

### 1.1 Allmänt

Mätsystemets uppgift är att mäta ett stort antal storheter som behövs vid uppställande av modeller och vid dimensionering av anläggningar för uppvärmning av hus. För detta erfordras att mätningarna sker med mycket små tidsintervall samt att resultaten registreras i en form som är lämplig för vidare bearbetning. Stora krav ställs även på mätnoggrannheten och tillförlitligheten. För att tillgodose dessa önskemål valdes ett helautomatiskt mätsystem, som var 15:e minut registrerar mätvärdena på en pappershållremsa. Det bör påpekas, att systemet alltså är avsett för ett mycket speciellt ändamål och att det följaktligen inte är avsett för mer rutinbetonade mätningar.

### 1.2 Instrument och metoder

Mätningarna omfattar storheterna temperatur, solenergi, vindhastighet, elenergi och vattenvärmeenergi.

Temperaturerna mäts med en motståndstermometer, vilken har en elektrisk resistans som ökar med temperaturen. Resistansen mäts med en brygga, som ger en utspänning som är ungefär proportionell mot temperaturen.

Den genom solstrålning (exaktare: himmelstrålning inom våglängdområdet 0,3-2  $\mu\text{m}$ ) erhållna energin mäts genom att strålningen får värma flera termoelement som ger en utspänning proportionell mot den infallande strålningens effekt. Genom att integrera denna spänning erhålls ett mått på den infallande energin.

Vindhastigheten mäts med en skålkorsanemometer, d.v.s. ett kors med skålformade vingar som roterar med vinden. När korset roterar så många varv som svarar mot 500 m vind, erhålls en slutning av ett kontaktverk. Summering av antalet pulser ger vindvägen, och genom att dividera detta mätetal med tiden, erhåller man den genomsnittliga vindhastigheten.

Elenergin mäts med vanliga kilowattimmemätare, vilka försetts med tungementreläer för att ge en slutning av ett kontaktverk för varje kWh.

Vattenenergin är proportionell mot produkten av temperaturskillnaden och flödet, där temperaturskillnaden i vattnets temperatur före och efter mätobjektet. Temperaturerna mäts med resistanstermometer. Flödet mäts med vinghjulsmätare, som försetts med en tillsats för att ge elektriska pulser. Multiplikationen sker i s.k. värmemängdsmätare, vilka ger en slutning av ett kontaktverk då en viss värmemängd passerat. (FIG. 1:1).

Som framgått av ovanstående erhålls från temperaturmätarna en spänning, vars storlek beror på temperaturen. Denna typ av signal, där mätvärdet beror av signalens storlek, benämns analog. Från de övriga instrumenten i systemet erhålls ett antal slutningar av kontaktverk, där antalet slutningar utgör mätvärdet. Denna signaltyp benämns digital.

Alla signaler registreras av ett automatiskt mätvärdesinsamlings-system, märke MODULOG och stansas av detta ut på en 8-kanals pappershållremsa.

MODULOGEN:en är ursprungligen avsedd för mätning av analoga signaler, men genom en tillsats kan även 14 stycken digitala kanaler mätas. Varje digital kanal innehåller ett elektroniskt räkneverk, som summerar de inkommande digitala pulserna.

Varje kvart sker en utstansning på hållremsan. På de digitala kanalerna registreras summan av alla inkommande pulser under den föregående kvarten, medan de analoga kanalerna registrerar det ögonblickliga mätvärdet (temperaturen) vid utstansningstillfället.

För att ej vara beroende av nätspänningen är hela mätsystemet anslutet till ett nödströmsaggregat, som ser till att inget avbrott i spänningstillförsel erhålls vid nätspänningsbortfall. De till nödströmsaggregatet anslutna blyackumulatorerna räcker till ca 12 timmars drift utan nätspänning.

### 1.3 Mätnoggrannhet

De här redovisade värdena på mätnoggrannheten avser i samtliga fall maximalfel. Detta innebär, att felgränserna är valda med så stor marginal, att sannolikheten att det sanna värdet ej ligger innanför felgränserna är mycket liten. I de flesta fall är mätfelet mycket mindre än de angivna maximalfelgränserna.

Temperaturmätningen sker med ett fel som är mindre än  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Mätningen av solenergi sker med ett relativt fel som är mindre än + 2 %.

Vindmätarnas felvisning är mindre än + 3 %, men mellan de olika delarna i mätområdet förekommer troligen stora variationer i vindhastigheten.

Elmätarnas felvisning beror av temperatur, nätfrekvens, belastning m.m. men är mindre än + 2 %.

Värmemängdmätarnas fel varierar mycket, huvudsakligen beroende på varierande temperaturskillnad och flöde. Eftersom en temperaturskillnad beräknas och felet i de båda temperaturerna är beroende av varandra, blir det relativa felet mycket stort om temperaturskillnaden är liten. Vid litet flöde ger även flödesmätarna ett stort relativt fel. Till detta skall läggas det fel som erhålls p.g.a. att multiplikationen ej sker exakt. I TAB. 1:1 ges en sammanställning av mätnoggrannheten, som gäller vid de vanligen förekommande temperaturerna och flödena. Som exempel på fel kan nämnas att relativa felet vid mätning av total värmeförbrukning är max. ungefär 5 %, medan mätningen av varmvattencirkulationen (vvc)-energin sker med ett maxfel på ca 20 %. Det förhållandevis stora felet vid mätningen av vvs-energin beror på att den totala energimängden är liten, varför även ett litet absolut fel ger ett stort relativt fel.

Mätningen av varmvattenförbrukningen i mätområdet i Tensta kan ej ske direkt, utan i stället mäts den energi som matas ut i varmvattenledningarna, och från den dras den energi som åter-

förs via varmvattencirkulationen, vvc. (FIG. 1:2). Både mätningen av utmatat varmvatten och vvc sker med god noggrannhet, men eftersom vvc:en utgör en stor del av den utmatade varmvattenenergin, erhålls en noggrannhetsförlust vid den subtraktion som ger varmvattenförbrukningen. En beräkning med användande av typiska värden ger det relativa felet i varmvattenförbrukningen + 18 %. Det bör betonas, att detta är ett maximalfel, och att felet sannolikt är mindre.

#### 1.4 Erfarenheter och rekommendationer

De flesta vattentemperaturmätarna är av typen anliggningsgivare, d.v.s. de mäter temperaturen på utsidan av röret. För att detta ej skall orsaka stora fel fordras att isoleringen kring givaren är mycket god och att vattnets temperaturändringar ej sker snabbt.

En i januari 1973 gjord undersökning visar, att inga mätbara fel ( $< 0,2^{\circ}\text{C}$ ) orsakas av att anläggningsgivare i stället för insticksgivare används i Tensta. De snabbaste temperaturändringar som uppmätts hade en stigtid på 30 sekunder. Emellertid måste isoleringen kring givaren vara synnerligen väl utförd. En bristfällig isolering åstadkom fel på mer än  $2^{\circ}\text{C}$ .

Räkneverken i de digitala kanalerna rymmer 999 pulser. I de flesta kanaler erhålls aldrig mer än ca 20 pulser och i många fall endast 2-3 stycken på mätperioden 15 minuter, d.v.s. räkneverken utnyttjas inte helt. P.g.a. de få pulserna blir kvartsvärdena inte helt representativa. Totala antalet pulser blir emellertid riktigt. För att erhålla representativa mätvärden bör dessa givare (värmemängdsmätare och elmätare) ändras, så att fler pulser, och därmed bättre upplösning erhålls.

En ökning av registreringsperioden skulle medföra att fler digitala pulser erhöles, men troligen erhöles då temperaturvärdet från de analoga kanalerna alltför sällan.

För att göra det möjligt att snabbt och billigt kontrollera temperaturgivarna bör termometrar monteras invid dessa. En övergång till dykgivare skulle minska den osäkerhet som alltid finns med anliggningsgivare, och därmed minska behovet av kontroll och underlätta denna.

Genom att innan monteringen utvälja och para ihop temperaturgivare till värmemängdsmätarna på så sätt att rätt temperaturskillnad visas, kan felen vid mätning av vattenvärmeenergin avsevärt minskas.

Det nuvarande insamlingsystemet, MODULOG:en är huvudsakligen avsett för analog information och har ett stort antal (35 stycken) analoga kanaler och 14 stycken digitala kanaler. F.n. används 14 digitala kanaler och 3 analoga.

Mätutrustningen har fungerat väl, och mycket få avbrott i insamlingen av mätvärden har inträffat.



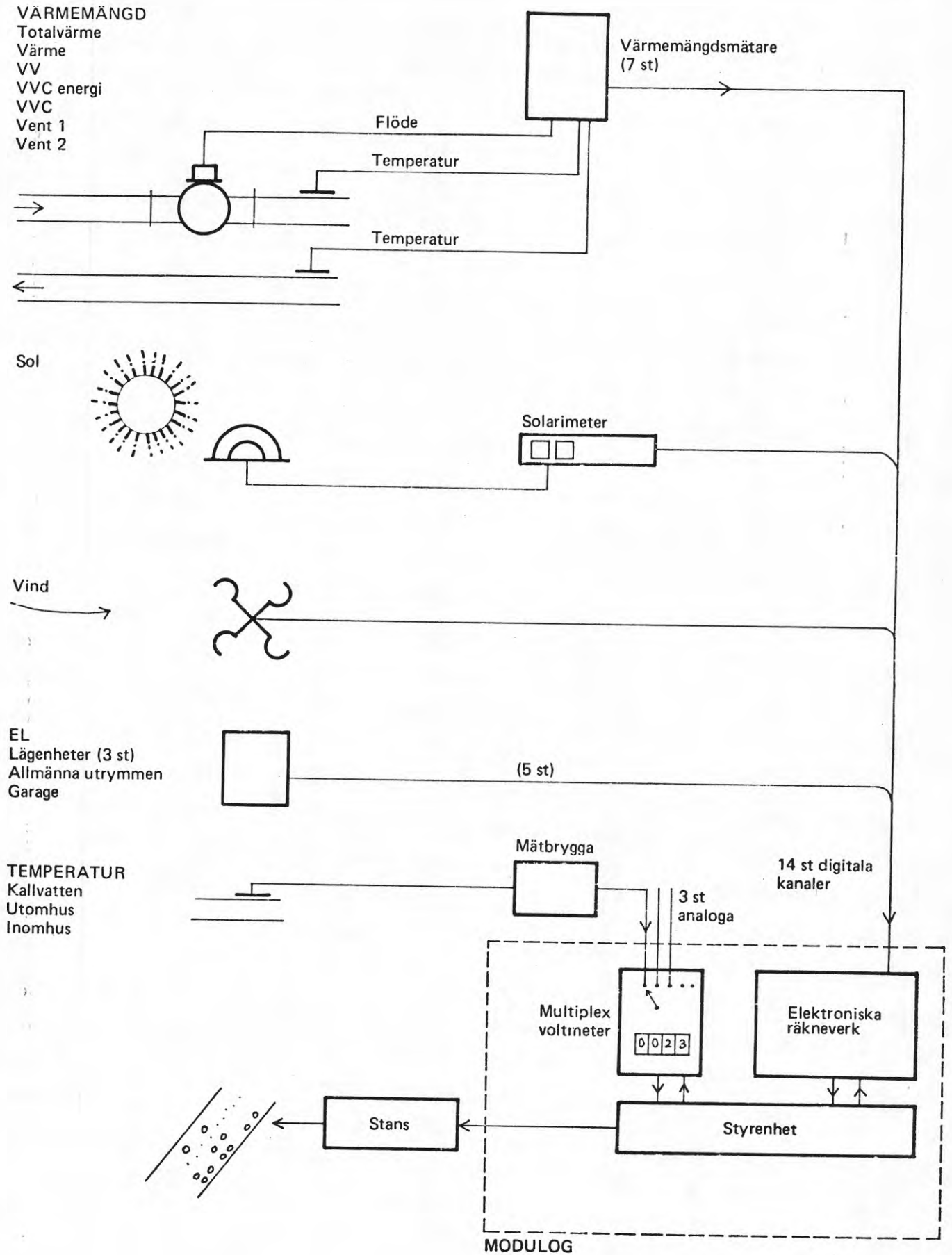


FIG. 1:1 Tensta. Flödesschema för den mättekniska utrustningen.



TAB. 1:1 Mät noggrannhet. Värdena är maximalfel och grundade på tillverkarnas uppgifter. Vid beräkning av felen för vattenvärmeenergin har normala värden på flöde och temperaturskillnad använts.

Bollnäs och Tensta

Temperatur	± 0,5 %
Solenergi	± 2 %
Vindhastighet	± 3 %
Elenergi	± 2 %

Vattenvärmeenergi i Tensta

Tot värme	± 5 %
Värme	± 10 %
Ventilation	± 10 %
Varmvatten	± 4 %
VVC	± 4 %
VVC-energi	± 22 %

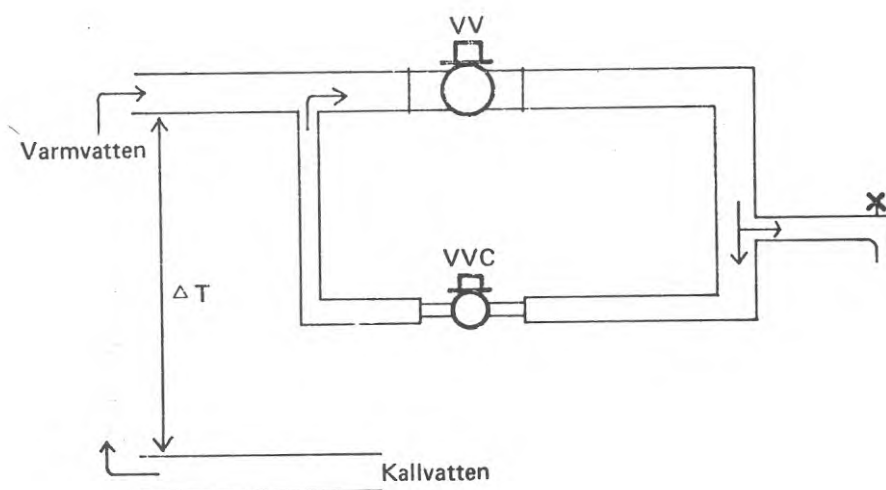


FIG. 1:2 Tensta. Principskiss över varmvatten (vv)- och varmvattencirkulation (vvc)-installationen.

## 2 DATABEHANDLING AV MÄTVÄRDEN

### 2.1 Allmänt

Det stora antal registreringar per dag (ca 2000) som inhämtas från respektive mätobjekt har gjort det nödvändigt att registrera resultaten på hållremsa. Registreringsförfarandet innebär att mätresultaten inte är direkt åtkomliga för utvärdering. För att möjliggöra detta måste en datamaskin användas.

Syftet med databehandlingen av hållremsor är alltså att göra den registrerade datamängden tillgänglig och användbar för olika bedömningar. Behandlingen har därför två målsättningar.

1. Mätresultaten skall presenteras på utskrift på ett sådant sätt att man kan få en översikt av vad som har uppmätts och hur dessa värden varierar.
2. Att göra datamängden tillgänglig för fortsatt bearbetning ur olika infallsvinklar. Detta sker lämpligen enligt någon standardiserad mall.

### 2.2 Inläggning på magnetband

Behandlingen av den insamlade datamängden, från stansade värden på hållremsa till färdigt registermagnetband, sker i flera steg. Dessa steg beskrivs enklast genom ett flödesdiagram, vilket får åskådliggöra dataflödet genom de olika stegen. (FIG. 2:1).

### 2.3 Korrektioner av mätvärden

Slutprodukten från datorsystemet är två olika registermagnetband, ett från Tensta och ett från Bollnäs, vilka innehåller en fullständig uppsättning värden från mätorten.

Det ovan nämnda innebär, att när mätutrustningen har varit ur funktion så att den inte registrerat några värden eller genom att registrera felaktiga värden, så måste rättelsevärden läggas in. Dessa värden har manuellt utvalts av BEG med hänsyn till intilliggande värden. Vid några tillfällen har mätutrustningen stått stilla i hela dygn. Vid dessa tillfällen har hela dygnets värden kopierats från annat likvärdigt dygn, så att vid läsning av registerbanden ej saknas några värden.

På registerbandet finns för varje dygn en markering, som talar om huruvida korrigeringar har behövt göras på dygnets data eller ej. Vidare har BEG en "loggbok", som för varje dygn talar om, vilka korrigeringar som har införts.

### 2.4 Bearbetning och urval

Bearbetade mätvärden lagras i tabell för varje mätdygn. (TAB. 2:1). Tabellen har 96 rader och 16 (Bollnäs) resp 17 (Tensta) kolumner. Varje rad motsvarar en mättpunkt. Varje kolumn motsvarar en mätpunkt enligt nedan.

## 2.4.1 Bollnäs

## Kolumn

- 1) Temperatur ute
- 2) Temperatur inne
- 3) Totalt energibehov
- 4) Energi, lägenhetsvärme (elradiatorer)
- 5) Energi, varmvatten
- 6) Energi, luftförvärmning (inkl fläktenergi)
- 7) Energi, hushållsel (hushållsel mäts för 16 lägenheter vars värde multipliceras med 1,75 för att erhålla konsumtion för 28 lägenheter)
- 8) Energi, elvärme i allmänna utrymmen
- 9) Energi, garage och bilvärmare
- 10) Energi, elbelysning i allmänna utrymmen och gångvägar
- 11) Kolumn 4 + kolumn 6
- 12) Kolumn 4 + kolumn 6 + kolumn 8
- 13) Kolumn 3 - kolumn 9
- 14) Kolumn 7 + kolumn 10
- 15) Sol- och himmelstrålning
- 16) Vindhastighet (medel)

Ovanstående punkter finns även - i tillämpliga fall, redovisade per lägenhet och per m<sup>2</sup> lägenhetsyta.

## 2.4.2 Tensta

## Kolumn

- 1) Temperatur ute
- 2) Temperatur inne
- 3) Totalt energibehov
- 4) Energi, lägenhetsvärme (vattenradiatorer)
- 5) Energi, varmvatten inkl varmvattencirkulation (VVC)
- 6) Energi, varmvattencirkulation (VVC)
- 7) Energi, luftförvärmning (exkl fläktenergi)
- 8) Energi, hushållsel (12+12+11=35 lägenheter)
- 9) Energi, el, garage
- 10) Energi, el, allmänna utrymmen
- 11) Energi, varmvatten exkl varmvattencirkulation (VVC)
- 12) Energi, värme (radiatorer + luftförvärmning)
- 13) Kolumn 8 + kolumn 10 + kolumn 12
- 14) Kolumn 8 + kolumn 10

- 15) Kolumn 3/(kolumn 11 + kolumn 12)
- 16) Sol- och himmelstrålning
- 17) Vindhastighet (medel)

Ovanstående punkter finns även - i tillämpliga fall, redovisade per lägenhet och per m<sup>2</sup> lägenhetsyta. Dessutom kan uppgifter om hela abonnentområdet (113 lägenheter) fjärrvärme-energi erhållas.

#### 2.4.3 Allmänt om redovisningen

De bearbetade värdena presenteras dels i kvartsredovisningen, vilka visar värden för varje kvart under dygnet, dels i veckoredovisningar, vilka visar summor för varje dygn och för hela veckan av de olika beräknade värdena i kvartsredovisningen. Dessutom finns högsta kvartsmedeleffekt under veckan för de olika punkterna framtagna och redovisade.

De ovan nämnda redovisningarna kan rekvireras från Institutet för byggnadskonstruktionslära, LTH, i form av datalistor till ett pris av för kvartsredovisning ca 300 kr och för veckoredovisning ca 25 kr. Redovisningarna omfattar ett år och priserna baseras på uppgifter lämnade av Lunds Datacentral hösten 1973.

#### 2.5 Åtkomlighet av mätvärden

Som framgår av 2.2 är vid uppläggningsarbetet slutpunkten för uppmätta data ett registermagnetband. Detta registerband innehåller för varje ingående dygn följande uppgifter

1. datum.
2. kod som anger om de uppmätta värdena har helt godkänts eller om några värden har behövt korrigeras.
3. uppmätta (och ev korrigerade) mätvärden.
4. en fullständig uppsättning av de data som ingår i dygnsredovisningen och som visar värden från varje kvart under dygnet.

När denna rapport utarbetas finns data från såväl Tensta som Bollnäs upplagda på magnetband för perioden september 1971 till och med augusti 1972. Magnetbanden är genererade på datorn UNIVAC 1108 under styrsystem Exec 8.



TAB. 2:1 Bollnäs. Exempel på dygnsredovisning av mätvärden.

DYGNSREDOVISNING FÖR ENERGIFÖRBRUKNING I FLERFAMILJSHUS I BOLLNÄS

DATUM	TEMPERATUR	TOTAL	LGH VARME	LGH VARMV	LGH LFORV	LGH HUSH	HUS VARME	HUS GARAGE	HUS ÖVRIGT	2+4	2+4+6	2+4+5+6+8	5+8	SOL	VIND
TID	UTE INNE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4. 3	GR C GR C	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH	KWH	MWh	M/S
7.15	-1.6 22.9	16	6	0	2	2	1	5	0	8	9	11	2		3
7.30	-1.5 22.9	17	8	0	2	2	1	4	0	10	11	13	2		3
7.45	-1.4 22.9	15	6	0	2	2	1	4	0	8	9	11	2		3
8.0	-1.1 22.9	16	5	0	3	2	1	5	0	8	9	11	2	1.7	3
8.15	-0.9 23.0	15	7	0	3	2	8	4	0	10	10	12	2	2.3	4
8.30	-0.8 23.0	17	11	0	1	0	1	4	0	12	13	13	0	4.1	4
8.45	-0.7 23.1	15	1	0	2	0	1	3	0	3	4	13	9	4.7	3
9.0	-0.6 23.1	16	9	0	2	0	1	4	0	11	12	12	0	5.8	4
9.15	-0.5 23.2	17	2	2	2	7	1	3	0	4	5	12	7	4.7	3
9.30	-0.4 23.2	19	7	3	3	2	1	3	0	10	11	13	2	6.4	4
9.45	-0.4 23.2	20	13	3	1	0	0	3	0	14	14	14	0	4.7	4
10.0	-0.3 23.2	17	7	3	3	2	1	3	0	10	11	13	2	5.2	5
10.15	-0.4 23.1	17	10	3	2	0	1	3	0	12	13	13	0	3.5	4
10.30	-0.2 23.1	18	11	3	1	0	1	2	0	12	13	13	0	5.8	4
10.45	-0.2 23.1	17	6	3	3	2	1	2	0	9	10	12	2	5.8	4
11.0	-0.2 23.1	17	6	2	1	5	0	3	0	7	7	12	5	5.8	4
11.15	-0.2 23.1	16	7	0	3	4	1	2	0	10	11	14	4	6.4	3
11.30	-0.2 23.1	15	7	0	2	2	1	3	0	9	10	12	2	5.2	4
11.45	-0.2 23.2	14	7	0	1	4	1	2	0	8	9	12	4	7.6	4
12.0	-0.3 23.2	15	6	0	2	5	1	1	0	8	9	14	5	7.6	4
12.15	-0.3 23.2	15	6	0	3	4	1	2	0	9	10	13	4	7.0	4
12.30	-0.3 23.2	14	7	0	1	5	0	1	0	8	8	13	5	6.4	4
12.45	-0.3 23.2	15	8	0	1	4	1	2	0	9	10	13	4	5.2	4
13.0	-0.3 23.2	17	3	2	3	7	1	1	0	6	7	18	7	7.6	4
13.15	-0.3 23.3	18	4	3	1	7	1	2	0	5	6	13	7	8.7	4
13.30	-0.3 23.3	18	8	3	2	4	1	1	0	10	11	16	4	7.0	4
13.45	-0.3 23.3	17	9	3	1	2	1	1	0	10	11	13	2	6.4	4
14.0	-0.3 23.3	17	3	4	3	5	0	2	0	6	6	11	5	5.8	4
14.15	-0.4 23.3	19	9	3	1	4	1	2	0	10	11	16	4	5.2	4
14.30	-0.3 23.3	17	7	3	1	4	1	2	0	8	9	12	4	5.2	4
14.45	-0.4 23.4	17	8	3	2	4	1	2	0	10	11	15	4	4.7	4
15.0	-0.4 23.4	17	6	2	2	5	1	1	0	8	9	14	3	3.5	4
15.15	-0.4 23.4	14	9	0	1	2	0	2	0	10	10	12	2	2.9	4
15.30	-0.4 23.5	14	4	0	2	5	1	2	0	6	7	12	5	3.5	4
15.45	-0.5 23.5	16	7	0	1	4	1	2	0	8	9	14	5	1.7	4
16.0	-0.5 23.5	17	9	0	2	4	1	2	0	11	12	13	4	1.2	4
16.15	-0.5 23.5	16	10	0	1	5	1	2	0	11	12	13	2		4
16.30	-0.6 23.5	16	6	0	2	7	0	3	0	8	8	13	5		4
16.45	-0.7 23.5	15	4	0	1	2	1	2	0	5	6	13	7		3
17.0	-0.8 23.5	18	8	2	1	2	1	3	0	10	11	13	2		4
17.15	-0.9 23.4	21	7	3	2	4	1	3	1	9	10	13	5		4
17.30	-1.0 23.4	21	8	4	1	5	1	2	0	7	7	13	7		4
17.45	-1.1 23.4	23	5	4	2	7	0	3	0	7	7	14	7		4
18.0	-1.2 23.5	19	7	3	2	4	1	3	0	9	10	13	4		4
18.15	-1.2 23.4	21	12	3	1	2	1	2	0	13	14	16	2		3
18.30	-1.3 23.4	21	2	1	2	1	1	3	0	4	5	13	11		3
18.45	-1.3 23.4	21	4	3	2	1	1	2	1	6	7	15	8		4
19.0	-1.4 23.4	22	8	3	1	5	0	3	0	9	9	14	5		2
19.15	-1.5 23.4	23	10	3	2	2	1	2	0	12	13	13	2		3
19.30	-1.5 23.4	21	9	1	2	2	1	3	0	11	12	14	2		4
19.45	-1.6 23.4	21	3	4	1	9	1	3	0	4	5	14	9		3
20.0	-1.6 23.4	21	11	3	1	2	1	2	1	12	13	16	3		3
20.15	-1.6 23.5	23	0	3	3	11	1	3	0	3	4	14	11		3
20.30	-1.7 23.5	21	10	3	1	0	4	0	0	11	11	13	2		3
20.45	-1.7 23.5	22	9	3	2	2	1	3	0	11	12	14	2		4
21.0	-1.7 23.5	22	6	2	4	1	4	0	0	8	9	12	4		3
21.15	-1.7 23.5	20	9	6	1	4	1	3	1	10	11	13	5		4
21.30	-1.7 23.5	20	7	10	3	2	1	3	0	10	11	13	2		3
21.45	-1.8 23.4	26	13	9	1	0	0	3	0	14	14	16	0		4
22.0	-1.7 23.4	25	5	9	2	5	1	3	0	7	8	13	5		3
22.15	-1.8 23.4	25	4	9	2	5	1	4	0	6	7	12	5		3
22.30	-1.9 23.4	25	8	9	1	2	1	3	1	9	10	13	3		2
22.45	-2.0 23.4	25	4	9	3	5	0	4	0	7	7	12	5		3
23.0	-1.9 23.4	26	12	9	1	0	1	3	0	13	14	16	0		3
23.15	-1.9 23.4	26	4	9	3	5	1	4	0	7	8	13	5		4
23.30	-2.0 23.4	25	11	9	1	0	1	3	0	12	13	13	0		3
23.45	-1.9 23.4	25	9	9	2	0	1	4	0	11	12	13	0		3
0.0	-1.8 23.4	24	7	9	2	0	1	4	1	9	10	11	1		3
0.15	-1.8 23.3	25	9	10	2	0	0	4	0	11	11	11	0		2
0.30	-1.8 23.3	25	6	9	3	2	1	4	0	9	10	12	2		3
0.45	-1.8 23.3	25	8	9	1	2	1	4	0	9	10	12	2		3
1.0	-1.7 23.3	25	7	9	2	2	1	4	0	9	10	12	2		3
1.15	-1.8 23.3	25	5	9	3	2	1	4	1	8	9	12	3		3
1.30	-1.9 23.3	25	10	10	1	0	0	4	0	11	11	11	0		3
1.45	-1.9 23.2	24	7	9	3	0	1	4	0	10	11	11	0		3
2.0	-1.8 23.2	25	10	9	1	0	1	4	0	11	12	12	0		4
2.15	-1.8 23.2	26	8	10	2	0	1	5	0	10	11	11	0		3
2.30	-1.9 23.2	25	5	9	3	2	1	4	1	8	9	12	3		3
2.45	-1.9 23.2	25	8	9	3	2	1	4	0	9	10	12	2		3
3.0	-2.0 23.2	25	8	9	3	0	0	3	0	11	11	11	0		3
3.15	-1.9 23.2	25	9	10	1	0	1	4	0	10	11	11	0		3
3.30	-1.9 23.2	25	7	9	2	2	1	4	0	9	10	12	2		3
3.45	-1.9 23.2	25	6	9	3	0	1	5	1	9	10	11	1		3
4.0	-1.9 23.2	25	9	9	1	2	0	4	0	10	10	12	2		3
4.15	-1.9 23.2	25	6	10	3	0	1	5	0	9	10	10	0		3
4.30	-1.9 23.2	25	6	9	2	4	1	4	0	8	9	12	4		3
4.45	-1.8 23.2	25	8	9	1	2	1	4	0	9	10	12	2		3
5.0	-1.9 23.2	24	6	9	3	0	1	4	1	9	10	11	1		3
5.15	-1.8 23.2	20	10	4	1	0	0	5	0	11	11	11	0		3
5.30	-1.8 23.1	16	6	0	3	2	1	4	0	9	10	12	2		3
5.45	-1.8 23.1	15	5	0	2	2	1	5	0	7	8	10	2		3
6.0	-1.7 23.1	16	10	0	1	0	1	4	0	11	12	12	0		3
6.15	-1.7 23.2	15	7	0	3	0	1	4	0	10	11	11	0		3
6.30	-1.6 23.2	15	9	0	1	0	1	4	0	10	11	11	0		3
6.45	-1.5 23.1	16	7	0	3	2	0	4	0	10	10	12	2		3
7.0	-1.4 23.1	16	5	0	2	4	1	5	0	7	8	11	4		3
07-21 KWH		990	384	103	101	208	46	145	3	485	531	744	211		
21-07 KWH		932	301	297	79	56	32	160	7	380	412	475	63		
07-07 KWH		1922	685	400	180	264	78	305	10	865	943	1217	274	169	
07-07 KWH/LGH		69	24	14	6	9				31	34	43			
07-07 MWh/(M*H) LY		1134	394	230	98	147				509	559	702			
07-21 MAXVARDE KW		88	52	24	12	42	4	20	4	56	57	64	42	33	5
TIDPUNKT		21.0	9.45	21.0	8.0	18.30	7.15	7.15	17.15	0.45	18.15	18.15</			

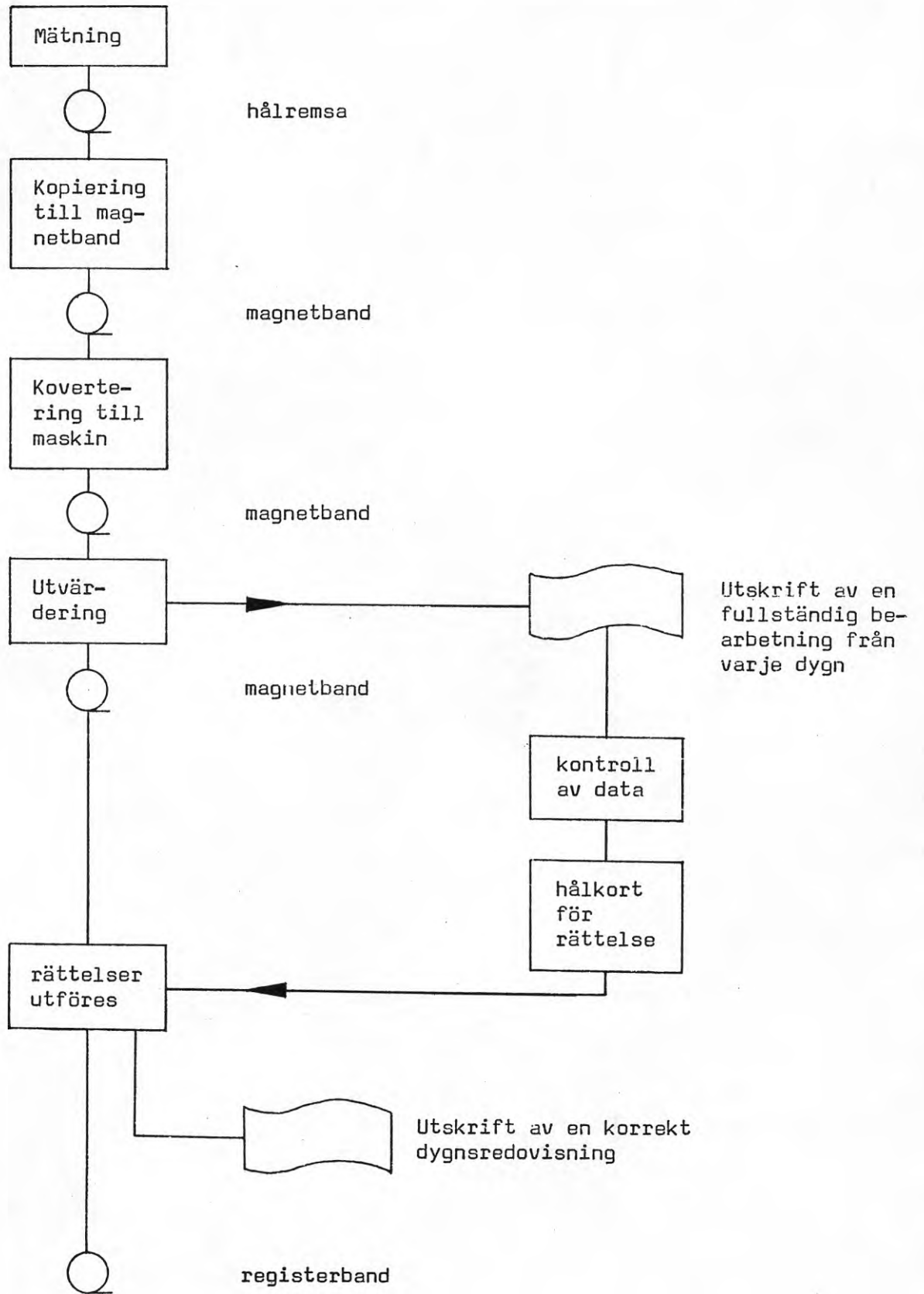


FIG. 2:1 Flödesschema för databehandling av mätvärden.

### 3 DATABEARBETNING

#### 3.1 Allmänt

Efter samråd med olika intressenter inom byggnadsenergiområdet har tre olika huvudtyper av bearbetningar gjorts. Dessa är undersökning och uppritning av samband mellan olika mätvariabler, olika tidskurvor och olika varaktighetskurvor. Nedan ges en utförligare sammanställning.

En mätvariabel som funktion av en annan mätvariabel för

- En effekt som funktion av en temperatur
  - effekten till radiatorer som funktion av differensen mellan inne- och utetemperaturen ( $RAD = F (INNE-UTE)$ )
  - effekten till luftförvärmare som funktion av utetemperaturen ( $LFV = F (UTE)$ )
  - totala effekten utom effekten till varmvatten som funktion av differensen mellan inne- och utetemperaturen ( $TOT - VV = F (INNE-UTE)$ )
- En effekt som funktion av en effekt
  - effekten till radiatorer och luftförvärmare som funktion av effekten till varmvattnet ( $RAD + LFV = F (VV)$ )
- En temperatur som funktion av en temperatur
  - innetemperaturen som funktion av utetemperaturen ( $INNE = F (UTE)$ )
- En temperatur som funktion av en effekt
  - innetemperaturen som funktion av hushållseffekten ( $INNE = F (HHEL)$ )
  - utetemperaturen som funktion av effekten till varmvattnet ( $UTE = F (VV)$ )

Tidskurvor för

- Varmvatteneffekt som funktion av tiden.
- Tidskurvor kring maximalt effektuttag.
- Tidskurvor för inom- och utomhustemperaturen, solstrålning och vind månadsvis.
- Tidskurvor för dygnsmedeltemperaturen ute och olika kallvattenmedeltemperaturer.

Varaktighetskurvor för

- hushållsel
- hushållsel och fastighetsel
- värme (radiatorer och luftförvärmning)
- varmvatten
- totalbehov exklusive varmvatten
- totalbehov

Många önskemål angående bearbetningarna har gällt olika skalningar. Egentligen borde mätvärdena redovisas utan någon skalning med avseende på någon yta eller annan faktor. Skalning med ytor när det gäller uppvärmningsenergier eller effekter kan vara missvisande då transmissionen till större delen beror på fasadytor och fönsterytor och mindre på golvyta.

