



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

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



Rapport

R107:1989

**Effekter av energisparåtgärder
i bostadshus**

**Arne Elmroth
Christer Hjalmarsson
Urban Norlén
Conny Rolén m fl**

P. Paul

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Ansnr

Plac *Sec*

Byggforskningsrådet

R107:1989

EFFEKTER AV ENERGISPARATGÄRDER I BOSTADSHUS

Gunnar Anderlind
Leif Bengtsson
Arne Elmroth
Christer Hjalmarsson
Lars-Olof Höglund
Jan-Åke Jonsson

Hans-Olof Karlsson
Jan Nordlander
Urban Norlén
Conny Rolén
Peter Rundberg



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821262-1 från Statens råd för byggnadsforskning till Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.

REFERAT

Faktiska besparingar av ett antal energisparåtgärder har studerats i en landsomfattande undersökning. Besparingarna har också jämförts med förväntade. Med besparing avses minskning av energianvändning för uppvärmning, inklusive ventilation och tappvarmvatten.

Resultaten bygger på mätningar före och efter åtgärd under 1982-86 i drygt 300 små- och flerbostadshus i sju län.

Undersökningen har genomförts av SIB, projektgruppen för energihushållning i byggnader vid KTH, avdelningen för husbyggnad vid CTH, institutionen för byggnadskonstruktionslära vid LNTH och Norrlands Byggtjänst i samarbete med avdelningen för konstruktionsteknik vid LuTH. Den har till större delen finansierats av Statens råd för byggnadsforskning (BFR), som också sammanfattar resultaten i en kommande rapport i BFRs T-skriftserie.

Föreliggande forskningsrapport ger en teknisk dokumentation av använda metoder och erhållna resultat.

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.

R107:1989

ISBN 91-540-5128-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

INNEHALLSFÖRTECKNING

REFERAT - KORT SAMMANFATTNING

SUMMARY

FÖRORD

1	UNDERSÖKNINGENS SYFTE OCH UPPLÄGGNING	1
	1.1 Bakgrund	1
	1.2 Syfte	3
	1.3 Metodik	4
	1.4 Undersökningens uppläggning	6
	1.5 Undersökningens genomförande	8
2	UNDERSÖKT BOSTADSBESTÅND	11
	2.1 Urval av åtgärder	11
	2.2 Urval av byggnader	12
	2.3 Resultat av urvalet	15
	2.4 Undersökt byggnadsbestånd	16
	2.5 Jämförelse av de utvalda byggnaderna med landets bostadsbestånd	17
3	MODELLER FÖR BERÄKNING AV ENERGIBESPARINGAR	21
	3.1 Begrepp	21
	3.2 Mätmodell för energiförbrukning	25
	3.3 Mätmodell för värmepumpsinstallation	28
	3.4 Teorimodell	30
	3.5 Hypoteser om energibesparingar	34
	3.6 Beräkningsförutsättningar	36
	3.7 Lönsamhetsmodell	42

4	STUDERADE ÅTGÄRDER	45
	4.1 Faktorer som påverkar energibesparingen	45
	4.2 Fönsterisolering	46
	4.3 Isoleråtgärder	47
	4.4 Vindsisolering	48
	4.5 Reglerpaket	49
	4.6 Åtgärdspaket	50
	4.7 Elkonvertering	55
	4.8 Fjärrvärmeanslutning	56
	4.9 Värmepumpsinstallation	57
5	ENERGIBESPARINGAR	59
	5.1 Inledning	59
	5.2 Tekniska egenskaper hos de studerade småhusen	59
	5.3 Tekniska egenskaper hos de studerade flerbostadshusen	66
	5.4 Fönsterisolering i småhus	72
	5.5 Isoleråtgärder i småhus	76
	5.6 Åtgärdspaket i småhus	80
	5.7 Elkonvertering i småhus	81
	5.8 Värmepumpsinstallationer i småhus	84
	5.9 Fönsterisolering i flerbostadshus	88
	5.10 Vindsisolering i flerbostadshus	91
	5.11 Reglerpaket i flerbostadshus	94
	5.12 Åtgärdspaket i flerbostadshus	97
	5.13 Fjärrvärmeanslutning i flerbostadshus	101
	5.14 Värmepumpsinstallationer i flerbostadshus	104

6	DISKUSSION AV ENERGIBESPARINGARNA	109
	6.1 Fönsterisolering i småhus	109
	6.2 Isoleråtgärder i småhus	110
	6.3 Elkonvertering i småhus	111
	6.4 Värmepumpsinstallationer i småhus	112
	6.5 Fönsterisolering i flerbostadshus	114
	6.6 Vindsisolering i flerbostadshus	115
	6.7 Reglerpaket i flerbostadshus	115
	6.8 Åtgärdspaket i flerbostadshus	116
	6.9 Fjärrvärmeanslutning i flerbostadshus	117
	6.10 Värmepumpsinstallationer i flerbostadshus	118
7	RESULTATENS GILTIGHET	119
	7.1 Inledning	119
	7.2 En analys av mätmodellen	119
	7.3 En analys av teorimodellen	121
	7.4 En analys av innetemperaturer	122
	7.5 De systematiska felens storlek	123
	7.6 De slumpmässiga felens storlek	124
	7.7 Beskrivning av energibesparingarnas genomsnittliga nivå	126
	7.8 Beskrivning av enskilda energibesparingar	128
	7.9 Förklaring av energibesparingarnas genomsnittliga nivå	129
	7.10 Förklaring av energibesparingarnas variation mellan hus	130
	7.11 Energibesparing i andra hus	132
	7.12 Jämförelse med andra undersökningar	134
	7.13 Slutsatser	140
8	SAMMANFATTNING	141
	8.1 Generella slutsatser	141
	8.2 Slutsatser för enskilda åtgärder och åtgärdskombinationer	144

Appendix A	Beteckningar och förkortningar	149
Appendix B	Tidsplan	153
Appendix C	Dygnsmedeltemperaturer	157
Appendix D	Medelsolinstrålning	159
Appendix E	Energibesparingen i ett småhus som tilläggsisolerats	161
Appendix F	Energibesparing av värmepumpsinstallation	171
Appendix G	Husvisa energibesparingar	177
Appendix H	Husvisa energibesparingar för värmepumpar	187
Appendix I	Metodik för analys av felen i uppmätt och förväntad energibesparing	193
REFERENSER		195

REFERAT

Faktiska besparingar av ett antal energisparåtgärder har studerats i en landsomfattande undersökning. Besparingarna har också jämförts med förväntade.

Med besparing avses minskning av energianvändning för uppvärmning, inklusive ventilation, och tappvarmvatten.

Resultaten bygger på mätningar före och efter åtgärd under 1982-86 i drygt 300 små- och flerbostadshus i sju län.

De viktigaste resultaten (för grupper av hus) är:

- Energisparåtgärderna gav i de flesta fall statistiskt säkerställda besparingar. Besparingarna var dock måttliga i många fall.
- För de flesta åtgärder uppnåddes i det närmaste de besparingar som förväntades:

Åtgärd	Hustyp	Besparing i procent av föreförbrukningen	
		Uppmätt	Förväntad
Fönsterisolering	Småhus	6 %	10 %
Isoleråtgärder	" - "	19 %	25 %
Elkonvertering	" - "	22 %	20 %
Fönsterisolering	Flerbostadshus	9 %	10 %
Vindsisolering	" - "	5 %	6 %
Reglerpaket	" - "	4 %	3 %
Åtgärds paket	" - "	14 %	16 %
Fjärrvärmeanslutning	" - "	24 %	15 %

- De temperatursänkningar som förväntades i samband med vissa energisparåtgärder erhöles ej.

- Energibesparingen vid värmepumpsinstallationer i småhus var 60 % av föreförbrukningen när mark användes som värmekälla och 40 % av föreförbrukningen för uteluftsvärmepumpar.
- Energibesparingen vid värmepumpsinstallationer i flerbostadshus med mark, berg eller uteluft som värmekällor var nästan 50 % av föreförbrukningen.

Undersökningen har genomförts av SIB, projektgruppen för energihushållning i byggnader vid KTH, avdelningen för husbyggnad vid CTH, institutionen för byggnadskonstruktionslära vid LTH och Norrlands byggtjänst i samarbete med avdelningen för konstruktionsteknik vid LuTH. Den har till större delen finansierats av Statens råd för byggnadsforskning, som också sammanfattar resultaten i en kommande rapport i T-serien.

Föreliggande forskningsrapport ger en teknisk dokumentation av använda metoder och erhållna resultat.

SUMMARY

This report describes effects of energy conservation retrofits in existing residential buildings obtained from a comprehensive survey. The survey comprises 300 single and multi family houses in seven Swedish regions.

Measured effects are obtained from before-after measurements carried out in 1982-86. These measured effects are compared with expected effects calculated from data obtained from on-site inspections of the houses.

The most important results (averages for groups of houses) are:

- The retrofits gave in a majority of cases statistically significant energy savings.
- The retrofits gave almost expected energy savings in many cases and more than expected in two cases:

Retrofit	Type of house	Effect in per cent of pre-retrofit energy consumption	
		Measured	Expected
Triple glazing	Single family	6 %	10 %
Retrofit package	"-	19 %	25 %
Conversion to electric heating	"-	22 %	20 %
Triple glazing	Multi family	9 %	10 %
Additional insulation of attic	"-	5 %	6 %
Regulating package	"-	4 %	3 %
Retrofit package	"-	14 %	16 %
District heating	"-	24 %	15 %

- The energy savings of heat pump installations in single family houses were 40-60 per cent of pre-retrofit energy consumption (60 per cent for ground-source heat pumps and 40 per cent for outdoor air-source heat pumps).

- The energy savings of heat pump installations in multi family houses were 50 per cent of pre-retrofit energy consumption (ground-source, rock-source and outdoor air-source heat pumps).

- Expected temperature decreases in connection with some retrofits were not achieved.

This survey has been carried out by the Swedish Building Research Institute, Energy Conservation in Buildings Group, Royal Institute of Technology, Department of Building Technology, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Department of Building Science, Lund Institute of Technology and the North Swedish Building Centre in collaboration with Division of Structural Engineering, Luleå University of Technology.

FÖRORD

Rapporten redovisar en omfattande undersökning av effekter av ett antal energisparpåtgärder. Undersökningen benämns Högskoleprojekt II¹⁾.

I början av 1982 begärde energihushållningsdelegationen av Statens institut för byggnadsforskning (SIB), att institutet i samarbete med de tekniska högskolorna och Norrlands Byggtjänst skulle utarbeta ett program för en fortsättning av arbetet i Högskoleprojekt I. I september 1982 beviljade bostadsdepartementet medel för undersökningen enligt utarbetat programförslag, se Norlén och Holgersson (1982). Arbetet har finansierats till största delen med hjälp av särskilda medel från bostadsdepartementet och medel från SIB.

Undersökningen har genomförts på uppdrag av Statens råd för byggnadsforskning (BFR), som ett samarbetsprojekt mellan:

- Norrlands Byggtjänst i samarbete med avdelningen för konstruktionsteknik vid LuTH
- Projektgruppen för energihushållning i byggnader vid KTH
- Avdelningen för husbyggnad vid CTH
- Institutionen för byggnadskonstruktionslära vid LTH med
- Avdelningen för energihushållning vid SIB, som ansvarig för samordningen.

1) Inför revideringen 1981 av energisparplanen för perioden 1978-88 gjordes en likartad utvärdering, det s k Högskoleprojektet, se DsBo 1980:8 av i stort sett samma personer. I fortsättningen kommer den undersökningen att benämnas Högskoleprojekt I. Med institutioner avses de institutioner/högskolor som deltar i samarbetet.

Projektgrupperna bestod av följande personer:

Norrlands Byggtjänst: Jan-Åke Jonsson (projektledare), Jan Nordlander (Statistiska institutionen vid Umeå universitet).

Luleå tekniska högskola: Håkan Johansson, Lars Åström

Kungliga tekniska högskolan: Arne Elmroth (projektledare), Lars-Olof Höglund, Conny Rolén

Chalmers tekniska högskola: Peter Rundberg (projektledare)

Lunds tekniska högskola: Gunnar Anderlind (projektledare), Leif Bengtsson, Boris Wall (t o m 841018) och Hans-Olof Karlsson (fr o m 840924)

Statens institut för byggnadsforskning: Christer Hjalmarsson (projektledare), Urban Norlén och Sven Mandorff

I projektet har under arbetets gång också följande personer deltagit i arbetet:

Rolf Hedvall, Norrlands Byggtjänst AB, Tomas Olofsson, LuTH, Erik Andersson, CTH, Gunilla Billgren, CTH, Connie Dickell, CTH, Carl Axel Boman, Birgitta Evremar, Stig Hammarsten, Stig Skogberg, Cathrine Ugglå, Ulf Vallenor, Britta Westergren, samtliga SIB och Gunnar Ratzinger, KTH.

SIB har också anlitat följande konsulter: Arne Persson, ARKO-TEKNIK, Kalmar, Lars-Viktor Säfström, Statistiska centralbyrån, Stockholm, Henrik Engquist och Göran Forsström, Uppsala universitet.

Förutom dessa personer har ett 10-tal besiktningsmän deltagit i arbetet.

Rapporten har sammanställts av HII-gruppen som består av nedanstående personer.

Till samtliga som gjort det möjligt att genomföra projektet riktas ett varmt tack. Vårt tack riktas i första hand till alla fastighetsägare och lägenhetsinnehavare som läst av mätare och låtit oss använda husen i undersökningen.

Gävle i februari 1988

Gunnar Anderlind

Leif Bengtsson

Arne Elmroth

Christer Hjalmarsson

Lars-Olof Höglund

Jan-Ake Jonsson

Hans-Olof Karlsson

Jan Nordlander

Urban Norlén

Conny Rolén

Peter Rundberg

1 UNDERSÖKNINGENS SYFTE OCH UPPLÄGGNING

1.1 Bakgrund

Energisparåtgärder har genomförts i stor omfattning under 1970- och 1980-talen. Det gällde främst att minska användningen av olja med energisparåtgärder som tilläggsisoleringar, byten och kompletteringar till treglasfönster, installation av regler-system, injustering av värme- och ventilationssystem, övergång till andra uppvärmningssystem som värmepumpar, vattenburen elvärme och fjärrvärme och förbättring av oljepannor och pannsystem. Nu fokuseras intresset i större utsträckning till möjligheterna att spara el.

Vid planering av energisparåtgärder görs beräkningar av energispareffekten av olika åtgärder. Det är av central betydelse att fortlöpande undersöka och förbättra de beräkningsmetoder som används. Flera undersökningar har genomförts eller pågår som syftar till att ge underlag för sådana förbättringar.

Vissa undersökningar utgörs av fallstudier, dvs åtgärder i enstaka hus studeras, medan andra utgörs av undersökningar av många statistiskt utvalda hus.

Fallstudier syftar ofta till att undersöka den maximala effekten av olika åtgärder genom att omsorgsfullt försöka uppnå avsedd funktion av utförda åtgärder, se t ex Anderlind m fl (1986).

I statistiska undersökningar försöker man normalt inte påverka hur energisparåtgärder utförs. De syftar till att ta reda på vilka energibesparingar som erhålls i genomsnitt av olika åtgärder för ett stort antal hus.

Den hittills viktigaste statistiska urvalsundersökningen av genomsnittliga energibesparingar har utförts inom Högskoleprojekt I (HI), se DsBo 1980:8. Denna undersökning genomfördes inför omprövningen 1981 av energisparplanen och omfattade ett

urval på mer än 1000 små- och flerbostadshus, där olika åtgärder genomförts med statligt energisparstöd. Från undersökningen kunde genomsnittliga spareffekter med stor allmängiltighet för ett antal energisparåtgärder rapporteras.

Av rapporten framgår, att en betydande genomsnittlig energibesparing uppnåddes i de åtgärdade husen. Resultaten kan mycket kortfattat sammanfattas på följande sätt:

I flerbostadshusen var den genomsnittliga uppmätta besparingen av isoleråtgärder större än den teoretiskt beräknade besparingen. Installation av termostatventiler och reglerutrustning gav noterbara besparingar.

I småhus gav vägg- och vindsisolering var för sig en genomsnittlig besparing som på det hela taget var lika stor som den teoretiska besparingen. För åtgärdscombinationen vindsisolering och termostatventiler erhöles en uppmätt besparing som klart översteg besparingen för gruppen vindsisolering enbart. Åtgärden fönsterisolering gav också besparingar som i genomsnitt låg något över de teoretiskt beräknade. Kombinationen termostatventiler och motorshunt medförde god besparing i genomsnitt. Effekten av byggnadstekniska åtgärdscombinationer som vägg- och vindsisolering samt fönster- och väggisolering gav däremot en besparing som endast var hälften så stor som den teoretiskt beräknade. En tänkbar anledning till detta är att en del av den möjliga besparingen togs ut i form av höjd innetemperatur.

De teoretiskt beräknade energibesparingarna i Högskoleprojekt I beaktar endast att k-värdena förändrades.¹⁾ Således tillgoderäknades inte effekten av eventuella temperatursänkningar, vilket däremot har gjorts i beräkningarna inför översynen av den nu gällande energisparplanen.

1) k-värden heter numera U-värden. Vi har emellertid genomgående använt den äldre benämningen i denna rapport.

Ovanstående resultat avser genomsnittliga besparingar i grupper av hus. En betydande variation i besparingar kunde konstateras för olika hus, se Norlén och Holgersson (1981). I vart tionde hus ökade t o m energiförbrukningen efter åtgärden.

Sedan HI-undersökningen genomfördes har energisparstödet förändrats. Nya kunskaper om energihushållning har tillkommit. Vissa åtgärder, t ex värmepumpar som installerades i stor omfattning i början av 1980-talet undersöktes aldrig i HI. Det har därför bedömts motiverat att göra en förnyad utvärdering, för att bli studera vissa åtgärder som inte behandlades förra gången och för att studera samma åtgärder som förra gången med förbättrad metodik för att se om resultaten förändras.

1.2 Syfte

Denna undersökning syftar till att få veta:

- storleken av den faktiska energibesparingen av ett antal tekniska energisparåtgärder, och
- om uppnådda besparingar överensstämmer med vad som förväntades.

Både besparingarnas allmänna nivå i form av genomsnitt för grupper av hus och deras variation mellan olika hus skall undersökas.

Dessa beskrivningar och förklaringar beräknas ge dels pålitliga värden för hur stora energibesparingar som erhålls av olika åtgärder, dels underlag för att förbättra metoderna för att förutse energibesparing.

I första hand har genomsnittliga besparingar undersökts. Undersökningen har därför planerats så att dessa genomsnitt kan redovisas med rimlig noggrannhet.

1.3 Metodik

I HI-undersökningen erhöles en stor variation i energibesparing mellan olika byggnader. Variationen kan delvis ha orsakats av osäkra energiuppgifter och att hänsyn ej kunde tas till ändringar i innetemperaturen i samband med att energisparåtgärderna utfördes. Men även om dessa två brister åtgärdats med hjälp av förbättrad metodik, måste många byggnader undersökas för varje studerad åtgärd för att pålitliga värden på genomsnittlig besparing skall kunna erhållas. Som riktmärke sattes att varje åtgärd skulle studeras i 25-30 byggnader för att få statistiskt säkerställda resultat.

Energibesparingarna i varje undersökt byggnad beräknas med hjälp av dels mätningar av energiförbrukningen och innetemperaturer före och efter åtgärd i byggnaderna, dels tekniska uppgifter. Dessa två typer av besparingar benämns uppmätta besparingar respektive förväntade besparingar. Med energibesparing avses minskning av energianvändning för uppvärmning, inklusive ventilation, och tappvarmvatten.

Dessutom bestäms utifrån mätningarna den energibesparing som skulle ha erhållits vid vissa schablonmässigt bestämda innetemperaturer, s k uppmätta standardiserade besparingar.

För varje byggnad erhålls därmed tre mått på energibesparingen:

	Energiförbrukning före och efter åtgärd beräknad med hjälp av:	
	Mätningar i husen	Tekniska uppgifter för husen
Uppmätt innetemperatur används	Uppmätt energibesparing	
Standardiserad innetemperatur används	Uppmätt standardiserad energibesparing	Förväntad energibesparing

Det viktigaste måttet på besparingen i en byggnad är givetvis den uppmätta energibesparingen. Denna kommer att jämföras med den förväntade energibesparingen och den uppmätta standardiserade energibesparingen. Tanken bakom dessa jämförelser är:

- att skillnader mellan uppmätta och förväntade besparingar skall ge besked om hur säkert man kan förutsäga besparingar med användning av olika tekniska uppgifter om byggnaden,
- att skillnader mellan uppmätta och uppmätta standardiserade besparingar skall ge underlag för bedömningar av hur effekten av en åtgärd i praktiken tas ut i form av dels sänkt energiförbrukning, dels ändrad innetemperatur.

Inverkan på energiförbrukningen av faktorer utöver temperaturer är svåra att analysera och eliminera genom användning av modeller, t ex den ändring av energiförbrukningen i småhus som föranleds av hushållsbyte. Undersökningen har därför begränsats till att omfatta vissa typer av byggnader och till vissa förhållanden som ej ändras under undersökningsperioden.

För studier av faktorer som ej explicit medtagits i analysen är det önskvärt att välja ut en kontrollgrupp av byggnader som ej åtgärdats. Jämförelse av energiförbrukningen i kontrollbyggnader och i byggnader som åtgärdas kan ge underlag för bedömningar av inverkan av faktorer som ej kan hållas konstanta eller inte finns med i använda modeller. Någon kontrollgrupp av byggnader har emellertid inte valts ut. Förändringarna av energiförbrukningen i en kontrollgrupp har bedömts vara så små att de inte skulle kunna urskiljas under den relativt korta undersökningsperioden.

För att kunna dra mer generella slutsatser om besparingseffekten görs urvalet från en väldefinierad population av byggnader. Som underlag för slutsatser med större räckvidd än till denna population, jämförs utvalda byggnader med relevanta delar av hela byggnadsbeståndet.

Dessa metodmässiga utgångspunkter sammanfaller med de som fanns vid uppläggningsen av Högskoleprojekt I.

1.4 Undersökningens uppläggning

Eftersom denna undersökning utgör en fortsättning av Högskoleprojekt I är det viktigt att följa och efterlikna detta projekt så långt det är möjligt och rimligt, se DsBo 1980:8. Lika viktigt är det emellertid att ändra uppläggningsen på de punkter som kan förbättras med rimlig resursinsats.

De variabler i Högskoleprojekt I som bedömts mest betydelsefulla för resultaten är inne- och utetemperaturerna under före- och efterperioderna och energiförbrukningsuppgifter.

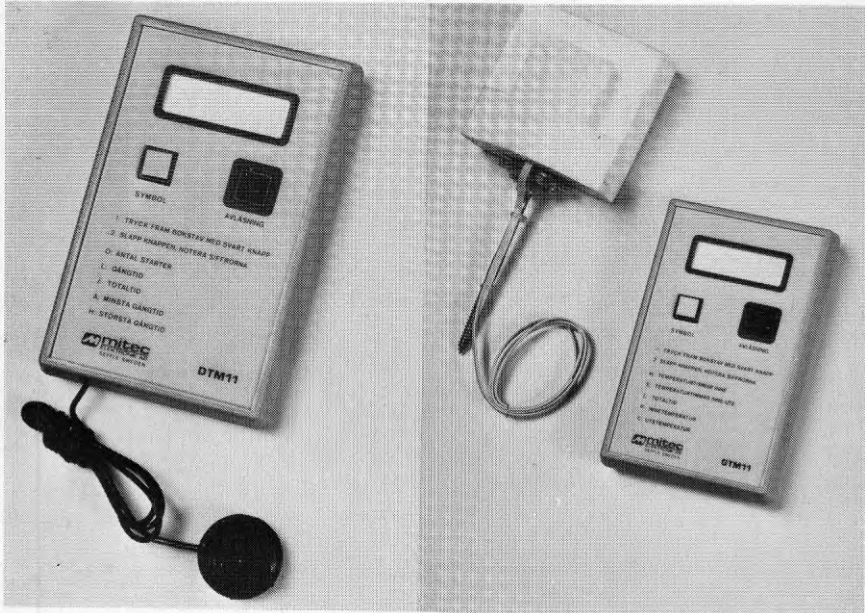
Av dessa skäl har energiförbrukningen samt inne- och utetemperaturerna mätts mer noggrant denna gång. För mätning av energiförbrukning har befintliga energimätare använts där så är möjligt. I övriga byggnader har speciellt framtagna, mikrodatorbaserade mätutrustningar för kontinuerlig mätning av oljeförbrukning (drifttid) i oljeeldade byggnader och inne- och utetemperaturer använts, se Figur 1.1. Drifttids- och temperaturmätarna har provats med gynnsamt resultat, se Vallenor och Wikström (1984).

Undersökningen har utförts på ett enhetligt sätt vid de olika högskolorna genom att genomförandet samordnats. Denna samordning har åstadkommit genom att i den detaljerade undersökningsplanen, se Hjalmarsson (1983), regleras:

- Hur urvalen av byggnader skulle göras
- Hur datainsamlingen skulle utföras
- Vilken mätutrustning som skulle användas,
- Hur data skulle bearbetas
- Hur energibesparingarna skall beräknas

En annan utgångspunkt är att beräkning av energibesparingar skall kunna göras på i princip samma sätt som i Högskoleprojekt I, se kapitel 3 i DsBo 1980:8.

Till vänster visas drifttidmätaren. Den svarta runda plastkapseln innehåller en detektorspole som används för avkänning av oljepumpens motor eller den magnetventil som stryker oljeflödet. Till höger visas temperaturmätaren. I lådan finns förutom elektronikenheten en temperaturgivare för mätning av innetemperaturen. Till vänster om lådan visas ett enkelt strålskydd som innehåller temperaturgivaren för mätning av utetemperaturen.



Följande data kan erhållas från mätarna:

Drifttidmätaren

Temperaturmätaren

Antal starter av
oljebrännaren

Temperaturtimmar inne

Gångtid

Temperaturtimmar inne-ute

Totaltid

Totaltid

Minsta gångtid

Innetemperatur

Största gångtid

Utetemperatur

Figur 1.1 Utrustning för mätning av oljeförbrukning (drifttid) och inne- och utetemperaturer i undersökningen

1.5 Undersökningens genomförande

Varje institution har börjat med att göra sitt byggnadsurval. Därefter har informationsbrev skickats ut till ägare eller förvaltare av varje utvald byggnad. Om den efterföljande telefonintervjun givit positivt svar har tid bestämts för besiktning av byggnaden. För utvalda flerbostadshus har följande gjorts:

- Urval av en lägenhet för inne- och utetemperaturmätningar,
- Urval av ytterligare ett antal lägenheter för korttidsmätningar av innetemperaturen.

Besök på byggnadsnämnder och energiverk har ingått i förberedelsearbetet, varvid tekniska uppgifter om husen och uppgifter om energiförbrukning inhämtats.

Vid besök på plats har de viktigaste och mest grundläggande uppgifterna om byggnaden inhämtats genom besiktning och intervjuer. Ett speciellt besiktningsprotokoll har konstruerats för detta ändamål. Vid besiktningen har noterats i protokollet bl a den typ av energimätare för el-, gas- eller fjärrvärme som sedan utnyttjats i undersökningen.

Vidare har temperaturmätare monterats i alla hus och drifttidsmätare i oljeeldade hus enligt fastställda instruktioner. I de oljevärmda husen bestämdes även det aktuella oljeflödet genom brännarmunstycket när brännaren är i gång för att på det sättet räkna fram hur mycket olja som används för uppvärmningsändamål.

Totalt har före- och eftermätningar utförts i följande antal hus under tre eldnings säsonger:

Typ av mätning	Antal hus		
	1982/83	1983/84	1984/85
Föremätning	55	319	-
Eftermätning	-	45	282

I cirka 150 hus har dessutom uppföljningsmätningar gjorts under eldningssäsongen 1985/86. En detaljerad tidsplan av arbetets olika moment redovisas i Appendix B.

Vid besiktningen har husägaren/lägenhetsinnehavaren eller fastighetsskötaren informerats och instruerats om hur energi- och temperaturmätare skulle läsas av. Denna person skulle sedan utföra veckovisa avläsningar på mätarna och skicka uppgifterna till respektive institution.

Varje deltagande institution har med hjälp av en bordsdator av typ Facit DTC lagt upp erhållna besiktnings- och mätdata på flexskivor. Uppläggningsen har gjorts med hjälp av ett speciellt utformat inläsnings- och kontrollprogram som använts av alla institutioner. På så sätt har granskade och rättade dataset erhållits med en uppläggning av uppgifterna som är lika för alla deltagande institutioner. Detta har underlättat analyserna och också gjort det möjligt att utforma ett speciellt analysprogram för bordsdatorerna som kunde användas ute på institutionerna för den första analysen. Den slutliga sammanställningen av resultaten har gjorts vid SIB med hjälp av egna utvecklade FORTRAN-program samt programpaketet SPSSX (Statistical Package for the Social Sciences). Dessutom har programpaketet SPSS Graphics använts vid figurframställning.

Undersökningsmetodik har prövats i en första etapp i en förundersökning som omfattade 45 hus. Denna förundersökning har utförts under perioden 1982-1984. Resultaten har redovisats i en lägesrapport (HII-gruppen 1984). Med smärre justeringar av arbetsrutinerna, har själva huvudundersökningen utförts under perioden 1984-1987. Resultaten för byggnaderna i förundersökningen har inarbetats i föreliggande rapport.

Fältarbetet har genomförts av CTH, LTH, LuTH, KTH och Norrlands Byggtjänst. Vid SIB har arbetet främst bestått av att samordna utvecklingen av mätmetodik och beräkningsprogram.

2 UNDERSÖKT BOSTADSBESTAND

2.1 Urval av åtgärder

Åtgärder har valts så att de uppfyller ett eller flera av följande villkor:

- Åtgärden är frekvent och ett tillräckligt stort antal hus kan studeras
- Åtgärden anses ge stor besparingseffekt (t ex värmepumpar)
- Åtgärden har tveksam lönsamhet (t ex luftvärmepumpar)
- Åtgärden har givit osäker besparingseffekt i Högskoleprojekt I (t ex fönster- och isoleråtgärder)
- Åtgärden förmodas ge annan besparingseffekt än vid tidigare undersökningar (t ex isoleråtgärder)
- Åtgärden bedöms vara aktuell för statligt stöd i framtiden (alla studerade åtgärder)

Den avgörande principen för val av åtgärdsgrupper blev första villkoret i ovanstående lista, dvs att ett tillräckligt stort antal hus kunde studeras där samma typ av åtgärder skulle genomföras. Följande åtgärder valdes ut:

Småhus (enbostadshus)

- Fönster, byte eller komplettering till 3-glasfönster
- Isoleråtgärder, omfattande en eller flera större byggnadstekniska åtgärder, t ex vindsisolering och/eller väggisolering
- Åtgärdspaket, byggnadstekniska och installationstekniska åtgärder, t ex vindsisolering och installation av motorshunt

- Elkonvertering, byte till elpanna eller installation av elkassett/elpatron
- Värmepumpar, installation av värmepump

Flerbostadshus (minst fem lägenheter)

- Fönster, byte eller komplettering till 3-glasfönster
- vindsisolering
- Reglerpaket, installation av radiatortermostatventiler och reglerutrustning
- Åtgärds paket, byggnadstekniska och installationstekniska åtgärder
- Fjärrvärme, byte till fjärrvärme
- Värmepumpar, installation av värmepump

2.2 Urval av byggnader

Undersökningen är en före- och efterstudie av byggnader i vilka energisparåtgärder genomförts under 1983 och 1984. Byggnaderna, ligger i Norr- och Västerbottens, Stockholms, Hallands, Göteborgs och Bohus, Kristianstads och Malmöhus län, se Figur 2.1.

I första hand planerades att byggnaderna skulle väljas bland ansökningar om energisparstöd till länsbostadsnämnderna (LBN) i ovanstående län, under tidsperioderna oktober 82 till februari 83 samt juni 83 till februari 84, eftersom:

- åtgärder med statligt stöd skulle studeras,
- det finns inarbetade rutiner för urvalsdragning från detta register sedan föregående undersökning.



