



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.



SVEN-OLOF ERIKSSON

Stockholmsprojektet
– energibehov i
flerbostadshus med
solvägg, tung stomme
och värmepump

R44: 1993

Kv Konsolen

R/BH
INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *See*

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129284

R44:1993

126-990

**STOCKHOLMSPROJEKTET-
ENERGIBEHOV I FLERBOSTADSHUS MED SOLVÄGG,
TUNG STOMME OCH VÄRMEPUMP**

Kv Konsolen

Sven-Olof Eriksson

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870739-3
från Byggforskningsrådet till Projektgruppen för energi-
hushållning i byggnader - EHUB vid Institutionen för
Byggnadsteknik, KTH, Stockholm.**

REFERAT

Kvarteret Konsolen är ett av sex delprojekt inom ramen för det s.k. Stockholmsprojektet vars syfte var att öka kunskapen om och ge erfarenheter av ny energiteknik för moderna flerbostadshus. Byggnaderna i kv Konsolen är uppförda med relativt konventionell byggnadsteknik med prefabricerade betongelement. I allt väsentligt är byggnaderna utförda enligt SBN 80.

Energianvändningen har utvärderats främst genom omfattande mätningar under ca fyra års tid. De särskilt studerade experimentdelarna har varit solvägg, tung stomme (sänkt värmeeffekt) och värmepump.

Solväggens bidrag till värmebalansen har visat sig vara mycket ringa och motsvarar ca 2 % av köpt energi. Installerad värmeeffekt har minskats med ca 13 % jämfört med "normal" dimensionering. Maximal effekt har aldrig behövts utnyttjas trots att dygnsmedeltemperaturen utomhus varit mer än 10 °C lägre än den temperatur som huset dimensionerats för. Orsaken är att interna värmekällor (främst hushållsel) svarar för en stor del av värmebehovet. Drygt halva behovet av värme och varmvatten produceras med hjälp av husets frånluftsvärmepump.

Byggnadernas totala normalårskorrigerade behov av köpt energi (värme, varmvatten, hushållsel och fastighetsel) är mellan 118 och 130 kWh/m² (BRA) och år. Den låga energianvändningen beror främst på värmeåtervinningen via frånluftsvärmepump. Byggnadernas låga totala energibehov är därigenom till stor del beroende av elenergi.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R44:1993

ISBN 91-540-5590-3
Byggeforskningsrådet, Stockholm

gotab 98748, Stockholm 1993

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	5
Abstract	6
Sammanfattning	8
Symboler	12
1 Stockholmsprojektet – En presentation	13
2 Utvärderingens syfte	15
3 Kv Konsolen – Objektsbeskrivning	16
3.1 Byggnaderna.....	16
3.1.1 Byggnadstekniken.....	18
3.1.2 Installationer.....	23
3.1.3 Driftstrategi.....	24
3.2 Utvärderade experimentåtgärder.....	25
3.2.1 Solväggen.....	25
3.2.2 Tung stomme.....	28
3.2.3 Frånluftsvärmepump	29
3.3 Förväntad energiförbrukning – Simuleringsberäkningar	30
4 Försöksmetodik	31
4.1 Utvärderingens uppläggning.....	31
4.2 Mätningar.....	32
4.2.1 Kontinuerliga mätningar	32
4.2.2 Momentana mätningar	33
4.3 Mätningarnas tillförlitlighet.....	34
4.4 Korrigering till normalårsförbrukning.....	35

5	Resultat av mätningar och uppföljning	37
5.1	Köpt energi.....	37
5.1.1	Uppdelning av köpt energi.....	37
5.1.2	Uppmätt energianvändning.....	37
5.1.3	Feluppskattning i bestämning av köpt energi.....	40
5.1.4	Jämförelse med andra hus.....	40
5.2	Energibalans.....	42
5.2.1	Energibalansens delar.....	42
5.2.2	Mät- och beräkningsresultat.....	47
5.2.3	Jämförelse med simuleringar.....	52
5.3	Experimentåtgärderna.....	55
5.3.1	Solväggselementen.....	55
5.3.2	Tung stomme.....	66
5.3.3	Värmepump / Värmeåtervinning.....	70
5.4	Inomhusklimat.....	75
5.4.1	Inomhustemperaturer.....	75
5.4.2	Ventilation.....	82
5.4.3	Boendeupplevelser av temperaturer och ventilation....	85
5.5	Driftserfarenheter.....	90
5.5.1	Vilka fel / problem har uppstått?.....	90
5.5.2	Kan felen undvikas?.....	94
6	Slutsatser	95
7	Referenser	98
	Bilaga 1 Köpt energi 1985-1987, tabeller.....	100
	Bilaga 2 Beräkning av minsta erforderliga byggnadstäthet för att erhålla avsett luftflöde genom solvägg.....	103

FÖRORD

I denna rapport presenteras utvärderingsresultat från kv Konsolen, ett av de experimenthus som ingår i det s.k. Stockholmsprojektet.

Projektet har pågått under en lång tid och många personer har varit inblandade genom åren. Jag vill här rikta ett varmt tack till alla som på olika sätt bidragit till rapportens tillkomst genom att utföra mätningar, samla in data, lämna synpunkter och inte minst diskutera problem. Ett speciellt tack till min huvudhandledare Arne Elmroth som också varit projektledare för utvärderingen av Stockholmsprojektet.

Arbetet har bedrivits med finansiellt stöd från Statens råd för byggnadsforskning.

Stockholm i juni 1993

Sven-Olof Eriksson

ABSTRACT

The Stockholm Project is a full scale research project which, in few words, will contribute to a new generation of energy efficient apartment buildings. The project contains six houses in which "Konsolen" is one. The block of Konsolen consists of two L-shaped, four storey balcony access buildings with altogether 57 apartments. It was built in 1984 with prefabricated concrete elements.

The energy concepts evaluated in Konsolen are:

- The Solar wall. A solar collector integrated with an outer wall construction where the supply air is preheated by solar energy striking the wall.
- The Heavy frame. The buildings have a high thermal mass. This has been used to downsize the power of the heating system. Normally, this kind of building is dimensioned for a design outdoor temperature of $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. In this case, $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ has been used.
- The Heat pump. A heat pump takes heat from the exhaust air and dumps it into the domestic hot water system or the radiator system.

The buildings have been extensively monitored using long time measurements. Data concerning energy use, indoor temperatures and weather have been collected as hourly averages during almost four years.

The measurement results show a low requirement of total purchased energy. Total purchased energy includes all energy used for space heating, domestic hot water, domestic electricity and electricity for building services. As a normal-year adjusted average for the three years 1985-87, the total amount of purchased energy was 124 kWh/m^2 . This value can be compared with statistical data from houses built about the same time in the same area which use about 190 kWh/m^2 . It has been found that more than half of the energy used was electricity. The main reason for the low total energy requirement was the use of the heat pump. However, the heat pump was a great cause for the high electricity dependence.

Measurement results from one specific solar wall ($2,1\text{ m}^2$) show that the possible energy contribution from one solar panel is about 90 kWh/year . Around 50 kWh/year is solar energy and the rest is recovered heat transmission from the inside. The total energy contribution from the solar walls can, from measurements and calculations, be estimated in the order of 2 kWh/m^2 floor area and year and corresponds to about 2 % of the purchased energy. Although the solar wall system works passively, it is sensitive to changes in air leakage of an apartment i.e. open windows or doors. Another drawback is that some occupants do not know how to operate the solar wall system.

During the evaluation period, one week with very low outdoor temperatures occurred. The temperature was below $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ for more than four days with a minimum of $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, in other words, between 7 and $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ below the design temperature. Despite these very low outdoor temperatures there was no drop in indoor temperature. Internal heat supplied by domestic electricity and persons covered the difference between the design temperature and the real outdoor temperature of $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. The fact that the power was sufficient even at temperatures below $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ depends primarily on the design calculations, which do not take into account the heat from domestic electricity and metabolic heat existing in the building (in accordance to the Swedish Building Code), and depends less on the high time constant.

The heat pump produces slightly more than half of the energy used for space heating and domestic hot water. About half of the energy in the exhaust air is recovered by the heat pump system. The heat pump has been working with an average coefficient of performance (COP) of about 2,7. Some operating problems have been noticed in connection with the heat pump system. The heat pump switched on and off in very short intervals mainly owing to indistinct control functions. Minor changes in the control system decreased these problems.

The average indoor temperature has been measured to be about $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. There is a difference in indoor temperatures between the apartments. The difference in monthly average temperature between the warmest and the coldest apartment can be up to $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Results from Konsolen and the other buildings in the Stockholm Project show that it is possible to significantly decrease the heating demand in new multifamily buildings. The results also show an increase of electricity usage, especially for building services. This highlights the importance of careful inspections and tuning of building services.

SAMMANFATTNING

Kv Konsolen ingår som en del i det s.k Stockholmsprojektet, vilket är samlingsnamnet för sex experimentbyggnadsprojekt byggda i Stockholm 1984-86. Projektet, som initierades genom en idéävling utlyst av Stockholms stad, syftade till att få fram idéer till och ge erfarenheter av delvis ny teknik för att skapa energisnåla flerbostadshus. Projektet omfattade sex experimentbyggnadsprojekt med olika energihushållningskoncept av mer eller mindre uttalad experimentkaraktär. Energiexperimenten inom Stockholmsprojektet har utvärderats av Projektgruppen för energihushållning i byggnader (EHUB) vid KTH.

I kv Konsolen ingår två stycken likadana vinkelbyggda fyravånings loftgångshus. Husen är byggda med prefabricerade väggelement av sandwichtyp i betong med värmeisolering av cellplast. Husen rymmer tillsammans 57 lägenheter och den sammanlagda bruksarean är 5336 m². Uppvärmning och tappvarmvattenberedning sker med en kombination av frånluftsvärmepump och fjärrvärme. Värmedistributionen utgörs av konventionella vattenradiatorer dimensionerade för 55 °C framledningstemperatur. Ventilationssystemet är ett frånluftssystem med vätskekopplad värmeåtervinning till värmepump. Tilluft avses vintertid passera en speciellt utformad del av ytterväggen som fungerar som solfångare och värmer tilluften.

En grundläggande del i utvärderingen har varit att bestämma och analysera behovet av köpt energi och dess beståndsdelar. I kv Konsolen har tre experimentåtgärder särskilt utvärderats:

Solvägg - ett system för värmning av tilluft med solenergi.

Tung stomme - installerad värmeeffekt har dimensionerats för högre DUT än normalt med hänsyn till husets tunga stomme.

Värmepump - en frånluftsvärmepump svarar för en stor del av värme- och tappvarmvattenproduktionen.

Värmepumpen bedömdes från början inte vara något experiment eftersom denna teknik ansågs väl beprövad när husen byggdes varför något experimentbyggnadsstöd inte utgick. I efterhand har värmepumpen bedömts vara intressant att studera närmare.

Projektet är ett fullskaleförsök. I utvärderingsmetoden har därför ganska naturligt omfattande fältmätningar av främst energidistribution och temperaturförhållanden ingått. Huvuddelen av mätningarna har utförts som automatiserad insamling av långa mätserier där data samlades in som timmedelvärden baserade på avläsningar var 5:e minut. Som komplement till den automatiska mätdatainsamlingen har momentana mätinsatser gjorts vid några tillfällen. Dessa momentanmätningar har främst omfattat bestämning av lufttäthet, ventilation och termiskt inneklimat.

I kvarteret Konsolen installerades ca 200 givare för kontinuerlig registrering av mätdata. Mätanläggningen har dels utformats för att så väl som möjligt bestämma de viktigaste beståndsdelarna i byggnadens energibalans, dels för att bestämma inverkan av de särskilda experimentåtgärderna. Mätdatainsamlingen påbörjades 1:a juli 1984 och avslutades 30:e juni 1988. Mätningarna utfördes av Mätcentralen för energiforskning vid KTH.

Totala behovet av köpt energi (normalårskorrigerad) i kv Konsolen har från utförda mätningar visat sig uppgå till mellan 118 och 130 kWh/m² (BRA) och år under utvärderingsåren 1985-1987. I totalt köpt energi ingår uppvärmning, tappvarmvatten, hushållsel och fastighetsel. Uppvärmning och varmvatten tillgodoses både med fjärrvärme och el (till värmepump). Under 1987 var normalårskorrigerad förbrukning av fjärrvärme ca 45 kWh/m². Värmepumpen förbrukade ca 24 kWh/m² elenergi. Fastighets- och hushållsel utgör vardera ungefär lika stor del av energianvändningen och uppgick 1987 till ca 27 kWh/m² vardera. Den totala energiomsättningen (där även uppmätt återvunnen energi ingår tillsammans med beräknade värden för personvärme och energitillskott genom fönster) har för 1987 bestämts till 210-220 kWh/m² varav köpt energi utgör 130 kWh/m².

I simuleringar utförda med simuleringsprogrammet BRIS i projektets inledning beräknades totalt köpt energi till 98 kWh/m² för simuleringsåret 1971. Den verkliga energianvändningen blev således högre än den förhandsberäknade. En stor del av skillnaden förklaras av att inomhustemperaturen i genomsnitt varit drygt 22 °C istället för 20 °C som simuleringen utgått från. Skillnader i utetemperatur mellan simuleringsår och normalår inverkar också. Om simuleringsresultatet korrigeras till uppmätta temperaturförhållanden blir uppmätt köpt energi ungefär 7 % större än simulerad.

I jämförelse med samtidigt byggda bostadshus i Stockholmstrakten är den totala energianvändningen i Konsolen relativt låg. Elanvändningen för framförallt fastighetsel har dock i nya hus likt kv Konsolen visat sig vara överaskande hög. Detta har uppmärksammats i ringa grad i projekteringen.

Den så kallade solväggen är ett speciellt utformat system för uppvärmning av tilluften till lägenheterna. Tilluften leds på sin väg in genom fasaden i en utbredd luftspalt mellan ytterväggens yttre betongskiva och värmeisolering. Vid solsken kommer luften att förvärmas något av den från solstrålningen uppvärmda fasaden. Systemet är passivt och luften drivs genom den solfångande väggen av det undertryck som bildas av byggnadens frånluftssystem i kombination med relativt god lufttätet.

Solväggen har utvärderats genom särskilda mätningar på ett enskilt solväggsselement. Resultatet visar att solväggens verkningsgrad är

ganska låg. Endast ca 10% av den mot väggpartiet instrålade solenergin kan nyttiggöras som värmetillskott i lägenheten vid normala driftförhållanden. Det undersökta solväggselementet med en solfångande area av 2,1 m² bedöms ge ett totalt värmetillskott på ca 90 kWh under ett normalår. Av dessa 90 kWh bedöms ca 40 kWh per år utgöras av återvunnen transmissionsenergi. Om resultatet för det studerade solväggselementet extrapoleras till att gälla generellt för alla solväggselement i byggnaderna blir det årliga bidraget ca 12 MWh eller drygt 2 kWh/m² och år, vilket är mindre än 2 % av det totala behovet av köpt energi. Solväggen sätts helt ur spel om t ex ett fönster öppnas eller om lägenhetens luftläckning är för stor. Solväggens bidrag till husets värmebalans är således marginellt. Konstruktionen kan ändå ha ett visst positivt värde i ett frånluftsventilerat hus som detta eftersom man får en temperaturhöjning av tilluften under kalla och soliga dagar vilket kan minska de dragproblem som är vanliga då kall tilluft kommer in i huset.

Den tunga stommen förväntades minska byggnadens effektbehov. Med hänsyn till byggnadernas långa tidskonstant (160 h) har den installerade effekten reducerats med ca 13 % jämfört med det normala. Mätningarna har visat att installerad effekt trots reduktionen är mer än tillräcklig. Under januari 1987 var dygnsmedelvärdet av utomhustemperaturen lägre än minus 20 °C under fyra dygn i följd. Trots denna extremt låga temperatur har inte hela värmeeffekten behövt utnyttjas. Med andra ord har inte ens vid denna för orten extremt låga utetemperatur stommens värme-lagrande förmåga utnyttjats. Någon temperatursänkning inomhus behövde inte tas i anspråk. Därmed är det också svårt att bedöma den eventuellt möjliga effektreduktionen med tung stomme. Att installerad effekt är tillräcklig trots reduktionen beror främst på att dimensioneringsreglerna inte tar hänsyn till de interneffekter som alstras av hushållsapparater, belysning, personvärme etc.

Den viktigaste orsaken till den förhållandevis låga energianvändningen i kv Konsolen är husets frånluftsvärmepump. Värmepumpen har en årsmedelvärmefaktor på ca 2,7. Den bidrar således med 2,7 gånger mer värme än den förbrukar i form av el. Ungefär 54 % av det årliga värme- och tappvarmvattenbehovet tillgodoses av värmepumpen (1987). När utetemperaturen är högre än ca +9 °C tillgodoses i princip hela värme- och tappvarmvattenbehovet av värmepumpen.

En del driftsproblem har kunnat konstateras för värmepumpinstallationen. Dessa har bl.a. bestått i en ojämn gång med täta till- och frånslag. Problemen var störst under perioder med litet värmebehov i radiatorsystemet. Huvudorsaken visade sig vara svårigheter att uppnå sluttemperatur i de ackumulatortankar som värmepumpen levererade varmvatten till. Genom något ändrade styrfunktioner

har problemen minskats. De korta tiderna mellan start och stopp hade inte särskilt stor inverkan på energiförbrukningen men hade sannolikt inneburit en starkt förkortad livslängd hos kompressorn om det fått kvarstå.

Den genomsnittliga inomhustemperaturen har uppmätts till drygt 22 °C. Betydande skillnader i temperatur finns dock mellan olika lägenheter. Månadsmedelvärdet för lufttemperaturen inomhus kan skilja 5 °C mellan olika lägenheter. Även inom en och samma lägenhet kan temperaturen över året variera ca 5 °C. Intervjuer med de boende visar att drygt hälften av hyresgästerna är nöjda med temperaturen under vinterhalvåret och 80 % är nöjda med temperaturen under sommarhalvåret. Kvarteret Konsolen får bättre omdöme om temperaturen från hyresgästerna än de övriga husen i Stockholmsprojektet.

Det totala frånluftsflödet i husen har motsvarat ca 0,7 oms/h vilket är något högre än det projekterade värdet som motsvarar 0,55 oms/h. Mätningar av frånluftsflöden i enskilda lägenheter ger en genomsnittlig luftomsättning lika med medelvärdet av projekterad luftomsättning dvs 0,55 oms/h. Skillnaderna i luftomsättning mellan olika lägenheter är relativt stor. Standardavvikelsen för uppmätt luftomsättning är +/- 0,19 oms/h. Luftomsättningen i enskilda lägenheter kan skilja en faktor fyra, från 0,25 till 1,05 oms/h. Mätning av luftomsättning med spårgasmetod i en lägenhet (enligt den s.k konstantkoncentrationsmetoden) visar ingen påverkan på luftomsättningen från variationer i utetemperatur och vindhastighet. Av hyresgästerna är över hälften nöjda med ventilationen under vintern medan ungefär 80 % är nöjda med ventilationen sommartid. Detta resultat motsvarar ganska väl det omdöme som ges om de övriga husen i Stockholmsprojektet.

Stockholmsprojektet har som helhet gett värdefulla erfarenheter av hur energin används i våra hus. Det har visat sig att det är möjligt att minska värmebehovet mycket kraftigt i nya hus. Samtidigt har projektet också visat på en tidigare föga uppmärksammas stor elanvändning för att driva de tekniska systemen, främst fläktar och pumpar, i de nya husen. Projektet har också bidragit till värdefulla insikter om hur viktigt det är att nya, avancerade installationer trimmas in ordentligt och ständigt kontrolleras. Likaså att det är viktigt att följa upp byggnadstekniska detaljlösningar, t ex köldbryggor.

SYMBOLER

A	= Area, [m ²]
BRA	= Bruksarea, [m ²]
C	= Flödeskoefficient, [l/s·Pa ⁿ , m ³ /s·Pa ⁿ]
COP	= Värmefaktor för värmepump []
C _p	= Specifik värmekapacitet, [kJ/kg°C]
Δp	= Tryckskillnad, [Pa]
E	= Energimängd, [Wh, kWh, MWh]
e _n	= Absolutbelopp för enskilt fel
η	= Verkningsgrad [-]
I	= Energi från solinstrålning, [Wh/m ² , Wh/m ²]
n	= Flödesexponent []
P	= Effekt, [W, kW]
q	= Vätske- eller luftflöde, [m ³ /s, m ³ /h]
θ	= Temperatur, [°C]
ρ	= Densitet, [kg/m ³]
s	= Standardfel
t	= Tid, [h, s]
U	= U-värde, [W/m ² °C]

1 STOCKHOLMSPROJEKTET – EN PRESENTATION

Stockholmsprojektet är samlingsnamnet för sex experimenthus där föremålet för denna rapport, kv Konsolen, ingår som ett av dessa hus. Det är energisnåla flerbostadshus, som byggts med i första hand beprövad men förbättrad teknik i kombination med tidigare oprövade idéer. Stockholmsprojektet har utvärderats med deltagare från många discipliner, en förutsättning för att få riktiga svar på många tekniska frågor. Många erfarenheter är generella, d v s inte direkt anknutna till de experiment som gjorts. Resultaten är därmed tillämpbara även för andra flerbostadshus.

Stockholmsprojektet kan sägas ha initierats av riksdagens energipolitiska beslut 1981 om att kraftigt minska uppvärmningsbehovet i bebyggelsen. Ansvar för att uppnå målet lades på landets kommuner. Stockholms stad utlyste samma år en idéävling om energihushållning i framtidens bostadsbyggande bl.a för att få praktiska erfarenheter och ett säkrare beslutsunderlag för stadens energiplan. Flera av tävlingsbidragen innehöll förslag till lösningar som bedömdes så intressanta att de vore värda att undersöka i full skala.

Byggeforskningsrådets stöd till utveckling av energieffektiv teknik och nya systemlösningar i byggnader gjorde det möjligt att pröva en del av idéerna inom ett sammanhållet projekt, Stockholmsprojektet.

1982 kunde Stockholms stad anvisa mark för fem experimentbyggen. Något senare tillkom ytterligare ett objekt.

Förutom de ursprungliga idégivarna deltog många av byggprocessens aktörer: byggherrar, konsulter, byggentreprenörer, underentreprenörer och leverantörer aktivt också i utvecklingsarbetet.

Parallellt med projekteringen planerades utvärderingen. Ansvar för denna lades på Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Projektgruppen för energihushållning i byggnader (EHUB), tillsammans med handläggare vid Stockholms Stads Utrednings och statistikkontor (USK).

Många olika undersökningar har genomförts parallellt. De gällde:

- Energihushållning
- Byggteknik
- Installationsteknik
- Idrifttagning
- Komfort
- Ekonomisk uppföljning
- Boendeupplevelser

Detta har inneburit att många olika frågor kunnat belysas från en rad skilda utgångspunkter. Detta betyder också att vi medvetet har sökt efter fel och brister för att kunna föreslå förbättringar och i vissa fall för att överhuvudtaget kunna genomföra en utvärdering. Denna noggranna "felsökning" kan ge intrycket att Stockholmsprojektets hus inte är så bra som de faktiskt är. De är sannolikt betydligt bättre än genomsnittet i nyproduktionen bl.a på grund av den noggranna uppföljningen och det stora engagemanget från de inblandade parterna.

Vid tiden för idétävlingen 1982 var de energipolitiska besluten fokuserade på att minska användningen av importerad olja för uppvärmning. Nästan all energiinriktad byggforskning hade detta huvudmål. Anledningen till detta var oljeprischockerna åtta och tre år tidigare. Behovet att effektivisera elanvändningen spelade däremot ännu en underordnad roll. I konsekvens med detta bygger flera av Stockholmsprojektets idéer på att minska värmebehovet med hjälp av elkraft, t ex värmeåtervinning med värmepumpsteknik. Erfarenheter från projektet kan nog också i viss mån sägas ha bidragit till att synen på elanvändningen i bebyggelsen har förändrats.

Tyngdpunkten för de tekniska utvärderingarna ligger naturligtvis på energifrågorna. Mycket omfattande mätningar har utförts. Detta har gjort det möjligt att jämföra både olikartade och snarlika lösningar. Mätprogrammet och utvärderingsarbetet har också medgett att de tekniska systemen kunnat trimmas in mycket noggrant. Triviala brister och misstag, sannolikt vanliga i alla nybyggen, har då avslöjats. Betydelsen av sk aktiv idrifttagning och kvalitetskontroll av det byggnadstekniska utförandet har kunnat påvisas.

Samtidigt med den energitekniska utvärderingen har en speciell studie gjorts av hur de boende upplever inneklimatet i byggnaderna. Bygger man bostäder är det självklara målet att ge dem som ska bo i husen god miljö och bra inomhusklimat. När Stockholmsprojektet påbörjades utgick man från att konventionell teknik skulle ge ett gott inneklimat, men att experiment med ny teknik kunde få oönskade effekter på inomhuskomforten. I Stockholmsprojektet har vissa av de boendes bedömningar direkt kunnat ställas mot mätdata, t ex ifråga om termisk komfort.

2 UTVÄRDERINGENS SYFTE

Det övergripande målet med alla husen i Stockholmsprojektet kan sägas vara att ge ökade kunskaper om delvis oprövad eller ofullständig utvärderad teknik som i framtiden gör det möjligt att åstadkomma mer energieffektiva flerbostadshus. De olika tekniska lösningar som presenterats måste därför utvärderas. Med utvärdering avses här kartläggning av husets energitekniska funktion och jämförelse med förväntade värden. Som hypoteser för förväntad energianvändning och energibidrag från de olika delsystemen har huvudsakligen datorsimuleringar utförda med BRIS och DEROB fungerat (Isfält och Johnsson 1986). Uppnådda resultat jämförs också med projekterade värden (Qvist, 1985).

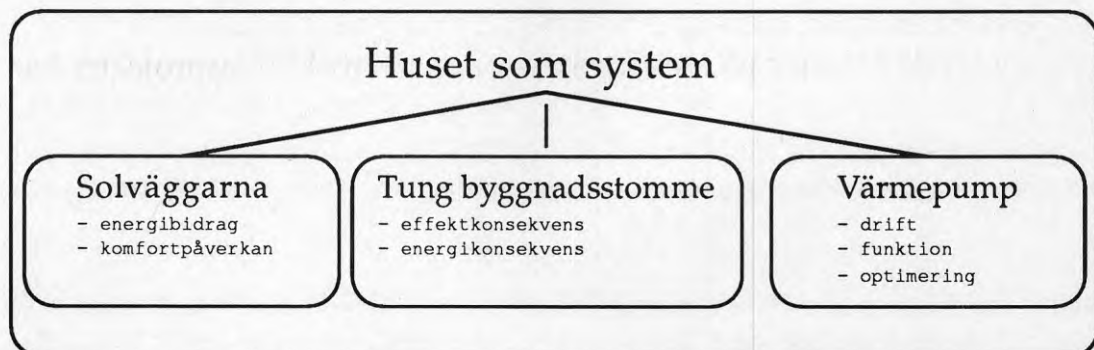
Huvudsyftet med denna rapport är:

- **Att bestämma och analysera det årliga behovet av köpt energi för experimenthusen i kv Konsolen.**

En redovisning av köpt energi visar dock inte i sig hur de specifika energiexperimenten fungerat. Ett kompletterande syfte är därför:

- **Att bestämma de specifika experimentåtgärdernas påverkan på energi- och effektbehovet.**

De olika experimenten kan heller inte ses som helt fristående från byggnaden i övrigt. För att komplettera bilden har därför experimentåtgärderna också studerats utifrån hur de fungerar i och samspelar med det system i vilket de ingår dvs den färdiga byggnaden. Utvärderingen försöker därför belysa förutsättningarna för hur funktionen hos olika delsystem (främst experimentåtgärder) beror av varandra.



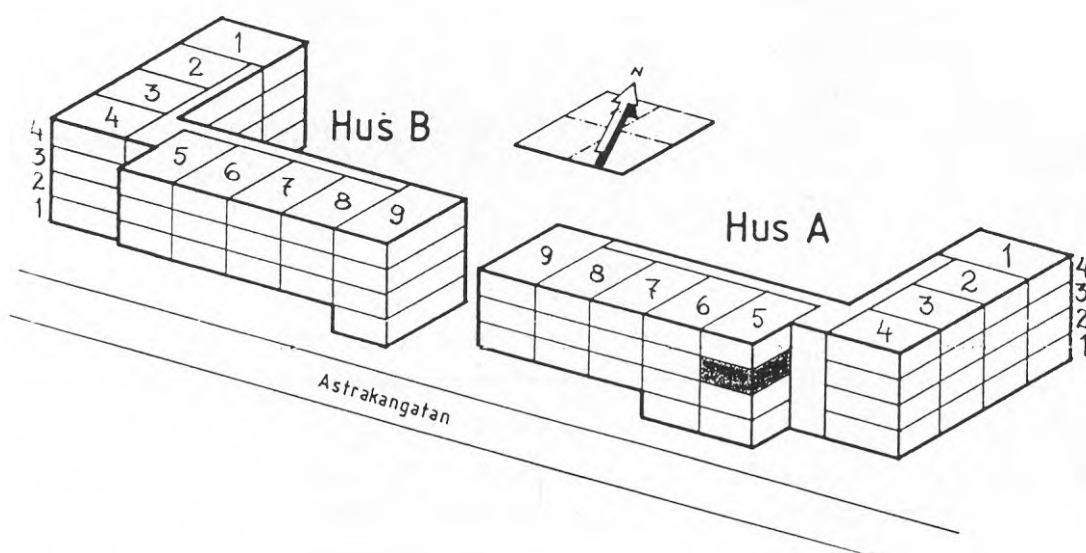
3 KV KONSOLEN OBJEKTSBESKRIVNING

3.1 BYGGNADERNA

Husen i kvarteret Konsolen är utförda med långt driven prefabriceringsgrad enligt det system som brukar kallas system Ohlsson & Skarne. Kvarteret innehåller två vinkelbyggda hus som är nästan identiska. De har placerats spegelvänt i förhållande till varandra och inramar en gemensam kvartersgård. Totalt inryms i de bägge husen 57 st lägenheter, förråd, tvättstuga, fritidslokal och undercentral. Husen är utformade som loftgångshus i fyra våningar. Det nedersta planet är ett souterrainplan med fasadsidan ovan mark mot gatan. Av insynsskäl undviks placering av sovrum och vardagsrum mot loftgången vilket ger en stor andel små lägenheter. De större lägenheterna har placerats mot gavlar och trapphus. En lägenhet var under ca tre år reserverad som mätlägenhet att kunna användas för särskilda studier.

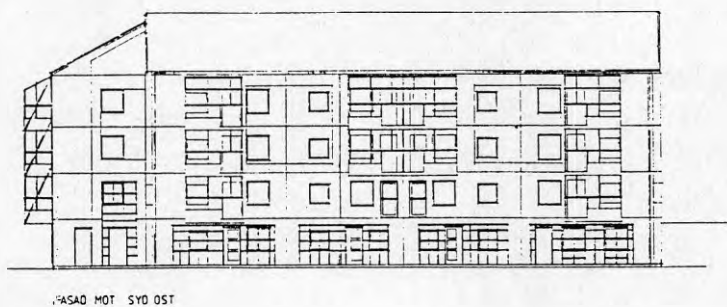
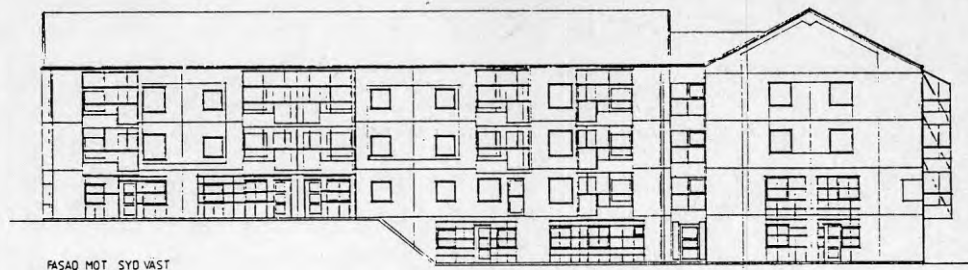
Lägenhetsfördelningen är:

1 rok (42 m²) - 2 st, 2 rok (60 m²) - 25 st,
3 rok (72 eller 63 m²) - 13 st och 4 rok (90 eller 95 m²) - 17 st.
Byggnadernas totala bruksarea är 5336 m².¹

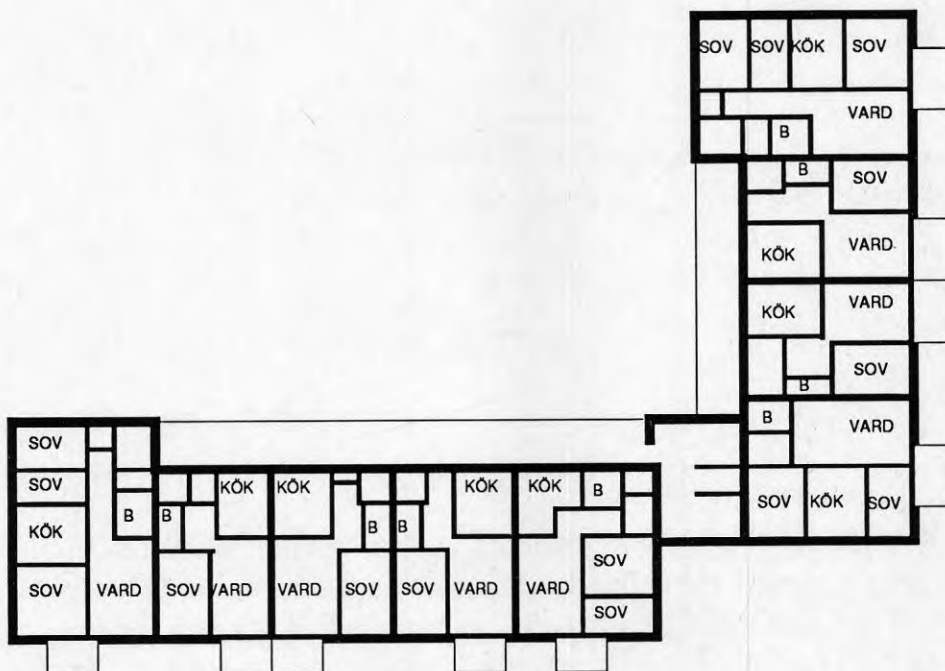


Figur 3.1. Förenklat perspektiv över kvarteret Konsolen. I figuren anges de beteckningar på huskroppar och lägenheter som används i rapporten. Den reserverade mätlägenheten (A35) har markerats med skuggning.

¹ BRA = Bruksarea = Sammanlagd area innanför ytterväggar, inklusive mellanväggar.



Figur 3.2. Fasader i kvarteret Konsolen hus A.

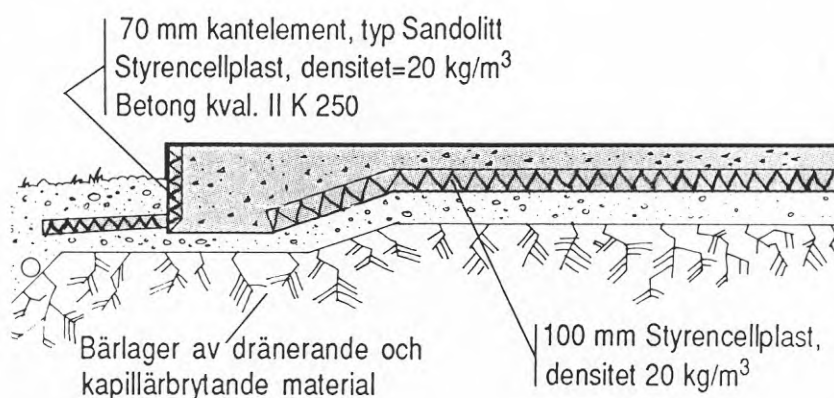


Figur 3.3. Plan för en mellanvåning i kv Konsolen hus A.