### 3.2 Undersökning och uppritning av en mätvariabel som funktion av en annan mätvariabel

Ett program ritar och testar sambandet mellan två mätvariabler (FIG. 3:1). Ovanför diagrammet anges sambandet, där man sorterar ena mätvariabeln (vågrätt) och andra mätvariabeln (lodrätt) med vissa bestämda intervaller. I diagrammet skrivs sedan alla de från noll skilda talen ut. Antalet intervaller är 25 vågrätt och 35 lodrätt. Skalorna på axlarna anger undre gränsen för aktuellt intervall. För aktuella mätvariabler beräknas samtidigt medelvärde och standardavvikelse och korskorrelationskoefficienten mellan aktuella mätvariabler.

Genom den punktskara i diagrammet som representerar mätvärdena kan två linjer dras, anpassade till mätvärdena enligt minsta kvadratmetoden. Den ena linjen, linje 1 (visas ej i figuren) representeras av formeln  $Y = K1X$ , dvs den går genom origo. Den andra linjen, linje 2, har formeln  $Y = K2X + L2$ .

Efter att ha konstaterat att korskorrelationskoefficienten har ett värde, som tyder på ett samband ( $>0,7$  eller  $<-0,7$ ), kan man använda sig av de framräknade värdena på dessa. Det bör observeras att linjen 1 genom origo kan i vissa fall vara helt missvisande.

#### 3.2.1 Uppritning av en effekt som en funktion av en temperatur

De undersökta sambanden är:

- Radiatoreffekt som funktion av skillnaden mellan inne- och utetemperatur. ( $RAD = F (INNE - UTE)$ )
- Ventilationslufteffekten som funktion av utetemperaturen. ( $LFV = F (UTE)$ )
- Totalt effektbehov exklusive varmvatten som funktion av skillnaden mellan inne- och utetemperatur. ( $TOTAL - VV = F (INNE - UTE)$ )

Detta sker med det i avsnitt 3.2 presenterade programmet.

#### 3.2.2 Uppritning av en effekt som en funktion av en effekt

Detta sker helt analogt och med samma program som i avsnitt 3.2.1. De undersökta sambanden är:

- Effekten till radiatorer och luftförvärmare som funktion av effekten till varmvatten. ( $RAD + LFV = F (VV)$ )
- Effekten till radiatorer som funktion av effekten till varmvatten. ( $RAD = F (VV)$ )



- Effekter till luftförvärmare som funktion av effekten till varmvatten (LFV = F (VV))

### 3.2.3 Uppritning av en temperatur som funktion av en temperatur

Detta sker helt analogt och med samma program som i avsnitt 3.2.1. Det undersökta sambandet är:

- Innetemperaturen som en funktion av utetemperaturen (INNE = F (UTE))

### 3.2.4 Uppritning av en temperatur som funktion av en effekt

Detta sker helt analogt och med samma program som i avsnitt 3.2.1. De undersökta sambanden är:

- Innetemperaturen som en funktion av hushållseffekten (INNE = F (HHEL))
- Utetemperaturen som en funktion av varmvatteneffekten (UTE = F (VV))

## 3.3 Tidskurvor

### 3.3.1 Varmvatteneffekt som funktion av tiden

Ett program ritar kurvor över varmvatteneffekten under ett dygn. Redovisade dygn är dygnet med största kvartsmedelvärde, dygnet med det största behovet och månadens medeldygn. Förkortningarna är MOMMAXDYGN, TOTMAXDYGN och MEDELDYGN till kurvorna. (FIG. 3:2).

De tre kurvorna har ritats från kl 00.00 till kl 24.00 dvs mät-dygns sista sju timmar från kl 00.00 till kl 07.00 har lagts först. Detta bara för att få tidsaxeln att börja kl 0.00.

### 3.3.2 Effekter som funktion av tiden

Ett program ritar kurvor över tre olika effekter för sju dygn kring månadens största momentaneffekt. Överst ligger hushållseffekten i kW per lägenhet, därefter följer hushållseffekten, fastighetsseffekten och eleffekt i övrigt i kW per lägenhet och nederst totaleffekten för hela huset i W per m<sup>2</sup> lägenhetsyta. Första dygnet börjar kl 07.00 (FIG. 3:3). Observera att mätvariablerna hushållsel och fastighetsel endast kan anta vissa diskreta värden!

### 3.3.3 Medeldygnstidskurvor för innetemperatur, utetemperatur, solstrålning och vindstyrka

Ett program tar fram fyra medeldygnstidskurvor för innetemperatur, utetemperatur, solstrålning och vind för årets alla månader (FIG. 3:4).

Eftersom mätdygn gäller tiden från kl 07.00 till kl 06.45 och kurvan är uppritad från kl 00.00 till 24.00 har mätdygnens sista sju timmar lagts före mätdygnets övriga timmar. Detta medför att ett "hopp" kan ske mellan kl 06.45 och kl 07.00, om den uppritade variabeln har stigit eller fallit kraftigt under månaden.

### 3.3.4 Tidskurvor för utetemperatur och kallvattentemperatur

Ett program beräknar och ritar upp följande kurvor för tiden oktober 1971 till mars 1972:

- utedygnsmedeltemperatur
- kallvattendygnsmedeltemperatur
- kallvattenmedeltemperatur från kl 00.00 - kl 24.00
- kallvattenmedeltemperaturen från kl 14.00 - kl 20.00.

## 3.4 Varaktighetskurvor

### 3.4.1 Varaktighetskurvor för effekten

Program beräknar frekvensfunktion och fördelningsfunktion för sex olika effektbehov under ett år. Detta sker genom att effekterna sorteras i intervaller om 4 kW, vilket är lämpligt med tanke på den minsta måtenheten är uttryckt i kWh och mättiden 15 minuter. Effekter som inte är delbara med fyra har räknats fram på ett speciellt sätt, beroende på mätsättet. Antalet intervall är 100. (TAB. 3:1, FIG. 3:5). Effekter över 400 kW och under 0 kW har kasserats. De sex effektbehoven har skalats med följande data vid kurvritningen:

Hushållsel, kW per lägenhet (HHEL)  
 Hushållsel och fastighetsel, kW per lägenhet (HHEL + FHEL)  
 Radiatoreffekt och luftförvärmningseffekt, W per m<sup>2</sup> lägenhetsyta (RAD + LFV)  
 Varmvatteneffekt, kW per lägenhet (VV)  
 Totaleffekt, W per m<sup>2</sup> lägenhetsyta (TOTAL)  
 Totaleffekt utan varmvatteneffekt, W per m<sup>2</sup> lägenhetsyta (TOTAL - VV).

Varaktighetskurvorna kan ha en del knyckar beroende på att den undersökta effekten ej är en multipel av 4 kW. Samma sak framgår också i tabellen för motsvarande frekvensfunktion som nollor i tabellen. Vid beräkning av varaktighetskurvorna har de uppmätta effekterna, som är heltalspulsfrekvenser omvandlats till reella pulsfrekvenser.

Ett test har gjorts för att se om materialet är normalfördelat. Det har skett genom att jämföra den uppmätta frekvensfunktionen med en exakt normalfördelad frekvensfunktion med samma medelvärde och standardavvikelse. För samtliga sex studerade effekter för både Bollnäs och Tensta blev resultatet att materialet inte kunde anses vara normalfördelat.

### 3.4.2 Temperaturen varaktighet

Med samma program och därmed på samma sätt som i avsnitt 3.4.1 beräknas och uppritas varaktighetskurvor för tiden oktober 1971 till och med mars 1972 för utetemperaturer och kallvattentemperaturer.

### 3.4.3 Mätsättets påverkan på varaktighetskurvan

Varaktighetskurvor har erhållits för mättiden 15 minuter. För dimensionering av tappvarmvattensystem och elsystem kan höga effektuttag under kortare tid än 15 minuter vara dimensionerande. Hur skulle varaktighetskurvan sett ut om mättiden  $t$  ex varit 1 minut? Medelvärdesbildningen måste påverka resultatet.

Om man antar att den effekt som man studerar är normalfördelad och oberoende tiden och att den har ett utfall varje minut kan man beräkna varaktighetskurvan för den nya 1 minutersmättiden. Antag vidare att dess medelvärde är  $m_1$  och standardavvikelsen är  $s_1$ . Följande gäller mellan varaktigheten  $\alpha$ , medelvärdet  $m_1$ , standardavvikelse  $s_1$  och gränsen för varaktigheten  $g_1$ .

$g_1 = m_1 + s_1 \lambda_\alpha$ , där  $\lambda_\alpha$  fås ur normalfördelningstabell för given varaktighet  $\alpha$ .

Effekten som nu mätes under 15 minuter är ett medelvärde av 15 1-minuters-effekter. Då en summa av eller ett medelvärde av normalfördelade variabler alltid är normalfördelad fås för 15 minutersmättiden att medelvärdet  $m_{15}$  blir

$$m_{15} = m_1$$

och standardavvikelsen  $s_{15}$  blir

$$s_{15} = s_1 / \sqrt{15}$$

Medelvärdet ändras ej mellan 15 minuters- och 1 minutsmättid, däremot ändras standardavvikelsen med nästan en faktor fyra. Detta innebär inte att varaktighetskurvans topp skall skalas upp fyra gånger utan den tidigare formeln kan användas även här, dvs att för en given varaktighet  $\alpha$  fås att gränsen för 1 minuters mättiden  $g_1$  blir följande:

$$g_1 = m_{15} + \lambda_\alpha s_{15} \sqrt{15}$$

Tidigare har antagits att effekten hade ett utfall varje minut, som är helt oberoende av övriga utfall. För olika typer av effekter kan detta vara felaktigt dvs dessa effekter är beroende av i tiden intilliggande mätvärden. Detta beror på att enskilda effektuttag av den totala uppmätta effekten kan vara flera minuter. Detta kan beskrivas med följande antagande:

Antag att mättiden är  $m$  minuter och att varje minut sker ett utfall av en normalfördelad effekt som varar  $n$  minuter. Den uppmätta medeleffekten under  $m$  minuter blir då också normalfördelad.

Hur förändras mäteffektens standardavvikelse och därmed också varaktighetskurvans topp med olika mättid  $m$  och pulslängd  $n$ ? Det är uppenbart att om de olika ingående effekterna är långvariga dvs pulslängden  $n$  är stor i jämförelse med mättiden  $m$  så ökar standardavvikelsen och varaktighetskurvans topp endast obetydligt med minskande mättid. Detta eftersom mätvärdena är kraftigt beroende av varandra i tiden.

Mäteffektens standardavvikelse och varaktighetskurvans topp kommer att öka kraftigt med minskande mättid  $m$  vid små pulslängder  $n$ . Här är de olika effekterna endast obetydligt beroende av varandra i tiden.

I tabellen 3:2 återges hur standardavvikelse förändras relativt standardavvikelsen för en mättid på 15 minuter för mättiderna 1,2,3,4,5,10 och 15 minuter och pulslängderna 1,2,3,4,5,10 och 15 minuter. Jämförelse skall endast göras inom en rad.



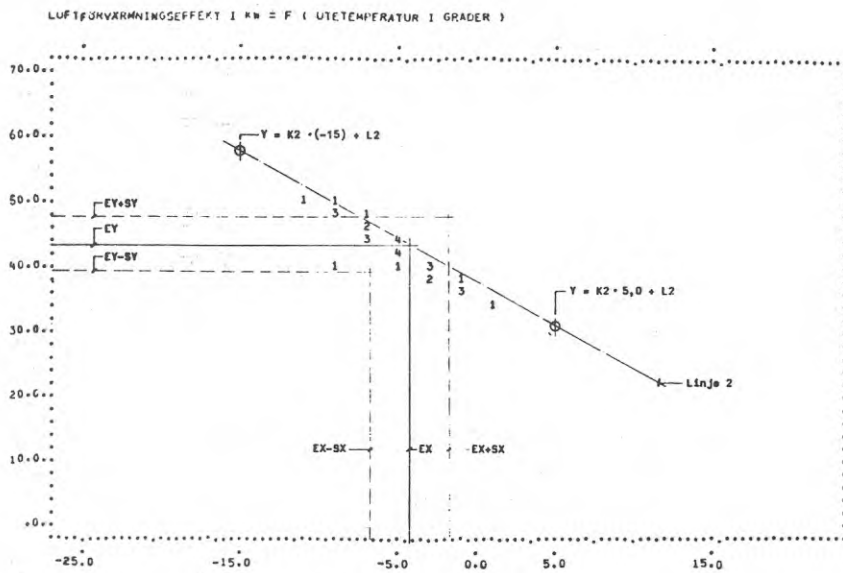


FIG. 3:1 Exempel på databearbetning som visar sambandet mellan två mätvariabler.

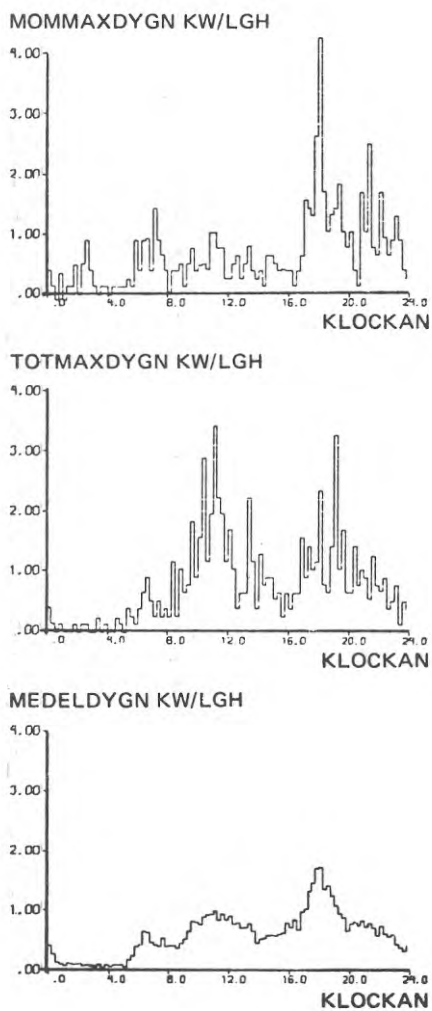


FIG. 3:2 Exempel på databearbetning av effekt- och energibehov för varmvatten.

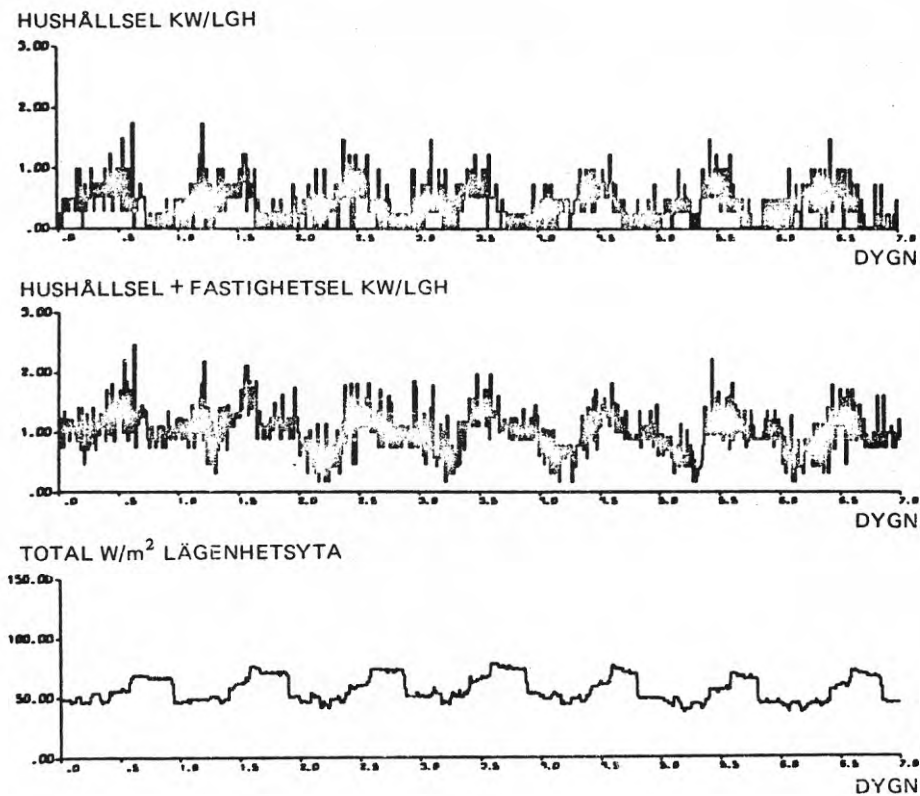


FIG. 3:3 Exempel på databearbetning av effektbehov för mätvariablerna hushållsel, fastighetsel samt fastighetens total-effektbehov.

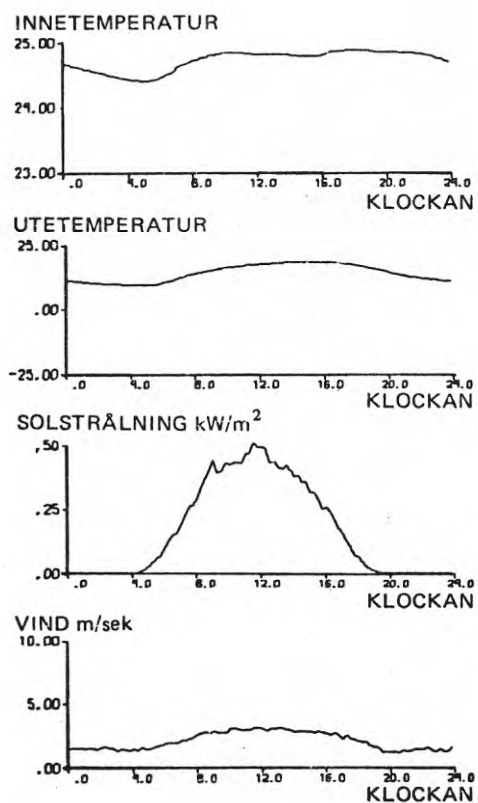


FIG. 3:4 Exempel på databearbetning av olika klimatfaktorer.

TAB. 3:1 Exempel på databearbetning av effektbehov under året sorterade i intervall om 4 kW.

kW	0 - 4	4 - 8	8 - 12	12 - 16	16 - 20	20 - 24	24 - 28	28 - 32	32- 36	36 - 40 kW
0 - 40	1563	1611	1723	521	2064	4239	4111	419	2841	2703
40 - 80	2177	1808	1424	1141	37	870	688	543	428	334
80 - 120	257	2	177	162	118	79	55	32	0	39
120 - 160	25	24	13	10	8	10	0	4	1	1
160 - 200	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0
200 - 240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240 - 280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
280 - 320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320 - 360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
360 - 400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Antal bearbetade data		34 944
Antal data i tabellen		32 266
Antal kasserade data $\leq 0$		2 677
Antal kasserade data $> 400$		1

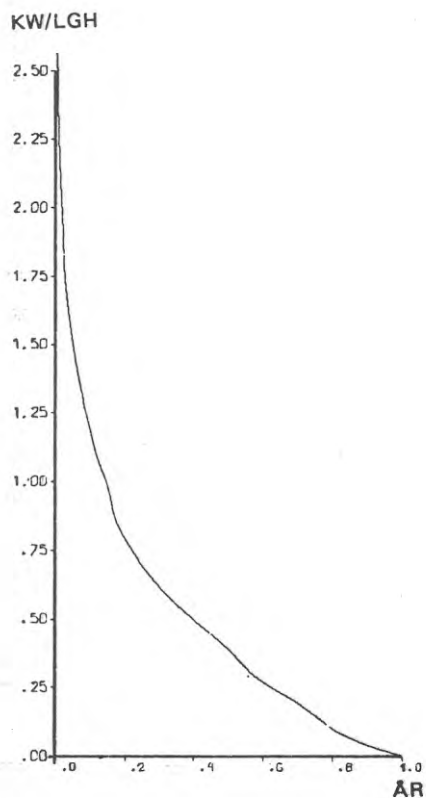


FIG. 3:5 Exempel på varaktighetskurva.

TAB. 3:2 Standardavvikelsens förändring för olika pulslängder och mättider relativt en mättid på 15 minuter.

Pulslängd i min	Mättid i minuter						
	1	2	3	4	5	10	15
1	3.873	2.739	2.236	1.936	1.732	1.225	1.000
2	2.785	2.412	2.076	1.842	1.671	1.214	1.000
3	2.305	2.105	1.934	1.761	1.619	1.205	1.000
4	2.023	1.892	1.784	1.677	1.567	1.197	1.000
5	1.833	1.739	1.662	1.587	1.511	1.188	1.000
10	1.387	1.352	1.324	1.297	1.271	1.135	1.000
15	1.223	1.203	1.187	1.171	1.156	1.080	1.000



## 4 PROJEKTBEKRIVNING

### 4.1 Bollnäs

Flerfamiljshusen i Framnäsområdet, ca 2 km norr om Bollnäs centrum omfattar 20 st eluppvärmda fastigheter med totalt 358 lägenheter. Husen har två hela våningsplan och en souterrängvåning innehållande lägenheter och förråd. Husen har 3 eller 5 trapphus.

Det första huset var inflyttningsklart den 1 september 1968 och det sista den 1 april 1970.

Husen har balanserad ventilation. Förvärmad tilluft blåses in bakom elvärmepaneler i sovrum och vardagsrum. Frånluften sugs ut från kök, bad- och toalettrum. Fläktarna drivs med samma varvtal året runt oberoende av temperaturförhållandet o.d.

Luftförvärmningen sker i regenerativa värmeväxlare för återvinning av värme ur frånluften. Dessa är försedda med aktivt kolfilter i frånluften för förhindrande av luftåterföring.

Efter värmeväxlarna passerar tilluften elektriska luftförvärmare som är termostatsstyrda för att ge inblåsningstemperaturen +19°C.

För övrigt sker lokaluppvärmningen genom elvärmepaneler med sammanbyggd termostat och kort kopplingscykel.

För varje hus finns en enkelmatad tappvattenvärmare med 2 500 eller 5 000 liter volym och 2-5 st 12 kW-elpatroner. Tappvattenvärmare kan tillkopplas med full effekt klockan 21 - 07 och med reducerad effekt d.v.s. en patron klockan 09 - 11, 13 - 15 och 17 - 21 men är under övrig tid fränkopplade.

Installationsstandarden i lägenheterna är relativt hög. (TAB. 4:2).

I Framnäsområdet finns vidare uttag för bilvärmare, 230 stycken i kallgarage och 260 stycken på parkeringsplatser utomhus.

Energimätningarna har genomförts i ett av husen (hus B). (TAB. 4:1, 4:2, 4:3, 4:4 och 4:5).

Debiteringsformen utgår från kollektiv mätning av all elförbrukning.

### 4.2 Tensta

Flerfamiljshusen i kvarteret Stadinge i Tensta cirka 16 km nordväst om Stockholms Centrum, omfattar 6 fastigheter med totalt 113 lägenheter. Husen har två våningsplan och en souterrängvåning innehållande lägenheter och förråd.

Husen är uppförda s k källarlösa med kryputrymmen för rörstråk. Lägenheterna har balanserad ventilation med bakkantinblåsning. Tilluften förvärms via luftvärmare anslutna till radiatorsystemet med särskilda stammar från källarstråket.

Fastigheterna är värmeförsörjda från Fjärrvärmeverket i Hässelby och har ett konventionellt värmesystem dimensionerat efter en temperaturskillnad av  $20^{\circ}$  ( $80^{\circ} - 60^{\circ}$ ).

Energimätningarna har genomförts i ett hus (hus 42) vars data redovisas i tabellform. (TAB. 4:6, 4:7, 4:8, 4:9 och 4:10).

Debiteringsformen utgår från enskild mätning av hushållsel, övrig förbrukning mäts kollektivt.

TAB. 4:1 Bollnäs. Byggnadsdata för hus B i Framnäsområdet.

Hustyp	2-vånings lamellhus med souterrängvåning
Yttervägg	1/2-stens fasadtegel, regler och isolering
Yttervägg, k-värde	0,27 W/m <sup>2</sup> °C
Vindbjälkslag, k-värde	0,17 W/m <sup>2</sup> °C
Fönster	2-glas
Lägenhetsyta (ly)	1 788 m <sup>2</sup>
Uppvärmad yta (uy)	2 167 m <sup>2</sup>
Antal lägenheter	28

TAB. 4:2 Bollnäs. Varmvatteninstallationen i hus B i Framnäsområdet.

Varmvattenberedare	Thermia typ 17 VL
Volym	5 000 liter
Max effekt	5 x 12 kW (fom 71-11-31 3x15 kW)
Inkoppl. av max effekt	k1 21.00 - 07.00
Inkoppl. av reducerad effekt (1 x 12 kW)	k1 09.00 - 11.00, 13.00 - 15.00, 17.00 - 21.00

Anm. Ackumulerande system utan VVC-ledning

TAB. 4:3 Bollnäs. Värmeanläggningen i hus B i Framnäsområdet.

Uppvärmningsform	Elvärme
Dimensionerad effekt	105 kW
Installerad effekt	118,6 kW
Radiatorer	Siemens typ P2 T6 L (M)
Effektstyrning	Inbyggd termostat (on-off)
Effektsteg	4 steg (ej grundvärme)

TAB. 4:4 Bollnäs. Ventilationsanläggningen i hus B i Framnäsområdet.

Ventilationssystem	Till- och frånluft
Tillluftsaggregat	ARs typ CSB-30 och CSB-19
Frånluftsfläkt (takfläkt)	ARs typ SLC (2 st)
Förvärmning, värmeväxlare	Regenerativ
Eftervärmning	Elbatterier mellan 13°C och 19°C samt radiatorer
Projekterat tilluftsflöde	3 500 m <sup>3</sup> /h
Uppmätt tilluftsflöde (jan -72)	3 360 m <sup>3</sup> /h
Projekterat frånluftsflöde	3 920 m <sup>3</sup> /h
Uppmätt frånluftsflöde (jan -72)	3 490 m <sup>3</sup> /h

TAB. 4:5 Bollnäs. Installationsstandard i hus B i Framnäsområdet.

Skafferikylskåp	8 lgh (1:or)
Kyl- och frysskåp	20 lgh
Frysbox (enl undersökn)	1 lgh
Tvättmaskiner (enl undersökn)	9 lgh
Torkskåp	20 lgh (samtliga)

TAB. 4:6 Tensta. Byggnadsdata för hus 42 i kv Stadinge.

Hustyp	2-vånings lamellhus med souterrängvåning
Yttervägg	Sandwichelement av betong
Yttervägg, k-värde	0,37 W/m <sup>2</sup> °C
Vindbjälkslag, k-värde	0,29 W/m <sup>2</sup> °C
Fönster	2-glas
Lägenhetsyta (ly)	2 420 m <sup>2</sup>
Uppvärmad yta (ly)	2 760 m <sup>2</sup>
Antal lägenheter	35

TAB. 4:7 Tensta. Värmeanläggningen i hus 42 i kv Stadinge.

Uppvärmningsform	Fjärrvärme
Värmeväxlare (3-stegs- kopplad)	Parca typ Kv 8
Temperatur på primärsidan	120 - 70
Temperatur på sekundärsidan	80 - 60
Märk effekt	930 kW (ca 8,2 kW/lgh)
Dimensionerad effekt	770 kW
Radiatorer	AGA typ MP, MR, PL, N
Effektstyrning	Klimatkompensator

Anm. Värmeväxlaren är dimensionera för transmissions- och ventilationsförluster i 6 hus.

TAB. 4:8 Tensta. Varmvatteninstallationen i hus 42 i kv Stadinge.

Varmvattenberedare	Parca typ UA260/8 x 23
Temperatur på primärsidan	75° - 25°C (sommarfallet)
Temperatur på sekundärsidan	5° - 40°C
Dimensionerad för	215 lgh/300 lit per min



TAB. 4:9 Tensta. Ventilationsanläggning i hus 42 i kv Stadinge.

Ventilationssystem	Från- och tilluft (FT)
Tilluftsggregat	SFs typ ALDA
Frånluftsfläkt (takfläkt)	SFs typ STOD (6 st)
Eftervärmning	Vattenbatterier
Projekterat tilluftsflöde	4 725 m <sup>3</sup> /h
Uppmätt tilluftsflöde	4 120 m <sup>3</sup> /h
Projekterat frånluftsflöde	5 910 m <sup>3</sup> /h

TAB. 4:10 Tensta. Installationsstandard i hus 42 i kv Stadinge.

Kyl- och svalsåp	35 lgh (samtliga)
Frysbox (enl undersökn)	10 lgh
Tvättmaskiner (enl undersökning)	19 lgh
Diskmaskin (enl undersökn)	3 lgh

## 5 RESULTATREDOVISNING

### 5.1 Allmänt

Redovisningen omfattar följande energibehov: totalbehov, uppvärmning av radiatorer, luftförvärmning, varmvatten samt hushållsel.

I avsnittet har gjorts ett urval av de bearbetningsresultat, som är speciellt intressanta för den vidare diskussionen. Eftersom de båda mätobjekten har olika värme- och ventilationssystem kan inte de redovisade specifika energibehoven reservationslöst jämföras. Möjligheten till vissa jämförelser tas upp i avsnitt 9.

Energibehoven för uppvärmning av fastigheter och ventilationstilluft är i hög grad beroende av vilken temperaturnivå som rått under aktuell tidsperiod.

Energibehovet är beroende av skillnaden innetemperatur- och utetemperatur. Energianvändningen är beroende av hur länge en viss temperaturskillnad råder. Om man multiplicerar temperaturskillnaden i grader med antalet dagar den råder, får man produkten graddagar.

För att kunna beräkna en byggnads energibehov under en viss tidsperiod måste man förutom sammanlagda antalet graddagar för denna period även känna till byggnadens värmeeffektbehov (= energibehov per tidsenhet) vid en viss utetemperatur. I regel beräknas effektbehovet vid lägsta normala utetemperatur för orten då värmeanläggningen skall dimensioneras. Denna temperatur kallas dimensionerande utetemperatur (DUT). Beräkningen görs med kännedom om byggnadens utseende, materialegenskaper, ventilationsbehov m m.

Graddagsredovisningen används mest för att jämföra energibehovet ett visst år med normalbehovet. Man har därför relationsvärden eller normalårsvärden på graddagstal för olika orter. Dessa graddagstal är beräknade ur dygnsmedelutemperaturen för normalår som redovisats av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI. Normalårsvärdena är beräknade ur mätningar, som gjorts under 30 år. För närvarande används ett normalår, som är medelvärde för åren 1931 - 1960. Tidigare har normalperioden 1901 - 1930 använts vilken var ca  $0,3^{\circ}$  kallare i medeltal för hela landet. (FIG 5:1).

Det finns två olika huvudtyper av graddagsredovisning, nämligen med och utan eldningsgränser. Med eldningsgräns menas den utetemperatur som värmen vid fastigheter tillförs vid (hösten) eller upphör (våren). Man har valt eldningsgränserna  $+10^{\circ}$  för maj, juni och juli,  $+12^{\circ}$  för september och april samt  $+13^{\circ}$  för oktober.

Vid användning av graddagstalen söker man den energimängd, som behöver tillföras byggnaden genom värmeanläggningen. Man har sedan graddagsberäkningen börjat använt  $17^{\circ}$  som referensvärde för innetemperatur. Resterande temperaturhöjning till normal rumstemperatur förutsättes ske genom sk basvärmestillskott d v s okontrollerad värmestillskott från belysning, elapparater, människor, sol etc.

Graddagsredovisning tillämpas även vid beräkning av energibehov för uppvärmning av tilluften vid balanserade ventilationssystem. Här måste man av fysiologiska skäl räkna med en större temperaturdifferens än ovan eftersom man på grund av dragrisk inte kan avbryta uppvärmningen vid  $17^{\circ}\text{C}$ . Luften värms från rådande utetemperatur till lämplig inblåsningstemperatur, säg  $+20^{\circ}\text{C}$ .

I figur 5:2 och 5:3 visas varaktigheten av dygnsmedelutetemperaturen i Bollnäs respektive Stockholm. Den streckade ytan motsvarar normala graddagtal för innetemperaturen  $+17^{\circ}\text{C}$  och eldningsgränsen  $+11^{\circ}\text{C}$ , som är ett medeltal av  $+10^{\circ}$  på våren och  $+12^{\circ}$  på hösten. Vid planimetrering av ytan fås 4480 graddagar för Bollnäs och 3570 för Stockholm.

Den prickade ytan motsvarar tillägget för värmning till  $+20^{\circ}\text{C}$  utan eldningsgräns. Summan av ytorna blir antalet ventilationsgraddagar, som är 5760 för Bollnäs och 4820 för Stockholm. Mätårets graddagtal var 98% av normalåret.

I tabell 5:1 redovisade uppmätta antal graddagar för Bollnäs respektive Tensta baseras på den faktiska temperaturdifferensen, dvs temperaturskillnaden mellan uppmätt lägenhetstemperatur och utetemperatur.

De stora avvikelserna mellan uppmätt antal graddagar och normalårets graddagtal för orten ifråga förklaras i första hand med att både Bollnäs- och Tenstahuset haft under mätperioden väsentligt högre innetemperaturer än vad man räknat med i normalfallet.

## 5.2 Totalt energibehov.

### 5.2.1 Bollnäs.

Bollnäs husets totala energibehov uppmättes under mätperioden till 15188 kWh per lägenhet vilket motsvarar 237 kWh per  $\text{m}^2$  lägenhetsyta.

I det totala energibehovet ingår följande specifika energibehov (FIG 5:4).

Radiatoruppvärmning motsvarande	46	%	av	det	totala
Luftförvärmning	-"-	10	"	"	"
Varmvattenuppvärmn.	-"-	24	"	"	"
Hushållsel	-"-	20	"	"	"

### 5.2.2 Tensta

Uppmätt totalt energibehov är 23042 kWh per lägenhet, som under mätåret motsvarar 335 kWh per  $\text{m}^2$  lägenhetsyta (FIG 5:5).

Totala energibehovet innefattar följande specifika förbrukningar.

Radiatorer	motsvarande	47	%	av	det	totala
Luftuppvärmning	"	26	"	"	"	"
Varmvatten	"	18	"	"	"	"
Hushållsel	"	9	"	"	"	"

### 5.3 Uppvärmning, radiatorer

#### 5.3.1 Bollnäs

Uppmätt energibehov är 6900 kWh per lägenhet vilket motsvarar 108 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta.

Den installerade radiatoreffekten är 118,6 kW. Vid husets projektering beräknades erforderlig effekt vid dimensionerande utetemperatur (-22°C) till 105 kW, vilket ger ett beräknat transmissionsvärde av 2,5 kW per grad. En enkel beräkning utan traditionella påslag ger transmissionsvärdet 1,46 kW/°C (kapitel 6.5). En jämförelse med graddagtalet för ortens normalår under bränslesäsong vilket för Bollnäs är 4480 graddagar, ger följande jämförelsevärde

$$\frac{4480 \text{ (graddagar)} \cdot 24 \text{ (tim/dygn)} \cdot 1,46 \text{ (kW/°C)}}{1788 \text{ (m}^2 \text{ ly)}} = 87,8 \text{ kWh/m}^2 \text{ ly}$$

Detta värde är 19% mindre än uppmätt värde som är 108 kWh/m<sup>2</sup> ly. Per lägenhet innebär detta en överförbrukning på ca 1300 kWh. Om extrapolering linjärt tillåtes blir erforderlig installerad effekt vid dimensionerande utetemperatur endast 62 kW. Detta indikerar att verklig installerad effekt är för hög - man skulle teoretiskt kunna hålla +20°C inomhus vid utetemperaturen -61°C.

I figur 5:6 och tabell 5:2 där dygnsmedeleffekten för elradiatorerna i lägenheterna enbart har prickats in som funktion av dygnsmedeltemperaturdifferensen inne-ute, finns det två linjer som anpassas till mätvärdena. Linje 1 måste gå igenom origo och därmed bör dess lutning i stort överensstämja med beräknat värmebehovstal (kW/°C). Det tidigare i kapitel 6.5 beräknade värdet på 1,46 kW/°C ligger något över de för de olika månaderna erhållna värdena i tabell 5:2.

Linje 2 behöver inte gå igenom origo och kan därför anpassas mycket bättre. Linje 2:s lutning är mycket mindre än linje 1:s, vilket visar att utetemperaturens inverkan dämpas. Dämpningen beror på att innetemperaturen påverkas av husets värmemagasineringsförmåga och att utetemperaturen ej slår direkt igenom vid väggar och tak. Lutningen hos linje 2 är ofta hälften av linje 1:s. Detta innebär att kortare köld- och värmeperioder endast påverkar elradiatoreffekten till hälften kring en viss gemensam punkt för en längre tidsperiod.

#### 5.3.2 Tensta

Uppmätt energibehov är 10900 kWh per lägenhet vilket motsvarar 158 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta.