Figur 2.1 De undersökta byggnaderna ligger i de sju län som är markerade på kartan

För flerbostadshus genomfördes en postenkät under våren 1983 ställd till ägare av 3000 hyreshus för att få reda på planerade åtgärder. Dessutom gjordes en förfrågan hos samtliga SABO-företag i de sju länen angående planerade åtgärder (4500 hyreshus). Andra källor som användes var energiverk, kommunala energisparrådgivare och tillverkare/installatörer. Prioriteringen av urvalskällorna var följande:

1. LBN-ansökningar
2. Postenkät till privata ägare av hyreshus
3. SABO-enkät
4. Energiverk m m

Främst användes LBN-ansökningar som urvalskälla. Därefter användes energiverk m m som urvalskälla för hus som skulle el- eller

fjärrvärmekonverteras. Det visade sig att enkäterna gav dåliga och ofta missvisande uppgifter. Resultaten från enkäterna användes därför i ringa utsträckning.

För att de utvalda åtgärderna skulle kunna utvärderas så korrekt som möjligt utarbetades särskilda avgränsningsregler för utsortering av byggnader. Syftet med utsorteringen var att resultaten från före- och eftermätningarna i största möjliga utsträckning skulle avspegla effekterna av energisparåtgärderna.

De avgränsningsregler som användes för att avgöra om ett utvalt hus skulle ingå i undersökningen eller inte var:

Nr Avgränsningsregel:

- 1 Den volym som uppvärms till rumstemperatur får ej ändras genom om- eller tillbyggnad
- 2 Om småhus: Huset får ej byta ägare/hushåll under undersökningens gång
- 3 Om småhus: Huset skall vara friliggande enbostadshus eller kedjehus, ej parhus eller radhus, ej heller tvåbostadshus
- 4 Om flerbostadshus: Huset skall ha minst fem lägenheter
- 5 Minst 75 procent av våningsytan skall användas som bostad
- 6 Huset skall vara försett med mätbar värmekälla
- 7 Om huset delar värmekälla med andra hus skall det finnas separat mätning av värmeförbrukningen för det utvalda huset
- 8 Om huset är fjärrvärmewärmt skall det finnas energimätare, ej flödesmätare
- 9 Ingen kompletterande uppvärmning får förekomma under mätperioderna
- 10 Ändrad värmekälla accepteras bara för åtgärderna värmepump, elkonvertering och fjärrvärmeanslutning
- 11 Inga andra sparåtgärder, vilka kan påverka energiförbrukningen, än den/de studerade får utföras under eller mellan mätperioderna.

Vid urvalet visade det sig att minskade frekvenser av ansökningar hos LBN resulterade i korta handläggningstider och snabb igångsättning av arbetena. Detta medförde att energiförbrukning

och temperaturer före åtgärd ofta inte kunde mätas under tillräckligt lång tid. De andra urvalskällorna fick därför anlitas i stor utsträckning.

För många åtgärder gjordes inget husurval i egentlig mening, utan alla hus undersöktes som erhöles från urvalskällorna. För dessa åtgärder gjordes således en totalundersökning.

Utsortering på grund av vägran eller ointresse noterades i några fall, men vid närmare undersökning skulle flertalet av dessa objekt ha sorterats ut av annan orsak.

Urvalet av byggnader gjordes i två omgångar. Först utvaldes ett mindre antal byggnader under 82/83 för förundersökningen. Energiförbrukningen i dessa byggnader mättes under 82/83 och 83/84. Förundersökningen omfattade 45 hus, se lägesrapporten (HII-gruppen 1984). Huvudundersökningens urval gjordes 83/84. Energiförbrukningen i dessa byggnader mättes under 83/84 och 84/85. För vissa hus i förundersökningen uppmättes energiförbrukningen under en andra efterperiod. I några hus mättes efterförbrukningen dessutom under 85/86.

2.3 Resultat av urvalet

Totalt antal utvalda hus i undersökningen redovisas i Tabell 2.1. Av tabellen framgår att relativt många utvalda hus saknar fullständiga uppgifter. Några anledningar till detta är:

- att åtgärden genomfördes alltför snabbt för att föremätningar kunde genomföras under tillräckligt lång tid
- att åtgärden inte genomförts eller genomförts på annat sätt
- att energiuppgifter inte erhållits
- att byggnaden ändrat uppvärmningssätt under mätperioden
- att elmätare varit felkopplad.

Tabell 2.1 Antal utvalda hus med fullständiga uppgifter efter hustyp, åtgärd och undersökningsort. Totalt antal utvalda hus anges inom parentes. (SH = småhus, FH = flerbostadshus.)

Åtgärd	Hus- typ	Umeå/ Luleå	Stock- holm	Göte- borg	Lund	Summa
Fönsterisolering	SH	10	-	3	6	19 (21)
Isoleråtgärder	SH	7	6	8	8	29 (30)
Åtgärdspaket	SH	-	4	-	-	4 (6)
Elkonvertering	SH	14	-	11	-	35 (40)
Värmepump	SH	5	30	6	18	59 (75)
Delsumma SH						146 (172)
Fönsterisolering	FH	6	3	5	13	27 (33)
Vindsisolering	FH	10	10	-	9	29 (34)
Reglerpaket	FH	-	16	-	3	19 (20)
Åtgärdspaket	FH	4	20	8	7	39 (52)
Fjärrvärme	FH	6	9	8	3	26 (38)
Värmepump	FH	-	12	1	7	20 (25)
Delsumma FH						160 (202)
Summa		72	110	50	74	306 (374)

Som framgår av Tabell 2.1 har vi inte kunnat välja ut ett tillräckligt antal småhus där åtgärdspaket genomförts för att uppnå en acceptabel gruppstorlek. Även gruppstorlekarna för fönsterisolerade småhus och åtgärden reglerpaket i flerbostadshus är väl små.

2.4 Undersökt byggnadsbestånd

Det undersökta byggnadsbeståndet (populationen) kan utifrån ovanstående redovisning av urvalsförfarandet beskrivas på följande sätt:

Undersökningen omfattar byggnader

- i Norr- och Västerbottens, Stockholms, Hallands, Göteborgs- och Bohus, Kristianstads och Malmöhus län,

- där åtgärder (enligt åtgärdslistan) genomförts under 1983 eller 1984,
- av vissa typer (se avgränsningslistan), där uppgifter om planerade åtgärder erhöles från antingen
 - (a) fastighetsägaren som lämnat in ansökan om statligt energisparstöd till länsbostadsnämnden i fråga under tidsperioden oktober 1982 - februari 1983 eller tidsperioden juni 1983 - februari 1984, eller
 - (b) undersökningsledningen som erhölet information om planerade åtgärder via enkäter till hyreshusägare eller från energiverk m m.

Denna definition av populationen avgränsar inte en lätt identifierbar del av byggnadsbeståndet. För många åtgärder undersöktes dessutom alla hus i de upprättade förteckningarna. Av dessa skäl är det av mindre intresse att från undersökningsresultaten dra slutsatser från urvalet till populationen. Den fortsatta analysen inriktas därför i första hand på att studera energibesparingar i de utvalda husen och i vad mån resultaten kan användas för slutsatser gällande hela bostadsbeståndet.

2.5 Jämförelse av de utvalda byggnaderna med landets bostadsbestånd

Denna undersökning omfattar ett mindre antal små- och flerbostadshus. Det är av intresse att se efter om dessa hus tekniskt avviker från husen i hela landet på något avgörande sätt. Som jämförelse använder vi resultat från ERBOL-undersökningen (Energisparpotential och reparationsbehov i bostäder och lokaler). Denna genomfördes under 1984 och omfattade ca 1500 hus slumpmässigt valda från hela landet (Tolstoy m fl 1984). Det besiktningsprotokoll som använts i föreliggande undersökning överensstämmer i stor utsträckning med ERBOL-undersökningens

protokoll. Detta gör det möjligt att direkt jämföra resultaten för flera viktiga tekniska uppgifter.

Det står klart att vi inte bör vänta en god överensstämmelse mellan undersökningarna i alla avseenden. Tvärtom bör t ex hus med sämre k-värde (före åtgärd) än genomsnittet för landet ingå i de grupper där någon isoleråtgärd vidtagits. Vidare är det rimligt att anta att husen i föreliggande undersökning omfattar relativt sett fler äldre hus än vad som finns i bostadsbeståndet som helhet.

Tabell 2.2 Fördelningar av de undersökta husen med avseende på ålder, uppvärmd yta (inkl yttervägg) och k-värde före åtgärd för ytterväggar och vindsbjälklag efter hustyp och byggnadsår. Motsvarande fördelningar i ERBOL-undersökningen (Tolstoy, N m fl 1984) redovisas inom parantes. (SH = småhus, FH = flerbostads-hus.)

Variabel	Hustyp	Byggnadsår			
		-1940	1941-60	1961-75	1976-81 ²⁾
Ålder [%]	SH	33(36)	32(20)	35(32)	-(12)
	FH	36(47)	37(35)	27(17)	-(1)
Uppvärmad yta ¹⁾ [m ² /lägenhet]	SH	218(144)	174(152)	220(175)	-(181)
	FH	97(103)	84(83)	96(89)	-(90)
Ytterväggars k-värde ₂ [W/°C,m ²]	SH	0.62(0.54)	0.54(0.52)	0.44(0.37)	-(0.28)
	FH	1.02(0.83)	0.73(0.64)	0.43(0.44)	-(0.31)
Vindsbjälk- lagens k-värde [W/°C,m ²]	SH	0.37(0.36)	0.33(0.34)	0.26(0.24)	-(0.18)
	FH	0.59(0.42)	0.52(0.49)	0.26(0.26)	-(0.18)

1) Inkluderar ytterväggar.

2) Inga hus byggda efter 1975 ingår i HII-undersökningen.

Småhusen i HII-undersökningen är i större utsträckning byggda under perioden 1941-75 jämfört med hela husbeståndet enligt ERBOL-undersökningen.

Vidare framgår det av Tabell 2.2 att den uppvärmda ytan per lägenhet för småhus i genomsnitt är betydligt större i HII-husen än i hela husbeståndet. Även detta kan ha samband med de valda

åtgärderna, t ex innehåller åtgärdsgruppen värmepump många stora hus. I HII har 85 procent av alla småhus källare som grundläggningssätt. Motsvarande siffra för hela landet är 60 procent. Dessutom finns viss osäkerhet om hur ytor bestämts i respektive undersökningar. Vissa delvis uppvärmda källarutrymmen kan ha värderats olika.

Ytterväggars k-värden före åtgärd är något sämre i HII-husen jämfört med hela husbeståndet, medan vindsbjälklagens k-värden inte skiljer sig i någon avsevärd utsträckning.

Tabell 2.3 Procentuell fördelning av uppvärmd volym: (1) De undersökta husen före och efter åtgärd efter hustyp och typ av uppvärmningssätt, (2) Hela landets bostadsbestånd efter hustyp och typ av uppvärmningssätt enligt ERBOL-undersökningen (Tolstoy N m fl 1984).

Hustyp	Uppvärmningssätt ¹⁾				
	Fjärr- värme	Vatten- buren el	Olja	Direkt- el	Övrigt
Småhus					
Före åtgärd	1	20	73	6	-
Efter "	1	33	10	6	50
Hela landet (ERBOL)	4	21	33	23	19
Flerbostadshus					
Före åtgärd	56	-	44	-	-
Efter "	73	2	18	-	7
Hela landet (ERBOL)	54	3	37	6	-

1) Vattenburen el = elpanna i ERBOL, Övrigt = värmepump, ved, flis i ERBOL.

Tabell 2.3 visar stora skillnader mellan uppvärmningssätten i de undersökta husen och hela husbeståndet. Alla skillnader kan emellertid förklaras av inriktningen av föreliggande undersökning. Den stora andelen småhus med oljevärme före åtgärd beror på att en studerad åtgärd är konvertering från olja till el. Vidare valdes inga hus med värmepump eller vedeldning ut.

Gruppen "övrigt" innehåller därför inga hus före åtgärd. Denna "övrigt"-grupp omfattar däremot hälften av den uppvärmda volymen i småhus efter åtgärd på grund av att värmepumpsinstallation är en av de studerade åtgärderna och att denna åtgärd vidtagits i stora småhus, osv.

3 MODELLER FÖR BERÄKNING AV ENERGIBESPARINGAR

3.1 Begrepp

I analysen används två modeller: en mätmodell och en teori-modell. Gemensamt för båda modelltyperna är att i modellerna finns ett antal parametrar som beskriver väsentliga energiegenskaper hos en byggnad. Ett exempel på en sådan parameter är förlustfaktorn (b) som anges i $\text{kW/lgh,}^{\circ}\text{C}$. Denna parameter anger hur mycket effektbehovet för uppvärmning av lägenheten ökar när temperaturskillnaden inne-ute ökar 1°C .

Med mätmodell menas en modell där en serie mätningar av energiförbrukningen (veckomedelvärden) i byggnaden bildar det huvudsakliga underlaget för att bestämma värdena på energiparametrarna.

Med teorimodell menas en modell där byggnads- och installations-tekniska uppgifter samt schabloner används för att med hjälp av teorier bestämma värdena på energiparametrarna.

Med energiförbrukningen i en byggnad menas energiförbrukningen för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten under ett år. Med undantag för gruppen värmepumpsinstallationer är uteklimatet under detta år lika med normalårets klimat. (För gruppen värmepumpsinstallationer används i stället klimatet under aktuellt år). Med normalårets uteklimat menas ett år

- vars utetemperaturer är lika med de utetemperaturer som gällt i genomsnitt under åren 1951-80, och
- vars solinstrålning är lika med den solinstrålning som gällt i genomsnitt under perioden 1955-79.

Energiförbrukningen redovisas i MWh eller kWh per lägenhet och normalår. I enstaka fall kan energiförbrukningen redovisas per areaenhet. Med area avses antingen bruttoarean eller den

uppvärmda arean. Bruttoarea är hela arean innanför hela klimatskärmen, inklusive ytterväggar, oavsett om alla utrymmen är uppvärmda eller inte. Uppvärmad area är till skillnad från bruttoarean enbart de ytor, inklusive ytterväggar, som är uppvärmda till minst 18°C.

För mät- respektive teorimodellen gäller att man behöver följande uppgifter för beräkning av en energiförbrukning:

- Parametrar som beskriver byggnadens energiegenskaper, t ex byggnadens förlustfaktor
- Innetemperatur
- Klimatparametrar som beskriver normalårets uteklimat

Energibesparingen är skillnaden mellan energiförbrukningen före och efter åtgärd. Följande uppgifter behövs vid beräkning av energibesparing:

- Parametrar före och efter åtgärd
- Innetemperaturer före och efter åtgärd
- Klimatparametrar

Energibesparingen från en mätmodell benämns uppmätt energibesparing. Energibesparingen från en teorimodell benämns förväntad energibesparing.

Storleken på en uppmätt eller förväntad energibesparing beror också på vilka innetemperaturer som används. Vi kan definiera effekten av en energisparåtgärd som energibesparingen vid förändrad innetemperatur. Med hjälp av denna definition kan en energibesparing delas upp i tre termer på följande sätt:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Energi-} \\ \text{besparing} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Effekt av} \\ \text{energi-} \\ \text{sparåtgärd} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Effekt av} \\ \text{ändrad inne-} \\ \text{temperatur} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Effekt av} \\ \text{andra påverk-} \\ \text{ande faktorer} \end{array} \right]$$

I praktiken är det svårt att beräkna storleken på framförallt den sista termen i ovanstående uttryck. Vi har därför lagt upp undersökningen så att denna term blir så liten som möjligt.

Bland annat har vi studerat hus som med avseende på väsentliga egenskaper inte förändras i samband med åtgärden, se listan med avgränsningsregler i kapitel 2. Antag att vi lyckats göra den tredje termen så liten att den kan försummas. Då kan olika energibesparingar beräknas:

A. Uppmätt energibesparing. I denna energibesparing finns effekten av eventuellt ändrad innetemperatur inbakad. Denna energibesparing är en uppskattning av uppnådd besparing, dvs vi har

$$\left[\begin{array}{l} \text{Energibesparing} \\ \text{vid uppmätta} \\ \text{innetemperaturer} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Effekt av} \\ \text{energipar-} \\ \text{åtgärd} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Effekt av} \\ \text{ändrad inne-} \\ \text{temperatur} \end{array} \right]$$

B. Förväntad energibesparing, där innetemperaturerna före och efter åtgärd givits standardiserade värden som antas motsvara bibehållen inomhuskomfort under efterperioden i förhållande till föreperioden. För vissa åtgärder antas att en temperatursänkning kan göras utan att inomhuskomforten äventyras eller förändras.

Den standardiserade innetemperaturen sätts före åtgärd lika med den genomsnittliga innetemperaturen för byggnadstypen i fråga enligt Temperaturundersökningen 1982 (Holgersson & Norlén, 1982). Dessa genomsnittsvärden är:

- Småhus: 20.4°C
- Flerbostadshus: 21.8°C

Innetemperaturen efter åtgärd sätts lika med den temperatur som antas motsvara bibehållen inomhuskomfort i förhållande till föreperioden, se avsnitt 3.5. Om klimatskärmen eller värmeregleringssystemet inte förbättrats, t ex vid vissa konverteringsåtgärder, sätts innetemperaturen efter lika med föreperiodens innetemperatur.

C. Andra typer av energibesparing. Med två modeller för beräkningarna (mät- och teorimodeller) och två olika typer av innetemperaturer (uppmätta och standardiserade) kan vi sammanlagt erhålla fyra besparingsuppgifter för varje hus.

Vi har lagt huvudvikten på att redovisa uppmätt besparing (med uppmätt innetemperatur) och förväntad besparing (med standardiserad innetemperatur), men kommer senare att diskutera även de andra typerna av besparing. Vid beräkning av uppmätt besparing använder vi våra mätvärden i så stor utsträckning som möjligt. Motivet för beräkning av förväntad besparing är att det är denna som kan beräknas innan en åtgärd genomförs. En sådan beräkning ligger ofta till grund för val av åtgärd eller hur den skall genomföras.

Som illustration visas resultaten i Tabell 3.1 för 29 småhus i undersökningen som tilläggsisolerats.

Tabell 3.1 Genomsnittliga besparingar bestämda med hjälp av mät- respektive teorimodellen för 29 isoleråtgärdade småhus

Genomsnittlig energibesparing	Uppmätta (från mätmodell) MWh/lgh,år	Förväntade (från teorimodell) MWh/lgh,år	Genomsnittlig innetemperatur (°C)		
			Före	Efter	Ändring
A. Besparing vid uppmätta innetemperaturer	6.0	-	20.2	20.4	0.2
B. Besparing vid standardiserade innetemperaturer	7.0	8.3	20.4	19.8	-0.6

Skillnaden mellan den uppmätta besparingen, 6.0 MWh/lgh,år, och den förväntade besparingen, 8.3 MWh/lgh,år, kan till en del förklaras av att innetemperaturen ökat med i genomsnitt 0.2°C, medan man från komfortsynpunkt antagit att den kunde ha sänkts med 0.6°C, se avsnitt 3.5. Av den uppmätta standardiserade besparingen på 7.0 MWh/lgh,år har alltså uppskattningsvis enligt beräkningarna 1.0 MWh/lgh,år tagits ut i form av komforthöjning. Den återstående skillnaden på 1.3 MWh/lgh,år beror på andra tekniska skillnader som inte kan förklaras enbart med hjälp av beräkningsmodellen.

I Appendix E och F exemplifieras beräkningsgången vid bestämning av energibesparingar m m med hjälp av besiktnings- och mätdata för två hus, ett hus som tilläggsisolerats och ett hus där en värmepump installerats.

3.2 Mätmodell för energiförbrukning

Energiförbrukningen för en byggnad avser i vår beräkning den köpta energin för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten som används i byggnaden under ett år. I bl a rapporterna från HII-gruppen (1984) samt Norlén (1985) presenteras och kommenteras modellen ytterligare. Beräkningen utförs på följande sätt:

$$W = b Q + c T + d P \quad [\text{kWh/lgh, år}]$$

där

- W = Årsförbrukningen per lägenhet i förekommande fall omräknat i kWh med användning av en omräkningsfaktor som motsvarar bränslets energiinnehåll [kWh/lgh, år]
- Q = Antalet gradtimmar under uppvärmningssäsong [$^{\circ}\text{C, h/år}$]
- T = Antalet timmar under uppvärmningssäsong [h/år]
- P = Antalet timmar under icke uppvärmningssäsong [h/år]
- b = Förlustfaktorn för huset, som anger hur mycket energiförbrukningen ökar per timme och lägenhet om skillnaden mellan inne- och utetemperaturen ökar en grad under uppvärmningssäsong [kWh/lgh, $^{\circ}\text{C, h}$]
- c = Vinterfaktorn för huset, som anger temperaturoberoende förluster (markförluster, avloppsförluster) och bidrag (el från hushållsapparater, personvärme, soltillskott) [kWh/lgh, h]

d = Sommarfaktorn för huset, som anger den genomsnittliga förbrukningen för uppvärmning av tappvarmvatten under den del av året då huset ej värms upp [kWh/lgh,h]

Energiförbrukningen kan också skrivas

$$W = [b (\theta_i - \theta_u) + c] T + d P$$

där

$\theta_i - \theta_u$ = den genomsnittliga temperaturskillnaden inne-ute under uppvärmningssäsongen [$^{\circ}\text{C}$].

I mätmodellen skattas i allmänhet värden på förlust- och vinterfaktorerna b [kWh/lgh, $^{\circ}\text{C}$,h] och c [kWh/lgh, h] från mätvärdena med hjälp av minsta-kvadrat metoden på följande sätt:

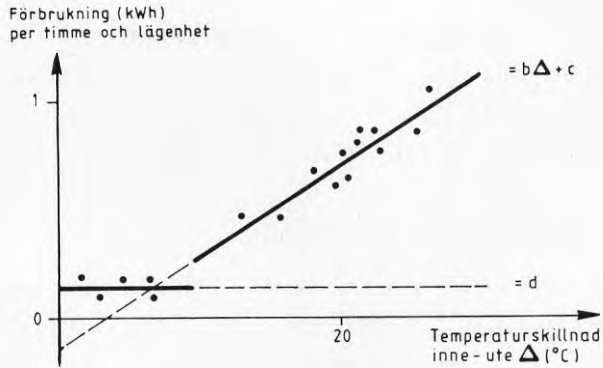
$$\left\{ \begin{array}{l} b = \frac{\sum_{i=1}^n W_i (\Delta_i - \bar{\Delta})}{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2} \\ c = \bar{W} - b\bar{\Delta} \end{array} \right.$$

där

$$\left\{ \begin{array}{l} W_i = \text{energiförbrukningen (veckomedelvärden) under period nummer } i \text{ dividerad med periodlängden i timmar, } i = 1, 2, \dots, n \\ \Delta_i = \text{den genomsnittliga temperaturskillnaden inne-ute under period } i, i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right.$$

och där \bar{W} är medelvärdet av energiförbrukningen W_i och $\bar{\Delta}$ är medelvärdet av temperaturskillnaden Δ_i under hela mätperioden i fråga.

Sommarfaktorn d ges samma värde i alla hus av samma typ.



Figur 3.1 Sambandet mellan energiförbrukningen per tidsenhet, lägenhet och skillnaden mellan inne- och utetemperatur

Alternativa mätmodeller har analyserats, bl a en modell där även en tredje energiparameter kallad solarean skattas med minsta-kvadrat metoden. Inga avsevärda skillnader mellan resultaten från denna 3-parametermodell (för uppvärmningssäsong) och den använda 2-parametermodellen kunde konstateras. De små skillnaderna förklaras bl a av att veckovis solinstrålning och utetemperatur är korrelerad med varandra. En ytterliggare förklaring är att mätningarna utförts under tider när solinstrålningen har liten inverkan på energiförbrukningen.

Energibesparing. Energiförbrukningen beräknas separat för före- och efterperioderna. Om vi med index f betecknar före åtgärd och med index e betecknar efter åtgärd, kan de två förbrukningarna skrivas på följande sätt:

$$\begin{cases} W_f = [(b_f (\theta_{if} - \theta_u) + c_f) T_f + d_f P_f \\ W_e = [(b_e (\theta_{ie} - \theta_u) + c_e) T_e + d_e P_e \end{cases}$$

där θ_{if} och θ_{ie} är innetemperaturerna före och efter åtgärd, respektive, och där θ_u är utetemperatur under eldningssäsongen ett normalår. Energibesparingen och den procentuella energibesparingen erhålls som skillnaden mellan dessa två förbrukningar, respektive dividerad med föreförbrukningen.

$$\text{Energibesparing} = W_f - W_e$$

$$\text{Procentuell besparing} = \frac{W_f - W_e}{W_f} \cdot 100$$

Utetemperatur. Från SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut) har erhållits dygnsvisa medeltemperaturer från ett 50-tal klimatstationer spridda över hela landet för åren 1951-80, se Appendix C.

För varje hus används värden från antingen den närmast belägna stationen eller den station som på annat sätt antas bäst representera husets utetemperatur.

För ett enskilt hus finns ofta en systematisk skillnad mellan utetemperatur vid huset och vid den valda klimatstationen. Korrigering för denna temperaturskillnad görs mellan den i undersökningen uppmätta genomsnittliga utetemperatur och motsvarande utetemperatur under mätperioden vid klimatstationen i fråga. För ett utförligare resonemang hänvisas till Norlén (1985).

3.3 Mätmodell för värmepumpsinstallation

För hus där värmepump installerats kan inte ett linjärt samband mellan energiförbrukning under vintern och temperaturskillnaden inne-ute förutsättas. För dessa hus beräknas inte förbrukningar efter åtgärd på ovanstående sätt. I stället jämförs energiförbrukningen under en årslång efterperiod med den energiförbrukning som beräknas skulle blivit fallet under detta år om åtgärden ej hade genomförts.

Metoden förutsätter att energiförbrukningen före åtgärd kan beräknas som tidigare. Beräkningen görs på följande sätt:

1. Förlustfaktorn b_f och vinterfaktorn c_f för föreperioden beräknas enligt avsnitt 3.2.
2. Med hjälp av eldnings säsongens längd (T) och den genomsnittliga temperaturskillnad ($\theta_i - \theta_u$) under eldnings säsongen för aktuellt år (1985 för flertalet av husen) efter åtgärd och förlust- och vinterfaktorerna från föreperioden, beräknas den energiförbrukning W'_{ep} som skulle behövts under året om värmepumpen ej installerats.

$$W'_{ep} \text{ (brutto)} = [b_f (\theta_i - \theta_u) + c_f] T + d_f P \text{ [kWh/lgh, år]}$$

3. Med antagandet att husets nettoenergibehov ej förändrats, bestäms detta med hjälp av schabloner på verkningsgrader för det ersatta uppvärmningssystemet ur

$$W'_{ep} \text{ (netto)} = [b_f (\theta_i - \theta_u) + c_f] T \eta_v + d_f P \eta_s \text{ [kWh/lgh, år]}$$

η_v och η_s är verkningsgraden för uppvärmningssystemet före åtgärd under uppvärmningssäsongen och under icke uppvärmningssäsong, respektive.

4. Denna nettoenergiförbrukning jämförs slutligen med den faktiskt uppmätta årsenergiförbrukningen för drivenergi till kompressorn (W_{driv}) och eventuell tillsatsenergi: el till elpatron/elkasset (W_{el}) och/eller olja till oljepanna (W_{ol}) under efterperioden.

Ett mått på värmepumpens funktion är årsvärmefaktorn (SPF) som erhålls ur

$$SPF = \frac{W'_{ep} \text{ (netto)} - W_{ol} \eta_v - W_{el} \eta_v}{W_{driv}}$$

Ett annat mått på värmepumpens funktion är energitäckningsgraden (ETG), som anger hur stor del av uppvärmningsenergin (netto) som täcks av värmepumpen. Energitäckningsgraden erhålls ur

$$ETG = 100 \frac{W'_{ep}(\text{netto}) - W_{o1} \eta_v - W_{e1} \eta_v}{W'_{ep}(\text{netto})} \quad \text{procent}$$

Den beräknade energiförbrukningen W'_{ep} (brutto) jämförs också med den faktiskt uppmätta årsenergiförbrukningen W_{ep} (brutto), där

$$W_{ep}(\text{brutto}) = W_{driv} + W_{e1} + W_{o1}$$

Ett mått på energibesparingen är skillnaden mellan energibehov före och efter installation av värmepumpen, dvs

$$\text{Energibesparing} = W'_{ep}(\text{brutto}) - W_{ep}(\text{brutto})$$

3.4 Teorimodell

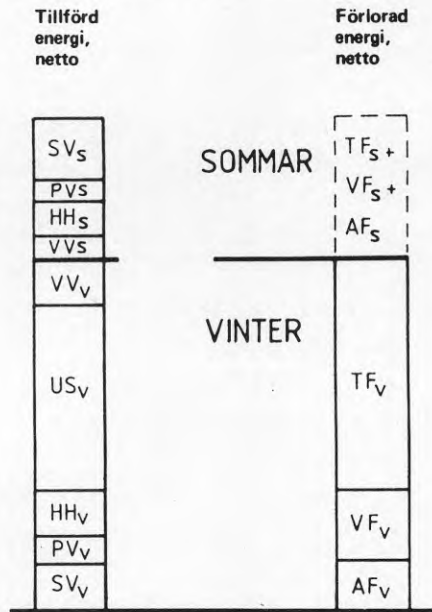
Den ojämförligt vanligaste metoden att bilda sig en uppfattning om förväntad energibesparing är att utgå från tekniska uppgifter om byggnaden och energisparåtgärden(-erna). Med hjälp av en energibalansmodell och uteklimatuppgifter kan årsenergiförbrukningar före och efter åtgärd(-er) beräknas. Skillnaden mellan dessa ger den förväntade energibesparingen, vilken alltså beräknas på samma sätt som den uppmätta energibesparingen, se avsnitt 3.2. Valet av klimatstation görs också på samma sätt som vid beräkning av uppmätt energibesparing.

Den beräknade energiförbrukningen för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten erhålls genom att sätta tillförd energi lika med avgiven energi. Samma gränser för uppvärmningssäsongen som vid beräkning av uppmätt energiförbrukning används.

Vissa antaganden har gjorts för hushållsenergi, energi till tappvarmvattenuppvärmning, energi från personer och energitillskott genom solinstrålning. Dessa antaganden finns redovisade i avsnitt 3.6.

All hushållsenergi antas kunna bli utnyttjad för uppvärmning under uppvärmningsperioden, medan ingen del av energin för varmvattenberedning antas bidra till uppvärmning av byggnaden.

I vår beräkning av energiförbrukningen för en byggnad avser vi den köpta energi för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten som används i byggnaden under ett normalår. Vid bestämning av köpt energi måste hänsyn tas till uppvärmningssystemets verkningsgrad(er). I Figur 3.2 redovisas nettoenergi-balansen i en byggnad fördelat på uppvärmningssäsong (vinter) respektive icke uppvärmningssäsong (sommar) för ett helt år.



Figur 3.2 Nettoenergi-balans för en byggnad under ett år

Beteckningar i figuren:

- US = energi från uppvärmningssystemet
- VV = energi för varmvattenberedning
- HH = värme från hushållsapparater
- PV = personvärme
- SV = solvärme
- TF = transmissionsförluster
- VF = ventilationsförluster
- AF = avloppsförluster

Index s = sommartid (icke uppvärmningssäsong)

Index v = vintertid (uppvärmningssäsong)

Vi ser i Figur 3.2 att den tillförda betalda nettoenergin $W(\text{netto})$ för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten kan skrivas:

$$W(\text{netto}) = (US_V + VV_V + VV_S) = (TF_V + VF_V) + (AF_V - HH_V - PV_V) - SV + VV_S,$$

vilket kan skrivas

$$W(\text{netto}) = b (\theta_i - \theta_u) T \eta_V + c T \eta_V - f I T \eta_V + d P \eta_S$$

enligt våra beteckningar på energiparametrarna enligt avsnitt 3.2, där vi antagit att uppvärmningssystemet har verkningsgraden η_V under uppvärmningssäsong och verkningsgrad η_S under icke uppvärmningssäsong och där

$$\left\{ \begin{array}{l} f = \text{solarean, arean för ett fiktivt fönster som släpper} \\ \text{igenom all solinstrålning [m}^2/\text{lg}h] \text{ och} \\ I = \text{den genomsnittliga solinstrålningen under uppvärmnings-} \\ \text{säsongen [kWh/m}^2, \text{h, år]}. \end{array} \right.$$

Vi har därvid gjort följande antaganden:

- Summan av transmissions- och ventilationsförlusterna är direkt proportionell mot antalet gradtimmar,
- Avloppsförluster, värmen från hushållsapparater och personer är proportionell mot uppvärmningssäsongens längd, och
- Energin för varmvattenuppvärmning under icke uppvärmningssäsong är proportionell mot längden av denna säsong.