3.1.1 Byggnadstekniken

Grundläggning

Grundläggningen är av typ platta på mark. Ovanpå schaktbotten som utgörs av sprängsten har lagts ett 150 mm tjockt dränerande- och kapillärbrytande lager av makadam. Betongplattan är 100 mm tjock i fält och har 400 mm tjocka kant- och förstyrningsbalkar. Plattan är isolerad på undersidan med 100 mm expanderad styrencellplast (densitet 20 kg/m³). U-värdet i fält, beräknat enligt SBN 80 i inre randzon blir 0,21 W/m²K. Under lastnedförande delar saknas värmeisolering. På dessa ställen har en polyetenfolie (projekteringshandlingarna föreskrev butylgummiduk el likvärdigt.) lagts in mellan makadam och betongbalk för att förhindra fuktvandring upp i golvet. Runt plattan har man isolerat den vertikala kanten med 70 mm styrencellplast med putsad yta (Sundolitt kantelement). Runt hela grundplattans ytterkant löper också en horisontellt placerad, 50 mm tjock och 600 mm bred isolering av extruderad styrencellplast placerad mellan markytan och kantbalkens underkant. Denna isolering motverkar delvis effekten av den köldbrygga som uppstår pga avsaknaden av isolering under förstyrningsbalkarna.

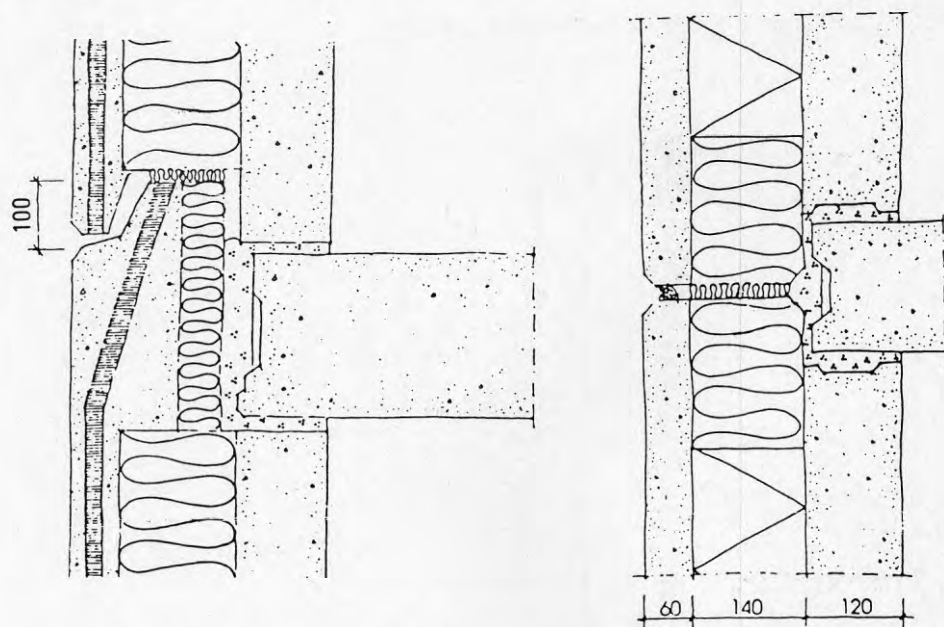


Figur 3.4. Sektion genom grundplatta.

Ytterväggar

Ytterväggarna utgörs av prefabricerade sandwichelement i betong och är uppbyggda i tre skikt. Inifrån räknat består de av 80 mm betong, 140 mm expanderad styrencellplast och ytterst en fasadskiva av 60 mm betong. Elementet hålls samman av kramlor av rostfritt stål mellan inre och yttre betongskivan. Ytterväggarna är bärande varvid den inre betongskivan fungerar som lastnedförande del. U-värdet i fält anges till 0,27 W/m²K. Vid varje bjälklagsanslutning och vid vertikalfogar som sammanfaller med lägenhetsskiljande mellanväggar har cellplastisoleringen ersatts med mineralull (densitet 150 kg/m³) på ena sidan om fogen för att klara kraven på

brandbegränsning. I både vertikal- och horisontalfogar används gummilist med O-profil som tätning mellan de yttre betongskivorna för att få kontinuitet i konstruktionens regn- och vindskydd. Gummilisten är ingjuten i ett av elementen. Kontinuitet i värmeisoleringen åstadkommes genom att en polyetenomsluten mineralullsremsa fästes i isoleringen på ena sidan före elementmontaget. Remsan pressas samman mellan isoleringen i respektive element. Lufttätning mot insidan åstadkommes genom att ursparingar i de inre betongskivorna fylls med lättflytande bruk.



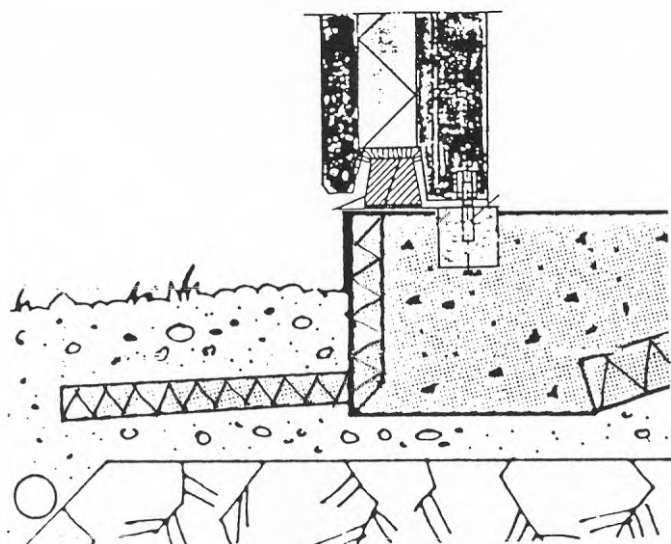
Figur 3.5. Detaljlösningar, elementfog vid mellanbjälklag parallellt med långfasad och fogning av väggelement anslutning till bärande innervägg.

Horisontalfogen mot grundplattan utformas på ett särskilt sätt. På plattan placeras en specialsågad syll av tryckimpregnerat trä mitt under värmeisoleringen i väggelementet. Ovanpå syllen fästes en plåt för att leda ut vatten som rinner längs fasaden. Mellan väggisoleringen och den plåtklädda syllen placeras en polyetenklädd mineralullsremsa som lufttätning. Lufttätningen inåt kompletteras genom att en sträng av bruk läggs ut på plattan innanför träsyllen innan väggelementet ställs på plats.

En köldbrygga uppkommer vid anslutningen mellan yttervägg och mellanbjälklag. Köldbryggan orsakas av att de tunga betongelementen dels kräver ett bra upplag och dels måste ges en speciell utformning för att klara vattenavledning vilket medför att värmeisoleringen måste göras tunnare än i övrigt i detta parti. Vid bjälklagskanten är värmeisoleringens tjocklek endast 50 mm (mineralull) eller drygt en tredjedel av tjockleken för den övriga isole-

ringen. Även vid anslutningen mellan ytterväggen och grundplattan uppkommer en kölbrygga, se figur 3.6.

I den känsliga zonen längst ned mot betongplattan utgörs värmeisoleringen endast av träsyllen vars uppgift tycks vara att fungera som fäste för plåtblecket. Konstruktionen verkar också riskabel ur fuktsynpunkt. Träsyllen blir lätt utsatt för hög fuktbelastning genom byggfukt från betongplattan eller nederbörd under byggtiden. Träsyllen skulle kanske kunna ersättas med ett mindre fuktkänsligt material med bättre värmeisolering som t.ex. styv cellplast. Lättbetong är också ett tänkbart alternativ.



Figur 3.6. Detaljlösning av anslutning mellan yttervägg och grundplatta

Mellanbjälklag

Det förekommer två olika typer av mellanbjälklag beroende av upplagsfall. Bägge typerna utgörs av 200 mm tjocka prefabricerade betongelement. Skillnaden mellan dem är armeringsmetoden. Den ena typen är slakarmerad och används där uppläggning sker både på ytterväggar och bärande innerväggar dvs tre sidor. Den andra typen är spännarmerad och används där uppläggning sker på endast två sidor, dvs bara innerväggar. Största spännvidden är 7,8 m.

Innerväggar

Innerväggarna är bärande och består av prefabricerade betongelement. Väggtjockleken är 160 mm och elementen är upp till 8 m långa. Anslutningen mot fasadelementen tätas med fogbruk. Se fig 3.5.

Vindsbjälklag

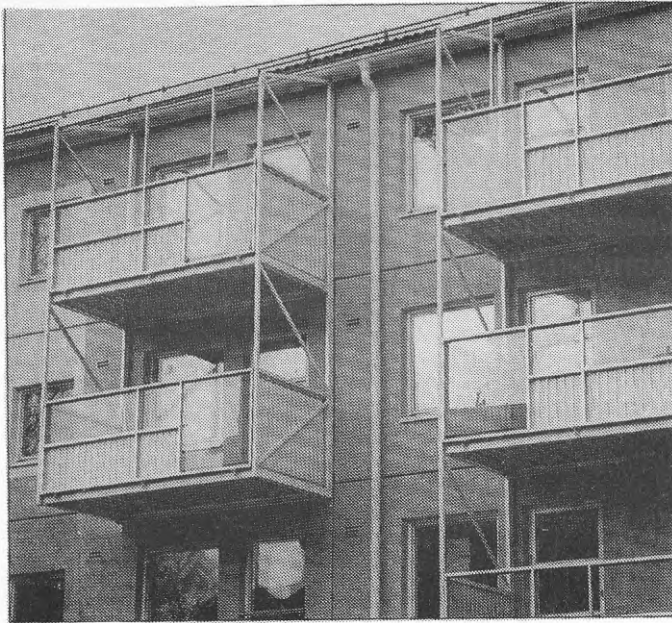
Den bärande delen av vindsbjälklaget är lika som för mellanbjälklagen. Ovanpå betongen har isolering utförts med 390 mm lösfnllnadsisolering av mineralull (Rockwool lösull $\lambda_p = 0,055 \text{ W/mK}$). Densiteten på det färdiga isolerskiktet avsågs bli minst 32 kg/m^3 . Prover utförda i samband med isolerarbetet och kort därefter gav en densitet på $36 - 38 \text{ kg/m}^3$ vilket ansågs fullt tillfredsställande. Bjälklagets teoretiska U-värde (inkl. yttertakskonstruktion) blir $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Yttertak

Yttertaget är av typen uppstolpat sadeltak (27°) med bärande konstruktion i trä. För själva taktäckningen används två olika varianter. På det ena huset har man som undertäckning använt en fiberduk (Icopal undertak) i kombination med $45 \times 70 \text{ mm}$ bärläkt av trä. På det andra huset användes istället en plastfilm som undertak (Tenotak) i kombination med plåtprofiler som bärläkt. I bägge fallen används betongpannor som ytmaterial. Vindsutrymmet ventileras med ventilationsöppningar vid takfot och i taknocken.

Balkonger

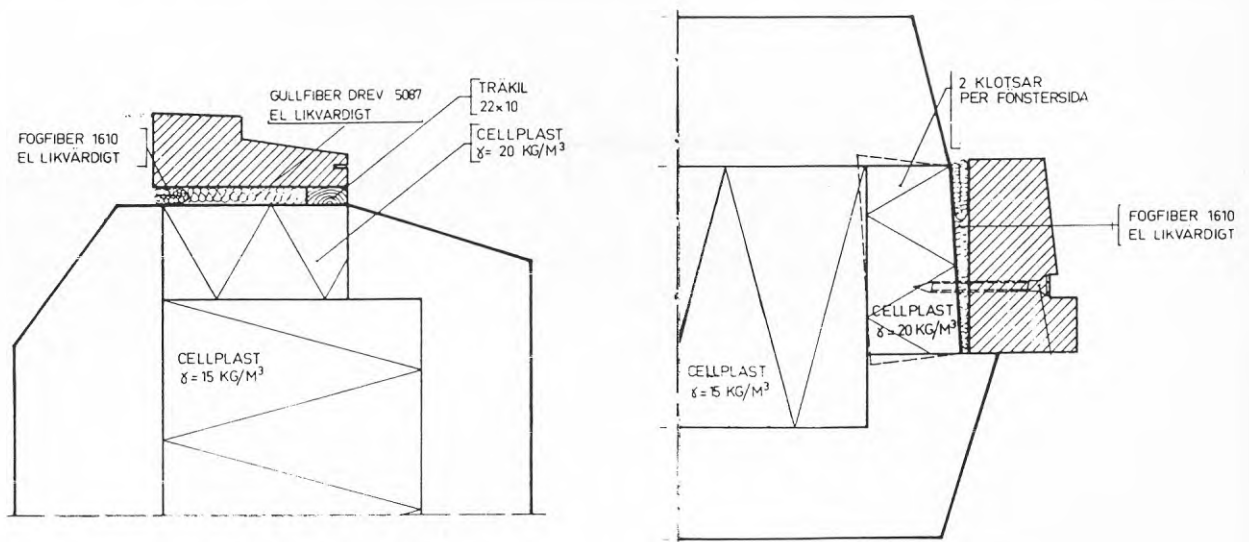
En av de mest intressanta byggnadstekniska lösningarna är balkongkonstruktionen. Balkonger i hus med betongbjälklag brukar i allmänhet ge upphov till en kraftig köldbrygga vid balkongens anslutning till bjälklaget. I detta fall har man reducerat köldbryggeffekten väsentligt tack vare en balkongkonstruktion som inte har direkt kontakt med mellanbjälklaget. Balkongerna är uppbyggda av ett fackverk av svetsade stålprofiler med höjden två till tre våningar, se fig 3.7. Hela konstruktionen bärs upp genom att fackverkets överkant är bultat i två punkter till kraftiga stålbalkar som fästs ovanpå vindsbjälklaget. Samtliga balkonger hänger alltså fritt utanför fasaden. Upphängningen är endast kompletterad med enkla infästningar för sidostabilitet till ytterväggarnas fasadskiva. Värmeisoleringen i väggarna påverkas inte alls av balkongerna och köldbryggor undviks helt vid balkonggolven. Den köldbrygga som uppstår koncentreras till de punkter där stålbalkarna sticker ut från vindsbjälklaget. Man får två punktformade köldbryggor per två eller tre balkonger. Konstruktionen ger dessutom ett enkelt och snabbt montage under förutsättning att det kan utföras vid avsedd tidpunkt.



Figur 3.7. Balkongkonstruktionen i kv Konsolen. Fackverkskonstruktionen hänger i två stålbalkar som ligger ovanpå vindbjälklaget. Sidostabilitet fås med bultar i fasaden.

Fönster

Fönstren är treglasfönster med en förseglad argonfylld 2-glasruta i innerbågen där ett av glasen har ett lågmissionsskikt på den sida som vetter mot luftspalten. I ytterbågen sitter en enkelruta av vanligt klarglas. Karm och båge är utförda i trä. U-värdet är $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Fönstren monterades i väggelementen på fabrik. Infästningen i väggen har utförts genom skruvning i fyra stycken träklotsar som är ingjutna i väggelementet. Fogen mellan fönsterkarm och väggelement har tätats genom drevning med en ihopvikt plastklädd remsa av mineralull.



Figur 3.8. Fönsterkarmens anslutning till ytterväggen. Montering utfördes på fabrik.

3.1.2 Installationer

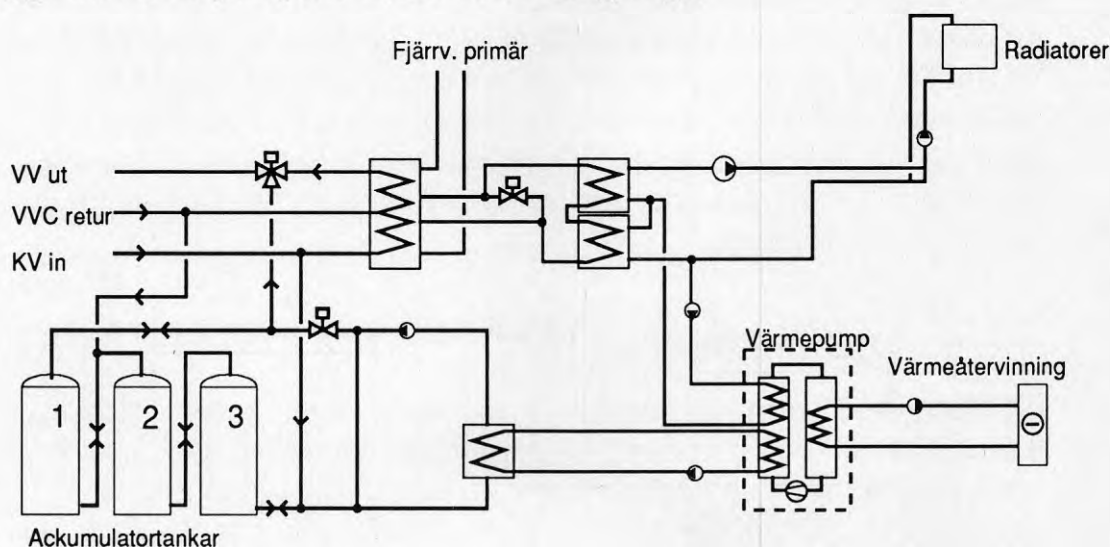
Värmeförsörjning

Energibehovet för uppvärmning och tappvarmvatten tillgodoses med en kombination av fjärrvärme och frånluftsvärmepump. Installerad effekt på fjärrvärmesidan är totalt för båda husen 230 kW. Värmepumpens kompressoreffekt är 20 kW och projekterad kyleffekt är 36 kW. Avgiven värmeeffekt från värmepumpen har beräknats till 56 kW. För lagring av varmvatten finns tre 1000 liters ackumulatortankar kopplade i serie. Värmeväxlare för fjärrvärme, värmepump och ackumulatörer har placerats i en för bägge husen gemensam undercentral belägen i hus A:s källare. Det andra huset försörjs via en kulvert.

Värmedistribution

Värmedistributionen till lägenheterna tillgodoses med ett konventionellt vattenradiatorsystem vilket är dimensionerat för maximal framledningstemperatur av 55 °C. Den sammanlagda installerade radiator-effekten är 190 kW (92 kW för ena huset och 98 kW för det andra). Radiatorsystemet matas med värme både från värmepump och fjärrvärme.

Tappvarmvatten kan beredas antingen med värme från värmepumpen och lagras i ackumulatortankarna eller direktberedas via värmeväxlare av fjärrvärmens i tappningsögonblicket. Värmepumpen är kopplad mot ackumulatortankarna via en mellankrets pga att värmepumpens köldmedium är giftigt.



Figur 3.9. Principflödesschema för värme och tappvarmvattenförsörjning.

Värmepumpen hämtar sin energi ur frånluften. För denna funktion finns kylbatterier av luft-vätsketyp i frånluftskanalerna. Kylbatterierna är sammankopplade med värmepumpens förångare via ett rörsystem. Som energibärare används här glykolblandat vatten, s.k. brine-lösning.

Mellan de bägge husen finns en kulvert. Genom denna försörjs hus B med värme och tappvarmvatten. I samma kulvert går det rörsystem som återför värme ur frånluften till värmepumpen vilken är placerad i den gemensamma undercentralen i hus A.

Ventilation

Byggnaderna ventileras med ett konventionellt mekaniskt frånluftssystem. Evakuering av luft sker från kök, badrum och WC. På båda dessa ställen finns möjlighet till forcering. I kök sker forcering genom att öppna ett spjäll i spiskåpan. I badrum finns forceringsdon med timer. Fläktarna styrs så att ett konstant undertryck hålls i en tryckkammare på fläktens sug sida. Detta ska förhindra att flödet sjunker i vissa lägenheter då forcering sker i en annan lägenhet. Systemet ger också goda förutsättningar till samtidig forcering i flera lägenheter.

Tilluft tas in via springventiler i fasad. Två alternativa luftvägar finns beroende på årstid. Vintertid passerar tilluften först via en solvägg där den förvärms soliga dagar. (Solväggens konstruktion beskrivs närmare i kap 3.2.1). Innan luften tillförs rummet eftervärms den dessutom genom att tillluftsintaget placerats bakom radiatorn. Sommartid tas tilluften direkt genom springventiler i fönsterkarmen utan att värmas av solvägg eller radiator. Ungefär 15 % av lägenheterna saknar solvägg på grund av ogynnsam orientering i förhållande till solen. Där tas tilluften oavsett årstid istället in via tallriksventiler av typ Fresh 80 placerade ovanför fönster. I dessa lägenheter får man således ingen förvärmning av tilluften innan den kommer in i rummet.

3.1.3 Driftstrategi

Så långt det är möjligt används energi från värmepumpen både till radiatorvärme och beredning av tappvarmvatten. För att klara detta har systemet försetts med ackumulatortankar för utjämning av dygnsbehov för tappvarmvatten. Konstruktionen av värmepumpens kondensator gör att den automatiskt fördelar energin mot den krets som för ögonblicket har störst energibehov (lägst returtemperatur). Detta innebär att beredning av tappvarmvatten prioriteras tills ackumulatortankarna är uppladdade. Då övergår värmepumpen till att leverera värme till radiatorkretsen. Fjärrvärme skall alltså bara behöva användas då det totala effektbehovet överskrider värmepumpens kapacitet eller vid eventuell driftstörning hos värmepumpen.

3.2 UTVÄRDERADE EXPERIMENTÅTGÄRDER

3.2.1 Solväggen

Utformning

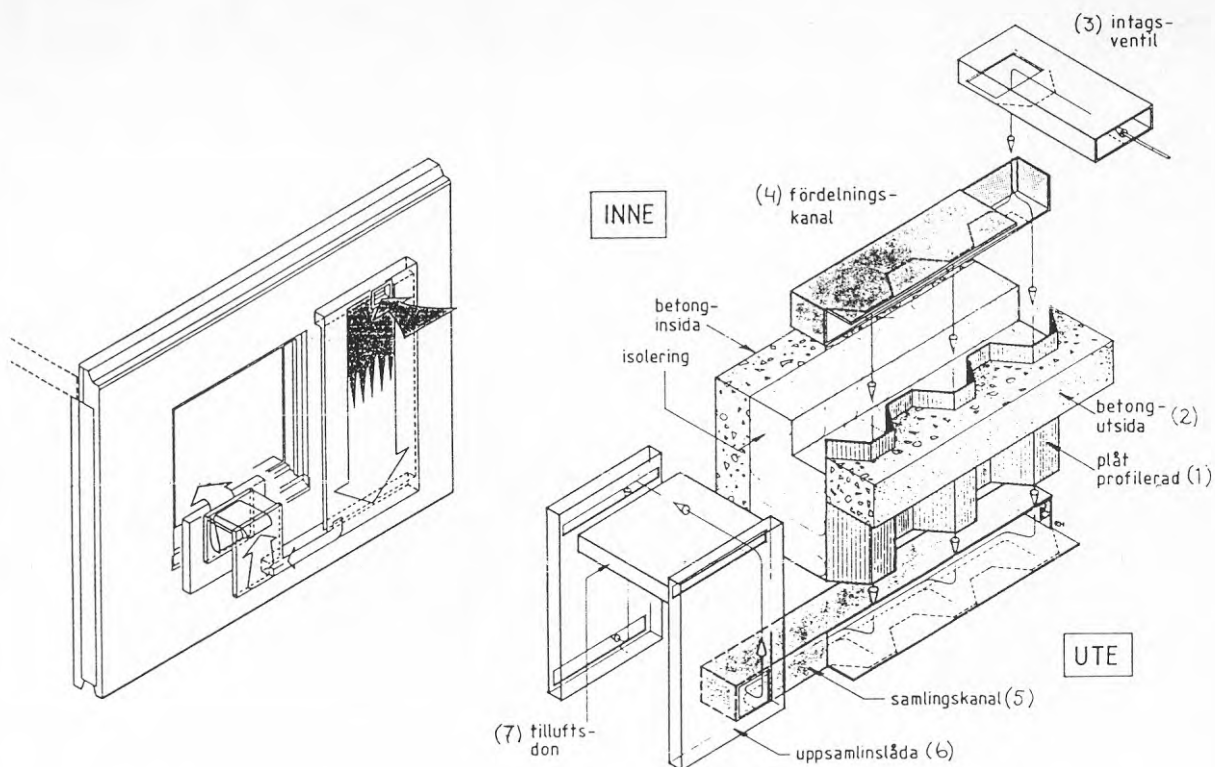
Solväggens idé är att med billig och enkel teknik kunna få en förvärmning av ventilationsluften innan den förs in i lägenheterna. Förutom att tilluften förvärms av solinstrålningen fås också en viss temperaturhöjning genom att en del av värmeflödet ut genom väggen återvinns i tilluften. Konstruktionen har alltså vissa principiella likheter med sk dynamisk isolering.

Solväggarna utgör en lokal modifiering av de sandwichelement som ytterväggarna är uppbyggda av. Den solfångande delen byggs upp genom att i den yttre skivan ingjuts en trapetsprofilerad plåt (TRP 20, 1,0 x 1,9 m) vilande mot en plan skyddsplåt som i sin tur ligger mot isoleringen. Mellan de två plåtarna bildas ett system av parallella kanaler var och en motsvarande en profildal i den profilerade plåten. I över- och underkant av kanalregistret finns fördelnings- resp uppsamlingskanaler i form av specialtillverkade rektangulära plåtkanaler, se figur 3.10.

Solväggen är tänkt att ge bidrag till uppvärmningen främst under vår och höst. Vintertid är tillskottet litet beroende på alltför låg solinstrålning. Under de delar av året när inget värmebehov finns kan lufttillförseln genom solfångaren strypas med ett spjäll i tilluftdonet bakom radiatorn. Tilluften tas då istället in genom en konventionell springventil placerad i fönsterkarmen. Omkoppling sker manuellt i maj och september och ska skötas av hyresgästerna. Genom att sommartid ta tilluften via springventilen kan onödiga övertemperaturer inomhus undvikas.

Flödet genom solväggen eller fönsterventilen åstadkommes med det undertryck som frånluftsfläktarna skapar via frånluftdonen i kök och badrum på samma sätt som i ett vanligt frånluftssystem. Tilluftsystemet blir därvid passivt och solväggens värmande funktion sätts dessvärre ur spel pga exempelvis ett öppet fönster. Det ställer också höga krav på att klimatskalet i sig har en hög lufttäthet.

En brist i solväggens utformning är att kanalsystemet är helt inbyggt i väggkonstruktionen och därmed mycket svårt att nå för rengöring, om det överhuvudtaget är möjligt. Kanalerna kommer sannolikt att försmutsas med tiden av damm och sotpartiklar. Detta kan leda till ett försämrat värmeutbyte genom att luftflödet genom solväggen sjunker och värmeöverföringen mellan plåtytorna och luften försämras.



Figur 3.10, Detaljuppbyggnad av ett solväggselement. Den trapetsprofilerade plåten (1) fungerar tillsammans med den utanpåliggande betongen (2) som den värmeupptagande delen hos solväggselementet. Luft tillförs elementet via intagsventilen (3) och en fördelningskanal (4) upptill. En samlingskanal (5) i plåtens nederända distribuerar luften vidare till en uppsamlingslåda (6) och ett avstängbart tilluftsdon (7) placerat bakom radiatorn.

Systemets uppbyggnad medför att tilluften skall gå olika väg under vinter respektive sommartid. Det är därför viktigt att tryckfallet inte skiljer allt för mycket mellan de olika luftvägarna eftersom det skulle kunna medföra skillnad i luftomsättning mellan sommar och vinter. I förprojekteringen gjordes kalkyler på detta och två alternativa tilluftsdon undersöktes i kombination med väggelementet (Qvist, 1985). I dessa kalkyler förutsattes att samma typ av don användes i serie med solväggen och som tilluftsdon i sommarfallet. I det verkliga utförandet installerades dock en annan typ av don för sommarfallet.

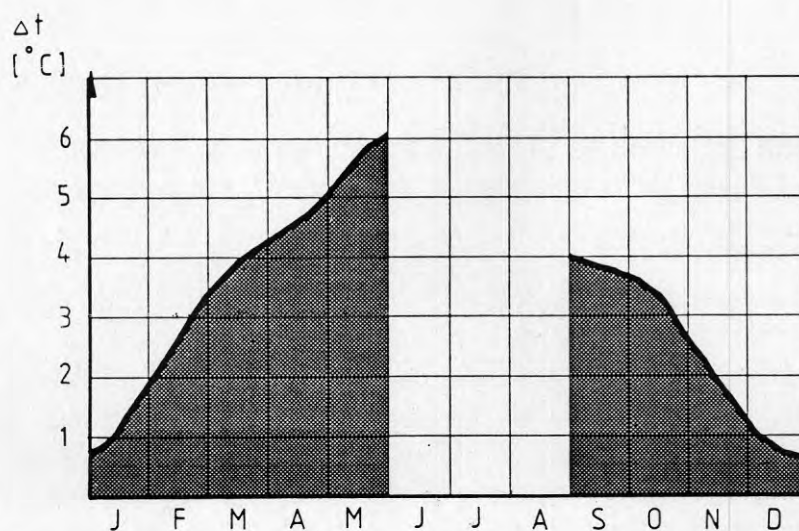
Det totala tryckfallet för solväggselementet inklusive tillhörande tilluftsdon har beräknats med två olika storlekar på tilluftsdon, Farex, Spaltex-30 och Farex, Spaltex-40. Tryckfallet över solväggselementet vid normalflöde har beräknats bli 26 Pa respektive 18 Pa beroende på tilluftsdonets storlek. För sommarfallet är motsvarande värden 20 och 12 Pa. Själva solväggen utan tilluftsdon beräknas således svara för 6 Pa av tryckfallet.

Skillnaden i luftflöde mellan sommar- och vinterfall blir inte särskilt stor. Med hänsyn taget till normalt tryckfall i frånluftssidan av ventilationssystemet (frånluftsdon + kanaler) blir den beräknade skillnaden i flöde mellan sommar- och vinterfall mindre än 5 %, oavsett tilluftsdon. Tryckfallet i frånluftsdon och kanaler har då beräknats till 75 Pa. Tilluft direkt genom springventil, dvs sommarfallet, ger det något högre flödet. Den extra ventilationen har dock ingen större inverkan på energibehovet och är snarast en fördel då den inträffar sommartid.

Varje solväggselement (med ytan 1,0 x 1,9 m) är dimensionerat för totalflödet 10 l/s vilket motsvarar en högsta hastighet av ca 0.8 m/s genom de kanaler som bildas av den trapetsprofilerade plåten. Detta ger i en lägenhet på 2 rok två element och i 3 rok eller större tre element.

Förväntat energitillskott

I förprojekteringen har simuleringsberäkningar gjorts för att beräkna energitillskottet från solväggssystemet (Qvist, 1985). I dessa beräkningar, utförda med hjälp av simuleringsprogrammet BRIS, har en solväggförsedd lägenhet (60 m²) med två fasader i NNO-SSV jämförts med en likadan lägenhet men utan solväggar. Som ingångsdata i simuleringen bedömdes att 75 % av tilluftsflödet tas in via solväggarna och resterande del via otätheter och fönstervädring. Den från simuleringen beräknade temperaturhöjningen hos tilluften som passerar solväggen visas för olika tider på året i figur 3.11. Beräkningen gav som resultat att det årliga energibehovet för uppvärmning (radiatorenergi) i den solväggförsedda lägenheten var 6 kWh/m², (lägenhetsyta) eller 10 % lägre än i motsvarande lägenhet utan solväggar.



Figur 3.11. Beräknad temperaturhöjning hos tilluften som passerar ett solväggselement orienterat med normalen i SSV-riktning, dygnsmedelvärden enligt Qvist, 1985.

Simuleringsberäkningar av byggnadens energibalans har också utförts inom ramen för ett särskilt forskningsprojekt där även de övriga husen i Stockholmsprojektet ingått. I projektet användes två olika datorprogram, BRIS och DEROB. Simuleringarna har redovisats av Isfält och Johnsson, (1986). Beräkningarna visade att solväggen skulle ge ett bidrag till energibalansen för kvarteret som helhet med mellan 2 kWh/m² BRA (DEROB) och 3 kWh/m² BRA (BRIS). Skillnaden jämfört med simulering enligt Qvist (1985) beror dels på att alla lägenheter inte har solvägg och dels på uppvärmda utrymmen finns även utanför lägenheterna.

Komfortaspekt på solväggen

Förutom energifördelarna har solväggen förväntats ge vissa fördelar från komfortsynpunkt. Genom att tilluften leds den relativt långa vägen genom väggen innan den tillföres rummet kommer luften alltid, även nattetid, att få en viss förvärmning från återvunna transmissionsförluster. Denna effekt är dock mycket liten och i praktiken troligen försumbar från komfortsynpunkt eftersom tilluften sedan uppvärms på mera konventionellt sätt av radiatorerna.

Under dagar med låg utetemperatur och stor solinstrålning kan solväggen ge gynnsamma effekter för komforten. Med stor värmetillförsel via solinstrålning är det troligt att radiatorns termostatventil stänger av värmetillförseln till rummet. Utan solvägg skulle tilluften släppas in helt utan förvärmning. Med solvägg fås istället ca 5-10 °C uppvärmning av tilluften under dagtid soliga vår eller höstdagar. Risken för kalla luftströmmar längs golvet bör därför minska betydligt vid dessa tillfällen. Å andra sidan kan solväggen också bidra till ökad risk för övertemperaturer i de rum som utsätts för stark direkt solinstrålning under varma dagar. Risken är störst under övergångsperioderna vår och höst. Värmetillförseln genom solinstrålning genom fönster kan många gånger vara större än värmebehovet. Det extra värmetillskott som solväggen då ger kan leda till ytterligare temperaturöverskott.

3.2.2 Tung stomme

Byggnaderna i kvarteret Konsolen är byggda med förtillverkade betongelement. Bjälklag, bärande mellanväggar och även ytterväggar består av betong som ger byggnaderna en stor tillgänglig värmekapacitet. Den stora värmekapaciteten i kombination med relativt små värmeförluster bidrar till att förlänga tidskonstanten hos husen. Byggnadstekniken är i sig ingen nyhet. Den har använts i många år och är vanlig, speciellt i flerbostadshus. Experimentet består i att man i högre grad än brukligt tagit hänsyn till byggnadernas långa tidskonstant vid dimensioneringen av värmesystemet.

Vid en normal dimensionering enligt då gällande byggnorm (SBN 80) skulle dimensionerande utetemperatur, DUT, ha varit -18 °C för byggnader med tidskonstant ≥ 80 h. Med hänsyn till att tidskonstanten för husen i kv Konsolen har beräknats till ca 160 h har radiatorsystemet dimensionerats utifrån $DUT = -13\text{ °C}$. Det betyder att installerad effekt har projekterats ca 13 % lägre än vad som var normalt. Eftersom detta är ett experiment har man garderat sig mot underdimensionering genom att värmeväxlarna i undercentralen valts så att framledningstemperaturen kan höjas från projekterade 55 °C till 60 °C om beräkningarna inte skulle stämma.

Den tunga stommen är också tänkt att bidra till ett lägre energibehov genom att utjämna värmebehovet över dygnet. Överskottsvärme från solinstrålning, hushållsapparater och personvärme antas upplagras i stommen. Den lagrade värmen kan komma lägenheten tillgodo vid ett senare tillfälle (BFR S1:1986). Det förutsätter dock att inomhustemperaturen tillåts svänga några grader upp och ned.