Det faktiska graddagtalet  $d_v$  s skillnaden mellan uppmätt inne- och utetemperatur multiplicerat med antal uppvärmningsdagar (266), registrerades till 5459. Värmebehovet var 1971-72 98% av normalåret räknat vid uppvärmning till +17°C. En jämförelse med en normal graddagberäkning ger följande värde då uppvärmningsperiodens dygnsmedeltemperatur var 3,0°C.

$$266 \cdot (17 - 3,0) = 3724 \text{ graddagar}$$

vilket är 32% lägre än uppmätt antal graddagar.

Vid en teoretisk beräkning av energibehovet med utgångspunkt från normala graddagtskriterier samt eget beräknat specifikt effektbehov ( $3,25 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}$ ) erhålls

$$\frac{3724 \text{ (graddgr)} \cdot 24 \text{ (tim/dygn)} \cdot 3,25 \text{ (kW}/^{\circ}\text{C})}{2420 \text{ (m}^2 \text{ ly)}} = 120 \text{ kWh/m}^2 \text{ ly}$$

Detta värde ligger 24% under det uppmätta, som är  $158 \text{ kWh/m}^2 \text{ ly}$  eller med andra ord en överförbrukning på ca 2600 kWh per lägenhet.

Orsaken till den stora avvikelser beror i första hand på att uppvärmningen i Tenstahuset icke avbrutits vid  $+17^{\circ}\text{C}$ . (Resterrande uppvärmning till beräknade  $+20^{\circ}$  avses normalt ske med värmetillskott från människor, sol, belysning etc.)

Innetemperaturen har under hela perioden varit väsentligt högre än vad som ursprungligen beräknats. Månadsmedeltemperaturen har varit mellan 23,0 och 23,8. Eftersom mätningarna endast redovisar medelvärdet av temperaturen i olika lägenheter kan sannolikt temperaturen i vissa lägenheter ha uppgått till ca  $25-26^{\circ}$ .

Effektbehovet vid dimensionerande temperatur, vilken är  $-20^{\circ}\text{C}$ , är enligt värmebehovsberäkningen 130 kW. Mätperiodens lägsta utetemperatur registrerades till  $-12,1^{\circ}\text{C}$ . Av denna anledning kan rapporten inte redovisa uppvärmningens faktiska effektbehov vid dimensionerande last.

I figur 5:7 och tabell 5:3 antyder linje 2:s lutning att dygnsmedeleffekten, som funktion av ute-inne, är något bättre anpassad till det av VVS-konsulten beräknade behovet, vilket i stort motsvarar linje 1:s lutning, jämfört med Bollnäsdiagrammet (FIG 5:6). I övrigt kan samma diskussion föras här som i Bollnäs-fallet.

## 5.4 Energibehov för luftförvärmning

### 5.4.1 Bollnäs

Uppmätt energibehov för luftförvärmning är 1600 kWh per lägenhet, motsvarande  $25 \text{ kWh per m}^2$  lägenhetsyta. Redovisat värde kan uppdelas enligt följande:

uppvärmning av tilluft =  $700 \text{ kWh/lgh}$ ,  $11 \text{ kWh/m}^2 \text{ ly}$

energibehov för fläktmotorer =  $900 \text{ kWh/lgh}$ ,  $14 \text{ kWh/m}^2 \text{ ly}$

Lägenheterna i Bollnäs har balanserad ventilation, d v s mekaniskt till- och frånförd luft. I ventilationssystemet finns värmväxlare installerad för att utnyttja frånluftens energi-innehåll för uppvärmning av tillförd luft för lägenheter.

Verkningsgraden på värmväxlaren, vilken är av typ regenerativ, varierar beroende på vilken luftmängd aktuell anläggning är dimensionerad för. Efter vid mäthuset genomförd luftmängdsmätning kan för denna anläggning verkningsgraden uppskattas till ca 65%.



### 5.4.2 Tensta

Energibehovet för uppvärmning av tilluften som under mätåret vad 5960 kWh per lägenhet, motsvarande 86 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta.

Det specifika effektbehovet har beräknats till 1,37 kW/°C vid aktuell tilluftsmängd.

Om medelutetemperaturen under luftuppvärmningsperioden, +4,4°C används i en beräkning tillsammans med dels den normgivande inblåsningstemperaturen (+20°C) som tillämpas vid uträkning av ventilationsgraddagar, dels hänsyn tas till det faktiska antal dagar som luftuppvärmningen pågått (303), kan följande jämförelsevärde erhållas

$$\frac{4727 \text{ (graddgr)} \cdot 24 \text{ (tim/dgr)} \cdot 1,37 \text{ (kWh/}^\circ\text{C)}}{2420 \text{ (m}^2 \text{ ly)}} = 64,2 \text{ kWh/m}^2 \text{ ly}$$

64,2 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta kan betraktas som ett förväntat energibehov för luftförvärmning i detta hus om dimensionerande kriterier gäller vid drift av denna anläggning. Det uppmätta energibehovet (86 kWh/m<sup>2</sup> ly) avviker med ca 25% från förväntat behov, vilket innebär att energibehovet för luftförvärmning har varit ca 1500 kWh för högt per lägenhet under mätperioden.

## 5.5 Energibehov till varmvatten

### 5.5.1 Bollnäs

Uppmätt energibehov till varmvatten är 3680 kWh per lägenhet vilket motsvarar 57,5 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta.

Energibehovet vid kollektiv uppmätning av varmvatten kan enligt Byggeforskningens rapport R9:1970 (1) beräknas ur formeln  $4 \cdot 300 + 700 (p-3)$  kWh/lägenhet och år eller överslagsvis räknas med 55 kWh/m<sup>2</sup> ly och år. I formeln står p för antal personer i lägenheten. Med p=2,43 för Bollnäs blir enligt i Byggeforskningens rapport R9:1970 energibehovet 3900 kWh/lägenhet, vilket endast är 6% högre än mätresultatet.

Energibehovet för varmvatten har i genomsnitt varit ca 30% av husets totala värmebehov beräknat på årsmedelvärdet. Variationerna mellan olika månader har varit stora. Varmvattnets energibehov i förhållande till det totala energibehovet är störst under juli månad, 55,6 %, och minst under januari, 20,8 %. (TAB 5:4)

Förbrukningen av varmvatten var störst under mars månad, 372,3 kWh/lägenhet. Förbrukningen under juli månad var 204,3 kWh/lägenhet, dvs 55 % av marsförbrukningen.

Under månader med relativt stort varmvattenbehov såsom november till mars var största dygnsbehovet 20-30 % större än respektive månads medelvärde av dygnsbehov. (TAB 5:5, FIG 5:8, 5:9, 5:10, 5:11)

Max dygnsbehov 15,3 kWh/lägenhet inträffade lördagen den 15 januari (redovisas ej i tabell).

Varmvattnets effektbehov under året redovisas i en varaktighetskurva (FIG 5:12).

### 5.5.2 Tensta

Uppmätt energibehov per år till varmvatten är 4132 kWh per lägenhet vilket motsvarar 59,9 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta.

Enligt formeln i Byggeforskningens rapport R9:1970:4 300+700 (P-3) kWh/lägenhet och med Tenstavärdet för  $p = 2,46$  skulle energibehovet för varmvatten bli 3920 kWh/lägenhet.

Mätresultatet, som är 5 procent högre än vad formeln i Byggeforskningens rapport R9:1970 anger, innefattar energibehov för varmvattencirkulation (vvc). R9-formeln tar icke hänsyn till vvc-förluster men i motsats till mätresultatet innefattas isoleringsförluster hos vattenvärmaren. Eftersom energibehovet i denna undersökning mätes på varmvattenledningarna till och från vattenvärmaren ingår ej isoleringsförlusterna för vattenvärmaren.

Energibehovet för varmvatten har varit störst under den kallare årstiden. Under juli månad var energibehovet 51% av behovet under januari. Om hänsyn togs till kallvattentemperaturens variation under året blir variationen mellan månaderna mindre.

Lördagar och söndagar är veckodagar med störst varmvattenförbrukning. Dessa dagar har två utdragna höglastperioder med maxförbrukning omkring kl. 11.30 och 18.00. Maximala effekter har iakttagits under vardagskvällar omkring kl. 18.00, varvid förbrukningen är mera koncentrerad än under lördag och söndag. (TAB 5:7). (FIG 5:13 t o m FIG 5:22).

Förhållandet mellan månadens högsta dygnsvärde och månadens medelvärde för dygnsförbrukning av varmvatten för november är 45 %. För december till april varierar detta förhållande mellan 28 och 35 %. Förbrukningen under topplastdagar - som lördag och söndag - är alltså inte avsevärt större än under andra veckodagar. Fredagar är i detta hus likvärdiga andra veckodagar då det gäller dygnsförbrukning av varmvatten.

Energibehovet för varmvatten har varit 20 % av totala värmebehovet beräknat på årsmedelvärdet. Motsvarande värde under januari var 14,1 % då totala värmebehovet var störst. Maximalt dygnsbehov, 19,3 kWh/lägenhet, inträffade söndagen den 21 november.

Varmvattnets effektbehov under året framgår i en varaktighetskurva. (FIG. 5:23)

## 5.6 Hushållsel

### 5.6.1 Bollnäs

Energibehovet för mätåret uppmättes<sup>1)</sup> till 3008 kWh per lägenhet, vilket motsvarar 47,0 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta.

Elbehovet för hushåll är beroende av antalet i lägenheten boende personer (P). Innehav och användningsfrekvens av i hushållet ingående elapparater påverkar givetvis också hushållsbehovet.

<sup>1)</sup> Anm. se nästa sida.

Enligt Byggeforskningens rapport R9:1970 (1) kan behovet för hushållsel beräknas ur formeln  $4000+300(P-3)$  kWh per lägenhet. Vid för mäthuset tillämbart  $P (=2,43)$  erhålls värdet 3830 kWh per lägenhet, vilket inkluderar fastighetens allmänna elbehov - som av Byggeforskningsrapporten uppskattas till 1500 kWh per lägenhet.

Eftersom mätresultatet ej inkluderar fastighetsbehovet jämförs mätresultatet med  $3830 - 1500 = 2330$  kWh per lägenhet. Jämförelsen innebär att mätresultatet är 29 % högre än värdet enligt Byggeforskningens rapport R9:1970.

För mäthuset i Bollnäs tillämpas s k kollektivleverans, dvs att lägenheterna är anslutna till en för samtliga lägenheter i huset gemensam elmätare.

### 5.6.2 Tensta

Energibehovet uppmättes till 2050 kWh per lägenhet eller 29,7 kWh per m<sup>2</sup> lägenhetsyta.

Vid för mäthuset tillämbart  $P (= 2,46)$  erhålls enligt Byggeforskningens rapport R9:1970 värdet 3840 kWh per lägenhet. Efter reducering av fastighetsbehovet (1500 kWh/lgh) erhålls 2340 kWh per lägenhet, vilket skall jämföras med mätvärdet 2050. I detta fall är mätvärdet 12 % lägre än det enligt Byggeforskningsrapporten erhållna.

Vid en annan undersökning, företagen under motsvarande tidsperiod, avseende hushållsförbrukning för ca 800 lägenheter i Tensta/Rinkeby befanns medelförbrukningen vara 2 100 kWh per lägenhet. Dessa hushåll var, i likhet med BEC:s mäthus i Tensta, försedda med en elmätare för varje lägenhet samt av samma lägenhetsstandard som mäthuset i denna undersökning.

---

1) (Från föregående sida.)

Tiden från mätstarten 1 september till november månad har för låga förbrukningar registrerats för hushållet. Detta på grund av det mätförfarande som då tillämpades, vilket innebar att under vissa omständigheter kunde en elmätares pulsgivning blockera inkommande pulser för övriga elmätare (3 st) till samma registreringskanal. Från och med december månad 1971 inkopplades en elektronisk krets för att förhindra denna blockering. Registrerade mätvärden under sep, okt och nov har därför korrigerats med utgångspunkt från Statens Elransoneringsnämnds anvisningar gällande normalfördelning (FIG 9:4).

TAB. 5:1 Antal graddagar baserade på faktisk differens mellan ute- och innetemperatur avseende uppmätt antal under hela året respektive under eldningssäsong och ventilationssäsong. (I Bollnäs har uppvärmning av lägenheter och ventilationsluft pågått under hela mätåret.)

	Hela året	Eldningssäsong	Ventilationssäsong
Bollnäs	7 246	7 246	7 246
Tensta	6 481	5 459	6 255

TAB. 5:2 Bollnäs. Tabell över radiatoreffekten (EY) som funktion av differensen (EX) mellan inne- och utetemperatur samt standardavvikelsen (SX, SY). Månadsmedelvärden.

månad	EX (°C)	SX (°C)	EY (kW)	SY (kW)	RXY	K1 (kW/°C)	K2 (kW/°C)	L2 (kW)	N (dygn)
sept	14,9	2,5	16,9	3,2	0,531	1,4	0,7	6,9	28
okt	18,2	2,6	24,7	3,0	0,652	1,3	0,7	11,1	31
nov	26,6	5,6	37,2	5,3	0,795	1,4	0,7	17,4	30
dec	25,1	3,5	34,1	2,1	0,626	1,3	0,4	24,7	31
jan	33,2	3,9	38,8	3,5	0,660	1,2	0,6	18,8	31
feb	28,8	1,7	31,4	2,8	0,443	1,1	0,7	11,7	29
mars	24,9	4,2	24,2	4,2	0,724	1,0	0,7	6,0	31
april	21,5	2,0	20,1	2,4	0,481	0,9	0,6	7,5	30
maj									
juni									
juli	8,0	2,4	2,9	0,6	0,158	0,3	0,0	2,6	31
aug	10,9	2,4	4,9	3,1	0,686	0,5	0,9	-4,4	31

Anm. Vissa data är felaktiga i maj och juni och redovisas därför ej i tabellen.

EX medelvärde av radiatoreffekten  
 EY medelvärde av differensen mellan inne- och utetemperatur  
 SX, SY standardavvikelse  
 RXY korrelationskoefficient  
 K1, K2 konstanter  
 L2 konstant



TAB. 5:3 Tensta. Tabell över radiator-effekten (EY) som funktion av differensen (EX) mellan inne- och utetemperatur samt standardavvikelsen (SX, SY). Månadsmedelvärden.

månad	EX (°C)	SX (°C)	EY (kW)	SY (kW)	RXY	K1 (kW/°C)	K2 (kW/°C)	L2 (kW)	N (dygn)
sept	12,8	2,3	32,5	6,9	0,581	2,5	1,7	10,3	28
okt	16,3	3,2	50,8	6,5	0,942	3,1	1,9	19,8	31
nov	22,4	4,3	61,5	1,8	0,806	2,7	2,4	8,4	30
dec	22,4	2,9	67,1	6,7	0,952	3,0	2,2	17,3	31
jän	27,1	2,7	83,0	8,8	0,747	3,1	2,4	16,1	31
feb	24,2	1,4	72,5	7,0	0,564	3,0	3,0	1,0	29
mars	23,2	2,4	67,1	18,9	0,580	2,9	4,6	-38,8	31
april	20,3	2,2	58,5	9,4	0,440	2,9	1,8	21,0	30
maj	14,4	2,7	40,9	24,6	0,567	2,7	2,4	4,8	24

Anm. Uppvärmningen avstängd fr o m 24 maj.

EX medelvärde av radiator-effekten  
 EY medelvärde av differensen mellan inne- och utetemperatur  
 SX, SY standardavvikelse  
 RXY korrelationskoefficient  
 K1, K2 konstanter  
 L2 konstant

TAB. 5:4 Bollnäs. Tabell över totala värmebehovet och varmvattenbehovet i hus B, Framnäsområdet i kWh per månad samt varmvattenbehovets relation i procent till det totala värmebehovet, medel- resp maxvärden per lägenhet och dygn under olika månader samt veckodag då respektive månads maximala dygnsvärde registrerades.

Månad	Totalt värmebehov kWh	Varmvatten				
		kWh	% av totalt värmebehov kWh	kWh/igh och dygn medelvärde	kWh/igh och dygn maxvärde	Veckodag
Sept 71	15 236	5 409	35,5	6,5	12,1	s
Okt 71	29 526	8 803	29,8	10,1	13,4	f
Nov 71	41 299	9 244	22,4	11,0	13,3	f
Dec 71	40 183	9 734	24,2	11,3	14,4	l
Jan 72	49 307	10 240	20,8	11,8	15,3	l
Febr 72	39 126	9 474	24,2	11,6	14,7	l
Mars 72	35 025	10 432	29,8	12,1	14,7	to
Apr 72	29 513	9 194	31,2	10,9	14,7	s
Maj 72	21 842	9 089	41,5	10,4	12,7	f
Juni 72	14 488	8 063	55,6	9,6	14,0	to
Juli 72	10 352	5 711	55,2	6,6	10,2	o
Aug 72	13 879	7 532	54,2	8,7	10,5	l
Hela året	341 040	103 040	30,2	10,1	15,3	

Anm. Värmebehoven innehåller vattenvärmarens isoleringsförluster.

TAB. 5:5 Bollnäs. Varmvattenförbrukningen i kWh per lägenhet under november, februari, mars och juli samt dess fördelning mellan olika veckodagar.

Månad	Varmvatten							
	kWh/lgh totalvärde	kWh/lgh, fördelning veckodagar						
		Måndag	Tisdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lördag	Söndag
Nov 71	331,4	10,2	9,7	10,9	10,1	11,8	9,8	10,0
		10,3	11,9	9,6	11,3	12,3	12,3	11,8
		10,2	11,0	11,1	11,2	13,3	11,3	11,3
		10,0	11,9	11,6	11,4	11,8	9,7	11,4
		11,1	11,1					
Febr 72	341,3		11,0	11,6	11,2	14,4	14,7	11,4
		12,7	12,2	11,7	12,0	12,2	13,2	11,4
		11,9	11,0	13,0	10,7	12,1	14,7	10,5
		10,9	10,6	11,2	10,9	10,9	10,9	10,9
		10,9	10,5					
Mars 72	372,3			11,5	10,6	12,0	14,3	10,4
		10,9	11,0	10,2	13,0	12,1	13,3	12,4
		10,9	10,7	9,8	13,1	14,2	13,6	10,0
		10,6	11,9	12,6	12,5	13,4	12,9	12,8
		12,2	11,6	12,7	14,7	10,4		
Juli 72	204,2						6,6	6,5
		6,6	7,3	10,2	8,0	7,4	6,6	5,4
		5,2	5,5	5,5	6,9	7,8	6,3	5,3
		6,8	5,9	5,8	5,3	6,4	6,8	5,7
		5,7	8,0	6,5	7,3	7,4	7,1	5,8
		6,6						

TAB. 5:6 Tensta. Tabell över totala värmebehovet och varmvattenbehovet i hus 42, kv Stadinge, i kWh per månad samt varmvattenbehovets relation i procent till det totala värmebehovet, medel- resp maxvärden per lägenhet och dygn under olika månader samt veckodag då respektive månads maximala dygnsvärde registrerades.

Månad	Totalt värmebehov kWh	Varmvatten				
		kWh	% av totalt värmebehov kWh	kWh/lgh och dygn medelvärde	kWh/lgh och dygn maxvärde	Veckodag
Sept 71	47 356	9 320	19,7	9,5	13	s
Okt 71	63 645	11 851	18,6	10,9	15	s
Nov 71	79 168	13 952	17,6	13,3	19,3	s
Dec 71	94 089	14 810	15,8	13,6	17,7	f <sup>x)</sup>
Jan 72	108 826	15 378	14,1	14,1	18,4	s
Febr 72	89 578	14 329	16,0	14,1	19,1	l
Mars 72	90 395	15 184	16,8	14,0	17,2	l
Apr 72	78 090	13 968	18,0	13,3	17,7	s
Maj 72	49 073	9 650	18,5	8,9	12,7	m
Juni 72	15 494	8 995	57,8	8,5	13,2	o
Juli 72	7 873	7 873	100,0	7,2	10,3	ti
Aug 72	10 548	9 478	89,8	8,7	12,1	s
Hela året	733 130	144 630	19,7	11,3	19,3	

x) julafton

TAB. 5:7 Tensta. Varmvattenförbrukningen i kWh per lägenhet under november, januari, februari, juni och augusti samt dess fördelning mellan olika veckodagar.

Månad	Varmvatten							
	kWh/lgh totalvärde	kWh/lgh, fördelning veckodagar						
		Måndag	Tisdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lördag	Söndag
Nov 71	399,8	10,5	11,3	11,5	11,9	11,9	13,5	15,1
		11,8	12,3	11,4	13,0	11,2	14,8	14,4
		11,8	11,4	11,6	13,0	12,0	17,3	19,3
		13,3	13,4	14,6	14,0	12,3	17,1	16,6
		13,8	13,7					
Jan 72	439,3						10,8	13,4
		13,2	12,3	12,9	13,3	12,0	15,3	15,7
		13,7	14,1	14,0	13,5	13,5	16,5	18,1
		13,3	11,5	14,6	13,5	14,5	16,6	18,4
		14,6	12,9	15,6	14,4	12,5	14,5	17,1
	13,0							
Febr 72	409,4		13,4	15,3	13,6	14,5	18,2	16,2
		13,3	12,0	12,7	13,3	12,4	19,1	15,2
		13,4	14,7	13,4	13,6	12,0	15,6	17,0
		13,3	12,4	14,4	12,9	11,5	15,7	15,8
		12,4	12,1					
Juni 72	282,7				12,8	8,8	8,3	8,1
		8,1	8,1	13,2	10,0	9,3	10,7	12,7
		8,8	8,3	8,1	8,1	8,1	10,2	12,3
		8,5	10,3	9,3	10,5	7,6	7,2	10,4
		8,2	9,9	8,1	8,6	10,1		
Aug 72	281,5		6,7	6,6	6,6	6,6	8,1	12,1
		10,1	8,7	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
		8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
		8,9	8,9	9,0	9,5	9,7	10,6	9,7
		10,6	10,5	10,9	10,9			



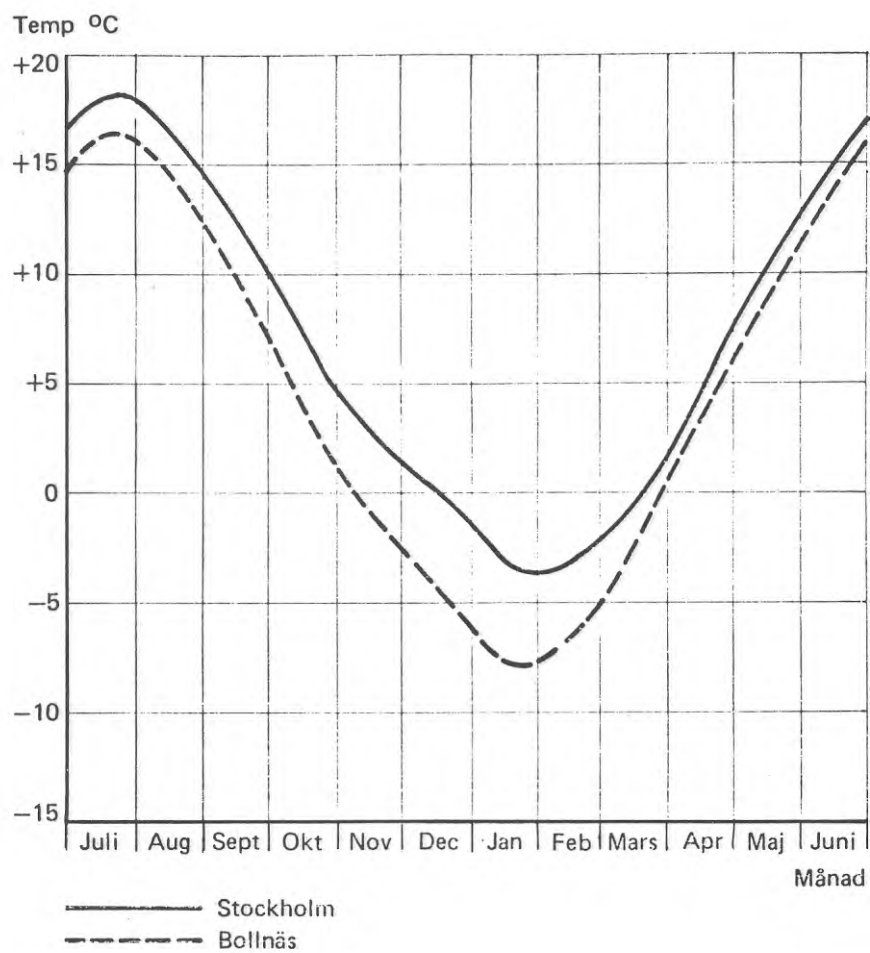


FIG. 5:1 Kurva över den normala dygnsmedeltemperaturen mellan åren 1931-1960 i Stockholm och Bollnäs.

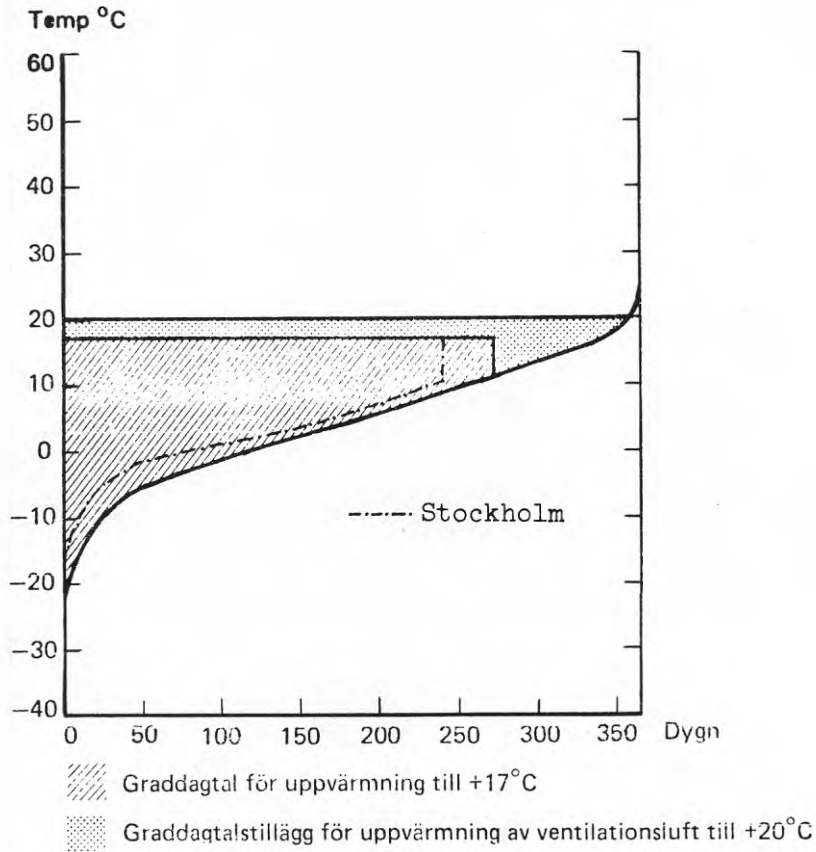


FIG. 5:2 Bollnäs. Varaktighetskurva för dygnsmedelutetempe-  
raturen. Normalårsvärden.

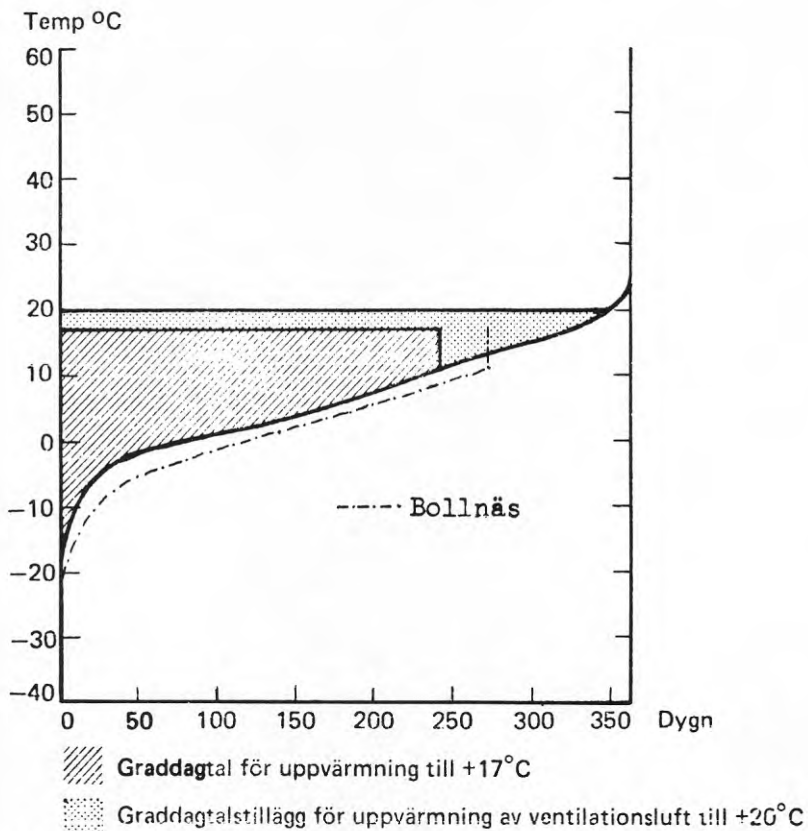


FIG. 5:3 Stockholm. Varaktighetskurva för dygnsmedelutetempe-  
raturen. Normalårsvärden.

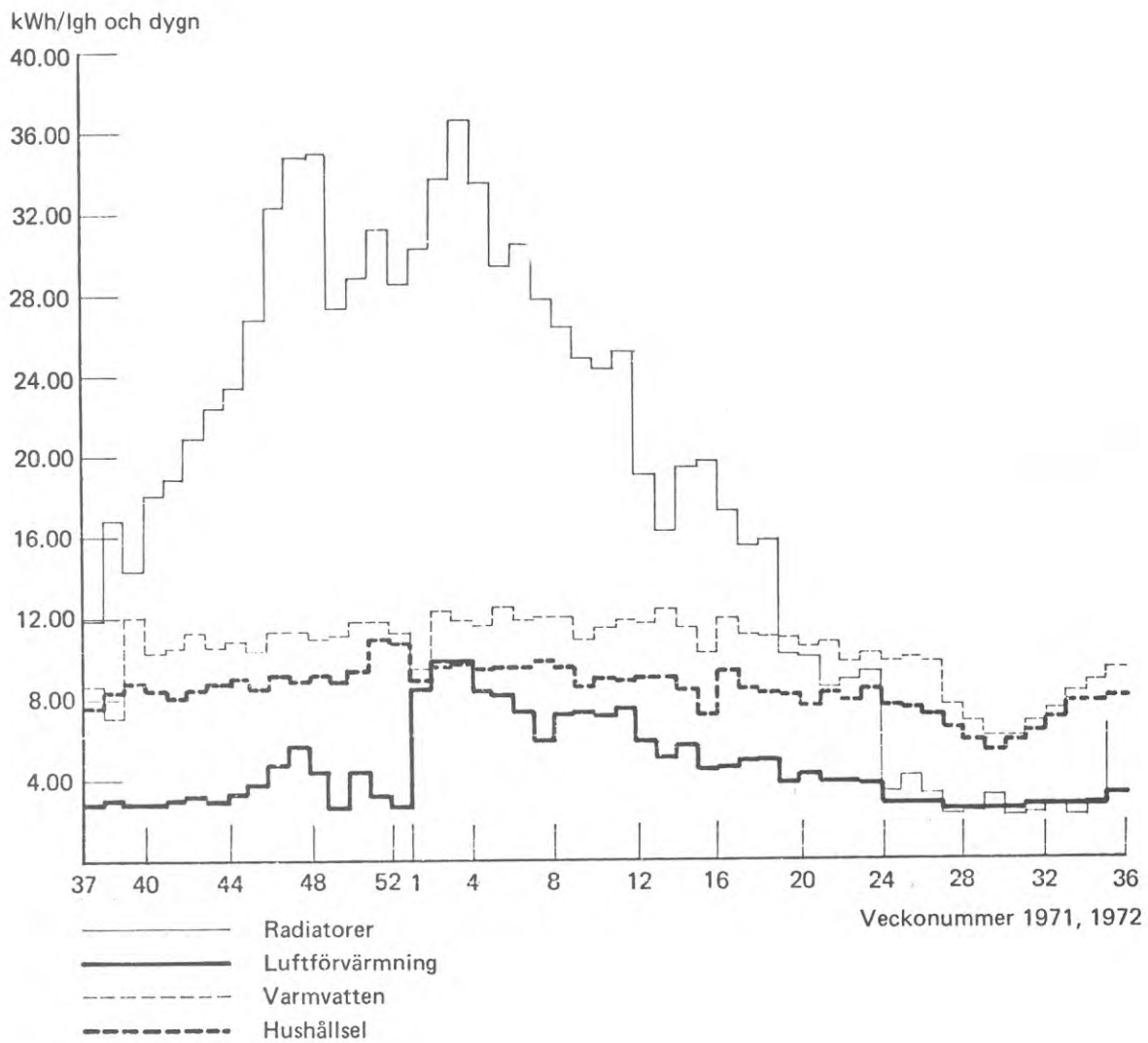


FIG. 5:4 Bollnäs. Specifika energibehovens variation redovisad som dygnsmedelförbrukning för olika veckor under året i kWh per lägenhet.

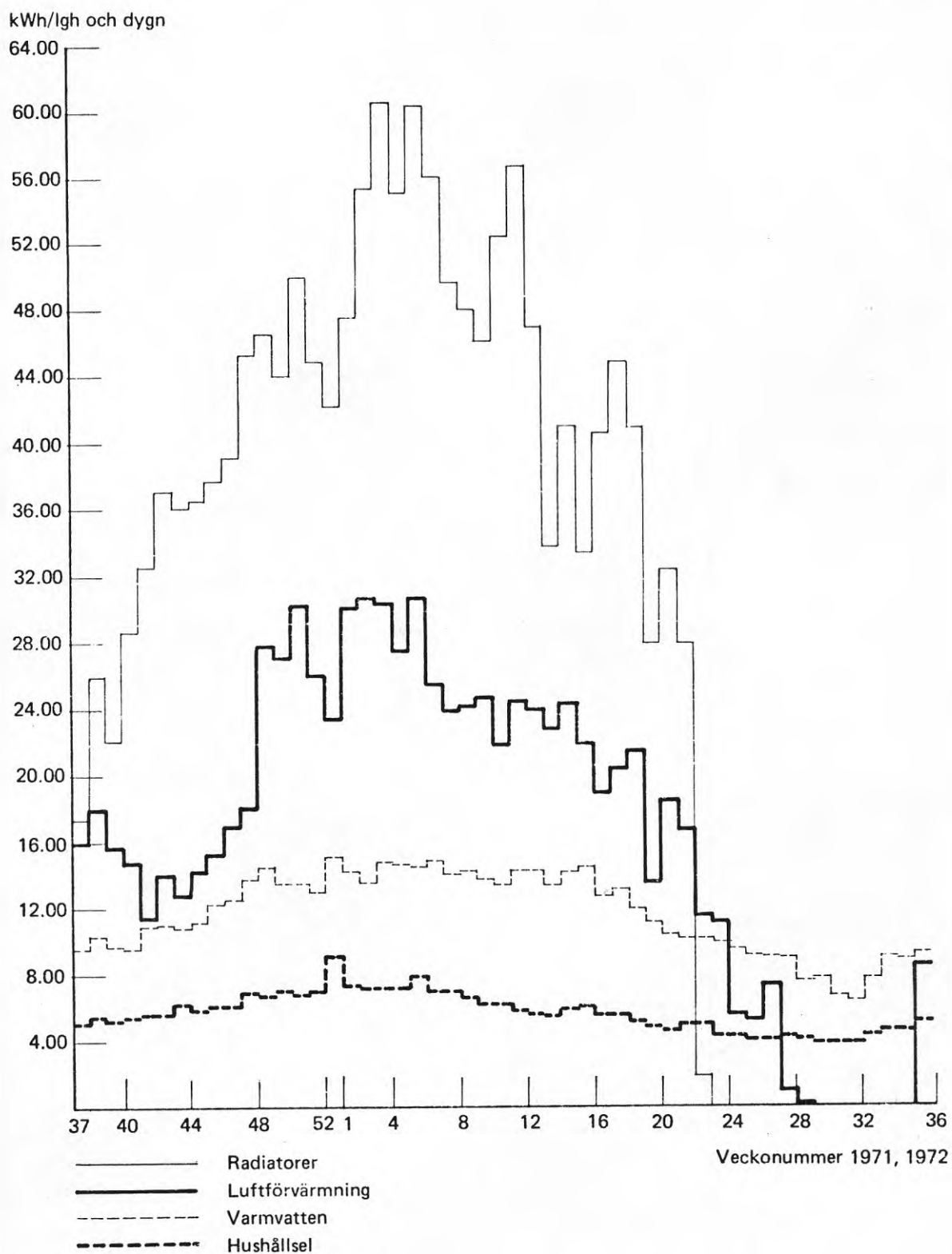


FIG. 5:5 Tensta. Specifika energibehovens variation redovisad som dygnsmedelförbrukning för olika veckor under året i kWh per lägenhet.