Energibalansen upprätthålls om den tillförda energin för uppvärmning och beredning av varmvatten är

$$W(\text{brutto}) = [b (\theta_i - \theta_u) + c - f I] T + d P$$

Förlustfaktorn b beräknas som summan av kA -värdet (transmissionsfaktorn) och produkten $n V 0.33$ (ventilationsfaktorn), där antalet luftväxlingar, n per timme antas vara 0.5. Den uppvärmda volymen reduceras med 15 procent för att ta hänsyn till minskat flöde vid bortovaro samt den volym som upptas av möbler, innerväggar etc. Förlustfaktorn i teorimodell kan då ges värdet

$$b = 0.001 \frac{kA + n V 0.33}{\eta_v} \text{ [kW/lgh, } ^\circ\text{C]}$$

Vinter(c)- och sommarfaktorerna (d) ges värden enligt avsnitt 3.6.

Hur stor andel av solinstrålningen som faller in mot fönster och som kan tillgodogöras för uppvärmning beror på flera faktorer. Beroende på att husen är mer eller mindre skuggigt belägna och på grund av andra avskärmningsfaktorer minskas den "effektiva fönsterarean". Likaså minskar antalet glasrutor solinstrålningen genom fönsteröppningarna. Den på så sätt reducerade fönsterarean benämns solarea (f) och beräknas med hjälp av fyra reduktionsfaktorer, se Johansen (1984), på följande sätt:

$$f = A_F f_s f_k f_a f_g \quad [\text{m}^2]$$

där

$$\left\{ \begin{array}{l} f = \text{Solarean, dvs arean för ett fiktivt fönster som släpper} \\ \text{igenom all solinstrålning, [m}^2\text{/lgh]} \\ A_F = \text{Fönsterarean inklusive karm, [m}^2\text{/lgh]} \\ f_s = \text{Skuggningsfaktor som tar hänsyn till horisontavskärmning} \\ \text{etc. Antas värdena 0.80, 0.87 eller 0.95 beroende på om} \\ \text{huset är skuggigt, mindre soligt respektive soligt beläget.} \\ f_k = \text{Karmfaktor, som satts till 70 procent av fönsterarean beräk-} \\ \text{nad inklusive karm.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_a = \text{Gardinfaktor, som satts till 0.80 p\u00e5 grund av att gardiner,} \\ \text{persi\u00e4nner etc hindrar solinstr\u00e5lningen.} \\ \\ f_g = \text{Genomsl\u00e4ppsfaktor (Transmissivitetsfaktor), som beror p\u00e5} \\ \text{antalet glas i f\u00f6nstret. F\u00f6r 1-glasf\u00f6nster har faktorn satts} \\ \text{till 0.80, f\u00f6r 2-glasf\u00f6nster 0.70 och f\u00f6r 3-glasf\u00f6nster} \\ \text{0.60.} \end{array} \right.$$

Den s\u00e5 erh\u00e5llna nettosiffran p\u00e5 solarean omr\u00e4knas till en bruttosiffra med hj\u00e4lp av uppv\u00e4rmingssystemets verkningsgrad p\u00e5 samma s\u00e4tt som f\u00f6r f\u00f6rlustfaktorn.

Solinstr\u00e5lning: Fr\u00e5n SMHI har ocks\u00e5 erh\u00e5llits m\u00e5nadsvisa solinstr\u00e5lningsdata som avser medelstr\u00e5lningen 1955-79, f\u00f6r tre klimatstationer, mot horisontell yta och vertikala ytor som vetter mot de fyra v\u00e4derstrecken, se Appendix D. Solinstr\u00e5lningarna har ber\u00e4knats med hj\u00e4lp av modellen SOLTIMSYN, se Taesler & Andersson (1984).

Vid ber\u00e4kning av solinstr\u00e5lning mot en byggnad anv\u00e4nds endast en solvariabel. Denna variabel ber\u00e4knas som den v\u00e4gda summan av de vertikala instr\u00e5lningarna fr\u00e5n de fyra v\u00e4derstrecken, med andelen f\u00f6nsterareor p\u00e5 byggnaden mot dessa v\u00e4derstreck som vikter.

3.5 Hypoteser om energibesparingar

Vid planering och utv\u00e4rdering av energihush\u00e5llning g\u00f6rs ber\u00e4kningar av energispareffekten av olika \u00e5tg\u00e4rder. Det \u00e4r av central betydelse att de antaganden eller hypoteser som anv\u00e4nds vid dessa ber\u00e4kningar \u00e4r s\u00e5 adekvata som m\u00f6jligt.

I denna unders\u00f6kning hade vi m\u00f6jlighet att pr\u00f6va vissa av de antaganden som man gjort i energihush\u00e5llningen. Vi har valt att pr\u00f6va de hypoteser om energibesparing som anv\u00e4ndes i Byggeforskningsr\u00e5dets utv\u00e4rdering ENERGI 85 (Byggeforskningsr\u00e5det,

1984) och i underlagsrapporter för denna utvärdering (Nilsson m fl, 1984).

Vid beräkning av förväntade energibesparingar antas att innetemperaturen sänks enligt Tabell 3.2. Dessa hypoteser kan vi testa vid jämförelserna mot uppmätta temperaturer.

I tabellen redovisas också hur antaganden om hur vissa andra parametrar ändras vid beräkning av förväntad energibesparing.

Tabell 3.2 Hypoteser som använts vid beräkning av förväntade energibesparingar, där Δ anger förändring i förhållande till värdet på energiparametern och innetemperaturen före åtgärd. Hypoteserna har hämtats från Nilsson m fl (1984).

<u>Åtgärd</u>	<u>Hypotes om parameterändring</u>
1. Installation av dragregulator	$\Delta\eta_v = \Delta\eta_s = -0.04$ [1/h]
2. Installation av radiatortermostatventiler	$\Delta\theta_i = -0.25 \times \text{andel utbytta ventiler}$ [$^{\circ}\text{C}$]
3. Installation av motorshunt	$\Delta\theta_i = -1.0$ [$^{\circ}\text{C}$]
4. Injustering av värmesystem	$\Delta\theta_i = -0.25$ [$^{\circ}\text{C}$]
5. Konvertering: Utbyte av oljepanna mot elpatron, elkassett eller elpanna	$\Delta\eta =$ Enligt verkningsgrader i avsnitt 3.6
6. Konvertering: Installation av fjärrvärme från oljeeldning	$\Delta\eta =$ Enligt verkningsgrader i avsnitt 3.6
7. Installation av värmeåtervinning från frånluft för uppvärmning av varmvatten	$\Delta c = \Delta d = -0.17$ [kWh/h, lgh]
8. Tätning av fönster och dörrar	$\Delta n = -0.05$ gäller hus med självdagsventilation
9. Tätning mellan karm och vägg	$\Delta n = -0.05$ [1/h]
10. Byte till 3-glasfönster	$\Delta k =$ enligt besiktningsprotokoll $\Delta\theta_i = -0.5$ $\Delta n_i = -0.05$ $\Delta f(\text{netto}) = -14\%$ av $f(\text{netto})$

11. Komplettering till 3-glasfönster	Δk = enligt besiktningsprotokoll $\Delta\theta_i = -0.5$ $\Delta f^i(\text{netto}) = -14\%$ av $f(\text{netto})$
12. Vindsisolering	Δk = enligt besiktningsprotokoll
13. Golvisolering	Δk = enligt besiktningsprotokoll $\Delta n = -0.05$
14. Väggisolering	Δk = enligt besiktningsprotokoll $\Delta n = -0.05$ gäller hus med självdragsventilation $\Delta\theta_i = -0.5$ om $k(\text{före}) > 0.6$
15. Isolering av oljepanna	$\Delta\eta_V = \Delta\eta_S = -0.02$
16. Byte av oljebrännare	$\Delta\eta_V = \Delta\eta_S = -0.05$
17. Byte av fjärrvärmväxlare	$\Delta\eta_V = \Delta\eta_S = -0.02$
18. Isolering av fjärrvärmväxlare	$\Delta\eta_V = \Delta\eta_S = -0.02$

Om flera åtgärder genomförs (åtgärds paket) i en byggnad läggs följande restriktioner på de sammanlagda förändringarna:

- Innetemperaturen sänks aldrig med mer än 1°C ($\Delta\theta_i \leq 1$)
- Luftomsättningen blir aldrig mindre än $0.2/\text{h}$ ($n \pm \Delta n \geq 0.2$)
- Verkningsgraden för fjärrvärme blir aldrig större än 0.98 ($\eta - \Delta\eta \leq 0.98$)

3.6 Beräkningsförutsättningar

Allmänt

Vid beräkningar används nedanstående schablonvärden. Användning av dessa schablonvärden innebär att vi antar att det inte förekommer någon variation mellan hus och i vissa fall ej heller någon säsongsvariation.

Dessa antaganden är givetvis mer eller mindre adekvata för de enskilda husen. Vi antar att variationerna har liten eller

försumbar inverkan på de beräknade energibesparingarna, särskilt i beräknade genomsnittliga energibesparingar för grupper av hus.

Innetemperatur

Vid användning av standardiserade innetemperaturer har dessa före och efter åtgärd givits värden som antas motsvara oförändrad inomhuskomfort. Innetemperaturen före åtgärd sätts lika med den genomsnittliga innetemperaturen för byggnadstypen i fråga enligt Temperaturundersökningen 1982 (Holgersson och Norlén, 1982). Dessa genomsnittsvärden är 20.4°C för småhus och 21.8°C för flerbostadshus. Innetemperaturen efter åtgärd sätts lika med den temperatur som antas motsvara oförändrad inomhuskomfort i förhållande till föreperioden enligt avsnitt 3.5. Det innebär att vissa åtgärder antagits möjliggöra någon temperatursänkning med bibehållen komfort.

Beräkning av k-värden

Vid beräkning av k-värden har λ -värden enligt kommentarsamlingar till SBN använts. För fönster (inkl karm) antas följande teoretiska k-värden.

1-glas	k = 5.0	W/m ² , °C
2-glas	k = 2.6	W/m ² , °C
3-glas	k = 1.9	W/m ² , °C

Omräkning av energiförbrukningar i olje-, fjärrvärme- och gasvärmade hus

Oberoende av hur huset värms upp redovisas alla förbrukningar och besparingar i kWh med användning av omräkningsfaktorerna i Tabell 3.3, som är bestämda av energiinnehållet i bränslet.

Tabell 3.3 Omräkningsfaktorer från olika energislag till kWh.

Energislag	Sort	Omräkningsfaktor
Olja (Eo1)	Liter	9.935
Fjärrvärme	Mgal	1.168
Gas	m ³	4.663

Verkningsgrader

Schablonvärden för verkningsgrader enligt Tabell 3.4 har använts vid beräkning av förväntade energiförbrukningar och besparingar. Dessa verkningsgrader beskriver de omvandlingsförluster som förekommer i huset. Eventuella förluster i tidigare led av energiproduktionen behandlas inte. För en utvärdering av energispareffekter på nationell nivå kan dessa verkningsgrader inte användas utan ytterligare analyser.

Tabell 3.4 Schablonvärden för uppvärmningssystemens verkningsgrader.

Säsong	Beteckning	Elvärme		Olja/gas		Fjärrvärme
		Direkt-el	Vattenburen	SH	FH	
Uppvärmnings-säsong	η_V	1.00	0.95	0.80	0.85	0.95
Icke uppvärmnings-säsong	η_S	1.00	0.95	0.35	0.65	0.95

Observera att vi ej korrigerar för att husen har uppvärmningssystem med olika verkningsgrader i resultatredovisningen. I t ex elvärmda hus är verkningsgraden högre än i oljevärmda hus. Detta betyder att bruttoförbrukningar blir lägre i elvärmda hus än i oljevärmda om allting annat är lika. Flertalet åtgärdsgrupper har hus med i huvudsak samma uppvärmningssystem, varför resultaten på gruppnivå i de flesta fall endast påverkas marginellt.

Att vi inte korrigerar för verkningsgrader beror på att vissa åtgärder syftar till att förbättra dessa.

Uppvärmningssäsong

Vid beräkning av energiförbrukning används samma uppvärmningssäsong för alla hus inom samma geografiska område enligt Tabell 3.5

Tabell 3.5 Antagna uppvärmningssäsonger.

Område	Uppvärmningssäsongen	
	börjar	slutar
Malmöhus- och Kristianstads län	26 sept	9 maj
Göteborgs- o Bohus och Hallands län	24 sept	7 maj
Stockholms län	18 sept	14 maj
Västerbottens län	1 sept	1 juni
Norrbottnens län	1 sept	4 juni

Korrigerig för hushållselektricitet

I vissa elvärmda hus ingår energin för hushållsapparater och belysning i energiuppgifterna. För jämförbarhet med andra uppvärmningsformer och då förbrukningen avser energi för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten, dvs exklusive hushållsel, måste energiförbrukningen i dessa elvärmda hus minskas med hushållselförbrukning. I förekommande fall har följande schablonvärden använts:

Hustyp	Hushållselförbrukning, netto [kWh/lgh,år]
Småhus	4600
Flerbostadshus	2800

Korrigerinq för tappvarmvatten

I vissa hus ingår ej energin för beredning av tappvarmvatten i förbrukningsuppgifterna. I dessa hus har energiförbrukningen ökats med tappvarmvattenförbrukning. Följande schablonvärden har använts vid denna uppräkninq, vilka baseras på egna mätningar av sommarförbrukningar i vilka också en del uppvärmningsenergi kan ingå:

Hustyp	Varmvatten- förbrukning, netto [kWh/lgh,år]
Småhus	4000
Flerbostadshus	3500

Vinter- och förlustfaktorn i mätmodellen

I de allra flesta fall beräknas vinter- och förlustfaktorerna i mätmodellen med minsta-kvadratmetoden. I några fall är emellertid mätvärdena för få eller för "dåliga" för att båda faktorerna skall kunna beräknas på detta sätt. För vissa hus är t ex föreperioden för kort på grund av att åtgärden genomfördes snabbare än väntat. För andra hus varierade utetemperaturen för lite för att både regressionslinjens lutning (b) och intercept (c) skall kunna beräknas tillräckligt noggrant. I dessa två fall sätts vinterfaktorn lika med 0. Förlustfaktorn beräknas ur

$$b = \frac{\sum W_i \Delta_i}{\sum \Delta_i^2}$$

där

$$\left\{ \begin{array}{l} W_i = \text{energiförbrukningen (veckomedelvärden) under period} \\ \text{nummer } i \text{ dividerad med periodlängden i timmar, } i = \\ 1, 2, \dots, n \\ \Delta_i = \text{den genomsnittliga temperaturskillnaden inne-ute under} \\ \text{period } i, i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right.$$

Vinterfaktorn i teorimodellen

Tabell 3.6 anger använda schablonvärden på vinterfaktorn i teorimodellen, som baseras på följande antaganden. (Jämför med ekvationerna för $W(\text{netto})$ i avsnitt 3.4.)

	Småhus	Fler- bostadshus
Avloppsförluster [kWh/lgh,år]	4000	3500
Hushållsel [kWh/lgh,år]	-4600	-2800
Personvärme [kWh/lgh,år]	-1500	-1500
Summa	-2100	- 800

Tabell 3.6 Schablonvärden för vinterfaktorn i teorimodellen

Hustyp	Vinterfaktor, netto c [kWh/h,lgh]
Småhus	$-2100/8760 = -0.24$
Flerbostadshus	$- 800/8760 = -0.09$

Sommarfaktorn i mät- och teorimodellen

Tabell 3.7 anger använda schablonvärden för sommarfaktorn i mät- och teorimodellen och är samma värden som används för korrigering för tappvarmvatten, vilket redovisats tidigare i detta kapitel.

Tabell 3.7 Schablonvärden för sommarfaktorn i mät- och teori-
modellen

Hustyp	Sommarfaktor, netto d [kWh/lgh,år]
Småhus	4000
Flerbostadshus	3500

3.7 Lönsamhetsmodell

Allmänt gäller att energisparåtgärder är lönsamma om de under sin livslängd minskar de kapitaliserade energikostnaderna med mer än vad de kostar att genomföra. Flera antaganden måste göras vid lönsamhetskalkyler, bl a:

1. Energiprisutvecklingen. Skall vi räkna med att det rörliga priset på el kommer att öka med 50 procent under den närmaste 5-årsperioden till följd av höjda energiskatter föranledda av den förestående kärnkraftsavvecklingen? Hur mycket kommer den fasta avgiften baserad på maximala effektbehovet att öka?
2. Inflationen. Skall vi räkna med att inflationen ligger kvar på nivån fyra procent per år eller kommer den att öka till ca tio procent per år, som för ett antal år sedan?
3. Räntan. Kommer räntan att sjunka, kommer den att ligga kvar på nuvarande nivå eller kommer den att höjas successivt?

Dessa antaganden är givetvis vanskliga att göra, särskilt vid lönsamhetskalkyler av åtgärder som har lång livslängd. Till detta kommer att även valet av metod för lönsamhetsberäkning kan vara helt avgörande för utfallet av kalkylen!

I denna undersökning används besparingskostnadsmetoden för att jämförelser skall kunna göras med resultat från olika statliga utredningar om energisparverksamhet där denna metod använts.

Besparingskostnaden (BK) definieras som:

$$BK = \frac{\text{investering} + P1 * \text{årlig underhållskostnad}}{P2 * \text{årlig energibesparing}} \quad [\text{kr/kWh}]$$

där

$$P1 = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+R}\right)^{TID}}{\frac{R}{1+R}} \quad ; \quad P2 = \frac{1 - \left(\frac{1+q}{1+R}\right)^{TID}}{\frac{R-q}{1+R}}$$

och där R står för real kalkylränta, q för den årliga ökningen i energipriset räknat i fast penningvärde (eller - uttryckt på annat sätt - den årliga ökningen utöver inflationen), och där TID står för åtgärdens brukstid.

Besparingskostnaden har definierats på följande sätt i prop 77/78:76, "Det pris på energi som skulle göra att nuvärdet av besparingarna blir lika med summan av investeringarna och nuvärdet av underhållskostnaderna benämnes besparingskostnad". Besparingskostnaden kan jämföras med gällande energipris. Om den är mindre än energipriset är åtgärden lönsam och vice versa.

I det följande används bruttobesparingskostnaden, vilken erhålles om man i ovannämnda samband använder bruttoenergibesparingen. Jämförelser kan då direkt göras med gällande energipris uttryckt i bruttoenergienheter [kr/kWh].

De antaganden som gjorts för att beräkna den genomsnittliga besparingskostnaden (\overline{BK}) för respektive åtgärdsgrupp, där

$$\overline{BK} = \frac{\text{summa}(\text{investering} + P1 * \text{årlig underhållskostnad})}{\text{summa}(P2 * \text{årlig bruttoenergibesparing})} \text{ [kr/kWh]}$$

har hämtats ur rapporten av Nilsson A m fl (1984), som ingick i utredningen ENERGI-85.

Investeringskostnaden är angiven av husägaren och varierar kraftigt beroende på att i angiven kostnad kan kostnader för arbete och konsultarvode ingå, vilket det inte gör då ägaren själv utfört arbetet. Bruttoenergibesparingen är den uppnådda enligt våra skattningar vid uppmätt innetemperatur.

Underhållskostnaden (avser den årligen tillkommande underhållskostnaden för att säkerställa åtgärdens effekt) anges i procent av investeringskostnaden. För alla grupper har den satts till noll procent, utom för grupperna reglerpaket och värmepumpsinstallationer, där två procent respektive 500 kronor ansatts.

Den reala kalkylräntan och den årliga ökningen i energipris har givits värden enligt basfallet i utredningen ENERGI-85, dvs sex respektive två procent.

Den bedömda brukstiden (TID) för respektive åtgärdsgrupp framgår av nedanstående tabell.

Tabell 3.8 Brukstid (TID) för olika åtgärdsgrupper.

Åtgärdsgrupp	Brukstid (TID)
Fönsterisolering	30 år
Isoleråtgärder	30 år
Reglerpaket	15 år
Åtgärdspaket	20 år
Elkonvertering	15 år
Fjärrvärmekonvertering	20 år
Värmepumpsinstallation	15 år

4 STUDERADE ÅTGÄRDER

4.1 Faktorer som påverkar energibesparingen

Många olika faktorer påverkar storleken på den energibesparing som uppnås i ett hus. Det är viktigt att välja åtgärder som är anpassade till de hus där de genomförs. Detta görs bl a genom att studera det enskilda husets energistatus före åtgärd och undersöka vilka förutsättningar som finns för att erhålla goda energibesparingar i huset.

Exempel på faktorer som påverkar besparingens storlek är:

- Husets ålder.
- Föreförbrukningen. Potentialen för energibesparing kan antas vara större i hus med hög föreförbrukning.
- För isoleringsåtgärder har det ursprungliga k-värdet och självfallet även isoleringstjockleken betydelse för energibesparingens storlek.
- Temperaturnivån före åtgärd bestämmer utrymmet för temperatursänkning i samband med åtgärderna.
- Värmefördelningen. En jämn fördelning av värmen i huset är en förutsättning för att få maximal effekt av en energisparåtgärd. Större byggnadstekniska åtgärder bör alltid följas av en injustering av värme- och ventilations-systemet.
- Värmeregleringen. Reglerkurvan måste anpassas till de nya förutsättningarna i huset för att förväntad energibesparing ska kunna tillvaratas.

- Uppvärmningsanläggningen. Denna måste anpassas till husets nya energibehov. Det kan också ha betydelse vilken typ av uppvärmningssätt huset har.
- Åtgärdernas komplexitet. Vissa tekniskt komplicerade åtgärder kan vara svåra att få att fungera som avsett.

I det följande diskuteras de valda åtgärderna för de 306 små- och flerbostadshusen i Högscoleprojekt II. Av Tabell 2.1 i kapitel 2 framgår hur husen fördelar sig efter hustyp, åtgärd och undersökningsort.

4.2 Fönsterisolering

I Högscoleprojekt I konstaterades att fönsterisolering gav besparingar som översteg de teoretiskt förväntade. Man bör vara medveten om att fönsterisolering ofta genomförs av andra skäl än att spara energi. Det vanligaste skälet till att byta fönster är att rötskador har drabbat fönsterkonstruktionerna. Detta medför att man byter fönster även i relativt nyproducerade hus. För att förklara de goda besparingarna och skillnaden mellan faktiskt uppmätta och förväntade besparingar har fönsterisolering tagits med i Högscoleprojekt II. Åtgärden har studerats både i småhus och flerbostadshus. Fönsterbyte eller fönsterkomplettering kan dessutom ingå som en energisparåtgärd i "isoleråtgärder" avsnitt 4.3 eller i "åtgärdspaket" avsnitt 4.6.

Två olika fönsteråtgärder har studerats; byte till treglasfönster och komplettering till treglasfönster.

Byte till treglasfönster innebär utbyte av både båge och karm till helt nya enheter. Åtgärden innebär också att man drevar kring karmen och tätar mellan båge och karm. På grund av de fönsterkonstruktioner som finns i dag (bl a grövre bågar än tidigare) minskar ofta den totala fönsterarean något vid fönsterbyte.

Komplettering till treglasfönster innebär att fönstret kompletterats med ytterligare ett glasskikt. Det görs på lite olika sätt. En enkelruta sätts på innerbågens insida eller enkelglaset ersätts med en dubbelruta i en av bågarna. Det är inte troligt att man tätar mellan karm och vägg. Vi noterar om tätning och drevning har skett för att kunna registrera eventuella skillnader i energiförbrukningen på grund av detta.

Energibesparing erhålls genom förbättrat k-värde, men vi antar också att innetemperaturen kan sänkas 0.5°C . Har byte av fönster utförts eller tätningsåtgärder i övrigt noterats, antas ventilationen i självdragsventilerade hus minska med 0.05 oms/h. Solinstrålningen beräknas minska med 14 procent vid övergång från 2- till 3-glasfönster.

4.3 Isoleråtgärder

Till byggnadstekniska åtgärder räknas olika slags tilläggsisoleringar samt byten och komplettering av fönster. Hus som enbart bytt eller kompletterat fönster redovisas i gruppen fönsterisolering. Enstaka tilläggsisoleringar eller kombinationer av sådana och fönster räknas till gruppen isoleråtgärder.

Från Högscoleprojekt I visste vi att isoleråtgärder gav en besparing nära den teoretiskt förväntade då enstaka isoleråtgärder vidtagits, medan besparingen vid kombination av isoleråtgärder var lägre än den förväntade. För att få kontinuitet mellan Högscoleprojekt I och II togs isoleråtgärder med även i Högscoleprojekt II.

Isoleråtgärder är omfattande och kostsamma energisparåtgärder och det är viktigt att veta om besparingen når de teoretiskt beräknade spareffekterna. Isoleråtgärder av yttervägg kan utföras på olika sätt. En byggnadsdel kan isoleras inifrån, utifrån eller i eventuella hålrum i konstruktionen.

Den vanligaste väggisoleringen är utvändig tilläggsisolering, då man dessutom sätter upp ett nytt fasadskikt. Åtgärden motiveras numera allt oftare med att fasadskikt behöver renoveras eller bytas ut. Detta innebär att det som renodlad isoleråtgärd blir något dyrare att utföra, men å andra sidan får man delar av kostnaderna "på köpet" om fasaden ändå är i behov av renovering.

Hur vindsisolering utföres se avsnitt 4.4

För att få statliga lån vid tilläggsisolering måste man uppfylla vid tillfället gällande krav enligt "Bostadsstyrelsens författningssamling" (BOFS). T ex har det krävts tio cm mineralull/cellplast vid utvändig tilläggsisolering av vägg för att bli låneberättigat.

Positiva effekter av åtgärderna är minskning av transmissionsförluster, att husen eventuellt blir tätare och att man i vissa fall bryter köldbryggor. Detta gör att komforten kan bibehållas även vid en något sänkt innetemperatur och därigenom kan ytterligare energibesparing göras. Förutom energibesparing till följd av k-värdesförändringar har vi antagit att utvändig tilläggsisolering ger ett tätare hus, varför det antagits att ventilationen minskar med 0.05 oms/h i självdragsventilerade hus. I hus vars väggar före åtgärd var dåliga - k-värde > 0.6 - förväntas åtgärden även kunna leda till 0.5°C temperatursänkning.

4.4 Vindsisolering

Vindsisolering i flerbostadshus studerades i Högskoleprojekt I och hade då ett mycket gott besparingsresultat. För att klarlägga om åtgärden ger samma goda besparing i hus som åtgärdas i dag och för att i så fall förklara detta, utvaldes vindsisolering för studier även i Högskoleprojekt II.

I många hus med dåligt injusterade värmesystem är oftast de högst belägna lägenheterna dimensionerande för framlednings-

temperaturen till radiatorerna. Lägre belägna lägenheter tillförs därvid för mycket värme. En vindsisolering kan minska värmebehovet i de högst belägna lägenheterna, vilket möjliggör en temperatursänkning i hela huset.

Åtgärdsgruppen avser tilläggsisolering av vindsbjälklag eller i hus med inredd vindsvåning motsvarande byggnadsdelar, dvs handbjälklag, snedtak och stödbensvägg.

För att få statliga energisparlån för isoleringsåtgärder krävs i en del kommuner att man även injusterar värmesystemet i samband med isoleringen. Åtgärdsgruppen vindsisolering omfattar därför både vindsisolering enbart och vindsisolering i kombination med injustering av värmesystemet.

Den vanligaste tilläggsisoleringen utgörs av mineralull som läggs ovanpå eventuell befintlig vindsbjälklagsisolering. Isoleringen kan utgöras av skivor eller mattor. Ett annat allt vanligare sätt är att spruta ut lösull på vindsbjälklaget. Tilläggsisolering med lösull är speciellt lämpligt vid trånga och svåråtkomliga vindsbjälklag och för insprutning under vindsgolv. Isoleringen förses med ett vindskydd för att undvika luftrörelser som nedsätter isolerfunktionen. Vid isolering med lösull används ej något vindskydd. I stället utökas isolerings tjockleken något för att kompensera frånvaron av vindskydd. För att förhindra fuktskador är det viktigt att sörja för god ventilation av vindsutrymmet, därför anordnas ventilationsspalt vid anslutning mot yttertak.

Energibesparing uppnås genom k-värdesförbättring. En injustering av värmesystemet förväntas medföra en genomsnittlig temperatursänkning på 0.25°C .

4.5 Reglerpaket

Ofta förekommande åtgärder i de åtgärds paket som har studerats är åtgärder som påverkar värmedistribution och värmereglering.

Exempel på sådana åtgärder är installation av termostatventiler och injustering av värmesystemet. Då åtgärds-kombinationen termostatventiler och injustering visade sig relativt vanligt, utvaldes denna åtgärds-kombination, reglerpaket, för undersökningen. En annan anledning till att reglerpaket utvaldes var att resultaten från denna grupp skulle kunna användas vid utvärderingen av gruppen åtgärds-paket, där åtgärderna termostatventiler och injustering var vanligt förekommande.

Förutom grundåtgärderna termostatventiler och injustering, godkändes också åtgärderna installation av motorshunt/reglerutrustning och/eller injustering av ventilationssystemet i de hus som skulle ingå i åtgärdsgruppen. De enskilda åtgärderna beskrivs under avsnitt 4.6, åtgärds-paket.

Injustering av värmesystemet förväntas medföra en genomsnittlig temperatursänkning av 0.25°C . Installation av radiatortermostatventiler förväntas också medföra 0.25°C genomsnittlig temperatursänkning.

4.6 Åtgärds-paket

Att genomföra energisparåtgärder i form av paket, dvs att genomföra flera åtgärder samtidigt, är av stort intresse. En mängd tekniska, ekonomiska och administrativa fördelar kan uppnås genom att genomföra flera åtgärder samtidigt i stället för att genomföra enstaka åtgärder vid olika tillfällen.

Det är viktigt att de åtgärder som genomförs samverkar på ett optimalt sätt. Med samverkan mellan åtgärder avses att det för att uppnå största möjliga energibesparing av vissa åtgärder är nödvändigt att koppla samman dem med andra åtgärder. Som exempel kan nämnas; för att en tilläggsisolering skall kunna ge optimal energibesparing och inte huvudsakligen resultera i en högre innetemperatur, måste den kombineras med injustering av värmesystemet och/eller en temperaturreglering. Det är viktigt att få

den rätta sammansättningen av byggnadstekniska och installationstekniska åtgärder. På grund av det stora intresset för paketstrategin och för att de har en förväntad stor besparing, valdes åtgärdspaket som en av de åtgärdsgrupper som skulle studeras i Högskoleprojekt II.

Reglerna för hur ett åtgärdspaket skulle vara sammansatt för att ingå i denna undersökning har varit följande:

Åtgärdspaketet skulle bestå av minst tre åtgärder. Minst en av dessa skulle vara en större byggnadsteknisk åtgärd ur grupp A nedan. Vidare skulle paketet innehålla minst en större installationsteknisk åtgärd ur grupp B. Den tredje åtgärden fick tas ur någon av grupperna A, B eller C.

Åtgärder som ej fick ingå i ett åtgärdspaket var byte av uppvärmningssystem och användning av omätbart energislag. Installation av elvärme, värmepump eller solvärmeanläggning för uppvärmning av tappvarmvatten godkändes dock (se grupp C).