3.2.3 Frånluftsvärmepump

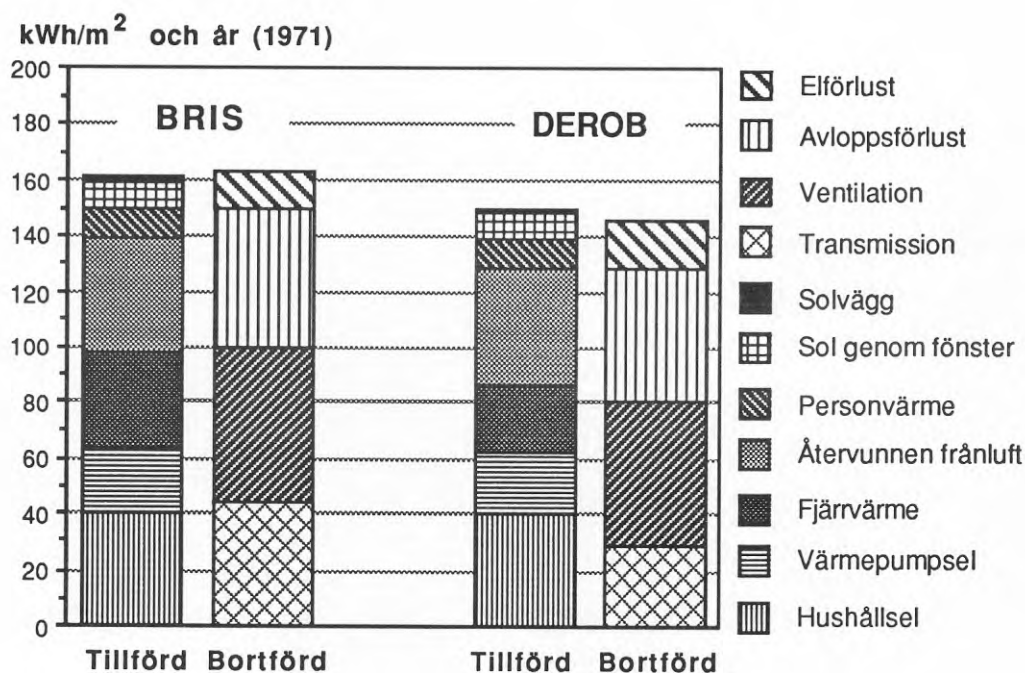
En central värmepump utnyttjar värmen i frånluften från de två huskropparna. Frånluften kyls av kylbatterier placerade i frånluftskanalerna på respektive hus och är via ett brinesystem (glykol + vatten) anslutna till värmepumpens förångare i den gemensamma undercentralen. Värmen avges till tappvarmvatten och radiator-system.

Värmepumpens kompressoreffekt är 22 kW och beräknad värmeeffekt är 56 kW. Värmepumpen förväntas kunna leverera 327 MWh/år till värme och varmvatten. Värmefaktorn beräknas till 2,9 (Qvist, 1985).

3.3 FÖRVÄNTAD ENERGIFÖRBRUKNING - SIMULERINGSBERÄKNINGAR

I projektets inledning gjordes för alla experimenthusen i Stockholmsprojektet simuleringsberäkningar. Resultatet av simuleringarna har utgjort hypoteser för förväntad energiförbrukning. Simuleringar utfördes med två olika simuleringsprogram, BRIS och DEROB. I bägge fallen användes väderdata från 1971 som indata. Året 1971 anses överensstämma relativt väl med ett normalår. I figur 3.12 visas simuleringsresultaten för kv Konsolen. Resultatet redovisas i form av energibalanser.

Simuleringsresultaten från BRIS gav ett behov av köpt energi på 98 kWh/m² av totalt 163 kWh/m² tillförd energi (inklusive värmeåtervinning, sol- och personvärme. Motsvarande resultat från DEROB var 86 kWh/m² av totalt 147 kWh/m².



Figur 3.12. Resultat av simuleringsberäkningar för kv Konsolen i form av energibalanser. Den förhandsberäknade energiomsättningen skiljer sig något mellan de två datorprogrammen. Total energiomsättning för BRIS är ca 10 % högre än för DEROB. För köpt energi (Fjärrvärme, Värmepumpsel, och Hushållsel) ger BRIS 14 % högre värde än DEROB. Observera att all eltillförsel utom värmepumpsel här betecknas som hushållsel.

4 FÖRSÖKSMETODIK

4.1 UTVÄRDERINGENS UPPLÄGGNING

Genom att husen i Stockholmsprojektet är fullskaleförsök för ny energiteknik har det varit nödvändigt med relativt omfattande fältmätningar av energianvändning och temperaturförhållanden. Omfattningen har dels berott på att husen varit bebodda vilket innebär att många faktorer kan variera dels på att utvärderingen också inriktats på att bestämma energibidraget av de enskilda experimentdelarna. Omfattningen motiveras också av önskemålet att relativt väl kunna beskriva de ingående delarna i energibalansen. Huvuddelen av mätningarna har utförts som automatiserad insamling av mätserier med en timmes upplösning. Som komplement till den automatiska mätdatainsamlingen har momentana mätinsatser gjorts vid några tillfällen. Dessa momentanmätningar har främst omfattat kontroll av byggnadens täthet, ventilation och termiska klimat. En speciell detaljmätning har utförts av funktionen hos ett solväggselement. Hyresgästernas subjektiva upplevelser av inneklimatet och hur det är att bo i ett lågenergihus har kartlagts genom en intervjuundersökning ca ett år efter inflyttningen (1985). Intervjuundersökningen har upprepats ca sex år efter inflyttning. Resultatet från den andra intervjuundersökningen är nu under bearbetning.

Den totala utvärderingen har bedrivits i delar som delvis egna forskningsprojekt och utvärderingar. Dessa kan indelas i:

- Energiteknisk funktion
- Termisk komfort
- Byggnadsteknik
- Boendeupplevelser
- Ekonomi

Under utvärderingen har ett omfattande samarbete mellan de olika delprojekten förekommit genom samutnyttjande av mätdata, jämförelse av resultat etc.

4.2 MÄTNINGAR

4.2.1 Kontinuerliga mätningar

I kvarteret Konsolen installerades ca 200 mätgivare för kontinuerlig registrering av mätdata. Mätdatainsamlingen från detta mätprogram påbörjades 1:a juli 1984 och avslutades 30:e juni 1988. De mätvärden som registrerats kan delas in i:

- 1 Energiflöden till och från byggnaden.
- 2 Energiflöden inom byggnaden.
- 3 Temperaturer.

I punkt 1 ingår på tillförselsidan all köpt energi dvs till fastigheten levererad fjärrvärmeenergi, el till värmepump, hushållsel och fastighetsel. Av den bortförda energin utfördes mätningar på ventilations- och avloppsförluster. Transmissionsförluster beräknas i efterhand ur beräknade U-värden, areor och de uppmätta temperaturerna.

Inom byggnaderna har ett stort antal delflöden uppmätts. Fjärrvärme- och värmepumpenergi har delats upp på radiatorvärme, tappvarmvatten och varmvattencirkulation. Mätning har också gjorts av frånluftsenergi och återvunnen energi ur frånluften.

I samtliga lägenheter och de flesta biutrymmen har lufttemperaturer uppmätts. Givarna i lägenheterna var placerad på höjden 1,6 m på en central plats, i de flesta fall på vardagsrumsväggen mot hallen. Temperaturer registrerades också på två höjder i varje ackumulatortank.

Väderleksförhållanden registrerades genom mätning av utomhustemperatur, vindhastighet och solinstrålning mot fasaden (sol t.o.m. 1986). Utomhustemperaturen uppmättes på två platser, dels på en av hus A:s nordfasader under takfoten ca 7 m över markytan, dels i ett särskilt instrumentskåp placerat på en parkeringsplats ca 10 m öster om hus A. Vindstyrkan mättes i en punkt ca 1 m ovan taknock på hus A. Samtliga givare i den automatiska mätanläggningen avlästes var 5:e minut. Medelvärden och summor bildades sedan för varje timme och dessa värden lagrades. Genom att samla in timvärden kan man förutom energisummor och temperaturer även ganska väl studera effektvariationer.

Resultat beträffande köpt energi presenteras för tre kompletta år (1985-1987) under utvärderingsperioden. Alla övriga resultat från långtidsmätningarna är om inget annat sägs hämtade från 1987. Det sista mätåret har valts som huvudår för att de flesta fel i byggnaderna då bör ha hunnit rättas till och alla installationer vara ordentligt injusterade.

4.2.2 Momentana mätningar

Täthetsprovningar

Byggnadernas täthet har provats genom tryckprovning av 7 st lägenheter strax före inflyttning i april 1984. Provningsen har utförts enligt metod beskriven i Svensk Standard (SS 02 15 51).

Ventilationsmätningar

Vid ett tillfälle 1986 gjordes en omfattande mätning av frånluftsflöden i så gott som alla lägenheter i hus A. Frånluftsmätningen utfördes med mätstos och varmtrådsanemometer.

I slutet av 1986 gjordes också en mätning med spårgasteknik under fyra dagar i en lägenhet för att studera inverkan från vind- och temperaturförhållanden på ventilationen. Mätningen utfördes i en obobodd lägenhet som disponerades för särskilda studier. Den teknik som användes var den sk konstantkoncentrationsmetoden. Metoden innebär att en spårgas doseras till rumsluften på ett reglerat sätt så att koncentrationen av spårgas i rummet hålles konstant. Mängden spårgas som måste tillsättas blir därvid proportionell mot mängden uteluft som kommer in i rummet (Levin 1991).

Mätningar på solväggselement

Solväggselementets prestanda har utvärderats genom att separata fältmätningar har utförts som komplement till det ordinarie mätprogrammet. Fältmätningen genomfördes inom ramen för ett examensarbete på EHUB under april-maj 1985 (Eriksson och Höglund 1986). För detta arbete utnyttjades samma lägenhet som för spårgasmätningen enligt ovan. Mätförfarandet beskrivs närmare i samband med resultatredovisningen under rubrik 5.3.1.

Boendeundersökning

De boendes subjektiva åsikter om inneklimatet har kartlagts i en speciell undersökning inom Stockholmsprojektet genomförd av Utrednings- och statistikkontoret vid Stockholms Stad. Det frågeformulär som användes var mycket omfattande med ett hundratal frågor och behandlade huvudsakligen upplevelsen av inneklimatet. Utöver detta fanns också frågor om t.ex lägenheternas disposition, användning av gårdar, balkonger, information från hyresvärden och de boendes energisparmedvetande. I undersökningen ingick de sex husen från Stockholmsprojektet och ett referenshus byggt under samma tid men utan några särskilda experimentåtgärder (kv Bäverhonan, Rågsved). I avsnitt 5.4.3 återges kortfattat resultatet för de allmänna frågor som gäller uppfattningen av värme och ventilation i bostaden för kv Konsolen. För en mera heltäckande beskrivning av boendeupplevelserna hänvisas till (Engvall, 1989:9).

4.3 MÄTNINGARNAS TILLFÖRLITLIGHET

Ambitionsnivån vid uppläggnen av mätprogrammet för de kontinuerliga mätningarna har varit att ha en mycket hög noggrannhet i mätutrustning och insamling av mätvärden. Tillförlitligheten i mätdatainsamlingen har också varit mycket hög. Under t.ex. 1987 fanns data tillgängligt för 8620 av årets 8760 timmar, vilket motsvarar 98,4 % av tiden.

Det maximala felet i varje enskild mätning beror av felgränserna hos de enskilda mätgivarna. I mätningar av vissa storheter t.ex vätske- eller luftburna energiflöden, ingår flera givare. Vanligen används två temperaturmätningar och en flödesmätning. I dessa fall varierar det relativa felet framförallt beroende på temperaturdifferensens storlek. Följande maximala felgränser har angivits av Mätcentralen för energiforskning (Wickman och Wånggren, 1987) för enskilda givartyper och samlingsmätningar (energimängder):

<u>Typ av mätning</u>	<u>Felgräns</u>
Temperaturer	+/- 0,1 K
Vätskeflöden	+/- 2 %
Elenergi	+/- 2 %
Vätskeburna energier	+/- 5 %
Luftburna energier	+/- 10 %

Vid summering av flera delmätningar till t.ex total köpt energi adderas flera oberoende mätningar till varandra. Eftersom dessa kan anses ha svag eller ingen korrelation kommer de enskilda felet att delvis motverka varandra. Standardfelet i slutsumman blir således mindre än summan av maxfelet i de enskilda mätningarna.

Standardfelet i slutsumman kan då beräknas ur de enskilda felens absolutbelopp enligt uttrycket (Selin, 1974):

$$s = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2} \quad (4.1)$$

där:

s	=	standardfelet i summan
e _n	=	det enskilda felets absolutbelopp

För uppmätt köpt energi görs en feluppskattning i tabell 5.1 under rubrik 5.1.3 i samband med resultatredovisningen.

Förutom mätfel på grund av givarnas onoggrannhet förekommer andra och i vissa fall mer betydelsefulla felkällor. En viktig faktor, speciellt vid flödesmätning, är givarens placering. De flesta flödesgivare behöver ett antal rör- eller kanaldiametrars raksträcka före och efter mätpunkten för att ge ett riktigt värde. I de hus som ingår i Stockholmsprojektet har därför ventilationskanaler och vattenledningar utformats med extra raksträckor för att medge goda mätförhållanden.

4.4 KORRIGERING TILL NORMAL-ÅRSFÖRBRUKNING

Korrigeringen till normalårsförbrukning har utförts på den del av energiförbrukningen som är direkt avsedd för uppvärmning, dvs den energi som används i radiatorkretsarna. Den uppmätta förbrukningen för radiatorkretsen har multiplicerats med en faktor som utgörs av kvoten mellan normalårets graddagstal och graddagstalet för det aktuella året. Beräkningen görs månadsvis.

Graddagarna har hämtats från SMHI:s statistik från mätstationen vid Bromma flygplats. Kv Konsolen ligger ca 6 km från Bromma flygplats. En jämförelse mellan de graddagstal som anges av SMHI och ett gradagstal beräknat på motvarande sätt ur den mätning av utetemperatur som gjorts vid kv Konsolen visar mycket god överensstämmelse. Under 1987 avviker månadssummorna som mest 3 % från varandra bortsett från de tre sommarmånaderna. Årssumman av graddagarna beräknat från mätningarna avviker ca 0,5 % från SMHI:s angivelse.

Den okorrigerade summan av köpt energi, dvs det direkta resultatet från mätningarna, beräknas enligt:

$$\Sigma E_{\text{köpt, uppmätt}} = E_{Fj} + E_{Vp} + E_{Fe} + E_{He} \quad (4.2)$$

där

$$\Sigma E_{\text{köpt, uppmätt}} = \text{Summa köpt energi (okorrigerad)}$$

$$E_{Fj} = \text{Fjärrvärme}$$

$$E_{Vp} = \text{El till värmepump}$$

$$E_{Fe} = \text{Fastighetsel}$$

$$E_{He} = \text{Hushållsel}$$

I den temperaturkorrigerade summan av köpt energi har fjärrvärmeandelen justerats i förhållande till utetemperaturens avvikelse från normalåret. En korrektionsterm E_{korr} har beräknats enligt ekvation 4.3.

$$E_{\text{korr}} = (E_{\text{rad}} \cdot f_{\text{temp}}) - E_{\text{rad}} \quad (4.3)$$

där

$$E_{\text{korr}} = \text{korrektionsterm för radiatorenergi}$$

$$E_{\text{rad}} = \text{energi till radiatorer}$$

$$f_{\text{temp}} = \frac{\Sigma \text{graddagar för motsvarande månad i normalåret}}{\Sigma \text{graddagar uppmätt månad}}$$

Temperaturkorrigerad köpt energi fås slutligen genom addition av korrektionstermen till det uppmätta värdet enligt 4.4:

$$\Sigma E_{\text{köpt, korr}} = \Sigma E_{\text{köpt, uppmätt}} + E_{\text{korr}} \quad (4.4)$$

där

$$\Sigma E_{\text{köpt, korr}} = \text{temperaturkorrigerad köpt energi}$$

Korrigeringsmodellen tar hänsyn till (den verkliga) varmvattenförbrukningen och håller denna konstant. Under vår och sommar-månader kan det inträffa att den totala korrigeringen blir större än mängden förbrukad fjärrvärme. I dessa fall har korrigeringen också fördelats ut på värmepumpens förbrukning. Värmepumpen har då beräknats ha en värmefaktor, COP = 2,7 vilket är ett ungefärligt årsmedelvärde från mätningarna.

Korrigeringsmodellen har en del brister som märks alltmer ju mer välisolerade husen blir, eftersom en relativt sett större del av värmebehovet då tillgodoses av annan energi än den som direkt köps för uppvärmningsändamål, som t.ex solvärme genom fönster, hushållsel eller personvärme. Den här valda modellen förutsätter att byggnadens totala värmeförluster är lika med den använda energimängden till radiatorerna. Korrektionen ansätts på energibalansens tillförselsida istället för på bortförselsidan vilket vore riktigare. Vi har trots detta valt att korrigera uppmätta data på detta sätt i redovisningen eftersom tillvägagångssättet är en allmänt använd metod.

En fördel jämfört med den normala situationen för t.ex en förvaltare är att värme och varmvatten uppmätts var för sig. Ofta tvingas en förvaltare anta en viss fördelning mellan dessa innan korrigerig för temperatur utförs.

5 RESULTAT AV MÄTNINGAR OCH UPPFÖLJNING

5.1 KÖPT ENERGI

Med uttrycket "köpt energi" menas all energi som måste köpas för att klara energiförsörjningen till fastigheten och dess hushåll. Förutom energi för värme och tappvarmvatten ingår alltså hushålls- och fastighetsel i "köpt energi".

Total köpt energi har uppdelats på fyra delar efter de delmätningar som utförts för bestämningen av energianvändningen. De fyra delposterna är fjärrvärme, fastighetsel, hushållsel samt värmepumpsel.

5.1.1 Uppdelning av köpt energi

Fjärrvärme används direkt via värmeväxlare till radiatorvärme, varmvattenberedning och varmvattencirkulation. Fjärrvärmens mäts genom att energiverkets värmemängdsmätare (debiteringsmätare) anslutits till mätsystemet via en pulsräknare.

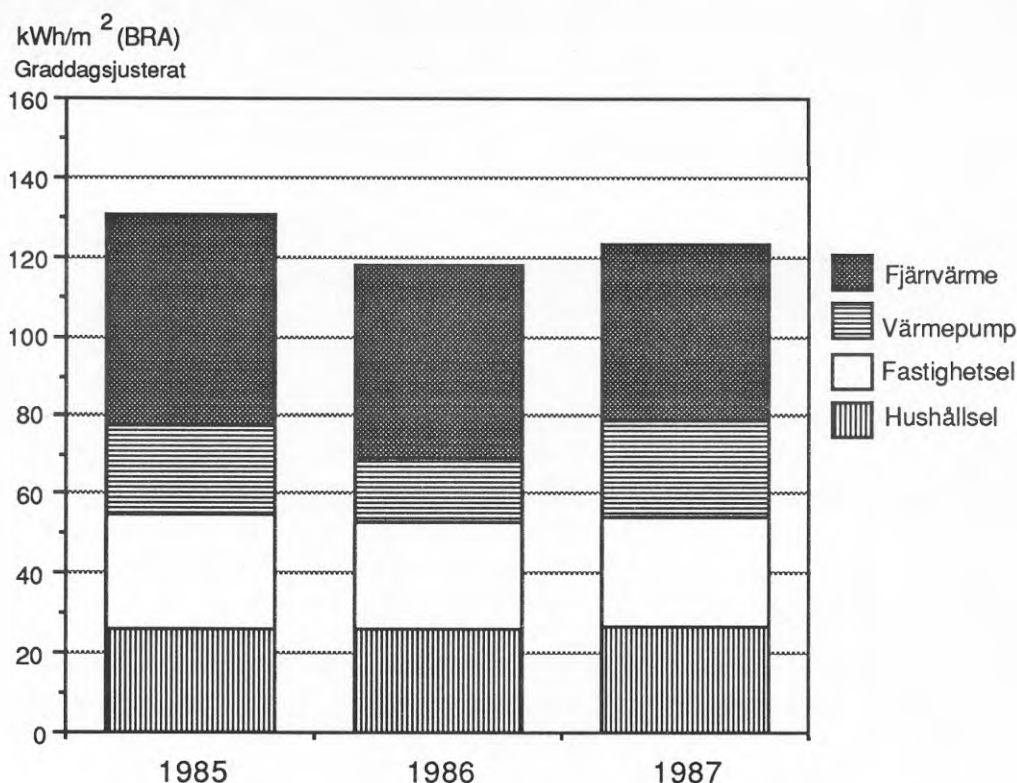
Värmepumpsel är den elenergi som åtgår till att driva värmepumpens kompressor och en mindre kylfläkt till kompressorn. Pumpar för cirkulation av brinekretsar etc ingår ej. Dessa delposter mäts istället som fastighetsel. Energi från värmepumpen används till radiatorvärme, varmvattenberedning och varmvattencirkulation. El till värmepumpen mäts av en särskild elmätare kopplad till mätsystemet via pulsräknare.

Hushållsel är den elenergi som levereras direkt till lägenheterna och som betalas av hyresgästerna. Hushållselen mäts genom två elmätare som registrerar den samlade hushållselen, en för vardera huset. Mätarna är kopplade till mätsystemet via pulsräknare.

Fastighetsel används för att driva fastighetsgemensamma installationer som fläktar och pumpar i värme- och ventilationsanläggningen, belysning (loftgångar, trapphus etc), hissar, och tvättstugeutrustningen. Fastighetselen mäts av två elmätare, en för vardera huset. Mätarna är kopplade till mätsystemet via pulsräknare.

5.1.2 Uppmätt energianvändning

Köpt energi redovisas för åren 1985, 1986 och 1987 i form av stapeldiagram med normalårskorrigerad förbrukning angiven i kWh/m² BRA. I en bilaga till rapporten redovisas mätresultaten utförligare i form av tabeller (bilaga 1).

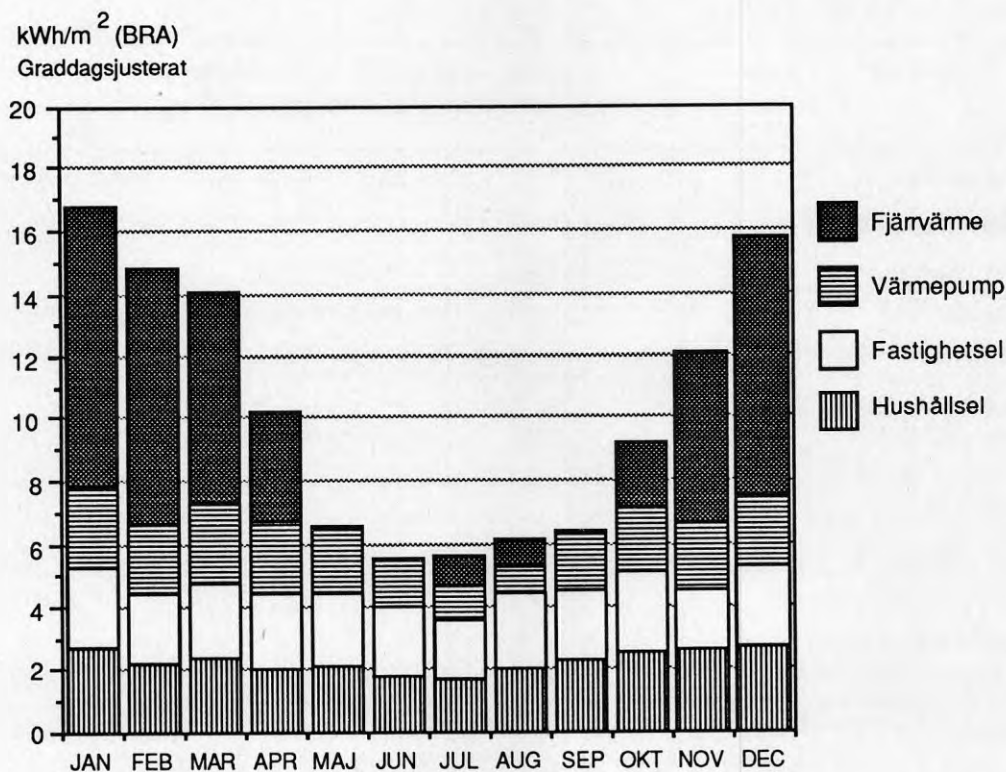


Figur 5.1. Total köpt energi i kv Konsolen för åren 1985-1987. Energin har delats upp efter de delmätningar som utförts dvs efter hur den tillförs.

Figur 5.1 visar den totala mängden uppmätt köpt energi från de tre mätåren. Totalförbrukningen är ganska stabil från år till år med ca 5 % variation mellan högsta och lägsta värde. Variationen beror troligen delvis på brister i korrigeringsförfarandet. 1987 var t.ex betydligt kallare än 1986 och korrigeringen för utemperaturen på värmen är alltså för liten för att helt jämna ut skillnaden. Den totala nivån är låg i förhållande till övriga hus i Stockholmsprojektet och även jämfört med statistikuppgifter över energiförbrukning i andra jämförbara flerbostadshus, se även fig 5.3.

Figur 5.1 redovisar också uppdelningen av köpt energi i olika poster. Hushålls- och fastighetsel utgör nästan halva totalförbrukningen, vilket var något överraskande till en början. När nu färskare statistik finns tillgänglig framstår elförbrukning som ganska normal för hus i denna åldersklass, se figur 5.3. Framförallt är andelen fastighets- och hushållsel hög jämfört med vad man antog som ingångsdata i förhandssimuleringarna. Andelarna hushålls- och fastighetsel är ungefär lika stora. Jämfört med övriga hus i Stockholmsprojektet har kv Konsolen dock ett av de lägre talen för fastighetsel bl.a beroende på att husen har frånluftsventilation. De övriga husen i projektet har antingen mekaniska från- och tilluftssystem eller stora fläktsystem för energitransport. Hushållselförbrukningen är ungefär lika stor som genomsnittet för de övriga husen i Stockholmsprojektet.

Figur 5.2 visar uppmätta normalårskorrigerade värden för 1987 uppdelade på delposter och redovisade månadsvis. Värdena gäller för hela fastighetens bruksarea. Elenergierna varierar ganska litet över året medan fjärrvärmeförbrukningen naturligt visar en kraftig variation över året i förhållande till utetemperaturen. Fastighetselen visar en tydlig nedgång i november 1987. Någon säker förklaring till detta finns inte men det troligaste är att elmätaren helt enkelt kopplats ur under en tid av ca 10 dagar vid service eller underhållsarbete av något slag. (Mätvärdet har registrerats som noll under denna tid för ett av de två husen). Värmepumselen varierar mycket litet under de månader som värmebehovet överstiger värmepumpens produktionskapacitet. Detta är en följd av driftstrategin att hela tiden använda värmepumpen som bas i värmeförsörjningen. Under sommaren 1986 var värmepumpen ur funktion i ca två månader och har då ersatts med fjärrvärme. Noteras bör att fjärrvärme även förbrukas under sommarmånader med normalt fungerande värmepump.



Figur 5.2. Totalt köpt energi i kv Konsolen under 1987 uppdelad på månader och efter de delmätningar som utförts.

Sommarförbrukningen av fjärrvärme hänger samman med att värmepumpens styrning i kombination med vald värmeväxlare inte fungerar helt perfekt vid slutladdning av ackumulatortankarna.

Hushållsel och fastighetsel varierar något över året med en nedgång under sommaren pga lägre belysningsbehov och att många boende är bortresta.

5.1.3 Feluppskattning i bestämning av köpt energi

Feluppskattning för bestämning av totalt köpt energi och dess beståndsdelar har sammanställts i tabell 5.1.

Det kan vara värt att notera att både standardfelet och det maximala felet är till beloppen lägre än korrektionstermen för utetemperaturens avvikelse från normalåret för alla tre åren.

Tabell 5.1. Sammanställning av fel och normalårskorrekationer i uppmätt köpt energi.

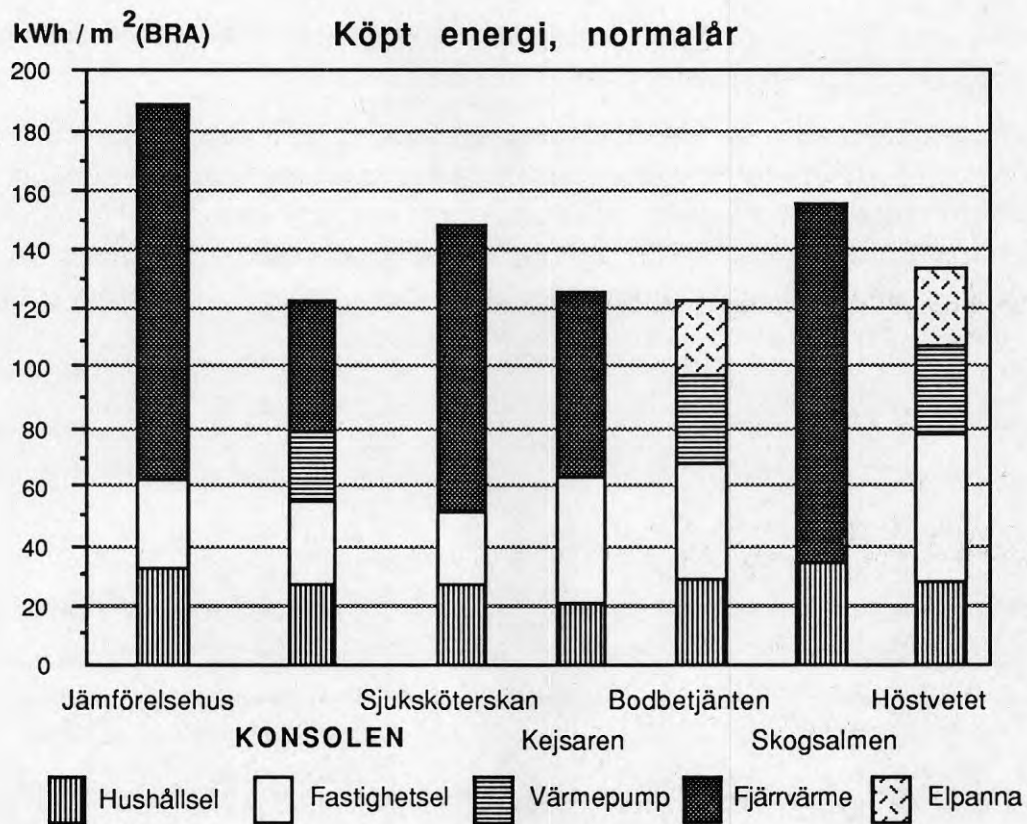
Mätning	Maximalt fel [%]	Uppmätt värde \pm maxfelet [kWh/m ²] (Ej korrigerat för temperatur)		
		1985	1986	1987
Fjärrvärme	5	66,26 \pm 3,31	49,98 \pm 2,50	51,74 \pm 2,59
Värmepump	2	22,00 \pm 0,44	18,76 \pm 0,38	24,21 \pm 0,48
Fastighetsel	2	28,90 \pm 0,58	26,79 \pm 0,54	27,50 \pm 0,55
Hushållsel	2	26,27 \pm 0,53	26,53 \pm 0,53	27,09 \pm 0,54
Totalt		143,43 \pm 4,86	122,06 \pm 3,94	130,54 \pm 4,16
Standardfel [kWh/m ²]		\pm 3,43	\pm 2,64	\pm 2,74
Standardfel [%]		\pm 2,39	\pm 2,16	\pm 2,10
Feluppskattningen ovan kan jämföras med den korrektion som kommer till vid korrektionen till normalår.				
Temp.korr [kWh/m ²]		-12,95	-4,30	-7,50
Totalt efter temperaturkorrektion [kWh/m ²]		130,48 \pm 4,86	117,76 \pm 3,94	123,04 \pm 4,16

5.1.4 Jämförelse med andra hus

I figur 5.3 jämförs normalårskorrigerad köpt energi för kv Konsolen 1987 med ett "statistiskt jämförelsehus" och de övriga husen i Stockholmsprojektet. Jämförelsestapeln motsvarar normalårskorrigerad energianvändning i flerbostadshus byggda i Stockholm under perioden 1981-89 (Fyrhake, 1992). För husen i Stockholmsprojektet redovisas normalårskorrigerade värden för 1987. Undantag är kv Höstvetet som redovisas för perioden 8906-9005 och kv Skogsalmen som redovisas för perioden 8606-8705.

Kv Skogsalmen är inte helt jämförbar med de övriga eftersom fastighetsel inte uppmätts i det projektet. I kv Skogsalmen har varje lägenhet en egen ventilationsanläggning med mekaniskt styrd från- och tilluft, typ Bacho Minimaster. Fläktarnas elförbrukning mäts över hushållselen. I kv Skogsalmens hushållsmätning ingår alltså vissa förbrukare som i de övriga projekthusen ingår under fastighetsel.

Alla hus i Stockholmsprojektet har lägre behov av köpt energi än jämförelsehuset. Inom Stockholmsprojektet är husen i kv Konsolen bland de som har lägst behov av köpt energi. Fyra av de sex experimentprojekten förbrukar mera el än jämförelsehuset. En tydlig påminnelse om att det vid tiden för projektets tillkomst var mest intressant att spara på olja. Eleffektiviteten kom i andra hand.



Figur 5.3. Normalårskorrigerad användning av köpt energi för de sex experimentbyggnadsprojekten i Stockholmsprojektet jämförda med ett "statistiskt jämförelsehus" från ungefär samma tidsperiod. Konsolen tillhör de hus i Stockholmsprojektet lägst behov av köpt energi.

5.2 ENERGIBALANS

Ett vanligt sätt att beskriva energianvändningen i en byggnad är med s.k energibalanser där den totala tillförseln av energi balanseras av lika stora förluster. Energibalansen beskriver i någon mån omvandlingen av energi inom byggnaden. Alla delar i energibalansen är inte möjliga att direkt mäta upp för huset som helhet. Den redovisade energibalansen måste därför bli en blandning mellan uppmätta och beräknade värden och även mellanting mellan dessa. Vissa ingående delar kan beräknas med stöd av mätningar som t.ex transmissionsförluster. I detta kapitel redovisas energibalanser med två olika indelningar av tillförselsidan. Skillnaden ligger i de delar som används för värme- och tappvarmvattenproduktion. I ena fallet delas energin upp efter hur den tillförs byggnaden och i andra fallet görs uppdelning efter hur den används i byggnaden.

5.2.1 Energibalansens delar

Energibalansens tillförselsida kan alternativt delas upp efter hur energin tillförs byggnaden eller efter hur den används i byggnaden. Skillnaden består i detta fall i att energi som levereras i form av fjärrvärme och el till värmepump tillsammans med återvunnen energi ur frånluften kommer att användas i form av radiatorvärme, tappvarmvatten och varmvattencirkulation.

Tillförd energi:

Uppdelad efter tillförsel:

- Fjärrvärme ¹⁾
- El till värmepump ¹⁾
- Hushållsel ¹⁾
- Fastighetsel ¹⁾
- Återvunnen energi ur frånluft ¹⁾
- Solvärme genom fönster ²⁾
- Solvärme från solvägg ²⁾
- Personvärme ²⁾

Uppdelad efter användning:

- Radiatorvärme ¹⁾
- Tappvarmvatten ¹⁾
- Varmvattencirkulation ¹⁾
- Hushållsel ¹⁾
- Fastighetsel ¹⁾
- Solvärme genom fönster ²⁾
- Personvärme ²⁾

Bortförd energi:

- Ventilationsförluster ¹⁾
- Avloppsförluster ¹⁾
- El som ej utnyttjas som värme ²⁾
- Transmissionsförluster ²⁾
- Luftläckage
- Fönstervädring

1) = energimängder bestämda från mätningar

2) = energimängder som beräknats eller uppskattats

Energimängder bestämda från mätningar kan betraktas som relativt säkra medan beräknade eller uppskattade energimängder har större osäkerheter. Varmvattencirkulation är den värmeavgivning som sker från varmvattenledningar och tillhörande cirkulationsledning. Denna energimängd brukar också kallas VVC-förlust men utgör ingen egentlig förlust ut från huset utan kan istället tillgodogöras som värme. Byggnaderna har genom ventilationssystemets utformning normalt ett invändigt undertryck på 10-20 Pa. Allt luftläckage förutsätts därför förekomma i form av infiltration och ingår i ventilationsförlusten. Fönstervädringens inverkan energimässigt kan ej bedömas. Nedan redovisas hur de olika posterna uppmätts och/eller beräknats.