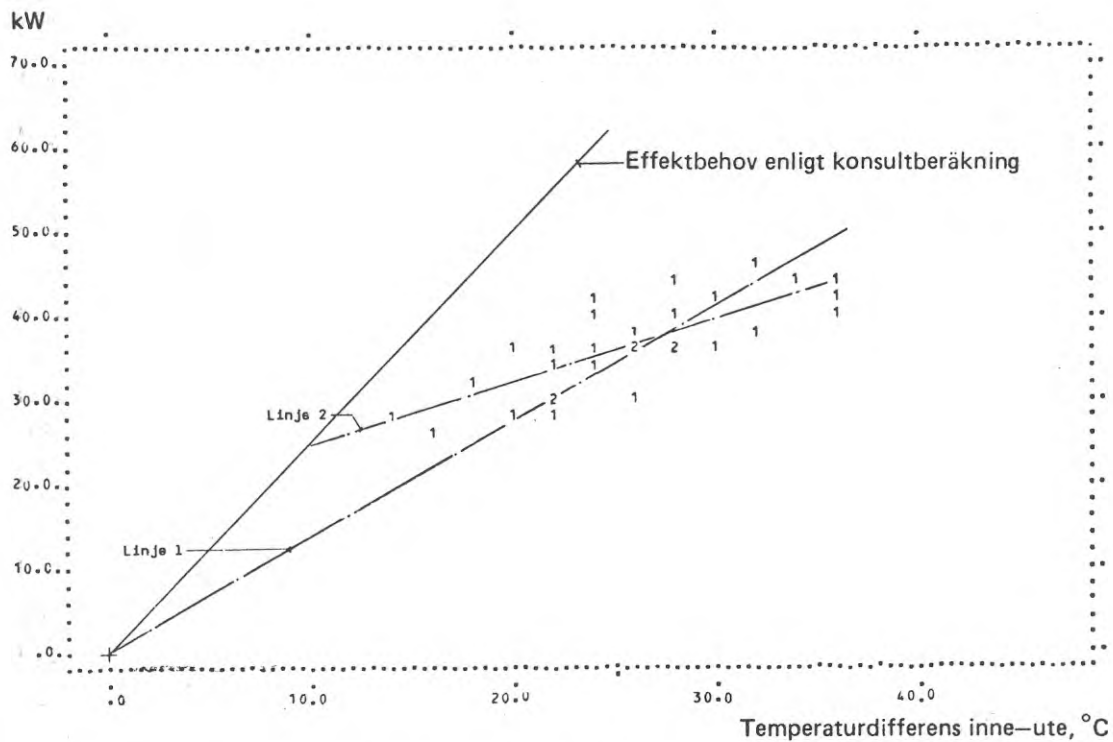


FIG. 5:6 Bollnäs. Effektbehovet för radiatorer som funktion av temperaturdifferensen inne-ute. Dygnsmedelvärden för januari månad 1972.

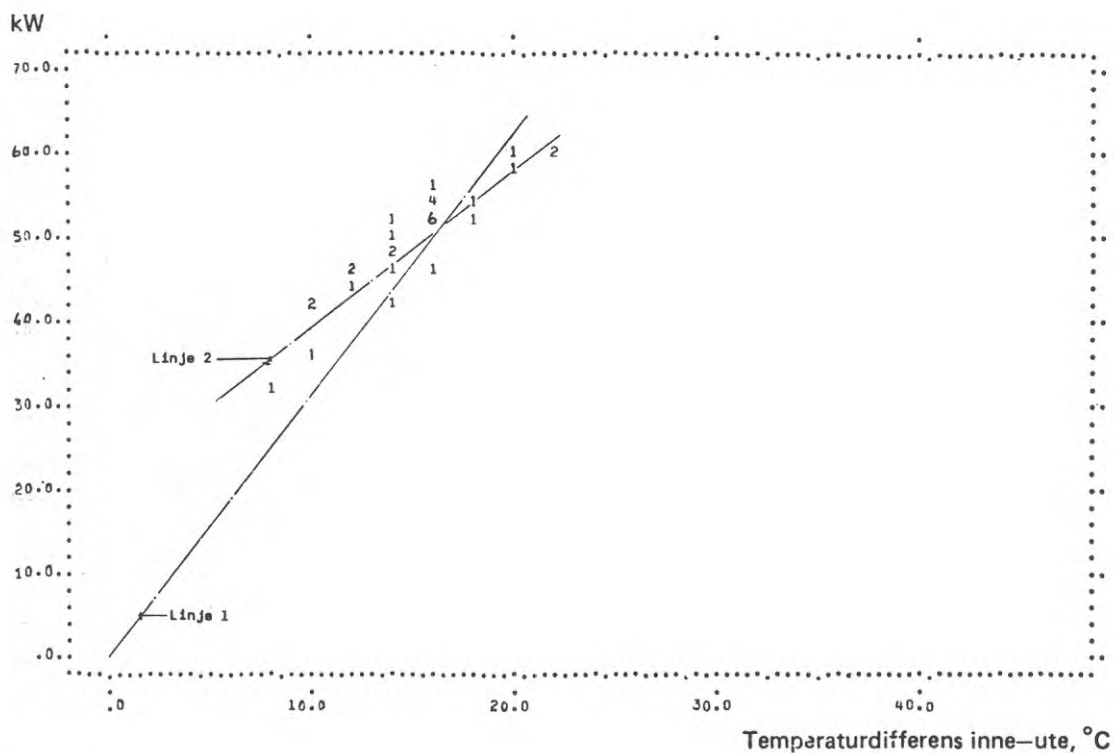


FIG. 5:7 Tensta. Effektbehovet för radiatorer som funktion av temperaturdifferensen inne-ute. Dygnsmedelvärden för oktober månad 1971.



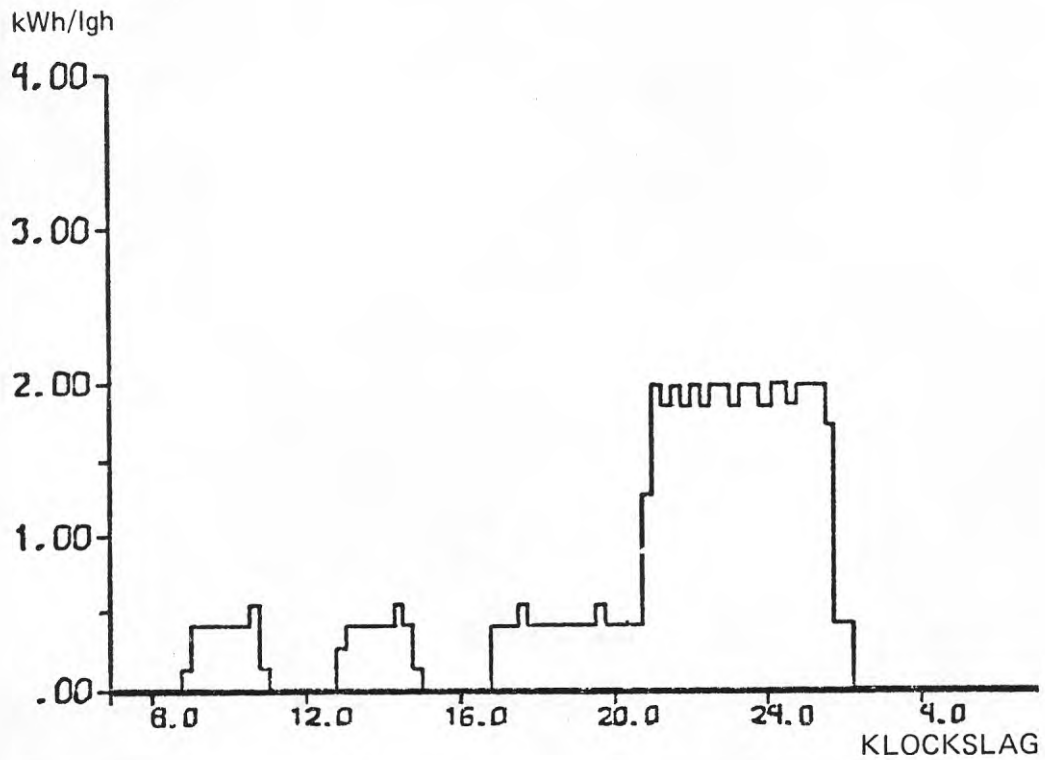


FIG. 5:8 Bollnäs. Dygn med största energibehovet för varmvatten under november månad 1971 (Fredag).

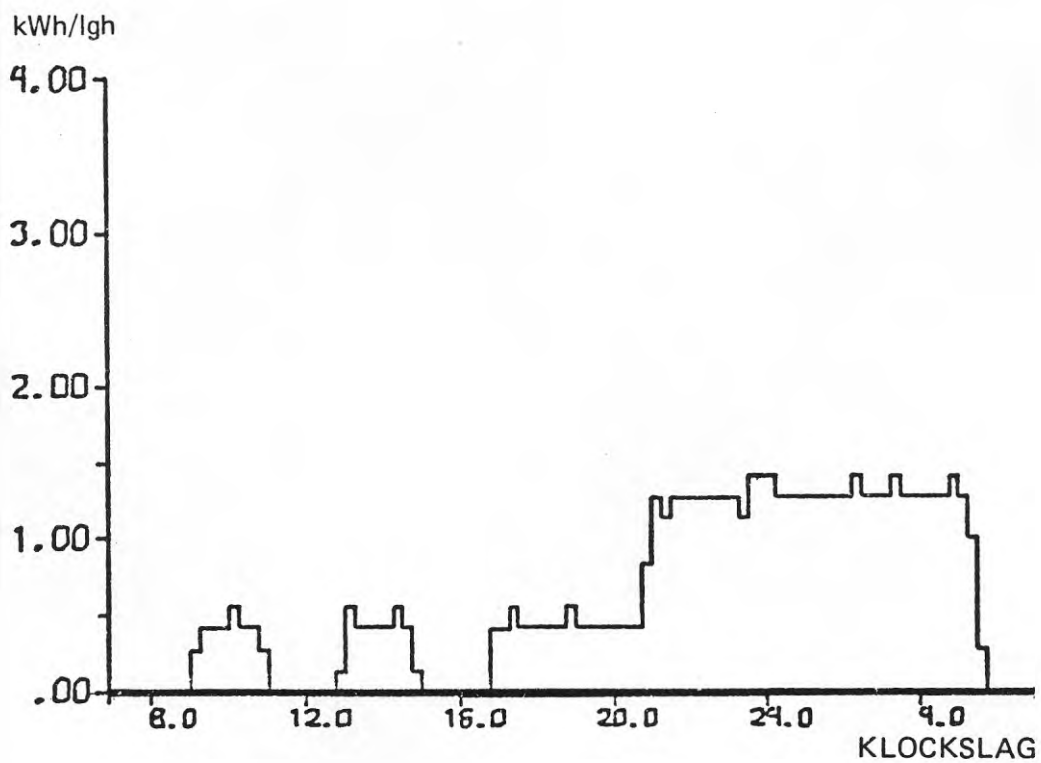


FIG. 5:9 Bollnäs. Dygn med största energibehovet för varmvatten under februari månad 1972 (Lördag).

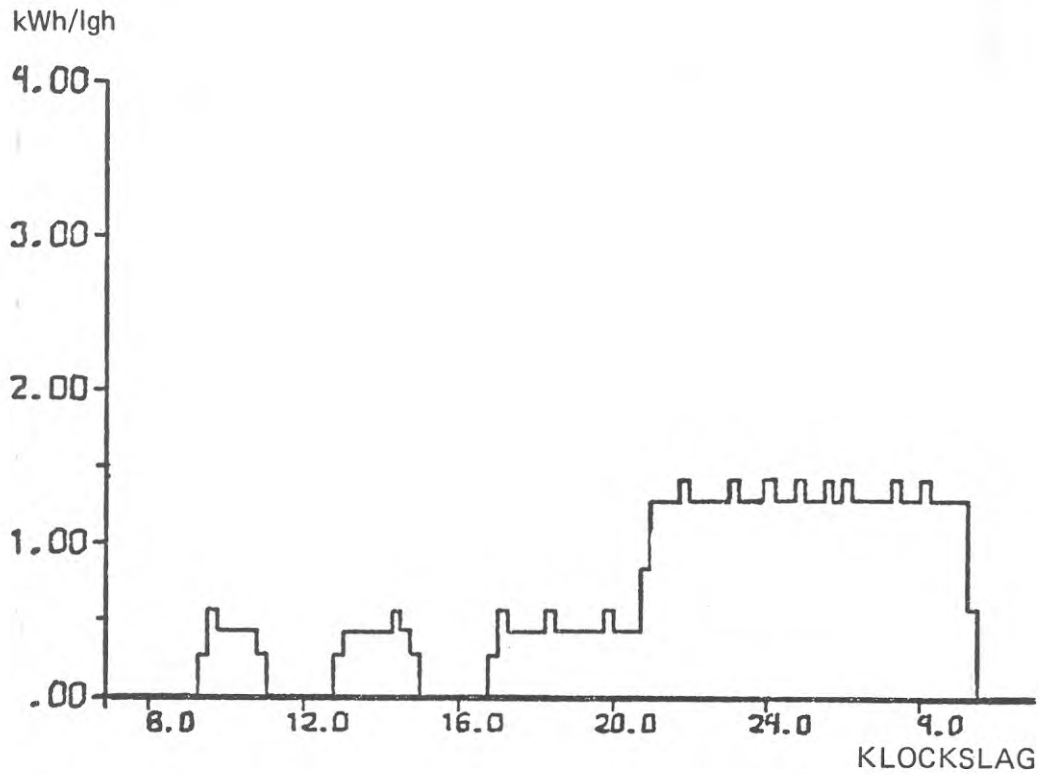


FIG. 5:10 Bollnäs. Dagn med största energibehovet för varmvatten under mars månad 1972 (Lördag).

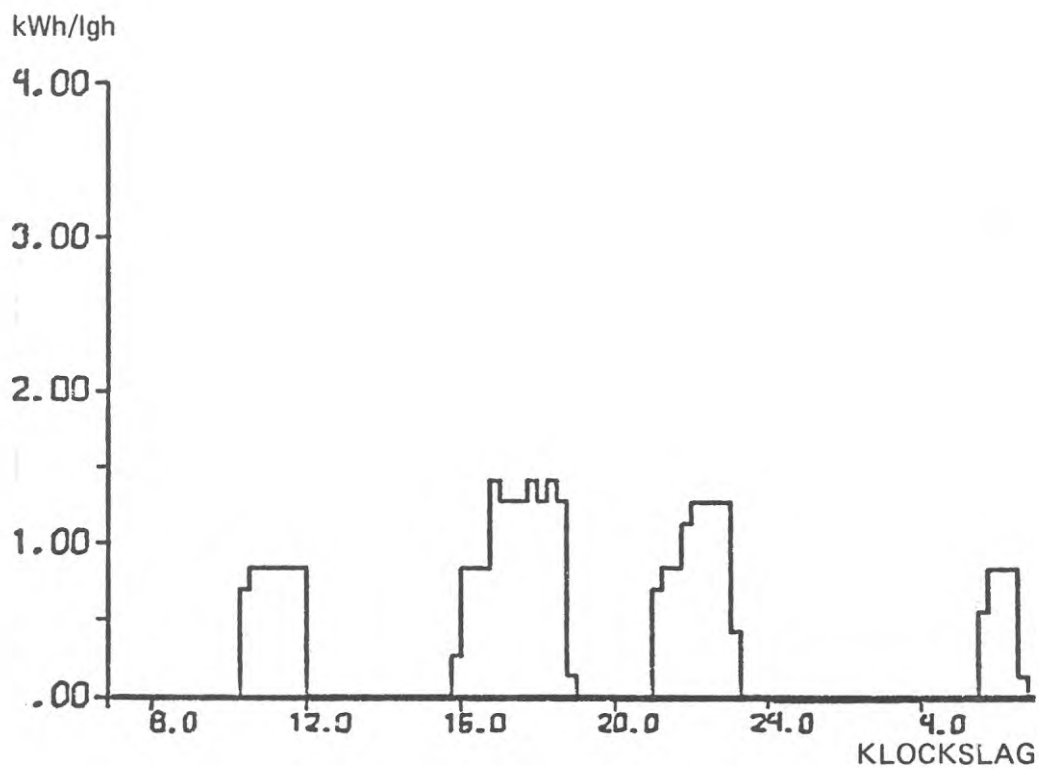


FIG. 5:11 Bollnäs. Dagn med största energibehovet för varmvatten under juli månad 1972 (Onsdag).

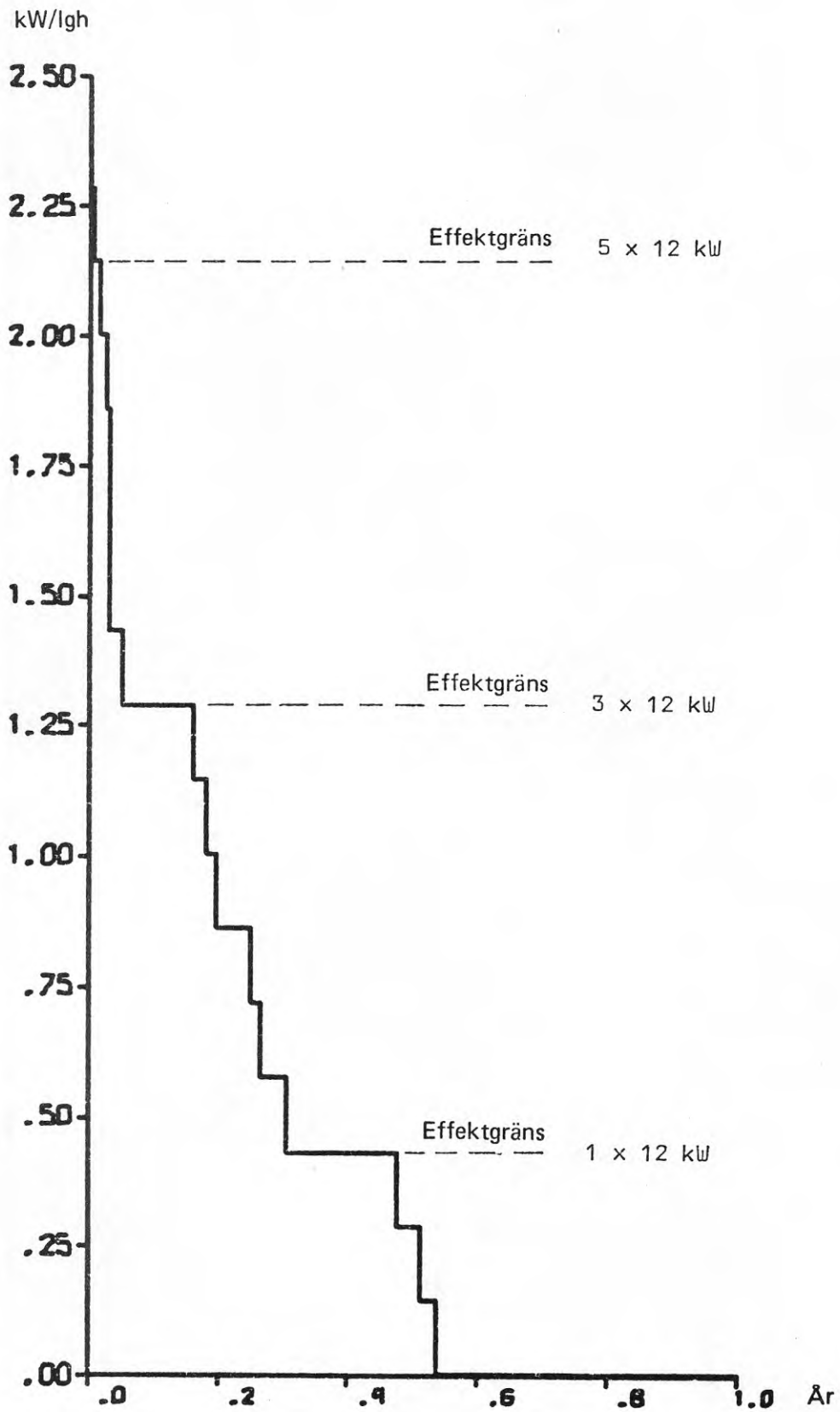


FIG. 5:12 Bollnäs. Varaktighetskurva för varmvatteneffekt i kW per lägenhet under året. (Uppgifter om aktuella inkopplings-tider för olika effektgränser återfinnes i TAB. 4:2).

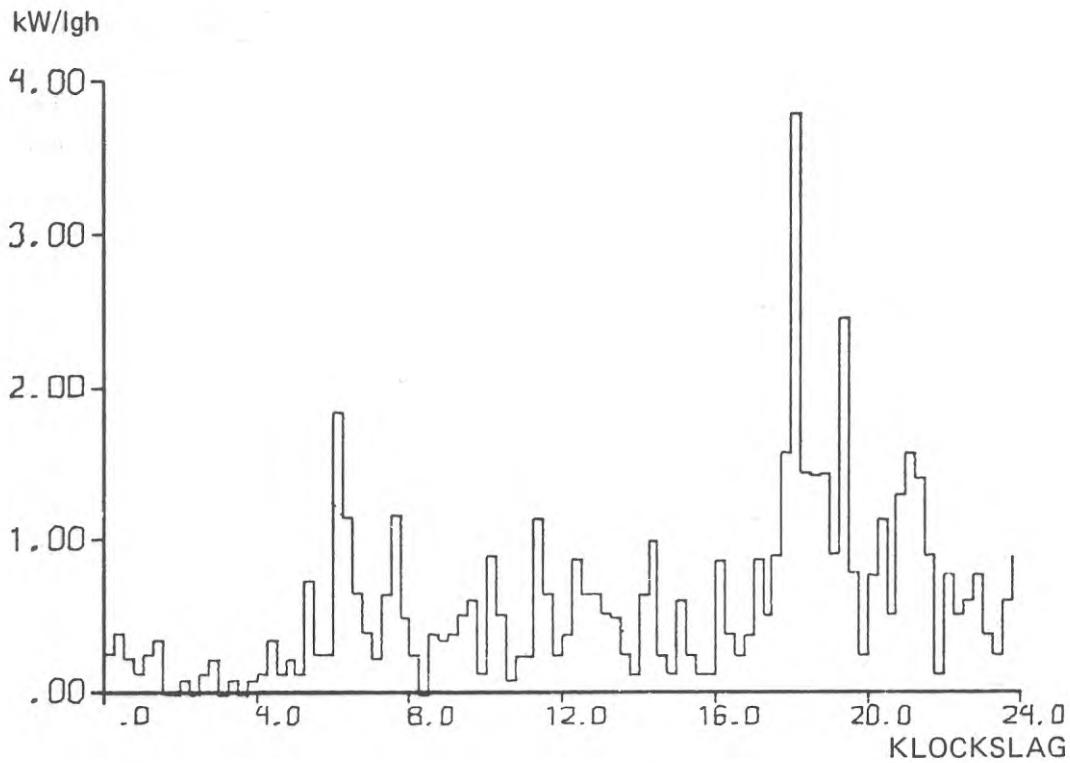


FIG. 5:13 Tensta. Dygn med största registrerad kvartssmedeleffekt för varmvatten under november månad 1971. (Tisdag).

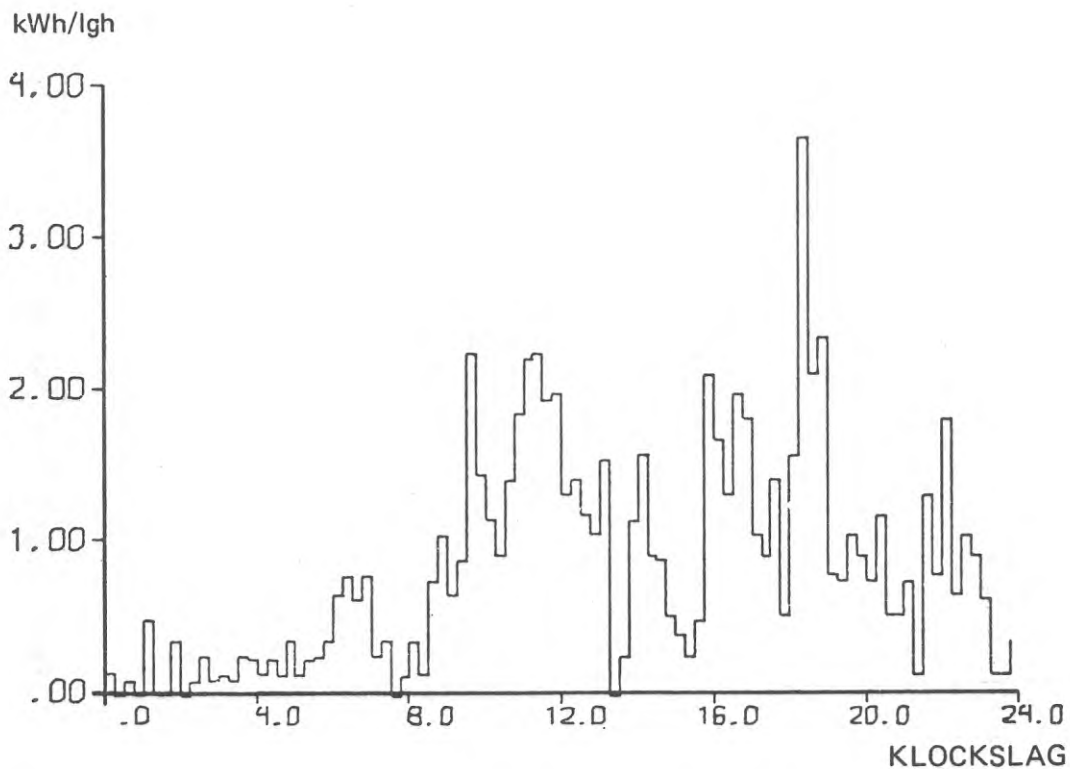


FIG. 5:14 Tensta. Dygn med största energibehovet för varmvatten under november månad 1971. (Söndag).

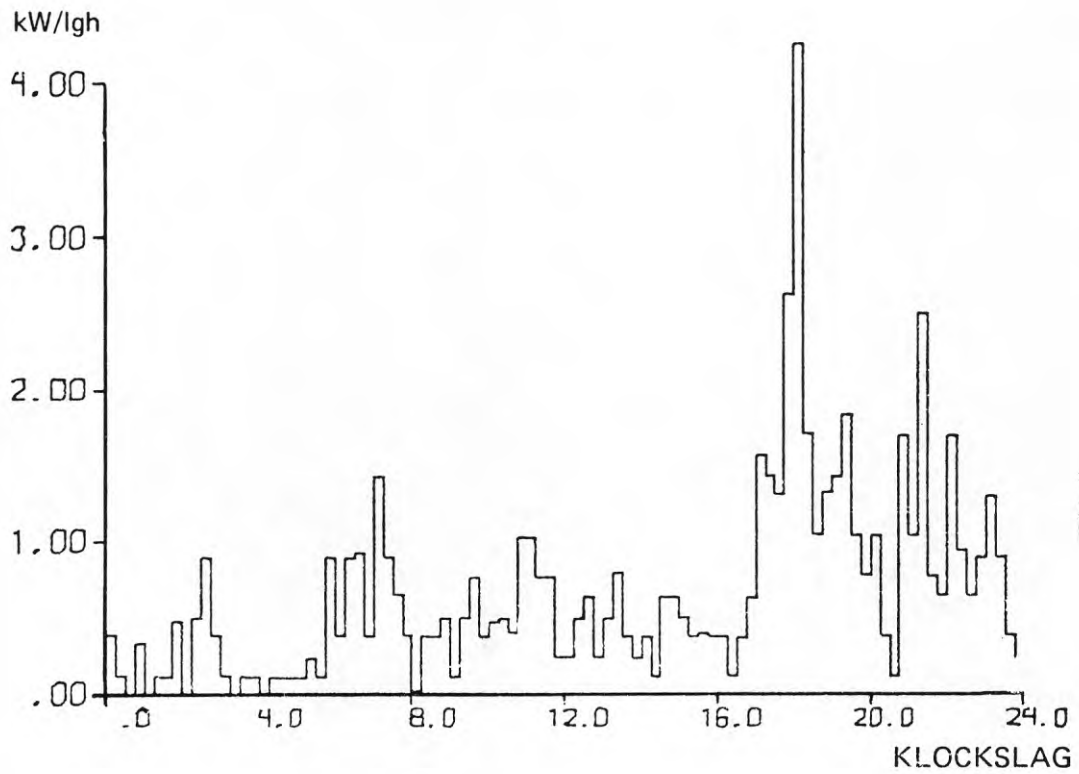


FIG. 5:15 Tensta. Dygn med största registrerad kvartsmedeleffekt för varmvatten under januari månad 1972. (Onsdag)

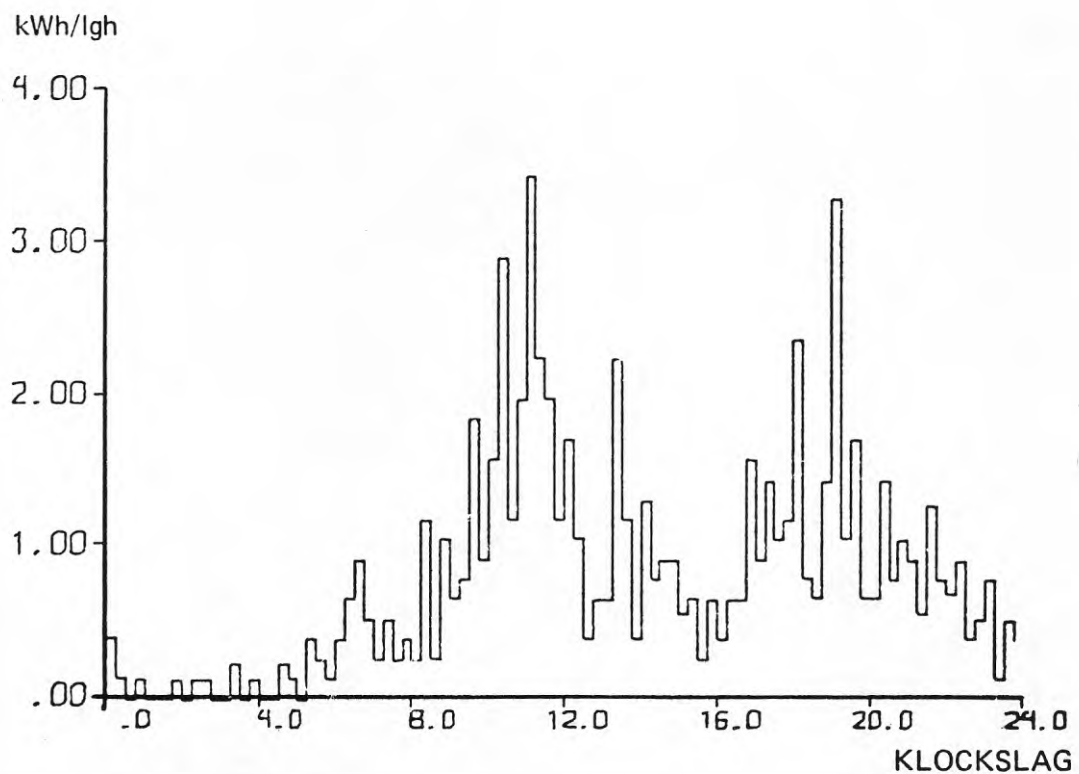


FIG. 5:16 Tensta. Dygn med största energibehovet för varmvatten under januari månad 1972. (Söndag)



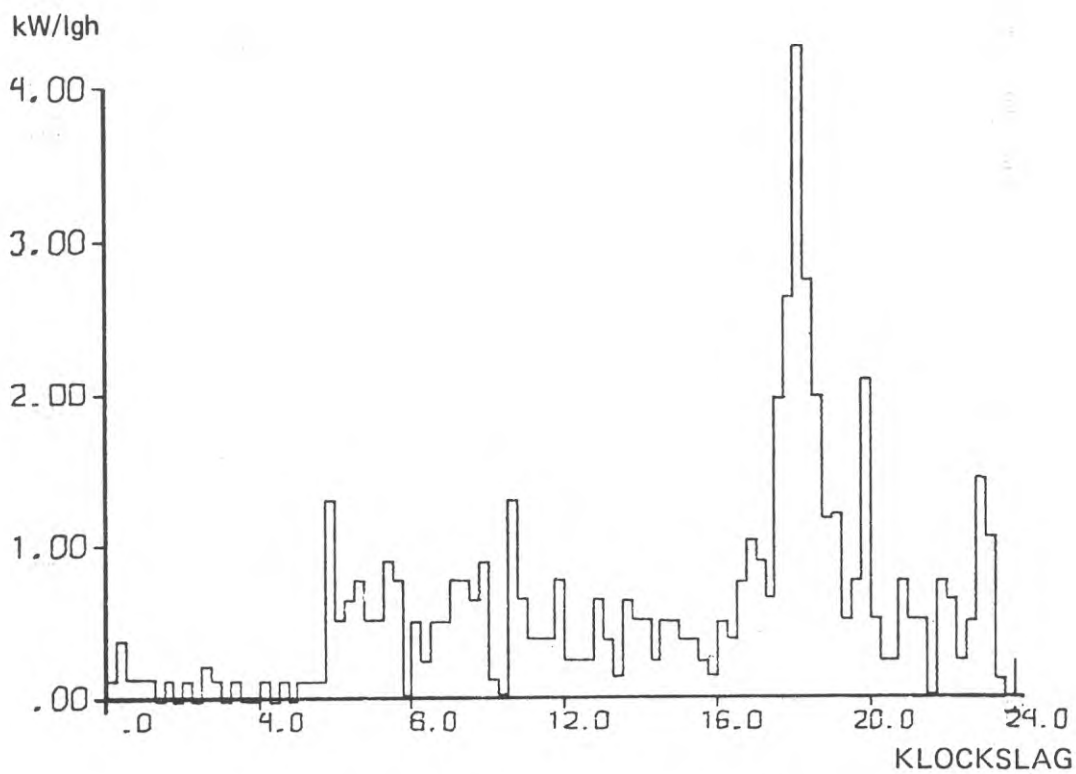


FIG. 5:17 Tensta. Dygn med största registrerade kvartsmedeleffekt för varmvatten under februari månad 1972 (Torsdag).

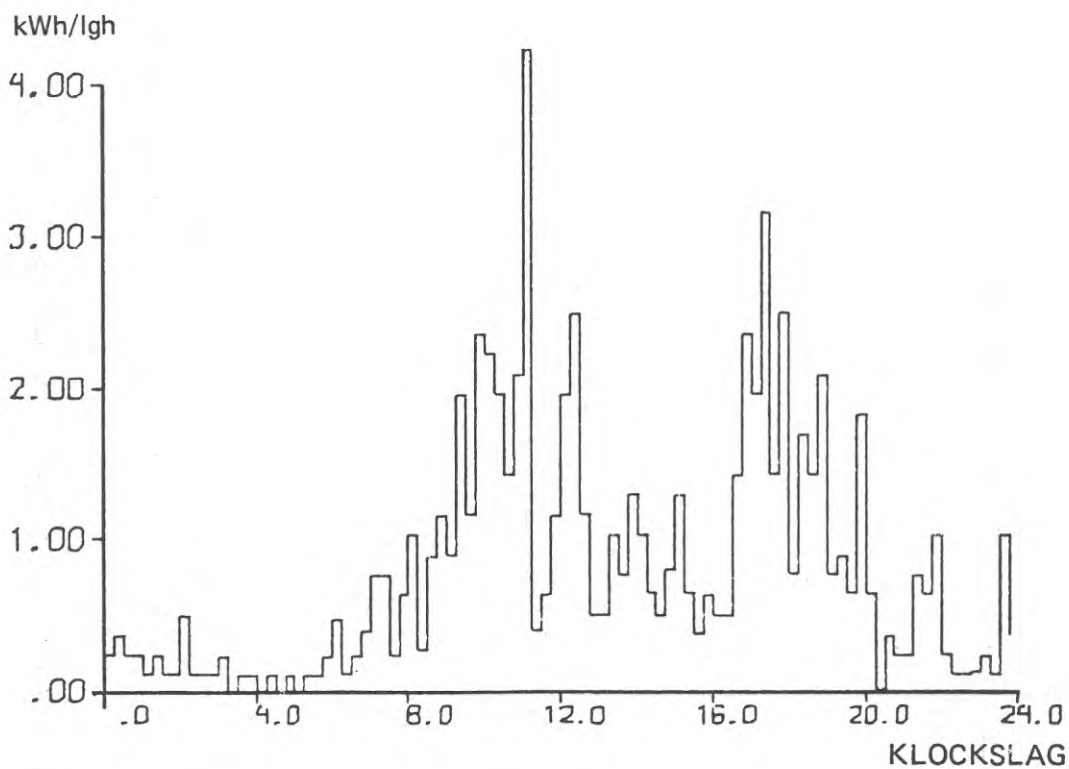


FIG. 5:18 Tensta. Dygn med största energibehovet för varmvatten under februari månad 1972 (Lördag).