Åtgärder som ej finns upptagna under grupp A, B eller C godkändes så länge de ej stred mot reglerna ovan.

GRUPP A

- väggisolering
- vindsisolering
- fönsterisolering

GRUPP B

- installation av motorshunt/reglerutrustning
- injustering av värmesystem
- installation av termostatventiler
- byte av pannanläggning

GRUPP C

- källarväggisolering
- golvisolering
- skumning bjälklagskant

- tätningslistor båge-karm
- drevning/tätning karm-vägg
- spjällregulator
- drag- eller differenstrycksregulator
- ventilationsvärmväxlare
- injustering ventilationssystem
- elvattenvärmare
- värmepump endast tappvarmvatten
- solvärme endast tappvarmvatten
- individuell mätning
- automatiserad in- och urkoppling av flera pannor
- byte av oljebrännare

För beskrivning av de större byggnadstekniska åtgärderna (grupp A) hänvisas till respektive åtgärdsgrupp. Nedan följer en beskrivning av de större installationstekniska åtgärderna (grupp B).

Motorshunt och reglerutrustning

Reglerutrustning består av shuntventil, reglercentral och givare. Utrustningen skall automatiskt reglera framledningstemperaturen efter byggnadens värmebehov. Temperaturen på framledningssvattnet regleras med hjälp av shuntventilen i vilken varmt pannvatten blandas med avkyllt returvattnet från radiatorerna till lämplig temperatur. Den motoriserade shunten styrs från en reglercentral. Styrningen sker med utgångspunkt från en reglerkurva och temperaturgivare. Installation av motorshunt förväntas medföra en genomsnittlig temperatursänkning på 1.0⁰C.

I de flesta reglerutrustningar finns en utomhusgivare och en framledningssgivare. I vissa anläggningar används inomhusgivare. I centralen jämförs temperaturerna med värdena enligt den inställda reglerkurvan. För att anläggningen skall fungera på avsett sätt, är det av största betydelse att framledningstemperaturen styrs efter rätt reglerkurva.

De flesta reglercentraler är utrustade med möjlighet till sänkning av temperaturerna under vissa delar av dygnet, t ex nattetid. I vissa större bostadshus delas värmesystemet upp i olika zoner med separat reglering för varje zon. På så sätt kan värmeförseln bättre anpassas till en större byggnads ojämnt fördelade värmebehov.

Injustering av värmesystem

För att ett värmesystem skall fungera på önskat sätt krävs att varje radiator får rätt vattenflöde i förhållande till rummets värmebehov. I ett icke injusterat system kommer radiatorerna närmast pannan att få ett för stort vattenflöde och därmed högre värmeavgivning på bekostnad av de som ligger långt bort från pannan. Ett värmesystem med ojämn värmefördelning måste därför injusteras för att man ska erhålla en jämn temperatur i byggnaden.

Rätt vattenflöde till respektive radiator erhålls genom att radiatorventilen förinställs på ett beräknat värde. Det förekommer att handreglerade radiatorventiler är tröga eller alls inte kan manövreras. Det är i så fall viktigt att ventilerna justeras eller byts. Det är också viktigt att huvudledningarna och stammar injusteras. Åtgärden förväntas göra det möjligt att sänka innetemperaturen med 0.25°C i genomsnitt.

Termostatventiler

Om ett värmesystem är väl injusterat tillförs varje rumsenhet rätt värmemängd för normala driftsfall. Värmebehovet kan emellertid avvika från normalfallet och överskottsvärme kan uppkomma. Det kan finnas flera orsaker till detta. Det vanligaste är att ett rum tillförs värme från t ex solinstrålning, personvärme och olika elapparater. På radiatorer i sådana rum kan man installera termostatventiler för att erhålla bättre komfort och energibesparing. Funktionen hos en termostatventil är den att en

temperaturgivare automatiskt påverkar ventilkägla att öppna eller stänga röret för vattengenomströmning. Ventilen bör installeras så att den är fullt öppen vid normal drift och endast stänger då överskottsvärme uppträder.

Termostatventiler förväntas leda till max 0.25°C temperatursänkning och vara proportionell mot hur stor andel av radiatorerna som förses med termostatventiler.

Utbyte av panna och brännare

En byggnads värmeanläggning skall vara dimensionerad för dess värmebehov. Detta är en grundläggande förutsättning för att den tillförda energin på ett effektivt sätt skall tillgodogöras i byggnaden. Genom att byta till effektivare panna och/eller brännare kan man erhålla högre verkningsgrad i anläggningen och en bättre anpassning till byggnadens energibehov och därmed en betydande energibesparing. Efter genomförda energisparåtgärder är det viktigt att anpassa pannanläggningen till det nya värmebehovet.

De primära delarna i en oljeeldad värmeanläggning består av brännaren, där oljan antänds och värme bildas, pannan där den från brännaren levererade värmeenergin upptas och skorstenen där rökgaserna evakueras till uteluften.

Det är viktigt att panna, brännare och skorsten är väl anpassade till varandra och till byggnadens värmebehov. För att erhålla en god verkningsgrad måste belastningen på värmeanläggningen vara hög. Vidare är ett kontinuerligt underhåll av anläggningen viktig. Belastningen och därmed verkningsgraden på en anläggning varierar i hög grad under året. Byte av oljebrännare beräknas förbättra verkningsgraden fem procentenheter.

4.7 Elkonvertering

Höga kostnader för eldningsolja och önskemålen att minska oljeberoendet och kostnadsökningen för eldningsolja har gjort att övergång från olja till el för uppvärmning av småhus har varit intressant både för myndigheterna och för de enskilda husägarna. När statligt energisparstöd infördes för konvertering till el 1981 blev den därför mycket vanlig och var tidvis den helt dominerande energisparåtgärden för småhus. Även efter 1982 har frekvensen varit hög i vissa kommuner och landsdelar, t ex i de nordligaste länen.

Energibesparing vid övergång från oljeeldning till eluppvärmning av vattenburet system förväntas ske genom förbättring av verkningsgraden, vilken kan åstadkommas genom att en del förluster minskar. I en oljeeldad anläggning uppstår förluster vid förbränning av oljan, dessutom leds energi bort med rökgaserna. Eftersom man vet att många oljeeldade anläggningar i småhus har relativt dålig verkningsgrad, bör konvertering till el i detta sammanhang ha en inte försumbar sparpotential. Elkonverteringen kan ske genom installation av elpatroner i befintlig panna, av elkasset (ofta i anslutning till befintlig panna) eller av ny elpanna. I det senare fallet kan elpannan ersätta den gamla oljepannan eller installeras i kombination med denna.

Årsverkningsgraden hos oljeeldade anläggningar i småhus brukar antagas vara 0.70-0.80. Verkningsgraden hos elvärmda, vattenburna system kan förutsättas ligga mellan 0.90-0.95 när också alla genomströmningsförluster medräknats. Mot den bakgrunden bör besparingen vara 10-25 procent vid övergång från olja till el i småhus, under förutsättning att erforderliga tätningar av skorstenen gjorts så att man inte får onödiga värmeförluster. I denna undersökning har vi antagit och studerat verkningsgrader enligt Tabell 3.4.

4.8 Fjärrvärmeanslutning

I många kommuner har utbyggnad av fjärrvärmenäten medfört övergång från olja till fjärrvärme i stora delar av flerbostadshusbestånden. Statligt energisparstöd infördes redan 1974. Intresset för övergång till fjärrvärme har också varit beroende av de taxor som tillämpats av de olika energiverken. Man har i många fall med taxepolitiken styrt fastighetsägarna till installation av fjärrvärme.

Energibesparingen vid övergång från individuella oljeeldade anläggningar/oljepannor till fjärrvärmeanslutning är svår att bestämma totalt. Denna undersökning omfattar endast bestämning av den minskade förbrukning av mätbar energi som uppstår i huset genom att de direkta förlusterna vid oljeeldningen försvinner. Förluster finns i fjärrvärmenäten och förluster uppstår vid förbränningen i värmeverken. En viktig skillnad mellan individuella oljeeldade pannanläggningar och fjärrvärmeanläggningar är de bränsleslag som kan utnyttjas. I fjärrvärmeanläggningarna används ofta tjockolja och fasta bränslen inklusive sopor. Det senare ger oljereduktion jämfört med om individuella oljepannor används. Man kan dessutom i värmeverken på ett optimalt sätt använda värmepumpar och billig el. För den enskilde fastighetsägaren innebär övergång till fjärrvärme minskad energiförbrukning mätt i tillförda kilowattimmar och vanligen innebär den minskade kostnader för honom. För samhället innebär fjärrvärmealternativet en möjlighet till styrning mot önskat bränsleslag och totalt sett kan man förvänta en minskad bruttoenergiförbrukning genom ökad total verkningsgrad.

Vid övergång till fjärrvärme installeras värmeväxlare för överföring av energi i fjärrvärmenätet till det enskilda husets system. Både uppvärmningsenergi och varmvattensenergi erhålls från fjärrvärmenätet. Den gamla oljepannan demonteras. Ofta sker övergången till fjärrvärme när den befintliga oljepannan har tjänat ut.

Om man förutsätter att årsverkningsgraden i en pannanläggning till ett flerbostadshus är 0.75-0.85 och att fjärrvärmealternativet i huset har verkningsgraden 0.95, blir minskningen i mätbara kilowattimmar i huset 10-20 procent. De faktorer som kan tänkas påverka besparingen sammanfaller i stort med de som angivits vid elkonvertering i småhus. I denna undersökning har vi studerat verkningsgrader enligt Tabell 3.4.

4.9 Värmepumpsinstallation

Installation av värmepumpar för uppvärmning, var jämte elkonvertering den klart dominerande energisparåtgärden i småhus i början av 80-talet. För att erhålla energisparstöd för värmepumpsinstallation, krävdes att pumpen hade en viss värmefaktor. Enligt tillverkarna ger värmepumpsinstallationer stora besparingar. För att försöka belägga dessa besparingar och för att åtgärden var mycket vanlig vid projektets start, var värmepumpsinstallation en självklar åtgärd att studera i Högskoleprojekt II.

I undersökningen ingår värmepumpsinstallation både i småhus och i flerbostadshus. Endast värmepumpar som är avsedda att svara för hela eller större delen av husets uppvärmning ingår. Frånluftsvärmepumpar ingår inte i denna åtgärdsgrupp, men kan ingå i åtgärds paket, se avsnitt 4.6.

Följande gruppindelning har gjorts:

- grundvattenvärmepump
- ytjordvärmepump
- uteluftvärmepump

Om husets värmebehov, vid stor klimatbelastning, överstiger värmepumpens kapacitet måste någon form av tillsatsvärme inkopplas. Detta kan ske antingen med i värmepumpen inbyggda elpatroner, eller genom att husets befintliga uppvärmningsanläggning, vanligtvis en oljepanna, inkopplas. Det extra värmetillskottet

kan kopplas in antingen manuellt eller med hjälp av reglerautomatik. Varianter med separat varmvattenberedare kan förekomma.

I den mån reglerutrustning installerats i samband med värmepumpen, räknas den inte som en separat energisparåtgärd.

5 ENERGIBESPARINGAR

5.1 Inledning

I detta kapitel redovisas genomsnittliga uppmätta och förväntade energibesparingar för grupper av hus som åtgärdats på ett likartat sätt.

De uppmätta besparingarna baseras på mätningar medan de förväntade besparingarna baseras på byggnads- och installations-tekniska uppgifter från besiktningar. Arbetsgången vid beräkningarna beskrivs i kapitel 3 och illustreras i Appendix E och F.

Mätresultaten kan antas ge säkrare information om de faktiska besparingarna än de förväntade resultaten. Förväntade besparingar bildar ofta underlag för beslut om vilka åtgärder som skall genomföras. Det är därför av intresse att studera i vilken utsträckning som förväntad besparing uppnås.

5.2 Tekniska egenskaper hos de studerade småhusenSmåhusens ålder

Tabell 5.1 Antal småhus efter ålder och åtgärdsgrupp

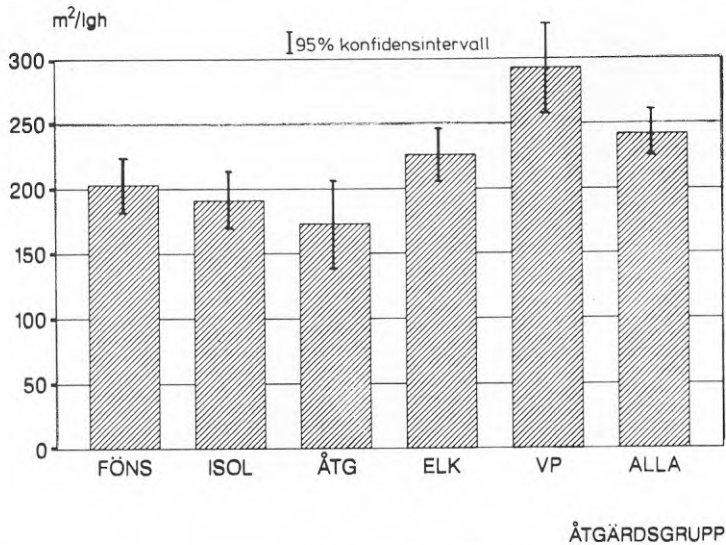
Åtgärd	Byggnadsår			Summa
	-1940	1941-60	1961-75	
Fönsterisolering	3	9	7	19
Isoleråtgärd	10	15	4	29
Åtgärdspaket	1	2	1	4
Elkonvertering	13	11	11	35
Värmepump	22	9	28	59
Alla småhus	49	46	51	146

Av Tabell 5.1 framgår att småhusen är relativt jämnt fördelade över åldersgrupperna. Isolering har dock huvudsakligen genomförts i äldre småhus. Fönsterisolering har utförts i överraskande många nya hus.

Småhusens våningsyta

Våningsytan, som redovisas i Figur 5.1, är den horisontella area som begränsas av omgivande ytterväggars utsidor. Ytan inkluderar både uppvärmd och icke uppvärmd våningsyta. Den benämns total våningsyta och motsvarar begreppet bruttoarea i svensk standard.

Det kan vara värt att uppmärksamma att total våningsyta är större - i några fall väsentligt större - än den yta som är uppvärmd till minst 18°C. Eftersom annan energistatistik ofta hänför sig till någon typ av uppvärmd yta kan energivärdena i denna rapport inte utan vidare jämföras med andra undersökningar. En genomsnittlig omräkningsfaktor, från total våningsyta till uppvärmd yta, är för småhusen i denna undersökning 0.86.



Figur 5.1 Genomsnittlig total våningsyta i småhusen efter åtgärdsgrupp¹⁾.

De hus där värmepumpar installerats är klart större än husen i övriga grupper. Även husen i elkonverteringsgruppen är relativt stora.

- 1) I figurerna 5.1-5.10 har följande förkortningar för åtgärdsgrupperna används.

FÖNS = Fönsterisolering

ISOL = Isoleråtgärder

VIND = Vindsisolering

REGL = Reglerpaket

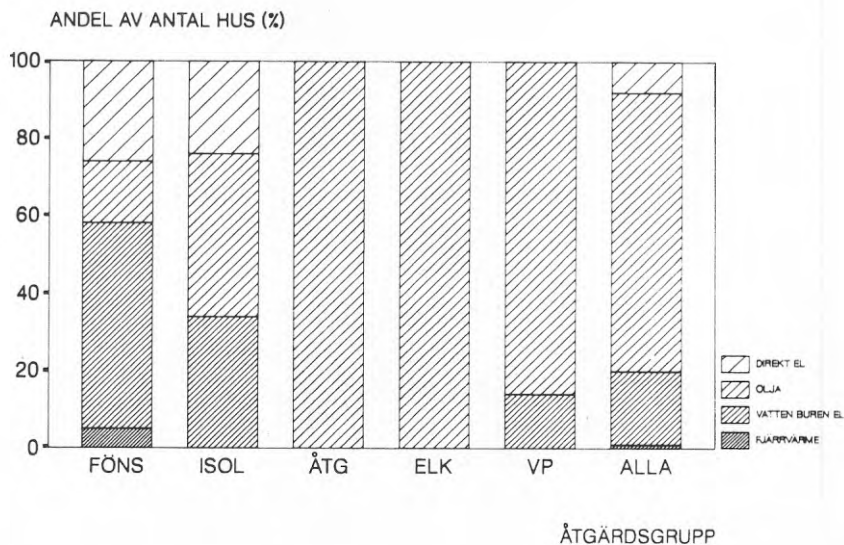
ATG = Åtgärdspaket

ELK = Elkonvertering

FV = Fjärrvärmeanslutning

VP = Värmepumpsinstallation

ALLA = Alla småhus eller alla flerbostadshus

Småhusens uppvärmning

Figur 5.2 Uppvärmningssätt före åtgärd i småhusen efter åtgärdsgrupp.

Uppvärmningssystemens fördelning inom åtgärdsgrupperna framgår av Figur 5.2.

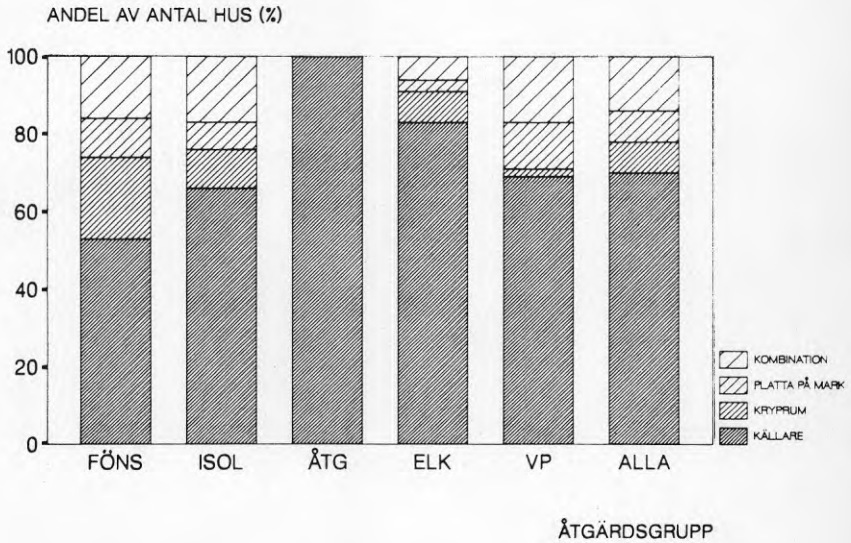
Byte av uppvärmningssystem sker nästan uteslutande i hus med oljevärm. Eftersom två av åtgärdsgrupperna är grupper där byte av uppvärmningssystem genomfördes, nämligen elkonvertering och värmepumpsinstallation, är det stor skillnad i uppvärmningssätten i de olika åtgärdsgrupperna. Man kan dock notera att åtta av de 59 husen i värmepumpsgruppen var elvärmda före åtgärd. De 4 hus där åtgärds paket genomförts är oljevärmda.

Småhusens ventilation

Småhusen är med sex undantag självdragsventilerade. Undantagen utgörs av fem frånluftsventilerade och ett från- och tilluftsventilerat hus. Detta överensstämmer väl med förväntade förhållanden eftersom mekanisk ventilation i småhus företrädesvis finns i nya hus.

Småhusens grundläggning

Grundläggningssättens fördelning inom åtgärdsgrupperna framgår av Figur 5.3.

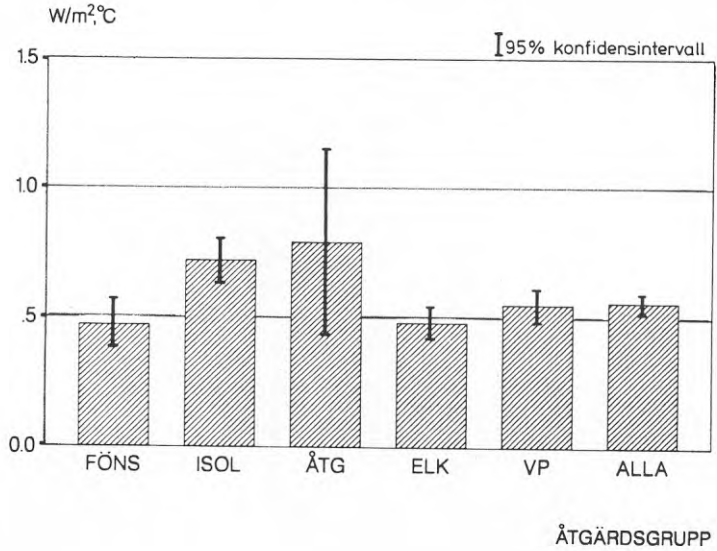


Figur 5.3 Grundläggningssätt i småhusen efter åtgärdsgrupp.

Källargrundläggning är vanligast och förekommer i ca 70 procent av husen. Kryprum och platta på mark förekommer i mindre än 10 procent vardera.

Småhusens k-värde för ytterväggar

Det beräknade genomsnittliga k-värdet för ytterväggar i respektive åtgärdsgrupp redovisas i Figur 5.4.

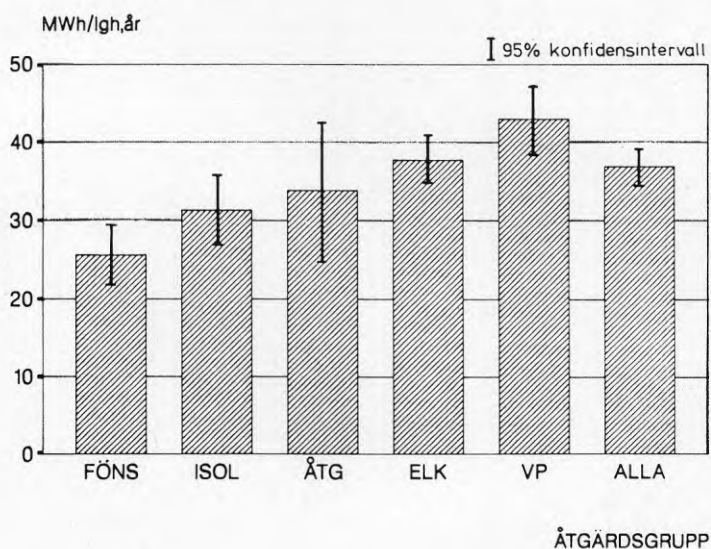


Figur 5.4 Genomsnittligt k-värde för ytterväggar före åtgärd i småhusen efter åtgärdsgrupp.

Åtgärdsgrupperna isoleråtgärder och åtgärds paket (endast fyra hus) har högre k-värden för ytterväggar än övriga åtgärdsgrupper. Värdena i övriga grupper är av storleksordningen $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, vilket visar att husen haft relativt god isolerstandard före åtgärd.

Småhusens energiförbrukning

De redovisade energiförbrukningarna för uppvärmning och varmvatten i Figur 5.5 är beräknade för aktuellt uppvärmningssätt. Korrigering har ej gjorts för skillnader i verkningsgrad för olika uppvärmningssystem. I t ex elvärmda hus är verkningsgraden högre än i oljevermda hus. Detta betyder att bruttonivåer och besparingar blir lägre för elvärmda hus än för oljevermda hus om allting annat är lika.



Figur 5.5 Genomsnittlig energiförbrukning (brutto) under normalår före åtgärd i småhusen efter åtgärdsgrupp.

Föreförbrukningen skiljer sig mycket mellan olika åtgärdsgrupper. Detta beror bl a på att fördelningen av uppvärmningssystemen är olika för de olika åtgärdsgrupperna. Värmepumpsgruppen där 86 % av husen uppvärmdes med olja före åtgärd hade i genomsnitt en förbrukning före åtgärd på 43.0 MWh/lgh,år. I fönsterisoleringsgruppen i vilken 79 % av husen var elvärmda var den genomsnittliga förbrukningen bara 25.6 MWh/lgh,år. Med undantag för fönstergruppen är föreförbrukningen högre än 30 MWh/lgh,år vilket är relativt höga värden och visar att energihushållningsåtgärder varit mycket angelägna.

Småhusens innetemperatur

Innetemperaturen i småhusen var före åtgärd 20.4 med standardavvikelsen 1.3⁰C. Någon skillnad mellan olika åtgärdsgrupper är ej märkbar.

5.3 Tekniska egenskaper hos de studerade flerbostadshusenFlerbostadshusens ålder

Tabell 5.2 Antal flerbostadshus efter ålder och åtgärdsgrupp.

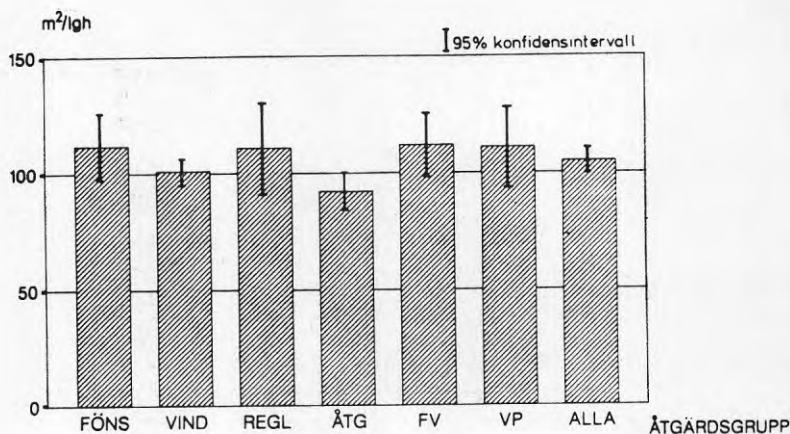
Åtgärd	Byggnadsår			Summa
	-1940	1941-60	1961-75	
Fönsterisolering	4	5	18	27
Vindsisolering	5	13	11	29
Reglerpaket	9	10	-	19
Åtgärdspaket	15	17	7	39
Fjärrvärme	11	9	6	26
Värmepump	13	5	2	20
Alla flerbostadshus	57	59	44	160

Totalt sett är andelen nya hus mindre än andelen äldre i de olika åldersgrupperna. Det är dock stor skillnad i fördelning inom åtgärdsgrupperna. Förhållandevis många nya hus har bytt till treglasfönster medan nya hus inte alls förekommer i reglerpaketgruppen. Åtgärdspaket har också utförts företrädesvis på äldre hus medan vindsisolering utförts även i relativt nya hus.

Flerbostadshusens våningsyta

Våningsytan per lägenhet i Figur 5.6 är den yta som begränsas av omgivande ytterväggars utsidor dividerat med antal lägenheter. Både uppvärmd och icke uppvärmd yta ingår. I denna rapport benämns denna yta total våningsyta vilket motsvarar begreppet bruttoarea i svensk standard.

Det kan vara värt att notera att den här beräknade ytan är större - i några fall väsentligt större - än t ex uppvärmd yta, minst 18°C. Eftersom annan energistatistik ofta hänför sig till någon typ av uppvärmd yta kan energivärdena i denna rapport inte utan vidare jämföras med andra undersökningar. En genomsnittlig omräkningsfaktor, mellan uppvärmd yta och total våningsyta, är för flerbostadshusen i denna undersökning 0.88.



Figur 5.6 Genomsnittlig total våningsyta i flerbostadshusen efter åtgärdsgrupp.

Den totala våningsytan utslagen per lägenhet är ungefär lika stor i fyra av grupperna eller ca 112 m². För gruppen åtgärds paket är ytan betydligt mindre eller ca 92 m². Den åtgärdsgruppen har en relativt sett större andel äldre hus.

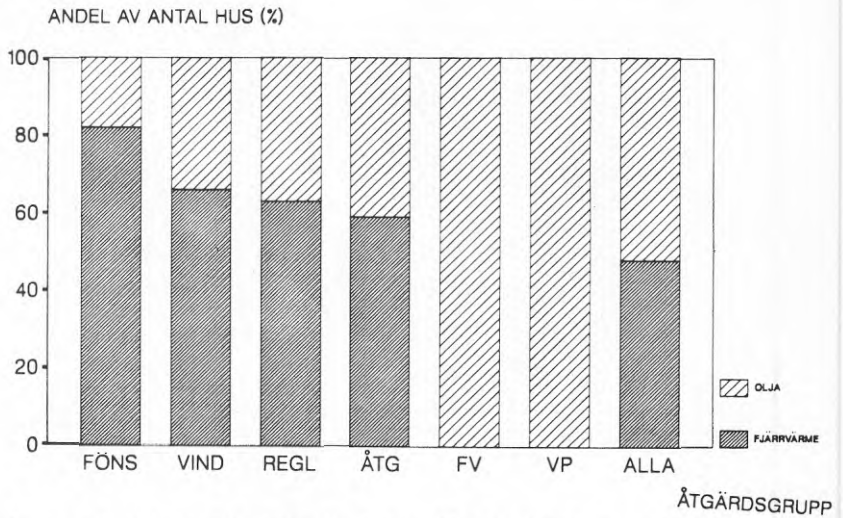
Antal lägenheter i flerbostadshusen

Tabell 5.3 Genomsnittligt antal lägenheter i flerbostadshusen efter åtgärdsgrupp.

	Föns- ter	Vinds- isol	Regler- paket	Åtgärds- paket	Fjärr- värme	Värme- pump	Alla fler- bostads- hus
Antal lgh/hus	51	57	46	40	45	26	45

Flerbostadshusens uppvärmning

Uppvärmningssystemens fördelning inom åtgärdsgrupperna framgår av Figur 5.7.

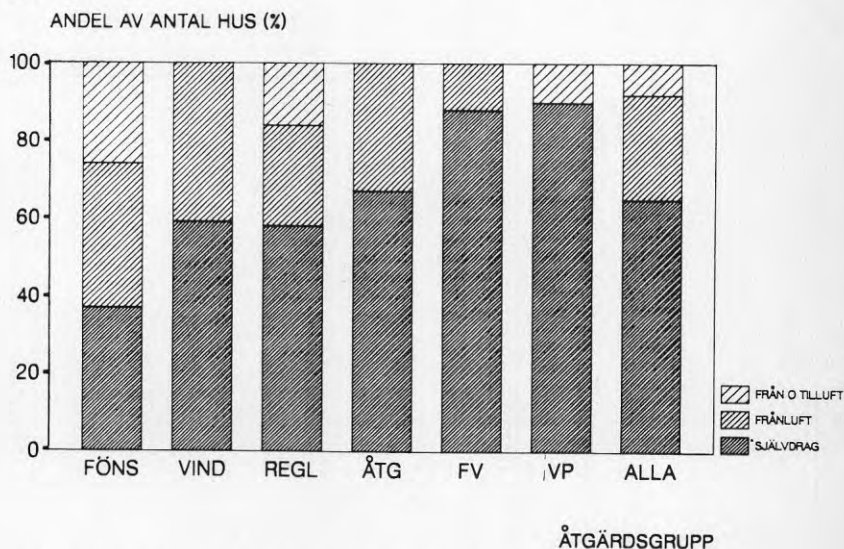


Figur 5.7 Uppvärmningssätt före åtgärd i flerbostadshusen efter åtgärdsgrupp.

Flerbostadshusen var antingen olje- eller fjärrvärmevermda. I de grupper där byte av uppvärmningssystem genomfördes (fjärrvärmeanslutning, värmepumpsinstallation) var samtliga hus oljevärmda före åtgärd. I övriga grupper var fjärrvärmevermda vanligare än oljevärme.

Flerbostadshusens ventilation

Ventilationssystemens fördelning inom åtgärdsgrupperna framgår av Figur 5.8.



Figur 5.8 Ventilationssystem i flerbostadshusen efter åtgärdsgrupp.