Tillförd energi

Tillförselsidan utgörs till största delen av köpt energi vilken redovisats separat i föregående avsnitt. Köpt energi utgörs av de fyra delarna; fjärrvärme, el till värmepump, hushållsel och fastighetsel. Hela den köpta energin är i sina beståndsdelar uppmätt av direktintegrerande mätare med stor precision. Övriga delmätningar av energimängder mäts indirekt genom registrering av vätske- eller luftflöden tillsammans med två temperaturer. Alla ingående givare avläses med 5-minuters intervall och den aktuella energimängden för 5-minutersperioden beräknas. Varje timme lagras data i form av en summa för den aktuella timmen. Mätprogrammet har en algoritm som kompenserar densiteten och specifika värmekapaciteten för varierande temperatur. Mätningen är således inte i strikt mening kontinuerlig men den benämningen har ända använts för att förenkla framställningen. Tillförd energi har därvid genom mätningar kunnat delas upp i nedanstående beståndsdelar.:

Tappvarmvattenenergi bestäms kontinuerligt och beräknas ur mätdata enligt ekvation 5.1:

$$E_{vv} = q_{vv} \cdot (\theta_{vv} - \theta_{kv}) \cdot C_p \cdot \rho \cdot t \quad (5.1)$$

där

E_{vv}	= energi för beredning av tappvarmvatten [kWh]
q_{vv}	= uppmätt tappvarmvattenflöde [m^3/s]
θ_{vv}	= uppmätt varmvattentemperatur i utgående ledning [$^{\circ}C$]
θ_{kv}	= uppmätt temperatur hos inkommande kallvatten [$^{\circ}C$]
C_p	= vattnets specifika värmekapacitet [$kJ/kg^{\circ}C$]
ρ	= vattnets densitet [kg/m^3]
t	= tid [h]

Energi för varmvattencirkulation bestäms kontinuerligt och beräknas ur mätdata enligt ekvation 5.2:

$$E_{vvc} = q_{vvc} \cdot (\theta_{vv} - \theta_{vvc}) \cdot C_p \cdot \rho \cdot t \quad (5.2)$$

där

- E_{vvc} = energi för varmvattencirkulation, [kWh]
- q_{vvc} = uppmätt cirkulationsflöde i varmvattenledning [m^3/s]
- θ_{vv} = uppmätt varmvattentemperatur i utgående ledning [$^{\circ}C$]
- θ_{vvc} = uppmätt varmvattentemperatur i returledning [$^{\circ}C$]
- C_p = vattnets specifika värmekapacitet [$kJ/kg^{\circ}C$]
- ρ = vattnets densitet [kg/m^3]
- t = tid [h]

Radiatorenergi bestäms kontinuerligt och beräknas ur mätdata enligt ekvation 5.3:

$$E_{rad} = q_{rad} \cdot (\theta_f - \theta_r) \cdot C_p \cdot \rho \cdot t \quad (5.3)$$

där

- E_{rad} = energi till radiatorvärme, [kWh]
- q_{rad} = uppmätt cirkulationsflöde i radiatorkretsen [m^3/s]
- θ_f = uppmätt framledningstemperatur [$^{\circ}C$]
- θ_r = uppmätt returtemperatur [$^{\circ}C$]
- C_p = vattnets specifika värmekapacitet [$kJ/kg^{\circ}C$]
- ρ = vattnets densitet [kg/m^3]
- t = tid [h]

Återvunnen energi ur frånluft bestäms kontinuerligt och beräknas ur mätdata enligt ekvation 5.4:

$$E_{återv} = q_{från} \cdot (\theta_e - \theta_f) \cdot C_p \cdot \rho \cdot t \quad (5.4)$$

där

- $E_{återv}$ = återvunnen frånluftsenergi [kWh]
- $q_{från}$ = uppmätt frånluftsflöde vid fläkten [m^3/s]
- θ_e = uppmätt temperatur i frånluft efter återvinning [$^{\circ}C$]
- θ_f = uppmätt temperatur i frånluft före återvinning [$^{\circ}C$]
- C_p = luftens specifika värmekapacitet [$kJ/kg^{\circ}C$]
- ρ = luftens densitet [kg/m^3]
- t = tid [h]

Solvärme genom fönster bygger på mätdata för solinstrålning mot horisontell yta och har beräknats indirekt med hjälp av energiberäkningsprogrammet "VIP+". Solinstrålning mot horisontell finns inte uppmätt vid kvarteret Konsolen. Solinstrålning mot horisontell yta mättes däremot vid andra hus ingående i Stockholmsprojektet och kunde hämtas därifrån. Den lilla skillnad som kan uppstå genom den geografiska avvikelser försummas. Beräkningsprogrammet använder som indata timvärden för total solinstrålning mot horisontell yta och räknar om denna till vertikal yta i respektive fasadriktning. Resultatet redovisas som sammanlagd solvärme genom fönster. En jämförelse mellan värden från VIP+ och SMHI:s

data från mätstationen på KTH i Stockholm för en vertikal yta mot söder visar att omräkningen mellan horisontell och vertikal yta i VIP+ ger ett godtagbart resultat.

En viktig parameter i beräkningarna är vad som i VIP+ kallas "byggnadens läge". I programmet kan man välja mellan tre standardvarianter på läget nämligen "öppet", "något skyddat" och "skyddat". Skillnaden mellan dessa tre varianter ligger i markreflektionsfaktor för solinstrålning, horisontavskärningsvinkel för solen och vindreduktionsfaktor. Den sistnämnda påverkar inte resultatet för beräkningen av solenergi genom fönster. Valet av byggnadsläge påverkar kraftigt den beräknade årssumman för solenergitillskott. Mellan ytterlighetsfallen "öppet" och "skyddat" läge skiljer en faktor sju. För att avgöra vilket som var det bästa alternativet för detta fall har resultat från VIP+ jämförts med värden uppmätta vid Konsolen 1985 för solinstrålning mot vertikal yta i sydsydvästlig riktning. Denna jämförelse visar att "öppet läge" är det val som ger bäst överensstämmelse. Detta innebär markreflektionsfaktor 0,7 och horisontavskärningsvinkel 5°.

De värden för "sol genom fönster" som redovisas i energibalanserna har beräknats med indata för uppmätta fönsterareor (karmyttermått). Fönstren har i medeltal glasandelen 70 % och transmissionsfaktor för solinstrålning bedömdes till 70 %.

Som förstås av det ovanstående blir osäkerheten i denna beräkning ganska stor. Troligen överskattas också energimängden något eftersom en stor del av fönsterytan mitt på dagen framförallt under sommarhalvåret avskärmas från direkt solinstrålning av ovanföriggande balkonger vilket inte tas hänsyn till i beräkningen. En överskattning blir då relativt sett större för sommarmånaderna.

Solvärme från solvägg beräknas med hjälp av resultatet från utvärderingen av ett enskilt solväggselement och data för solinstrålningen. Beräkningen av solinstrålning mot respektive fasad gjordes enligt följande. Fyra olika beräkningar genomfördes med VIP+. I var och en av dessa beräkningar angavs som indata ett fönster med 100 % glasyta och 100 % soltransmission, samt ytan 1 m². Genom att i tur och ordning "placera" detta fönster på en av fasaderna får man fram den totala solinstrålningen per m² i respektive riktning.

Utvärderingen av solväggen gav som resultat att ca 10 % av den solenergi som träffar väggen kan nyttiggöras i form av uppvärmd tilluft. Genom att multiplicera den från VIP+ erhållna månads-summan för solinstrålning mot fasad med aktuell yta för solväggarna i respektive riktning och verkningsgraden 10 % erhålls månadssumman för energitillskottet från solväggarna. Solväggen förutsätts vara avstängd under perioden 15 maj - 15 sep.

Personvärme har beräknats utifrån verkligt antal boende vid boendeundersökningens genomförande (hösten 1985). För värmeavgivningen har antagits att vuxna och barn över 12 år avger 100 W/person. För barn under 12 år har antagits 75 W/person. Effekten per person har multiplicerats med den genomsnittliga tid per dygn som man säger sig vara hemma enligt intervjufrågorna. Barn och vuxna har antagits vara hemma lika mycket och samtidigt.

Bortförd energi

På bortförselsidan är det betydligt svårare att göra tillförlitliga mätningar och man måste lita till beräknade värden i större utsträckning än för tillförd energi. Ventilationsförluster och avloppsförluster har dock bestämts genom mätningar. Transmissionsförluster och s.k elförluster har beräknats.

Ventilationsförlusten bestäms kontinuerligt och beräknas ur mätdata enligt ekvation 5.5:

$$E_{\text{vent}} = q_{\text{från}} \cdot (\theta_u - \theta_f) \cdot C_p \cdot \rho \cdot t \quad (5.5)$$

där

E_{vent}	= ventilationsförlusten [kWh]
$q_{\text{från}}$	= uppmätt frånluftsflöde vid fläkten [m^3/s]
θ_u	= uppmätt utomhustemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
θ_f	= uppmätt temperatur i frånluft före återvinning [$^{\circ}\text{C}$]
C_p	= luftens specifika värmekapacitet [$\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$]
ρ	= luftens densitet [kg/m^3]
t	= tid [h]

Ventilationsförlusten innefattar således även den del som återvinns. Något luftläckage utöver de mekaniskt styrda luftflödena förutsätts ej förekomma. Se avsnitt 5.4.2.

Avloppsförlusten bestäms kontinuerligt och beräknas ur mätdata enligt ekvation 5.6:

$$E_{\text{avl}} = q_{\text{kv}} \cdot (\theta_{\text{avl}} - \theta_{\text{kv}}) \cdot C_p \cdot \rho \cdot t \quad (5.6)$$

där

E_{avl}	= avloppsförlusten [kWh]
q_{kv}	= uppmätt kallvattenflöde [m^3/s]
θ_{avl}	= uppmätt temperatur i avloppsvattnet [$^{\circ}\text{C}$]
θ_{kv}	= uppmätt temperatur i inkommande kallvatten [$^{\circ}\text{C}$]
C_p	= vattnets specifika värmekapacitet [$\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$]
ρ	= vattnets densitet [kg/m^3]
t	= tid [h]

Mätning av avloppsförluster är ganska ovanligt. Mätningen försvåras bl.a av den tidsfördröjning som finns mellan att kallvatten kommer in och att det uppvärmda vattnet lämnar huset.

Transmissionsförlusten har beräknats månadsvis från U-värden beräknade enligt SBN 80 och uppmätta temperaturer. För att ta hänsyn till de extra värmeförluster som uppstår vid byggnadshöljets köldbryggor har den beräknade transmissionsförlusten multiplicerats med faktorn 1,15. Denna faktor har hämtats från ett examensarbete där de extra värmeförlusterna för varje eskild köldbrygga beräknats med datorprogrammet GF2DIM (Österblom, 1989).

$$E_{\text{trans}} = (\theta_u - \theta_i) \cdot 1,15 \cdot \Sigma U \cdot A \cdot t \quad (5.7)$$

där

E_{trans}	= transmissionsförlusten [Wh]
θ_i	= inomhustemperatur (månadsmedelvärde lägenheter) [°C]
θ_u	= utomhustemperaturen (månadsmedelvärde) [°C]
t	= tid [h]
U	= U-värde beräknat enligt SBN 80 för respektive byggnadsdel [W/m ² °C]
A	= area hos respektive byggnadsdel [m ²]
t	= tiden

Elförlusten avser elenergi som ej används innanför klimatskalet. Hela hushållselen har ansetts ge värme. I mätningen av fastighetsel ingår bl.a el för utomhusbelysning och fläktar. Dessa förbrukare har ej ansetts kunna ge värme till huset och utgör en direktförlust i energibalansen. (Fläktmotorerna är placerade utanför ventilationskanalerna.)

Utomhusbelysningen styrs av ett skymningsrelä och drifttiden kan uppskattas till ca 4000 h/år (Sandberg och Lilliengren, 1988). Elförbrukningen för utebelysning kan då uppskattas till ca 24 MWh/år (100 st lampor á 60 W med 4000 timmars drifttid).

Fläktarna är i drift hela tiden och sammanlagda märkeffekten är 4 kW. Verkliga effektförbrukningen kan antas vara ca 75 % av märkeffekten. Elförbrukningen kan uppskattas till ca 26 MWh/år (0,75 · 4 kW · 8760 h).

Den sammanlagda hushålls- och fastighetselen uppgår under året till 293 MWh. Elförlusten under året utgör då ungefär 50 / 293 MWh ≈ 17 % av tillförd hushålls- och fastighetsel. Elförlusten har varje månad beräknats utgöra samma andel av tillförd hushålls- och fastighetsel som under året dvs 17 %.

5.2.2 Mät- och beräkningsresultat

Energibalansen med förutsättningar enligt föregående avsnitt har beräknats månadsvis utan normalårskorrektion. Resultatet framgår av figur 5.4. Balansen mellan tillförd och bortförd energi är relativt god för de kallaste månaderna medan överensstämmelsen är dålig sommartid. Bäst är överensstämmelsen för januari då bort-

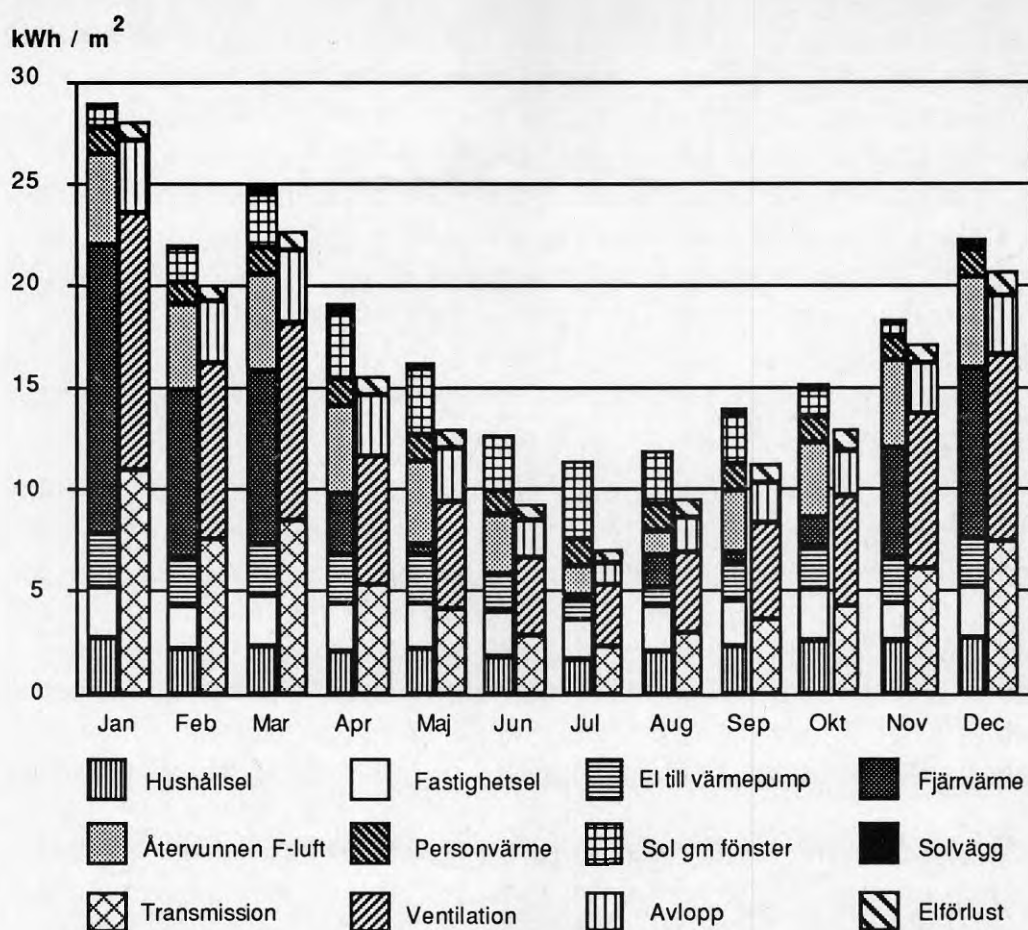
förd energi utgör 97 % av tillfört energi. Sämst överensstämmelse fås i juli då motsvarande andel är endast 62 %. Skillnaden uttryckt i absoluta tal ökar också i de varmare månaderna. Man kan konstatera att differensen blir mindre ju större andel av energiomsättningen som utgörs av uppmätta värden. Detta förhållande tyder på att orsaken till avvikelserna huvudsakligen finns i de beräknade och uppskattade delposterna.

De delposter i energibalansen som ingått i de kontinuerliga mätningarna kan förutsättas vara i huvudsak riktiga då dessa är väl kontrollerade och har god noggrannhet. För de delar som måste beräknas på ett eller annat sätt blir osäkerheten större. Målsättningen vid sammanställningen av här redovisade energibalanser har varit att så långt det varit möjligt använda mätdata som grund för beräkningarna.

På tillförselsidan ligger osäkerheten främst i posterna "personvärme", "sol genom fönster" och "solvägg".

Personvärme har beräknats ur flera relativt osäkra parametrar som antal boende, vilken effekt de avger per person, hur mycket de är hemma osv. Personvärmens bör inte variera särskilt mycket över året och dess andel av hela energiomsättningen är relativt liten. Fel i beräkningen av personvärme är knappast huvudorsaken till avvikelserna i energibalanserna.

Sol genom fönster bygger till stora delar på beräkningar. Beräkningarna innehåller stora approximationer, speciellt beträffande avskärmningsfaktorer för solen. I den beräkning som gjorts har byggnaderna förutsatts ha ett förhållandevis öppet läge för solinstrålning vilket kan bedömas vara riktigt för byggnaderna som helhet. De enskilda fönstren däremot avskärmas inte bara av omgivande byggnader och vegetation. De kan också avskärmas på grund av byggnadens egen utformning och genom de boendes individuella påverkan. De flesta fönsterpartier mot balkonger avskärmas från direkt solinstrålning av ovanförhängande balkong eller skärmtak då solen står högt på himlen. Denna avskärmning har störst inverkan den varma årstiden. De boende avskärmar säkert också sina fönster med persienner eller gardiner i högre utsträckning under den soliga årstiden. Avskärmande balkonger och boendepåverkan kan tillsammans vara en delförklaring till att de månadsvisa energibalanserna får sämre överensstämmelse sommartid genom att de bidrar till en överskattning av solenergi genom fönster på tillförselsidan i balansen.



Figur 5.4. Månadsvisa energibalanser sammanställda av uppmätta och beräknade värden. För respektive månad anges tillförd energi med de vänstra staplarna och bortförd med de högra. Energibalansen har ej normalårskorrigerats. Relativt god överensstämmelse erhålls de månader då huvuddelen av omsättningen utgörs av uppmätt energi medan de varmare perioderna ger sämre överensstämmelse.

För solväggen kan i princip samma resonemang som för solenergi genom fönster sägas gälla. Avskärmningen från balkonger är här betydligt mindre än för vissa fönster. Solväggens andel i den totala energiomsättningen är dock så liten att den knappast har någon större del i skillnaderna mellan tillförd och bortförd energi.

På bortförselsidan finns osäkerheter främst i delen "transmission". Den beräknade transmissionsförlusten bygger på verkliga temperaturer inne och ute med och U-värden beräknade enligt SBN 80. Beräkningen har utförts med antagande om stationära förhållanden och tar således inte hänsyn till dynamiska effekter. En osäkerhet ligger också i hänsynen till de köldbryggor som finns. Ett fel i denna beräkning blir i stort sett proportionellt mot temperaturdifferensen mellan inne och ute. Felet skulle således ge störst utslag under de kalla månaderna. Det mest sannolika är att transmissionen har fått ett för lågt värde.

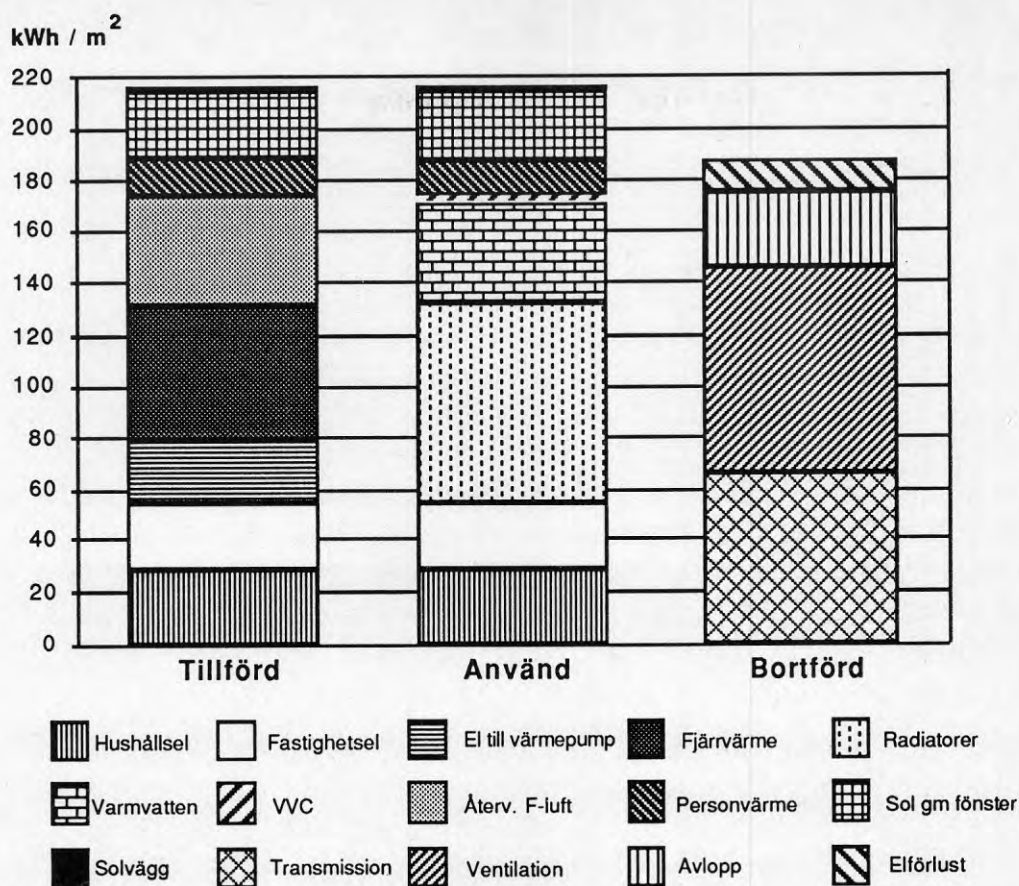
Den redovisade ventilationsförlusten är ett uppmätt värde och kan därför bedömas vara relativt noggrant. Det rena mätfelet kan bedömas ligga i intervallet $\pm 10\%$ (se metodikkapitlet). Den största osäkerheten i mätningen som sådan ligger i bestämningen luftflödet. Ett eventuellt mätfel i ventilationsförlusten skulle i stort sett vara proportionellt mot temperaturdifferensen mellan inne och ute och liksom fallet med transmissionsförlusten ge störst absolut fel vid låga utetemperaturer. Ett fel orsakat av mätfel i luftflödet skulle också delvis kompenseras av ett fel i "återvunnen frånluft" på tillförselsidan eftersom dessa två energimätningar utnyttjar samma luftflödesmätning.

Avloppsförlusten är en uppmätt del av energiomsättningen. Mätning av vätskeburna energier ger ett noggrannare värde än energimätning i luftflöden. För bestämning av avloppsförluster finns dock en del speciella problem. En viss tidsfördröjning finns mellan kall- och spillvattenflödet. Spillvattentemperaturen växlar kraftigt på grund av växelvis spolning med kall- och varmvatten. Tidförskjutningen gör att det finns viss risk för att fel flöden och temperaturer kombinerar. Beräkningar av detta extra fel vid mätprogrammets utformning visade att det extra felet inte var större 2 %. Mätningen av avloppsförlusten bedöms ändå ge ett relativt säkert värde. Sommartid är avloppsförlusten mindre än under vintern delvis beroende på att inkommande kallvatten har högre temperatur men också beroende på att vattenförbrukningen är lägre på sommaren. Ett mätfel i avloppsförlusten bör inte ge större utslag sommartid än vintertid och är därför ingen trolig förklaring till den varierande skillnaden mellan energistaplarna.

En faktor som inte tagits hänsyn till i energibalansen på grund av för dåligt underlag men som sannolikt förklarar en del av variationen i differensen mellan tillförsel och bortförsel av energi är fönstervädring. Det är troligt att vädring via öppna fönster eller dörrar ökar ju varmare det blir utomhus.

Elförlusten ingår också i bortförselsidan och har ansatts som en konstant andel av tillförd hushålls- och fastighetsel. Denna andel kan vara missbedömd och borde eventuellt ges en större nedgång på sommaren än vad som här är fallet eftersom elförlusten till stor del består av el till utomhusbelysning. Felaktig beräkning av elförlusten förklarar dock knappast variationerna i differens mellan till- och bortförd energi då elförlusten utgör en relativt liten del av energiomsättningen.

Sammanfattningsvis kan en rimlig bedömning vara att differenserna i energibalanserna huvudsakligen beror på överskattad solinstrålning genom fönster.



Figur 5.5. Energibalans för kv Konsolen 1987 (hela året). Tillförd energi jämförs här med hur energin används inom byggnaden. Av figuren kan man få en uppfattning om hur energin omvandlas på sin väg genom byggnaden.

Energibalanser har också sammanställts för hela året och för en period motsvarande en normal uppvärmningssäsong. Skillnaden mellan tillförd och bortförd energi blir sett över hela året ganska stor. Bortförd energi utgör 87 % av tillförd. Skillnaden över uppvärmningssäsongen blir mindre. Bortförd energi utgör då 91 % av tillförd energi.

Energibalansens tillförselsida kan alternativt beskrivas med energin uppdelad efter hur den används istället för efter hur den tillförs. Man får då en uppfattning om hur energiomvandlingen sker under energiflödet vägen genom byggnaden. I figur 5.5 visas för år 1987 tillförd energi och hur energin används inom byggnaden samt slutligen lämnar byggnaden. Av energibalansen kan man utläsa att energi tillförd i form av fjärrvärme och el till värmepump tillsammans med återvunnen värme ur frånluft motsvaras av använd energi för radiatorvärme, tappvarmvatten och varmvattencirkulation. Återvunnen energi ur frånluft motsvarar drygt halva ventilationsförlusten. Av figuren framgår också avvikelser mellan summorna tillförd och bortförd energi.

5.2.3 Jämförelse med simuleringar

De uppmätta och beräknade energibalanserna kan jämföras med resultatet från de simuleringar av byggnadens energibehov som genomfördes med BRIS och DEROB i projektets inledning. För att göra en sådan jämförelse meningsfull måste resultaten normeras i förhållande till varandra. Vid simuleringarna av energibehovet har man i bägge fallen använt väderdata från 1971 som underlag. De tidigare presenterade energibalanserna från uppmätta data gäller för 1987. En omräkning av simuleringsresultatet till andra förhållanden kan förmodligen inte göras helt korrekt utan att helt göra om simuleringen med nya indata. Å andra sidan är en jämförelse tämligen ointressant om man inte försöker göra simuleringsresultaten jämförbara med förhållandet under mätperioden. För att kunna jämföra resultaten har en omräkning av simuleringsresultaten utförts så att de skall motsvara uppmätta temperaturförhållanden utom- och inomhus 1987. Energitillskottet från solen har ej justerats i simuleringsresultaten.

Omräkningen av simuleringsresultaten från 1971 års utetemperaturer och antagen inomhustemperatur 20 °C har utförts genom att multiplicera månadssummorna av simulerade värden för transmissions- och ventilationsförluster med en faktor enligt (5.8).

$$f = \frac{\theta_{i87} - \theta_{u87}}{20 \text{ °C} - \theta_{u71}} \quad (5.8)$$

där

θ_{i87} = uppmätt månadsmedelvärde för inomhustemperatur 1987 [°C]

θ_{u87} = uppmätt månadsmedelvärde för utomhustemperatur 1971 [°C]

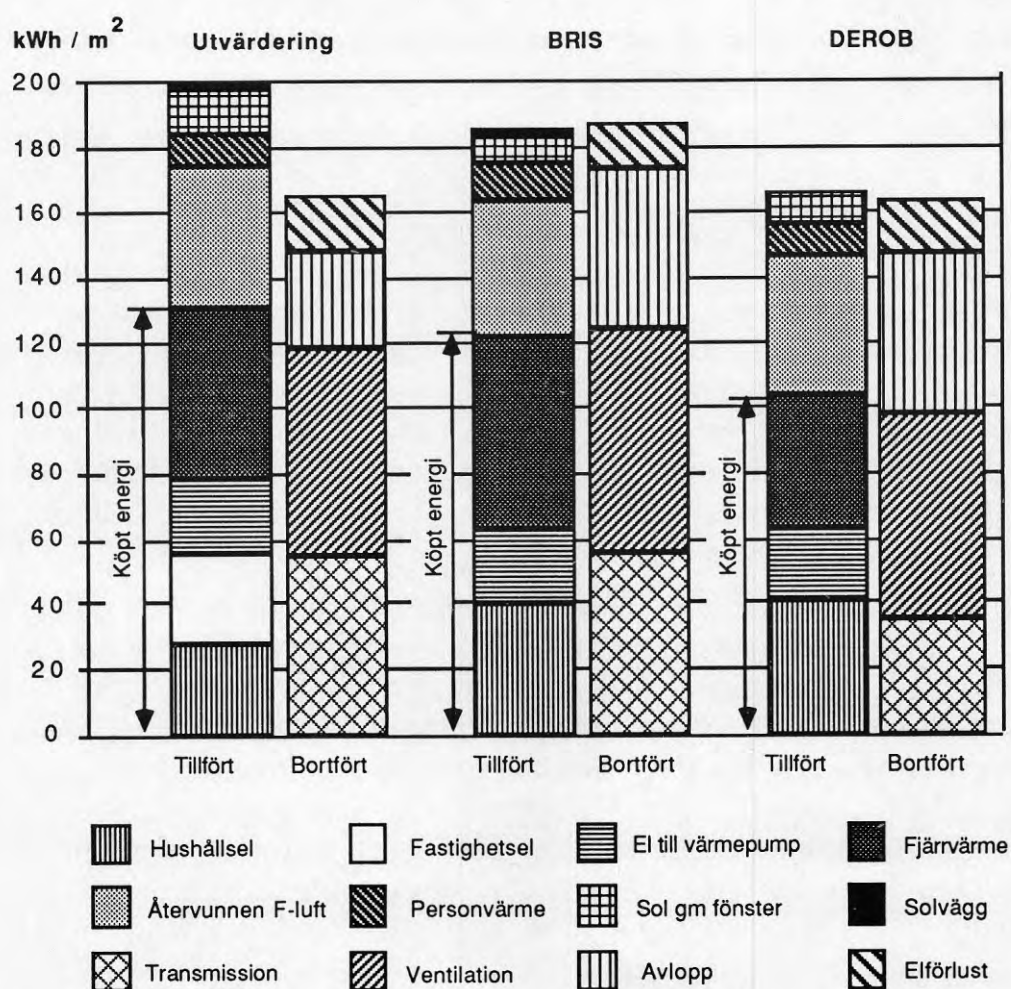
θ_{u71} = månadsmedelvärde för utomhustemperaturen 1971 [°C]

De ursprungliga simuleringsresultaten för transmissions- och ventilationsförluster ersätts med de nya, multiplicerade med korrektionsfaktor enligt (5.8). Tillförselsidan korrigeras genom att de extra förlusterna på grund av korrigeringen kompenseras helt genom att justera mängden fjärrvärme. I redovisningen av simuleringsresultatet har man valt att betrakta hela eltillförseln (exklusive värmepump) som en direktförlust i månaderna utanför uppvärmningssäsongen (Isfält, Johnsson, 1986). Transmissions- och ventilationsförluster liksom solinstrålning genom fönster redovisas inte heller utanför uppvärmningssäsongen.

För att göra redovisningen så likvärdig som möjligt har även den utifrån mätningar framtagna energibalansen i figur 5.6 redovisats på samma sätt varför den skiljer sig något från figur 5.5. En annan skillnad är att de simulerade balanserna redovisas med hushålls- och fastighetsel sammanslaget under beteckningen hushållsel medan utvärderingsresultatet visas med hushålls- och fastighetsel åtskilda.

I figur 5.6 jämförs uppmätt/beräknad energibalans för 1987 tillsammans med simulerade energibalanser omräknade till uppmätta värden för utom- och inomhustemperatur 1987.

Om man betraktar möjligheterna att med simuleringar förutsäga behovet av köpt energi skiljer sig de två programmen åt en del. Med BRIS har behovet av köpt energi underskattats med ca 7 %. För DEROB är underskattningen ca 20 %. Den huvudsakliga orsaken till skillnaden mellan de två programmen tycks ligga i beräkningen av transmissionsförlusten där DEROB ger ett värde som är endast 63 % av motsvarande för BRIS. Den "handberäknade" transmissionsförlusten (med 15 % påslag för köldbryggor) stämmer väl med resultatet i BRIS.



Figur 5.6. Energibalans för hela året 1987 bestämd huvudsakligen genom mätningar och utan normalårskorrigerings och energibalanser bestämda genom simuleringssimuleringar men korrigerade till uppmätta ute- och innetemperaturer 1987.

Elbehovet i simuleringarna är ett antagande som läggs fast i indata med varierande effekt under dygnet och simuleringresultatet utgör en summering över tiden. Antagandet för elbehovet har varit detsamma både i BRIS och DEROB. I bägge fallen har elbehovet underskattats med ungefär 25 %. Detta skulle till en del kunna förklara avvikelserna mellan uppmätt och simulerat värde för köpt energi. En simulering med det "rätta" elbehovet som ingångsdata borde å andra sidan ge ett lägre (fjärr)värmebehov eftersom elenergin bidrar till uppvärmningen. Varken från BRIS eller DEROB redovisas någon elförlust under uppvärmningssäsongen vilket tyder på att all hushålls- och fastighetsel då beräknas bidra till uppvärmning.

Beräknade värden för värmepumpen är ungefär lika i bägge fallen både vad gäller tillförd elenergi och återvunnen energi. De stämmer också väl med vad som uppmätts i verkligheten.

Det beräknade fjärrvärmebehovet är i BRIS ca 13 % högre än det uppmätta. Varmvattenbehovet i indata till BRIS har antagits nästan exakt lika som det verkliga utfallet eller ca 39 kWh/m² och år.

Både med BRIS och DEROB har avloppsförlusten beräknats bli mycket större än den uppmätta, i BRIS är den t.o.m. större än det antagna varmvattenbehovet. I DEROB har man antagit ett större varmvattenbehov i indata (39 kWh/m² och år) och avloppsförlusten är här ungefär lika som varmvattenbehovet. Det är intressant att konstatera att i det verkliga fallet tycks mycket större del av varmvattenenergin stanna kvar i huset än vad som antagits vid simuleringarna. Mätningarna visar att avloppsförlusten är ungefär 75 % av varmvattenenergin.

Sammanfattningsvis har simuleringarna i åtminstone det ena fallet (BRIS) lyckats förutsäga energibalansen relativt väl om man tar hänsyn till att inomhustemperaturen varit högre än den antagna. Det finns dock en del avvikelser värda att beakta. Ett riktigt antaget elbehov skulle förmodligen inte påverka slutresultatet (beräknad mängd köpt energi) i särskilt hög grad. Om man däremot i simuleringprogrammet skulle ta hänsyn till att en stor del av energin för tappvarmvatten också bidrar till uppvärmningen skulle förmodligen resultatet blivit en större underskattning av köpt energi.