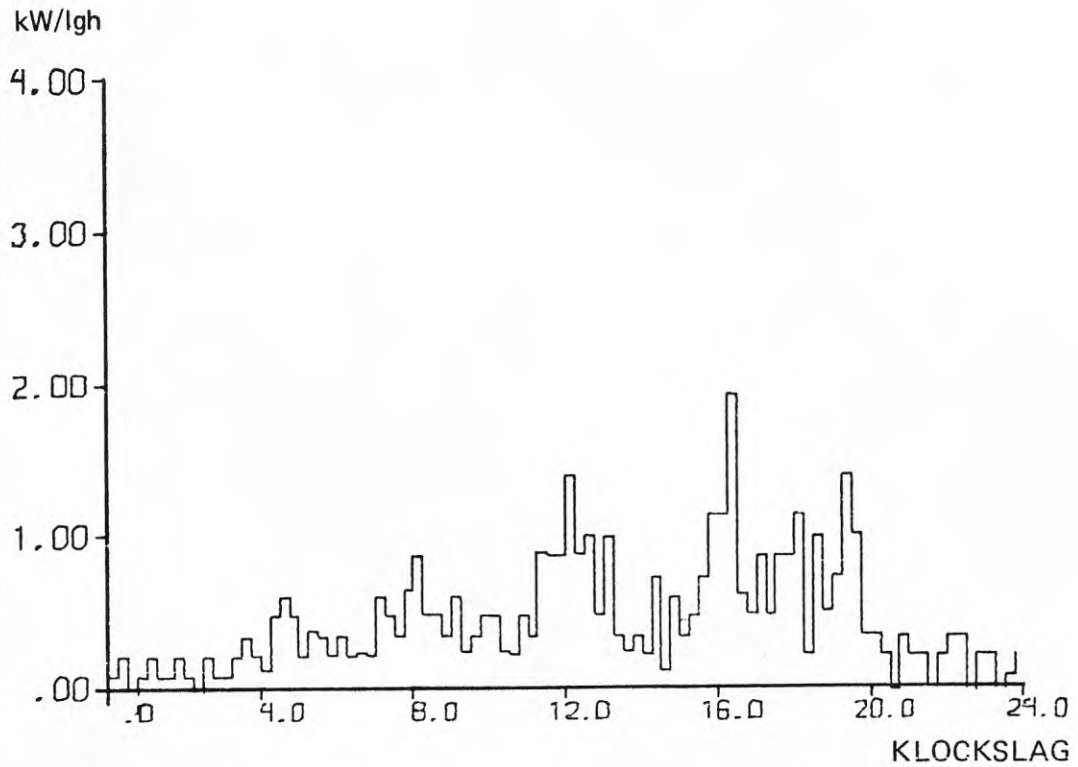


FIG. 5:19 Tensta. Dygn med största registrerade kvartsmedel-effekt för varmvatten under juni månad 1972 (Lördag).

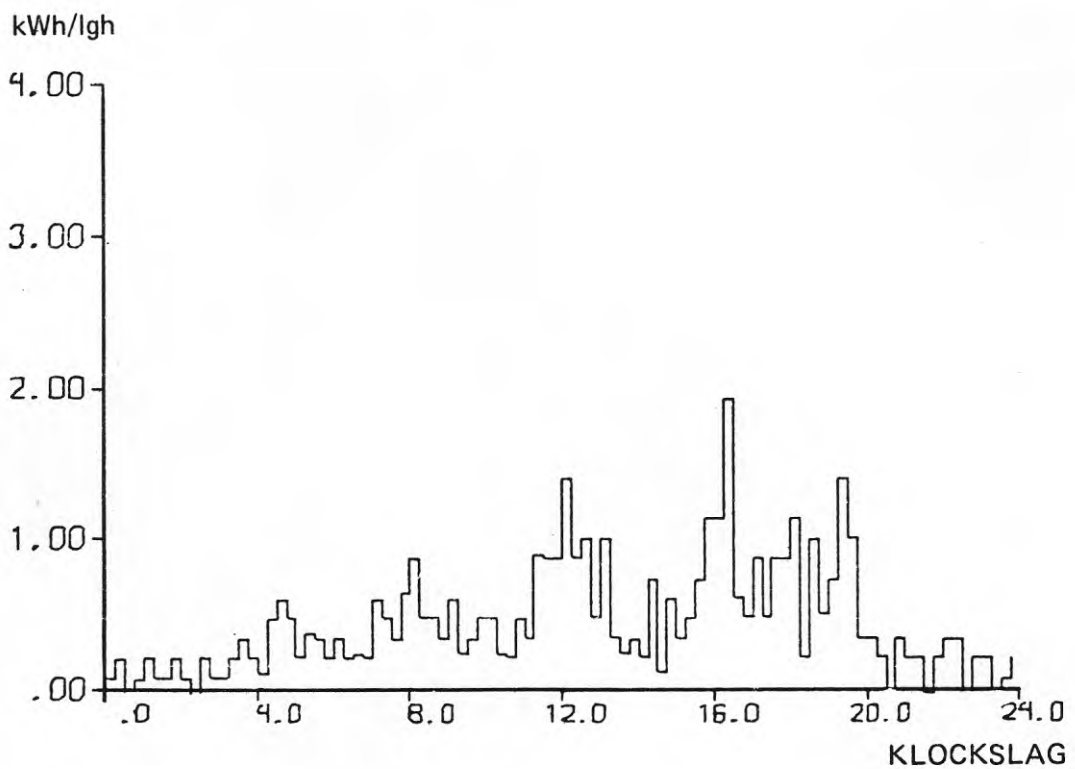


FIG. 5:20 Tensta. Dygn med största energibehovet för varmvatten under juni månad 1972 (Onsdag).

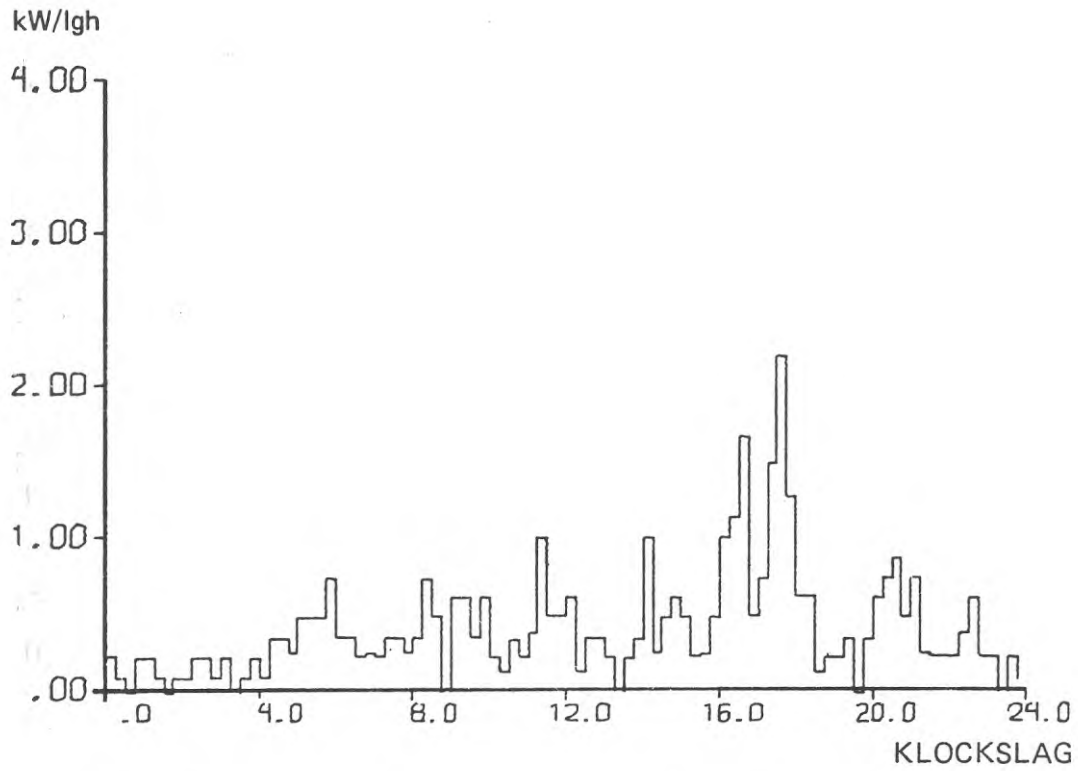


FIG. 5:21 Tensta. Dygn med största registrerade kvartsmedel-effekt för varmvatten under augusti månad 1972 (Tisdag).

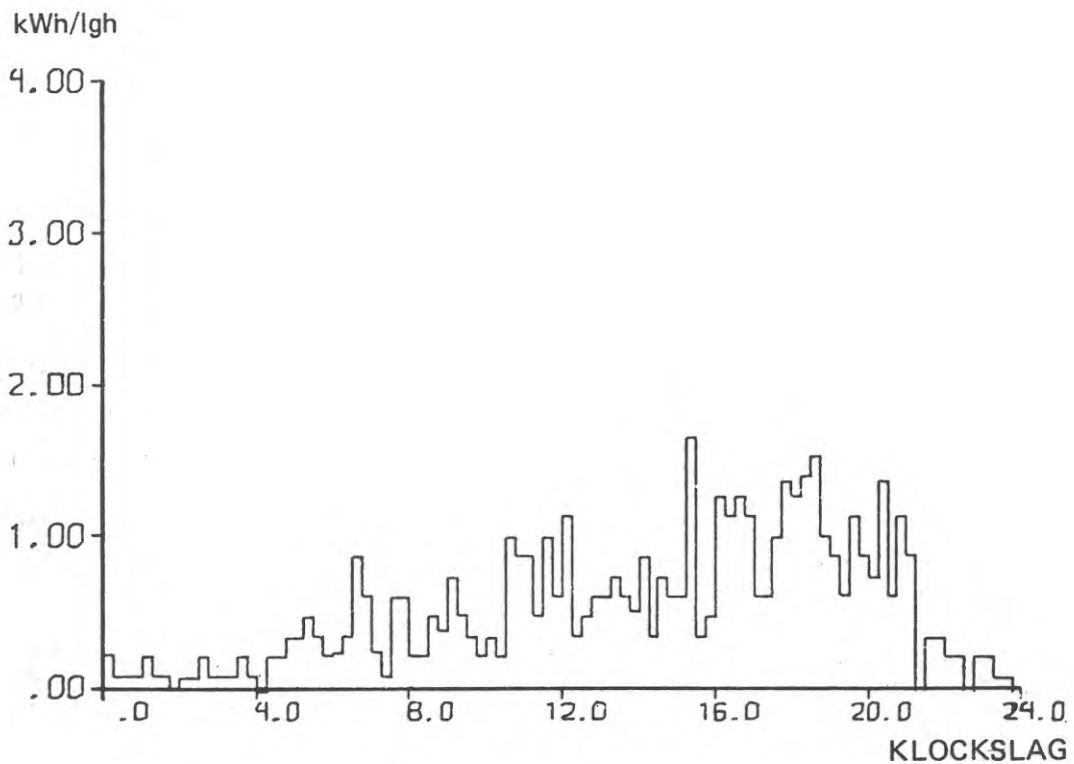


FIG. 5:22 Tensta. Dygn med största energibehovet för varmvatten under augusti månad 1972 (Söndag).

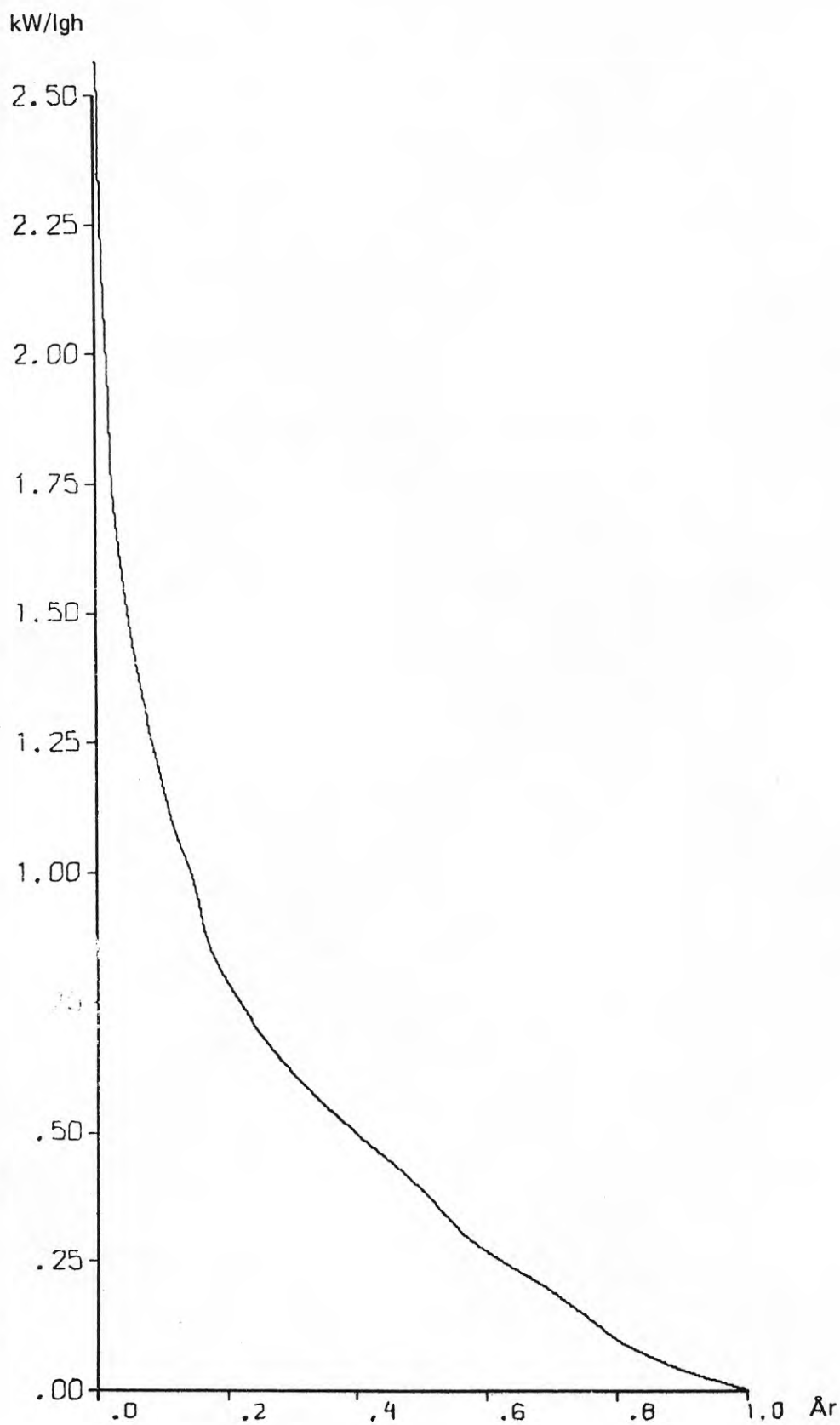


FIG. 5:23 Tensta. Varaktighetskurva för varmvatteneffekt i kW per lägenhet under året.

## 6 STATISKA MODELLER FÖR UPPVÄRMNING

## 6.1 Inledning

Kan uppvärmningseffekten beskrivas med olika klimatfaktorer såsom innetemperatur, utetemperatur, solstrålning och vind och med andra faktorer såsom hushållsel? En modell eller ett samband för detta skulle man kunna använda till följande:

- Dimensionering av uppvärmningssystem
- Studier av dimensionerande uteklimat
- Studier av utnyttjande av gratisvärme för uppvärmning
- Studier av korttidsbortkoppling av uppvärmning till förmån för tappvarmvatten
- Korttidsprognoser för fjärrvärme

Ett hus och dess uppvärmningssystem kan betraktas som ett dynamiskt system. Husets tröghet eller värmemagasinerande förmåga kan verka utjämnande på uppvärmningseffekten. Trögheten är proportionellt mot transmissions- och ventilationsbehovet per grad inne- och utetemperaturskillnad. Trögheten innebär att uppvärmningseffekten ej beror endast på samtidiga faktorer.

För att bestämma en modell eller ett samband mellan uppvärmningseffekten och påverkande faktorer, kan reglersystemet betyda en hel del.

I Tensta styrs framledningstemperaturen och luftförvärmningen i stort sett proportionellt mot utetemperaturen. I Bollnäs är luftförvärmningen proportionell mot utetemperaturen, medan alla elradiatorer i första hand styrs på innetemperaturen. Innetemperaturen påverkas till viss del direkt via fönster och långsammare via fasadväggar. Det finns därför starka skäl att anta att en statistisk modell kan beskriva den uppmätta uppvärmningseffekten som en linjär kombination av olika klimatfaktorer och andra faktorer såsom t ex hushållsel. En statistisk linjär modell har ingen tröghet alls.

Statiska modeller eller samband för att beskriva hur uppvärmningseffekten för ett hus påverkas av inne- utetemperaturdifferensen finns. Däremot har sällan solstrålning och vind uppmätts. Här skall återges ett försök att bestämma om det finns något samband med dessa tre klimatfaktorer och uppvärmningseffekten. Även inverkan av gratisvärme kommer att studeras.

I modellerna förutsätts det att anläggningen inte förändras t ex framledningstemperaturkurvor och flöden. Detta innefattar också manuell vädring. Vidare förutsätts att ingen programstyrning sker såsom nattsänkning eller morgonhöjning av framledningstemperaturen.

Dimensionerande utetemperaturen (DUT) är  $-22^{\circ}\text{C}$  för Bollnäs och  $-20^{\circ}\text{C}$  för Tensta. Dimensionerande innetemperaturen (DIT) är  $20^{\circ}\text{C}$  i båda fallen. Värmeeffektbehoven för Bollnäs och Tensta projekterades till följande vid 42 respektive 40 graders temperaturskillnad:



	Bollnäs	Tensta
Transmission	105.0 kW	130.0 kW
Ventilation	11.6 kW	57.7 kW
Totalt	116.6 kW	187.5 kW

Ett motsvarande värmebehovstal blir få följande:

Bollnäs	2.76 kW/°C
Tensta	4.68 kW/°C

Vid bearbetningen har tim- och dygnsmedelvärden använts och antalet timmedelvärden har varit 774, 774 och 720 för oktober, januari respektive april.

Två olika uppvärmningseffekter har använts, nämligen direkt uppvärmningseffekt, som är summan av luftförvärmningseffekt och radiatorseffekt och summan av direkt och indirekt uppvärmningseffekt, där indirekt utgörs av gratisvärme såsom hushållsel och fastighetsel. Tappvarmvatten ingår ej här. Med effekt avses här medeleffekt i kW under 1 eller 24 timmar.

För att beskriva klimatets påverkan har följande variabler använts:

inne-utetemperaturdifferens i °C  
 solstrålning i kW per m<sup>2</sup>  
 vind per sekund  
 utetemperatur °C

## 6.2 Modeller

Avsikten med modellerna har varit att på ett enkelt sätt försöka beskriva hur uppvärmningseffekten i ett hus påverkas av olika klimatfaktorer. En tänkbar ekvation som beskriver detta kan vara följande:

$$P(t) = a_1 \Delta t(t) + a_2 q_s(t) + a_3 v(t) + a_4 u(t) + a_5$$

Här är

$P(t)$  medeluppvärmningseffekten i kW för tidsintervallet  $t$   
 $\Delta t(t)$  inne/utetemperaturdifferensen i °C vid tidpunkten  $t$   
 $q_s(t)$  medelsolstrålningen i kW per m<sup>2</sup> för tidsintervallet  $t$   
 $v(t)$  medelvindhastigheten i m per sekund för tidsintervallet  $t$   
 $u(t)$  utetemperaturen i °C vid tidpunkten  $t$ .

Modellens parametrar är konstanterna  $a_i$ , som anger hur mycket och med vilket tecken uppvärmningseffekten påverkas. Vilken påverkan som är störst beror på produkten mellan aktuell modellparameter  $a_i$  och klimatfaktorernas medelvärde.

Två olika uppvärmningseffekter har använts, nämligen enbart radiatorseffekt och luftförvärmningseffekt betecknad som  $P_d(t)$  (direkt) och denna plus hushållseffekt och fastighetsseffekt med beteckningen  $P_{di}(t)$  (direkt och indirekt). De fyra klimatfaktorerna framgår ovan.

Modeller för samma kombination av klimatfaktorer har använts för båda uppvärmningseffekterna. Detta för att kunna se om icke-uppvärmningseffekt kan tillgodoräknas som uppvärmningseffekt.

De kombinationer som har använts anges här i tabellform. I tabellen markerar "-" att motsvarande parameter har satts till noll dvs modellen använder ej de påverkande faktorer, som ovan nämnts.

Modell nr	Antal anpassade parametrar	Modellparametrar kombinationer
1	1	$a_1$ - - - -
2	2	$a_1$ $a_2$ - - -
3	2	$a_1$ - $a_3$ - -
4	3	$a_1$ $a_2$ $a_3$ - -
5	2	- - - $a_4$ $a_5$

Modellerna nr 1-4 avser att jämföra hur inne-utetemperaturdifferens, solstrålning och vind påverkar uppvärmningseffekten i ett hus.

I modellen nr 1 antar man att om inne-utetemperaturdifferensen är noll så är även uppvärmningseffekten noll. Detta behöver ej vara fallet. Ett sätt att undvika en sådan lösning är att använda sig av modell nr 5 i vilken man endast tar hänsyn till utetemperaturen och en konstant.

Modell nr 1 och nr 5 kan jämföras på följande sätt, om de antas vara identiska.

Modell 1

$$P(t) = a_1(i(t) - u(t))$$

$$P(t) = -a_1 u(t) + a_1 i(t)$$

Modell 5

$$P(t) = a_4 u(t) + a_5$$

Identifiering av parametrar ger att

$$a_4 = -a_1$$

$$a_5 = a_1 i(t)$$

eller

$$-\frac{a_5}{a_4} = i(t)$$

Detta innebär att  $a_1$  och  $-a_4$  skall motsvara värmebehovstalet och att kvoten  $-a_4/a_5$  skall motsvara en rimlig innetemperatur.

Ett sätt att förfina modellerna är att förskjuta klimatfaktorerna i förhållande till uppvärmningseffekten med avseende på tiden. Här ges många möjligheter att göra detta, eftersom olika klimatfaktorer kan tidsförskjutas olika mycket.

### 6.3 Modellanpassning

Med data från både Bollnäs och Tensta från månaderna oktober, januari och april har de tidigare beskrivna modellerna anpassats för de två olika uppvärmningseffekterna. Totalt kommer 46 olika modellanpassningar att redovisas.

Modellanpassningar har skett med minsta kvadratmetoden. Summan av kvadraten på skillnaden mellan uppmätt effekt och modellens effekt minimeras med denna metod.

Modellerna har anpassats till olika månader för att se eventuella skillnader för de olika faktorernas inverkan.

Modellerna har också anpassats till både timmedelvärden och dygnsmedelvärden. Detta för att kunna eliminera svårigheter med att beskriva dygnsvariationer.

För att kunna jämföra vilken modell som är bäst har rotmedelkvadraten för modellfelet  $e(t)$  angivits. Detta ger endast möjligheter till relativ-jämförelser, men genom att även ta med uppvärmningseffektens standardavvikelse kan man bedöma hur bra modellerna är.

Dessutom anges i TAB. 6:2 och 6:4 medelvärde och standardavvikelse för de uppmätta uppvärmningseffekterna  $P(t)$  under de olika tidsperioderna för Bollnäs och Tensta. I tabellerna har följande förkortningar använts:

$e_{rms}$  rotmedelkvadratfel (eng rootmeansquare)  
 std standardavvikelse  
 mv medelvärde

Tidsförskjutningar av klimatfaktorer har provats, men redovisas ej här. Detta gav som resultat att någon tidsförskjutning ej gav bättre resultat än ingen tidsförskjutning alls. Detta kan delvis förklaras med att luftförvärmning är proportionell mot utetemperaturen (Tensta) och att framledningstemperaturen till radiatorerna (Tensta) styrs proportionellt.

Då modellerna för effekten  $P_{di}(t)$  har varit klart sämre än modeller för effekten  $P_d(t)$  har endast de senare modellerna redovisats på följande sätt:

Tabell nr	Ort	Effekt	Modell nr	Medelvärde
6:1	Bollnäs	$P_d$	1-4	timmar
6:2	"	$P_d$	5	"
6:3	Tensta	$P_d$	1-4	"
6:4	"	$P_d$	5	"
6:5	Bollnäs	$P_d$	1-4	dygn
6:6	Tensta	$P_d$	1-4	"

Modell 5 har för uppvärmningseffekten  $P_d(t)$  simulerats för Bollnäs och Tensta och för månaden januari. De tre kurvorna som återges i FIG. 6:1 och 6:2 är uppifrån uppmätt uppvärmningseffekt  $P_d(t)$ , modellens uppvärmningseffekt  $P_{dm}(t)$  och nederst modellfelet  $P_d(t) - P_{dm}(t)$ . Tidsaxeln börjar här kl 19.00.

#### 6.4 Diskussion om modellernas användbarhet

För att kunna bedöma en modells användbarhet, kan några enkla allmänna bedömningsgrunder ges.

Modellfelets standardavvikelse och rotmedelkvadratfel kan jämföras med uppvärmningseffektens standardavvikelse. Ju mindre kvoten blir ju bättre kan man säga att modellen är. Om medelvärdet  $m$  för modellfelet är noll så sammanfaller standardavvikelse  $std$  och rotmedelkvadratfel  $rms$ . Följande samband gäller:

$$rms^2 = std^2 + m^2$$

Modellparametrarna bör anta rimliga värden (rätt tecken).

Modellparametrar från olika tidsperioder bör helst vara lika.

Hur data ser ut kan också ha en avgörande betydelse för att anpassa modellparametrar. Om uppvärmningseffekten och påverkansfaktorerna bara varierar obetydligt kring sina medelvärden, kan detta leda till numeriska problem.

##### Exempel

Antag att uppvärmningseffekten  $P(t) = 25$  kW och utetemperatur  $u(t) = 10^\circ\text{C}$  för alla tidpunkter  $t$ . Bestäm modellparametrarna  $a_4$  och  $a_5$  i modell 5.

$$P(t) = a_4 u(t) + a_5 \quad (1)$$

Detta är nu omöjligt då för alla tidpunkter ekv (1) är densamma

$$25 = a_4 \cdot 10 + a_5$$

Om effekten  $P(t)$  och utetemperatur  $u(t)$  endast avviker lite från sina medelvärden blir situationen nästan densamma. Modell 1 hade däremot gått att anpassa. Antag att innetemperaturen  $i(t) = 20^\circ\text{C}$  för alla tidpunkter  $t$ . Modellekvationen ger att

$$25 = a_1 (20 - 10)$$

$$a_1 = 2.5 \text{ kW}/^\circ\text{C}$$

##### 6.4.1 Modellerna 1-4, timmedelvärden

För både Bollnäs och Tensta finner man att inne-utetemperaturdifferensen räcker väl till. Endast marginella förbättringar kan uppnås med att ta med solstrålning och vind i modellerna. För Bollnäs gäller också att solparameterna  $a_2$  och vindparametern  $a_3$  byter tecken och varierar till belopp, vilket ytterligare understryker att dessa är olämpliga och obehövliga.

För Tensta däremot har solparametern  $a_2$  och vindparametern  $a_3$  rätt tecken, men skillnaden är stor mellan värdena för januari och april.

Inne-uteparametrarna  $a_1$  som motsvarar det totala värmebehovstalet varierar ej mycket från fall till fall. Viss variation med årstiden framgår.

Att solstrålningen inte medför någon markant förbättring kan bero på att inne-utetemperaturdifferensen beskriver solstrålningens inverkan. Solstrålningen har maximum omkring kl 12.00 medan inne-utetemperaturdifferensen har maximum omkring kl 15.00. Solstrålningens inverkan blir fördröjd via väggar, golv och tak, medan inne-utetemperaturdifferensens inverkan är mera direkt via luftförvärmning och fönster. Givetvis inverkar också husets orientering något på solens inverkan.

#### 6.4.2 Modell 5, timmedelvärden

Denna modell ger genomgående bättre resultat för både Bollnäs och Tensta för de båda uppvärmningseffekterna  $P_d(t)$  än någon av de tidigare modellerna 1-4. Kvoten  $-a_5/a_4$  motsvarar ej någon rimlig innetemperatur, utan modellen använder parametern  $a_5$  i första hand till att anpassa till uppvärmningseffektens medelvärde. Vidare varierar uteparametern  $a_4$  mycket från fall till fall och skiljer sig från inne-uteparametern  $a_1$ .

Att uteparametern  $a_4$  är mindre till beloppet än inne-uteparametern  $a_1$  betyder att utetemperaturens inverkan dämpas kring en viss arbetspunkt i modell 5 jämfört med modell 1. Modell 1 gäller mer allmänt för hela året medan modell 5 gäller bara för en viss tidsperiod. Linjerna till modell 5 för effekten  $P_d(t)$  för Tensta och de tre månaderna har ritats in tillsammans med en linje för modell 1 med  $a_1 = 4.67$  kW/grad och innetemperaturen  $i(t) = 23.5^\circ\text{C}$  i ett diagram. På linjerna i modell 5 markeras utetemperaturens medelvärde  $\pm$  dess standardavvikelse.

Utetemperaturens långtidsinverkan är densamma i modellerna 1 och 5, men korttidsinverkan skiljer sig för modellerna 1 och 5. Man kan säga att modell 5 tar hänsyn till husets tröghet.

#### Exempel

Vad blir uppvärmningseffekten  $P_d(t)$  i januari för Tensta för modell 1 och 5 om utetemperaturen under en kortare tid är  $-10^\circ\text{C}$ ,  $-15^\circ\text{C}$  och  $-20^\circ\text{C}$ ? Med hjälp av de tidigare kurvorna fås följande värden:

utetemperaturen $u(t)$	effekt $P_d(t)$	
	modell 1	modell 5
$-10^\circ\text{C}$	156 kW	145 kW
$-15^\circ\text{C}$	179 kW	159 kW
$-20^\circ\text{C}$	202 kW	174 kW



Vid simuleringar av modell 5 för både Bollnäs och Tensta för månaden januari visar kurvorna för Bollnäs att effekten  $P_d(t)$  är ganska brusig och att modellens effekt  $P_{dm}(t)$  endast varierar svagt. Brusigheten slår också helt igenom i modellfelet. Brusigheten beror helt på elradiatoreffekten. (FIG. 6:1, FIG. 6:2).

Kurvorna för Tensta visar att modellen beskriver uppvärmningseffekten bra större delen av tiden. Under vissa tidsperioder finns avvikelser. I modellen verkar utetemperaturerna ha något större inverkan än i verkligheten, dvs utetemperaturparametern  $a_4$ 's belopp är för stort. I modellfelet syns regelbundet förekommande effektpulser med samma storlek. Detta är en natthöjning av framledningstemperaturen omkring kl 24.00. Detta framgår också av innetemperaturkurvan för januari månad (FIG. 6:3). Här kan man observera en liten temperaturhöjning med maximum kl 02.00. I Bollnäs förekommer inte någon natthöjning.

#### 6.4.3 Modellerna nr 1-4, dygnsmedelvärden

Ett sätt att eliminera likheterna i inverkan mellan solstrålning och inne-utetemperaturdifferens i tidskala under dygnet är att bilda dygnsmedelvärden och anpassa samma modeller till dessa data. (TAB. 6:5) (TAB. 6:6).

Resultaten blir inte mycket bättre med sol och vind. För Bollnäs har solparametern  $a_2$  rätt tecken, medan vindparametern  $a_3$  byter tecken.

För Tensta byter både solparametern  $a_2$  och vindparametern  $a_3$  tecken.

För både Bollnäs och Tensta varierar inne-uteparametern  $a_1$  med årstiden och stämmer bra överens med motsvarande värden för modeller för 1-timedelvärden. Däremot varierar solparametern  $a_2$  och vindparametern  $a_3$  betydligt mellan 1-timmes och 24-timmarmodellerna.

Genomgående för samtliga totala värmebehovstal erhållna från modellerna 1-4 är att för Tensta stämmer detta väl med det teoretiskt beräknade. För Bollnäs gäller att endast lägenhetsuppvärmning har medtagits. Övrig uppvärmning utgör endast 6% av den i modellen använda.

De erhållna parametrarna  $a_1$  i modellen kan därför ökas från 1,5 - 1,6 kW/°C till 1,6 - 1,7 kW/°C. Detta medför en skillnad på 70% till av konsulten beräknat värde.

#### 6.5 Värmebehovsberäkning Bollnäs

Transmissionsvärdet för Bollnäs är förhållandevis stort jämfört med Tensta trots att huset i Bollnäs är mindre och bättre isolerat. Vid närmare kontroll visar det sig att påslag har gjorts vid beräkningarna. Nedan återges använda data vid egen beräkning

	yta m <sup>2</sup>	k-värde W/°C m <sup>2</sup>
fönster	230	2.50
fasadväggar	1000	0.27
tak	860	0.17
källarväggar	200	0.60
källargolv	860	0.40

Detta ger ett värmebehovstal för transmissionen på 1.46 kW/°C. Vid en temperaturskillnad på 42°C krävs en effekt på 61.2 kW.

Värmeåtergivningen uppgår till 65% vid dimensionerande luftmängd. Ventilationseffekten blir då följande:

$$3\,500\text{ m}^3/\text{h} \cdot 1.2\text{ kg/m}^3 \cdot 1.0\text{ kJ/kg }^\circ\text{C} \cdot 12^\circ\text{C} = 14,0\text{ kW}$$

Detta medför att totala värmeeffekten blir 75,2 kW och motsvarande värmebehovstal blir 1,79 kW/°C vilket är omkring 20% större än det uppmätta värdet.

#### 6.6 Värmebehovsberäkning Tensta

Som jämförelse återges här samma beräkningar för Tensta

	yta m <sup>2</sup>	k-värde W/°C m <sup>2</sup>
fönster	380	2.50
fasadväggar	1580	0.37
tak	1210	0.29
källarväggar	575	0.65
källargolv	1210	0.40

Detta ger en transmissionseffekt på 111 kW vid en temperaturskillnad på 40 grader, vilket är 15% under den dimensionerande effekten på 130.0 kW.

Ventilationseffekten bestäms till följande:

$$4725\text{ m}^3/\text{h} \cdot 1.2\text{ kg/m}^3 \cdot 1.0\text{ kJ/kg }^\circ\text{C} \cdot 40^\circ\text{C} = 63\text{ kW}$$

Totaleffekten för uppvärmning blir då 174 kW mot det dimensionerande på 187.5 kW. Motsvarande totala värmebehovstal blir 4.33 kW/grad respektive 4.68 kW/grad. Dessa två värden skiljer sig ej mycket från det uppmätta värdet.

#### 6.7 Jämförelse med graddagar

Ett annat sätt att undersöka solstrålningens inverkan är att beräkna kvoten mellan olika uppvärmningsenergier och antalet graddagar för varje månad. Solfattiga månader bör då ha en större kvot än solrika. Normalt fås minst solinstrålning i december. De två energierna, som har använts, är radiator plus luftförvärmning och total exklusive tappvarmvatten. För Bollnäs och Tensta och för månaderna oktober till och med maj har de olika kvoterna beräknats. (TAB. 6:7) (TAB. 6:8).

För Bollnäs har totala värmebehovstalet maximum i november (radiatorer och luftförvärmare) och i december totalt värmebehov minus värmebehovet till varmvatten (tot-vv). Värden för radiatorer och luftförvärmare stämmer bra med de tidigare från mätningar bestämda.

För Tensta har totala värmebehovstalet maximum i januari (radiatorer och luftförvärmare) och i december totalt värmebehov minus värmebehovet till varmvatten. Värden för radiatorer och luftförvärmare stämmer bra med de tidigare från mätningar bestämda. Månaderna oktober och maj bryter mönstret på ett oförklarligt sätt. Dessutom kan det tilläggas att i november höjdes inblåsningstemperaturen i Tensta.

Dessa jämförelser visar att det totala värmebehovstalet varierar med årstiden och maximum sammanfaller i stort sett med minimum för solinstrålningen kring december. I avsnitt 6.4 konstateras att solstrålningens inverkan är obetydlig. En möjlig förklaring kan vara att värmebehovstalet beror på temperaturskillnaden. Detta kan ha stor inverkan på transmissionen vid fönster och mindre fasadväggar.

TAB 6:1 Bollnäs. Jämförelser av hur uppvärmningseffekten påverkas av modellparametrarna temperaturdifferensen inne-ute ( $a_1$ ), solstrålning ( $a_2$ ) samt vind ( $a_3$ ) under olika månader. Modell nr 1-4, timmedelvärden.