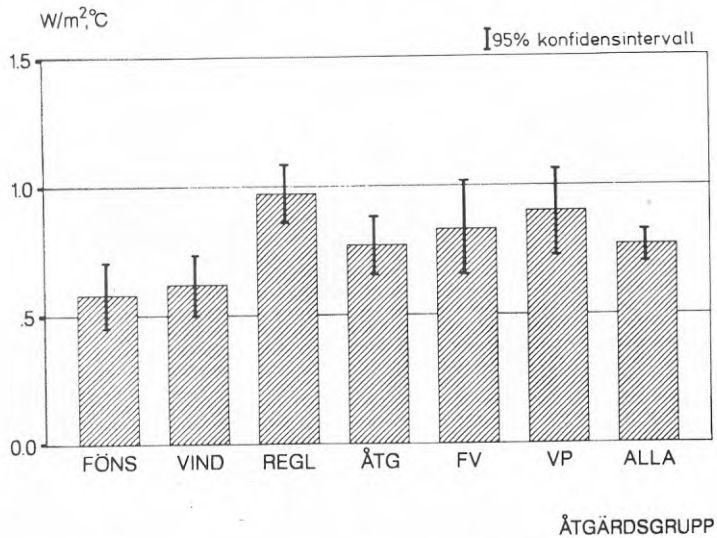
De flesta flerbostadshus är självdraagsventilerade. Ca 1/3 av husen har mekanisk ventilation. Endast en mindre andel av husen har både från- och tilluftssystem.

Flerbostadshusens grundläggning

Grundläggningssättet för flerbostadshusen är till 88 procent källare. Resterande är kryprum (1 st), platta på mark (8 st) eller kombinationer av olika grundläggningssätt (10 st).

Flerbostadshusens k-värde för ytterväggar

Det beräknade genomsnittliga k-värdet för ytterväggar i respektive åtgärdsgrupp redovisas i Figur 5.9.

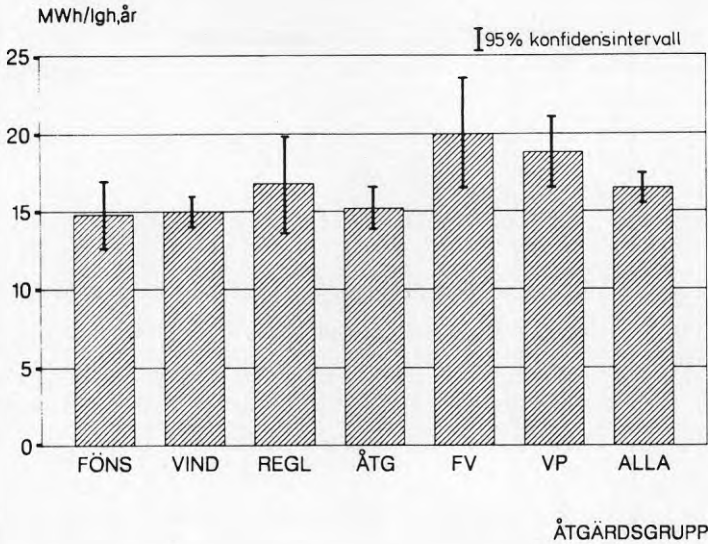


Figur 5.9 Genomsnittligt k-värde före åtgärd för ytterväggar i flerbostadshusen efter åtgärdsgrupp.

De hus där fönstren åtgärdats hade det lägsta genomsnittliga k-värdet för väggar före åtgärd eller ca $0.59 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. I reglerpaketgruppen var k-värdet ungefär 60 procent högre eller ca $0.96 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. I jämförelse med småhus har de åtgärdade flerbostadshusen haft väsentligt sämre isolerstandard.

Flerbostadshusens energiförbrukning

Energiförbrukningarna för uppvärmning och varmvatten i Figur 5.10 är beräknade för aktuellt uppvärmningssätt. Korrigering har gjorts för skillnader i verkningsgrad för olika uppvärmningssystem.



Figur 5.10 Genomsnittlig energiförbrukning (brutto) under normalår före åtgärd i flerbostadshusen efter åtgärdsgrupp.

Husen i de åtgärdsgrupper som bytte uppvärmningssystem (fjärrvärme och värmepumpar) hade den högsta energiförbrukningen före åtgärd. En orsak till detta är att korrigering ej gjorts för skillnader i verkningsgrad för olika uppvärmningssystem. Därför erhöles de största energiförbrukningarna i dessa båda grupper, där samtliga hus var oljevärmda före åtgärd.

Flerbostadshusens innetemperatur

Den genomsnittliga innetemperaturen före åtgärd var högst i fönsterisoleringsgruppen med 22.1°C och lägst i värmepumpsgruppen med 21.4°C . I övriga grupper var innetemperaturen 21.8 - 21.9°C . Standardavvikelsen var mellan 0.8°C och 1.3°C för olika grupper. Innetemperaturen för alla flerbostadshus var 21.8°C med standardavvikelsen 1.1°C .

Innetemperaturuppgifterna baseras på mätning i en lägenhet per hus. Kompletterande korttidsmätningar har gjorts i ytterligare tre lägenheter i drygt hälften av flerbostadshusen. Mätningarna visar ingen skillnad mellan mätlägenhetens temperatur och medelvärdet av temperaturerna i de tre lägenheterna där korttidsmätningar gjorts.

5.4 Fönsterisolering i småhus

Fönsterisolering har genomförts i nitton småhus. Tio av husen finns i Umeå/Luleå, tre i Göteborg och sex i Lund.

I åtgärdsgruppen ingår byte eller komplettering till treglasfönster med olika konstruktionslösningar.

Den gamla tvåglaskonstruktionen har bytts ut till en treglas-konstruktion i 17 av de 19 småhusen. I 90 procent av dessa valdes att byta till treglas isolerruta. I två hus har tvåglasfönstren kompletterats med en tredje glasruta.

Byte till treglasfönster beräknas minska förväntad energiförbrukning proportionellt mot k-värdesförändringen. Dessutom antas en temperatursänkning kunna ske med 0.5°C med bibehållen komfort. Byte till treglasfönster antas också, liksom tätning av fönster, minska luftomsättningen med 0.05 omsättningar per timme i självdragsventilerade hus.

Flertalet hus är byggda efter 1940.

Den totala våningsytan är i genomsnitt 203 m^2 .

Elvärme (vattenburen el eller direktel) används i 79 procent av husen. Samtliga hus är självdragsventilerade. Källare är det vanligaste grundläggningssättet. Det genomsnittliga k-värdet för ytterväggarna i gruppen är $0.46 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Den totala fönsterarean per lägenhet är i genomsnitt 23.3 m². Därav har 88 procent konverterats till treglasfönster. Alla husen hade 2-glas kopplade fönster före åtgärden.

Åtgärdad fönsterarea inkluderar karm och båge, dvs fönsterarea avser karmyttermått. Åtgärdad fönsterarea utgör omkring 11 procent uppvärmd yta, vilket är ungefär detsamma som i HI där motsvarande värde var 10 procent.

Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och energibesparingar redovisas i Tabell 5.4. Uppmätta och standardiserade innetemperaturer redovisas i Tabell 5.5.

Tabell 5.4 Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar för 19 fönsterisolerade småhus.¹⁾ Standardavvikelser anges inom (). 95-procentigt konfidensintervall och procentuell besparing för gruppen redovisas också.

	Uppmätt MWh/lgh,år	Förväntat MWh/lgh,år
Energiförbrukning, före	25.6 (8.1)	27.5 (6.5)
Energiförbrukning, efter	24.0 (6.8)	24.8 (6.1)
Energibesparing	1.6 (2.4)	2.7 (0.8)
Energibesparing, 95%- konfidensintervall	0.5-2.7	2.3-3.1
Energibesparing i procent av föreförbrukningen	6	10

Resultaten i vänstra kolumnen är baserade på uppmätt energiförbrukning och innetemperatur. Resultaten i högra kolumnen är baserade på besiktningssuppgifter och antagen standardiserad innetemperatur.

1) Här avses "Genomsnittliga uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar" för de 19 husen. Även i fortsättningen kommer ordet "genomsnittlig" att ofta utelämnas vid redovisning av förbrukningar, innetemperaturer, besparingar etc. för grupper av hus.

Tabell 5.5 Uppmätt och standardiserad innetemperatur före och efter åtgärd för 19 fönsterisolerade småhus. Standardavvikelser anges inom ().

	Före åtgärd °C	Efter åtgärd °C	Ändring °C
Uppmätt innetemperatur	20.9 (1.3)	20.8 (1.3)	-0.1 (0.8)
Standardiserad innetemperatur	20.4 (0.0)	19.9 (0.0)	-0.5 (0.0)

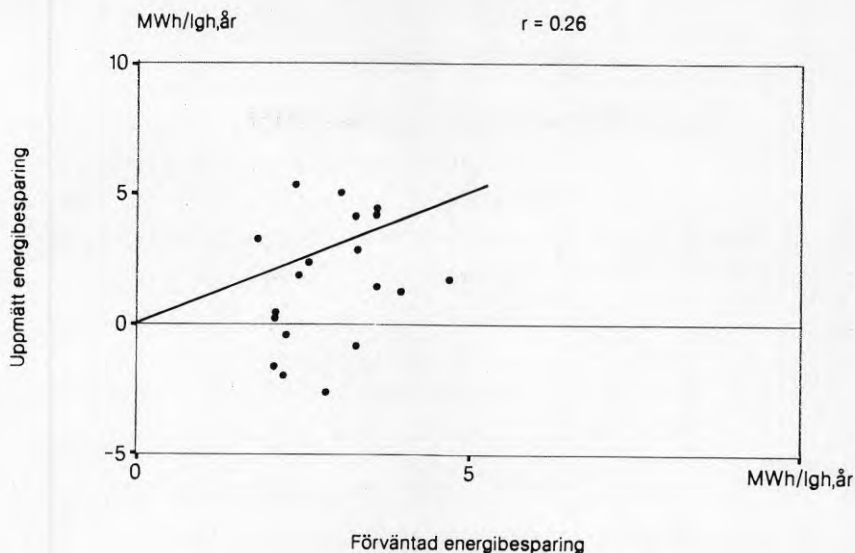
Den uppmätta energiförbrukningen före åtgärd var i genomsnitt 25.6 MWh/lgh,år med standardavvikelsen 8.1 MWh/lgh,år. Den förväntade föreförbrukningen är något högre eller 27.5 MWh/lgh,år i genomsnitt med standardavvikelsen 6.5 MWh/lgh,år.

Den uppmätta besparingen är statistiskt säkerställd och uppgår till sex procent av föreförbrukningen.¹⁾ Det 95-procentiga konfidensintervallet är 0.5-2.7 MWh/lgh,år.

Den uppmätta besparingen är lägre än den förväntade, 1.6 MWh/lgh,år mot 2.7 MWh/lgh,år. En förklaring till att förväntad besparing inte uppnås kan vara att innetemperaturen inte sänkts så mycket som förväntats i samband med åtgärden. Standardavvikelsen är avsevärt större för den uppmätta besparingen jämfört med den förväntade, 2.4 MWh/lgh,år mot 0.8 MWh/lgh,år.

Sambandet mellan uppmätt och förväntad besparing är dåligt även för enskilda hus ($r=0.26$), vilket framgår av Figur 5.11.

1) Med statistiskt säkerställd besparing menas att besparingen är statistiskt skild från 0. Besparingen är därvid så stor att den knappast kan ha erhållits på grund av inverkan av slumpen. Konfidensintervallet för besparingen täcker inte 0-punkten i dessa fall.



Figur 5.11 Sambandet mellan uppmätt och förväntad besparing i 19 fönsterisolerade småhus.

Hus med hög föreförbrukning har en högre procentuell besparing än hus med låg föreförbrukning. I de fem hus där energibesparingen uteblivit var föreförbrukningen låg, dessutom har innetemperaturen höjts i tre av dessa hus. Det har visat sig att hus som har radiatortermostatventiler har en högre besparing än hus med manuella radiatorventiler. Någon skillnad i besparingsresultat kan inte märkas mellan hus där man försökt anpassa reglerkurvan till husets nya värmebehov och hus där man inte försökt göra detta.

Uppgifter om kostnader för åtgärderna finns för samtliga 19 fönsterisolerade småhus. Sex husägare har gjort arbetet själva. Besparingskostnaden är för de 19 husen i genomsnitt 61 öre/kWh med standardavvikelsen 86 öre/kWh.

5.5 Isoleråtgärder i småhus

I gruppen isoleråtgärder ingår 29 småhus. Sju av husen finns i Umeå/Luleå, sex i Stockholm och åtta vardera i Göteborg och Lund. Gruppen innehåller hus där såväl enstaka isoleråtgärder utförts som olika kombinationer av isoleråtgärder utförts. Husen har därför indelats i följande undergrupper:

grupp 1	enstaka isoleråtgärder (vägg, vind eller tätning)	6 hus
grupp 2	kombination av vägg och vind	5 hus
grupp 3	kombination av vägg och treglasfönster	8 hus
grupp 4	kombination av vägg, treglasfönster och vind	5 hus
grupp 5	övriga	5 hus

I grupp 1 ingår ett hus där endast fönstren har tätats. Grupp 5 består av tre hus där vindsbjälklagen tilläggsisolerats och treglasfönster satts in samt två hus där flera isoleråtgärder har utförts.

Isoleråtgärderna beräknas minska förväntad energiförbrukning proportionellt mot k-värdesförändringen. Tilläggsisolering av fönster antas också göra det möjligt att sänka innetemperaturen med 0.5°C med bibehållen komfort. Detsamma gäller tilläggsisolering av yttervägg om k-värdet före åtgärd är större än $0.6 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ytterväggsisolering, byte till treglasfönster samt tätning av fönster antas minska luftomsättningen med 0.05 omsättningar/timme i självdragsventilerade hus.

Hälften av husen är byggda 1941-1960.

Den totala våningsytan är i genomsnitt 191 m^2 .

Sju hus är direktelvärmade medan resten är jämnt fördelade på oljevärme och vattenburen elvärme. Självdragsventilation är dominerande. Endast ett hus har mekanisk frånluftsventilation.

Två tredjedelar av husen har källare. Övriga har kryppgrund, platta på mark eller kombinationer av olika grundläggningssystem.

Ytterväggarna i de hus som tilläggsisolerades hade före åtgärd ett genomsnittligt k-värde för vägg på $0.69 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Detta kan jämföras med $0.53 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ för alla 146 småhusen i undersökningen. Motsvarande siffror för vindbjälklag är $0.41 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ för de hus där vindbjälklagen tilläggsisolerats och $0.32 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ för alla småhusen.

Isoleringsåtgärder har således som väntat gjorts på relativt sett dåligt isolerade hus.

Efter åtgärd hade k-värdena för väggar minskats till $0.32 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ och för vindbjälklag till $0.15 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket för väggar är något sämre än nybyggnadskraven i södra Sverige och för vindbjälklag t o m är bättre än kraven i norra Sverige.

Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och -besparingar redovisas i Tabell 5.6. Uppmätta och standardiserade innetemperaturer redovisas i Tabell 5.7.

Tabell 5.6 Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar för 29 isoleratgärdade småhus (MWh/lgh,år). Standardavvikelser anges inom ().

	Uppmätt MWh/lgh,år	Förväntat MWh/lgh,år
Energiförbrukning, före	31.3 (11.9)	33.2 (10.4)
Energiförbrukning, efter	25.3 (9.8)	24.9 (8.6)
Energibesparing	6.0 (5.6)	8.3 (5.4)
Energibesparing 95%-konfidensintervall	3.9-8.1	6.3-10.3
Energibesparing i pro- cent av föreförbrukning	19	25

Tabell 5.7 Uppmätt och standardiserad innetemperatur, före och efter åtgärd, för 29 isoleratgärdade småhus. Standardavvikelser anges inom ().

	Före åtgärd °C	Efter åtgärd °C	Ändring °C
Uppmätt innetemperatur	20.2 (1.2)	20.4(1.2)	0.2 (0.7)
Standardiserad innetemperatur	20.4 (0.0)	19.8 (0.3)	-0.6 (0.3)

Energiförbrukningen före åtgärd för gruppen var 31.3 MWh/lgh,år med en standardavvikelse på 11.9 MWh/lgh,år.

Den uppmätta föreförbrukningen är något lägre än den förväntade.

Den uppmätta besparingen är statistiskt säkerställd och uppgår till 19 % av föreförbrukningen. Det 95-procentiga konfidensintervallet är 6.0 ± 2.1 MWh/lgh,år.

Den uppmätta besparingen, 6.0 MWh/lgh,år är emellertid klart mindre än den förväntade besparingen 8.3 MWh/lgh,år. En anledning till detta kan vara att antagandet om temperatursänkning var alltför optimistisk. Av Tabell 5.7 framgår att innetemperaturen ökade med 0.2°C i genomsnitt efter isoleringarna, att jämföras med en förväntad temperatursänkning av 0.6°C .

Det visar sig något överraskande att besparingen är störst i de hus där innetemperaturen höjts. Sjuttio procent av husen har en högre innetemperatur efter åtgärd.

Att innetemperaturen höjts kan bero på att husen före åtgärd var så dåliga att önskad temperatur inte kunnat hållas av tekniska eller ekonomiska skäl.

Sambandet mellan uppmätt och förväntad besparing för enskilda hus är inte heller speciellt god. Korrelationen är inte större än 0.59.

Den procentuella uppmätta besparingen för de olika undergrupperna blev följande:

grupp 1	6 hus	15 %
grupp 2	5 (4) hus	15 % (25 %)
grupp 3	8 (7) hus	16 % (18 %)
grupp 4	5 hus	25 %
grupp 5	5 hus	27 %

Eftersom få hus ingår i respektive undergrupp är resultaten osäkra för dessa. Vissa tendenser kan dock skönjas:

Besparingen är större i grupper där många åtgärder genomförts, vilket är rimligt.

I grupp 2 ingår ett hus med 17 procents ökad förbrukning. Om detta hus exkluderas blir gruppens besparing 25 procent. I grupp 3 ingår ett hus som enligt mätningarna ökat sin förbrukning med 14 procent. Om detta hus exkluderas blir den genomsnittliga besparingen för gruppen 18 procent. Dessa siffror står inom parentes i tabellen ovan. Vi har dock vid extra kontroller inte funnit några felaktigheter i mätdata för dessa två hus som ökade energiförbrukningen.

I övrigt gäller att de hus som före åtgärd hade högst förbrukning är också de som uppnått störst procentuell besparing.

Uppgifter om kostnader för åtgärderna finns för 28 av de 29 isoleråtgärdade husen. Sju husägare har själva utfört arbetet. Besparingskostnaden är för 28 hus i genomsnitt 52 öre/kWh med standardavvikelsen 44 öre/kWh.

5.6 Åtgärds paket i småhus

När undersökningen skulle genomföras visade det sig att åtgärds paket utfördes i småhus i långt mindre utsträckning än vad som framkom vid de inventeringar som föregick undersökningen. Föremätningar genomfördes därför endast i sex småhus. I två av husen genomfördes sedan aldrig åtgärderna. Resultat föreligger därför endast från fyra småhus. Husen finns i Stockholm. Antalet hus är för litet för att man ska kunna dra några generella slutsatser. Minskningen av energiförbrukningen med 26 % tyder på att åtgärds paket kan vara en korrekt och bra åtgärd.

Tabell 5.8 Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparing för 4 småhus där åtgärds paket utförts (MWh/lgh, år). Standardavvikelser anges inom ().

	Uppmätt MWh/lgh, år	Förväntat MWh/lgh, år
Energiförbrukning, före	33.5 (6.4)	35.6 (7.2)
Energiförbrukning, efter	24.7 (1.6)	25.8 (6.9)
Energibesparing	8.8 (5.2)	9.8 (10.8)
Energibesparing i procent av föreför- brukning	26	28

Tabell 5.9 Uppmätt och standardiserad innetemperatur före och efter åtgärd för 4 småhus där åtgärds paket utförts. Standardavvikelser anges inom ().

	Före åtgärd °C	Efter åtgärd °C	Ändring °C
Uppmätt inne- temperatur	20.9 (1.4)	19.4 (1.1)	-1.5 (1.5)
Standardiserad innetemperatur	20.4 (0.0)	19.6 (0.4)	-0.8 (0.4)

5.7 Elkonvertering i småhus

Elkonvertering har genomförts i 35 småhus. Elva av småhusen finns i Göteborg och övriga i Umeå/Luleå.

I 17 av de 35 husen har elpanna installerats, i 15 hus elkassett och i 3 hus elpatron. I vissa av husen har också ny reglerutrustning installerats.

Den besparing som elkonvertering förväntas ge beror på att verkningsgraden förbättras vid övergång från oljevärme till elvärme. Under vintern har vid beräkning av förväntad energibesparing antagits att verkningsgraden förändrats från 0.80 till 0.95 och under sommaren från 0.35 till 0.95.

Tretton av husen är byggda före 1940, elva mellan 1941 och 1960 och elva mellan 1961 och 1975.

Den totala våningsytan per hus är i genomsnitt 226 m^2 .

Alla husen hade olja som uppvärmningssätt före konverteringen. Endast ett av husen har mekaniskt frånluftssystem, övriga är självdraagsventilerade. I 29 av husen finns källare, övriga 6 har antingen kryprum, platta på mark eller kombinationer av olika grundläggningssätt.

Genomsnittligt k-värde för ytterväggarna är $0.45 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar redovisas i Tabell 5.10. Uppmätta och standardiserade innetemperaturer redovisas i Tabell 5.11.

Tabell 5.10 Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar för 35 elkonerterade småhus (MWh/lgh,år). Standardavvikelse anges inom (). 95-procentigt konfidensintervall och procentuell besparing för gruppen redovisas också.

	Uppmätt MWh/lgh,år	Förväntat MWh/lgh,år
Energiförbrukning, före	37.7 (8.8)	41.2 (9.4)
Energiförbrukning, efter	29.5 (8.8)	32.9 (8.1)
Energibesparing	8.2 (5.7)	8.3 (1.5)
Energibesparing 95-% konfidensintervall	6.3-10.1	7.8-8.8
Energibesparing i pro- cent av föreförbrukning	22	20

Tabell 5.11 Uppmätt och standardiserad innetemperatur före och efter åtgärd för 35 småhus där elkonertering utförts. Standardavvikelse anges inom ().

	Före åtgärd °C	Efter åtgärd °C	Ändring °C
Uppmätt inne- temperatur	20.9 (1.2)	20.7 (1.3)	-0.2 (1.0)
Standardiserad innetemperatur	20.4 (0.0)	20.3 (0.4)	-0.1 (0.4)

Den standardiserade innetemperaturen sänks på grund av att det i ett antal hus installerats reglerutrustning i samband med elkonerteringen, vilket förväntades ge en temperatursänkning. Se avsnitt 3.5.

De uppmätta förbrukningarna är något lägre än de förväntade.

Överensstämmelsen mellan uppmätt och förväntad energibesparing är god 8.2 resp 8.3 MWh/lgh,år. Standardavvikelsen är dock klart mindre för den förväntade besparingen 1.5 MWh/lgh,år mot 5.7 MWh/lgh,år för den uppmätta besparingen.

Den uppmätta besparingen är statistiskt säkerställd och uppgår till 22 % av föreförbrukningen. Det 95-procentiga konfidensintervallet är 8.2 ± 1.9 MWh/lgh,år.

För enskilda hus är sambandet mellan den uppmätta och den förväntade besparingen dålig. Korrelationen är inte större än 0.15.

De olika typerna av elkonvertering har givit följande besparing:

elpanna	25 %
elkassett	20 %
(elpatron	10 % endast 3 hus)

För hus byggda mellan 1941 och 1960 är besparingen 29 %. För hus byggda före 1941 är motsvarande värde 21 % och endast 15 % för hus byggda efter 1961.

En orsak till att de äldsta husen har lägre besparing än 40- och 50-talshusen är att husen byggda 1941-1960 i större utsträckning har kvar den ursprungliga pannan medan man i flera av de äldre husen bytt panna och således i genomsnitt har nyare och bättre pannor.

Besparingen i hus där tätning gjorts av rökröret mellan panna och skorsten är 27 %. I hus där skorstenstoppen tätats var besparingen 18 %. I hus som inte tätats alls var dock besparingen något större än i de hus där skorstenstoppen tätats, eller 20 %.

I 28 hus, vilka hade innetemperatur över 20°C före åtgärd, är besparingen i medeltal 24 % medan den i 7 hus med lägre temperatur är 12 %.

I 6 hus där temperaturen sänkts mer än 1°C efter åtgärd är besparingen 20 %. I 12 hus där temperaturen sänkts med upp till 1°C är besparingen 22 %. När temperaturen höjts med upp till 1°C är besparingen 19 %.

Uppgifter om kostnader för åtgärden finns för 34 av de 35 husen där elkonvertering genomförts. I fyra fall har husägaren själv utfört arbetet. Besparingskostnaden är 10 öre/kWh med standardavvikelsen 9 öre/kWh för de 34 husen för vilka kostnadsuppgifter föreligger.

5.8 Värmepumpsinstallationer i småhus

I gruppen värmepumpsinstallationer ingår 59 småhus, varav 30 finns i Stockholm, 18 i Lund, 6 i Göteborg och 5 i Umeå/Luleå.

Husen i gruppen värmepumpsinstallationer har indelats i fyra undergrupper, där indelningsgrunden har varit värmepumparnas konstruktion och typ av värmekälla:

- | | |
|---------|---|
| grupp A | Värmepumpssystem med horisontal värmekollektor: ytjord- och sjövärme. Här ingår 8 småhus samtliga ytjordsvärmepumpar. |
| grupp B | Värmepumpssystem med vertikal värmekollektor: berg-, brunn- och grundvattenvärme. Här ingår 16 småhus. |
| grupp C | Värmepumpssystem med uteluft som värmekälla har installerats i 26 småhus. |
| grupp D | Samtidigt med installation av värmepumpssystem enligt någon av ovanstående grupper har ytterligare energisparåtgärder utförts, oftast av mindre omfattning. I gruppen ingår 9 småhus. |

För grupp D redovisas enbart resultaten i tabellform på grund av gruppens heterogena sammansättning.

Den uppmätta årsvärmefaktorn har jämförts med de årsvärmefaktorer för de undersökta värmepumparna som anges i fabrikanternas broschyrer.

Husens ålder varierar. Närmare 50 procent är byggda efter 1960 medan endast ca 15 procent är byggda 1940-1960.

Den totala våningsytan är i genomsnitt 293 m^2 . Värmepumpar har främst installerats i stora hus. Husen i denna grupp har den största uppvärmda ytan av samtliga grupper i HII-undersökningen. Medelvärde för total våningsyta för alla 146 småhus en i undersökningen är 242 m^2 .

Före åtgärd var 8 av 59 hus uppvärmda med vattenburen el. Övriga var oljevärmda. Fyra hus har mekaniskt ventilationssystem. Övriga är självdragsventilerade. I 41 hus finns källare. Övriga 18 har antingen kryprum, platta på mark eller kombinationer av dessa grundläggningssätt. Det genomsnittliga k-värdet för ytterväggarna är $0.52 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Energiförbrukningsnivån före installationen av värmepump var 43.0 MWh/lgh och normalår, vilket är högre än för övriga småhusgrupper. Detta beror bl a på att gruppen innehåller stora hus och på den stora andelen oljevärmda hus.

Tabell 5.12 Energiförbrukningsnivåer, medeltemperaturer inne och ute under eldningssäsongen efter åtgärd samt resultat för driftsåret 1985 för 59 småhus där värmepump installerats. Medelvärden och standardavvikelser anges inom ().

Grupp	A	B	C	D	Alla
Antal hus	8	16	26	9	59
Energi- 1) förbruk- ning"före" MWh/lgh,år	64,1 (30,2)	51,6 (19,1)	42,2 (20,8)	45,9 (20,3)	48,3 (22,4)
Energi- 1) förbruk- ning"efter" MWh/lgh,år	25,4 (12,5)	18,5 (7,3)	26,4 (15,8)	20,1 (10,9)	23,1 (13,0)
Energi- besparing MWh/lgh,år	38,7 (18,4)	33,1 (12,4)	15,8 (7,6)	25,8 (12,8)	25,2 (14,5)
Innetempe- ratur, °C	20,5 (0,7)	20,3 (0,9)	20,4 (1,0)	19,6 (1,1)	20,3 (1,0)
Utetempe- ratur, °C	-1,3 (2,9)	-1,1 (1,9)	0,7 (1,5)	-1,1 (1,8)	-0,3 (2,0)
Årsvärme- faktor	2,4 (0,5)	2,3 (0,5)	2,0 (0,6)		
Broschyr årsvärme- faktor	2,6 (0,2)	2,6 (0,3)	2,6 (0,2)		
Energi- täcknings- grad, %	92 (12)	96 (6)	62 (17)	79 (19)	75 (21)
Energibe- sparing i % av före- förbrukn	60	64	37	56	52

1) Se avsnitt 3.3.

För grupperna A, B och C har innetemperaturen höjts 0,2°C efter åtgärd medan den för grupp D är oförändrad. En orsak till höjningen kan vara att innetemperaturen efter åtgärd är mätt över hela eldningssäsongen och innefattar även de soligare delarna av

våren medan temperaturen före åtgärd endast gäller för en del av eldningssäsongen. En jämförelse blir därför något missvisande.

Beräknade årsvärmefaktorer är baserade på mätvärden från ett helt års eftermätningar. Dessa årsvärmefaktorer jämförs med fabrikanternas broschyruppgifter, i fortsättningen benämns de broschyrårsvärmefaktorer. Broschyrårsvärmefaktorn är för horisontella och vertikala värmepumpsystem vald för driftfallet 45°C utifrån värmepumpen (framledningstemperatur) och 0°C på temperaturen in till värmepumpen (värmekällan). För luftvärmepumpen har motsvarande temperaturer valts till 45°C respektive 2°C , vilken är densamma som utetemperaturen.

I grupp A och B har en hög energitäckningsgrad på 92 % respektive 96 % erhållits. I dessa grupper är den procentuella besparingen också mycket hög, 60 respektive 64 %. Här finns de flesta högenergiförbrukarna före åtgärd vilket till viss del möjliggör det goda besparingsresultatet.

För grupp C, med uteluft som värmekälla, har en energitäckningsgrad på 62 % erhållits, vilket är betydligt lägre än för grupperna A och B. Även en lägre energibesparing har uppmätts i grupp C än i grupperna A och B. En bidragande orsak till den stora skillnaden är den extremt kalla vintern 1985, vilken gjorde att tillsatsenergi behövdes i högre grad för att värma husen än vad som är brukligt under en vinter med normal utetemperatur.

För grupp B har en årsvärmefaktor på 2.3 erhållits med en standardavvikelse på 0.5. Ett 95-procentigt konfidensintervall för årsvärmefaktorn blir 2.3 ± 0.2 . Konfidensintervallet för skillnaden mellan beräknad årsvärmefaktor och broschyrårsvärmefaktor är 0.3 ± 0.2 . Skillnaden är således signifikant skild från noll.

För grupp C är konfidensintervallet för skillnaden mellan beräknad årsvärmefaktor och broschyrårsvärmefaktor 0.6 ± 0.2 . Även denna skillnad är signifikant skild från noll.

För samtliga småhus i värmepumpsgruppen gäller att storleken på besparingen mycket beror på om värmepumpen var avsedd att täcka hela husets värmebehov eller enbart en del av det. För dessa 59 småhus stämmer syftet med installationen och uppnått resultat angående täckningsgraden för värmepumpen bra överens. För alla 59 värmepumpsinstallationer är energibesparingen 25.2 MWh/lgh,år. För de 27 hus där värmepumpen avsåg att täcka hela värmebehovet är energibesparingen 34.4 MWh/lgh,år medan den för övriga hus är 17.3 MWh/lgh,år.

Uppgifter om kostnader för värmepumpinstallationer föreligger för samtliga 8 hus i grupp A, för samtliga 16 hus i grupp B och för 25 av 26 hus i grupp C. En husägare i grupp A, två i grupp B och fyra i grupp C har gjort installationsarbetet själva. Besparingskostnaden är för husen i grupp A i genomsnitt 16 öre/kWh (standardavvikelsen 5 öre/kWh). För husen i grupp B är den genomsnittliga besparingskostnaden 19 öre/kWh (7 öre/kWh). För husen i grupp C är besparingskostnaden 23 öre/kWh (10 öre/kWh).

5.9 Fönsterisolering i flerbostadshus

Fönsterisolering har genomförts i 27 flerbostadshus, varav 13 finns i Lund, 5 i Göteborg, 3 i Stockholm och 6 i Umeå/Luleå. I åtgärdsgruppen ingår byte eller komplettering till treglasfönster med olika konstruktionslösningar.