5.3 EXPERIMENTÅTGÄRDerna

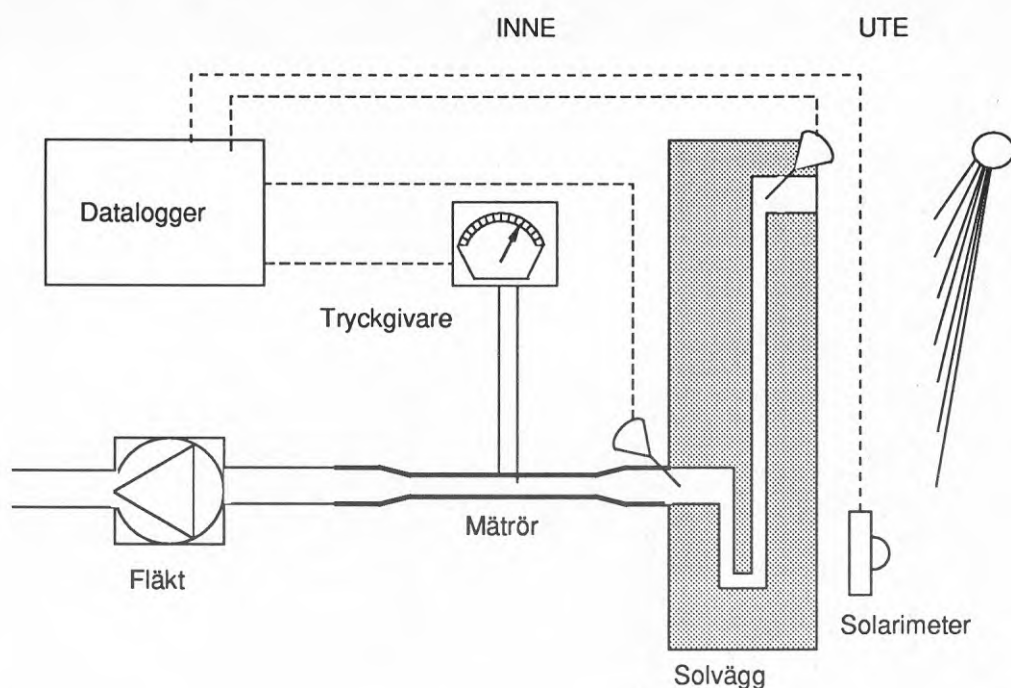
5.3.1 Solväggselementen

Solväggarnas prestanda i egenskap av solfångare har studerats med en särskild mätning utförd på ett av solväggselementen i den reserverade mätlägenheten. Beräkningar av energitillskottet som utförts under projekteringsstadiet visade på ett ganska blygsamt värmetillskott från solväggarna. Resultatet av mätningen visar att det enskilda provelementet inte helt når upp till förväntade prestanda. Det slutliga bidraget till byggnadens energibalans beror även av andra faktorer som t.ex. byggnadernas lufttäthet, skuggning och inställning av spjäll. Med hänsyn till dessa faktorer minskar det sammanlagda bidraget från solväggarna.

Mätningarna omfattade registrering av solinstrålning mot fasaden, luftens temperatur före och efter passage av solväggen samt ett antal temperaturer i väggen. För att kunna mäta luftflödet genom solväggen med kontinuerlig registrering behövde luftens hastighet höjas i mätpunkten. Detta medför en kraftig strypning av flödet vilket i sin tur innebär att den befintliga drivkraften (undertrycket från den centrala frånluftsfläkten) i systemet inte förmådde hålla flödet på den tänkta nivån. Dessutom var det önskvärt att kunna variera flödet för att pröva olika alternativ. För att upprätthålla flödet genom det studerade solväggselementet användes därför en särskild fläkt (dammsugare) vars varvtal kunde regleras via ett vridmotstånd. Mätupställningen visas i figur 5.7.

Mätvärden samlades in kontinuerligt med en datalogger. Loggern avläste varje mätpunkt med intervallet 90 sek. Var 15:e minut lagrades ett medelvärde av 10 st avläsningar. Upplösningen i efterhand blir således 15 minuter.

Mätningarna utfördes vid tre olika luftflöden för att studera verkningens beroende av flödets storlek. För provlägenheten var projekterat flöde ca 6 l/s genom varje element vid 0.5 oms/h och antagande att 75 % av flödet går genom elementen. För merparten av lägenheterna (2 rok) motsvarade tilluftflödet drygt 8 l/s och solväggselement. Som utgångsvärde valdes därför luftflödet 8 l/s vilket ungefär motsvarar det tänkta värdet för de flesta lägenheterna. Mätningar gjordes också vid halva resp dubbla utgångsvärdet dvs 4 resp 16 l/s. Luftflödet fördelas över en solfångande yta på ca 2,1 m².



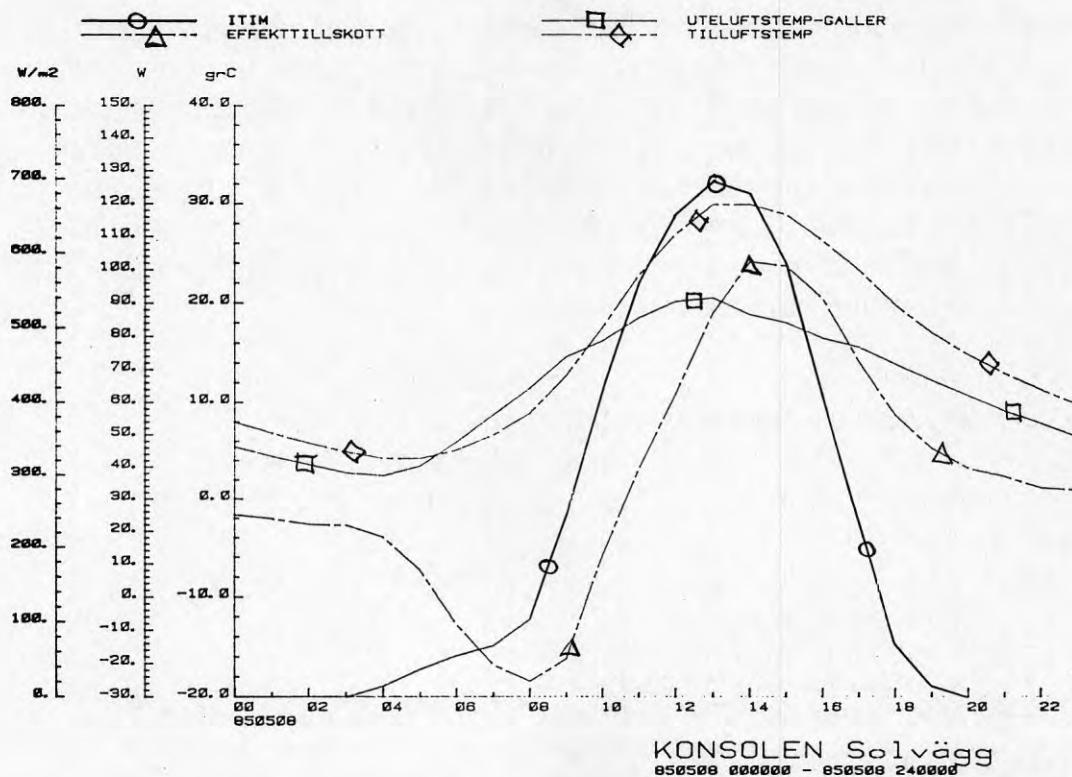
Figur 5.7. Skiss över mätupställning för bestämning av solväggselementets prestanda.

Energitillskott från ett solväggselement

Solväggselementets energitillskott till byggnaden beror av flera faktorer bl.a:

- Solväggens verkningsgrad
- Mängden solinstrålning mot fasaden
- Luftflödet genom solväggen

Ett typiskt mätresultat för solväggselementet en dag med helt klart väder framgår av fig 5.8. Diagrammet visar solinstrålningen mot väggen, utluftens temperatur, tilluftstemperatur efter passage av solväggen samt det beräknade effekttillskottet i tilluften. Då solväggens yta består av betong får man viss värmetröghet inbyggd i systemet. Trögheten ger upphov till en tidsförskjutning mellan tidpunkten för största solinstrålning och största temperaturhöjning hos tilluften. Tidsförskjutningen framgår av figuren. Under dagens första timmar stiger utluftens temperatur fortare än tillufttemperaturen beroende på att tilluften kyls av det fortfarande kalla väggselementet. Avkyllningen är dock bara ett par grader (dock inte helt försumbart ur effektsynpunkt). Det största effekttillskottet kommer ungefär en timme efter solinstrålningens maxvärde. I exemplet är det största effekttillskottet drygt 100 W, vilket var ett normalt resultat för en klar dag och det aktuella flödet. Temperaturhöjningen är som störst ca 10 °C uppmätt under en solig dag i maj vilket bör representera maximalt värde under året.



Figur 5.8. Resultat från mätningar på solväggselement. Diagrammet visar timmedelvärden för solinstrålning, uteluftens och tilluftens temperatur samt effekttillskottet från solväggen under ett klart dygn (850508). Flödet under denna mätning var ca 8 l/s.

Resultaten av mätningarna har sammanställts till genomsnittliga temperaturhöjningar och energitillskott per dygn. Hela den energimängd som tillförs luften under ett dygn härrör inte enbart från solinstrålning. Luften får en liten temperaturhöjning även nattetid. Temperaturhöjningen orsakas troligen dels av återvunnen värmetransmission dels av att värme leds in mot solväggen från uppvärmda delar av fasaden som ligger utanför det egentliga solväggselementet när elementet avkyls av den kallare luften nattetid.

För att senare enkelt kunna beräkna det totala energibidraget från huset har solväggens verkningsgrad betraktad som solfångare beräknats. Verkningsgraden har då definierats som kvoten mellan totalt energitillskott till tilluften och instrålad energimängd mot solväggsytan. På grund av tidsfördröjningen mellan maximal solinstrålning och maximal temperaturhöjning på tilluften blir det något missvisande att bestämma solväggens momentana verkningsgrad. Som bästa approximation har valts att beräkna verkningsgraden ur de största värdena på instrålning och effekttillskott även om de

inträffar vid olika tidpunkt på dagen (i regel med ca en timmes förskjutning). Verkningsgraden har också beräknats ur instrålningssumma och energitillskott över dygnet. En verkningsgrad beräknad ur dygnssummor blir också den något missvisande eftersom den energi som tillförs luften under dess väg genom väggen inte kommer enbart från solen utan också från transmissionsflödet ut genom väggen. Verkningsgraden beräknad ur dygnsvärden blir därför högre än den momentana verkningsgraden som beräknas ur maximalvärden för enskilda timmar. Under dagtid är solenergin klart dominerande faktor för tilluftens temperaturhöjning och den beräknade verkningsgraden påverkas mindre av transmissionsenergin om den beräknas ur timdata.

Verkningsgraden beräknas enligt:

$$\eta = \frac{E}{I \cdot A} \quad (5.9)$$

där

- η = verkningsgraden [-]
- E = totalt energitillskott till tilluften. [Wh]
- I = instrålad energi mot solväggen [Wh/m²]
- A = solväggsselementets "aktiva" area vilken definierats som den sammanlagda arean för den ingjutna trapetsplåten, samlingskanalen och uppsamlingslådan (se fig 3.10). Dvs hela den mot fasaden projicerade ytan av det luftledande systemet i väggelementet [m²]

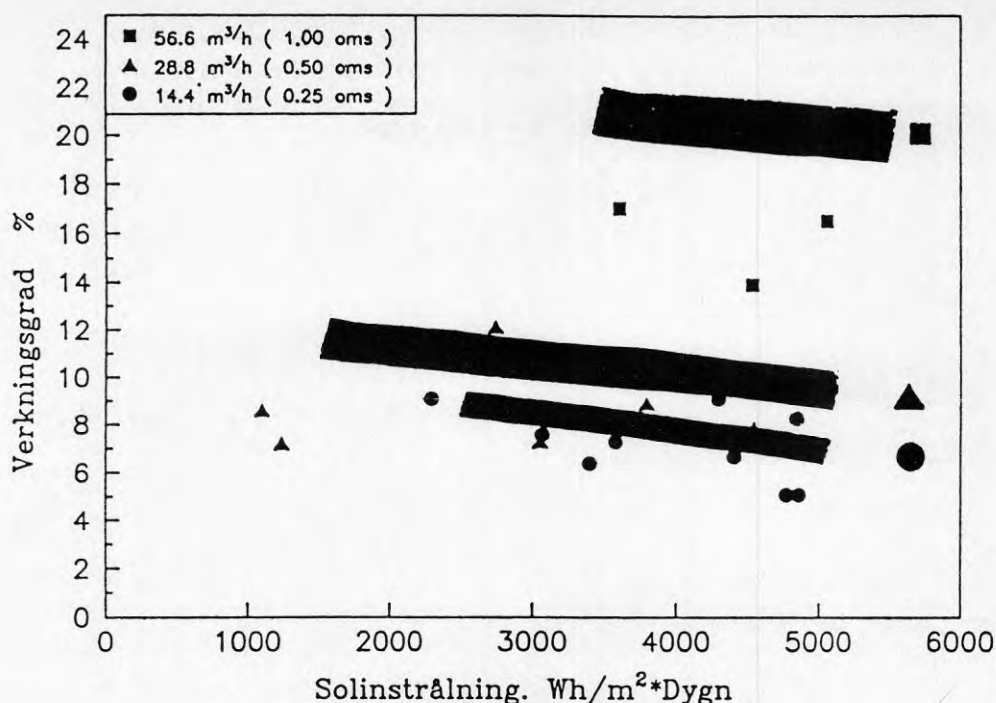
Energitillskottet, E [kWh], beräknas ur uppmätta data för luftflöde och temperaturer enligt:

$$E = (q \cdot \rho \cdot C_p \cdot (\theta_i - \theta_u) \cdot t) / 3600 \quad (5.10)$$

där

- q = uppmätt luftflöde [m³/s]
- ρ = luftens densitet [kg/m³]
- C_p = luftens specifika värmekapacitet [kJ/kg·°C]
- θ_i = luftens temperatur efter passage av solvägg [°C]
- θ_u = luftens temperatur före passage av solvägg [°C]
- t = tiden [h]

En sammanställning av beräknade verkningsgrader vid de tre olika testflödena visas i figur 5.9. Av figuren framgår att verkningsgraden är starkt beroende av luftflödet men i princip oberoende av den instrålade energimängden.

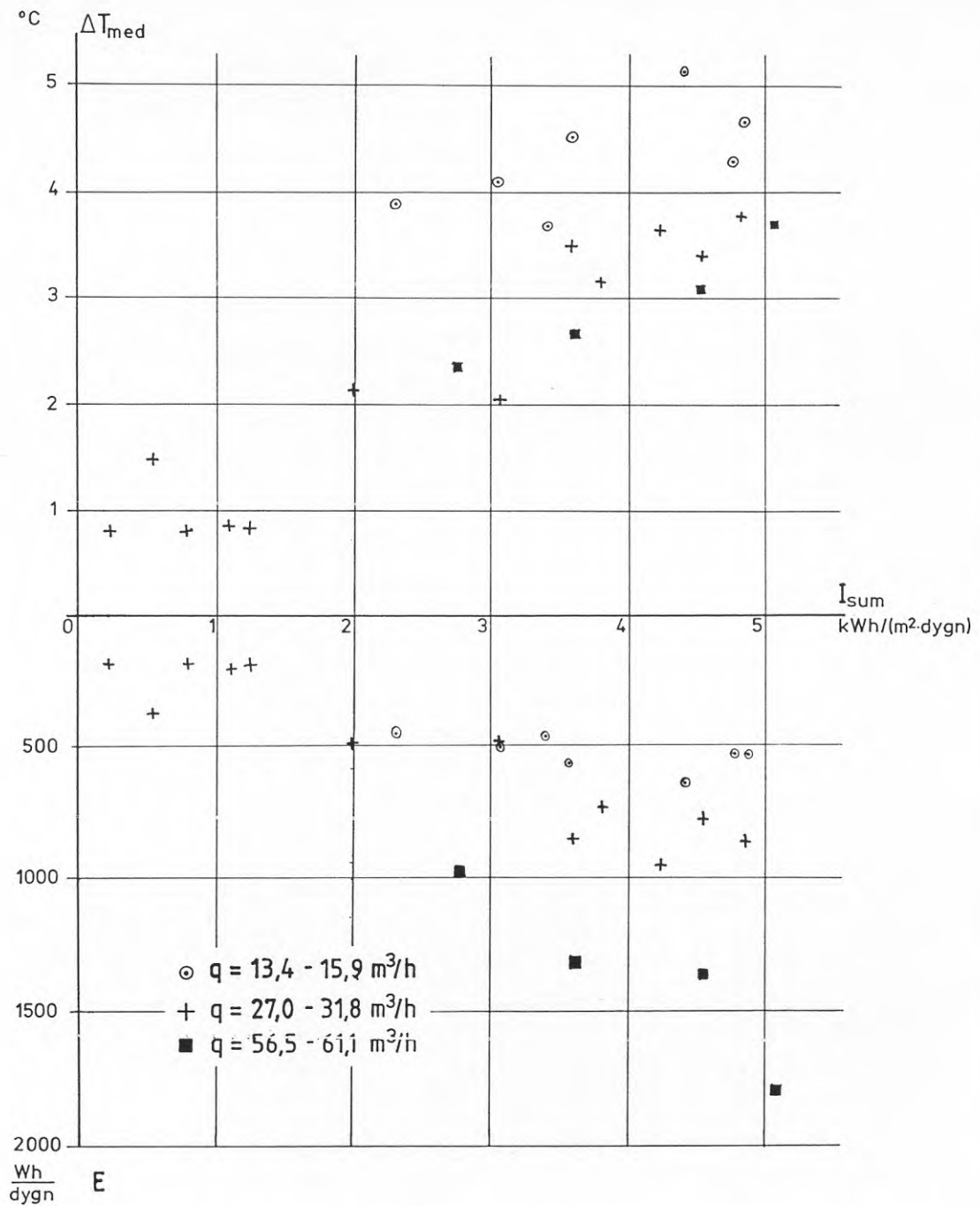


Figur 5.9. Verkningsgrad för ett solväggselement enligt ekvation 5.9. Beräknad ur energisummor per dygn. Beräkningen är gjord utan hänsyn till att solväggen skuggas av balkongen vissa tider på dagen. Verkningsgraden beror starkt av luftflödet men är nästan oberoende av instrålningens storlek.

Den specialstuderade solväggens placering i fasaden gör att den under delar av dagen skuggas av lägenhetens balkong. Givarna som registrerade solinstrålningen var däremot placerade så att de inte skymdes av balkongen. Detta gör att väggen träffas av en mindre energimängd än den som registreras av givaren. I resultatet i figur 5.9 har inte någon hänsyn tagits till detta förhållande. Följaktligen blir de redovisade verkningsgraderna något för låga.

Skuggningens inverkan på resultatet varierar beroende av tidpunkt. Den momentana verkningsgraden beräknad den 15:e maj klockan 13 skulle för ett oskuggat element bli endast 6 % bättre (≈ 0.9 %-enheter). Verkningsgraden räknad över dygnet skulle däremot bli 30 % högre (≈ 6 %-enheter).

Luftens temperaturhöjning och energitillskott varierar naturligt med solinstrålningens storlek och beror också av vilket luftflöde som används. Temperaturhöjningen är inte särskilt starkt beroende av flödet vilket gör att energitillskottet blir klart störst vid det största flödet genom elementet. Sammanhörande mätresultat för temperaturhöjning och energitillskott visas i figur 5.10.



Figur 5.10. Uppmätta sammanhörande värden för temperaturhöjning och energitillskott för ett solväggselement som funktion av luftflöde och solinstrålning.

Årligt energibidrag från ett solväggselement

Det årliga energibidraget från ett solväggselement kan för ett normalår beräknas enligt följande:

I tabell 5.2 visas beräknat energitillskott/dygn från ett solväggselement som funktion av dygnsmedelvärdet för solinstrålningen för varje månad. Beräkningen har gjorts för ett tilluftsflöde av 8 l/s genom solväggselementet.

Solinstrålningen i tabell 5.2 har uppskattats med hjälp av tabeller i (Höglund et.al, 1985) vilka ger beräknade värden för åtta olika väderstreck och för varannan breddgrad samt för tre olika typdagar (helklara, halvklara och mulna). De huvudsakliga riktningarna för solväggarna i Konsolen är mot SSV och mot OSO 205° respektive 115°. SSV-riktningen har approximerats genom rätlinjig interpolation mellan tabellverkets värden för S och SV. På motsvarande sätt har OSO-riktningen approximerats ur värden för O och SO. Värden har hämtats ur tabell för latitud 60° (Stockholm har latituden 59,3°). I tabellen angivet värde är medelvärdet för de två aktuella riktningarna. Markreflektionsfaktorn antas till 0,2. Hänsyn har tagits till medeltal helklara, halvklara och molniga dagar i resp månad. Samhörande energibidrag från solväggen har uppskattats med hjälp av figur 5.10.

Tabell 5.2. Beräknat energitillskott från solväggselement månadsvis för ett normalår. Tilluftsflödet motsvarar 0,5 oms/h.

I_{sol} = medelvärde av solinstrålningens dygnssumma med hänsyn till månadens molnighet. E_{dygn} = motsvarande energitillskott i tilluften enligt resultat från mätning. $E_{mån}$ = energitillskott per månad.

Månad	I_{sol} kWh m ² ·dygn	E_{dygn} kWh dygn	$E_{mån}$ kWh månad
Jan	0,6	0,20	6,0
Feb	1,3	0,20	6,5
Mars	2,4	0,40	12,5
Apr	3,2	0,65	19,5
Maj	4,0	0,75	11,0 1)
Juni	4,1	0,75	0 1)
Juli	4,0	0,75	0 1)
Aug	3,6	0,70	0 1)
Sep	2,8	0,50	7,0 1)
Okt	1,8	0,30	10,0
Nov	0,7	0,20	7,0
Dec	0,3	0,20	6,0
			Σ 85,0 kWh/år

1): Utanför uppvärmningssäsongen 15 maj- 15 sept

Av figur 5.10 framgår att tilluften får en viss temperaturförhöjning även då solinstrålningen närmar sig noll. Genom analys av mätresultaten från dagar med mycket liten solinstrålning har det energitillskott som inte beror direkt av solen kunnat uppskattas till mellan 100 och 200 Wh/dygn. Huvuddelen av detta tillskott bör rimligen utgöras av återvunnen transmissionsenergi. Per år kan bidraget från transmissionen beräknas till 36 kWh/år. Det skulle betyda att $93 - 36 = 57$ kWh/år återstår som bidrag från solen.

Därtill kommer reducering med hänsyn till utetemperaturens inverkan. Mätningarna antyder en viss minskning av energitillskottet vid sjunkande utomhustemperatur och bibehållen solintensitet (sjunkande verkningsgrad). Sannolikt beroende på att förlusterna utåt från den uppvärmda solväggen ökar vid sjunkande omgivningstemperatur.

Utvärderingen bygger på mätdata från en period som är varmare än eldningssäsongens genomsnitt. Med hjälp av mätdata kan reduktionen av energitillskottet för månaderna mellan oktober och mars uppskattas till 10 % jämfört med maj månad då mätningarna utfördes. Reduktionen för hela året blir då:

$$0,1 \cdot (0,30 + 0,20 + 0,20 + 0,20 + 0,20 + 0,40) = 0,1 \cdot 1,5 \approx 0,15 \text{ kWh/dygn}$$
$$0,15 \cdot 30 = 4,5 \text{ kWh/år.}$$

Energitillskottet av solinstrålningen från ett solväggselement blir då ca: $57 - 4,5 = 52,5$ dvs ungefär 50 kWh/år.

Om även den återvunna värmetransmissionen betraktas som ett tillskott blir det totala tillskottet ca 90 kWh/år. Återvunnen värmetransmission är alltså av ungefär samma storleksordning som tillskottet från solen.

Om resultatet för det studerade solväggselementet extrapoleras till att gälla generellt för alla solväggselement i byggnaderna blir det årliga bidraget ca 11 MWh eller ungefär 2 kWh/m² och år, vilket är mindre än 2 % av det totala behovet av köpt energi.

Luftflödesförhållanden

En avgörande faktor för systemets funktion är byggnadshöljets lufttäthet. K-konsult som utvecklat systemet med solväggen redovisar ingen beräkning gällande erforderlig lufttäthet hos byggnaden för att säkerställa systemets funktion (Qvist, 1985). Det uttalas inte heller klart hur stor del av tilluftsflödet som avses passera solväggen. Som underlag för simuleringsberäkningen har dock bedömts att 75 % av tilluftsflödet skall passera solväggen. Restande 25 % fås då via luftläckning eller via vädring. Den bedömda flödesandelen genom solväggselementet under normal drift (med stängda fönster) måste alltså vara något större än 75 %.

En överslagsmässig bedömning av erforderlig lufttäthet för att uppnå 75 % flöde blir beroende av vilken karaktär husets otätheter har (exponenten i ekv 5.11). Sambandet mellan läckflödet genom och tryckskillnaden över byggnadsskalet brukar vid en tryckprovning anpassas till en kurva med en ekvation av typen (Levin, 1991):

$$q = C \cdot \Delta p^n \quad (5.11)$$

där

- q = läckflödet [l/s]
- C = flödeskoefficient [l/s·Paⁿ]
- Δp = tryckskillnaden [Pa]
- n = exponent [-]

Koefficienten C kan sägas vara ett mått på läckornas sammanlagda storlek och exponenten n beskriver läckornas flödeskaraktäristik. Om $n = 1$ råder laminär strömning och om $n = 0,5$ råder fullständigt utbildad turbulent strömning eller så är ut- och inströmningsförluster är helt dominerande.

Ekvation (5.11) antas gälla även för luftflödet genom solväggen.

Som kriterium på lufttätheten brukar anges medelvärdet av luftflödet vid 50 Pa tryckskillnad för provning vid både invändigt övertryck och undertryck. Flödet Q brukar då omräknas till luftomsättningar/timme. Eftersom tryckskillnaden under normal drift inte är 50 Pa kan man inte beräkna den erforderliga lufttätheten direkt från provningsresultatet. Solväggen har dimensionerats för flödet 10 l/s och tryckfallet anges då till 18 Pa i kombination med springventil Spaltex-40. Med detta som utgångspunkt kan den erforderliga tätheten för att erhålla minst 75 % flöde genom solväggarna framräknas för några olika värden på exponenten n i ekv 5.11. Beräkningen redovisas mera fullständigt i bilaga 2.

Som framgår av tabell 5.3 måste huset vara mycket tätt för att erforderlig luftmängd genom solväggarna skall erhållas. Även i det gynnsammaste fallet måste lufttätheten vara i storleksordningen 0,5 oms/h vid 50 Pa. Det rimligaste alternativet är troligen en exponent omkring 0,7 både för solväggens och för luftläckningens flödeskaraktäristik. Täthetskravet skulle då hamna nedåt 0,3 oms/h vid 50 Pa vilket är ett mycket hårt krav. Detta visar mycket tydligt systemets beroende för byggnadsskalets lufttäthet. Resultatet är också intressant för den generella betydelsen av god lufttäthet för att erhålla kontroll över ventilationen även i hus med normala frånluftssystem.

Tabell 5.3. Erforderlig lufttätethos byggnadsskalet för att uppnå min 75 % av tilluftsflödet genom solväggen uttryckt som max tillåten luftläckning (oms/h) under provtryckning vid 50 Pa.

Exponent för husets luftläckning	Exponent för solvägg		
	0,5	0,75	1,0
0,5	0,28	0,26	0,26
0,75	0,39	0,36	0,35
1,00	0,54	0,49	0,46

Täthetsprovningar i Konsolens lägenheter har givit genomsnittliga värden på ca 0,8 oms/h vid 50 Pa och ca 0,9 för exponenten n. Luftläckningen vid provning överstiger således klart de värden som beräknats i tabell 5.3. Det verkliga flödet genom solväggarna kommer därför inte upp till de antagna 75 % av totalflödet.

Beräkningen av det årliga energitillskottet förutsätter att flödet genom elementet hela tiden är ca 8 l/s. Det finns uppenbara risker för att det verkliga flödet kan bli betydligt mindre. Flödesvägen genom väggen ger ett relativt stort tryckfall (15-20 Pa vid normal drift). För en säker och stabil funktion krävs att byggnadens klimat-hölje är mycket lufttätt samt att fönster och dörrar hålls stängda.

I samband med att husens lufttäteth provades gjordes också mätningar av frånluftsflöden och tilluftsflödet genom solväggsventilerna. Mätningar gjordes på tre solväggselement i tre olika lägenheter med ytan 60 m² och volymen 144 m³. Tilluftsflödet uppmättes med den sk påsmetoden.

Flödet mättes i bägge de aktuella driftfallen dvs:

- 1) Vinter; solvägg-öppen, fönsterventil-stängd
- 2) Sommar; solvägg-stängd, fönsterventil-öppen

Resultatet av mätningarna visas i tabell 5.4.

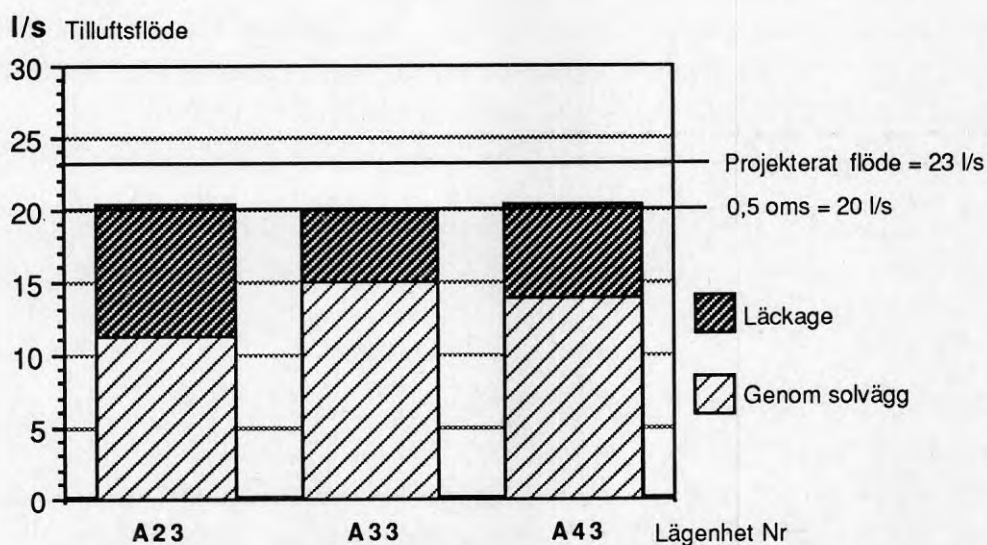
Från mätningen kan det bl.a noteras att spjället i solväggsventilen i ett fall (lgh A23) inte hade någon som helst tätande funktion och att den tätande funktionen även i de övriga fallen var bristfällig. Denna brist kan leda till onödiga övertemperaturer sommartid genom att solväggen är i funktion trots att den avses vara avstängd.

Total luftomsättning för de tre lägenheterna och flödesandelen genom respektive solväggsventil framgår av figur 5.11. Normalventilation (projekterade värden) motsvarar i dessa tre lägenheter 23 l/s (motsvarar ca 0,58 omsättningar per timme). De är försedda med två st solväggselement vardera varav tilluftsflödet mätts upp på den ena.

Tabell 5.4. Tilluftflöde genom solväggsventil vid vinter och sommar driftfall jämfört med uppmätt frånluftsflöde.

Lgh nr	Driftfall	Flöde genom en solvägg.	Uppmätt Frånluftsflöde	Andel tilluft genom solväggar
A23	Vinter	5,6 l/s	20,3 l/s	55 %
	Sommar	5,6 l/s		
A33	Vinter	7,5 l/s	20,0 l/s	75 %
	Sommar	2,8 l/s		
A43	Vinter	7,0 l/s	20,6 l/s	68 %
	Sommar	4,0 l/s		

I figuren har antagits att den icke kontrollerade solväggsventilen får samma flöde som den uppmätta. Läckflödets storlek har beräknats som skillnaden mellan uppmätt frånluftsflöde och flödet genom solväggarna. Antagandet vid projekteringen att flödet genom solväggsventilen skulle vara 75 % av frånluftflödet visar sig vara något överskattad i detta fall. I genomsnitt är denna andel ca 66 %. Man kan också notera att alla tre lägenheterna har ett frånluftsflöde något lägre än projekterat värde. Samtliga ligger dock nära 0,5 luftomsättningar per timme.



Figur 5.11. Uppmätt tilluftflöde genom solväggselement jämfört med läckflödet genom byggnadshöljet. Summan av staplarna motsvarar frånluftsflödet.

Resultat av täthetsprovningar visar att huset har en i förhållande till normkravet god lufttäthet. Tätheten är dock otillräcklig för att säkerställa avsedd funktion hos solväggarna. Provtryckning har utförts i sju lägenheter. Fyra lägenheter provades vid både under- och övertryck medan tre lägenheter bara provades vid undertryck. Medelvärde från provningarna är 0,82 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad (medelvärde av under- och övertrycksprovning). För lägenheterna som bara provats vid undertryck blev medelvärdet 0,83 oms/h vid 50 Pa. Lufttätheten uppfyller alltså väl de krav som ställs i SBN 80 (1,0 oms/h vid 50 Pa).

För att erhålla det antagna luftflödet genom solväggen på 75 % av totalflödet är dock inte byggnadsskalet tillräckligt lufttätt, vilket framgår av beräknings- och mätresultaten ovan. För andra lägenhetstyper kan dock förhållandet bli något bättre tack vare ett gynnsammare förhållande mellan erforderligt tilluftflöde och antal solväggsventiler. För en tvårumslägenhet på 60 m² (2 solväggar) motsvarar tilluftflödet 11,5 l/s genom varje solvägg medan det i en trerumslägenhet på 72 m² (3 solväggar) ger 8 l/s genom varje solvägg. För den större lägenheten bör tryckfallet bli lägre och därmed ge en mindre andel av flödet som läckage.

5.3.2 Tung stomme

En av experimentåtgärderna i Konsolen var att minska på installerad effekt med hänsyn till husets tunga stomkonstruktion. Den installerade värmeeffekten är därför dimensionerad för en högre dimensionerande utetemperatur (DUT) än normalt. Det är därför extra intressant att studera vad som händer vid verkligt låga utetemperaturer. För att kunna göra detta krävs också en period med verkligt kallt väder. Som på beställning inträffade också en verkligt kall period på ca en vecka under utvärderingsperioden. Under denna vecka i januari 1987 understeg den uppmätta dygnsmedeltemperaturen utomhus -20 °C under fyra på varandra följande dagar (den 9-12/1). Detta har aldrig tidigare inträffat i Stockholm sedan registrering av utomhustemperatur började år 1756!

Enligt de då gällande dimensioneringsreglerna i SBN 80 skulle en byggnads värmesystem dimensioneras så att temperaturen inomhus (statistiskt) tillåts sjunka 3 °C under den avsedda en gång vart 30:e år. I kv Konsolen har man med hänsyn till husets höga tidskonstant valt -13 °C som dimensionerande utomhustemperatur. Det innebär att värmesystemets effekt precis skall räcka till för att hålla 20 °C inomhus då det är -13 °C utomhus. Vid utomhustemperaturer under -13 °C skall inomhustemperaturen börja sjunka.

Utnyttjande av maximal värmeeffekt

Trots de extremt låga utomhustemperaturerna under januari 1987 sjönk inte inomhustemperaturen. Tendensen var istället att inom-

hustemperaturen steg med sjunkande utetemperatur, vilket är ett tecken på att radiatorernas reglerkurva ställts så att den kompenserar en sjunkande utetemperatur för mycket med högre inomhustemperatur som resultat. Den tillgängliga effekten var tillräcklig trots den snåla dimensioneringen. Det underskott i värmeeffekt som teoretiskt skulle uppstå har täckts av internt värmetillskott. Därmed går det heller inte att utifrån mätningarna kvantifiera i vilken utsträckning den tunga stommen skulle kunna bidra till ett lägre effektbehov.