Månad	Modell nr	Modellparametrar			$e_{rms}$ kW
		$a_1$ kW/grad	$a_2$ $m^2$	$a_3$ kWsek/m	
okt	1	1.538	-	-	5.55
okt	2	1.523	0.0548	-	5.53
okt	3	1.387	-	1.541	5.01
okt	4	1.387	-0.00005	1.542	5.01
jan	1	1.566	-	-	5.62
jan	2	1.567	-0.0006	-	5.62
jan	3	1.551	-	0.431	5.60
jan	4	1.551	-0.0013	0.431	5.60
april	1	1.296	-	-	4.47
april	2	1.271	0.0049	-	4.37
april	3	1.278	-	0.209	4.46
april	4	1.280	-0.0057	-0.149	4.37

TAB. 6:2 Bollnäs. Jämförelser av hur uppvärmningseffekten påverkas av utetemperaturen ( $a_4$ ) samt en konstant ( $a_5$ ) under olika månader. Modell nr 5, timmedelvärden.

Månad	Modellparametrar		$e_{rms}$ kW	Effekt $P_d$	
	$a_4$ kW/grad	$a_5$ kW		mv kW	std kW
okt	-0.592	31.91	4.27	28.40	6.01
jan	-0.813	44.55	4.36	51.67	8.79
april	-0.213	38.42	4.76	28.83	6.84

TAB. 6:3 Tensta. Jämförelser av hur uppvärmningseffekten påverkas av modellparametrarna temperaturdifferensen inne-ute ( $a_1$ ), solstrålning ( $a_2$ ) samt vind ( $a_3$ ) under olika månader. Modell nr 1-4, timmedelvärden.

Månad	Modell nr	Modellparametrar			$e_{rms}$ kW
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	
		kW/grad	$m^2$	kWsek/m	
jan	1	4.672	-	-	8.33
jan	2	4.676	-0.0427	-	8.32
jan	3	4.533	-	1.653	7.85
jan	4	4.537	-0.0438	1.654	7.83
april	1	4.359	-	-	10.83
april	2	4.372	-0.0081	-	10.80
april	3	4.339	-	0.142	10.82
april	4	4.336	-0.0093	0.267	10.80

TAB. 6:4 Tensta. Jämförelser av hur uppvärmningseffekten påverkas av utetemperaturen ( $a_4$ ) samt en konstant ( $a_5$ ) under olika månader. Modell nr 5, timmedelvärden.

Månad	Modellparametrar		$e_{rms}$ kW	Effekt $P_d$	
	$a_4$	$a_5$		mv	std
	kW/grad	kW		kW	kW
okt	-2.975	90.64	5.42	68.91	15.58
jan	-2.831	115.08	4.62	124.66	21.28
april	-3.267	99.59	10.45	89.62	15.91

TAB. 6:5 Bollnäs. Jämförelser av hur uppvärmningseffekten påverkas av modellparametrarna temperaturdifferensen inne-ute ( $a_1$ ), solstrålning ( $a_2$ ) samt vind ( $a_3$ ) under olika månader. Modell nr 1-4, dygnsmedelvärden.

Månad	Modell nr	Modellparametrar			$e_{rms}$ kW
		$a_1$ kW/grad	$a_2$ $m^2$	$a_3$ kWsek/m	
okt	1	1.569	-	-	2.97
okt	2	1.623	-0.018	-	2.92
okt	3	1.470	-	0.948	2.83
okt	4	1.528	-0.024	1.078	2.73
jan	1	1.573	-	-	3.78
jan	2	1.570	-0.109	-	3.72
jan	3	1.590	-	0.101	3.78
jan	4	1.592	-0.113	0.198	3.72
april	1	1.311	-	-	1.99
april	2	1.415	-0.017	-	1.66
april	3	1.390	-	-0.848	1.75
april	4	1.440	-0.013	-0.531	1.61

TAB. 6:6 Tensta. Jämförelser av hur uppvärmningseffekten påverkas av modellparametrarna temperaturdifferensen inne-ute ( $a_1$ ), solstrålning ( $a_2$ ) samt vind ( $a_3$ ) under olika månader. Modell nr 1-4, dygnsmedelvärden.

Månad	Modell nr	Modellparametrar			$e_{rms}$ kW
		$a_1$ kW/grad	$a_{2,2}$ $m^2$	$a_3$ kWsek/m	
jan	1	4.665	-	-	5.26
jan	2	4.758	-0.718	-	4.12
jan	3	4.511	-	1.832	4.56
jan	4	4.616	-0.663	1.605	3.44
april	1	4.375	-	-	8.19
april	2	4.346	0.017	-	8.15
april	3	4.525	-	-1.032	8.13
april	4	4.525	0.026	-1.343	8.07



TAB. 6:7 Bollnäs. Jämförelser av kvoten mellan olika effektbehov och olika månaders graddagtal. Månadsmedelvärden.

Kolumn	A	B	C	D	E
Månad	Inne-ute grad	Rad+lfv kW	Tot-vv kW	B/A kW/grad	C/A kW/grad
okt	18.2	28.2	40.5	1.550	2.22
nov	26.6	42.5	65.0	1.600	2.44
dec	25.1	38.7	65.9	1.540	2.61
jan	33.2	49.5	79.4	1.490	2.39
febr	28.8	39.4	66.3	1.370	2.30
mars	24.9	31.3	55.9	1.255	2.24
april	21.3	25.6	39.1	1.200	1.84
maj	18.9	15.4	27.0	0.815	1.43

TAB. 6:8 Tensta. Jämförelser av kvoten mellan olika effektbehov och olika månaders graddagtal. Månadsmedelvärden.

Kolumn	A	B	C	D	E
Månad	Inne-ute grad	Rad+lfv kW	Tot-vv kW	B/A kW/grad	C/A kW/grad
okt	16.3	69.6	83.5	4.27	5.12
nov	22.4	90.5	105.2	4.05	4.71
dec	22.4	98.6	123.4	4.40	5.50
jan	27.1	126.5	143.1	4.67	5.28
febr	24.2	108.1	123.6	4.47	5.11
mars	23.2	101.1	115.1	4.35	4.96
april	20.3	89.1	102.7	4.39	5.06
maj	14.4	49.5	76.3	3.44	5.30

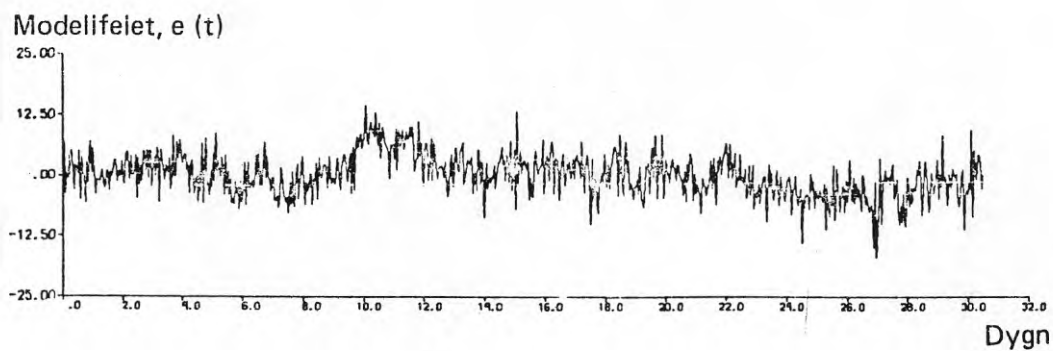
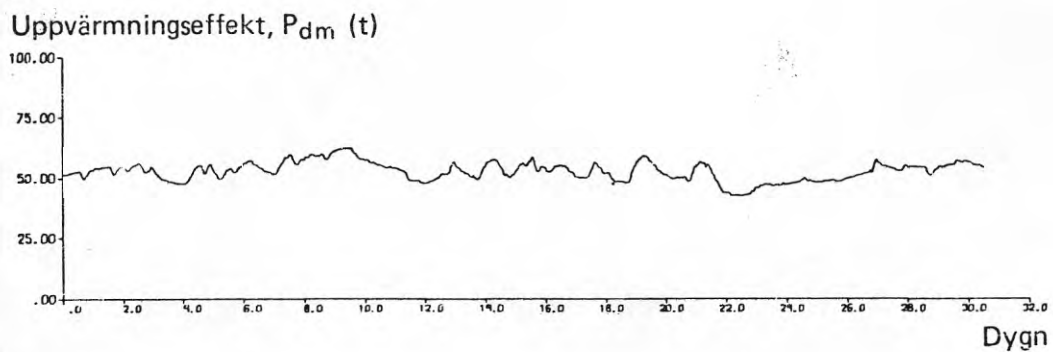
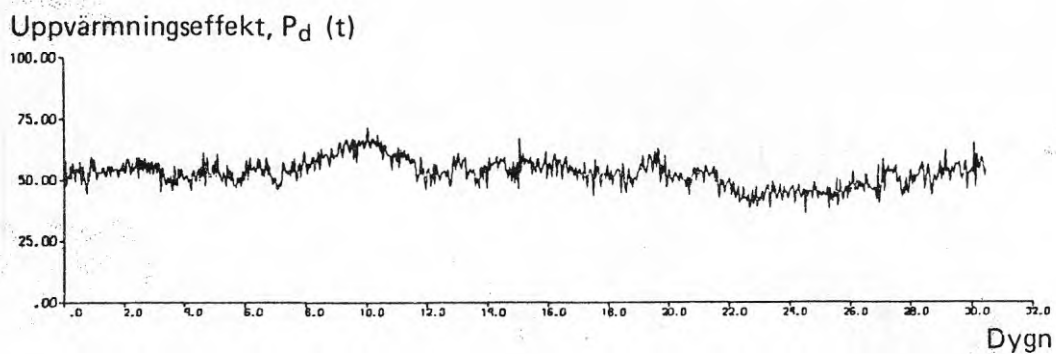


FIG. 6:1 Bollnäs. Simulering av modell 4 för januari månad. Överst visas verklig uppmätt uppvärmningseffekt,  $P_d(t)$ , modellens uppvärmningseffekt,  $P_{dm}(t)=a_4 \cdot u(t)+a_5$ , och nederst modellfelet,  $e(t)=P_d(t)-P_{dm}(t)$ .

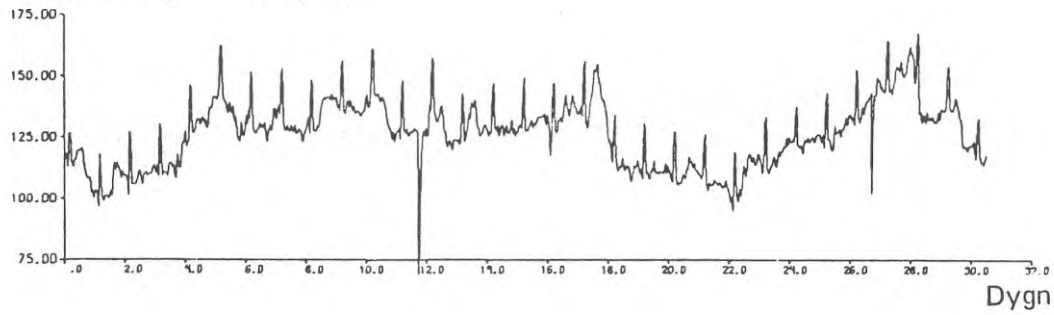
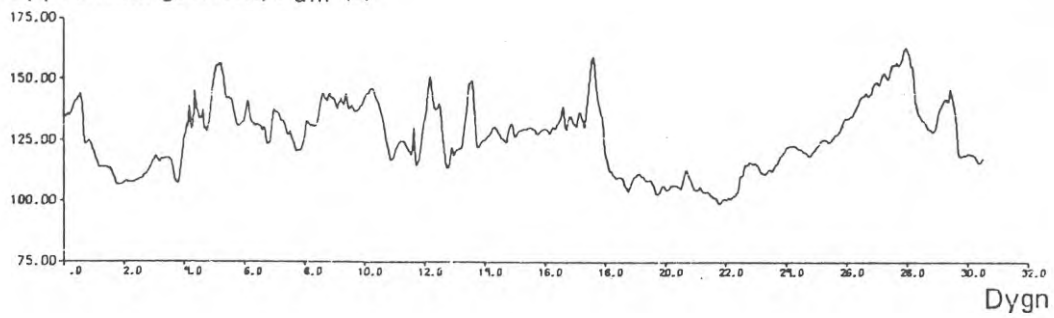
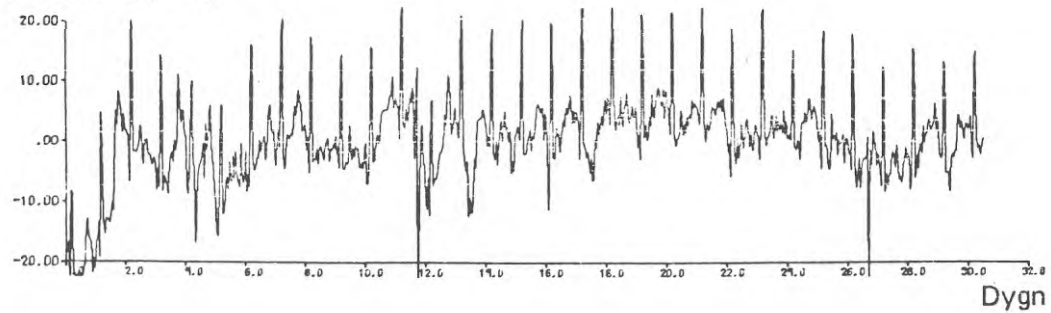
Uppvärmningseffekt,  $P_d$  (t)Uppvärmningseffekt,  $P_{dm}$  (t)Modellfelet,  $e$  (t)

FIG. 6:2 Tensta. Simulering av modell 4 för januari månad. Överst visas verklig uppmätt uppvärmningseffekt,  $P_d(t)$ , modellens uppvärmningseffekt,  $P_{dm}(t)=a_4 \cdot u(t)+a_5$ , och nederst modellfelet,  $e(t)=P_d(t)-P_{dm}(t)$ .

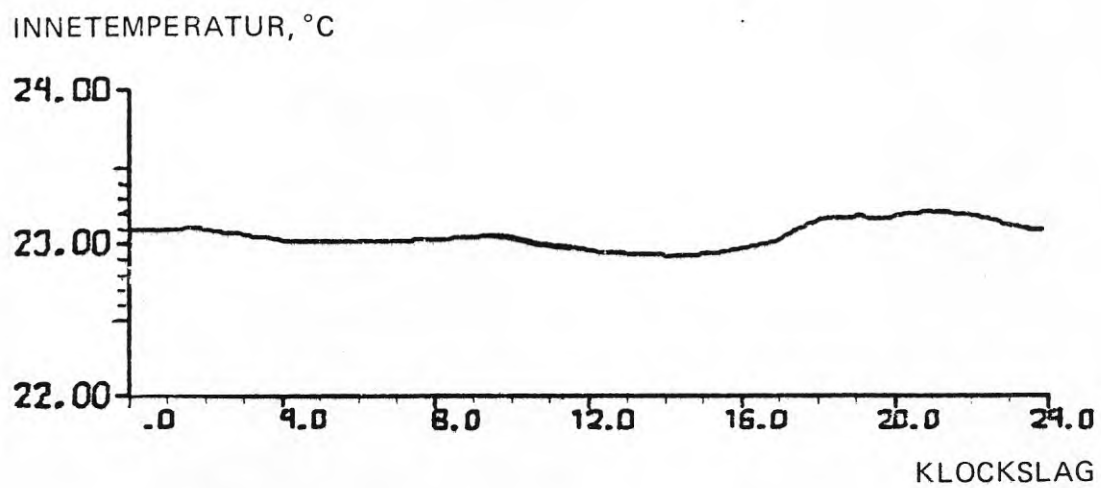


FIG. 6:3 Tensta. Januari månads medeldygnskurva för innetemperatur.

## 7 INTERVJUUNDERSÖKNING

För att få kännedom om flera faktorer som kan påverka utvärderingen av energimätningarna har en intervjuundersökning genomförts av Statistiska Centralbyråns Utredningsinstitut under april månad 1971.

Undersökningen ger bl.a. information om hur hyresgästerna utnyttjar viss utrustning i lägenheterna och vad de anser om värmeförsörjningen, ventilationen och den sanitära utrustningen etc. Man kan av undersökningen t.ex. kartlägga sambandet mellan energibehov och hushållets storlek; medlemmarnas ålder, eventuell vistelse utom hemmet på dagarna o.s.v.

För att få ett större jämförelsematerial och underlätta analysen har intervjuundersökningen utsträckts till att förutom Bollnäs och Tensta gälla även vissa bostadsområden i Jönköping, Upplands Väsby och Åkered utanför Göteborg. Den utökade delen av undersökningen har genomförts i samarbete med Föreningen för elektricitetens rationella användning (FERA). På grund av den vidgade omfattningen av intervjuundersökningen har ett generellt frågeformulär utarbetats. Avsikten är att även andra som är intresserade av att få svar på likvärdiga frågeställningar ska kunna få tillgång till detta frågeformulär och använda det i egna undersökningar. Resultatet av dessa undersökningar hoppas BEG få ta del av och på detta sätt dels fortlöpande kunna göra jämförelser med egna mätningar och dels få kännedom om vissa generella förändringar i vanor och attityder har inträffat.

## 7.1 Urval

Byggnadsenergigruppen har tillsammans med Utredningsinstitutet gjort urvalet av de fastigheter vars hushåll man intervjuat. Urvalet har delats upp på följande sätt:

1.a 28 intervjuer i hus B, Bollnäs (B1)

35 intervjuer i hus 42, Tensta (T1)

I dessa fastigheter genomförs i denna rapport redovisade mätningar av energibehov.

1.b Ytterligare 22 hushåll i Bollnäs (hus A, F och M9) (B2)

Ytterligare 25 hushåll i Tensta (hus 43-47) (T2)

I dessa fastigheter sker inte några energimätningar. Dessa hushåll har betraktats som kontrollgrupp.

1.c 75 intervjuer i Jönköping (j)

75 intervjuer i Upplands Väsby (UV)

68 intervjuer i Åkered (Å)

I dessa fastigheter, som är elvärmade, har vissa mätningar av energiförbrukningen gjorts i annan regi än ovan nämnda. Hushållen har betraktats som kontrollgrupp.

Genom detta förfarande är urvalet geografiskt väl samlat i närliggande fastigheter inom varje aktuellt område.

## 7.2 Intervjuperson

Intervjupersonen har antingen varit lägenhetsföreståndaren eller dennes maka/make. Barn har icke intervjuats.

## 7.3 Svarsprocent

I Bollnäs svarade samtliga hushåll, både i mäthus och kontrollhus. Däremot erhöles endast 80 % svar i mäthuset i Tensta och 88 % svar i kontrollhuset i Tensta. I Jönköping svarade likaledes endast 80 % medan svarsprocenten för hushållen i Upplands Väsby och Åkered var 91 respektive 98 %. (TAB 7:1)

## 7.4 Inomhustemperatur

BEG har försökt få information om i vilken utsträckning hushållen skaffat vissa energikrävande utrustningar utöver den ursprungliga standarden. Mäthuset i Bollnäs och Tensta har en projekterad lägenhetsstandard som är nära nog likvärdig. En sammanställning över hushållsmaskiner som hushållen själva har kostat på visar att man i Tenstahushållen har flera än i Bollnäs-hushållen. Tar man hänsyn till detta och skillnad i ljusstandarderna kan det innebära att man har en högre andel basvärme att ta hänsyn till i Tensta än i Bollnäs.

På frågan "Tycker Ni att värmen som regel är tillfredsställande i lägenheten?" svarar 32 % av hushållen i Tensta nej. 31 % av hushållen i Upplands Väsby och 18 % av hushållen i Åkered är missnöjda. På följdfrågan om varför, svarar man i mäthuset i Tensta huvudsakligen att det är för varmt, medan man i kontrollhusen i Tensta, Upplands Väsby och Åkered tycker det är för kallt. (TAB 7:2)

Mätningar av inomhustemperaturen visar också att båda mäthuset har betydligt högre temperatur än kontrollhuset.

## 7.5 Ljudnivå

Två frågor om hur man uppfattar ljudnivån ingår i intervjuformuläret. I ena fallet frågas efter besvär av ljud från radiatorer. Det visar sig att Tensta med sina vattenradiatorer i högre grad har besvär av ljud än elvärmekonsumenterna. I kontrollhuset i Tensta besväras 27 % ofta av ljud mot 18 % i mäthuset. Jönköping och Åkered uppvisar samma andel besvärande som mäthuset i Tensta medan Bollnäs och Upplands Väsby har en betydligt mindre andel som besväras ofta.

En annan ljudfråga handlar om besvär av ventilationsljud. Hushållen i Bollnäs uppger att man har besvär. Detta beror kanske på att anläggningen i Bollnäs, i motsats till Tensta, inte har ljudfällor i tilluftskanalerna. (TAB 7:3)

## 7.6 Luftfuktighet

Elddriven luftfuktare, lerkrus eller dylikt finns i vart tredje



hushåll i mäthuset i Tensta, i de hushåll som tyckte att värmen var för hög. I övriga områden är det mycket få som har luftfuktare.

På frågan "Hur tycker Ni att luftfuktigheten är i Er lägenhet?" svarade 60 % i mäthuset och 68 % i kontrollhusen i Tenstahuset att de tycker den är för torr. Motsvarande siffror för Bollnäs är 40 och 45 %.

#### 7.7 Varmvatten

På frågan "om varmvattnet räcker till?" visar det sig att varmvattnet i stort räcker till i Tensta, Bollnäs, Upplands Väsby och Åkered, däremot tycks Jönköpingsborna ha problem med varmvattentillgången. Där är andelen missnöjda 60 %. Följdfrågorna visar att detta missnöje är kanaliserat till främst fredagar och då oftast kl. 19. (TAB 7:4)

Måste Ni spola onormalt länge innan varmvattnet kommer, lyder en fråga. Svaren visar att det endast är kontrollhusen i Bollnäs, som ibland får vänta på sitt varmvatten. I Bollnäs finns ingen varmvattencirkulationsledning. Däremot har varmvattnet isolerats i högre grad än vanligt. Om man råkar bo i en lägenhet som ligger lite ogynnsamt i förhållande till fördelningsledningen kan man, speciellt på morgonen få spola ett bra tag innan varmvattnet kommer.

De flesta svaranden anser att varmvattnets temperatur är lagom. Endast i Jönköping och i Upplands Väsby finns det hushåll där man anser varmvattnets temperatur är för låg. Andelen är dock relativt liten (10, 7 till 4,4 %).



## 8 INNEKLIMATMÄTNINGAR

### 8.1 Komfortkriterier

Vid genomförandet av klimatmätningar måste man för varje provning veta inom vilka gränser som de olika klimatparametrarna kan tillåtas variera. Om exempelvis människokroppens värmeavgivning lokalt överskrider gränsvärdet uppstår dragförnimmelser. Här skall klimatparametrarnas lufthastighet, strålningsutbyte, luftfördelning och luftflöden behandlas.

#### 8.1.1 Lufthastighet

Om omgivande ytors temperaturer har samma värde som lufttemperaturen är lufthastighet och lufttemperatur ett mått på det termiska klimatet i rummet. Detta är dock sällan fallet. I exempelvis ett rum med fönster avviker i regel temperaturen på fönsterytan från lufttemperaturen. Man får då ett strålningsutbyte som påverkar det termiska klimatet i rummet. Det finns en rad komfortkriterier som alla avviker från varandra.

I utredningen har valts att utgå från de förslag till dragkriterium som uppställts av Olingsberg (VVS nr 3/1967). (FIG 8:1)

De lufthastigheter som då kan tolereras är bl.a. beroende av vilken temperatur luften har.

#### 8.1.2 Strålningsutbyte

En konstant luftström av 22°C temperatur som träffar kroppen osymmetriskt uppfattas enligt dessa kriterier (FIG 8:1) som drag vid en lufthastighet över 0,22 m/s. Dessa siffror gäller under förutsättning att rummets väggar har en temperatur som nära sammanfaller med lufttemperaturen. Avstrålningen är emellertid i vinterfallet i regel större mot de kalla fönstren och detta måste kompenseras med en sänkning av lufthastigheten.

Den tillåtna lufthastigheten ( $v$ ) skall då reduceras till de värden som erhålles enligt nedanstående ekvation.

$$v = v_t + \frac{\Delta t_g}{8} \text{ m/s}$$

där  $\Delta t_g$  är den uppmätta temperaturdifferensen med en globtermometer och  $v_t$  är lufthastigheten enligt FIG 8:1 vid temperaturen  $t$ ,  $\Delta t_g$  får enligt gällande praxis ej överstiga  $\pm 2^\circ\text{C}$ . En större skillnad uppfattas nämligen som obehaglig.

För området omkring huvudet gäller således vid en rumstemperatur av 22°C:

$$v = 0,17 + \frac{\Delta t_g}{8} \text{ m/s}$$

Anm.  $\Delta t_g$  är negativ vid avstrålning från golven.

#### 8.1.3 Luftfördelning

Luftfördelningen i ett rum kan bedömas utifrån den strömningsbild som tilluften åstadkommer. Vid inblåsning längs ytor uppträder den s.k. coandaeffekten som gör att luftstrålen häftar vid ytan. Då luften blåses in med undertemperatur kommer luften i strålen att ha en större specifik vikt än rumsluften. En horisontell undertempererad luftstråle längs tak kommer därför att

ha en uppåtriktad kraft på grund av coandaeffekten och en nedåtriktad kraft på grund av den större specifika vikten. Om coandaeffekten upphäver tyngdkraften kommer strålen att följa taket.

Är luftströmmens hastighet för låg kommer vid vägginblåsning luftströmmen att släppa taket och bli nedåtriktad innan den når motsatt vägg. (FIG 8:2) Eftersträvansvärt är att få luftströmmen att hänga kvar vid taket och vika av först vid den motsatta väggen. (FIG 8:3)

Man bör utnyttja rumsvolymen ovanför vistelsezonen<sup>1)</sup> för inblandning av rumsluften. Luftstrålarnas hastighet och temperatur skall vid inträdet i vistelsezonen ha nått sådana värden att dragfrihet i hela vistelsezonen erhålls.

Vertikala temperaturgradienterna i ett rum åstadkommes av den termiska konvektionen. I ett rum där värme varken till- eller bortföres kan ingen temperaturgradient finnas.

Om lufttemperaturen vid golvet är avsevärt mycket lägre än i bröst- eller huvudhöjd betraktas detta ofta som ett indicium på att uppvärmnings- och ventilationssystemet är undermåligt. Åsikten grundar sig främst på praktisk erfarenhet men även på vissa systematiska undersökningar. Den som utsätts för stora vertikala temperaturgradienter får obehag främst i form av kalla fötter. Enligt en engelsk undersökning är sålunda vid höga gradienter klagomål över "golvdrag" och kalla fötter vanliga och man kan även uppmäta lägre hudtemperatur än normalt på fötterna hos de klagande.

Någon närmare utredning av de fysikaliska och fysiologiska förloppen vid stora vertikala temperaturgradienter tycks för närvarande ej vara gjord. Man har dock ansett att erfarenheter väger så tungt att rekommendationer angående begränsning av temperaturgradienternas storlek har utfärdats. Praxis vid tillämpning av hälsovårdsstadgans bestämmelser brukar här i landet vara att man numera icke gärna accepterar vertikala temperaturskillnader större än  $3^{\circ}\text{C}$  från fot- till huvudhöjd. En amerikansk norm anger maximalt  $1,5^{\circ}\text{C}$  per meter.

#### 8.1.4 Luftflöden

För frånluftsystem och från- och tilluftsystem finns i SBN-67 (kap. 36) en bindande föreskrift beträffande dimensionering av ventilationssystem. Som minimivärden för lägenheter om 2 rum och kök eller större gäller här att flöde av  $80\text{ m}^3$  per timme från kök och  $60\text{ m}^3$  per timme från badrum. För lägenhet om 1 rum och kök är motsvarande värden  $40$  resp.  $30\text{ m}^3$  per timme. Beräkningen av luftväxlingens storlek har även med lägenhetens yta att göra och vid beräkningen gäller följande formel:

<sup>1)</sup> Vistelsezonen definieras här som den zon som begränsas av golv, ett horisontalplan  $1,75\text{ m}$  över golv, innerväggar samt ett vertikaltplan  $0,5\text{ m}$  från fönstervägg.

$$q = 2,2 - 0,004 G$$

där

$q$  = normvärde för luftväxling,  $m^3/m^2$  och  $h$

$G$  = lägenhetens totala yta i  $m^2$

Erhåller man vid dessa beräkningar större flöden än vad som tidigare sagts skall värdena enligt formeln väljas.

I SBN-67 sägs vidare i en anvisning bl.a. att "för beräkning av effektbehov för ventilationsvärme användes en lägre luftväxling baserad på en luftomsättning av 0,5 oms per timme vid flerfamiljshus och 0,7 oms per timme vid småhus (se SBN kap. 35). Erforderlig omställning av ventilationssystem under mycket kallda dagar utförs vid behov genom strypning av frånluftsdon eller på annat sätt".

## 8.2 Mätmetoder

Möjligheterna till att mäta och inreglera en anläggning skapas vid projekteringen. Inregleringen baseras på mätteknik och det måste förutsättas att konstruktören har ansvaret för att de mättekniska kraven blir tillgodosedda. Mättekniken inom uppvärmnings- och ventilationsområdet har hittills stått på en mycket låg nivå vilket inneburit att även noggrant genomförda mätningar inte varit någon garanti för ett noggrant slutresultat. Förutsättningarna för mätning förbättras ej heller av en dålig mätteknisk utformning av anläggningarna. För att dessa mättekniska hänsyn ska kunna tas vid projekteringen krävs i första hand insikt om de mätmetoder som skall komma till användning på de olika anläggningsdelarna. För närvarande saknas det dock standardiserade mätmetoder och detta kan förklara varför konstruktören idag inte kan planera för mätningar i nödvändig utsträckning. Inom Nordiska ventilationsgruppen - som är de nordiska byggforskningsorganisationernas samarbetsorgan inom området kontroll och injustering av värme- och ventilationsanläggningar - pågår emellertid arbete med att lösa dessa problem. Sålunda pågår bl.a. arbete med att ta fram metoder för mätning av luftflöden i ventilationsanläggningar samt metoder för mätning av termiska inomhusklimatet.

De mätningar som har utförts i Bollnäs och Tensta för att kontrollera rumsklimatet har varit följande

- Luftomsättning - uppmätt med gasanalysator typ Hartmann & Brown URAS 2, som spårgas användes  $N_2O$ . Sannolikt mätfel ca  $\pm 5\%$ .
- Frånluftsflöde - uppmätt med kalibrerad luftflödesmätare typ SWEMA AFM-66A. Sannolikt mätfel ca  $\pm 5\%$ .
- Rel. fuktighet - uppmätt med Assman-psykrometer. Avläsningsnoggrannhet  $\pm 0,2^\circ C$ .
- Yttemperatur - uppmätt med termometer typ SWEMA TS 59 med mätkropp MKT 12. Sannolikt mätfel ca  $\pm 1,5^\circ C$ .
- Lufttemperatur - uppmätt med termoclement (cu/cn) och 24-punkts temperaturskrivare Leeds &



- Nortrup, Speedo-Max. Sannolikt mätfel ca  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .
- Lufthastighet - uppmätt med termoanemometer typ Alnor 8500. Uppmätta hastigheter korrigerade enligt kalibreringskurva.
  - Strålnings-  
temperatur - uppmätt med globtermometer av polystyren med temperaturgivare (termoelement i sex olika riktningar (se Byggforskningsens rapport R 45:1973). Mätpunkten belägen 1,2 m över golv och 2 m från fönsterväggen.

### 8.3 Mätobjekt

Mätningar företogs i fyra lägenheter i hus B i Framnäsområdet i Bollnäs och fyra lägenheter i hus 42 i kvarteret Stadinge nr 1 i Tensta. (TAB 8:1, 8:2)

### 8.4 Mätresultat

#### 8.4.1 Luftflöden och fuktighet

Vid uppmätning av luftflöde framgick att i Bollnäslägenheterna det endast är i en lägenhet som minimikraven på luftflödernas storlek uppfyllts. (TAB 8:3) Luftflödena är för denna lägenhet av samma storleksordning som för lägenheterna med 2 och 3 rum och kök.

I Tensta är det emellertid endast en lägenhet som inte klara minimikraven. Denna lägenhet har frånluftflöden som motsvarar en 1-rumslägenhet.

De luftflöden som erhållits med hjälp av spargasmätningar visar genomgående en tendens till att vara något större än de i frånluftsdonen uppmätta flödena. Detta är en helt naturlig företeelse och har sin orsak i den infiltration alternativt exfiltration som erhålles genom otätheter i byggnadskonstruktionen vid undertryck alternativt övertryck i lägenheten relativt atmosfärtrycket.

De utförda mätningarna kan ej ge besked om det förekommit infiltration eller exfiltration emedan trycket i lägenheterna ej har uppmätts och tilluftsflödena till de olika lägenheterna på grund av praktiska svårigheter ej har kunnat uppmätas.

Koncentrationen av koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) används ofta som ett mått bl.a. på luftens friskhet, varvid en koncentration av 0,15 volymsprocent  $\text{CO}_2$  utgör den gräns då luften börjar kännas skämd. Arbetsnivån är direkt avgörande på hur mycket  $\text{CO}_2$  en person alstrar per timsenhet. Vid vila eller lätt sysselsättning uppgår koldioxidmängden till 20 à 25 liter per person och timme. Uteluftens koldioxidhalt ligger på ca 0,03 volymsprocent. En koldioxidhalt av 3 % räknas som ett maximalt gränsvärde som ej får överskridas. En tillförd luftmängd av ca 1 till 1,5 m<sup>3</sup> per timme och person är den ringa mängd som behöver omsättas för att maxgränsvärdet ej skall överskridas. Naturligtvis är detta en siffra som tillämpas i ogynnsammast tänkbara läge, t.ex. i skyddsrum. För bostäder och liknande lokaler används siffran 0,15 volymsprocent  $\text{CO}_2$  som maxvärde.



Det luftflöde som erfordras, i en lägenhet om 1 rum o kök med två stycken personer, för att denna gräns ej skall överskridas är  $26,5 \text{ m}^3$  per timme. Detta kan jämföras med de  $70 \text{ m}^3$  per timme som i SBN-67 anges som minimikrav för en dylik lägenhet.

Det är dock inte enbart  $\text{CO}_2$ -halten som sätter gräns för flödenas storlek. Även luftfuktigheten spelar en stor roll. Vid vila eller lätt arbete avges ca  $40 \text{ gram}$  vatten per timma i utandningsluften. För att undvika att alltför höga fukthalter (vatteninnehåll  $10 \text{ g/kg}$  luft) skall uppstå bör luftomsättningen vara minst  $10 \text{ m}^3$ /person och timme. Även här blir alltså det erforderliga luftflödet relativt litet.

Vad som emellertid kan orsaka ökat ventilationsbehov är den fukt och det matos som alstras vid matlagning och den fukt som erhålles vid torkning och tvätt.

#### 8.4.2 Lufthastigheter

Lägenheterna i Bollnäs och Tensta är försedda med i princip två olika typer av ventilationssystem:

I Bollnäs förekommer framkantinblåsning via tilluftsdon bakom radiator och i Tensta förekommer bakkantinblåsning via tilluftsdon placerat på innevägg.

Framkantsinblåsning har i de flesta fall visat sig ge tillfredsställande resultat. Detta har i stort sett också bekräftats vid mätningarna i de fyra lägenheterna (B11-B14). Dock erhålles på grund av ofullkomligheter i tilluftsdonens placering i lägenheterna B12 och B14 att isovelan för  $0,2 \text{ m}$  per sekund nås vid golv maximalt  $1,9 \text{ m}$  in i rummet.

Att dimensionera tilluftsdonen vid bakkantsinblåsning för en maximal lufthastighet på  $0,2 \text{ m}$  per sekund i vistelsezonen ställer sig i regel betydligt svårare. För det mesta erhålles luftnedslag i rummets vistelsezon beroende på att konvektionsströmmen från radiatoren är motriktad tilluftströmmen. Var i vistelsezonen nerlaget erhålles beror på förhållandet mellan dessa strömmars impuls. Dimensioneras tilluftsdonen så att tilluftströmmens hastighet har reducerats ned till ca  $0,25 \text{ m}$  per sekund på avståndet  $2,5 - 3 \text{ meter}$  från motstående vägg erhålles vid isoterm luftinblåsning i regel lufthastigheter inom vistelsezonen som är mindre än  $0,2 \text{ m}$  per sekund. Mätningarna i Tensta lägenheterna (T11-T14) uppvisar inga hastigheter i vistelsezonen som överstigit  $0,2 \text{ m}$  per sekund vid det aktuella mätfallet, vilket tyder på en väl avvägd kastlängd för tilluftsdonen.