Två hus hade före åtgärd enkelglas med innanfönster under vintern. Övriga hade tvåglas kopplade fönster.

Efter åtgärd har 15 av husen tvåglas isolerruta med ett enkelglas. Övriga hus är jämnt fördelade mellan treglas kopplade och treglas isolerruta.

Byte till treglasfönster beräknas minska förväntad energiförbrukning proportionellt mot k-värdesförändringen. Dessutom antas en temperatursänkning med 0.5⁰C kunna ske med bibehållen komfort.

Bytet antas också, liksom tätning av fönster, minska luftomsättningen med 0.05 omsättningar i självdragsventilerade hus.

Två tredjedelar av husen är byggda efter 1960, dvs under miljonprogrammet.

Den totala ytan per lägenhet är 112 m². Över 60 % av flerbostadshusen har fler än 20 lägenheter.

Ca 80 % av husen värms med fjärrvärme. Ventilationssystemet är i 10 hus självdrag, i 10 hus mekanisk frånluft och i 7 hus från- och tilluft. Källare är det dominerande grundläggningssättet och genomsnittliga k-värdet för väggarna i gruppen är 0.57 W/m² °C.

Den totala fönsterarean per lägenhet är i medeltal för flerbostadshusen 12.2 m² inkl karm och båge och därav har 85 % åtgärdats.

Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar redovisas i Tabell 5.16. Uppmätta och standardiserade innetemperaturer redovisas i Tabell 5.17.

Tabell 5.16 Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar för 27 fönsterisolerade flerbostadshus (MWh/lgh,år). Standardavvikelser anges inom (). 95-procentigt konfidensintervall och procentuell besparing för gruppen redovisas också.

	Uppmätt MWh/lgh,år	Förväntat MWh/lgh,år
Energiförbrukning, före	14.8 (5.6)	13.5 (7.8)
Energiförbrukning, efter	13.5 (4.4)	12.2 (7.0)
Energibesparing	1.3 (2.0)	1.3 (0.9)
Energibesparing 95-procentigt konfidensintervall	0.5-2.1	1.0-1.6
Energibesparing i procent av föreförbrukning	9	10

Tabell 5.17 Uppmätt och standardiserad innetemperatur före och efter åtgärd för 27 fönsterisolerade flerbostadshus. Standardavvikelser anges inom ().

	Före åtgärd °C	Efter åtgärd °C	Ändring °C
Uppmätt innetemperatur	22.1 (1.0)	21.8 (1.1)	-0.3 (0.8)
Standardiserad innetemperatur	21.8 (0.0)	21.3 (0.1)	-0.5 (0.1)

Åtgärden har givit en uppmätt medelbesparing på 1.3 MWh/lgh,år med standardavvikelsen 2.0 MWh/lgh,år. Den förväntade medelbesparingen är 1.3 MWh/lgh,år med standardavvikelsen 0.9 MWh/lgh,år.

Den uppmätta besparingen är statistiskt säkerställd och uppgår till 9 % av föreförbrukningen. Det 95-procentiga konfidensintervallet är 1.3 ± 0.8 MWh/lgh,år.

De uppmätta förbrukningarna är högre än de förväntade. Den uppmätta besparingen stämmer dock väl överens med den förväntade besparingen. Uppmätt besparing varierar dock mycket mer än förväntad besparing.

De uppmätta och förväntade besparingarna är lika trots att den förväntade temperatursänkningen inte riktigt har erhållits.

Sambandet mellan den uppmätta besparingen och den förväntade besparingen är för enskilda hus lågt ($r=0.66$).

Hus utrustade med radiatortermostatventiler visar inte någon större besparing än hus med manuella radiatorventiler. De hus där reglerkurvan för framledningstemperaturen anpassas till husets nya värmebehov har inte erhållit högre besparing än övriga hus. Hus med högre föreförbrukning har procentuellt sett sparat mer än hus med lägre föreförbrukning.

Uppgifter om kostnader för fönsterisoleringen finns för 26 av de 27 fönsterisolerade flerbostadshusen. I tre fall har husägaren själv utfört arbetet. Besparingskostnaden för de 26 hus där kostnadsuppgifter föreligger är i genomsnitt 84 öre/kWh med standardavvikelsen 208 öre/kWh.

5.10 Vindsisolering i flerbostadshus

I gruppen vindsisolering ingår 29 flerbostadshus. Dessa fördelar sig jämnt på undersökningsorterna Stockholm, Lund och Umeå.

Vid urvalet av hus accepterades även hus där injustering av värmesystemet planerades i samband med vindsisolering. Injustering utfördes dock endast i 2 av de 29 husen. Dessutom ingår i gruppen ett hus där man förutom vindsisolering även genomförde fönstertätning. I åtgärdsgruppen ingår även ett hus där en mindre omfattande väggisolering och tätning av fönster utförts. I resultatredovisningen särskiljs inte dessa fyra hus från husen med enbart vindsisolering. Resultaten för dessa bedöms inte påverka de genomsnittliga resultaten på ett avgörande sätt.

Vindsisoleringen beräknas minska förväntad energiförbrukning proportionellt mot k-värdesförändringen. I de två husen där injustering gjorts förväntas den genomsnittliga innetemperaturen sjunka med 0.25°C .

De flesta husen är byggda efter 1940.

Den totala våningsytan per lägenhet är 101 m^2 . Husen är av olika storlek. De största husen har över 100 lägenheter medan de minsta har mindre än 10 lägenheter.

Två tredjedelar av husen har fjärrvärme som uppvärmningssätt, övriga är oljevärmda. Sextio procent av husen har självdragsventilation, övriga har mekanisk frånluftsventilation. Samtliga hus i gruppen har källare. Genomsnittligt k-värde för ytterväggarna före åtgärd var $0.58 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Genomsnittligt k-värde för vindsbjälklaget före åtgärd var $0.44 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ för hela gruppen. Det genomsnittliga k-värdet för vindsbjälklaget efter åtgärd var $0.17 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och -besparingar redovisas i Tabell 5.18. Uppmätta och standardiserade innetemperaturer redovisas i Tabell 5.19.

Tabell 5.18 Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar för 29 vindsisolerade flerbostadshus (MWh/lgh,år). Standardavvikelsen anges inom (). 95-procentigt konfidensintervall och procentuell besparing för gruppen redovisas också.

	Uppmätt MWh/lgh,år	Förväntat MWh/lgh,år
Energiförbrukning, före	15.0 (2.8)	13.9 (2.7)
Energiförbrukning, efter	14.3 (2.5)	13.1 (2.6)
Energibesparing	0.7 (0.9)	0.8 (0.5)
Energibesparing 95% konf. intervall	0.4-1.0	0.6-1.0
Energibesparing i procent av föreförbrukningen	5	6

Tabell 5.19 Uppmätt och standardiserad innetemperatur, för och efter åtgärd för 29 vindsisolerade flerbostadshus. Standardavvikelser anges inom ().

	Före åtgärd $^\circ\text{C}$	Efter åtgärd $^\circ\text{C}$	Ändring $^\circ\text{C}$
Uppmätt innetemperatur	21.9(1.0)	22.1(1.1)	0.2(0.7)
Standardiserad inne- temperatur	21.8(0.0)	21.8(0.1)	0.0(0.1)

Den uppmätta energiförbrukningen före åtgärd för vindsisoleringsgruppen var 15.0 MWh/lgh,år. Den är något högre än förväntad. Uppmätt besparing överensstämmer också relativt väl med förväntad besparing. Uppmätt och förväntad besparing är fem respektive sex procent av respektive föreförbrukningsnivå.

Även om uppmätt och förväntad besparing överensstämmer på grupp-nivå så är sambandet mellan uppmätt och förväntad besparing lågt för enskilda hus. Korrelationen är endast 0.10.

I hälften av husen sänktes innetemperaturen med upp till 1°C efter åtgärd. I dessa hus erhöles inte oväntat en större energi-besparing än i de hus där temperaturen höjdes.

I fyra hus genomfördes även annan åtgärd än vindsisolering. Dessa fyra hus påverkar inte den genomsnittliga besparingen för hela vindsisoleringsgruppen i nämnvärd grad.

Högre besparing har erhållits i de 19 fjärrvärmvärmda husen än i de oljevärmda. Det kan möjligen bero på att fjärrvärmesystem är lättare att anpassa till ett nytt lägre värmebehov.

För att ta till vara hela sparpotentialen av en isoleringsåtgärd bör denna följas upp med en injustering och ändring av värmeregleringen. Annars kan isoleringen resultera i enbart höjd innetemperatur. Därför accepterades också injustering som en del av åtgärden vindsisolering. Injustering har dock utförts i enbart två hus efter vindsisoleringsåtgärdens genomförande. De insamlade uppgifterna tyder också på att man i en stor del av husen inte ändrat inställningen på reglercentralen. Det bör därför finnas utrymme för ytterligare energibesparing genom injustering med efterföljande temperatursänkning. Temperaturmätningarna visar också på en något högre innetemperatur under efterperioden än under föreperioden, vilket ytterligare stöder teorin om en kvarstående energisparpotential.

Uppgifter om kostnader för att utföra åtgärden finns för 23 av de 29 vindsisolerade husen. Besparingskostnaden för de 23 husen är i genomsnitt 10 öre/kWh med standardavvikelsen 18 öre/kWh.

5.11 Reglerpaket i flerbostadshus

I gruppen reglerpaket ingår 19 hus, varav 16 finns i Stockholm och 3 i Lund.

I de hus som utvaldes för reglerpaket planerades installation av termostatventiler och injustering av värmesystemet. I en grupp på 7 hus installerades aldrig termostaddelen på de nya radiatorventilerna under projektets mätperiod varför denna del av paketet ej kunde utvärderas. I 2 hus genomfördes ej någon egentlig injustering i samband med installationen av termostatventilerna. I några hus genomfördes vissa mindre åtgärder som ej var planerade från början såsom tätning av fönster (3 hus), pumpbyte (2 hus) och ny reglerutrustning för tappvarmvatten (1 hus). I ett par hus genomfördes pann- respektive brännarbyte förutom installation av termostatventiler och injustering. En indelning i undergrupper har gjorts enligt följande:

1	Termostatventiler + injustering + ev mindre åtgärd	10 hus
2	Enbart nya radiatorventiler utan termostater + injustering	7 hus
3	Övrigt (pann- resp brännarbyte ingår)	2 hus

Installation av termostatventiler antas minska innetemperaturen med 0.25°C . Injustering av värmesystemet antas minska innetemperaturen med 0.25°C , se avsnitt 3.5.

Hälften av husen är byggda efter 1940 dock inget efter 1960.

Den totala våningsytan per lägenhet är 111 m² för gruppen reglerpaket. Ett av husen har över 100 lägenheter. Övriga varierar mellan 10 och 100 lägenheter.

Två tredjedelar av husen har fjärrvärme som uppvärmningssystem. De resterande är oljevärmda. Drygt hälften av husen har självdragsventilation, fem har mekaniskt frånluftssystem och tre till- och frånluftssystem. Samtliga flerbostadshus har källare. k-värdet för vägg är i denna grupp 0.96 W/m² °C, alltså högre än för övriga grupper där det är mellan 0.58 och 0.90 W/m² °C beroende på åtgärdsgrupp.

Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och -besparingar redovisas i Tabell 5.20. Uppmätta och standardiserade innetemperaturer redovisas i Tabell 5.21.

Tabell 5.20 Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar för 19 regleråtgärdade flerbostadshus (MWh/lgh,år). Standardavvikelser anges inom (). 95-procentigt konfidensintervall och procentuell besparing för gruppen redovisas också.

	Uppmätt MWh/lgh,år	Förväntat MWh/lgh,år
Energiförbrukning, före	16.8 (6.4)	14.5 (5.9)
Energiförbrukning, efter	16.1 (5.9)	14.0 (5.4)
Energibesparing	0.7 (2.1)	0.5 (0.6)
Energibesparing 95-procentigt konfidensintervall	-0.3-1.7	0.2-0.8
Energibesparing i procent av föreförbrukningen	4	3

Tabell 5.21 Uppmätt och standardiserad innetemperatur före och efter åtgärd för 19 regleråtgärdade flerbostadshus. Standardavvikelser anges inom ().

	Före åtgärd °C	Efter åtgärd °C	Ändring °C
Uppmätt innetemperatur	21.8 (0.8)	21.4 (1.1)	-0.4 (1.2)
Standardiserad innetemperatur	21.8 (0.0)	21.4 (0.2)	-0.4 (0.2)

Åtgärden har givit en uppmätt medelbesparing på 0.7 MWh/lgh,år med standardavvikelsen 2.1 MWh/lgh,år. Den förväntade medelbesparingen är 0.5 MWh/lgh,år med standardavvikelsen 0.6 MWh/lgh,år.

Det 95-procentiga konfidensintervallet för uppmätt besparing är 0.7 ± 1.0 MWh/lgh,år. Besparingen är således ej signifikant skild från noll.

För enskilda hus är sambandet mellan den uppmätta och den förväntade besparingen lågt. Korrelationen är inte större än 0.19.

Syftet med regleråtgärderna är att få en jämnare temperatur i huset och därmed kunna sänka medeltemperaturen. Innetemperaturen i mätlägenheterna har sänkts med i genomsnitt 0.4°C efter utförd åtgärd. I de hus i gruppen där korttidsmätningar av innetemperaturen genomfördes (11 hus) var temperaturen dock densamma före och efter åtgärd.

Besparingen för de olika undergrupperna blev följande:

grupp 1	10 hus	8 %
grupp 2	7 hus	-3 %
grupp 3	2 hus	8 %

Grupp 2 har ökat förbrukningen efter åtgärd. Detta påverkar naturligtvis resultatet för hela åtgärdsgruppen. Grupp 2 består av relativt lika hus där åtgärderna är utförda på samma vis. Termostatdelen på de nya radiatorventilerna hade ej monterats vid eftermätningarna och därmed står ventilen alltid fullt öppen, vilket är en förklaring till den ökade förbrukningen. Även andra faktorer kan ha bidragit till den ökade förbrukningen efter åtgärd.

Kostnadsuppgifter föreligger endast för 7 av de 19 husen. Besparingskostnaden för dessa 7 hus är i genomsnitt 23 öre/kWh med standardavvikelsen 23 öre/kWh.

5.12 Åtgärds paket i flerbostadshus

Åtgärds paket har genomförts i 39 flerbostadshus, varav 20 finns i Stockholm, 7 i Lund, 8 i Göteborg och 4 i Umeå/Luleå.

En mängd olika typer av åtgärds paket har genomförts i husen som ingår i denna grupp. De vanligaste ingående åtgärderna är vindsisolering, installation av termostatventiler och injustering av värmesystemet. Totalt är omkring 25 olika åtgärder representerade.

En underindelning av paketen i 5 grupper har gjorts.

Grupp 1 är hus med viss tyngdpunkt på installationsåtgärder och där den byggnadstekniska åtgärden är byte eller komplettering till 3-glasfönster. Denna grupp innehåller 6 hus.

Grupp 2 har paketen liknande sammansättning som i grupp 1 men den byggnadstekniska åtgärden är i stället vinds- eller väggisolering. Grupp 2 innehåller 16 hus varav 2 med väggisolering.

Grupp 3 innehåller 9 hus med tyngdpunkten på byggnadstekniska åtgärder, vilket innebär att minst 2 större byggnadstekniska

åtgärder har genomförts. Ett hus i denna grupp saknar installationsteknisk åtgärd men där har i stället genomförts 3 större byggnadstekniska åtgärder (vägg-, vinds- och fönsterisolering).

Grupp 4 innehåller 5 hus, där pannbyte och/eller brännarbyte ingår i åtgärdspaketet.

Grupp 5 är en grupp med 3 hus, där uppvärmningssystemet helt eller delvis har bytts ut.

Av avsnitten 5.8 - 5.10 framgår hur de vanligaste åtgärderna i åtgärdspaketen antas påverka förväntad energiförbrukning. I övrigt hänvisas till avsnitt 3.5.

15 av husen är byggda före 1940, 17 mellan 1941 och 1960 och övriga 7 mellan 1961 och 1975.

Den totala våningsytan per lägenhet för gruppen är 92 m^2 , vilket är ca 13 m^2 mindre än genomsnittet för alla flerbostadshus i undersökningen. Husen är av mycket olika storlek. De flesta husen har mindre än 50 lägenheter.

60 % av husen har fjärrvärme som uppvärmningssystem. Resterande är oljevärmda. Två tredjedelar av husen har självdragsventilation, övriga har mekaniskt frånluftssystem. Samtliga hus utom ett har källare.

Genomsnittligt k-värde för ytterväggarna före åtgärd var $0.75 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Genomsnittligt k-värde för vindsbjälklaget före åtgärd var $0.55 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket är något högre än för gruppen med enbart vindsisolering. Orsaken till detta är den större andelen äldre hus.

Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och -besparingar redovisas i Tabell 5.22. Uppmätta och standardiserade innetemperaturer redovisas i Tabell 5.23.

Tabell 5.22 Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar för 39 flerbostadshus där åtgärdspaket utförts (MWh/lgh,år). Standardavvikelser anges inom (). 95-procentigt konfidensintervall och procentuell besparing för gruppen redovisas också.

	Uppmätt MWh/lgh,år	Förväntat MWh/lgh,år
Energiförbrukning, före	15.2 (4.2)	12.9 (3.9)
Energiförbrukning, efter	13.1 (4.0)	10.8 (3.6)
Energibesparing	2.1 (1.8)	2.1 (1.8)
Energibesparing 95 % 95-procentigt konfidens- intervall	1.5-2.7	1.5-2.7
Energibesparing i pro- cent av föreförbrukn	14	16

Tabell 5.23 Uppmätt och standardiserad innetemperatur före och efter åtgärd för 39 flerbostadshus där åtgärdspaket har utförts. Standardavvikelser anges inom ().

	Före åtgärd °C	Efter åtgärd °C	Ändring °C
Uppmätt inne- temperatur	21.8 (1.3)	21.4(1.1)	-0.4(1.0)
Standardiserad innetemperatur	21.8 (0.0)	21.1(0.3)	-0.7(0.3)

Föreförbrukningen för gruppen är i genomsnitt 15.2 MWh/lgh,år.

Åtgärden har givit en uppmätt medelbesparing på 2.1 MWh/lgh,år med standardavvikelsen 1.8 MWh/lgh,år.

Den uppmätta besparingen är statistiskt säkerställd. Det 95-procentiga konfidensintervallet är 2.1 ± 0.6 MWh/lgh,år.

Den uppmätta besparingen, 2.1 MWh/lgh,år överensstämmer med den förväntade besparingen. Den uppmätta förbrukningsnivån ligger dock klart högre än den förväntade.

Sambandet mellan den uppmätta och den förväntade besparingen för enskilda hus är lågt. Korrelationen är 0.35.

I de hus i gruppen där korttidsmätningar av innetemperatur genomfördes (15 hus) sjönk temperaturen 0.9°C enligt korttidsmätningarna och 0.8°C i mätlägenheten vilket är mer än för gruppen totalt. I huvuddelen av de hus där korttidsmätningar genomfördes ingick injustering i åtgärdspaketet.

Besparingarna för de olika undergrupperna blev följande:

grupp 1	6 hus	11 %
grupp 2	16 hus	11 %
grupp 3	9 hus	14 %
grupp 4	5 hus	16 %
grupp 5	3 hus	28 %

Eftersom antalet hus i respektive undergrupp är relativt få blir resultaten för undergrupperna osäkrare än för hela gruppen. Vissa tendenser kan dock skönjas.

I de hus där endast en byggnadsteknisk åtgärd utförts tillsammans med installationstekniska åtgärder är besparingen 11 % av föreförbrukningen. I gruppen med flera byggnadstekniska åtgärder är besparingen större, 14 %. I hus, där pann- och/eller brännarbyte har utförts, har sparats 16 % medan hus i grupp 5, där även byte av uppvärmningssystem ingår, har sparats hela 28 %. En stor del av den minskade energiförbrukningen i denna grupp kan tillskrivas den verkningsgradsförbättring som skett på grund av bytet av uppvärmningssystem. Med tanke på detta och resultaten från konverteringsgrupperna borde kanske ett ännu bättre besparingsresultat erhållits för grupp 5.

Åtgärdspaketet i undergrupp 2 består till stor del av en kombination av vindsisolering och reglerpaket. Den procentuella besparingen för denna grupp av åtgärdspaket är 11 procent, vilket är betydligt mer än de 5 procent som erhöles med enbart vindsisolering (se Tabell 5.18).

De oljevärmda husen har något bättre besparing än fjärrvärme-husen. Detta kan förklaras med att i tre av de oljevärmda husen har konvertering till nytt uppvärmningssystem genomförts (grupp 5). Självdragsventilerade hus har en större besparing än hus med frånluftssystem.

Hus med stor k-värdesförändring har också erhållit en stor besparing, vilket ytterligare visar vikten av att låta byggnadstekniska åtgärder ingå i åtgärdspaket.

Uppgifter om kostnader för åtgärderna föreligger för 22 av de 39 husen. Besparingskostnaden för de 22 husen är i genomsnitt 38 öre/kWh med standardavvikelsen 31 öre/kWh.

5.13 Fjärrvärmeanslutning i flerbostadshus

Fjärrvärmeanslutningar har genomförts i 26 flerbostadshus, varav 3 finns i Lund, 8 i Göteborg, 9 i Stockholm och 6 i Umeå/Luleå.

I gruppen fjärrvärmeanslutningar ingår även hus som samtidigt med anslutningen till fjärrvärmenätet installerat radiatortermostatventiler (2 hus) och hus som bytt reglerutrustning (14 hus).

Husens ålder varierar, 11 hus är byggda före 1940, 9 mellan 1941 och 1960 och 6 efter 1960.

Den totala våningsytan per lägenhet är 112 m². Antalet lägenheter i husen varierar kraftigt. De flesta husen har mellan 10 och 100 lägenheter.

Före anslutningen till fjärrvärmenätet var alla hus oljevärmda. Endast 3 hus har mekaniskt frånluftssystem, övriga 23 är självdragsventilerade. I 21 av husen finns källare, 3 har platta på mark medan 2 har en kombination av källare och platta på mark. Det genomsnittliga k-värdet för väggarna i gruppen är så högt som $0.87 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och -besparingar redovisas i Tabell 5.24. Uppmätta och standardiserade innetemperaturer redovisas i Tabell 5.25.

Tabell 5.24 Uppmätta och förväntade energiförbrukningar och besparingar för 26 fjärrvärmeanslutna flerbostadshus (MWh/lgh,år). Standardavvikelser anges inom (). 95-procentigt konfidensintervall och procentuell besparing för gruppen redovisas också.

	Uppmätt MWh/lgh,år	Förväntat MWh/lgh,år
Energiförbrukning, före	20.0 (9.2)	15.6 (4.5)
Energiförbrukning, efter	15.3 (5.8)	13.2 (3.9)
Energibesparing	4.7 (4.5)	2.4 (0.7)
Energibesparing 95-procentigt konfidensintervall	2.9-6.5	2.1-2.7
Energibesparing i procent av föreförbrukningen	24	15

Tabell 5.25 Uppmätt och standardiserad innetemperatur före och efter åtgärd för 26 fjärrvärmeanslutna flerbostadshus. Standardavvikelser anges inom ().

	Före åtgärd °C	Efter åtgärd °C	Ändring °C
Uppmätt innetemperatur	21.8 (1.1)	21.8 (0.8)	0.0 (0.7)
Standardiserad innetemperatur	21.8 (0.0)	21.2 (0.5)	- 0.6 (0.5)

Den standardiserade innetempertursänkningen på 0.6°C beror på att det i ett antal hus installerats radiatortermostatventiler eller reglerutrustning, vilket förväntas ge möjlighet till sänkt innetemperatur. Men denna temperatursänkning har alltså inte kunnat verifieras vid våra mätningar.

Uppmätt föreförbrukning är betydligt högre än förväntad föreförbrukning. Skillnaden mellan uppmätt och förväntad förbrukning är klart större i denna grupp än i de andra flerbostadshusgrupperna.

Åtgärden har givit en uppmätt medelbesparing på 4.7 MWh/lgh,år med standardavvikelsen 4.5 MWh/lgh,år.

Den uppmätta besparingen är statistiskt säkerställd och uppgår till 24 % av föreförbrukningen. Det 95-procentiga konfidensintervallet är 4.7±1.8 MWh/lgh,år.

Den förväntade besparingen är 2.4 MWh/lgh,år med standardavvikelsen 0.7 MWh/lgh,år. Spridningen är alltså betydligt mindre än för uppmätt besparing. En betydligt större besparing än förväntat har sålunda erhållits, trots att en förväntad temperatursänkning på 0.6°C helt har uteblivit.

Om vi väljer verkningsgraden 0.75 i stället för 0.85 före anslutning till fjärrvärme blir den förväntade föreförbrukningen ungefär 17.7 MWh/lgh,år. Den förväntade besparingen blir då ungefär 25 %, att jämföra med uppmätt besparing på 24 %.

Korrelationen mellan den uppmätta och den förväntade besparingen är $r=0.61$.

I de 13 hus, där också reglerutrustning installerats, är besparingen 27 %. I de 11 hus som enbart anslutits till fjärrvärme är besparingen 20 %.

I hus byggda före 1941 är besparingen 30 %. För hus byggda efter 1941 är motsvarande värde 18 %.

Stora hus ger mindre procentuell besparing jämfört med mindre hus. I 9 hus med mer än 50 lägenheter är besparingen 11 % av föreförbrukningen medan 17 hus med mindre än 50 lägenheter har besparingar i intervallet 23-30 %.

Besparingen är betydligt högre för hus med termostatventiler på radiatorerna än för hus med manuella ventiler, 29 mot 21 %.

Uppgifter om kostnader för åtgärderna föreligger för 14 av de 26 flerbostadshus där en övergång från oljevärmning till fjärrvärme gjorts. Besparingskostnaden i de 14 husen är i genomsnitt 10 öre/kWh med standardavvikelsen 14 öre/kWh.

5.14 Värmepumpsinstallationer i flerbostadshus

I gruppen värmepumpsinstallationer i flerbostadshus ingår 20 hus, varav 12 finns i Stockholm, 7 i Lund och 1 i Göteborg.

Dessa hus har indelats i 4 undergrupper efter värmepumpens konstruktion och typ av värmekälla:

- | | |
|---------|--|
| grupp A | Värmepumpssystem med horisontal värmekollektor: ytjord- och sjövärme. Här ingår ett flerbostadshus. |
| grupp B | Värmepumpssystem med vertikal värmekollektor: berg-, brunn- och grundvattenvärme. Här ingår 10 flerbostadshus. |
| grupp C | Värmepumpssystem med uteluft som värmekälla har installerats i 5 flerbostadshus. |

grupp D Samtidigt med installation av värmepumpssystem enligt någon av ovanstående grupper har ytterligare energisparåtgärder utförts oftast av mindre omfattning. I gruppen ingår 4 flerbostadshus.

Den uppmätta årsvärmefaktorn har jämförts med de årsvärmefaktorer för de undersökta värmepumparna som anges i tillverkarnas broschyrer.

Av de 20 husen är endast 7 byggda efter 1940, dvs flertalet är äldre än 45 år.

Den totala våningsytan per lägenhet är 111 m^2 . I 85 % av flerbostadshusen finns det mellan 5 och 20 lägenheter. I övriga hus är antalet lägenheter större än 20.

Före åtgärd var samtliga hus oljevärmda. Två hus har mekanisk från- och tilluftsventilation, övriga är självdraagsventilerade. I 17 av husen finns källare, ett hus har kryprum och två hus har en kombination av källare och kryprum. Det genomsnittliga k-värdet för väggarna i gruppen är $0.87 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Energiförbrukningsnivån före installationen av värmepump var 18.8 MWh/lgh , normalår för flerbostadshusen, vilken är större än för övriga åtgärdsgrupper med undantag för fjärrvärmegruppen, där nivån var 20.0 MWh/lgh,år före anslutning till fjärrvärmenätet.

Tabell 5.26 Energiförbrukningsnivåer, medeltemperatur inne och ute under eldningssäsong efter åtgärd och resultat för driftsåret 1985 för 20 flerbostadshus där värmepump installerats. Standardavvikelser anges inom ().

Grupp	A	B	C	D	Alla
Antal hus	1	10	5	4	20
Energi- 1) förbruk- ning"före" MWh/lgh, år	22.0	24.6(6.5)	15.8(2.8)	17.5(2.8)	20.8(6.3)
Energi- 1) förbruk- ning"efter" MWh/lgh, år	11.7	11.4(6.6)	9.2(2.0)	11.1(1.9)	10.8(4.8)
Energi- besparing MWh/lgh, år	10.2	13.2(4.7)	6.6(1.7)	6.5(1.8)	10.0(4.7)
Innetempe- ratur, °C	20.6	21.5(1.2)	21.4(1.0)	21.4(1.0)	21.4(1.0)
Utetempe- ratur, °C	-1.4	0.8(1.6)	1.7(1.5)	0.0(0.6)	0.7(1.6)
Årsvärme- faktor	2.0	2.9(0.8)	3.1(0.6)		
Broschyr- värme- faktor	2.7	2.9(0.4)	2.4(0.2)		
Energi- täcknings- grad, %	76	77 (21)	55 (9)	51 (6)	66 (20)
Energibe- sparing i % av före- förbrukn	46	54	42	37	48

1) Se avsnitt 3.3.

I flerbostadshusen har en medeltemperatur inne, för alla 20 husen, på ca 21.4°C uppmätts både före och efter åtgärd.

Det finns få hus i undergrupperna för flerbostadshus utom i grupp B där 10 hus ingår. Det är därför meningsfullt att kommentera resultaten endast för denna undergrupp.

För grupp B erhöles energitäckningsgraden 77 % och årsvärmefaktorn 2.9 med standardavvikelsen 0.8. Ett 95-procentigt konfidensintervall för årsvärmefaktorn är 2.9 ± 0.6 .

Årsvärmefaktorn 2.9 överensstämmer med broschyrårsvärmefaktorn.

För gruppen uppnåddes besparingen 14 MWh/lgh,år för de 5 hus där man hade tänkt sig att ersätta hela det befintliga uppvärmningssättet och uppnåddes 12.3 MWh/lgh,år för övriga.

Liksom för småhusen stämmer förväntat och uppnått resultat angående täckningsgrad bra överens. Av Tabell 5.26 framgår, att täckningsgraden i genomsnitt är 77 %. Ingen av värmepumparna har givit en 100-procentig täckningsgrad. En orsak till den relativt låga täckningsgraden är att det har förekommit driftstörningar under både intrimningskedet och uppvärmningssäsongen. I flera fall har den noggranna projekteringen av anläggningarna medfört att det inte funnits någon "extra" överkapacitet hos värmepumparna som har kunnat hantera den extremt kalla vintern som ingick i mätperioden. Hyresgästerna accepterar inte lägre inomtemperatur vid köldknäppar. Tillsatsvärme har därför fått användas i större utsträckning i flerbostadshus än i småhus.

Uppgifter om kostnader för värmepumpsinstallationen föreligger för samtliga 10 hus i grupp B. I denna grupp har en husägare utfört installationsarbetet själv. För husen i gruppen är besparingskostnaden 17 öre/kWh med standardavvikelsen 8 öre/kWh.

6 DISKUSSION AV ENERGIBESPARINGARNA

6.1 Fönsterisolering i småhus

Uppmätt energiförbrukning, före	25.6 MWh/år	
Uppmätt besparing	1.6 MWh/år	6 % ¹⁾
Förväntad besparing	2.7 MWh/år	10 % ¹⁾

Den uppmätta besparingen i denna grupp är klart mindre än den förväntade besparingen.

De förändringar som antas vid beräkning av förväntad besparing är förbättrat k-värde, sänkt innetemperatur med 0.5⁰C, minskning av solarean med 14 % samt vid självdragsventilerade hus en luftomsättningsminskning med 0.05 omsättningar per timme. Skillnaden mellan uppmätt och förväntad besparing beror till en del på att den förväntade temperatursänkningen ej har erhållits. Innetemperaturen har endast sänkts 0.1⁰C i genomsnitt.