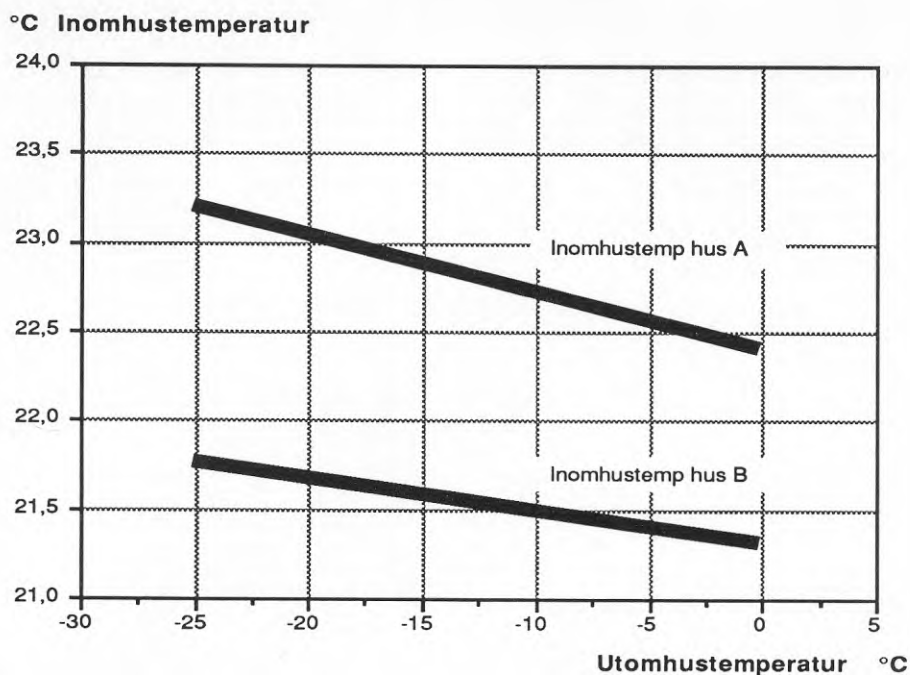
För att kartlägga husens "beteende" under sträng kyla specialstuderades mätdata från januari 1987. Utomhustemperaturen varierade under denna period mellan ca 0 °C och - 25 °C. Diagrammet i figur 5.12 visar de bägge husens genomsnittliga inomhustemperatur under perioden som funktion av utetemperaturen. Denna medeltemperatur har för varje timme beräknats som:

$$\text{Medeltemp} = \frac{\Sigma \text{ alla lägenheters temp}}{\text{antal lägenheter}} \quad (5.12)$$

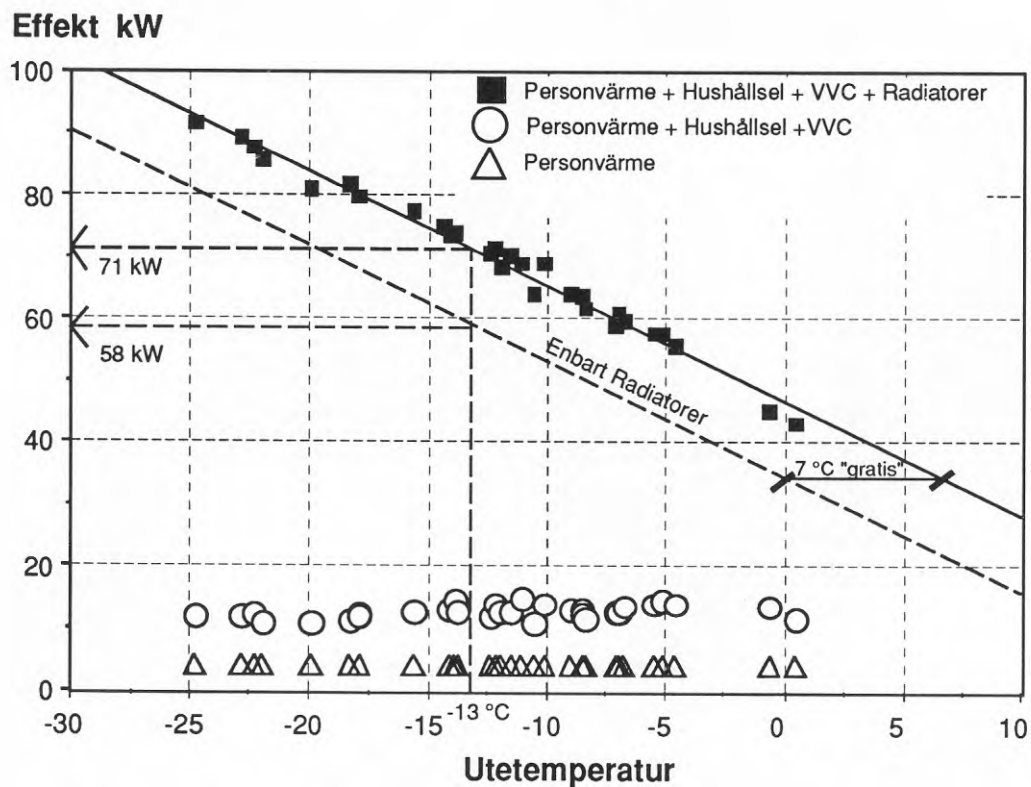
Medeltemperaturen är således inte viktad i förhållande till lägenheternas area. Det finns en skillnad i medeltemperatur mellan husen på drygt 1 °C. Tendensen att inomhustemperaturen stiger med sjunkande utomhustemperatur syns också tydligt för bägge husen.

Av temperaturmätningen under denna köldperiod framgår tydligt att värmeeffekten är tillräcklig trots att den dimensionerande utetemperaturen underskridits med 10 °C. Mätningen visar också att radiatorernas termostatventiler inte arbetar som avsett. Termostaterna skall enligt byggnadsbeskrivningen vara maxbegränsade till 21 °C. Den genomsnittliga temperaturen i hus A tillåts dock stiga över 23 °C. Troligen ligger de flesta radiatorventilernas reglerband för högt. Inomhustemperaturen kommer därvid att huvudsakligen styras av reglerkurvan för framledningstemperaturen från undercentralen. Den stigande temperaturen vid låga utetemperaturer skulle kunna tänkas bero på användning av kompletterande elvärme. Av hushållselförbrukningen under samma period framgår dock att så ej är fallet vilket kan ses i fig 5.13.

I figur 5.13 visas uppmätta dygnsmedelvärden för tillförd effekt för hus A som funktion av utomhustemperaturen under den aktuella köldperioden. I diagrammets effektkurvor återges förutom radiatoreffekten också uppmätt hushållsel och ett beräknat värde för tillskott genom personvärme. Kurvorna har adderats ovanpå varandra i diagrammet. I totalsumman har även VVC-förluster inräknats. Dessa har ej markerats med separat kurva eftersom de utgör en så liten del av totala effekten (ca 0,4 kW). Den streckade linjen utan symbolmarkering anger enbart radiatoreffekt.



Figur 5.12. Uppmätt medeltemperatur i de bägge husen i kv Konso-
len under en mycket sträng köldperiod där utomhustemperaturen
understeg husets DUT med som mest 12 °C.



Figur 5.13. Uppmätta dygnsmedelvärden för radiator effekt, VVC-
förluster och hushållsel samt beräknat värde för personvärme som
funktion av utomhustemperaturen under januari 1987.

Maxvärdet för uppmätt radiatoreffekt är ca 80 kW och inträffade vid dygnsmedeltemperaturen -25 °C. Detta kan jämföras med husets beräknade effekt för uppvärmning som är 81* kW vid utomhustemperaturen -13 °C. Under dessa extremt kalla dygn har alltså husets beräknade värmeeffekt utnyttjats nästan helt. Skillnaden mot dimensioneringsteorin är att toppeffekten inträffar vid 12 °C lägre temperatur än vad som beräknats! Vid utomhustemperaturen -13 °C är den utnyttjade radiatoreffekten knappt 60 kW.

Orsakerna till avvikelserna från de teoretiska förväntningarna kan i princip vara två:

- 1 Värmebehovet tillgodoses via "gratisvärme" från främst hushållsel, personvärme och i viss mån fastighetsel.
- 2 Effektbehovsberäkningen är felaktig och en oavsiktlig överdimensionering har uppstått.

Figur 5.13 visar att alternativ ett är en möjlig förklaring. Summan av effekterna från radiatorer, VVC, hushållsel och personvärme är vid -13 °C (DUT) åtminstone i närheten av det beräknade effektbehovet, ca 71 kW, jämfört med det beräknade 81 kW. Värmebehovet för temperaturer mellan -13 °C och -25 °C täcks således av den värme som internlasterna avger.

En anpassning av den sammanlagda effekten enligt figur 5.13 till en rät linje ger:

$$P = 46,8 - 1,85 \cdot \theta_u \quad (5.13)$$

där

P = summan av uppmätt effekt för radiatorer, hushållsel och VVC samt beräknat värde för personvärme (4 kW) [kW]

θ_u = uppmätt utomhustemperatur [°C]

Den temperaturberoende delen av effekttilförseln är således 1,85 kW/°C. Värdet kan jämföras med det beräknade 81 kW/33 °C som ger 2,45 kW/°C. Det verkliga specifika effektbehovet understiger det beräknade med 25 %. Kontrollberäkning av effektbehovet tyder på att den ursprungliga beräkningen förutsatt en ofrivillig ventilation på ca 0,2 oms/h. I det här fallet är det dock troligt att luftläckaget utöver det mekaniskt åstadkomna luftflödet är nära noll, åtminstone vintertid. Se även avsnitt 5.4.2. Ett beräknat effektbehov utan läckage och med normal ventilation (0,55 oms/h) enligt projekterade värden är 70 kW vid 33 °C temperaturskillnad. Detta motsvarar ett specifikt effektbehov på 2,1 kW/°C. Verkligt effektuttag skulle då vara 12 % lägre än beräknat. En

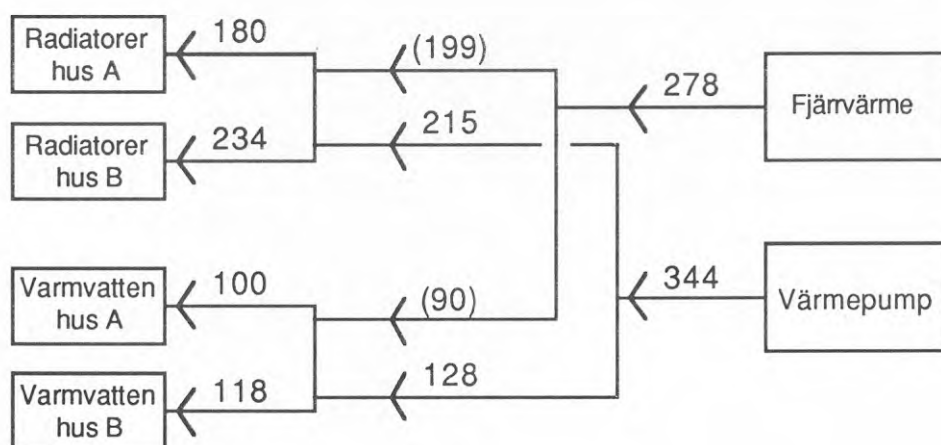
* Installerad effekt är 92 kW vilket erhålls vid 60 °C framledningstemperatur. Systemet styrs dock så att max framledningstemperatur är 55 °C.

jämförelse mellan kurvorna i fig 5.13 för totaleffekt och enbart radiatoreffekt visar att interna värmestillskottet ger en "gratis" uppvärmning på ca 7 °C. Effekten för hushållsel visar ingen stigande tendens vid sjunkande utetemperatur vilket visar att kompletterande elvärme inte används.

Förhållandet med relativt stora interneffekter är troligtvis inte unikt för kv Konsolen utan bör snarare vara normalt för de flesta flerbostadshus byggda på senare tid. Det är ju så att dimensioneringsreglerna är utformade så att hela värmebehovet avses täckas av värmesystemet och alltså förutsätter att huset är oanvänt. I dagens välisolerade hus svarar internlasterna även i bostadshus för en så stor andel av värmestillskottet att det är intressant att ta hänsyn till dem vid dimensioneringen av värmeeffekten. Här finns alltså en stor potential att spara på installerad effekt och därmed på anläggningskostnaderna.

5.3.3 Värmepump / Värmeåtervinning

Av den totala energianvändningen för radiatorvärme och tappvarmvatten inklusive VVC, som 1987 var 632 MWh, producerade värmepumpen 344 MWh. Värmepumpens energi fördelades på 215 MWh till radiatorvärme och 128 MWh till tappvarmvatten och VVC. Fördelningen visas i fig 5.14. (Summan av uppmätta förbrukningar i respektive hus blir något större (1,6 %) än vad som mäts upp centralt från fjärrvärme och värmepump. Skillnaden ligger inom mättelets ram men kan delvis också bero på att värme tillförs värmemediet från cirkulationspumpar.) Återvunnen energi ur frånluften uppgick till 54 % av hela ventilationsförlusten.



Figur 5.14. Fördelning av radiatorvärme och tappvarmvatten från fjärrvärme respektive värmepump för de två husen år 1987. Siffrorna anger energimängder i MWh. Värden inom parentes har ej uppmätts separat. Dessa har beräknats som restposter.

Den genomsnittliga driftstiden per dygn har varit 80 % eller drygt 19 timmar/dygn. Värmepumpens s.k värmefaktor, COP, har i genomsnitt varit ca 2,7. Värmepumpen svarar för 54 % av årsbehovet för värme- och tappvarmvatten.

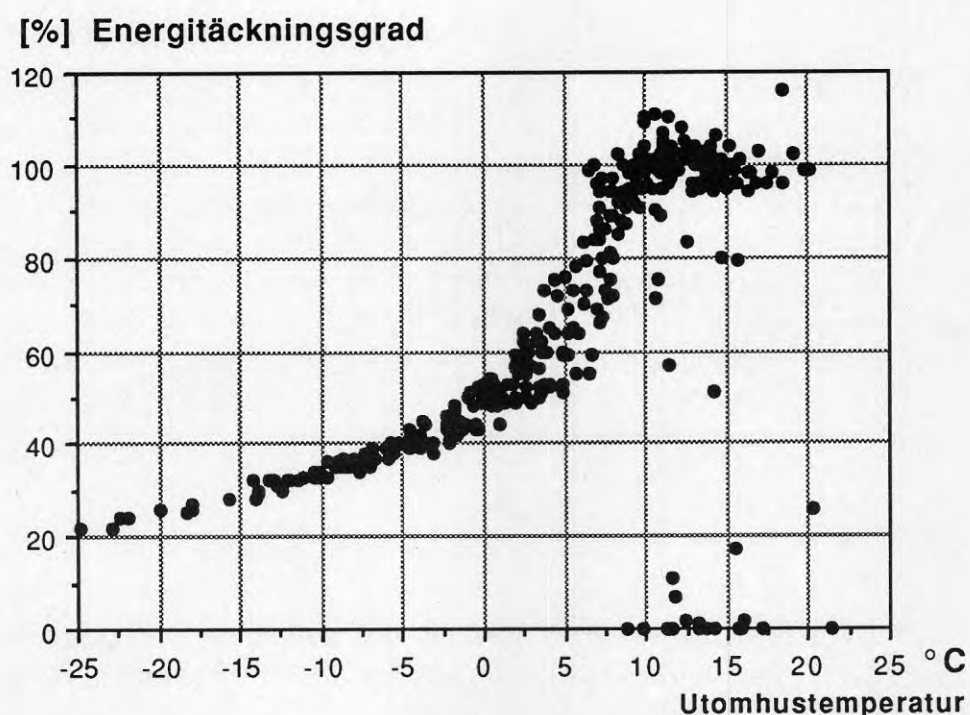
Energitäkningsgrad

Värmepumpens andel i den totala produktionen av värme för uppvärmnings- och tappvarmvattenändamål varierar. För att beskriva detta kan man t.ex definiera en energitäkningsgrad beräknad som :

$$ETG = \frac{E_{vp}}{E_{vv} + E_{rad}} \cdot 100 \% \quad (5.14)$$

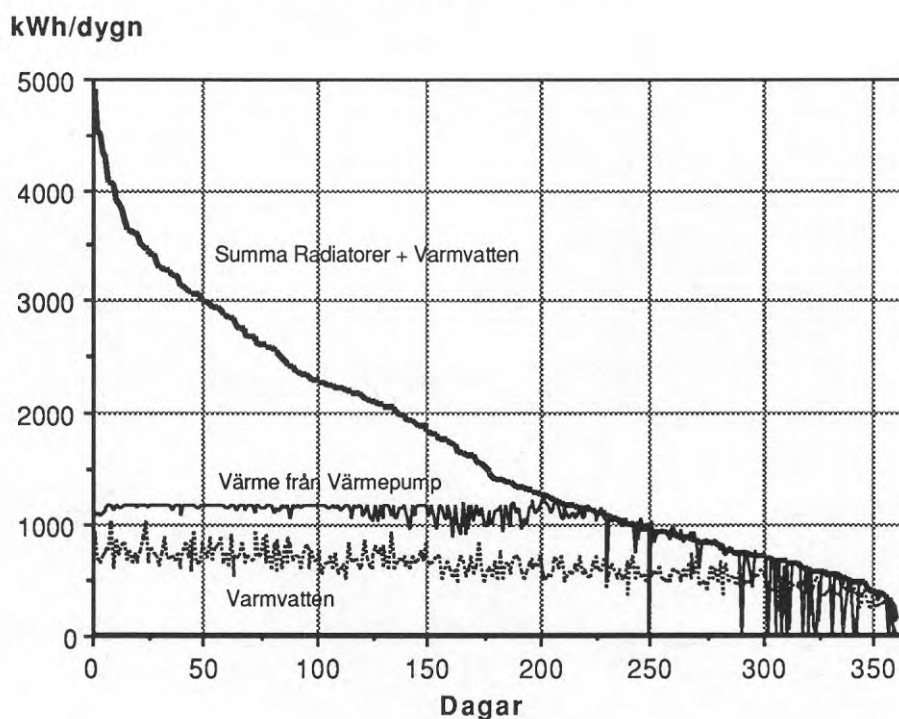
där

- E_{vp} = värmeavgivningen från värmepumpen [MWh]
- E_{vv} = energi till tappvarmvatten och VVC [MWh]
- E_{rad} = energi till radiatorer [MWh]



Figur 5.15. Dygnsvisa värden för värmepumpens energitäkningsgrad som funktion av utomhustemperaturen. Energitäkningsgraden är i medeltal ca 54 % och varierar mellan drygt 20 % de kallaste dagarna till över 100 % vissa dygn. Energitäkningsgraden är omkring 100 % ned till ca +8-10 °C. Punkterna i diagrammets nedre högra hörn visar på en del av de problem som uppstår bl.a tack vare värmepumpens svårighet att ladda ackumulatortankarna. Vid dessa låga värmebehov borde värmepumpen kunna svara för hela behovet för tappvarmvatten och radiatorer.

Den genomsnittliga energitäckningsgraden över hela året (med års-sommar i ekvationen ovan) blir ca 54 %. Under de kallaste dygnen svarar värmepumpen för drygt 22 % av varmvatten och värme-energin, se figur 5.15. En del av tiden är energitäckningsgraden högre än 100 %. Den sannolika förklaringen till detta är att varmvatten har lagrats upp i ackumulatortankarna till nästa dygn. Av varaktighetskurvan i figur 5.16 framgår att värmepumpens kapacitet väl överstiger det behov som finns för varmvatten sett över dygnet. Under ca 140 av årets dagar levererar värmepumpen tillräckligt med energi för att tillgodose både varmvatten och värmebehov. Under ca 225 dagar behövs således ett tillskott från fjärrvärmem. Värmepumpen klarar hela behovet av tappvarmvatten och värme ned till ca 8-10 °C utomhus.



Figur 5.16. Varaktighetsdiagram för Konsolens värmepump. Diagrammet visar samhörande dygnsvisa data för värmepumpens energiavgivning, varmvattenanvändning och summa varmvatten + radiatorenergi. Data har sorterats efter summa varmvatten + radiatorenergi. Värmepumpen täcker hela husets behov ungefär 140 dagar. Man kan också notera att radiatorenergi används nästan alla dagar, dvs även sommardag.

Värmepumpars prestanda brukar ofta anges med den så kallade värmefaktorn (COP). Värmefaktorn kan definieras som kvoten mellan värmepumpens avgivna effekt och eleffekten till kompressorn enligt ekvation 5.15.

$$\text{COP} = \frac{\text{Avgiven värme}}{\text{Tillförd elenergi}} \quad (5.15)$$

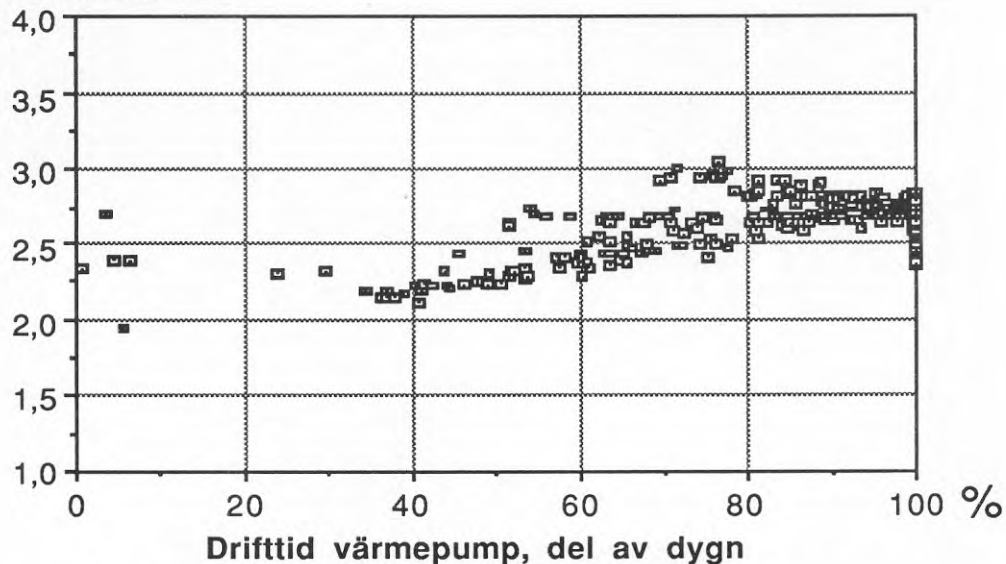
Värmepumpens genomsnittliga värmefaktor (energiviktad) är enligt mätningarna 2,7. Vid projekteringen beräknades värmefaktorn bli ca 2,9 (Qvist,1985). Den levererade energimängden från värmepumpen stämmer ändå väl överens med de förhandsberäkningar som gjorts. Värmepumpen har under 1987 utnyttjats maximalt under en större del av året än vad som förutsattes vid projekteringen där beräkningar gjordes med antagande om 1971 års väder och + 20 °C inomhus. Inomhustemperaturen har i verkligheten i medeltal varit ca 22 °C och 1987 har betydligt fler dagar med värmebehov än 1971 vilket sammantaget givit en längre utnyttjandetid.

Värmefaktorn påverkas av värmepumpens arbetsförhållanden. De temperaturer vid vilka värmepumpen hämtar respektive lämnar energi har inverkan på värmefaktorn. För en hög värmefaktor är det gynnsamt med hög temperatur på det medium som energi hämtas från. Värmefaktorn blir också högre ju mindre värmepumpen behöver höja temperaturen mellan förångare och kondensor. Även andra faktorer inverkar vilket framgår av mätningarna. I figur 5.17 visas mätresultat för värmefaktorn som funktion av genomsnittlig drifttid per dygn. Det framgår att värmefaktorn sjunker betydligt då drifttiden går under 75 % av dygnet. Anledningen till nedgången är troligen att värmepumpen under dessa dygn gör flera start och stopp. Avsvalningsförluster och uppvärmningsförluster blir då större. Under den tid som värmepumpen är igång är värmefaktorn lika stor för dygn med korta drifttider som för dygn med långa drifttider. Ett energiviktat medelvärde för värmefaktorn är därför ända så högt som 2,7 trots att värmefaktorn många dagar ligger klart under 2,5.

Värmefaktorn varierar också med utetemperaturen vilket framgår av figur 5.18. Bäst fungerar värmepumpen vid utetemperaturer kring +5°C. Vid lägre temperaturer sjunker värmefaktorn vilket troligen beror på att radiatorkretsen kräver högre framledningstemperatur. Värmefaktorn sjunker också vid utetemperaturer över +5 °C troligen på grund av att driften då blir mera intermittent.

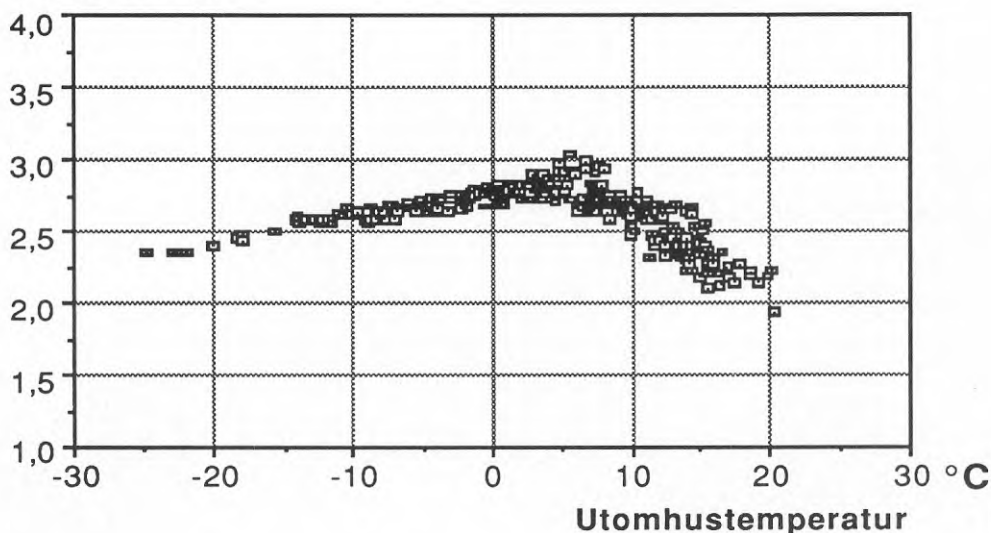
Värmepumpen är dimensionerad utifrån en lönsamhetskalkyl som visar att den mest ekonomiska värmepumpen skall kyla frånluften till mellan 0 och +5 °C. I energisnåla hus är den högre temperaturen dvs en mindre värmepump att föredra. Vid alltför små värmebehov i förhållande till värmepumpens kapacitet sjunker den möjliga utnyttjandetiden för värmepumpen. Mätningarna visar en normal avluftstemperatur när värmepumpen är i drift på ca 8 °C, således något högre än vad som förutsatts i projekteringen.

Värmefaktor



Figur 5.17. Värmepumpens värmefaktor, COP, som funktion av drifttiden per dygn. Värmefaktorn påverkas positivt av långa drifttider. Medelvärdet påverkas dock inte i så hög grad av att COP sjunker betydligt vid kortare drifttider, eftersom den avgivna energimängden då också är mindre.

Värmefaktor



Figur 5.18. Värmepumpens värmefaktor, COP, som funktion av Utomhustemperaturen. Värmefaktorn är högst vid temperaturer kring +5 °C.

Värmepumpen har stor del i byggnadernas låga behov av köpt energi. Utan frånluftsvärmepump (eller annan form av återvinning) skulle behovet av köpt energi 1987 varit drygt 170 kWh/m² istället för 130 kWh/m². Energibesparingen medför dock samtidigt att andelen elenergi i det totala behovet av köpt energi klart överstiger 50 %.

5.4 INOMHUSKLIMAT

Det termiska klimatet i byggnaderna har undersökts på flera olika sätt. I de kontinuerliga mätningarna ingår mätning av lufttemperaturen i varje lägenhet. Syftet med denna mätning var i första hand att mäta den genomsnittliga inomhustemperaturen för utvärdering av värmeförbrukningen och inte att kartlägga det termiska klimatet. Givarna har därför placerats på en innervägg på en central plats inom varje lägenhet, vanligen i hall eller vardagsrum. Mätvärden har registrerats som timmedelvärden. Resultaten är intressanta att studera även ur klimatsynpunkt även om de inte utgör någon fullständig beskrivning av det termiska inomhusklimatet i byggnaderna.

I boendeundersökningen har en representant för varje hushåll intervjuats. De har svarat på en mängd olika frågor om hur de upplever inneklimatet i sin lägenhet (Engvall 1989:9). Undersökningen genomfördes hösten 1985, ungefär ett år efter inflyttningen. Frågeformuläret är omfattande och behandlar förutom upplevelsen av värme och ventilation också hur man t.ex. handhar och ställer in solväggsventiler, termostater etc. samt hur information om hur inställningen skall göras har nått fram till hyresgästerna (Engvall 1989:5).

5.4.1 Inomhustemperaturer

De flesta energi- och effektbehovsberäkningar utgår från att inomhustemperaturen är genomsnittligt ca 20 °C och ungefär konstant. Så är dock inte fallet vilket framgår av nedanstående mätresultat.

De två husen skiljer sig något avseende lägenheternas medeltemperatur. Hus A har i medeltal ungefär en halv grad högre innetemperatur än hus B. Resultatet blir i stort sett lika oberoende av om man beaktar hela året eller bara den tid som kan betraktas som uppvärmningssäsong. Temperaturen skiljer sig också mellan de olika lägenheterna. Detta gäller både för jämförelser under enstaka timmar och över hela året. Spridningen blir större ju kortare tidsperiod som betraktas. Temperaturer registrerade under en enstaka timme kan skilja drygt 5 °C mellan varmaste och kallaste lägenhet. Temperaturen varierar också över tiden inom varje enskild lägenhet. Denna tidsvariation kan över året vara ca 5 °C.

Medeltemperaturer

Årsmedeltemperaturen inomhus är för hus A 22,4 °C och för hus B 21,9 °C under 1987. Resultat av temperaturmätningarna sammanfattas i tabell 5.5.

Tabell 5.5. Sammanställning av månadvisa medeltemperaturer i lägenheterna under 1987. Tabellen anger högsta och lägsta månadsmedelvärde för hela året respektive under "uppvärmningssäsongen" samt månadsmedelvärde för varmaste och kallaste lägenhet.

Period	Hus A			Hus B		
	Medel	Högsta varmaste	Lägsta kallaste	Medel	Högsta varmaste	Lägsta kallaste
Hela året	22,4	25,7	21,2	21,9	24,6	20,6
"Uppvärmn. säsong" 1)	22,4	25,5	21,0	21,8	24,3	20,5

1) = I detta fall: 1 sep - 30 apr.

Temperaturnivån kan tyckas vara hög samtidigt som skillnaden mellan varmaste och kallaste lägenhet är ganska stor. Till en början trodde utvärderingsgruppen att de höga temperaturnivåerna berodde på dålig injustering av radiatorsystemet. Fastighetsägaren lät därför göra en förnyad injustering av flödet i radiatorstammarna och en kontroll av luftomsättningen i alla lägenheter i hus A. Temperaturnivån och skillnaden mellan lägenheterna är dock i stort sett oförändrad efter denna andra injustering. Alla mätvärden i detta avsnitt är hämtade från 1987 som är den senare delen av mätperioden och alltså efter förnyad injustering.

Spridning i lägenhetstemperatur

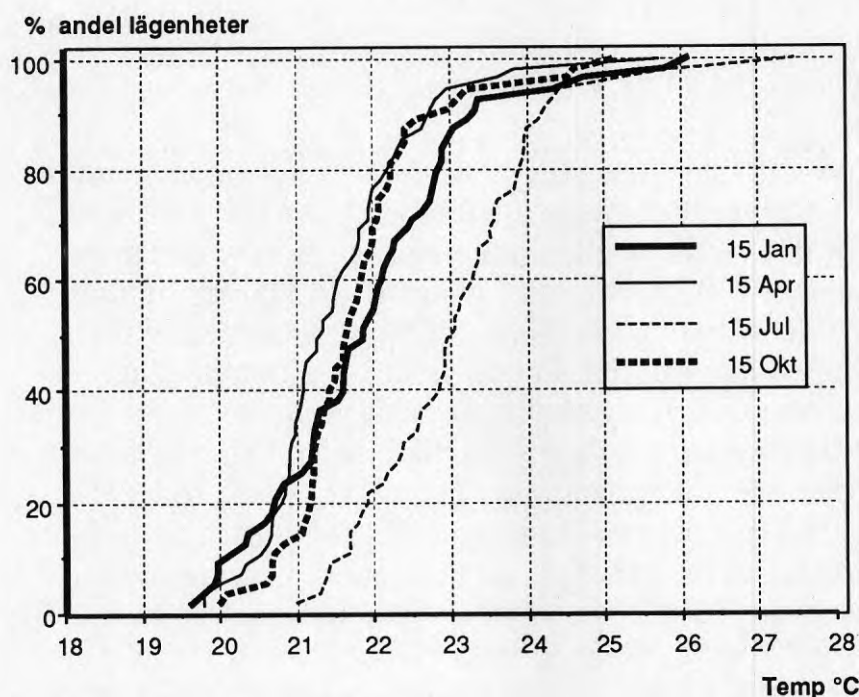
Spridningen i temperatur mellan olika lägenheter är betydande. Variationsbredden vid jämförelse av månadsmedeltemperaturer framgår av tabell 5.5. Det skiljer ca 4-5 °C mellan varmaste och kallaste lägenhet. I figur 5.19 visas fördelningen av uppmätta timmedeltemperaturer i lägenheterna med kumulativa frekvenskurvor. Diagrammet visar uppmätta förhållanden vid fyra olika tillfällen under året. Den valda tidpunkten är kl 00-01 den 15:e i de olika månaderna. (Motivet till att välja timmen efter midnatt är att undvika inverkan av solinstrålning och intern värmealstring. Den 15:e i varje månad valdes för att inte få med 1 jan, nyårsnatten, då verksamheten i lägenheterna i många fall avviker kraftigt från det normala.) Diagrammet omfattar totalt 55 lägenheter (mätvärden saknas från två lägenheter på grund av trasiga givare). Y-axeln anger andelen lägenheter vars temperatur är lägre än eller lika med värdet på x-axeln.

Skillnaden i temperatur mellan kallaste och varmaste lägenhet är enligt figuren ungefär 5 á 6 °C oberoende av tidpunkt på året. Temperaturnivån som helhet är som väntat högst under julitimmen. En stor del av variationsbredden orsakas dock av att ett fåtal lägenheter markant avviker från mönstret (kurvornas översta nästan hori-

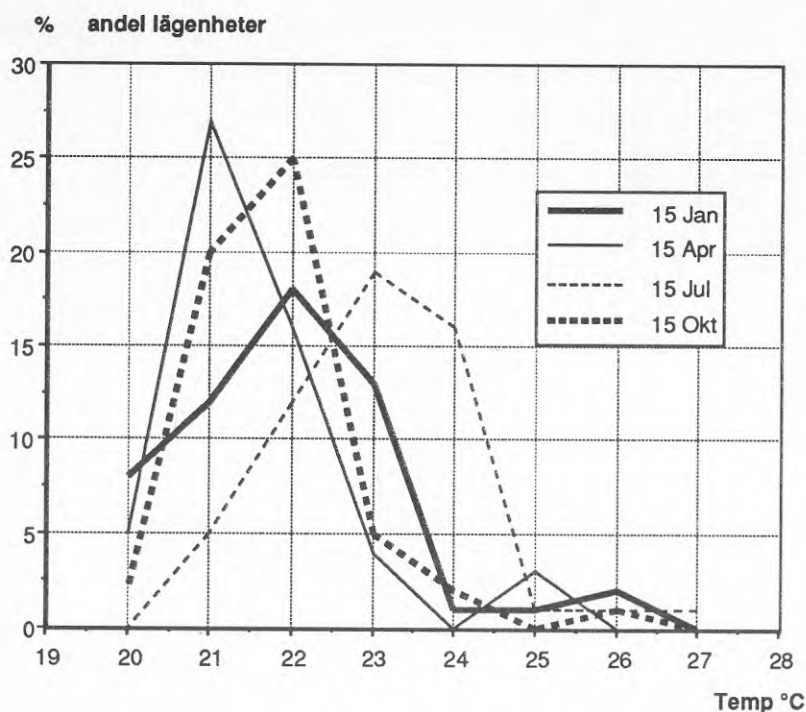
sontella del). Om man bortser från de 10 % varmaste lägenheterna är skillnaden mellan kallaste och varmaste lägenhet ändå ca 3-4 °C.

I figur 5.20 visas samma data som i figur 5.19 men redovisat så att det tydligare framgår vilka temperaturintervall som är vanligast förekommande. Temperaturdata har här klassindelats i intervall om 1 °C. Y-axeln anger andelen lägenheter med en temperatur inom ett visst intervall som anges av värdet på x-axeln. Alla mätvärden är avrundade till närmaste hela grad. För exempelvis värdet 22 °C anges andelen lägenheter med temperaturer mellan 21,5 och 22,5 °C.