I en lägenhet i Tensta (T14) har man dock placerat tilluftsdonen så att tilluftströmmen och konvektionsströmmen från radiatoren ej möts. Detta innebär att konvektionsströmmen från radiatoren ej tvingas ner i vistelsezonen utan hålls kvar uppe vid taket samt att tilluftströmmen når ytterväggen där den får en nedåtgående rörelse och för med sig den kalla konvektionsströmmen så att en ansamling av kall luft sker vid golvet. Denna ansamling av kall luft förstärks också av en balkongdörr som finns i rummet. I denna lägenhet (T14) har vertikala temperaturgradienter uppmätts som överstiger den angivna komfortgränsen.

Som tidigare nämnts har förutsatts att gränsen för vistelsezonen går 0,5 meter från fönsterfasaden. I flera lägenheter hade man dock även utnyttjat denna perifera zon som vistelsezon genom att placera soffor eller fåtöljer utmed ytterväggen. Detta innebär helt naturligt besvärande drag vid nedåtgående luftströmmarna vid ytterväggen, som fallet varit i lägenhet B14 i Bollnäs och T14 i Tensta. (FIG 8:4, 8:5).

De möbleringsalternativ som förekommit i de undersökta lägenheterna tyder på att hyresgästerna borde informeras om de nackdelar som olika möbleringsalternativ och även gardinarrangemang kan medföra.

#### 8.4.3 Vertikala temperaturgradienter samt strålningstemperaturer

I lägenheternas vardagsrum har i vistelsezonen temperaturdifferenser uppmätts. (TAB 8:4)

De vertikala temperaturgradienterna är, med ett undantag (T14), små. Anledningen till de alltför stora gradienterna i lägenhet T14 torde bero på tilluftsdonets placering relativt nära radiatorn och balkongdörren som nämns under punkt 8.4.2.

Även temperaturdifferenserna mellan avstånden 1,2 meter och 0,1 meter över golv har ett så högt medelvärde som  $2,6^{\circ}\text{C}$  med ett maximalt värde på  $3,3^{\circ}\text{C}$ . Dessa vertikala temperaturgradienter är så stora att de normalt sett bör ge uppgov till klagomål på drag även om lufthastigheterna är små.

Att differenserna i strålningstemperatur mellan innervägg och fönstervägg är små beror på att radiatorn till stor del kompenserar för strålningsavgången mot de kalla fönstren.

TAB. 8:1 Bollnäs. Urval och rådande uteklimatdata vid inneklimatmätningar i BEGs mäthus.

Lägenhet nr	Typ av lägenhet	Utetillstånd under mätning
B11	1 rok	-15°C, något sol, vindstilla
B12	2 rok	-10°C,ullet, vindstilla
B13	2 rok, gavellgh	-4°C,ullet, vindstilla
B14	3 rok	-10°C,ullet, vindstilla

TAB. 8:2 Tensta. Urval och rådande uteklimatdata vid inneklimatmätningar i BEGs mäthus.i

Lägenhet nr	Typ av lägenhet	Utetillstånd under mätning
T11	3 rok, gavellgh	0°C,ullet, nästan vindstilla
T12	3 rok	-4 till -8°C,ullet, svag vind
T13	3 rok	-4 till -8°C,ullet, svag vind
T14	1 rok, gavellgh (invalidlgh)	-4 till -8°C,ullet, svag vind

TAB. 8:3 Bollnäs (B11-B14), Tensta (T11-T14). Frånluftflöde, total luftmängd samt rumsluftens fuktighet i fyra lägenheter.

Lgh nr	Lgh yta m <sup>2</sup>	Frånluftflöde				Total luftomsätt. (spårgasmätning)		Rumsluftens fuktighet b)	
		kök m <sup>3</sup> /h	Badrum m <sup>3</sup> /h	Symma m <sup>3</sup> /h	Krav enl m <sup>3</sup> /h a)	oms/h	m <sup>3</sup> /h	% RF	x g/kg
B 11	46	60	40	100	70	1,1	120	56	8,5
B 12	55	58	44	102	140	0,76	105	52	9,0
B 13	55	60	35	95	140	0,77	107	54	9,2
B 14	78	80	45	125	140	0,71	139	47	7,7
T 11	72,5	78	68	146	140	0,97	176	47	7,4
T 12	72,5	40	32	72	140	0,76	138	49	9,5
T 13	72,5	77	63	140	140	0,92	167	46	8,0
T 14	52,5	55	59	114	70	1,05	138	42	7,3

a) SBN-67    b) Uppmätt i hallen

TAB. 8:4 Vertikala temperaturgradienter och differensen i strålningstemperatur.

Lgh nr	Vertikala temperatur- gradienter mellan höjderna 1,75 och 0,1 m över golv		Differens i strålnings- temperatur i 2 mot- stående riktningar	
	medelvärde °C	max.värde °C	innervägg- fönstervägg °C	max-diff om annan än vidstående, °C
B11	1,1	1,4	0,6	
B12	0,8	1,1	0,1	
B13	0,7	0,8	0,0	0,2 innervägg- gavelvägg
B14	0,8	0,8	0,4	
T11	0,5	0,6	0,1	0,5 innervägg- gavelvägg
T12	0,9	1,3	0,3	
T13	0,8	0,9	0,2	
T14	3,2	3,7	0,3	0,7 tak-golv

Lufthastighet m/s

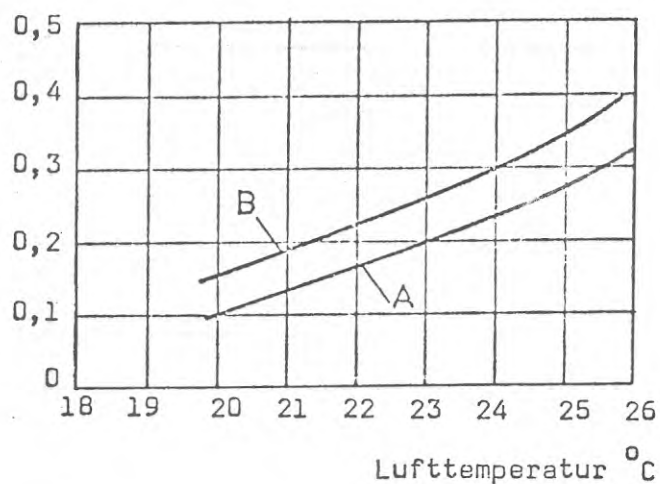


FIG. 8:1 Dragkriterium i vårdrum med sängliggande patienter, enligt förslag av Olingsberg. Kurva A gäller för området omkring huvudgården. Kurva B gäller för övriga delar av vistelsezonen. För andra rum än vårdrum, till exempel kontors- eller bostadsrum, gäller kurva B i figuren. Vid ensidig påblåsning kring huvudet gäller kurva A.

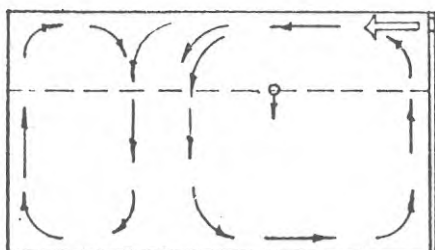


FIG. 8:2 Exempel på strömningsbild vid för låg hastighet på inblåsningssluffen

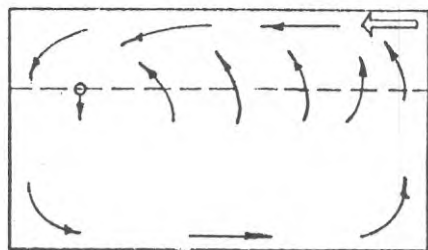
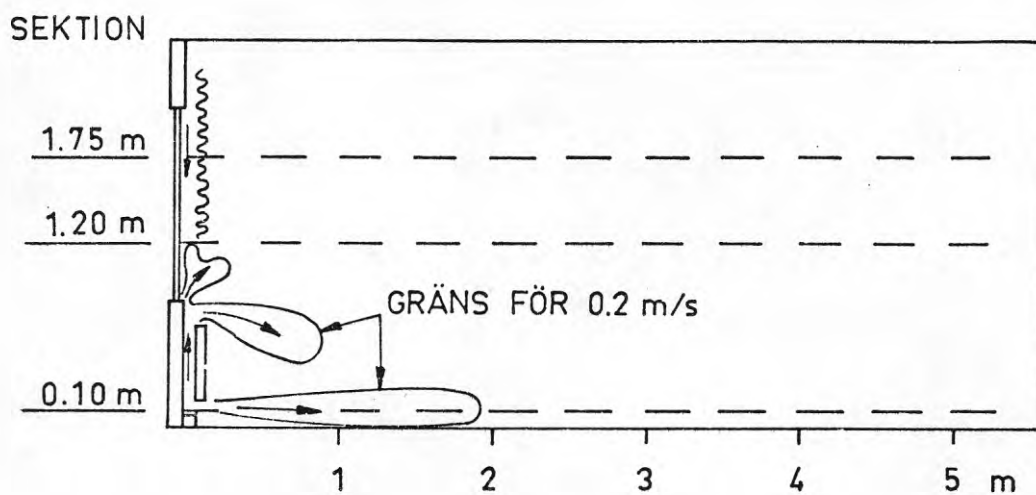


FIG. 8:3 Exempel på strömningsbild när tilluften har en rätt anpassad hastighet och temperatur



PLAN 0.10 m ÖVER GOLV

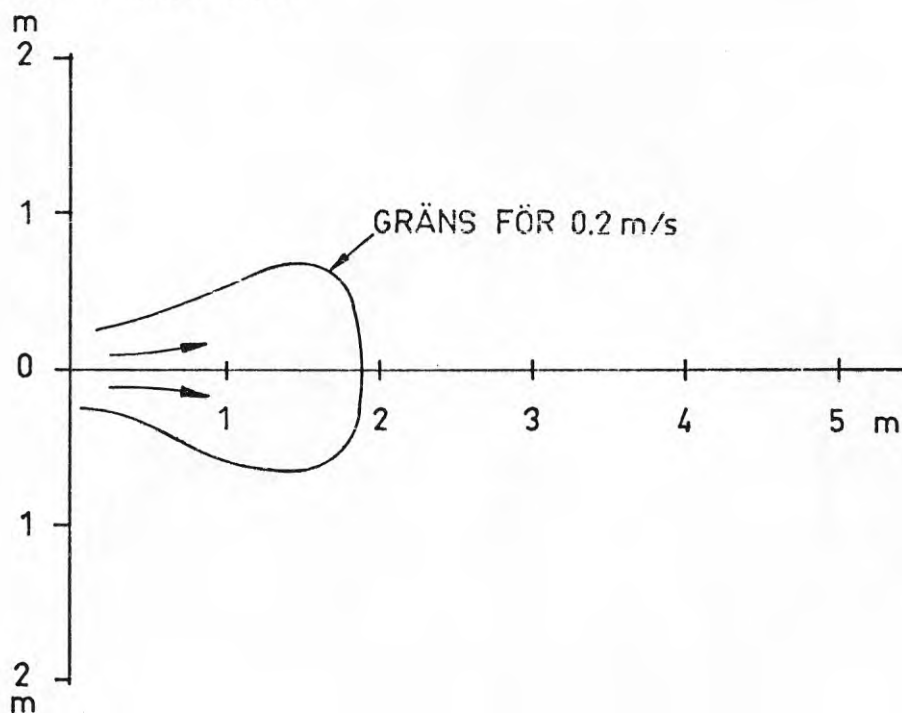


FIG. 8:4 Luftrörelser i lägenhet B 14, Bollnäs, i sektion och plan.



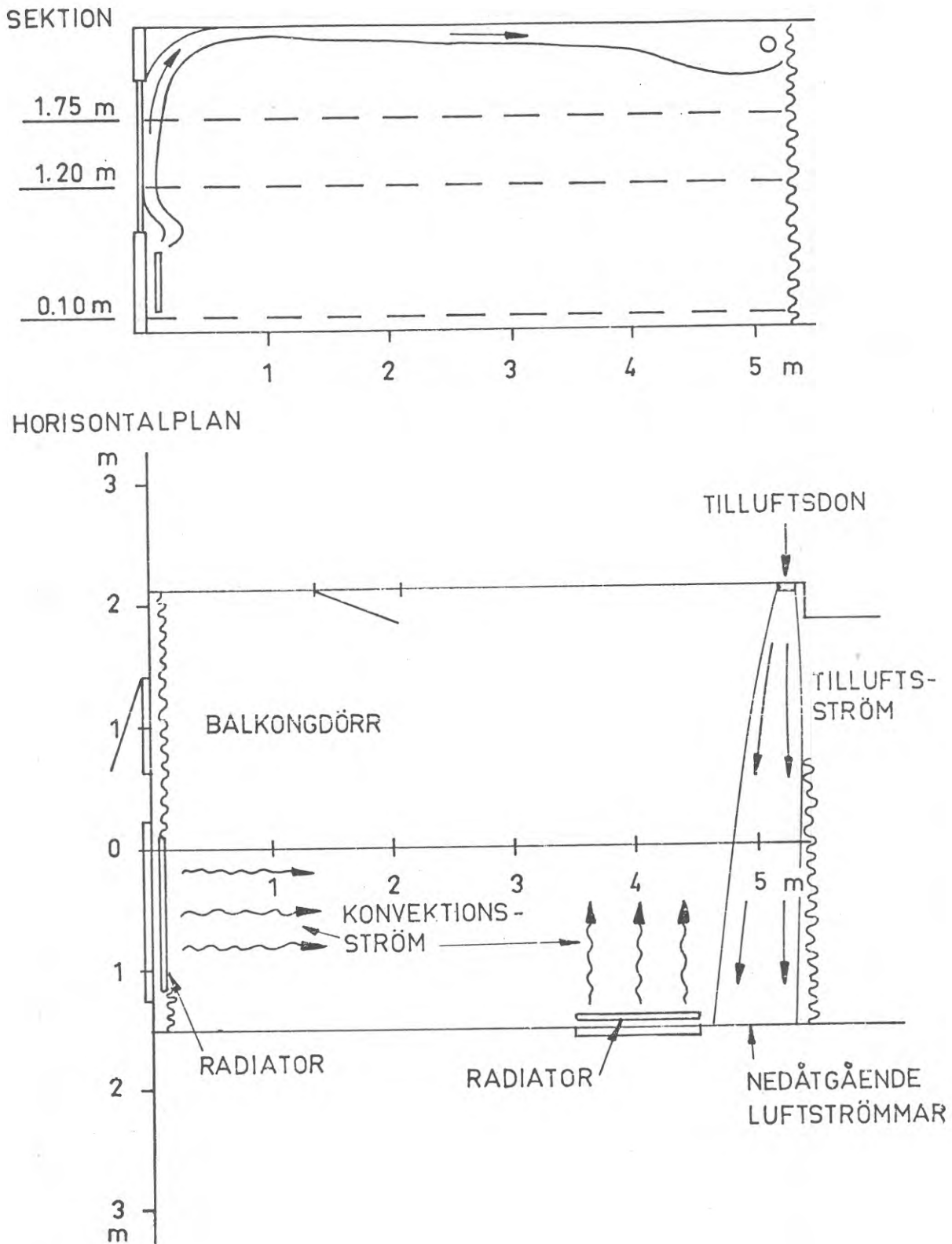


FIG. 8:5 Luft rörelser i lägenhet T 14, Tensta i sektion och plan.

## 9 DISKUSSION

### 9.1 Uppvärmning och ventilation

Transmissionsförlusterna i Bollnäsuset har vid projekteringen av elvärmeanläggningen överskattats. Följden av detta är att för hög elvärmeeffekt installerats, vilket framgår av avsnitt 5.3.1. Radiatorernas termostat kan inställas på fyra alternativa effektsteg. Om högsta effektsteget väljes kommer uppvärmningseffekten att vara inkopplad under mycket korta tider. Vid låga utetemperaturer - t ex under  $0^{\circ}\text{C}$  - finns därmed uppenbara risker för s k kallras från fönster.

För hög tillgänglig effekt innebär också stor nackdel om man t ex vill tillämpa rundstyrning av värmeanläggningen, dvs temporärt stänga av elvärmelasten under kortare tid, genom att många radiatorer går in samtidigt med full effekt vid inkopplingstid.

För många elvärmda fastigheter tillämpas en taxokonstruktion som innebär att konsumentens kostnad för elvärme delvis är baserad på det ampertal som huvudsäkningen är dimensionerad för. Kostnaden är alltså effektberoende vilket kan vid för höga installationseffekter innebära onödigt stora uppvärmningskostnader.

Installerad effekt för förvärmning av tilluft samt för drift av fläktmotorer är 11 kW, varav 6 kW är avsett för fläktdriften. Fläktmotorer finns för både till- och frånluft. Motorerna är placerade i respektive luftkanal. Tilluftsfläktens motoreffekt (3 kW) kan därför summeras till övrig uppvärmningseffekt för tilluft. Motsvarande effektbehov för motor till frånluftsfläkten kan från uppvärmningssynpunkt betraktas som ren förlust. Total installerad effekt för uppvärmning av tilluften kan alltså sägas vara  $5 + 3 = 8$  kW.

Det faktiska effektbehovet för förvärmning av tilluft med värmväxlare är vid dimensionerande utetemperatur i första hand beroende av med vilken verkningsgrad som växlaren arbetar med vid aktuell luftmängd. En egen beräkning visar att effektbehovet vid utetemperatur  $-22^{\circ}\text{C}$  är 14 kW. Med utgångspunkt från vad innetemperaturmätningar i mäthuset redovisar har frånluftstemperaturen valts till  $23^{\circ}\text{C}$ , vilket med en 65-procentig värmeåtervinningsgrad innebär att värmestillskott måste tillföras mellan tilluftstemperaturerna  $+8^{\circ}$  -  $+19^{\circ}\text{C}$  mot beräknade  $13^{\circ}$  -  $19^{\circ}\text{C}$ . (FIG. 9:1)

Anledningen till denna feldimensionering är sannolikt att man vid projekteringen utgått från värmväxlarens teoretiska verkningsgrad (80 %), vilken endast uppfylls under förutsättning att luftmängd och växlaraggregats storlek är anpassade enligt de kriterier som gäller vid dimensionering av denna värmväxlartyp.

Mätresultaten från Tenstahuset för uppvärmning och ventilation indikerar att problem finns att få dessa anläggningar att fungera som avsett. Det faktum att överförbrukningen för dessa två specifika behov tillsammans uppgår till 4 000 kWh per lägenhet, innebär att man - från energibesparingssynpunkt - sannolikt kan betrakta dessa anläggningars funktion som otill-

fredsställande. Överförbrukningen motsvarar i energi ett normalt hushålls årsbehov av varmvatten.

En intressant fråga i detta sammanhang är självfallet om mät- husets faktiska energibehov är representativt för övriga fastig- heter i landet med likartade systemlösningar. Det kan vi natur- ligtvis inte svara på. En kontroll har dock genomförts där värmeförbrukningen i abonnentområdet, som inkluderar mäthuset, jämförts med övriga områden i Tensta och Rinkeby. Resultatet av jämförelsen blev att mäthuset s abonnentområde avvek med 3 % över normalvärdet för värmeförbrukning i övriga områden. Mät- husets värmeförbrukning är alltså - lokalt betraktat - inte unik.

Orsaken till Tenstahusets relativt höga uppvärmningsbehov för lägenheter och tilluft är inte entydig. En fördjupad undersök- ning av dessa anläggningars funktion pågår för närvarande och skall enligt planläggningen presenteras under hösten 1974. Vissa problem vill vi dock redan nu fästa uppmärksamheten på.

Tenstahusets värmesystem är, via en 3-stegskopplad abonnent- central gemensam för sex hus, ansluten till ett kraftvärmeverk. Det grundläggande önskemålet på abonnentcentraler anslutna till ett kraftvärmeverk är största möjliga temperaturfall på till- fört fjärrvärmevatten. Detta ger såväl god distributionsekonomi i fjärrvärmenätet som ett gott effektutbyte mellan producerad el och värmeeffekt.

För att ge förutsättning att i praktiken komma önskemålet nära tillämpas två inkopplingsätt i fjärrvärmenätet av värmeväxlarna i abonnentcentraler för flerfamiljshus: 2-stegskoppling och 3- stegskoppling. (FIG 9:2, FIG 9:3)

Med 3-stegskoppling kan effektlån ske ur radiatorkretsen vid tillfällig spetslast på tappvarmvattnet och samtida största effektuttag på radiatorkretsen. Värme kan därvid överföras om- vänt från radiatorkretsen till fjärrvärmevattnet i kretsens värmväxlare. Av det framtagna mätresultatet framgår inte huru- vida ett sådant lån skett från radiatorkretsen (FIG 9:4). Ef- tersom registreringar skedde var 15:de minut kan naturligtvis extrema effekttoppar ha inträffat mellan två mätobservationer. Vi håller dock icke detta för troligt. De utförda mätningarna ger således ej något besked om vad som verkligen inträffat på radiatorkretsen vid detta kopplingsätt. I princip har dock tappvarmvattnet alltid prioritet vid 3-stegskoppling och utan att detta normalt medför störning av rumstemperaturen.

I mäthuset har bl a höga rumstemperaturer konstaterats. Inomhus- temperaturen varierade under mätperioden mellan 23 och 25°C - mot beräknade 20°C. En bidragande orsak till dessa höga tempe- raturer kan vara den utförda värme- och ventilationsanlägg- ningens systemlösning. Fastigheten har inte ett renodlat värme- system utan en kombination av ett värme- och ventilationssystem, där gemensam cirkulationskrets tillämpas.

Om radiatorkretsen och tilluftsaggregat har gemensam temperatur- regleringsutrustning, måste tilluftsaggregatet dimensioneras för lägre framledningstemperatur än radiatorerna. Orsaken till detta förfarande är i första hand att man vid värmebehovsberäk- ningen för transmissionsförluster i regel inte tar vederbörlig

hänsyn till den extra värmeavgivning som avges från t ex människor, belysning, sol och - inte minst - friliggande värmeledningsrör. Radiatorerna kräver på grund av dessa orsaker än lägre framledningstemperatur än vad som förutsatts vid dimensioneringen av tilluftsaggregatet. Vid Tenstaanläggningens system blir i regel energibehovet för uppvärmning av tilluften styrande även för rumsuppvärmningen via radiatorer.

För att komma till rätta med detta problem i en befintlig anläggning bör man sänka tilluftens luftflöde eller byta samtliga radiatorventiler mot termostatventiler.

En annan - och generellt sett vanligare - orsak till den höga temperaturnivån inomhus är att abonentområdets radiatorkretsar är bristfälligt inreglerade. Det har visat sig att man inte kan betrakta mätarhusets temperaturnivå som representativ för områdets övriga fastigheter. Det har bl a konstaterats genom de boendes reaktioner och i en genomförd intervjuundersökning att man har avsevärda temperaturskillnader i de olika fastigheterna.

Av flera orsaker kan rumstemperaturen avvika från beräknade och önskade värden. En av de viktigaste är försummad eller bristfällig inreglering av värmesystemet, vilket visar sig i att vissa i förhållande till undercentralen ogynnsamt placerade lägenheter är för kalla medan andra har avsevärt högre temperatur än avsett.

Icke önskvärda temperaturavvikelser söker man ofta avhjälpa genom att höja vattentemperaturen i värmesystemet så mycket att även de sämst värmda lägenheterna får en acceptabel temperatur. Övriga får då en högre temperatur än som avsetts och detta medför, som i Tensta, ett onödigt högt energibehov för uppvärmningen.

Samma - ur energibesparingssynpunkt - negativa effekt kan också erhållas om radiatorerna i rum med extremt stora kyltor dimensioneras för klen. Sådana rum är t ex hörnrum med kalla tak och stora fönsterytor. Den något grova dimensioneringsmetoden att låta rumsluftens temperatur vara lika i alla rum är här tveksam. För att uppnå avsedd behaglighetskänsla, dvs rätt resulterande temperatur, måste den lägre medelstrålningstemperaturen i dessa kalla rum sannolikt kompenseras med en högre lufttemperatur.

I Tenstahuset tillämpas inte någon värmeåtervinning av ventilationsluften, vilket fallet är i Bollnäs. Värmeväxlarens energibesparande egenskaper framgår vid studier av FIG 9:5 och 9:6. Relationstalet torde inte understiga 1:3.

## 9.2 Varmvatten

För framräkning av referensvärde för energibehov till varmvatten har i avsnitt 5.5.1 o. 5.5.2 använts formel redovisad i Byggeforskningens rapport R9:1970. Värden beräknade med hjälp av denna formel överensstämmer relativt väl med mätresultaten från Bollnäs och Tensta. Applicerar man formelns beräkningsförfarande på Råslätt, ett bostadsområde utanför Jönköping, finner man inte någon tillfredsställande överensstämmelse med dess mätresultat (FIG 9:7). I stället för att varmvattenförbrukningen endast delvis är beroende av antal personer i lägenheten antyder figuren att förbrukningen i princip är proportionell mot detta antal.



Beräknat på kWh per person och år är energibehovet för varmvatten 13 % högre för Tensta än i Bollnäs (TAB 9:1). Om Tenstahusets energibehov till varmvatten reduceras med energibehovet för cirkulation av varmvatten (vvc), 7 %, så finner man att avvikelsen i förhållande till Bollnäsvärdet endast blir ca 5 %.

Maximala dygnsbehovet för varmvatten per lägenhet har i Bollnäs och Tensta varit lägre än vad som redovisas från mätningar i Göteborg (5) i hus med liknande antal lägenheter.

Den i Bollnäs huset installerade totala effekten i vattenvärmarren, vars volym är 5 000 liter, är 60 kW för laddning. Laddningen sker mellan kl 21.00 - 07.00. Under 8 timmar, mellan kl 09.00 - 11.00, 13.00 - 15.00 och 17.00 - 21.00 används endast 12 kW. Den installerade effekten är onödigt stor med tanke på magasinets ackumuleringsförmåga. Konstruktionen med elpatroner i botten på kärlet gör att den effekt som är inkopplad kl 17.00 - 21.00 ej kan utnyttjas samma kväll då den reducerade effekten ej förmår öka vattentemperaturen till acceptabel nivå om kärlet under dagen blivit normalt utnyttjat. Denna energimängd kommer därför nästa dag till godo.

Enligt Byggforskningens rapport R57:1973 kan 10 % av dygnsbehovet anses utnyttjas under natten. Likaså kan anses att 95 % av kärlets volym utnyttjas för ackumulering. Om temperaturen vid fullladdat magasin är 85°C och kallvattentemperaturen 5°C kan den största möjliga effekt med fullt utnyttjad laddningstid beräknas enligt följande:

12 kW under 4 timmar (kl 17.00 - 21.00)

P<sub>max</sub> " 10 " (kl 21.00 - 07.00)

5 000 liter magasinets volym

0,95 faktor för effektiv volym

4,2 vattnets spec. värme kJ/kgK

1,1 faktor för utnyttjad värmemängd nattetid

1 kWh = 3 600 kJ

$$12 \times 4 + P_{\max} \times 10 = 5\,000 \times 0,95 \times 4,2 \times (85-5) \times \frac{1,1}{3\,600}$$

P<sub>max</sub> = 44 kW

Endast 44 kW av de installerade 60 kW kan kärlet tillgodogöra sig med beskrivna förutsättningar.

Installerad maximal effekt reducerades den 30 november till 36 kW vilket var rimligt med tanke på förbrukningen. Denna effekt möjliggör ett dygnsbehov av 16,3 kWh/lägenhet. Största dygnsbehov under mätperioden har varit 15,3 kWh/lägenhet. Dygnsbehovet varierar under olika veckodagar och årstider.

De stora effekter som inkopplas nattetid, utnyttjas oftast kortare tider än vad som finns till förfogande. Elnätet blir onödigt kraftigt belastat om många elvärmda vattenvärmare används på detta sätt. För att bättre utnyttja den avsedda laddningstiden är det möjligt att med automatik registrera hur stor del av ackumulatorns värmemängd som är förbrukad. Därigenom kan för varje dygn den för behovet erforderliga minsta effektgränsen inkopplas, så att längsta möjliga laddningstid användes.

I Bollnäs har inte varmvattentappningarnas variation över dygn kunnat studeras, då mätningarna har grundats på energitillförseln till vattenvärmaren.

Bostädernas varmvattenbehov dimensioneras enligt anvisningar i VA-norm (publ. 34) utfärdad av Statens Planverk. I ett prospekt utgivet av en värmeväxlarfabrikant anges att grundlasten på varmvattenförbrukningen är  $1/3$  av dimensionerande flödet och temperaturdifferenser  $5-55^{\circ}\text{C}$  mellan kallt-varmt. Dimensionerande flöde enligt VA-norm för 35 lägenheter är  $1,7 \text{ l/s}$  och effekten  $355 \text{ kW}$ . Grundlasten skulle då bli  $355/3 = 119 \text{ kW}$ . I FIG 9:8 som anger medeldygnet för mars månad, finns denna beräknade grundlast inlagd som  $119/35 = 3,4 \text{ kW/lägenhet}$ . Denna definierade grundeffekt har ingen motsvarighet i dessa mätningar. Grundeffekten  $0,54 \text{ kW/lägenhet}$  enligt R57:1973 (5), som också finns inlagd i figuren överensstämmer bättre. (Se även FIG 9:4)

Badkarstappningar har i allmänhet ansetts vara den dominerande orsaken till hushållens stora varmvattenförbrukning. Hur mycket varmvatten åtgår för badkarstappningar? Låt oss göra ett överslag och betrakta mars månad med dess 4 lördagar och 4 söndagar som enligt dygnsförbrukningens storlek får ses som typiska baddagar. För varmvatten under mars åtgick  $435 \text{ kWh}$  per lägenhet. Varje person antas bada 2 gånger i veckan, alltså 8 bad under mars månad. Varje lägenhet bebos av  $2,46$  personer. Vid normal badkarstappning för vuxna tappas ca  $150$  liter med medeltemperaturen  $40^{\circ}\text{C}$ . Kallvattentemperaturen i mars var enligt FIG 9:9  $+3^{\circ}\text{C}$  i medeltal mellan klockslagen  $14.00 - 20.00$  eller då tappningarna var som störst. Energibehovet för ett bad blir

$$150 \times 4,19 \times (40-3) = 23\ 200 \text{ kJ} = 6,45 \text{ kWh}$$

Energibehovet för badkarstappningar blir

$$8 \times 2,46 \times 6,45 = 127 \text{ kWh/lägenhet}$$

Resultatet blir att knappt 30 % av energibehovet åtgick för badkarstappningar. Om varje person använder  $50$  liter eller  $2,15 \text{ kWh}$  för dusch i samband med bad ökas energibehovet för varmvatten till ca 37 %. De här beräknade energibehoven för bad får anses som tagna i överkant varför största delen av energibehovet för varmvatten ej bör vara att söka i badkarstappningar.

Den momentana tappningseffekten har inte registrerats i denna undersökning. Dessa toppar är mycket kortvariga, omkring 1 minut, vilket framgår av flera andra undersökningar (2), (3), (4).

Största energibehovet för varmvatten under en timme är  $2,93 \text{ kWh/lägenhet}$ . Enligt Byggeforskningens rapport R57:1973 är motsvarande uttag max  $2,7 \text{ kWh/lägenhet}$ , men då är att märka att Tensta-värdet dels innefattar varmvattencirkulationsförluster dels ca  $3^{\circ}\text{C}$  kallvattentemperatur mot  $5^{\circ}\text{C}$  i R57. Överensstämmelsen mellan dessa olika mätningar kan därför betraktas som god.

Energibehovet för varmvattencirkulation är enligt Tenstamätningen  $30 \text{ kWh/dygn}$  eller ca  $0,85 \text{ kWh/lägenhet}$  och dygn. Vissa dagar med hög varmvattenförbrukning har vvc:n varit omkring  $24 \text{ kWh/dygn}$ . vvc:ns andel av totala energibehovet för varmvatten blir då ca 7-8 procent.



Bollnäs saknar varmvattencirkulation. Avsaknaden av vvc har inte kunnat uppvisa ökad varmvattenförbrukning p g a extra spolning för att få tillräcklig temperatur.

Kallvattnets temperatur - vilket endast marginellt påverkar energibehoven för varmvatten - avviker påtagligt under vinterhalvåret mellan de olika mätorterna Bollnäs och Tensta. Detta kan sannolikt förklaras av att man för sin vattenförsörjning utnyttjar olika typer av vattentäkter. Kallvattentemperaturen når sitt lägsta årsvärde först i mars månad medan utetemperaturen är lägst under januari. (FIG 9:9, FIG 9:10)

### 9.3 Hushållsel

Den stora avvikelser mellan Bollnäs och Tensta - 1 000 kWh per lägenhet - för hushållsförbrukningen synes vara svårförklarad.

Genom att applicera en schablonmodell baserad på dels normala årsförbrukningar för de i hushållen ingående elapparaterna hämtade ur Statens Elransoneringsnämnds anvisningar nr 401, dels innehavsfrekvensen i mätusen enligt BEG:s intervjuundersökning (TAB 9:2) erhålls följande normalförbrukning för Bollnäs- och Tenstahuset.

$$\begin{aligned} \text{Bollnäs: } & 1 \cdot 700 + 0,32 \cdot 500 + 1 \cdot 400 + 0,04 \cdot 900 + \\ & + 0 \cdot 300 + 1 \cdot 600 + 1 \cdot 800 = 2\,696 \text{ kWh/lgh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tensta: } & 0 \cdot 700 + 0,54 \cdot 500 + 1 \cdot 400 + 0,36 \cdot 900 + \\ & 0,07 \cdot 300 + 1 \cdot 600 + 1 \cdot 800 = 2\,415 \text{ kWh/lgh} \end{aligned}$$

Den enligt schablonmodellen erhållna avvikelser blir 281 kWh per lägenhet.

BEG:s intervjuundersökning i mätusen visade bland annat att antalet "hemmavarande" var 1,04 personer per lägenhet i Bollnäs respektive 0,75 i Tensta. Ett faktum som varken Byggeforskningens rapport R9:1970 eller schablonmodellen för normalförbrukning tar hänsyn till.

En korrektion härför bör därför göras, uppskattningsvis med 200 kWh. Om antagandet att Tenstahuset har lägre andel hemmavarande än normalhushållet (= Bollnäs- eller Tenstahuset) tillåtes, närmar sig värdena hämtade från Byggeforskningens rapport R9:1970 och schablonmodellen registrerade Tenstavärden enligt TAB 9:3.

Överensstämmelsen med Byggeforskningens rapport och schablonmodellen får därmed betraktas som god gällande Tenstahuset. Bollnäs- eller Tenstahuset däremot har ett energibehov för hushållsel som markant skiljer sig från Byggeforskningens rapport R9:1970.

Den avvikelse kan sannolikt förklaras med att Bollnäs- eller Tenstahuset är i 20 lgh standardutrustat med torkskåp, vilka har en normal årsförbrukning av 700 kWh.

Formel i Byggeforskningens rapport R9:1970 inkluderar ej energibehov för torkskåp. Korrigeras formeln så att energibehov för torkskåp innefattas fås en god överensstämmelse med Bollnäs mätresultat.

Bollnåshusets relativt höga hushållsförbrukning kan anses delvis vara föranledd av kollektivmättningsförfarandet. Tidigare undersökningar har dock ej gett något entydigt svar på frågan om kollektivmätta hus har en högre hushållsförbrukning än särmätta.

Sannolikt kan man förmoda att kollektivmätningen medför en överförbrukning liggande mellan 10-20 %.

Hushållsenergins procentuella fördelning månadsvis i Bollnäs och Tensta överensstämmer synnerligen väl med normalfördelningen redovisad i Statens Elransoneringsnämnds anvisningar nr 401. (TAB 9:4)

#### 9.4 Totalbehov

De specifika energibehoven, dvs energibehoven för hushållsel, varmvatten, luftförvärmning och uppvärmning via radiatorer, påverkar i varierande grad det totala energibehovet under året. Energiförbrukning till uppvärmning av lägenheter har en dominerande andel av det totala under större delen av året. De icke temperaturberoende energibehoven, dvs hushållsel och varmvatten, visar endast marginella variationer under olika årstider. (FIG. 9:11, FIG. 9:12.)

Tekniska energibesparande åtgärder kan troligtvis i första hand insättas för de tunga delbehoven, såsom uppvärmning av lägenheter och ventilationsluft. Vissa besparingseffekter beträffande varmvatten och hushållsel kan också sannolikt erhållas om man för de enskilda hushållen skapar ekonomiska motiv för eget sparande.

TAB. 9:1 Jämförelser med andra varmvattenmätningar.

	Bollnäs 1971-72	Tensta 1971-72	Råslätt (6) 1969-70	Göteborg Utan VV- mätare	1959-60 (7) Med VV- mätare	Göteborg(5) 1967-69	
Antal lgh	28	35	48	248	75	507	147 16 till 48
Antal pers/lgh	2,43	2,46	3,2	3,26	3,43	3,52	2,92 Värden från 10 st hus från nov till april
<u>Varmvattenbehov:</u>							
Energibehov kWh/lgh år	3680	4121	5000	4240	4140	2250	2290 Max dygns- behovet varierar
Energibehov kWh/pers år	1515	1675	1560	1300	1205	640	785 mellan 15,2 och 25 medel- värde
Dygnsbehov max kWh/ lgh	15,3	19,3	18,5	Beräknat 16,3			20,7 kWh/ lgh
Dygnsbehov max kWh/ pers	6,05	7,05	5,8				
Innehåller VVC	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej Nej

TAB. 9:2 Schablonvärden hämtade ur Statens Elransoneringsnämnds anvisningar nr 401 av år 1974 samt innehavsfrekvensen i BEG:s mätningar i Bollnäs och Tensta enligt undersökning.