Den blygsamma temperatursänkningen tyder på att husägarna tagit ut en del av den möjliga energibesparingen i form av förbättrad inomhuskomfort. Det kan också vara så att åtgärden inte följts upp av en till husets nya värmebehov nödvändig anpassning av värmesystem, -distribution och -reglering. Den uppmätta besparing som skulle erhållits om antagen möjlig temperatursänkning utnyttjats till fullo hade varit 2 % högre än den som nu erhållits, 8 mot 6 %.

Den antagna minskningen av luftomsättningen kan också vara för hög. Eventuellt erhålls ingen förbättrad täthet vid byte till treglasfönster. Några mätningar av luftomsättningen har inte gjorts i denna undersökning, som kunnat ge besked på dessa punkter.

1) Procentsiffran anger uppmätt (förväntad) besparing i förhållande till uppmätt (förväntad) föreförbrukning.

Byte eller komplettering till treglasfönster studerades också i Högscoleprojekt I. Då var föreförbrukningen i denna grupp 41.4 MWh/år, lgh.

Föreförbrukningarna från HII och HI är dock inte direkt jämförbara då föreförbrukningen i HII är beräknad för aktuellt uppvärmningssätt och korrigerigering inte gjorts för skillnader i verkningsgrad för olika uppvärmningssätt. I HI räknades förbrukningarna om som om samtliga hus var oljevärmda. 80 procent av husen i fönsterisoleringsgruppen i HII är elvärmda varför storleken på energibesparingarna inte är direkt jämförbara.

I Högscoleprojekt I var den uppmätta besparingen 7 procent vilket kan jämföras med en besparing på 6 procent i HII.

6.2 Isoleråtgärder i småhus

Uppmätt energiförbrukning, före	31.3 MWh/år	
Uppmätt besparing	6.0 MWh/år,	19 %
Förväntad besparing	8.3 MWh/år	25 %

Inte heller i denna grupp har förväntad besparing uppnåtts. Skillnaden är 2.3 MWh/år. De förändringar såsom förbättrat k-värde, sänkt innetemperatur, minskad luftomsättning, minskad solarea som antagits vid beräkning av förväntad besparing beror på vilka åtgärder som genomförts .

I stället för en förväntad sänkning av innetemperaturen med 0.6⁰C har innetemperaturen ökat med 0.2⁰C efter åtgärd, vilket är en anledning till att förväntad besparing inte uppnåtts och vilket också kan tyda på att komforthöjning i många fall varit ett av målen med åtgärderna.

Men även om den uppmätta besparingen beräknas med en antagen innetempertursänkning på 0.6⁰C blir den uppmätta besparingen endast 7.0 MWh/år. Denna besparing är fortfarande klart mindre än

den förväntade besparingen. Skillnaden mellan uppmätt och förväntad besparing kan alltså inte förklaras enbart med skillnader mellan uppmätt och förväntad temperatursänkning.

En jämförelse med resultat från HI ger följande:

För väggisoleringsgruppen i HI var k-värdet före isolering $0.73 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ och efter $0.38 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, att jämföra med $0.69 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ respektive $0.32 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ för husen i HII. Att k-värdet efter åtgärd i HI var högre beror främst på att det före 1979 räckte det med 5 cm tilläggsisolering för att få statligt energisparstöd. Efter 1979 krävs isolering motsvarande minst 10 cm mineralull.

För HI:ans vindsisoleringsgrupp var k-värdena före $0.55 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ och efter $0.22 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. I HII hade tilläggsisolerade vindsbjälklag k-värdet $0.41 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ före åtgärd och $0.15 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ efter. De vindsbjälklag som åtgärdades i denna undersökning var alltså ur k-värdessynpunkt klart bättre än de i HI.

En jämförelse mellan isolertjocklekarna i HI:an och HII:ans hus visar att isoleringstjockleken för både väggar och vindsbjälklag är större nu än tidigare. I HII är tilläggsisoleringstjockleken för vindsbjälklag 17 cm mot 11 cm i HI-undersökningen.

6.3 Elkonvertering i småhus

Uppmätt energiförbrukning, före	37.7 MWh/år	
Uppmätt besparing	8.2 MWh/år	22 %
Förväntad besparing	8.3 MWh/år	20 %

Uppmätt och förväntad besparing stämmer här väl överens.

Förväntad besparing beror till största delen på antagen förbättrad verkningsgrad för uppvärmningssystemet. En viss temperatursänkning har också antagits i de fall där ny reglerutrustning har installerats i samband med elkonverteringen.

I genomsnitt har alltså förväntad energibesparing erhållits i hus där elkonvertering utförts. Stora olikheter finns i besparing mellan enskilda hus. I procent av uppmätt föreförbrukning är besparingen 22 %, vilket stämmer med vår hypotes att den förbättrade verkningsgraden vid övergång från olja till el skulle ge en besparing i denna storleksordning.

6.4 Värmepumpsinstallationer i småhus

	Typ av värmekälla		
	Ytjord	Berg	Uteluft Grundvatten
Energiförbrukning före MWh/år	64.1	51.6	42.2
Energibesparing MWh/år	38.7	33.1	15.8
Energibesparing % i procent av föreförbrukningen	60	64	37
Årsvärmefaktor			
Uppmätt	2.4	2.3	2.0
Broschyr	2.6	2.6	2.6
Energitäckningsgrad %	92	96	62

Den uppmätta årsvärmefaktorn har jämförts med de värmefaktorer för värmepumparna som anges i fabrikanternas broschyrer. De uppmätta årsvärmefaktorerna ligger för samtliga tre typer av värmepumpar under de årsvärmefaktorer som anges av fabrikanterna. Störst är skillnaden för uteluftvärmepumparna. Detta kan troligen till en del förklaras med att mätperioden innefattar hela den kalla vintern 1985.

Årsvärmefaktorernas storlek är avhängiga av hur stor del av värmebehovet som värmepumparna avses täcka. Indirekt har alltså dimensionering av värmepumpen och hur systemlösningen i huset är gjord en avgörande betydelse för om man skall kunna få de minskade energiförbrukningar som utlovas av tillverkarna.

Värmepumparnas geografiska fördelning skiljer mycket mellan de olika grupperna. Berg- och grundvattenvärmepumpar var vanligast i Stockholms län, medan uteluftvärmepumpar förekom mest i de södra länen. Inga uteluftvärmepumpar undersöktes i norrlandslänen. Ytjordvärmepumparna var mer jämnt fördelade över landet.

Jämförelse har gjorts med två undersökningar genomförda av Vattenfall och Statens Provningsanstalt. Dessa undersökningar har genomförts på likartat sätt och under ungefär samma tidsperiod som HII.

Från sammanställningen i Tabell 6.1 som gjorts på energitäckningsgrad och årsvärmefaktorer för värmepumpar fördelat på tre typer av värmekällor från de refererade undersökningarna framgår att skillnaderna mellan årsvärmefaktorerna i de olika undersökningarna är marginella.

Skillnaden mellan erhållna energitäckningsgrader för uteluftvärmepumpar kan till stor del tillskrivas skillnader i uteklimatet där HII alltså innefattar hela den kalla vintern 1985. Vattenfallsundersökningen en del av den kalla vintern medan Statens Provningsanstalt avslutade mätningarna i december 1984, dvs innan köldperioden inträffade.

Tabell 6.1 Sammanställning av energitäckningsgrad, ETG, och årsvärmefaktorer, SPF, från tre större värmepumpsundersökningar (HII, Vattenfall och Statens Provingsanstalt) fördelade på olika värmekällor.

Typ av värmekälla	Ytjord		Berg, Grundvatten		Uteluft	
	SPF	ETG	SPF	ETG	SPF	ETG
HII	2.4	92	2.3	96	2.0	62
Vattenfall	2.2	96	2.4	90	2.2	72
Statens Pro- vingsanstalt	2.2	99	(1.7 100)		1.9	83

6.5 Fönsterisolering i flerbostadshus

Uppmätt energiförbrukning, före	14.8 MWh/lgh,år	
Uppmätt besparing	1.3 MWh/lgh,år	9 %
Förväntad besparing	1.3 MWh/lgh,år	10 %

De förändringar som antas vid beräkning av förväntad besparing är liksom för småhus förbättrat k-värde, sänkt innetemperatur med 0.5°C, minskning av solarean med 14 % samt vid självdragsventilerade hus en luftomsättningsminskning med 0.05 omsättningar per timme.

God överensstämmelse mellan uppmätt och förväntad besparing har erhållits i denna grupp, trots att den uppmätta innetemperaturen sänkts endast 0.3°C. Om den uppmätta besparingen beräknas med den standardiserade innetemperaturen blir besparingen 1.5 MWh/lgh,år, dvs något större än förväntad.

6.6 Vindsisolering i flerbostadshus

Uppmätt energiförbrukning, före	15.0 MWh/lgh,år		
Uppmätt besparing	0.7 MWh/lgh,år	5 %	
Förväntad besparing	0.8 MWh/lgh,år	6 %	

Överensstämmelsen mellan uppmätt och förväntad besparing är god.

Den förväntade energibesparingen på grund av vindsisoleringen antas proportionell mot k-värdesförändringen. Injustering av värmesystemet som genomförts i två hus antas möjliggöra en temperatursänkning i dessa hus med 0.25°C . För gruppen antas dock den standardiserade temperaturen vara oförändrad från före till efter perioden. Uppmätta innetemperaturer visar dock på en temperaturhöjning med 0.2°C vilket kan förklara att förväntad besparing inte helt erhållits. Om standardiserad innetemperatur används vid beräkning av uppmätt besparing blir besparingen sex procent.

Injustering av värmesystemet har endast skett i två av husen i denna grupp. En isolering bör följas upp av en injustering om hela sparpotentialen skall kunna tillvaratas. Ytterligare energibesparing bör därför kunna erhållas genom injustering med åtföljande sänkning av medeltemperaturen i husen.

Vindsisolering i flerbostadshus studerades även i HI-undersökningen. Där var den uppmätta besparingen närmare tre gånger så stor som den förväntade. Någon förklaring till denna stora skillnad kunde inte ges. I föreliggande undersökning överensstämmer dock den uppmätta besparingen med den förväntade.

6.7 Reglerpaket i flerbostadshus

Uppmätt energiförbrukning, före	16.8 MWh/lgh,år		
Uppmätt besparing	0.7 MWh/lgh,år	4 %	
Förväntad besparing	0.5 MWh/lgh,år	3 %	

Den genomsnittliga besparingen av reglerpaket är 4 % vilket är ungefär som beräknat. Spridningen i besparing mellan olika hus är dock så stor att besparingen inte är statistiskt säkerställd på 95 %-nivån. Huvudsyftet med reglerpaket är ju att uppnå mindre temperaturskillnader mellan olika lägenheter och därvid kunna få möjligheter att sänka medeltemperaturen. Temperaturmätningarna visar att temperatursänkning uppnåtts enligt hypoteserna.

I HI studerades en grupp med enbart installation av termostatventiler. Denna åtgärd gav en uppmätt besparing på 7 procent mot 4 procent för reglerpaketet. Det är alltså ett betydligt sämre resultat för mer omfattande åtgärder. Eventuellt fanns det utrymme för en större temperatursänkning i samband med åtgärden i HI, vilket skulle kunna förklara den större energibesparingen. Resultatet i HII dras alltså främst ned av undergruppen där injustering gjorts i samband med byte till nya radiatorventiler utan termostater. I övriga undergrupper ligger besparingen på 8 % vilket bättre överensstämmer med resultatet från termostatventilgruppen i HI.

6.8 Åtgärds paket i flerbostadshus

Uppmätt energiförbrukning, före	15.2 MWh/lgh,år	
Uppmätt besparing	2.1 MWh/lgh,år	14 %
Förväntad besparing	2.1 MWh/lgh,år	16 %

Uppmätt och förväntad besparing är lika stor. Trots överensstämmelsen mellan uppmätt och förväntad besparing var den uppmätta innetemperatursänkningen inte så stor som den antagna, 0.4°C mot 0.7°C .

Förväntad energibesparing har således erhållits i hus där åtgärds paket utförts. Stora olikheter mellan enskilda hus finns dock. Av analyser från undergrupper finns en tendens till att ett byte av uppvärmningssystem eller pannbyte medfört större besparing än i övriga hus. Men även åtgärds paket med stort inslag av

byggnadstekniska åtgärder har givit god besparing. Av bland annat temperaturmätningar och observationer av olika anläggningars drift syns möjligheterna till energibesparing inte till fullo ha utnyttjats. En viss besparingspotential bör rimligen kvarstå.

6.9 Fjärrvärmeanslutning i flerbostadshus

Uppmätt energiförbrukning, före	20.0 MWh/lgh,år	
Uppmätt besparing	4.7 MWh/lgh,år	24 %
Förväntad besparing	2.4 MWh/lgh,år	15 %

Överensstämmelsen mellan uppmätt och förväntad besparing är mycket dålig.

Förväntad besparing beror på antagen förbättrad verkningsgrad för uppvärmningssystemet. En temperatursänkning har också antagits på grund av att ny reglerutrustning har installerats i några hus.

En betydligt större besparing än förväntad har alltså erhållits, trots att en förväntad temperatursänkning på 0.6°C helt har uteblivit.

Om uppmätt besparing beräknas med standardiserade temperaturer blir den 5.3 MWh/lgh,år, vilket är mer än dubbelt så stort som förväntad besparing.

Även mellan uppmätt och förväntad förbrukning är skillnaden stor, större än i någon annan flerbostadshusgrupp.

Den stora skillnaden mellan uppmätt och förväntad besparing kan bero på felaktigt antagen verkningsgrad. För oljepannor i flerbostadshusen har vi (se avsnitt 3.7) antagit en genomsnittlig verkningsgrad på 0.85, vilket för dessa hus kan vara ett för högt valt värde om skötseln av pannorna trappats ned på grund av att de skulle bytas ut. Detta styrks också av att uppmätt föreförbrukning är betydligt större än förväntad förbrukning för dessa

hus. Om i stället verkningsgraden väljs till 0.75 blir den förväntade föreförbrukningen ungefär 17.7 MWh/lgh,år. Den förväntade besparingen blir då ungefär 25 % att jämföra med uppmätt besparing på 24 %.

6.10 Värmepumpsinstallationer i flerbostadshus

		Typ av värmekälla	
		Berg	Uteluft
		Grundvatten	
Energiförbrukning före	MWh/lgh,år	24.6	15.8
Energibesparing	MWh/lgh,år	13.2	6.6
Energibesparing i procent av föreförbrukningen	%	54	42
Årsvärmefaktor			
	Uppmätt	2.9	3.1
	Broschyr	2.9	2.4
Energitäckningsgrad	%	77	55

Att broschyrårsvärmefaktorn har uppnåtts i flerbostadshus men ej i småhus kan bero på bättre projektering i flerbostadshusen och därmed bättre systemlösning och dimensionering. Handhavandet av det nya mer komplicerade system som en värmepump måste anses vara i förhållande till en oljeanläggning kan också ha varit bättre i flerbostadshusen då det ofta finns driftspersonal i flerbostadshusen.

7 RESULTATENS GILTIGHET

7.1 Inledning

I detta kapitel diskuteras noggrannheten i resultaten och i vad mån dessa kan generaliseras till någon annan del av byggnadsbeståndet.

De ideala resultaten från undersökningen vore att genom mätningarna exakt få veta vilka minskningar i energianvändningen i de undersökta 306 husen som direkt kan tillskrivas åtgärderna och att dessutom beräkna dessa minskningar på teoretisk väg med hjälp av tekniska uppgifter om husen och åtgärderna.

Av flera olika skäl kan inte sådana exakta redovisningar lämnas. För det första mäts inte energispareffekten direkt. Det är svårt att från utförda mätningar isolera effekterna av sparåtgärder från de effekter som kan tillskrivas övriga förändringar som inträffat under undersökningsperioden. För det andra kan inte tillräckligt många tekniska och andra uppgifter samlas in för att energibesparingar skall kunna beräknas på ett detaljerat sätt.

Mät- och teorimodellerna som använts i föreliggande undersökning ger således resultat som innehåller större eller mindre fel. För att avgöra resultatens giltighet och kunna dra slutsatser behöver först storleken på dessa fel analyseras.

Analyserna i avsnitten 7.5 - 7.11 har genomförts med statistiska metoder enligt Appendix I. Den statistiskt obehövande läsaren kan hoppa över dessa avsnitt och läsa främst slutsatserna från analysen i avsnitt 7.13.

7.2 En analys av mätmodellen

För ett antal hus i undersökningen har energiförbrukningen uppmätts för ett helt år. Genom att jämföra dessa årssiffror med

skattade förbrukningar för året i fråga från mätmodellen, kan vi få en uppfattning av storleken på eventuella systematiska fel i mätmodellen och storleken på det slumpmässiga felet som är orsakade bl a av urvalet av mätperioder.

Tabell 7.1 Årsenergiförbrukningar med mätmodellen och uppmätta årsenergiförbrukningar för ett antal hus. (Småhus = SH, Flerbostadshus = FH)

Hus nr	Hus- typ	Årsenergiförbrukning i MWh/lgh			Skillnad i procent
		Från mätmodellen	Enligt årsmätning	Skillnad	
1	SH	28.9	22.3	6.6	23
2	SH	22.7	25.1	-2.4	-11
3	SH	22.5	20.3	2.2	10
4	SH	46.5	42.3	4.2	9
5	SH	34.2	33.3	0.9	3
6	SH	29.6	32.4	-2.8	-9
7	SH	44.2	46.0	-1.8	-4
8	SH	29.6	33.4	-3.8	-13
Medel- värde	SH	32.3	31.9	0.4	1
9	FH	13.0	12.8	0.2	2
10	FH	13.6	14.5	-0.9	-7
11	FH	12.7	13.2	-0.5	-4
12	FH	13.1	13.2	-0.1	-1
13	FH	15.5	15.6	-0.1	-1
Medel- värde	FH	13.6	13.9	-0.3	-2

Tabell 7.1 visar inga tendenser till vare sig över- eller underskattningar av årsförbrukningen med mätmodellen. Resultaten tyder på, att de genomsnittliga eller systematiska felen i genomsnittliga årsförbrukningar med mätmodellen är små i förhållande till årsförbrukningarnas allmänna nivå. En orsak till de enskilda skillnaderna i tabellen är de använda standardiseringarna i mätmodellen, bl a standardiseringarna av uppvärmningssäsongens längd. Man kan förmoda att de erhållna skillnaderna bör ha blivit mindre om de faktiska uppvärmningsperioderna stämt överens med de antagna. En annan orsak är att de verkliga sommarförbrukningarna

avviker från de i mätmodellen antagna. Effekten av dessa felkällor torde vara väsentligt mindre för flerbostadshus än för småhus beroende på att (i) i flerbostadshus används normalt fasta eldningssäsonger och (ii) för flerbostadshus stämmer sommarförbrukningarna, beroende på att det finns många personer i husen, relativt bra överens med de använda schablonvärdena.

7.3 En analys av teorimodellen

Teorimodellen överensstämmer i stora drag med många andra modeller som i dag används för beräkning av årsenergiförbrukning i hus. Som en kontroll av teorimodellen har årsenergiförbrukningar beräknats med en av dessa andra teorimodeller, nämligen ENORM-modellen (Munther 1982). Tabell 7.2 visar förbrukningar erhållna med denna modell tillsammans med mät- och teorimodellernas årsförbrukningar. Uppgifterna avser föreförbrukningarna för småhusen i undersökningen.

Tabell 7.2 Årsenergiförbrukning i ett antal småhus efter uppvärmningssätt beräknad med mät- och teorimodellerna och med ENORM-modellen. Standardavvikelser redovisas inom parentes.

Uppvärmnings-sätt	Antal hus	Årsenergiförbrukning [MWh/lgh]		
		Uppmätt (mätmodellen)	Förväntad (teorimodellen)	ENORM
Vattenburen el	25	27.0 (7.3)	30.6 (6.7)	26.4 (6.6)
Olja	105	40.2 (13.8)	41.2 (12.2)	37.5 (12.9)
Direkte	12	24.7 (10.6)	24.2 (6.9)	24.2 (6.5)

Av Tabell 7.2 framgår, att de slutsatser som dras om teorimodellens förmåga att förutse energiförbrukningar och -besparingar bör i stor utstäckning vara giltiga även för ENORM-modellen. Skillnaderna mellan medelvärdena från teori- och ENORM-modellerna tyder på att det finns vissa betydande skillnader mellan modellerna.

Dessa skillnader bör emellertid kunna försummas i stor utsträckning vid beräkning av energibesparing som skillnaden mellan två årsförbrukningar.

7.4 En analys av innetemperaturer

I Temperaturundersökningen (Holgersson och Norlén, 1982) kartlades innetemperaturer i bostadsbeståndet med en metod som motsvarar den som använts i föreliggande undersökning. Temperaturmätningarna utfördes under vårvintern i sammanlagt nio kommuner jämnt utspridda över landet.

I Gymnasieundersökningen (Norlén, 1985) utfördes temperaturmätningar under vårvintern 1983 i sammanlagt 35 kommuner över hela landet. Även dessa mätningar utfördes med en metod som motsvarar den metod som använts här.

Föremätningarna i föreliggande undersökning utfördes i huvudsak under vårvintern 1984. Eftermätningarna utfördes under vårvintern 1985.

Tabell 7.3 Innetemperaturer 1982-1985 i små-och flerbostadshus enligt tre undersökningar. Standardavvikelser redovisas inom parentes.

År	Undersökning	Småhus		Flerbostadshus	
		Undersökt antal	Genomsnittlig innetemperatur	Undersökt antal	Genomsnittlig innetemperatur
1982	Temperaturundersökningen	67	20.4 (1.1)	71	21.8 (0.8)
1983	Gymnasieundersökningen	154	20.2 (1.0)	93	21.2 (1.4)
1984	Högskoleprojekt II (föremätningar)	146	20.4 (1.3)	160	21.8 (1.1)
1985	Högskoleprojekt II (eftermätningar)	146	20.6 (1.1)	160	21.7 (1.0)

Om vi jämför resultaten från dessa mätningar kan vi få indikationer om valen av schablontemperaturer vid beräkning av förväntad energibesparing är rimliga och om den allmänna temperaturnivån har sänkts eller ej, sett över en något längre tidsperiod än den tidsperiod under vilken mätningarna genomfördes.

De undersökta byggnadsbestånden i de tre undersökningarna är inte desamma. Överensstämmelsen är emellertid relativt stor. Husen i varje undersökning ligger i 7-9 geografiskt sammanhängande områden spridda över hela landet. Innetemperaturerna varierar lite mellan områdena om vi behandlar små- och flerbostadshusen var för sig, se bl a Norlén (1985). Vi antar att skillnaderna mellan de tre populationerna kan försummas vid jämförelser av innetemperaturer erhållna i undersökningarna.

Av Tabell 7.3 framgår, att den genomsnittliga temperaturnivån 20.4°C för småhus och 21.8°C i flerbostadshus i Temperaturundersökningen, som valts för standardiseringarna i föreliggande undersökning får stöd av mätningarna. Skillnaden mellan temperaturnivåerna för små- och flerbostadshusen förefaller ha legat konstant på drygt 1°C . Nivåerna verkar inte heller ha höjts eller sänkts under perioden 1982-85.

7.5 De systematiska felens storlek

Den förda diskussionen ger anledning att förmoda, att det kan finnas ett visst systematiskt fel i de genomsnittliga besparingarna från mät- och teorimodellerna. Vi har testat om skillnaden mellan mät- och teorimodellens genomsnittliga besparingar är statistiskt signifikanta på 95%-nivån enligt Appendix I.

Vi fann, att för två åtgärder är den skattade medelvärdeskillnaden signifikant, nämligen för isoleråtgärder i småhus och för konvertering till fjärrvärme i flerbostadshus. Det är svårt att avgöra om det är mät- eller teorimodellen som ger systematiska fel för dessa åtgärder, eller om båda modellerna ger systematiska fel.

7.6 De slumpmässiga felens storlek

Variationen i uppmätta besparingar mellan hus kan delas upp i tre termer: (1) En "genuin" varians orsakad av den faktiska variationen i besparing mellan hus, (2) en "skenbar" varians orsakad av det slumpmässiga felet i uppmätt besparing, och (3) en kovariansterm. Uppdelningen kan skrivas på följande sätt:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Erhållen varians i} \\ \text{uppmätt besparing} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Genuin varians} \\ \text{i besparing} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Skenbar varians i} \\ \text{uppmätt besparing} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Kovarians-} \\ \text{term} \end{array} \right]$$

På ett motsvarande sätt kan variationen i erhållna förväntade besparingar delas upp i tre termer på följande sätt:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Erhållen varians} \\ \text{i förväntad} \\ \text{besparing} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Genuin varians} \\ \text{i besparing} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Skenbar varians} \\ \text{i förväntad} \\ \text{besparing} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Kovarians-} \\ \text{term} \end{array} \right]$$

Den skenbara variansen i uppmätt besparing kan skattas från mätningarna enligt Appendix I. Denna skattning tillsammans med villkoret att den genuina variansen är lika stor för både uppmätt och förväntad besparing kan användas för att skatta den skenbara variansen i förväntade besparingar.

Tabell 7.4 Uppdelningen av erhållen variation i energibesparing i genuin och slumpmässig variation. Som mått på variation används standardavvikelsen (MWh/lgh,år).

Åtgärd	Erhållen variation		Genuin variation i besparing	Skenbar variation	
	Uppmätt besparing	Förväntad besparing		Uppmätt besparing	Förväntad besparing
Småhus:					
Fönsterisolering	2.4	.8	2.0	1.3	1.9
Isoleråtgärder	5.5	5.3	5.4	1.3	4.8
Elkonvertering	5.7	1.5	5.1	2.5	5.1
Flerbostadshus:					
Fönsterisolering	2.1	.9	2.0	.6	1.5
Vindsisolering	.9	.5	.8	.5	.9
Reglerpaket	2.1	.6	2.1	.4	2.1
Åtgärds paket	1.7	1.7	1.6	.5	1.9
Fjärrvärmeanslutning	4.4	.7	3.9	2.0	3.5

För t ex åtgärden fönsterisolering av småhus har således variationen i uppmätt energibesparing delats upp i Tabell 7.4 på följande sätt:

$$\begin{array}{rcll}
 \text{Uppmätt} & \text{Genuin(faktisk)} & \text{Slumpmässig(skenbar)} & \text{Kovarians-} \\
 \text{variens} & \text{variens} & \text{variens} & \text{term} \\
 \\
 2.4^2 & = 2.0^2 & + 1.3^2 & + 0
 \end{array}$$

Av Tabell 7.4 framgår, att de skenbara varianserna och därmed de slumpmässiga felen är stora, särskilt felen i de förväntade besparingarna. Den genuina eller faktiska variationen i besparingarna är också betydande.

7.7 Beskrivning av energibesparingarnas genomsnittliga nivå

I praktiken kan inte felets storlek i en uppmätt eller förväntad energibesparing anges exakt.

Som mått på det totala felet i en skattning anvisar den statistiska teorin skattningens medelkvadratavvikelse (MKA). Om en skattning inte har något systematiskt fel, är MKA lika med skattningens varians. Medelkvadratavvikelsen definieras som summan av skattningens varians och kvadraten på det systematiska felet, dvs

$$\text{MKA} = \text{Var}(\text{skattningen}) + (\text{Systematiskt fel})^2$$

För att ange noggrannheten i en skattning, kan vi konstruera konfidensintervall för besparingarna. I den statistiska litteraturen rekommenderas användning av intervallet $B \pm 2 \text{ MKA}$ på 95%-nivån om skattningarna har systematiska fel, där B är en skattning och där MKA är medelkvadratavvikelsen för skattningen. Det systematiska felet får emellertid inte vara alltför stort jämfört med det slumpmässiga felet, säg högst en standardavvikelse.

I Tabell 7.5 redovisas skattningar av kvadratroten ur medelkvadratavvikelserna för genomsnittliga energibesparingar. Mätmodellen antas inte ge några systematiska fel. Teorimodellen antas ge ett systematiskt fel för de tre åtgärder med de största numeriska testvärdena i avsnitt 7.5. Dessa åtgärder är byte till treglasfönster i småhus, isolering av småhus och konvertering till fjärrvärme i flerbostadshus. För dessa åtgärder antas det systematiska felet vid användning av teorimodellen vara 1.1, 2.4 respektive -2.3 MWh/lgh,år, jfr. Tabell 8.1.

Tabell 7.5 Kvadratroten ur medelkvadratavvikelserna för uppmätta och förväntade genomsnittliga energibesparingar. De medelkvadratavvikelser som

- baseras på för stora systematiska fel för att kunna användas för konstruktion av konfidensintervall anges inom parentes.
- är så stora att den genomsnittliga energibesparingen ej är statistiskt skild från noll är markerade med *.

Åtgärd	Genomsnittlig uppmätt besparing	Kvadratroten ur medelkvadratavvikelse för genomsnittlig	
		Uppmätt besparing	Förväntad besparing
Småhus:			
Fönsterisolering	1.6	.5	(* 1.0)
Isoleråtgärder	6.0	1.0	(2.6)
Elkonvertering	8.1	1.0	0.3
Flerbostadshus:			
Fönsterisolering	1.3	.4	.2
Vindsisolering	.6	.2	.1
Reglerpaket	.7	* .5	.1
Åtgärdspaket	2.1	.3	.3
Fjärrvärmeanslutning	4.7	.9	(* 2.3)

Av Tabell 7.5 framgår, att genomsnittliga uppmätta besparingar är signifikant skilda från noll i alla fall utom ett vid föreliggande undersökningstorlekar på mellan 19 och 39 hus. Undantaget är den genomsnittliga besparingen vid regleråtgärder i flerbostadshus.

Undersökningens beskrivande syfte, att med rimlig och angiven noggrannhet redovisa genomsnittliga energibesparingar, kan sägas vara uppfyllt.

7.8 Beskrivning av enskilda energibesparingar

I Tabell 7.6 redovisas kvadratroten ur medelkvadratavvikelseerna för enskilda energibesparingar, baserade på uppgifterna i Tabell 7.4. Härvid har antagits, att mätmodellen inte ger några systematiska fel, medan teorimodellen ger ett systematiskt fel för de tre åtgärderna enligt avsnitt 7.7. Detta systematiska fel antas vidare vara lika stort för alla husen inom samma åtgärdsgrupp.

Tabell 7.6 Kvadratroten ur medelkvadratavvikelseerna för enskilda energibesparingar. De medelkvadratavvikelseer som är så stora att en energibesparing i ett hus, som är lika stor som den genomsnittliga energibesparingen, ej är statistiskt skild från noll är markerade med *.

Åtgärd	Genomsnittlig uppmätt besparing	Kvadratroten ur medelkvadratavvikelsen för:	
		Uppmätt besparing	Förväntad besparing
Småhus:			
Fönsterisolering	1.6	* 1.3	* 2.2
Isoleråtgärder	6.0	1.3	* 5.3
Elkonvertering	8.1	2.5	* 5.1
Flerbostadshus:			
Fönsterisolering	1.3	.6	* 1.5
Vindsisolering	.6	* .5	* .9
Reglerpaket	.7	* .4	* 2.1
Åtgärds paket	2.1	.5	* 1.9
Fjärrvärmeanslutning	4.7	2.0	* 4.2

Av Tabell 7.6 framgår, att uppmätta besparingar i enskilda hus är i allmänhet signifikanta (skilda från noll) för fem av de åtta åtgärderna. Uppmätta besparingar för åtgärderna byte till tre-glasfönster i småhus, vindsisolering i flerbostadshus och reglerpaket i flerbostadshus är i allmänhet alltför osäkra.

Dessa slutsatser avser användning av mätmodellen med data från före- och efterperioder som vardera har längderna 10-12 veckor. Om mätperioderna hade varit längre, skulle besparingarna ha skattats med bättre noggrannhet. Ett annat sätt att förbättra

skattningarna skulle ha varit att använda dygnsvärden i stället för veckovärden. Detta sätt bedömdes emellertid vid planeringen av undersökningen vara praktiskt ogenomförbart.