Den vanligaste temperaturen under uppvärmningssäsong är alltså 21 á 22 °C. För jultimmen är det vanligaste värdet istället 23 °C. Mycket få lägenheter har temperaturer högre än 24 °C. Huvuddelen av lägenhetstemperaturerna bildar en "puckel" som påminner om en normalfördelning. De varmaste lägenheterna däremot avviker tydligt från huvudmönstret. Det bör alltså finnas någon speciell orsak till att dessa lägenheter har en klart högre temperatur än de övriga.



Figur 5.19. Kumulativa frekvenskurvor visande lägenhetstemperaturernas fördelning vid fyra olika tillfällen under 1987 för bägge husen i kv Konsolen. Temperaturerna är uppmätta kl 00-01 den 15:e i de olika månaderna. För oktober är t.ex skillnaden mellan kallaste och varmaste lägenheterna drygt 5 °C (från 20 till 25,5 °C).



Figur 5.20. Frekvenskurvor visande fördelningen av lägenhetstemperaturer vid fyra olika tillfällen. Under eldningssäsong ligger merparten av lägenheterna i intervallet 20 till 24°C. Endast ett fåtal har högre temperatur än 24°C. Vanligaste temperatur under vintern är 21 à 22°C.

En av dessa varma lägenheter ligger direkt ovanför undercentralen i hus A vilket kan förklara den höga temperaturen där genom att golvbjälklaget där värms upp av den underliggande varma undercentralen. I övriga fall finns ingen "naturlig" förklaring till avvikelserna. Motsvarande avvikelse för låga temperaturer finns inte. Anledningen är sannolikt att de hyresgäster som bor i de kallaste lägenheterna är mera benägna att klaga hos hyresvärderna tills de är nöjda med temperaturen. Eventuella fel i lägenheten åtgärdas då. För hög temperatur är däremot lättare att ha överseende med. Problem med övertemperaturer kan också enklare lösas av hyresgästerna själva, exempelvis genom vädring.

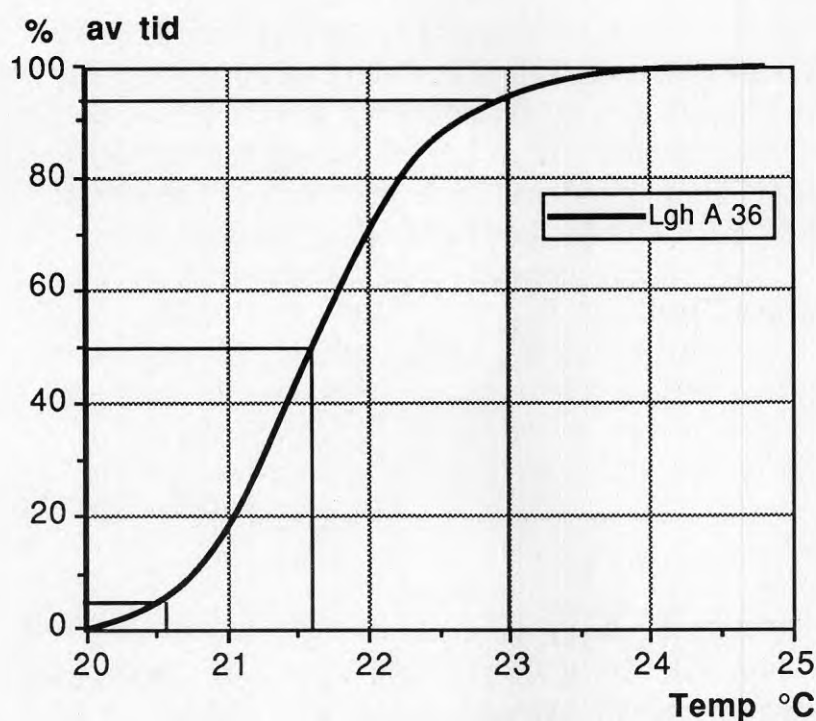
Temperaturvariation över tiden

Förutom en viss temperaturskillnad mellan olika lägenheter förekommer också en variation inom en och samma lägenhet över året. I figur 5.21 visas ett exempel på temperaturens variation över året i en lägenhet på plan 3. Temperaturdata har därför tagits från en lägenhet belägen mitt i huset så att endast två väggar av den omslutande arean är exponerad mot uteklimatet. Golv och tak vetter mot andra lägenheter liksom huvuddelen av väggytan. Denna lägenhet bör alltså påverkas relativt litet av utetemperatur eller närhet till övertempererade utrymmen. Temperaturdata har före uppritning av diagrammet först reducerats från timmedelvärden till medelvärden över fyra timmar. Detta har varit nödvändigt för att minska

den totala datamängden så att inte datorns minne överbelastas. Åtgärden påverkar dock inte synbart kurvans utseende.

Variationen i just denna lägenhet är nästan 5 °C sett över hela året. Årsmedeltemperaturen är 21,6 °C vilket är något lägre än husets genomsnitt. Medianvärdet är ca 21,5 °C, och finns markerat i figuren (50 % nivå). I figuren finns även markerat 5- och 95-procentsnivåerna. Man ser att genom att "ta bort" en tiondel av alla mätvärden så halveras temperaturvariationen. Under 90 % av tiden har lägenheten en temperatur mellan 20,5 och 23 °C, dvs en variation av 2,5 °C. Mönstret är ungefär detsamma i andra lägenheter.

De mest extrema temperaturerna har kort varaktighet är kanske av mindre intresse både ur energi- och komfortsynpunkt eftersom de sannolikt ofta inträffar vid tillfällen då ingen är hemma. T.ex en solig sommardag med stängda fönster eller vid "party", storbak etc.



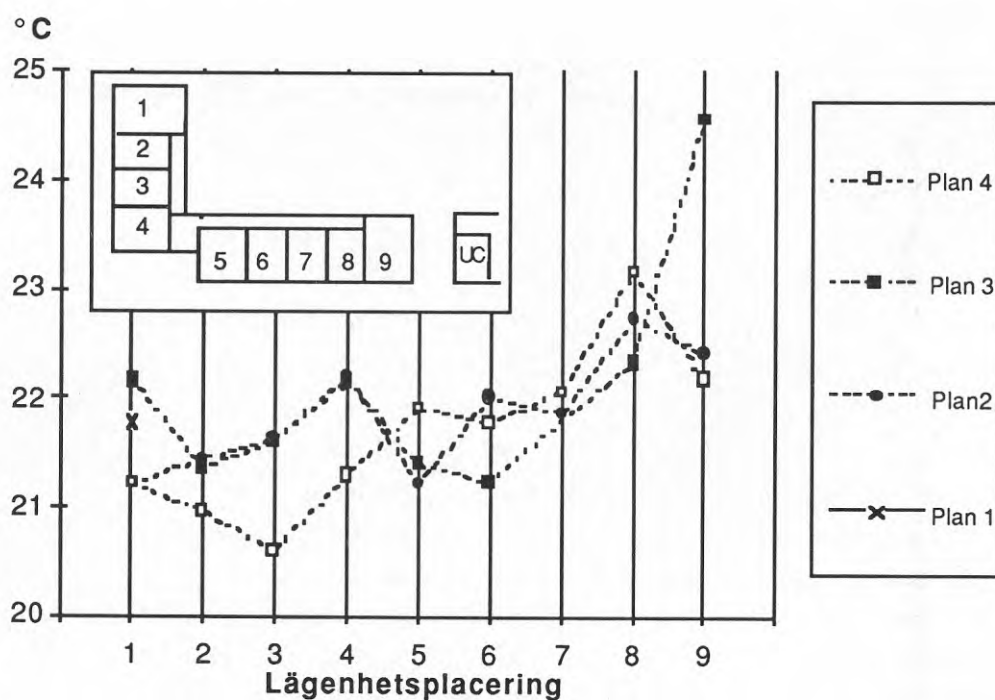
Figur 5.21. Temperaturvariation i en enstaka lägenhet (A36) över hela året. I denna lägenhet varierar temperaturen från 20 °C under årets kallaste fyratimmarsperiod till knappt 25 °C under den varmaste fyratimmarsperioden. Medianvärdet är 21,5 °C. I figuren har också markerats 5 resp 95 % gränserna. Under 90 % av tiden ligger således temperaturen mellan 20,5 och 23 °C.

Orsaker till spridning och variation i temperaturer

Man kan naturligtvis spekulera en del i orsakerna till temperaturskillnader mellan lägenheter och variation över tiden. Man kan då skilja mellan rent tekniska orsaker och att den uppmätta skillnaden helt enkelt uttrycker olika önskemål om temperaturen. En viss möjlighet till individuell reglering, åtminstone till lägre temperatur, finns genom att reglera radiatorventiler, genom fönstervädning etc. Det är mycket svårt att ur mätvärden kunna bedöma orsakerna till de visade temperaturskillnaderna. Kompletterande elvärme som orsak till spridningen kan dock uteslutas med ledning av uppmätt hushållsel, se fig 5.13.

Skillnader mellan lägenheterna kan till en del bero på obalans i injusteringen av radiatorsystemet. Genom att systematisera data från mätningar av lägenhetstemperaturer och studera dem med utgångspunkt från lägenheternas inbördes läge i huset kan man dock få en viss uppfattning om inverkan av radiatorstammarnas injustering.

Genom att rita upp och studera diagram av den typ som finns i figur 5.22 kan man observera följande: I det ena huset (hus B) finns en ganska klar tendens att lägenheterna är varmare i ena änden av huset. Den varmare delen är den som ligger närmast hus A, dvs den del som är närmast undercentralen vilket kanske inte är särskilt oväntat. Denna "snedfördelning" i temperatur kvarstår dock också under sommaren då tillskottet från radiator-systemet är mycket litet.



Figur 5.22. Uppmätta månadsmedeltemperaturer inomhus i november 1987 för lägenheterna i hus B kv Konsolen fördelade på våningsplan och horisontell placering i huset.

I bägge husen finns en tendens att spridningen i temperatur mellan lägenheterna ökar under de kallaste perioderna. Framförallt ökar då spridningen mellan de olika våningsplanen.

Den ökade temperaturspridningen under kalla perioder skulle kunna tyda på att det finns en obalans i radiatorsystemet eftersom värmeförseln via radiatorer blir alltmer dominerande ju lägre utomhustemperaturen är.

I figur 5.22 visas uppmätta månadsmedeltemperaturer i lägenheterna för hus B i november 1987. Varje punkt i diagrammet motsvarar en lägenhet. Våningsplanen har åtskilts så att varje våning har fått en egen markeringssymbol och sammanbundits med linjer i diagrammet. Lägenheter som ligger ovanför varandra i huset, och därmed är anslutna till samma stigarledning, ligger ovanför varandra också i diagrammet. Lägenheter med samma värde på x-axeln ligger alltså i samma "stapel" av lägenheter. Några riktigt klara gränser beroende på placering i våningsplan eller sidled finns inte. Det tycks alltså som att andra parametrar än lägenhetens placering har större betydelse för temperaturen. En svag tendens finns dock att kurvorna följer varandra, dvs att lägenheter anslutna till samma värmestam ofta ligger nära varandra i temperatur.

Den tidsmässiga variationen beror troligen på variationer i solinstrålning och internt värmetillskott. Temperaturen kan också medvetet påverkas av de boende genom vädring, variationer i termostattinställning etc. Naturligvis kan värmedistributionssystemet spela en roll även här genom att t.ex styrkurvas lutning inte motsvarar husets effektbehov exakt eller genom tidsfördröjningar pga byggnadens termiska tröghet.

Betydelsen av ojämn temperaturfördelning

Det är givetvis inget självändamål att uppnå en helt jämn temperaturfördelning med lika temperaturer i alla lägenheter. Skillnaden mellan olika lägenheter har dock en stor praktisk betydelse som påverkar möjligheterna till energihushållning. Ur energihushållningssynpunkt önskar man givetvis hålla så låg inomhustemperatur som möjligt. Samtidigt varken vill eller kan man ha för många missnöjda hyresgäster, vilket sätter en undre gräns för inomhustemperaturen. (Det finns ju dessutom lagstadgat att inomhustemperaturer under 18 °C är att betrakta som sanitär olägenhet.)

Antag förenklat att alla är nöjda vid en viss lägsta inomhustemperatur och att man vill ha 100 % nöjda hyresgäster. Antag vidare att endast för låg temperatur leder till klagomål. Förvaltaren kommer då att tvingas hålla så hög medeltemperatur i huset att den kallaste lägenheten har lägst den minimitemperatur som gör alla nöjda. Med den spridning i lägenhetstemperatur som finns mellan lägenheterna kommer med detta resonemang alla lägenheter utom

en att ha en onödigt hög temperatur. Husets värmeförbrukning beror av dess genomsnittliga temperaturnivå vilken kommer att ligga ungefär mitt emellan den varmaste och kallaste lägenheten. Två graders spridning i temperatur mellan lägenheter kommer alltså att ge en grads höjning av husets medeltemperatur.

5.4.2 Ventilation

Ventilationen mäts centralt i bägge byggnaderna genom kontinuerlig mätning av frånluftflödet i anslutning till fläktrummet. Det totala frånluftsflödet ligger där på en stabil nivå och är ungefär lika i båda byggnaderna. Dygnsmedelvärdet är både för hus A och B ungefär 4200 m³/h vilket motsvarar en genomsnittlig luftomsättning på ca 0,7 oms/h beräknad på byggnadernas nettovolym, d.v.s inklusive även sekundära utrymmen.

Resultat av momentanmätning av frånluftflöden vid normalflöde i hus A:s lägenheter ger en något lägre genomsnittlig luftomsättning än den centrala mätningen. Vid mätningen var två av husets 29 lägenheter inte tillgängliga. I tre av de undersökta lägenheterna hade minst ett av de reglerbara donen fastnat i forceringsläge. Mätresultatet har sammanställts i tabell 5.6. Resultatet redovisas dels för alla uppmätta lägenheter och dels med lägenheter med felaktiga frånluftsdon exkluderade. Som jämförelse är projekterade värden inlagda i tabellen.

Tabell 5.6. Sammanfattat resultat av luftomsättningsmätning i hus A:s lägenheter. Resultatet redovisas både för samtliga uppmätta lägenheter och med de lägenheter som vid mättillfället hade trasiga frånluftsdon exkluderade. Som jämförelse redovisas motsvarande värden för projekterade flöden. Vid mätningen, som utfördes i april 1986, användes kalibrerad mätstos och varmtrådsanemometer.

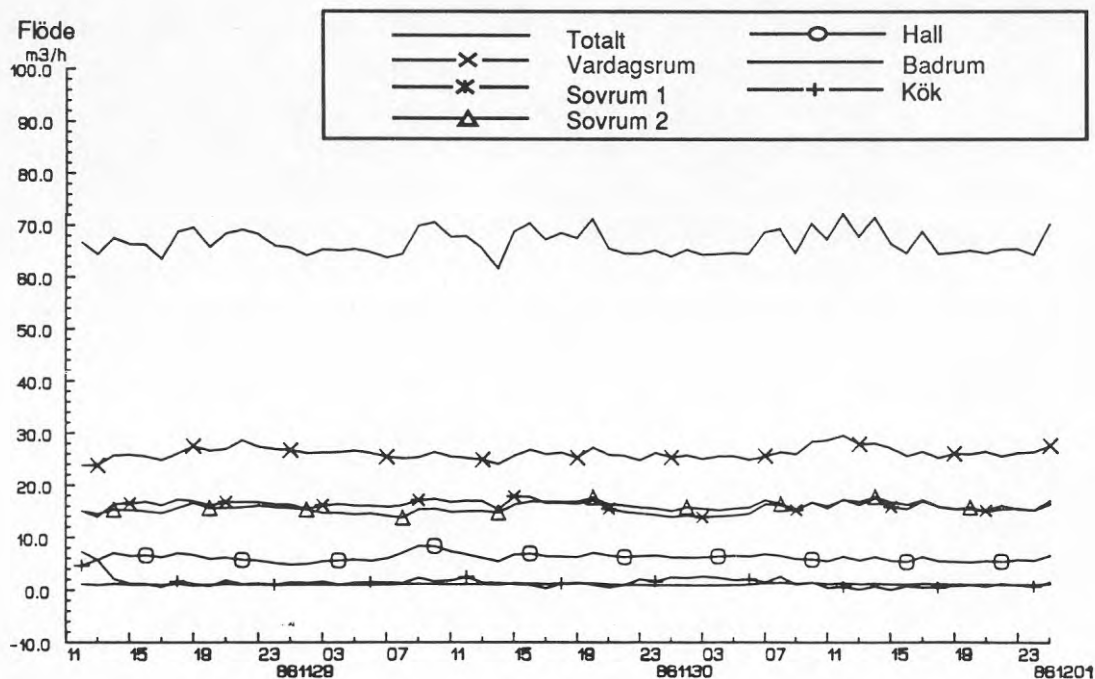
	Luftomsättning (oms/h)			
	Medelvärde	Standardavvikelse	Lägsta värde	Högsta värde
Alla uppmätta lägenheter	0,59	0,19	0,25	1,05
Exklusive lgh. m felaktiga don	0,55	0,15	0,25	0,95
Projekterat (alla lgh)	0,55	0,04	0,50	0,71

Den genomsnittliga luftomsättningen stämmer mycket väl överens med vad man kan förvänta sig utifrån projekterade värden. De individuella avvikelserna är däremot ganska stora och den goda överensstämmelsen för genomsnittsvärdet beror till stor del på att lägenheter med för låg luftomsättning kompenseras av andra där luftomsättningen är för hög. Genomsnittlig avvikelse från projekterad luftomsättning är 33 %. I 14 av 27 undersökta lägenheter avvek luftomsättningen mer än 15 % från projekterat värde. För de enskilda frånluftsdonen avviker 46 av 75 uppmätta luftflöden mer än 15 % från projekterat värde.

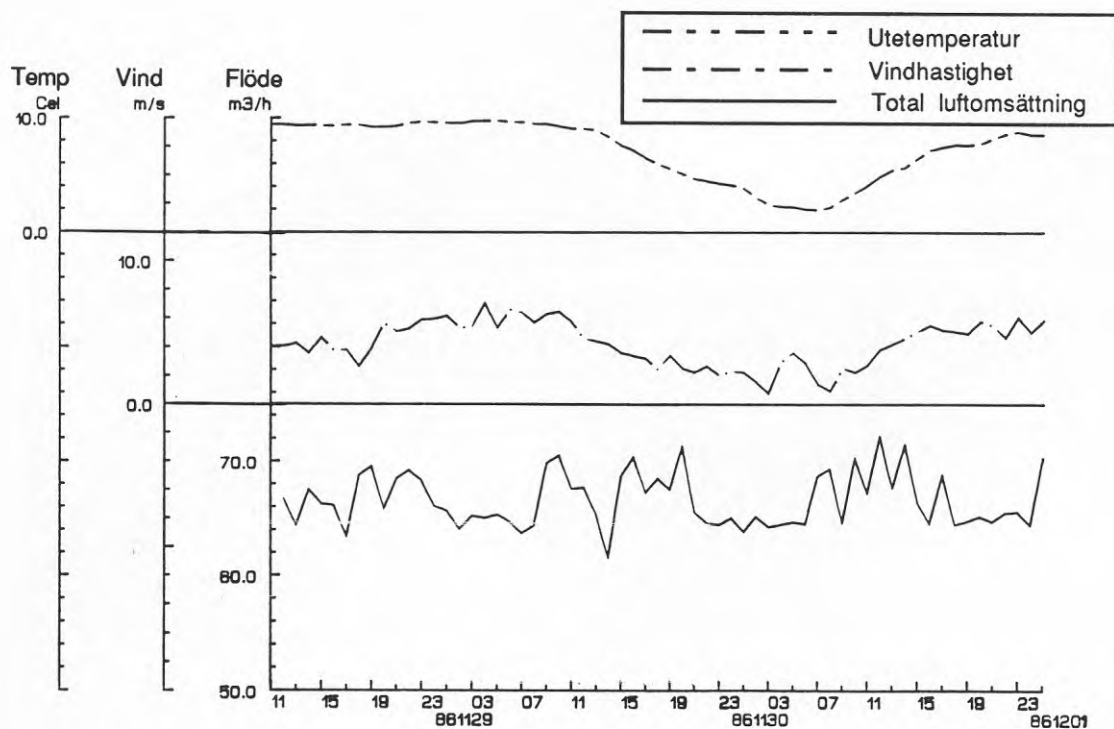
Luftflödet vid fläkten motsvarar en högre luftomsättning än den genomsnittliga i lägenheterna. Det kan finnas flera orsaker till detta. Luft kan läcka in i frånluftskanalerna mellan lägenheter och fläkt. Det genomsnittliga luftflödet vid fläkten blir alltid högre än lägenheternas summerade normalflöde på grund av att vissa don forceras.

Ventilation uppmättes i en obebodd lägenhet i slutet av 1986 med hjälp av spårgasteknik (Levin & Eriksson 1988). Mätningen pågick under tre dygn. Tilluftflödet registrerades i lägenhetens olika rum var för sig. I slutet av mätperioden uppmättes det sammanlagda frånluftsfördödet i lägenheten till 68 m³/h vilket är lågt jämfört med projekterade 91 m³/h. Den genomsnittliga luftomsättningen i lägenheten enligt spårgasmätningen var 67 m³/h. Av figur 5.23 framgår att luftväxlingen i varje rum varierar mycket litet under perioden. Nästan all tilluft kommer in i de rum som har tilluftventiler. I kök och badrum där luften evakueras tillförs endast överluft från övriga rum. En liten mängd tilluft tillförs i hallen trots att detta rum saknar tilluftventil. Denna luft kommer sannolikt in som läckage kring ytterdörren.

I figur 5.24 visas lägenhetens totala luftomsättning tillsammans med uppmätta värden för vindhastighet och utetemperatur. Vindhastigheten anges som timmedelvärde uppmätt 1 m ovan taknock. Vindriktningen har tagits från observationer på Bromma flygplats. Luftomsättningen under mätperioden varierar +/- 5 m³/h omkring medelvärdet 67 m³/h. Standardavvikelsen är 4 %. Medelvindhastigheten varierar under perioden mellan 1 och 7 m/s. Av figuren framgår att det inte finns någon uppenbar korrelation mellan luftomsättning och vindhastighet eller utetemperatur. En noggrannare analys av uppmätta data bekräftar detta. Korrelationskoefficienten r vid linjär anpassning enligt minsta kvadratmetoden för luftomsättningen som funktion av vindhastigheten är 0,06 sett över hela mätperioden. Korrelationen varierar något beroende på vindriktning. Med vinddata uppdelad efter vindriktning i fyra sektorer erhålls r -värdet 0,2 för västlig vindriktning och 0,06 för sydliga vindar. (Endast dessa två vindriktningar förekom under mätperioden)



Figur 5.23. Resultat från mätning med spårgas (konstant koncentration) i kv Konsolens mätlägenhet (A35). Kurvorna motsvarar mängden tilluft i varje enskilt rum och totalt. Tilluftsventiler finns i sovrummen och vardagsrummet.



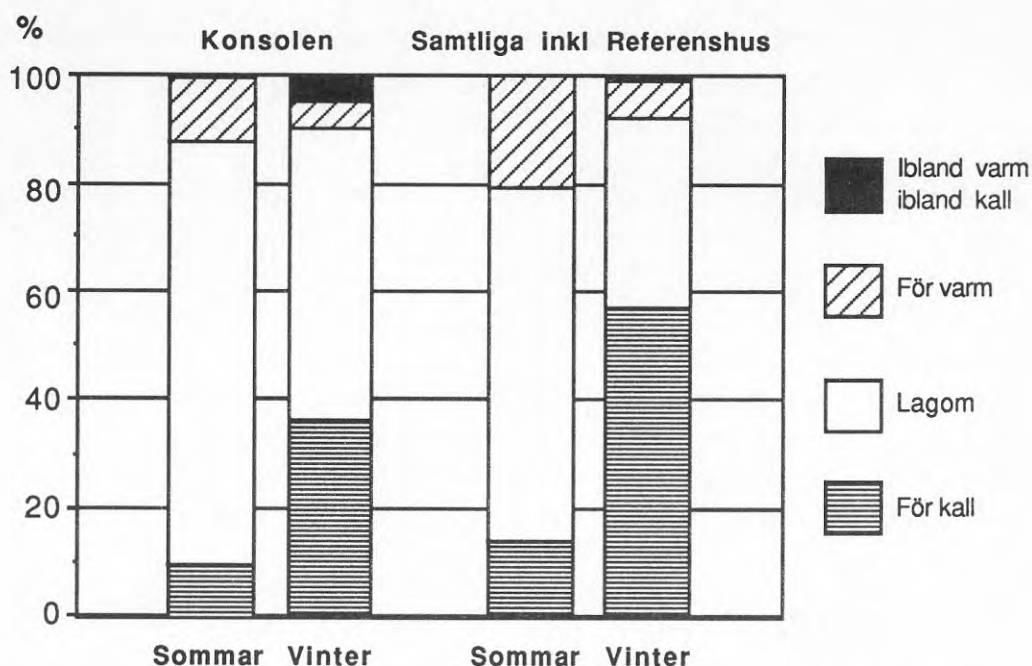
Figur 5.24. Resultat från mätning med spårgas av totalt tilluftsflöde i Konsolens mätlägenhet tillsammans med samtida data för vindhastighet och utetemperatur. Ingen synlig påverkan på ventilationen från variationer i vindhastighet och utetemperatur.

Mätresultaten visar att byggnadens genomsnittliga luftomsättning är ungefär den avsedda. Ventilationsförlusterna bör således vara ungefär så stora som man kan förvänta. Avvikelseerna från projekterade värden är däremot ganska stora när de gäller luftflödet i enskilda lägenheter eller rum. Resultatet visar också att uppmätt totalt frånluftsflöde inte är någon säker indikator på ventilationens funktion i enskilda lägenheter. Luftomsättningen är i stort sett oberoende av variationer i vindhastighet och utetemperatur. Byggnaden är förhållandevis lufttät och ventilationen åstadkommer ett konstant undertryck på 15-20 Pa. De förändringar av tryckdifferensen över byggnadsskalet som uppstår på grund av vindtrycket och termiska krafter är därför relativt små i sammanhanget och påverkar inte luftomsättningen i någon större omfattning.

5.4.3 Boendeupplevelser av temperaturer och ventilation

I en av de första frågorna i intervjun (se metodikkapitlet) ombads den boende ange den största för- resp nackdelen med lägenheten (Engvall 1989:9). Det var ca 70 % av alla tillfrågade (i alla hus inklusive referenshuset) som angav någon nackdel. Av dessa 70 % angav 25 % värmen som största nackdel. I tre av de sex ingående objekten var värmen den vanligaste spontant nämnda nackdelen. På andra plats av nämnda nackdelar kom ventilationen vilken angavs av en tredjedel av de svarande. I kv Konsolen kom ventilationen på andra och värmen på fjärde plats bland nackdelarna. Detta visar tydligt vilken vikt de boende lägger vid värme och ventilation, även om det är föga smickrande för byggbranchen att dessa funktioner nämns så tidigt bland nackdelarna. (Inom parentes kan nämnas att ljudförhållanden och hyran belade första- respektive tredjeplatsen bland nackdelarna i kv Konsolen. Spontant nämnda fördelar var planlösning, standard, lägenhetens placering i huset och husets läge i staden.)

På frågan om hur man upplevde temperaturen i allmänhet under vinter- respektive sommarhalvåret svarade de flesta boende i kv Konsolen att de tyckte temperaturen var lagom. Under vintern var det dock en dryg tredjedel som ansåg att lägenheten kändes för kall. Konsolen är trots detta det hus i Stockholmsprojektet som får högst betyg när det gäller upplevd temperatur under vintern. För sommarhalvåret är skillnaderna mellan husen små, men även här är inomhusklimatet i Konsolen bland de som fått de bästa omdömet. Nästan 80 % tycker att temperaturen är lagom. Genomsnittligt i hela Stockholmsprojektet är det mer än hälften som anser att lägenheten är för kall under vintern, se figur 5.25.

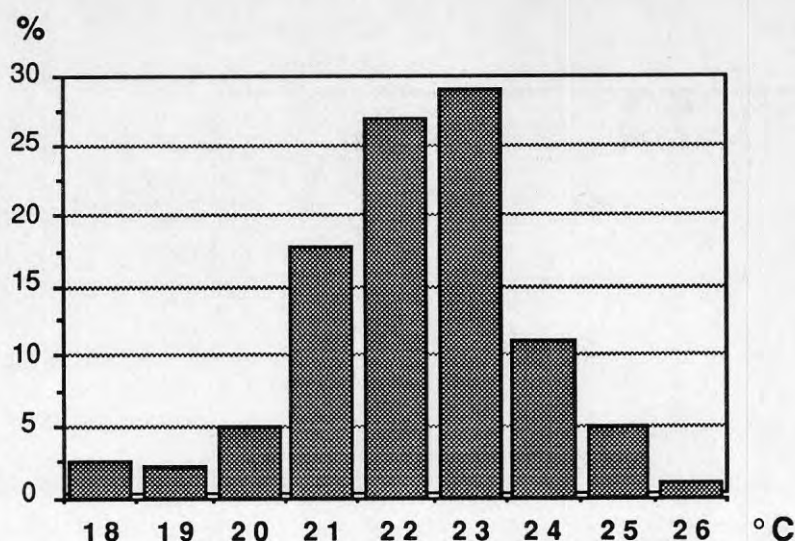


Figur 5.25. Upplevelse av temperaturen som helhet under sommar och vinterhalvår. Kv Konsolen jämfört med genomsnitt för samtliga hus i Stockholmsprojektet inklusive referenshuset i boendeundersökningen (Engvall, 1989:9).

I samband med intervjuundersökningen gjordes ett försök att ta reda på vilken temperatur de boende vill ha i sin lägenhet. Detta gick till så att hyresgästen fick tala om vilken temperatur de trodde att det var i rummet under intervjutillfället, samtidigt som de tillfrågades om vilken temperatur de tyckte att det borde vara i lägenheten som helhet vid den aktuella tiden på dagen. Under intervjun mättes också lufttemperaturen i lägenheten momentant. Med dessa tre parametrar beräknades sedan den verkliga önskade innetemperaturen med korrektion för felgissningar genom uttrycket (Engvall 1989:5):

$$\theta_{\text{korrigerad, önskad}} = \theta_{\text{önskad}} + \theta_{\text{uppmätt}} - \theta_{\text{gissad}} \quad (5.16)$$

För hela Stockholmsprojektet visar det sig att de allra flesta, 69 %, gissade på en lägre temperatur än den uppmätta. Bara 11 % trodde att temperaturen i rummet var högre än den uppmätta. Vid jämförelse mellan korrigerad, önskad temperatur och uppmätt temperatur visar det sig att 93 % faktiskt har den temperatur de säger sig vilja ha eller högre vid intervjutillfället. De allra flesta borde alltså vara nöjda med temperaturen. På en direkt fråga om upplevelsen av rummets temperatur vid intervjutillfället tycker dock endast 76% att temperaturen är lagom. Den upplevda temperaturen påverkas av många fler parametrar än lufttemperaturen vilket kan förklara det förhållandevis stora antalet missnöjda trots de höga lufttemperaturerna.



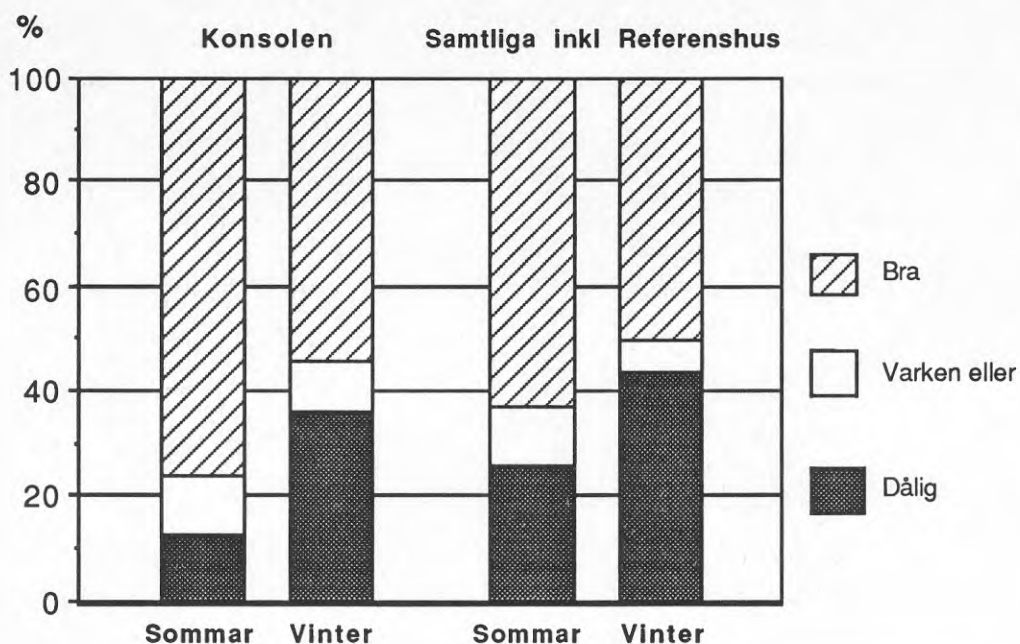
Figur 5.26. Fördelning av verklig önskad innetemperatur (uttryckt önskemål korrigerat för felbedömning) i Stockholmsprojektets samtliga hus, inklusive referenshus. (Engvall 1989:9).

Den korrigerade önskade temperaturen visar att tre fjärdedelar av de tillfrågade vill ha 22 °C eller högre i lägenheten. Fördelningen av den korrigerade önskade innetemperaturen framgår av fig 5.26. Resultatet kan t.ex jämföras med den internationella standarden för bestämning av inomhusklimat, ISO 7730, där rekommendationen för operativ temperatur är 22 +/- 2 °C för inomhusklimat vintertid med lätt aktivitet och normal inomhusklädsel.

Upplevelsen av ventilationen är överlag positiv bland Konsolens hyresgäster. På en allmän fråga om hur man uppfattar ventilationen under vinter resp sommarhalvår tycker över 50 % att ventilationen är bra under vintern. För sommarhalvåret är motsvarande siffra nära 80 %. Ventilationen i Konsolen bedöms på denna fråga klart bättre än genomsnittet för hela projektet inklusive referenshuset. Referenshuset var för övrigt det hus som fick sämst omdöme i denna undersökning.

Bland de största nackdelarna med ventilationen enligt de boende är att den ger en känsla av drag. I kv Konsolen anger 37 % av de boende att de upplever drag från tilluftdonen.

Ett speciellt problem i kv Konsolen är att hyresgästerna förväntas ta del av ventilationssystemets drift genom att ställa om mellan vinter- och sommarfall. Detta är normalt inte fallet i ett flerbostadshus, där hyresgästerna bara behöver rengöra köksfläktens fettfilter och frånluftsdonen.



Figur 5.27. Upplevelse av ventilationen som helhet under sommar och vinterhalvår. Kv Konsolen jämfört med genomsnitt för samtliga hus i Stockholmsprojektet inklusive referenshuset i boendeundersökningen. (Engvall 1989:9)

För att hyresgästerna skall klara av att utföra denna omställning på ett riktigt sätt krävs åtminstone två saker: Hyresgästerna måste få information om systemet och de måste kunna tillgodogöra sig informationen. I kv Konsolen har systemets funktion beskrivits ganska väl i den information som utdelats till hyresgästerna i samband med inflyttningen. Där beskrivs också när de olika ventilerna skall vara öppna respektive stängda. Däremot utgörs den information som utdelats rörande donens funktion enbart av produktblad och testprotokoll (i ett fall på norska). Produktbladen redovisar fakta av typen: yttermått, tryckfall, monteringsanvisning etc. Uppgifter som är helt ovidkommande för hyresgästerna. Ingenstans finns information om hur donens vred skall ställas för att åstadkomma öppet respektive stängt läge. Möjligheten att erhålla rätt inställning försvåras ytterligare av att både donet i fönsterkarmen och donet i solväggen saknar märkning för öppet eller stängt läge. På fönsterdonet kan man ändå tämligen enkelt se om det är öppet eller stängt. Det går också bra att känna luftflödet med handen. På solväggens tilluftsdon är det däremot så gott som omöjligt att se vad som öppet eller stängt bl.a på grund av placeringen bakom radiatoren. Det är också mycket svårt att känna luftflödet med handen.