Schablonvärde kWh/år	Procentuellt innehav enl intervjuer	
	Bollnäs	Tensta
Torkskåp 700	72,0	-
Tvättmaskin 500	32,1	53,6
Kylskåp 400	100,0	100,0
Frysbox 900	3,6	35,7
Diskmaskin 300	-	7,1
Spis 600	100,0	100,0
Belys, radio TV, div 800	100,0	100,0
Summa	4 200	

TAB. 9:3 Hushållselförbrukningen i Bollnäs och Tensta jämföres med Bygghorskningsens rapport R9:1970 samt med en i avsnitt 9.3 använd schablonmodell.

	R9:1970	Schablonmodell	Mätresultat
Tensta	2 140 kWh	2 215 kWh	2 050 kWh
Bollnäs	2 330 kWh	2 696 kWh	3 000 kWh

TAB. 9:4 Hushållselens procentuella fördelning månadsvis i Bollnäs och Tensta jämfört med normalfördelningen enligt Statens Elransoneringsnämnds anvisningar nr 401 av år 1974.

	Sept-71	Okt	nov	dec	jan	feb	mars	april	maj	juni	juli	aug-72	
Bollnäs	8,0	9,0	9,0	10,0	8,2	9,0	9,3	8,1	8,2	7,4	6,0	7,9	%
Tensta	7,1	8,8	9,4	11,3	11,0	9,4	8,6	8,1	7,3	5,9	5,9	7,3	%
Normal	8,0	9,0	9,0	10,0	10,0	10,0	9,0	8,0	8,0	7,0	6,0	6,0	%

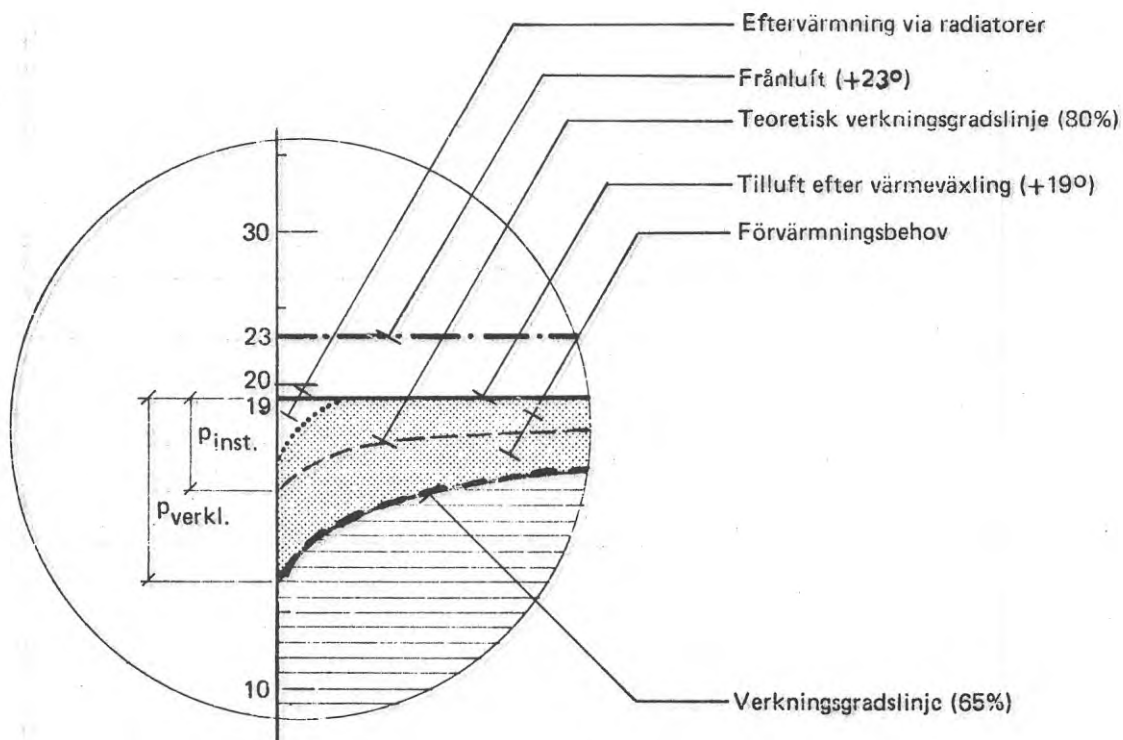
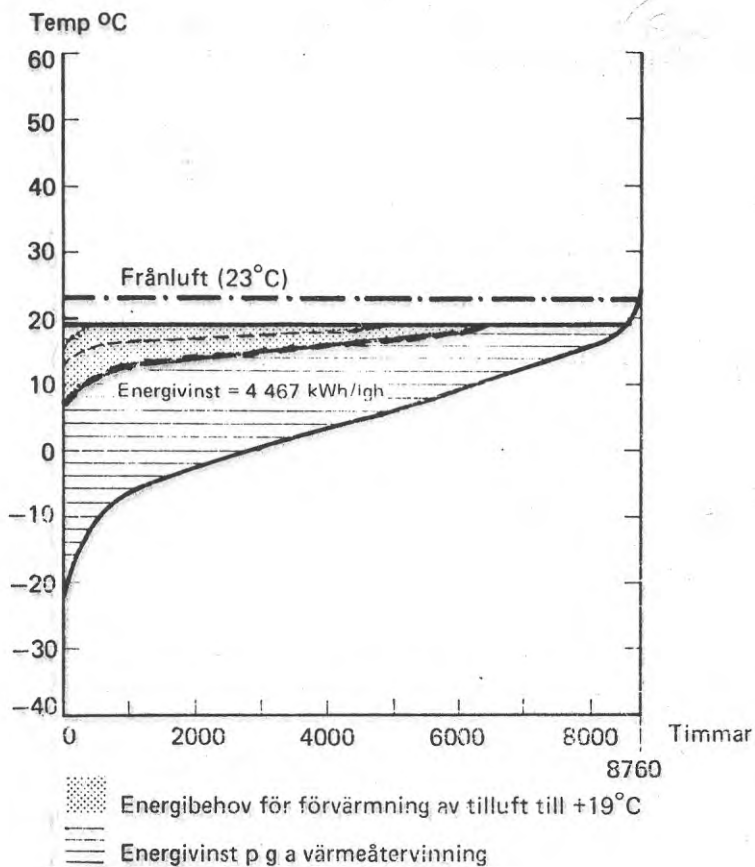


FIG. 9:1 Bollnäs. Varaktighetskurva för uteluftens temperatur, normalår, i vilken inlagts tillståndet för tilluften efter värmeväxling med verkningsgraden 65 % (grovt streckad kurva) och 80 % (smalt streckad kurva). Dessutom framgår i figuren växlarens energibesparing (linjerad yta) samt behovet av tillsatseffekt via radiatorer fr o m -12°C och lägre (vit yta).

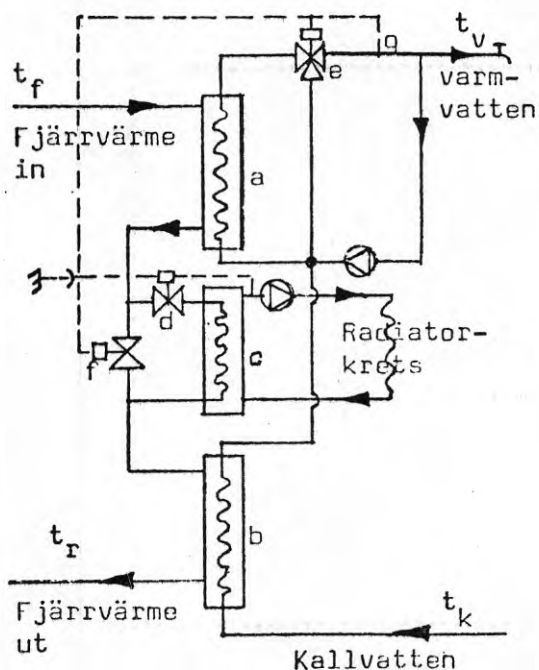


FIG. 9:2 Tre-steps abonnentcentral för fjärrvärme.

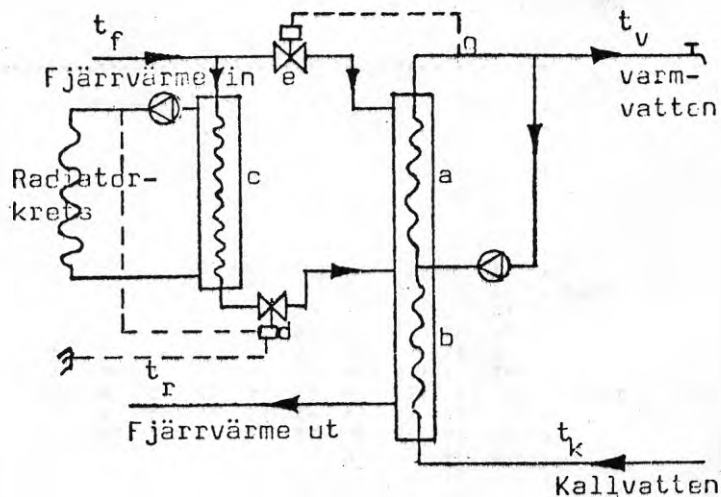


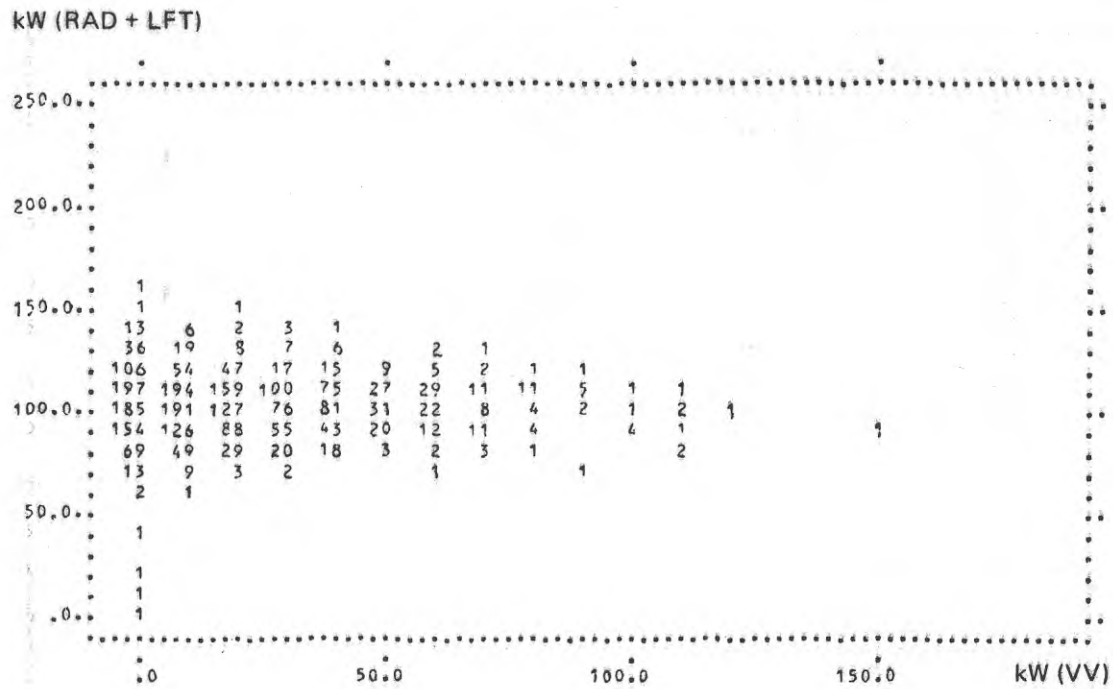
FIG. 9:3 Två-steps abonnentcentral för fjärrvärme.

- $t_v$  = varmvatten
- $t_k$  = kallvatten
- $t_f$  = framledning primärvatten
- $t_r$  = returledning primärvatten

FIG. 9:2 och 9:3 visar principkoppling av en trestegs respektive tvåstegs abonnentcentral för fjärrvärmeanslutna flerfamiljshus. Tappvattnet värmes med direkta värmeväxlare i förvärmardelen (b) och eftervärmardelen (a). Vid mindre tappningar vintertid är ofta fjärrvärmevattnets temperatur tillräckligt hög då detta passerat radiatorvärmväxlaren (c) så att vid (g) inställd varmvattentemperatur (vanligen  $55^{\circ}\text{C}$ ) ej underskrives. Då varmvattentemperaturen vid (g) understiger inställt värde öppnar ventilen (e) till eftervärmardelen (a). Vid trestegskoppling är (e) en trevägsventil som för in en del av varmvattnet från (b) till (a). Härvid sänkes fjärrvärmevattnets temperatur då detta passerat (a) varvid radiatorväxlaren kommer att gå med reducerad effekt tills tappningarna minskar. Om inte inställd varmvattentemperatur uppnås med (e), fullt öppen, kommer (f) att öppna. Vid tvåstegskopplingen är (e) en tvåvägsventil som för in fjärrvärmevattnet i eftervärmardelen (a) parallellt med radiatorväxlaren (c). Om trycket sjunker på fjärrvärmesidan under stor varmvattentappning p g a parallellkopplingen av (a) och (c) kommer den sistnämnda att få reducerat flöde varvid radiatorsystemet får gå med reducerad effekt. Radiatorsystemet regleras vid båda kopplingarna med ventiler (d).

Sommartid då (d) är stängd sker varmvattenregleringen vid tresteg med (f) och vid tvåsteg med (e).





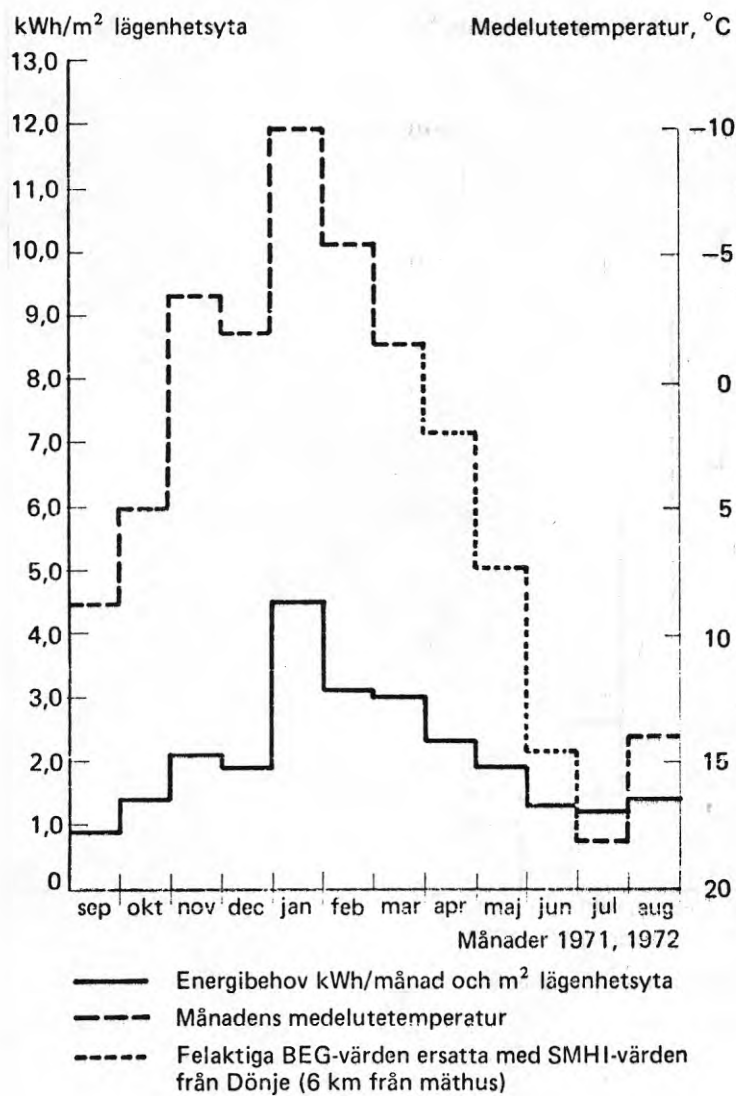


FIG. 9:5 Bollnäs. Energibehov till luftförvärmning i kWh per månad och m<sup>2</sup> lägenhetsyta samt dess relation till månadens medelutetemperatur.

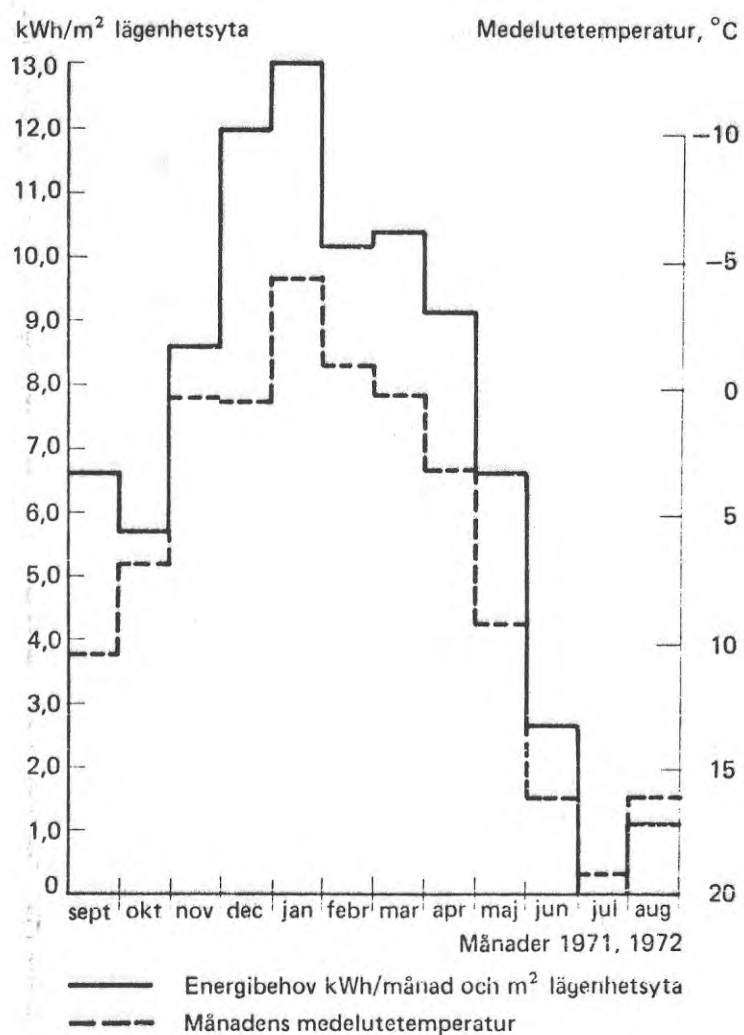


FIG. 9:6 Tensta. Energibehov till luftförvärmning i kWh per månad och m<sup>2</sup> lägenhetsyta samt dess relation till månadens medelutetemperatur.

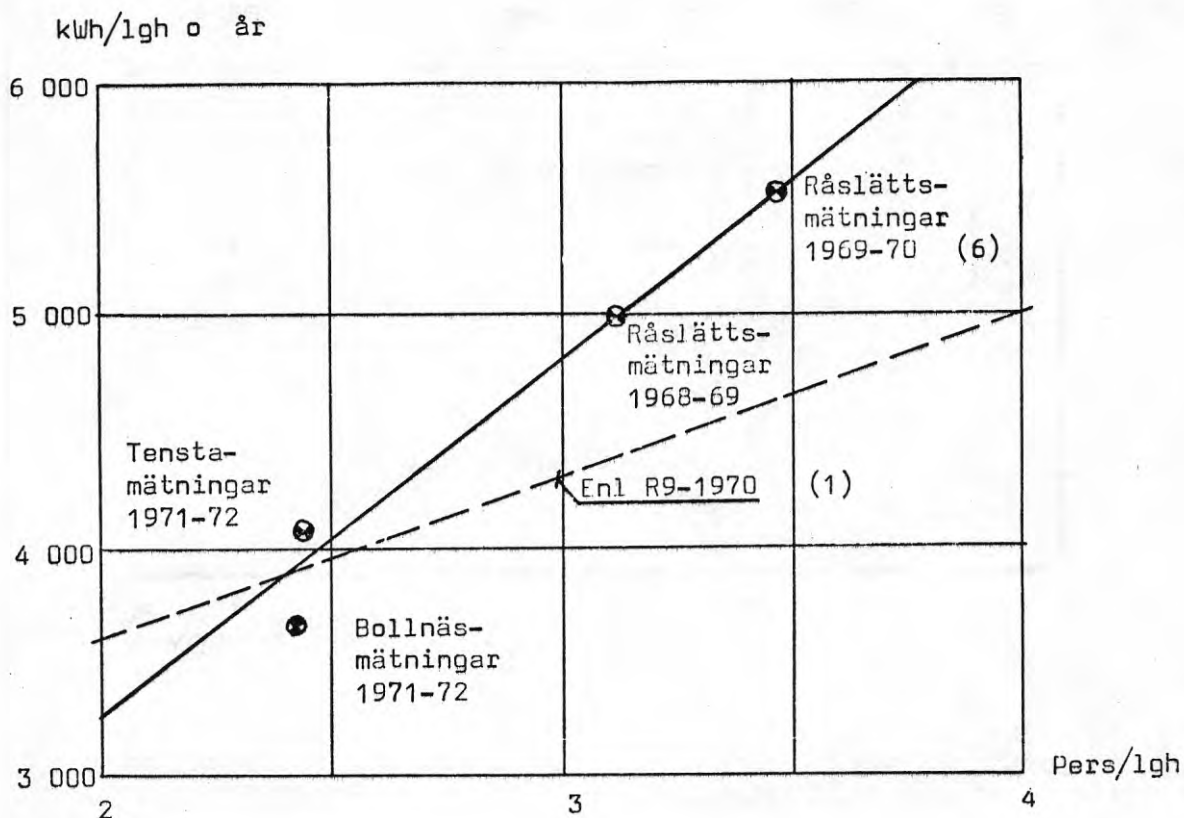


FIG. 9:7 Årligt energibehov för tappvarmvatten som funktion av antalet boende per lägenhet enligt mätresultat från i figuren redovisade områden.

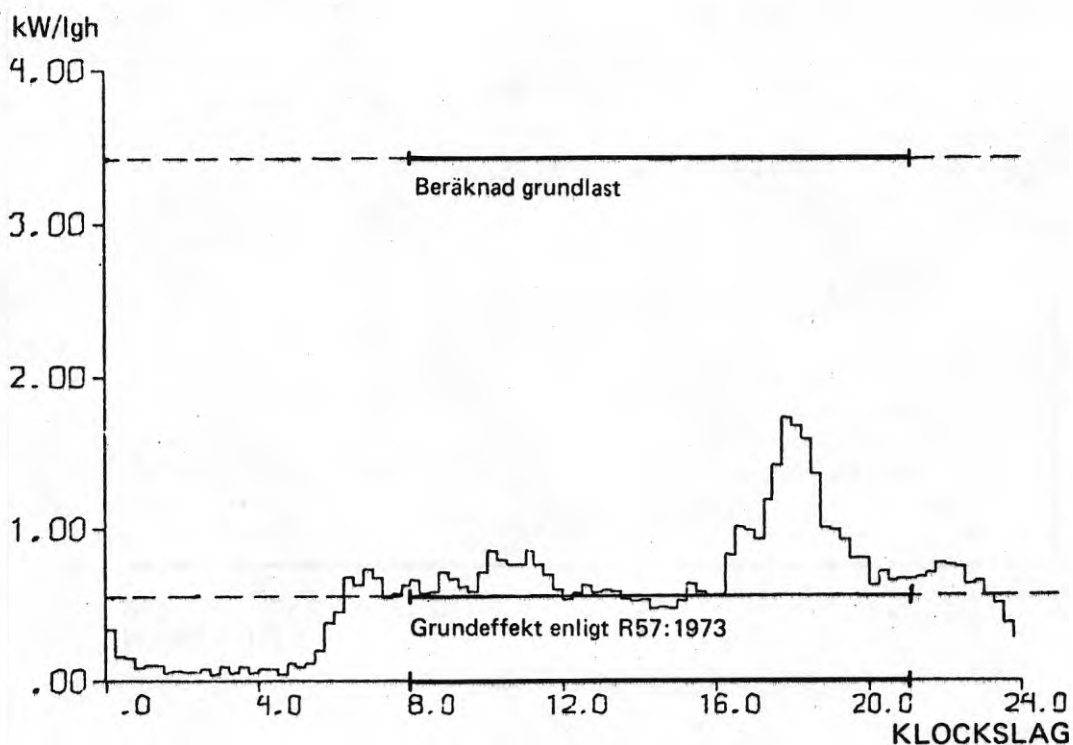


FIG. 9:8 Varmvatteneffekt i kW per lägenhet under mars månad. Medeldygn. I figuren visas olika effektnivåer för normaltappning per lägenhet beroende av vilka dimensioneringskriterier som tillämpats.

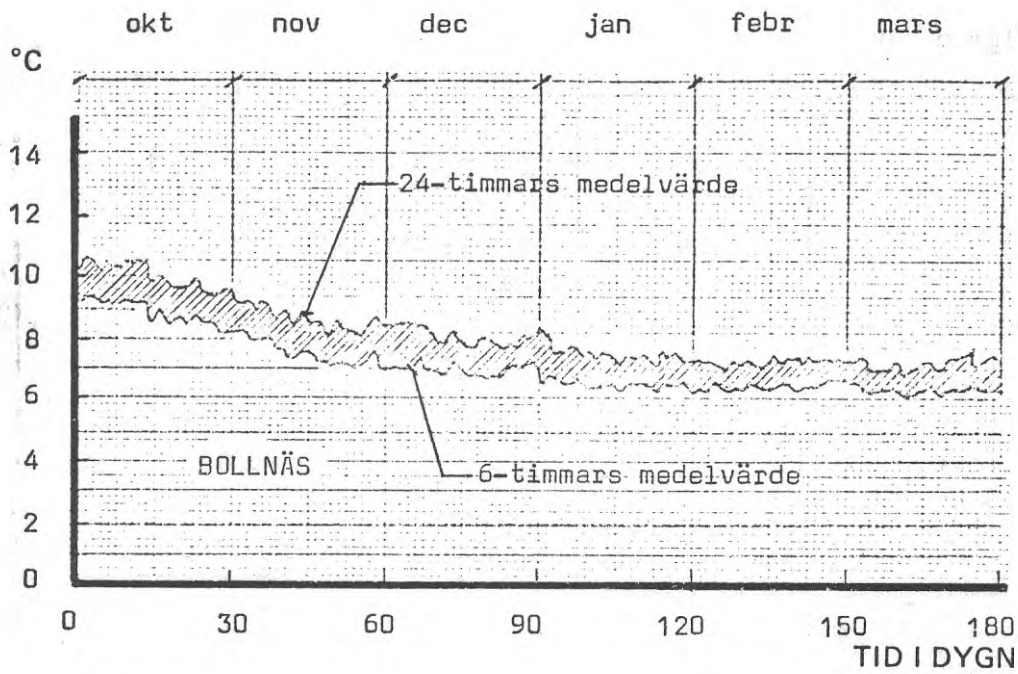


FIG. 9:9 Bollnäs. Kallvattentemperaturens variation under vinterperioden. Översta kurvan visar 24-timmars medelvärdesbildning (kl 00.00 - 24.00) samt nedre kurvan 6-timmars medelvärde (kl 14.00 - 20.00).

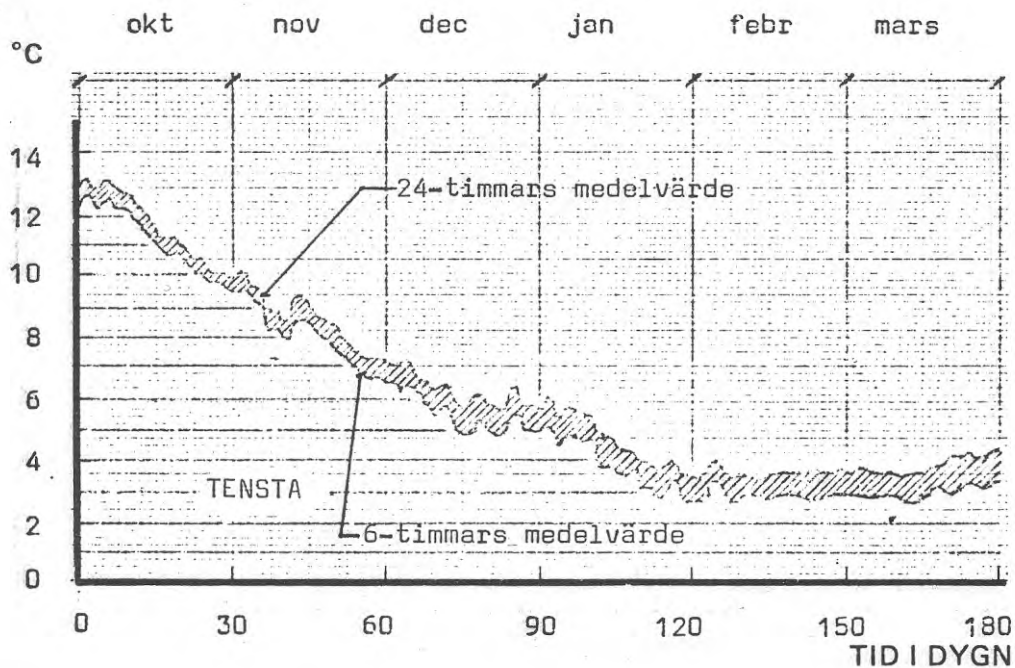


FIG. 9:10 Tensta. Kallvattentemperaturens variation under vinterperioden. Översta kurvan visar 24-timmars medelvärdesbildning (kl 00.00 - 24.00) samt nedre kurvan 6-timmars medelvärde (kl 14.00 - 20.00).

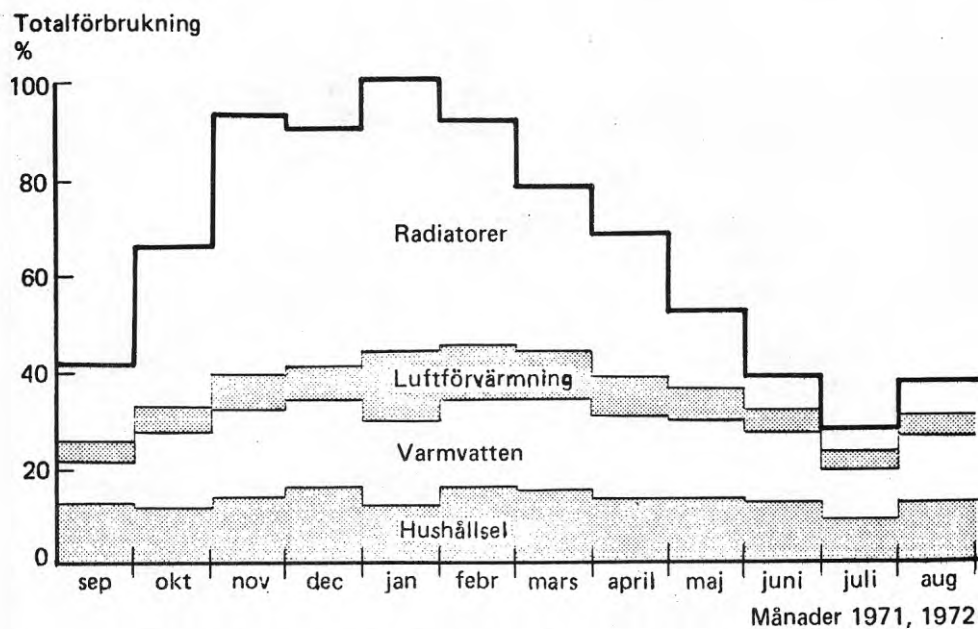


FIG. 9:11 Bollnäs. Diagrammet visar det totala energibehovets variation under året. Dessutom framgår i figuren delbehovens variation under året.

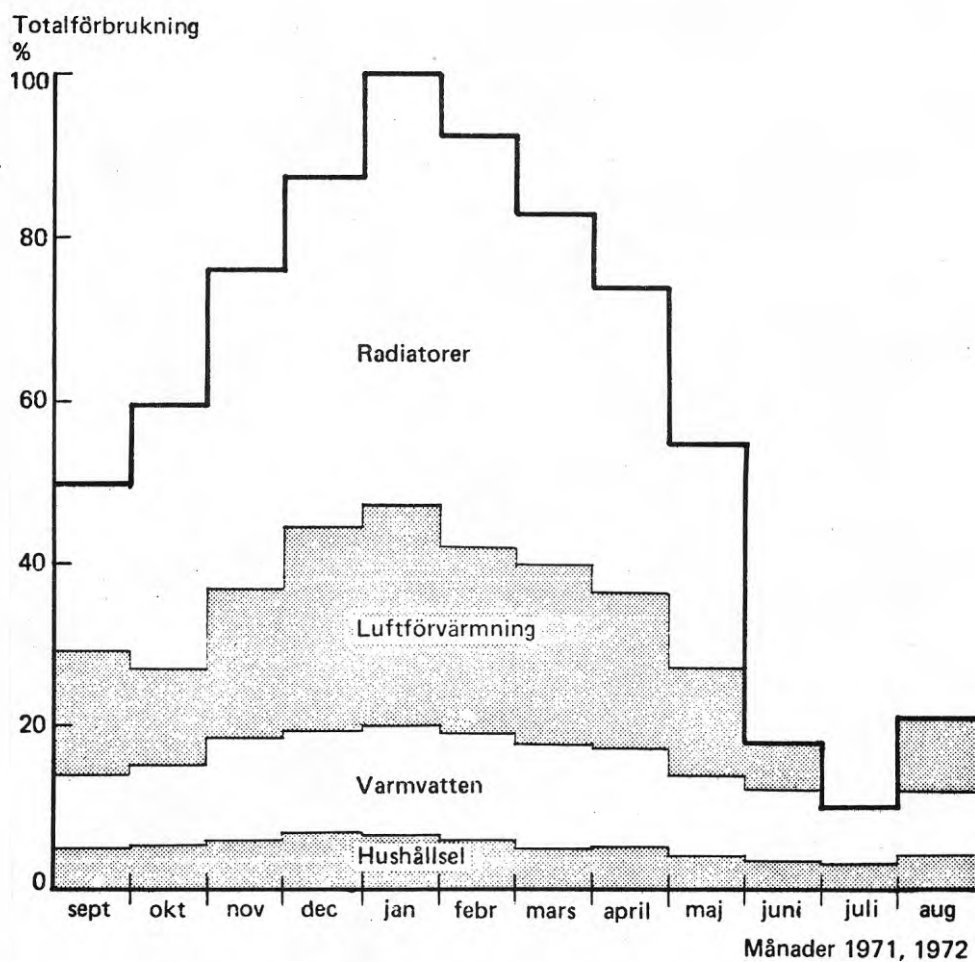


FIG. 9:12 Tensta. Diagrammet visar det totala energibehovets variation under året. Dessutom framgår i figuren delbehovens variation under året.



## LITTERATUR

- (1) Samarbetsgruppen för byggnaders energiförsörjning, 1970, Data för jämförande kostnadsberäkningar. Byggforskningens rapport R9:1970.
- (2) Jensen, L H, 1973, Sammanställning av mätningar och data, behandling av tappvarmvattenförbrukning i Nydala i Malmö. (Statens råd för byggnadsforskning.) Ej publicerad.
- (3) Rosentahl, T, 1972, Tappvattenförbrukning i bostadshus med hjälp av sammanlagringsteorin. (Statens råd för byggnadsforskning.) Ej publicerad.
- (4) Dirke, Edvinsson, Löfstrand, Effektbehov för tappvarmvatten i bostadshus från 2 900 lägenheter i Göteborg. (Statens råd för byggnadsforskning.) Ej publicerad.
- (5) Svensson, G, 1973, Dygnsbehov av tappvarmvatten. Byggforskningens rapport R57:1973.
- (6) Håål, S, 1970, Rapport angående mätning av elförbrukning i Råslätt. Ingenjörfirman Bergman & Co AB, 1970. Stencil.
- (7) Dirke, L, 1960, Varmvattenförbrukning i lägenheter med och utan vattenmätare I. Särtryck 3:1961. Byggforskningen.





**R10:1974**

**Denna rapport avser anslag C 329 Statens råd för byggnadsforskning till Samarbetsgruppen för byggnaders energiförsörjning, Stockholm. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm  
Grupp: installation**

**Pris: 21 kronor + moms**