Det visar sig också följdriktigt att många har problem med att ställa in donen riktigt. I en tredjedel av lägenheterna säger man sig ha haft problem med inställningen. En fjärdedel av alla säger sig aldrig ha ändrat läge på vreden. Vid intervjutillfället gjordes också

en kontroll av hur donen var inställda. Över hälften hade felaktig inställning. Bland dem som visste hur donen skulle vara inställda var det ca 30 % som hade fel inställning. Bland som inte hade kunskap om rätt inställning var andelen felställda don hela 75 % (Engvall 1989:5).

Skillnaden i resultat mellan de som har kunskap och de som saknar kunskap visar vikten av att informationen till hyresgästerna är rätt utformad för att avsett resultat skall kunna uppnås. Dessutom behövs sannolikt en väl utformad uppmärkning av aktuella driftlägen på plats vilket framgår av den stora felprocenten, även bland de som hade kunskap. Den stora andelen som aldrig försökt ställa om driftfallet visar att hyresgästen även måste motiveras för att aktivt ta del av driften.

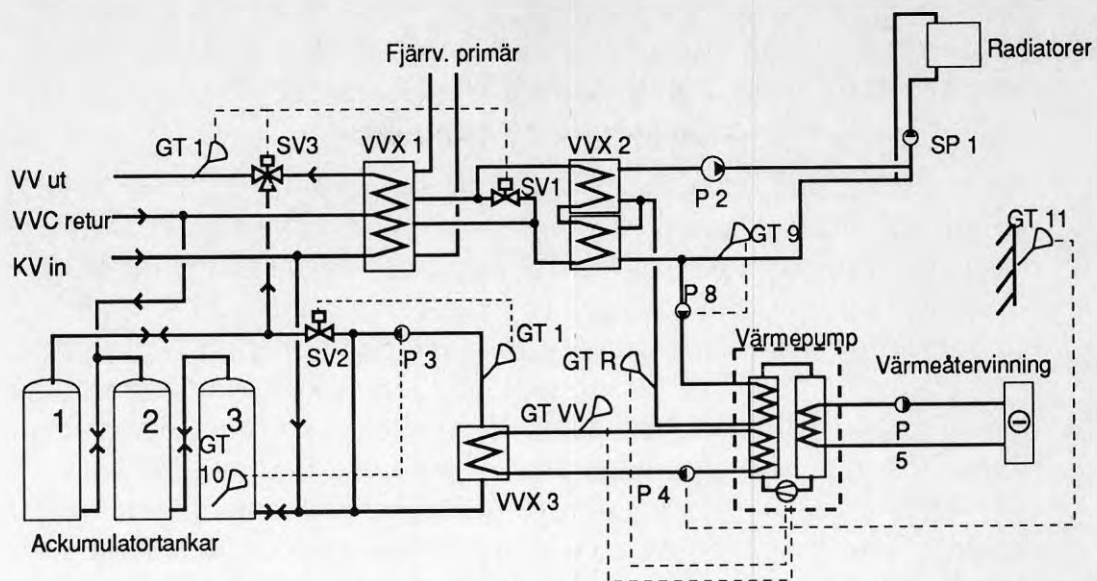
5.5 DRIFTSERFARENHETER

5.5.1 Vilka fel / problem har uppstått?

Som i alla byggnader har det även i kv Konsolen uppstått en del driftsproblem både i samband med att byggnaden togs i bruk och senare. De flesta felen uppstår naturligt i de mest komplexa systemen, i en byggnad vanligen installationssystemen. Fel i installationssystemen är också normalt lättare att upptäcka än fel i andra delar av byggnaden i ett utvärderingsprojekt som detta. Givarna till de mätningar som görs appliceras direkt i installationssystemen och eventuella fel visar sig därför ofta direkt i mätdata. Fel som t.ex. brister i byggnadsskalets isolering visar sig däremot bara som sekundära effekter ofta sammanlagrade med andra storheter. Idrifttagningsproblemen har för Stockholmsprojektet som helhet studerats i ett särskilt avgränsat forskningsprojekt se (Wånggren, 1990). Under utvärderingens början upptäcktes att många system i Stockholmsprojektets byggnader inte fungerade som förväntat. För att göra en utvärdering meningsfull beslutades att systematiskt försöka kartlägga felen och föreslå åtgärder för att avhjälpa eller lindra felen. Detta arbete lades i ett särskilt avgränsat forskningsprojekt kallat "Idrifttagningsprojektet". I "Idrifttagningsprojektet" har de uppkomna felen studerats från en allmän synvinkel. De har därvid klassificerats och studerats efter vilket installationssystem de förekom, orsak, upptäcktsätt och konsekvens. En av de viktigaste slutsatserna från Idrifttagningsprojektet är den stora betydelse som de omfattande mätningarna haft för möjligheten att finna felen.

Här beskrivs konkret några av de fel som konstaterats i kv Konsolen med tillhörande orsaker och följder de fått. Problemen är av olika art och har varierande orsaker. Man slås ofta av hur triviala många fel kan vara och hur lätt de kan passera obemärkt och kvarstå ibland flera år efter att byggnaden tagits i drift.

De flesta problemen i kv Konsolen har haft samband med frånluftsvärmepumpen. Från mätvärden konstaterades att värmepumpens relativa drifttider var mycket korta under vissa perioder av året. Dessutom användes fjärrvärme även sommartid trots att värmepumpens kapacitet var tillräcklig. Vid besök på platsen konstaterades att värmepumpen gjorde täta start och stopp med bara några sekunders drift däremellan.



Figur 5.28. Förenklat flödesschema över delar av Konsolens VVS-system med de styrfunktioner som påverkar värmepumpen inlagda. Den extra kretsen mellan värmepump och VVX 3 finns för att förhindra att värmepumpens giftiga köldmedium ska komma i kontakt med dricksvattnet vid eventuellt läckage.

Ursprunglig styrfunktion (hämtad ur byggnadsbeskrivningen):

"Temperaturgivaren GT1 i utgående varmvattenledning styr ventilerna SV3 och SV1 i sekvens så att en konstant temperatur + 52 °C erhålls."

"Temperaturgivaren GT1 monterad på utgående ledning från VVX3 styr styrventilen SV2 så att en konstant temperatur på 52 °C erhålls. Termostaten GT10 stoppar pumpen P3 då temperatur i ackumulator 3 överstiger + 30 °C och återstartar pumpen då temperaturen understiger + 25 °C."

"Termostaten GT9 stoppar pumpen P8 då temperaturen i returledningen överstiger + 60 °C och återstartar pumpen då temperaturen understiger + 55 °C. Temperaturgivaren GT11 stoppar pumpen P4 då utomhustemperaturen överstiger + 5°C."

Värmepumpens start och stopp styrs av de två temperaturgivarna GT R och GT VV. Beskrivning av den sistnämnda funktionen saknas i byggnadsbeskrivningen och det är därför oklart vilka temperaturer som vid projekteringen var aktuella för start och stopp av värmepumpen. Värmepumpen styrs dessutom internt av en s.k. högtryckspressostat vilken stoppar kompressorn då trycket hos köldmediet blivit för högt (d.v.s. vid för hög temperatur) återstart sker så fort trycket sjunkit under inställd nivå.

Det är således flera av varandra oberoende villkor som styr värmepumpens drift. Någon "samordnad" styrning, vilket skulle vara möjligt med ett datoriserat styrsystem finns inte.

Den ursprungliga styrningen visade sig fungera bra under vinterfall när värme- och tappvarmvattenbehovet med marginal överskrider värmepumpens kapacitet. Problem uppstod vid övergången mellan sommar- och vinterfall och under rent sommarfall. Vid rent sommarfall (endast varmvattenbehov) visade värmepumpen mycket täta start och stopp. Problemet uppstod i slutet av ackumulatorernas laddningsfas. Följande inträffade: Värmeväxlaren VVX 3 var dimensionerad att kunna avge 50 kW vid temperaturskillnaden 47 °C (52-5 °C). Laddning sker så att tankarna laddas i serie med början i tank 1. I laddningens slutfas börjar temperaturen stiga i tank 3 och returtemperaturen till VVX 3 stiger varvid dess värmeöverförande förmåga sjunker. Hela värmepumpens effekt kan då inte avges via VVX 3 och temperaturen vid GT VV stiger till frånslagsnivån varvid värmepumpen stannar. Vattnet i kretsen mellan värmepump och VVX 3 svalnar relativt snabbt och återstart sker utan att värmepumpen kan avge någon energi varför stopp åter sker osv. Vid tappning kommer kallvatten att fyllas på från botten i tank 3. Givaren GT 10:s placering i botten på tank 3 gör att laddning startar så snart något vatten tappas ut. En av avsikterna med lagret, att ge värmepumpen långa sammanhängande drifttider, förfelas då eftersom varje tappning direkt kompenseras med start av värmepumpen.

Liknande situation uppstod med styrfunktionen i radiatorkretsen då inget värmebehov fanns i radiatorkretsen. Värmepumpen kommer då endast att värma kretsen mellan kondensorn och VVX 2. När stoppvillkoret för GT R uppfyllts stannar värmepumpen. När denna krets svalnat startas värmepumpen igen utan att kunna avge någon energi varför den stannar snart igen osv.

Problemen med de korta drifttiderna kunde minskas betydligt genom smärre förändringar i styrfunktionerna. Frånslagsvillkoret för P 8 ställdes in på de ursprungligen tänkta + 55 °C (Stod i verkligheten på + 45 °C). En ny givare för tillslag av pump P 3 monterades i mitten av tank 3 och ställdes in på 30 °C. Frånslag styrdes av GT 10, med placering i botten av tank 3, som ställdes på 45° C. Värmepumpens drifttermostat och pressostat trimmades in så att styrning av start och stopp via pressostaten (vilken saknar startfördröjning) undveks. Värmepumpen förreglades också över pump P 3 så att denna pump måste vara i drift för att värmepumpen skall kunna starta.

Användningen av fjärrvärme även under sommaren hade samband med de valda temperaturnivåerna för styrning av tappvarmvattentemperatur och ackumulatortemperatur. Genom att styrningen av ventilen SV 3 strävade att hålla temperaturen +52 °C i tappvarm-

vattenledningen blir det vatten som kommer från ackumulatortankarna till SV 3 nästan alltid för kallt eftersom vattnet vid laddning också var maximalt 52 °C. Enbart ackumulerat vatten gav inte tillräckligt hög temperatur för att uppfylla stängningsvillkoret för SV 3 mot fjärrvärmen.

Det sätt på vilket ackumulatorena utnyttjades för ersättning av VVC-förluster gjorde också att fjärrvärme måste användas mer än nödvändigt. Nattetid då tappningen av varmvatten är liten cirkuleras vvc-flödet genom tank 1 vilket medför att denna tank kyls utan att något kallvatten tillförs i den tredje tanken, där tillslagstemperaturen för laddning känns av. När tappningen av varmvatten startar på morgonen har man en situation med svalare vatten i första och sista tanken och varmast vatten i den mellersta. Eftersom tillförseln av varmvatten sker från den första tanken kommer temperaturen till en början att vara lägre än börvärdet för tappvarmvattentemperaturen och fjärrvärmen kopplas då in för att höja temperaturen

Nödvändig fjärrvärmespetsning minskades betydligt genom att börvärdet för tappvarmvattnet (GT 1) sänktes från 52 °C till 40 °C vid somrardrift. Tappvarmvattentemperaturen styrs då av temperaturen från ackumulatorena och blir ca 45 °C. Vid vinterfall användes dock värdet 47 °C.

Värmepumpen har också orsakat problem genom att ge ljudstörningar i de närmast liggande lägenheterna.

Problem har också förekommit med de tilluftsdon som sitter bakom radiatorerna i rum försedda med solvägg. Vissa av donen har visat sig ha dålig tätningsfunktion (se avsnitt 5.3.1). Många hyresgäster har problem med att ställa in tilluftsdonen som avsett, delvis på grund av dålig åtkomlighet och avsaknad av märkning (se avsnitt 5.4.3). Tilluftstillförseln har också visat sig ge dragproblem vid vissa tillfällen. Då radiatorm är avstängd händer det att den kalla tilluften på grund av större tyngd än inneluften "rasar" ned mellan vägg och radiator istället för att som avsett värmas av radiatorm och stiga uppåt för att sedan blandas ut med inneluft. En zon av kall luft breder då ut sig längs golvet och orsakar drag och kalla golv. Problemet kan kompenseras något av solväggens värmande funktion.

Ett trivialt fel av mera kuriöst intresse kan också vara intressant att nämna. I projektets inledning avsågs att göra försök med tidsstyrd varmvattencirkulation i ett av husen. För detta ändamål skulle en av VVC-pumparna styras av ett tidur. Genom ett misstag vid inkopplingen hade tiduret istället kopplats så att det styrde huvudpumpen till radiatorkretsarna (Pump P2 i figur 5.28). Detta fick till följd att hela radiatorflödet måste dras runt av de mindre pumparna i respektive shuntgrupp. (SP 1 och SP 2 i figur 5.28). Flödet sjönk då kraftigt och avgiven effekt gick nattetid ned till ca 1/3 av den avsedda med ett slags oavsiktlig nattsänkning av inomhustemperaturen

som följd. Felet tog ganska lång tid att hitta. Genom att studera mätdata kunde dock felets regelbundenhet observeras och misstanken ledde då snabbt till ett tidur av något slag varvid felet kunde avhjälpas. Utan mätningar hade felet troligen kvarstått ännu längre eftersom det inträffade nattetid då normalt inte någon driftpersonal finns tillgänglig.

5.5.2 Kan felen undvikas?

Möjligheterna att undvika de fel som uppstår beror till stor del på orsaken till felets uppkomst. De fel som beror på en felaktig eller i vissa delar ogenomtänkt projektering är svåra eller helt omöjliga att hitta med den typ av kontroll som idag ingår i den normala byggprocessen. Vid en slutbesiktning jämförs det färdiga resultatet med bygghandlingarna. Eventuella fel som uppstått redan på ritningsstadiet betraktas alltså inte vid besiktningen som ett fel. Problemet med att uppnå sluttemperatur i varmvattenackumulatorerna är ett sådant exempel. För att öka möjligheterna att på ett tidigt stadium finna denna typ av fel behövs en rejäl provdriftperiod med tillhörande mätningar. Dessa mätningar behöver antagligen inte vara lika omfattande och noggranna som de mätningar som utförts i detta projekt. Mätgivarna skulle t.ex. inte behöva vara fast monterade i installationssystemen utan kan i många fall utgöras av tillfälligt anbringade givare av "anliggningstyp".

För att få en så heltäckande test som möjligt bör provdriften omfatta alla aktuella driftfall. Därmed inte sagt att perioden behöver omfatta ett helt sammanhängande år. Det går i månaga fall bra att simulera de olika driftfallen genom manuell in- och urkoppling av olika delsystem. I fallet med Konsolen kan t.ex. somrardriftfallet för värmepumpen simuleras genom urkoppling av kretsen mellan värmepump och radiatorer.

Den dåliga funktionen hos tilluftsdonen kan sägas vara huvudsakligen ett materialfel. Problemen har dock förvärrats av en otillräcklig eller missriktad information till hyresgästerna. Den saknade märkningen på tilluftsdonen borde enkelt ha kunnat ordnats i efterhand.

6 SLUTSATSER

Lågt behov av köpt energi

Energianvändningen i kv Konsolen är låg i förhållande till de statistikuppgifter som finns tillgängliga för andra flerbostadhus i Stockholmstrakten av ungefär samma ålder. Konsolens genomsnittliga, normalårskorrigerade totalbehov av köpt energi är ca 124 kWh/m² för de tre åren 1985-1987. Motsvarande förbrukning för jämförbara hus enligt statistikuppgifter är ca 189 kWh/m². I kvarteret Konsolen har den låga energianvändningen huvudsakligen åstadkommits med värmepumpsteknik med ett starkt elberoende som följd. Mer än hälften av köpt energi är elenergi. I jämförelse med de förväntningar som ställdes på projektet från början är energianvändningen högre mycket beroende på felaktiga antaganden om innetemperaturen.

Solvägg

Systemet med solväggar som förvärmare för tilluften kan som mest ge ett bidrag till byggnadens energibalans motsvarande ca 2 % av köpt energi. Ett enskilt solväggselement kan ge ett maximalt tillskott på ca 90 kWh/år varav ca 50 kWh är bidrag från solen och resterande del återvunnen värmetransmission.

Solväggssystemets utformning som passivt system gör det känsligt för störningar. För att uppnå avsedd funktion i ett system som detta krävs en hög lufttäthet i byggnadsskalet. För att 75 % av tilluftsflödet skall passera genom solväggens kanalsystem måste byggnadens täthet motsvara ett resultat vid tryckprovning (50 Pa) på 0,5 oms/h eller bättre. Utförda tryckprovningar har givit resultatet 0,8 oms/h vid 50 Pa. Luftflödet genom solväggen blir därför mindre än det avsedda vilket minskar det totala energitillskottet. Direkta mätningar av tilluftsflödet genom solväggsventiler bekräftar också att flödesandelen genom solväggen är lägre än projekterat.

Många hyresgäster har visat sig ha problem med att ställa om spjället till solväggen mellan sommar- och vinterfall vilket också reducerar energitillskottet.

Det slutliga energibidraget från solväggarna kan därför bedömas vara bli betydligt lägre än de ovan angivna 2 %.

Solväggen kan vintertid ha en positiv inverkan på det termiska inneklimatet genom den förvärmning av luften som åstadkommes. I gengäld kan den också inverka negativt sommartid. Tätningsfunktionen hos det spjäll som skall stänga av solväggen är dålig vilket kan medföra att solväggen ger extra värme även på sommaren och kan orsaka onödiga övertemperaturer.

Tung stomme

Installerad värmeeffekt hade reducerats med 13 % jämfört med en normal dimensionering. Installerad effekt har trots reduktionen varit tillräcklig även under perioder med mycket låga utetemperaturer utan att sänkning av inomhustemperaturen behövt tas i anspråk. Detta förhållande kan dock inte tillskrivas den temperaturutjämnande funktion som den tunga stommen avsetts ha. Byggnaden tillförs så mycket "gratisvärme" i form av främst hushållsel och personvärme att den effekt som behöver tillföras via värmesystemet är tillräcklig trots flera dygn i följd med utetemperaturer ca 7 °C under den temperatur huset dimensionerats för. Vid dimensionering av värmesystem för flerbostadshus finns mycket att vinna genom att ta större hänsyn till internlast.

Den tunga stommens eventuella inverkan på energibehovet har inte kunnat bestämmas.

Värmepump / Värmeåtervinning

Värmepumpen återvinner ca 54 % av energin i frånluften. Genomsnittlig värmefaktor är ca 2,7. Energin från värmepumpen täcker 54 % av energibehovet för radiatorer, tappvarmvatten och VVC. Värmepumpen svarar därmed i stort sett för den energibesparing som förväntats. En del problem har dock konstaterats när det gäller värmepumpens drift. Problemen beror på oklara och i viss mån motstridiga styrfunktioner. Problem har även orsakats av att värmeöverföringsförmågan varit för liten till varmvattentankarna då de närmat sig sluttemperatur. En viktig slutsats är därför att även s.k. "känd teknik", dit värmepumpar räknades i projektets inledning, kräver stor omsorg vid projektering och idrifttagning.

Höga innetemperaturer

Både resultaten från kv Konsolen och från övriga hus i Stockholmsprojektet visar att innetemperaturen i nya flerbostadshus är ungefär +22 °C. En orsak till att innetemperaturen är högre än förväntat är svårigheten att få acceptans hos hyresgästerna för lägre temperatur. En annan orsak är att det vid injustering av värmesystemet tycks vara svårt att åstadkomma jämn temperaturfördelning vilket i kombination med att den kallaste lägenheten är dimensionerande höjer medelnivån. Energiberäkningar för denna hustyp bör därför göras med utgångspunkt från innetemperaturen +22 °C istället för det vanliga +20 °C.

Ventilation

Genomsnittlig luftomsättning har i medeltal varit som projekterat. Luftomsättningen i enskilda lägenheter varierar relativt mycket och luftomsättningen skiljer sig upp till fyra gånger mellan olika lägenheter. Byggnadernas förhållandevis goda lufttäthet i kombination med det undertryck som skapas av frånluftssystemet medför att ventilationen verkligen styrs av de flöden som åstadkommes mekaniskt. Luftomsättningen är opåverkad av variationer i vindhastighet och termiska drivkrafter.

7 REFERENSER

- Engvall, K. (1989). Att informera boende om ny energisnål teknik. Utrednings- och statistikkontoret, Stockholms Stad. Utredningsrapport 1989:5.
- Engvall, K. (1989). Att uppleva inneklimat i energisnåla hus. Utrednings- och statistikkontoret, Stockholms Stad. Utredningsrapport 1989:9.
- Eriksson, H. Larsson, M. (1984). Teknik för nya energisnåla flerbostadshus. Arbetsenheten för energihushållning i byggnader - EHUB, Kungl. Tekniska Högskolan. Stockholm .
- Eriksson, S-O. Höglund, R. (1985). Stockholmsprojektet kv Konsolen. Energitillskott och temperaturhöjning hos tilluft genom solvägg. Effekttjämnning av tung stomme. Institutionen för byggnadsteknik, KTH. Stockholm.
- Fyrhake, L.(1992). Nya friskare hus med lägre elbehov. Byggeforskning nr 6 1992. Byggeforskningsrådet. Stockholm.
- Höglund I, Ottoson G, Öman R.(1990). Sigtunaprojektet - byggfysikaliska, energi- och produktionstekniska studier av PUR-isolerade småhus med nya byggnadskomponenter. Institutionen för byggnadsteknik. Arbetsrapport 1990:3. Stockholm.
- Isfält E, Johnsson H. (1986).Stockholmsprojektet.-Effekt- och energisimuleringar med datorprogrammen BRIS och DEROB. Statens råd för byggnadsforskning Rapport R59:1986. Stockholm.
- Jägbeck, P-O. Eriksson S-O och Werner Göran, (1988)."Indoor Climate Control, a Comparative Study of Six different Solutions for Heating and Ventilation and the possibilities of individual Control. Proceedings from Healthy Buildings 88. Stockholm.
- Konsolen. Ett utvecklings- och energiprojekt i samarbete med Stockholms stad och Byggeforskningsrådet. Statens råd för byggnadsforskning, S1:1986. Stockholm.
- Levin, P. (1991). Building Technology and Air Flow Control in Housing. Byggeforskningsrådet, Document D16:1991. Stockholm .
- Levin P. Eriksson S-O. (1988). Air Infiltration and Ventilation Systems. Proceedings from ACEEE 1988 Summer Study on Buildings, (vol 2). Pacific Grove, USA.
- Manual VIP+. Skanska Software.
- Qvist, B. (1985). Stockholmsprojektet, Solfångande vägg, kv Konsolen,Stockholm. Byggeforskningsrådet, R133:1985. Stockholm.
- Sandberg,E. (1988). Lilliengren, U. Effektivare elanvändning i flerbostadshus - Nyproduktion. Stockholms fastighetskontor.

Selin Lars-Erik (1974). Behandling av mätdata. Tekniska Högskolans Studentkår.

Sex unika hus. (1988). Byggforskningsrådet G2:1988

Unika resultat. (1989). Byggforskningsrådet, T14:1989

Väder & Vatten. Januari 1987. SMHI

Wickman P, Wånggren B. (1987). Mätdatainsamling i Stockholmsprojektet. Opublicerad.

Wånggren, B. (1990). Idrifttagning av installationssystemen i Stockholmsprojektet. Byggforskningsrådet, R42:1990. Stockholm. .

Österblom M. (1989). Köldbryggor i flerbostadshus, Stockholmsprojektet. Institutionen för byggnadsteknik. Stockholm.

Köpt energi 1985-1987, tabeller.

Köpt energi, kv Konsolen, 1985.

Ej ytnormerat, Ej Graddagsjusterat, [kWh]					
Månad	Fjärrvärme	Värmepump	Fastighetsel	Hushållsel	Totalt
JAN	73375	11147	13980	14087	112590
FEB	72335	9733	12038	11467	105573
MAR	45041	11803	14098	12198	83140
APR	29337	12513	12817	10853	65521
MAJ	13137	11430	12881	10224	47672
JUN	6798	4493	11078	9050	31418
JUL	1249	3901	10891	8703	24743
AUG	1281	5480	12518	10341	29620
SEP	4199	10154	13164	11606	39124
OKT	13436	11414	13820	12849	51519
NOV	37800	13063	13159	13714	77735
DEC	55590	12235	13788	15080	96694
SUMMA	353579	117365	154232	140171	765348

Ytnormerat (5536 m ²), Ej Graddagsjusterat, [kWh/m ²]					
Månad	Fjärrvärme	Värmepump	Fastighetsel	Hushållsel	Totalt
JAN	13,75	2,09	2,62	2,64	21,10
FEB	13,56	1,82	2,26	2,15	19,79
MAR	8,44	2,21	2,64	2,29	15,58
APR	5,50	2,35	2,40	2,03	12,28
MAJ	2,46	2,14	2,41	1,92	8,93
JUN	1,27	0,84	2,08	1,70	5,89
JUL	0,23	0,73	2,04	1,63	4,64
AUG	0,24	1,03	2,35	1,94	5,55
SEP	0,79	1,90	2,47	2,18	7,33
OKT	2,52	2,14	2,59	2,41	9,66
NOV	7,08	2,45	2,47	2,57	14,57
DEC	10,42	2,29	2,58	2,83	18,12
SUMMA	66,26	22,00	28,90	26,27	143,43

Ytnormerat (5536 m ²), Graddagsjusterat, [kWh/m ²]					
Månad	Fjärrvärme	Värmepump	Fastighetsel	Hushållsel	Totalt
JAN	10,32	2,09	2,62	2,64	17,67
FEB	9,48	1,82	2,26	2,15	15,71
MAR	8,19	2,21	2,64	2,29	15,33
APR	4,42	2,35	2,40	2,03	11,20
MAJ	2,40	2,14	2,41	1,92	8,87
JUN	0,72	0,84	2,08	1,70	5,34
JUL	0,23	0,73	2,04	1,63	4,64
AUG	0,24	1,03	2,35	1,94	5,55
SEP	0,03	1,90	2,47	2,18	6,57
OKT	2,97	2,14	2,59	2,41	10,10
NOV	5,96	2,45	2,47	2,57	13,44
DEC	8,35	2,29	2,58	2,83	16,06
SUMMA	53,32	22,00	28,90	26,27	130,48

Köpt energi 1985-1987, tabeller.

Köpt energi, kv Konsolen, 1986.

Ej ytnormerat, Ej Graddagsjusterat, [kWh]					
Månad	Fjärrvärme	Värmepump	Fastighetsel	Hushållsel	Totalt
JAN	57986	11979	13868	14562	98396
FEB	61860	9247	12022	11926	95056
MAR	34038	10848	12758	12614	70259
APR	25613	10779	12753	11472	60617
MAJ	4962	5870	11953	10245	33030
JUN	6403	747	9978	8698	25826
JUL	8868	390	9493	8692	27443
AUG	3644	4818	11451	10757	30671
SEP	960	10635	11446	11392	34433
OKT	9231	10565	12267	13313	45377
NOV	15474	11392	11798	13297	51962
DEC	37672	12806	13180	14567	78226
SUMMA	266715	100077	142967	141537	651296

Ytnormerat (5536 m ²), Ej Graddagsjusterat, [kWh/m ²]					
Månad	Fjärrvärme	Värmepump	Fastighetsel	Hushållsel	Totalt
JAN	10,87	2,25	2,60	2,73	18,44
FEB	11,59	1,73	2,25	2,24	17,81
MAR	6,38	2,03	2,39	2,36	13,16
APR	4,80	2,02	2,39	2,15	11,36
MAJ	0,93	1,10	2,24	1,92	6,19
JUN	1,20	0,14	1,87	1,63	4,84
JUL	1,66	0,07	1,78	1,63	5,14
AUG	0,68	0,90	2,15	2,02	5,75
SEP	0,18	1,99	2,15	2,14	6,45
OKT	1,73	1,98	2,30	2,50	8,50
NOV	2,90	2,14	2,21	2,49	9,74
DEC	7,06	2,40	2,47	2,73	14,66
SUMMA	49,98	18,76	26,79	26,53	122,06

Ytnormerat (5536 m ²), Graddagsjusterat, [kWh/m ²]					
Månad	Fjärrvärme	Värmepump	Fastighetsel	Hushållsel	Totalt
JAN	10,00	2,25	2,60	2,73	17,58
FEB	9,44	1,73	2,25	2,24	15,66
MAR	7,04	2,03	2,39	2,36	13,83
APR	4,28	2,02	2,39	2,15	10,84
MAJ	1,18	1,10	2,24	1,92	6,44
JUN	1,20	0,14	1,87	1,63	4,84
JUL	1,66	0,07	1,78	1,63	5,14
AUG	0,38	0,90	2,15	2,02	5,45
SEP	0,00	1,62	2,15	2,14	5,90
OKT	1,72	1,98	2,30	2,50	8,49
NOV	4,02	2,14	2,21	2,49	10,86
DEC	7,37	2,40	2,47	2,73	14,97
SUMMA	48,30	16,14	26,79	26,53	117,76

Köpt energi 1985-1987, tabeller.

Köpt energi, kv Konsolen, 1987.

Ej ytnormerat, Ej Graddagsjusterat, [kWh]					
Månad	Fjärrvärme	Värmepump	Fastighetsel	Hushållsel	Totalt
JAN	75771	13767	13553	14514	117605
FEB	44075	12006	11846	11579	79560
MAR	45836	13180	13233	12486	84736
APR	16435	12326	12486	10992	52239
MAJ	2775	12486	12273	11366	38846
JUN	213	9818	11366	9818	31162
JUL	640	5816	10725	8698	25880
AUG	8164	4696	12326	11046	36285
SEP	2988	9765	12433	11953	37192
OKT	7577	11099	13607	13393	45676
NOV	28174	11793	9765	13980	63712
DEC	43435	12433	13127	14727	83668
SUMMA	276085	129185	146740	144552	696561

Ytnormerat (5536 m ²), Ej Graddagsjusterat, [kWh/m ²]					
Månad	Fjärrvärme	Värmepump	Fastighetsel	Hushållsel	Totalt
JAN	14,20	2,58	2,54	2,72	22,04
FEB	8,26	2,25	2,22	2,17	14,91
MAR	8,59	2,47	2,48	2,34	15,88
APR	3,08	2,31	2,34	2,06	9,79
MAJ	0,52	2,34	2,30	2,13	7,28
JUN	0,04	1,84	2,13	1,84	5,84
JUL	0,12	1,09	2,01	1,63	4,85
AUG	1,53	0,88	2,31	2,07	6,80
SEP	0,56	1,83	2,33	2,24	6,97
OKT	1,42	2,08	2,55	2,51	8,56
NOV	5,28	2,21	1,83	2,62	11,94
DEC	8,14	2,33	2,46	2,76	15,68
SUMMA	51,74	24,21	27,50	27,09	130,54

Ytnormerat (5536 m ²), Graddagsjusterat, [kWh/m ²]					
Månad	Fjärrvärme	Värmepump	Fastighetsel	Hushållsel	Totalt
JAN	8,95	2,58	2,54	2,72	16,79
FEB	8,19	2,25	2,22	2,17	14,83
MAR	6,78	2,47	2,48	2,34	14,07
APR	3,45	2,31	2,34	2,06	10,16
MAJ	0,00	2,13	2,30	2,13	5,95
JUN	0,00	1,53	2,13	1,84	4,65
JUL	0,90	1,09	2,01	1,63	5,63
AUG	0,88	0,88	2,31	2,07	6,14
SEP	0,00	1,79	2,33	2,24	6,24
OKT	2,05	2,08	2,55	2,51	9,19
NOV	5,39	2,21	1,83	2,62	12,05
DEC	8,21	2,33	2,46	2,76	15,76
SUMMA	44,80	23,65	27,50	27,09	123,04

Bilaga 2

Beräkning av minsta erforderliga byggnadstäthet för att erhålla avsett luftflöde genom solvägg.

Antag en lägenhet på 60 m² som är försedd med två solväggar. Ventilationen antas till normalvärde enligt byggnorm dvs i detta fall:

kök:	10 l/s,
badrum:	10 l/s,
klädkammare:	3 l/s,
Summa:	23,0 l/s

75 % av detta flöde skall gå genom solväggarna, dvs flödet genom varje solvägg blir:

$$0.75 \cdot 23 \text{ l/s} \cdot 0,5 = 8,62 \text{ l/s}$$

Luftläckningen blir:

$$0.25 \cdot 23 \text{ l/s} = 5,75 \text{ l/s.}$$

Koefficienten C i ekv 5.11 för solväggens kurva beräknas för den "kända" punkten 10 l/s och 18 Pa för tre olika värden på exponenten n:

Vid n = 0,50	fås C _{sv} = 2,35
Vid n = 0,75	fås C _{sv} = 1,14
Vid n = 1,00	fås C _{sv} = 0,55

Även för klimatskalets luftläckning måste olika kurvor antas. Här har också prövats tre olika värden på exponenten n. Dessa kurvor kombineras med solväggens kurvor så att nio olika fall fås.

För varje kombination av tryck-flödeskurva för solvägg respektive luftläckning beräknas det tryckfall Δp som ger flödesfördelningen: 75 % genom solvägg och 25 % som läckage. Detta ger koefficienten C i ekvation 5.11 för läckagekurvan i de nio olika fallen. Man har då ekvationer för läckageflödet. Dessa används för att räkna ut läckflödet vid 50 Pa. Efter division med aktuell lägenhetsvolym (144 m³) fås läckflödet uttryckt i luftomsättningar/timme, vilket alltså motvarar det täthetskrav som bör ställas på huset för att uppnå avsedd funktion hos solväggssystemet. I tabell 5.3 har resultaten för de olika kombinationerna av flödessamband sammanställts.

Exempel:

För fallet med antagen exponent $n = 0,75$ både för solväggsflöde och läckflöde får man:

Totala luftflödet 23 l/s fördelas med 75 % på två solväggar och resten som läckage:

$$Q_{\text{tot}} = 23 \text{ l/s ger:}$$

$$Q_{\text{sv}} = 23 \times 0,75 / 2 = 8,62 \text{ l/s (flöde genom en solvägg)}$$

$$Q_{\text{l}} = 23 - 2 \times 8,62 \text{ l/s} = 5,75 \text{ l/s (läckflöde)}$$

Den kända punkten 10 l/s vid 18 Pa på solväggskurvan ger koefficienten C ur ekv 5.11 med antaget $n = 0,75$ för solväggen:

$$Q_{\text{sv}} = C_{\text{sv}} \Delta p^{0,75} \quad \text{ger} \quad C_{\text{sv}} = 10/18^{0,75} = 1,14$$

För solväggen gäller alltså: $Q_{\text{sv}} = 1,14 \Delta p^{0,75}$

vid det aktuella flödet 8,62 l/s får man $\Delta p = 14,8 \text{ Pa}$

Samtidigt gäller då för läckflödet $5,75 = C_{\text{l}} 14,8^{0,75}$

vilket ger $C_{\text{l}} = 0,76$

Läckaget vid 50 Pa (motsvarande tryckprovning) får man:

$$Q_{\text{l}} = 0,76 50^{0,75} = 14,34 \text{ l/s}$$

vilket uttryckt i luftomsättningar / timme motvarar:

$$14,34 \cdot 3600 / 144 \cdot 000 = 0,36 \text{ oms/h}$$

R44:19
ISBN 91-540-559
Bygghälsan, Stockholm

Art.nr: 68130
Abonnemangsgr
W. Installat
T. Fastighetsförvaltr
Z. Konstruktioner och mat

Distribut
Svensk Byggtji
171 88 S

Cirkapris: 112 kr inkl m