7.9 Förklaring av energibesparingarnas genomsnittliga nivå

Teorimodellen kan användas för att försöka förklara nivåer och variationer i energibesparing. Av Tabell 7.6 framgår, att enskilda besparingar inte i något fall kan förutsägas med rimlig noggrannhet. Av Tabell 7.5 framgår, att genomsnittliga nivåer kan förutsägas för fem av de åtta åtgärderna. Förväntade genomsnittliga besparingar för tre åtgärder innehåller ett alltför stort systematiskt fel.

En anledning till de stora systematiska felen i genomsnittliga förväntade besparingar är de gjorda antagandena om temperatursänkningar vid vissa typer av åtgärder, jfr Appendix G. Om uppmätta besparingar beräknas utifrån de i teorimodellen antagna temperatursänkningarna blir bilden en annan. Detta framgår vid testning om skillnaderna mellan medelvärdet av uppmätt standardiserad och medelvärdet av förväntad energibesparing är lika med noll.

Den förväntade energibesparingen är signifikant skild (på 95 %-nivån) från den uppmätta standardiserade energibesparingen för endast åtgärden konvertering till fjärrvärme i flerbostadshus.

För isoleråtgärderna har energibesparingen delvis tagits ut i form av ökad komfort. Även om innetemperaturen kanske inte höjdes efter isoleringen i ett enskilt fall, så ger de höjda vägg- och taktemperaturerna en högre operativ innetemperatur och ger därmed ökad komfort.

Av nedanstående lista framgår, att t ex vid fönsterisolering i småhus kan $2.0 - 1.6 = 0.4$ MWh/lgh,år eller 20 % av energibesparingen antas ha tagits ut i form av ökad komfort.

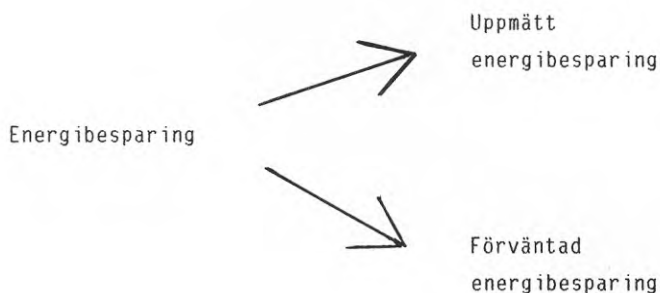
Av listan kan man på ett motsvarande sätt räkna ut att samma andel av energibesparingen kan antas ha tagits ut i ökad komfort även för de andra åtgärderna.

Åtgärd	Uppmätt besparing MWh/lgh, år	Uppmätt standardiserad besparing MWh/lgh, år
Småhus:		
Fönsterisolering	1.6	2.0
Isoleråtgärder	6.0	7.0
Elkonvertering	8.2	7.7
Flerbostadshus:		
Fönsterisolering	1.3	1.5
Vindsisolering	0.7	0.8
Reglerpaket	0.7	0.6
Åtgärds paket	2.1	2.2
Fjärrvärmeanslutning	4.7	5.3

Ett undersökningssyfte är att försöka förklara energibesparingarnas genomsnittliga nivå. Den relativt goda överensstämmelsen mellan uppmätta standardiserade och förväntade genomsnittliga besparingar innebär att detta syfte är uppfyllt.

7.10 Förklaring av energibesparingarnas variation mellan hus

En uppmätt och en förväntad besparing i ett hus reflekterar energibesparingen. Situationen kan åskådliggöras på följande sätt:



Orsakssambanden går i pilarnas riktning. Mellan uppmätta och förväntade besparingar existerar inget orsaksförhållande. Dessa två mått är korrelerade endast beroende på att båda påverkas av besparingens storlek. Den partiella korrelationskoefficienten mellan uppmätt och förväntad besparing vid en given besparing bör därför vara lika med noll. Detta villkor kan användas för att skatta korrelationskoefficienten mellan uppmätt besparing och besparing samt mellan förväntad besparing och besparing.

Tabell 7.7 Korrelationskoefficienter mellan energibesparing och de två måtten uppmätt respektive förväntad energibesparing.

Åtgärd	Korrelation mellan energibesparing och uppmätt energibesparing	Korrelation mellan energibesparing och förväntad energibesparing
Småhus:		
Fönsterisolering	.85	.31
Isoleråtgärder	.97	.61
Elkonvertering	.90	.17
Flerbostadshus:		
Fönsterisolering	.96	.68
Vindsisolering	.87	.12
Reglerpaket	.98	.19
Åtgärdspaket	.96	.35
Fjärrvärmeanslutning	.89	.69

Av Tabell 7.7 framgår, att teorimodellen endast förklarar mellan $100 \cdot .12^2 = 1$ och $100 \cdot .69^2 = 48$ procent av variationen i energibesparingarna. Ett undersökningssyfte är att förklara besparingarnas variation mellan hus. Dessa låga korrelationer innebär, att detta syfte endast delvis är uppfyllt. Mätmodellen reproducerar mycket mer av variationen, mellan $100 \cdot .85^2 = 72$ och $100 \cdot .97^2 = 94$ procent.

7.11 Energibesparing i andra hus

En viktig fråga i undersökningen är om man på ett meningsfullt sätt kan generalisera resultaten, som erhållits för de drygt 300 husen, till någon annan del av byggnadsbeståndet.

De erhållna enskilda och genomsnittliga besparingarna är här av mindre intresse, eftersom varje besparing beror på de specifika förutsättningarna i de undersökta husen, deras tekniska egenskaper, uteklimat och användning, förutom själva energisparåtgärden. Dessa förutsättningar varierar mycket från hus till hus. Av jämförelsen i kapitel 2 framgår också, att vissa betydande skillnader föreligger mellan de studerade husen och det befintliga byggnadsbeståndet i tekniskt avseende, bl a var ytterväggarnas k-värde före åtgärd större i de studerade husen än i byggnadsbeståndet.

Mera intressant är att avgöra i vilken utsträckning som använda mät- och teorimodeller kan tillämpas för andra hus. Särskilt intressant är teorimodellen, eftersom den överensstämmer i stora drag med många av de modeller som används för bedömningar av energibesparingar i hus innan åtgärder genomförs, jfr Tabell 7.2.

Samma mekanismer för värmetransport gäller givetvis för alla hus. Att värmeflödena blir olika för olika hus, beror på att ett antal faktorer (husets tekniska egenskaper, dess uteklimat och hur huset används) varierar från hus till hus. Frågan blir därför i vilken utsträckning undersökningen ger underlag för slutsatser om hur väl dessa faktorer inverkan är formulerade i teorimodellen.

Undersökningen omfattar hus som hade mycket varierande förutsättningar för energibesparing med avseende på ovannämnda faktorer, jfr Tabell 2.2. Teorimodellen har därför prövats i många fall som representerar vitt skilda värden på faktorerna. På goda grunder kan därför antas, att slutsatserna om teorimodellen håller även för andra hus i byggnadsbeståndet.

Slutsatsen, att teorimodellen ger stora tillfälliga fel, innebär att modellen är begränsat användbar för bedömning av energibesparingar i enskilda hus. Dessa begränsningar är inte förvånande. Slutsatsen är helt förenlig med resultaten i Lundströms (1986) och Gaunts (1985) undersökningar av variationen i energiförbrukningen mellan (nominellt) tekniskt likadana småhus med samma uteklimat. De stora variationer i energiförbrukningen, som både Lundström och Gaunt redovisar, kan till största delen antas bero på variationer i hur husen använts. Denna variation kan inte föreliggande teorimodell reproducera. Husens användning har standardiserats i modellen på så sätt att en och samma användning (innetemperatur, hushållsel- och varmvattenanvändning) har antagits för alla småhus och en och samma användning antagits för alla flerbostadshus. Det är rimligt att anta att fel i årsförbrukningar beroende på dessa standardiseringar resulterar i relativt stora slumpmässiga fel i enskilda besparingar.

Slutsatsen, att de systematiska felen inte kan försummas för vissa typer av åtgärder, bör också gälla vid användning av teorimodellen för andra hus. Storleken på de systematiska felen kan givetvis skilja sig från dem som konstaterats i denna undersökning.

Dessa slutsatser innebär för det första, att teorimodellen har störst användning för bedömning och prognoser av genomsnittliga besparingar, och för det andra, en rekommendation att revidera vissa i dag förekommande antaganden vid beräkning av energibesparing. Ett exempel på en sådan revidering är antagandet om sänkt innetemperatur i samband med vissa typer av tilläggsisoleringar. Antagandet om en allmän sänkning av innetemperaturen vid vissa typer av isoleråtgärder får inte stöd i denna undersökning. Ett annat exempel är, att i hus aktuella för konvertering till fjärrvärme är eller har åtminstone hittills vissa förekommande schablonvärden för oljepannors verkningsgrad varit för höga. Revideringar av teorimodellen bör kunna leda till minskning av de systematiska felen. Möjligheterna, att med mindre revideringar minska de tillfälliga felens storlek, är emellertid begränsade.

7.12 Jämförelser med andra undersökningar

Flera andra undersökningar har genomförts under de senaste åren med i stort sett samma syfte som föreliggande undersökning, bl a föregångaren till denna undersökning, Högskoleprojekt I, tre svenska undersökningar av värmepumpar, en undersökning av norska byggforskningsinstitutet och två amerikanska undersökningar utförda vid utvärderingar av energisparprogram. I detta avsnitt jämförs resultaten från dessa undersökningar med resultaten från föreliggande undersökning.

I Högskoleprojekt I (HI) erhöles genomsnittliga besparingar av vinds- och/eller väggisoleringar i småhus som motsvarade ca 70 % av de förväntade besparingarna (Ds Bo 1980:8). I föreliggande undersökning uppnåddes större överensstämmelse mellan uppmätt och förväntad besparing vid tilläggisolering av småhus. Den uppmätta standardiserade energibesparingen är 84 % av den förväntade energibesparingen.

För åtgärden vindsisolering i flerbostadshus erhöles i HI en genomsnittlig besparing som överskred den förväntade med hela 212 procent. I HII överskreds den förväntade besparingen med 8 procent.

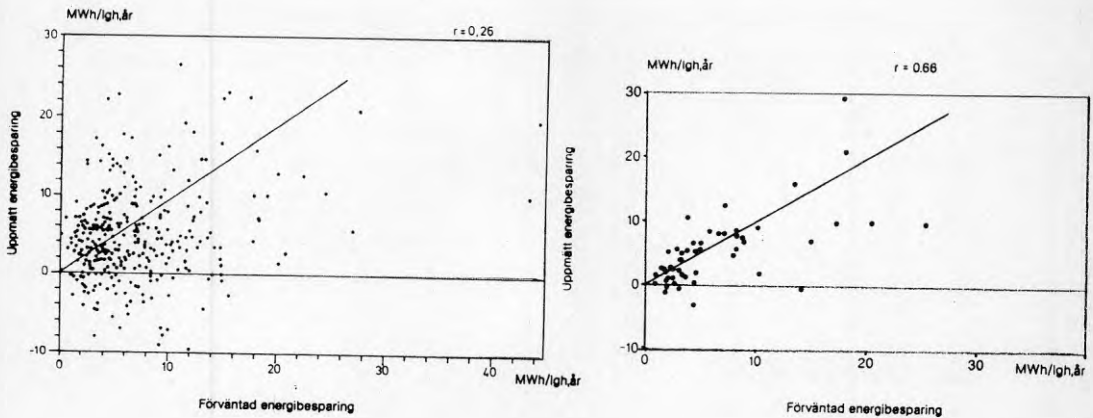
Den genomsnittliga besparingen i småhus vid byte eller komplettering till 3-glasfönster låg ca 30 % över de förväntade i HI och ligger ca 40 % under de förväntade i HII.

I övrigt har inte samma åtgärder studerats i de två undersökningarna.

Besparingar i enskilda hus har kunnat bestämmas med något bättre noggrannhet i HII än i HI. Figur 7.1 illustrerar denna förbättring.

Både HI- och HII-undersökningarna visar stora variationer i energibesparing mellan hus. Dessa variationer har endast delvis kunnat förklaras. Den något större delen förklarad variation i

HII än i HI beror på att i HII har fler mätningar av energiförbrukningar kunnat göras. Dessutom har inne- och utetemperaturer mätts.



Figur 7.1 Uppmätt mot förväntad energibesparing vid isolering av småhus. Till vänster visas resultat för 341 tilläggsisolerade hus i Högscoleprojekt I. Till höger visas resultat för 19 hus som bytt till treglasfönster och för 33 hus som tilläggsisolerats i Högscoleprojekt II.

Vattenfalls (Spante, 1986) och Statens provningsanstalts (1985) undersökningar av värmepumpar omfattar sammanlagt 76 respektive 13 småhus. Nästan alla typer av värmekällor för värmepumpar har studerats i de båda undersökningarna, nämligen ytjord, sjövattnen, berg, grundvatten och uteluft. Mätningarna har utförts under i huvudsak samma tidsperiod som i föreliggande undersökning. Vattenfalls mätningar utfördes under perioden från april 1984 till mars 1985. Provningsanstaltens mätningar utfördes under hela

året 1984. Årsvärmefaktorer för värmepumparna har vidare erhållits från mätningar med en i stort sett likadan metod som den som använts här. Tabell 7.8 redovisar erhållna årsvärmefaktorer och energitäckningsgrader från dessa undersökningar och från föreliggande undersökning.

Tabell 7.8 Genomsnittliga årsvärmefaktorer (SPF) och energitäckningsgrader (ETG) för värmepumpar i småhus med olika värmekällor i Vattenfalls (VF, Spante 1986), Statens provningsanstalts (SP, Statens provningsanstalt 1985) och Högskoleprojektet II:s undersökningar.

Värmekälla	Under- sökning	Antal småhus n	Årsvärme- faktor SPF	Energitäcknings- grad i procent ETG
Ytjord eller sjövatten	HII	8	2.4	92
	VF	15	2.2	96
	SP	4	2.2	99
Berg eller grundvatten	HII	16	2.3	96
	VF	22	2.4	90
	SP	1	1.7	100
Uteluft	HII	26	2.0	62
	VF	39	2.2	72
	SP	8	1.9	83

Av Tabell 7.8 framgår, att undersökningarna visar samstämmiga resultat. Skillnaderna mellan undersökningarnas årsvärmefaktorer för värmepumpar med samma typ av värmekälla är försumbara. Skillnaderna mellan energitäckningsgraderna för värmepumpar med uteluft som värmekälla kan till stor del tillskrivas skillnader i uteklimat under de år mätningarna genomfördes. HII-undersökningen omfattar hela den kalla vintern 1985. Vattenfalls undersökning omfattar en del av denna kalla vinter. Statens provningsanstalts undersökning avslutades i december 1984 före köldperioden under vintern 1985.

Malmö energiverks (1985) undersökning ger underlag för jämförelser av minskningen i nettoenergibehovet vid installation av värmepump. Tabell 7.9 redovisar erhållna minskningar i denna

undersökning och i föreliggande undersökning. Av tabellen framgår, att i de båda undersökningarna är minskningarna i genomsnitt mellan 41 och 54 % för värmepumpar med ytjord, sjövattnen, berg eller grundvattnen som värmekälla och ca 30 % för värmepumpar med uteluft som värmekälla.

Tabell 7.9 Genomsnittlig minskning av nettoenergibehovet vid installation av värmepump i småhus i Malmö energiverks (1985) undersökning och i föreliggande HII-undersökning.

Värmekälla	Under-sökning	Antal småhus	Minskning av nettoenergibehovet i %
Ytjord eller sjövattnen	HII	8	50
	Malmö EV	10	41
Berg eller grundvattnen	HII	16	54
	Malmö EV	ca 60	45
Uteluft	HII	26	29
	Malmö EV	ca 50	32

Vattenfalls och Malmö Energiverks undersökningar av värmepumpar, omfattar även ett antal större värmepumpar, installerade i flerbostadshus och skolor. Möjligheten att direkt jämföra erhållna resultat från dessa undersökningar med HII-undersökningens är begränsad, beroende på skillnader i hur resultaten redovisats. För att få en uppfattning om rimligheten i erhållna resultat från värmepumpsinstallationer i flerbostadshus har därför resultaten räknats om.

I Vattenfalls (Amnell, 1985) undersökning har de flesta (21 st) värmepumparna ytjord som värmekälla. Energitäckningsgraden för dessa värmepumpar varierar mellan 48 och 96 %. Deras årsvärmefaktor varierar mellan 2.2 och 2.8. Medelvärdena är 68 % respektive 2.5. I HII-undersökningens värmepumpsgrupp med grundvattnen som värmekälla (10 st) är motsvarande värden 77 % och 2.9.

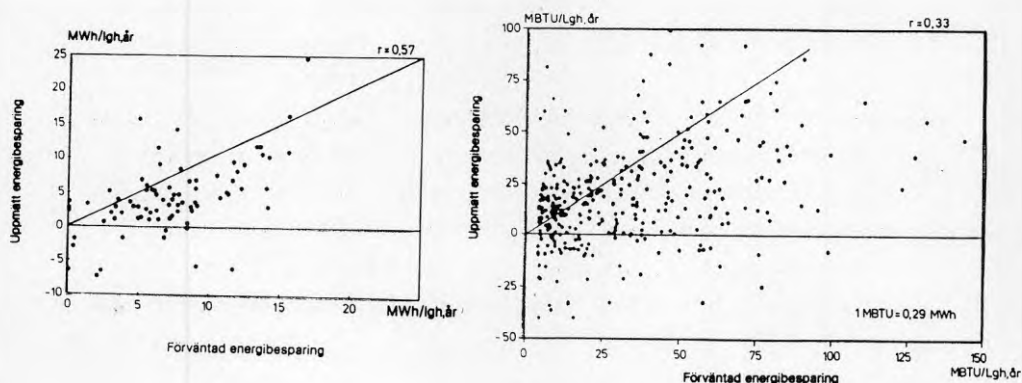
Malmö Energiverk redovisar resultat från 8 grundvattenvärme-pumpar. För dessa är minskningen av nettoenergiförbrukningen 33 % av föreförbrukningen. I HII-undersökningen är motsvarande minskning 48 % för 10 berg/grundvattenvärmepumpar.

Norska byggforskningsinstitutets undersökning (Sörensen 1981) av isoleråtgärder och fönsterbyten genomfördes under slutet av 1970-talet med en metod som närmast motsvarar den som användes i HI. Två helårsförbrukningar före åtgärd jämfördes med två helårsförbrukningar efter åtgärd, varvid förbrukningarna klimatkorrigerades vid 20°C antagen innetemperatur. Sammanlagt undersöktes 83 småhus uppvärmda med el, olja eller fastbränsle. Dessa hus tilläggisolerades och/eller försågs med treglasfönster under 1977. De uppmätta energibesparingarna var i genomsnitt ca 58 % av de förväntade. På basis av de redovisade besparingarna kan korrelationskoefficienten mellan uppmätta och förväntade besparingar beräknas till .57, dvs ca $100 \times .57^2 = 32\%$ av variationen kunde förklaras, se Figur 7.2.

I en utvärdering av energisparprogrammet "Bonneville power administration residential weatherization pilot program" (Hirst, White och Goeltz, 1983) undersöktes energibesparingen i ca 250 elvärmda småhus som bl a hade tätats och vinds- och golvisolerats. Åtgärderna förväntades minska årsenergiförbrukningen med i genomsnitt 27 %. Den faktiska minskningen, erhållen från månads- eller tvåmånadsförbrukningar för ett år före och för ett år efter åtgärderna med en enkel mätmodell, var mindre, ca 14 % i genomsnitt. Uppmätta enskilda besparingar avvek i många fall mycket från de förväntade. Medelvärdet av kvoten uppmätt/förväntad besparing är 0.66.

I en utvärdering av energisparprogrammet "Minnesota residential conservation service program" (Hirst och Goeltz, 1985) undersöktes energibesparingen i ca 350 gasvärmda småhus som åtgärdats med olika typer av åtgärder. Hälften av husen hade tak-, källarytterväggs- och/eller golvisolerats. I en fjärdedel av husen hade brännaren eller gaspannan byts ut. Nästan alla husen hade tätats. Uppmätta besparingar erhöles från månadsvisa årsförbrukningar

före och efter åtgärd med en enkel mätmodell. Den genomsnittliga förväntade besparingen var 22 % av årsförbrukningen. I genomsnitt uppmättes 12 % besparing. Medianvärdet av kvoten uppmätt/förväntad besparing är 0.68. Figur 7.2 visar de stora skillnaderna mellan förväntade och uppmätta enskilda besparingar.



Figur 7.2 Uppmätt mot förväntad energibesparing i två utländska undersökningar. Till vänster visas besparingar för 83 småhus i Norska byggforskningsinstitutets undersökning (Sörensen 1981). Till höger visas besparingar för 346 småhus i "Minnesota residential conservation service program" (Hirst och Goeltz 1985).

Resultaten från de utländska undersökningarna uppvisar samma mönster som i föreliggande undersökning. Gemensamt är, att stora skillnader mellan enskilda uppmätta och förväntade besparingar erhållits. En skillnad är, att i föreliggande undersökning överensstämmer genomsnittligt uppmätta besparingar bättre med förväntade. Detta kan delvis tillskrivas de noggranna energi- och innetemperaturmätningar som utförts i denna undersökning.

7.13 Slutsatser

Undersökningen har haft syftet att både beskriva och förklara hur stora energibesparingar som erhålls av ett antal tekniska energisparåtgärder.

Det beskrivande syftet har uppfyllts genom att med rimlig och angiven noggrannhet redovisa genomsnittliga uppmätta energibesparingar för grupper av hus. Även besparingarnas variation mellan olika hus har redovisats.

Det förklarande syftet har endast delvis kunnat uppfyllas. Besparingarnas genomsnittliga nivå har kunnat förklaras genom att redovisa genomsnittliga förväntade besparingar som i det stora hela överensstämmer med uppmätta. Redovisade förväntade besparingar för enskilda hus avviker däremot ofta mycket från de uppmätta besparingarna. Syftet att förklara enskilda besparingar har därför inte uppnåtts.

8 SAMMANFATTNING

8.1 Generella slutsatser

Undersökningen planerades för att kunna dra slutsatser för grupper av hus som åtgärdats på likartat sätt. Det är därför i första hand genomsnittliga besparingar med konfidensintervall som kan utgöra grund för slutsatser. När det gäller enskilda hus är presenterade värden tämligen osäkra. Trots det finns ofta entydiga trender i resultaten.

Vid bedömningen av resultaten är det i första hand intressant att se om förväntad besparing i verkligheten uppnås. I andra hand är det intressant att få veta hur stor den faktiska besparingen är. Den beräknade förväntade besparingen grundar sig på antaganden om möjlig besparing som redovisats i kapitel 3. Det är beräknade k-värdesförbättringar av olika isoleråtgärder. Det är antaganden om minskad ventilation eller luftomsättning till följd av tätningåtgärder. Det är också antaganden om lägre innetemperaturer och förbättrade verkningsgrader hos olika uppvärmningssystem beroende på vilka åtgärder som genomförts. Antagandena är i allt väsentligt baserade på de uppgifter som använts i olika energiutredningar och som sammanställts i utredningen Energi-85, med tillhörande bilagor. Resultaten kan därför i viss mån utnyttjas för att se hur väl dessa antaganden överensstämmer med utfallet i en större grupp av hus.

I Tabell 8.1 och 8.2 sammanfattas de viktigaste resultaten för de undersökta åtgärdsgrupperna, för vilka generella slutsatser är möjliga att dra.

Tabell 8.1 Uppmätt energiförbrukning före åtgärd, Uppmätt och förväntad energibesparing och lönsamhet enligt besparingskostnadsmetoden för ett antal energisparåtgärder. Standardavvikelser redovisas inom parentes.

Åtgärd	Antal hus	Uppmätt energiförbrukning före åtgärd	Uppmätt energibesparing	Förväntad energibesparing	Kostnad i öre per sparad kWh
	n	[MWh/lgh,år]	[MWh/lgh,år]	[MWh/lgh,år]	
Småhus:					
Fönsterisolering	19	25.6 (8.1)	1.6 (2.4)	2.7 (.8)	61 (86)
Isoleråtgärder	29	31.3(11.9)	6.0 (5.5)	8.4 (5.3)	52 (44)
Elkonvertering	35	37.7 (8.8)	8.1 (5.7)	8.3 (1.5)	10 (9)
Flerbostadshus:					
Fönsterisolering	27	14.8 (5.6)	1.3 (2.1)	1.4 (.9)	84 (208)
Vindsisolering	29	15.0 (2.8)	.6 (.9)	.7 (.5)	10 (18)
Reglerpaket	19	16.8 (6.4)	.7 (2.1)	.5 (.6)	23 (23)
Åtgärdspaket	39	15.2 (4.2)	2.1 (1.7)	2.0 (1.7)	38 (31)
Fjärrvärmeanslutning	26	20.0 (9.2)	4.7 (4.4)	2.4 (.7)	10 (14)

Tabell 8.2 Uppmätt och av tillverkaren angiven broschyrårsvärmefaktor, energitäckningsgrad och lönsamhet enligt besparingskostnadsmetoden för ett antal värmepumpsinstallationer. Standardavvikelser redovisas inom parentes. (Småhus = SH, Flerbostadshus = FH).

Värmekälla	Hus-typ	Antal hus	Uppmätt årsvärmefaktor	Broschyr-årsvärmefaktor	Energitäckningsgrad [%]	Kostnad i öre per sparad kWh
Ytjord, sjövatten	SH	8	2.4 (.5)	2.6 (.2)	92 (12)	16 (5)
Berg, grundvatten	SH	16	2.3 (.5)	2.6 (.3)	96 (6)	19 (7)
Uteluft	SH	26	2.0 (.6)	2.6 (.2)	62 (17)	23 (10)
Berg, grundvatten	FH	10	2.9 (.8)	2.9 (.4)	77 (21)	17 (8)

Följande generella slutsatser kan dras för de studerade åtgärderna i Högskoleprojekt II.

- De olika åtgärderna och åtgärdscombinationerna har i de flesta fall lett till genomsnittliga besparingar som är statistiskt signifikanta. Uppnådda besparingar är dock ofta måttliga.
- Besparingarna uppgår för hela grupper av hus till i det närmaste de förväntade värdena för det stora flertalet undersökta åtgärder. Överensstämmelsen mellan uppmätta och förväntade besparingar är bättre för flerbostadshusen än för småhusen.
- Det föreligger en betydande variation i besparingsresultat mellan enskilda hus. I vissa hus är besparingen väsentligt högre än förväntad medan den i andra är väsentligt mindre. Denna slutsats torde kvarstå även om själva utvärderingsmetodiken är något osäker när det gäller enskilda hus.
- De största minskningarna i energiförbrukning har uppmätts i de hus som hade en hög nivå på energiförbrukningen före åtgärd.
- De antaganden om temperatursänkning som gjorts är oftast optimistiska. Möjligheterna till att uppnå en temperatursänkning inomhus till följd av mera omfattande byggnadstekniska åtgärder som större tilläggsisoleringar och/eller komplettering till treglasfönster synes vara små. Det förefaller som om de boende tagit ut en del av energibesparingen i form av ökad komfort.
- Innetemperaturen i de undersökta husen låg i genomsnitt på en förhållandevis hög nivå både före och efter åtgärd, 20.4⁰C respektive 20.6⁰C för småhus och 21.8⁰C respektive 21.7⁰C för flerbostadshus. Däremot har spridningen i innetemperaturen inom småhusgruppen respektive flerbostadsgruppen minskat efter att åtgärder utförts.

- För de undersökta åtgärderna har den s k besparingskostnaden framräknats med hjälp av uppgivna kostnader för respektive åtgärder. Det är mycket stora olikheter i genomsnittlig besparingskostnad för de olika åtgärderna. Många åtgärder såsom byte till treglasfönster och s k isolerpaket kan inte motiveras av enbart energihushållningsskäl.
- Förbättringarna av verkningsgraden vid övergång från olja till el eller fjärrvärme förefaller ha varit väsentligt högre än vad som antagits. Detta tyder i sin tur på att befintliga uppvärmningsanläggningar har varit i sämre skick än vad som antagits.
- Den stora spridning i resultaten för enskilda hus tyder på att betydligt större insatser krävs för kontroll och uppföljning för att förväntade resultat skall uppnås. I många fall torde en betydande kvarstående potential finnas för att sänka energiförbrukningen. I vissa fall är det också troligt att man inte valt de lämpligaste åtgärderna för de undersökta husen. Bättre kunskap om vilka åtgärder som bör kombineras och som bör användas behövs.

8.2 Slutsatser för enskilda åtgärder och åtgärds-kombinationer

Fönster - Småhus

Förväntad besparing har inte uppnåtts vid byte eller konvertering av tvåglasfönster till treglasfönster i småhus. En av förklaringarna är att den antagna temperatursänkningen om 0.5°C uteblivit. Uppmätt besparing motsvarar i huvudsak förändringen i k-värde. Resultatet kan tolkas så att åtgärden givit bättre inomhuskomfort i flertalet fall. Besparingen varierar mycket mellan de enskilda husen. Den genomsnittliga besparingen av åtgärden är ca 6 % av energiförbrukningen före åtgärd.

Den beräknade besparingskostnaden är så hög att åtgärden inte är lönsam från enbart energihushållningssynpunkt, i all synnerhet om möjligheterna till temperatursänkning inte tas tillvara. Åtgärden måste därför motiveras med andra skäl än energibesparing.

Isoleråtgärder - Småhus

Isoleråtgärderna i småhus har inte givit förväntad besparing. En förklaring till detta är att den antagna förväntade innetemperatursänkningen uteblivit. I stället har till och med något högre temperatur uppmätts under efterperioden. Eftersom husen före åtgärd haft en låg isolerstandard är det troligen en önskad komforthöjning som erhållits.

Den genomsnittliga besparingen har uppgått till ca 20 % av föreförbrukningen. Detta motsvarar inte helt den besparing som skulle erhållits om enbart hänsyn tagits till isolerförbättringen. Besparingskostnaden är i genomsnitt 52 öre/kWh vilket innebär att åtgärderna inte varit lönsamma från energihushållningssynpunkt med dagens energipris.

Åtgärdspaket - Småhus

Det är ett mycket litet antal småhus i undersökningen som åtgärdats med s k åtgärdspaket, som innebär en kombination av isoler- och regleråtgärder. Resultaten är därför att betrakta som fallstudier och generella slutsatser kan inte dras. Tendensen är dock att förväntade resultat uppnås. Åtgärdspaketet har inneburit en minskning av energiförbrukningen med storleksordningen 25 %.

Elkonvertering - Småhus

Den förväntade besparingen av konvertering från olja till el är i princip en omfördelning av verkningsgradsförluster i huset till elproduktionsanläggningen. Förväntad minskning av energiförbrukningen har uppnåtts. Sänkningen av energiförbrukningen motsvarar en verkningsgradsförbättring på i genomsnitt drygt 20 %.

Besparingskostnaden är i genomsnitt 10 öre/kWh. Det innebär att åtgärden varit mycket lönsam med gällande elpriser.

Värmepumpsinstallation - Småhus

Installation av värmepump har varit en mycket populär åtgärd. Tre olika typer av värmekällor har utnyttjats, nämligen ytjord- och sjövärme, berg-, brunn- eller grundvattenvärme samt uteluft. Resultaten kan uttryckas dels med den s k årsvärmefaktorn, dels genom att ange energibesparingen i % av föreförbrukningen. Årsvärmefaktorn för uteluftvärmepumparna har i genomsnitt bestämts till 2.0 som kan jämföras med broschyrvärdet som är 2.6. För de övriga två typerna av värmepumpar har årsvärmefaktorn bestämts till 2.3 - 2.4. Även för dessa uppges i broschyrer värdet 2.6. Det verkliga utfallet når sålunda inte riktigt upp till utlovade prestanda.

Den genomsnittliga energibesparingen för värmepumpar med värmekälla i marken har bestämts till ca 60 % och för uteluftvärmepumpar till närmare 40 % räknat på föreförbrukningen för uppvärmning och tappvarmvatten. Den beräknade besparingskostnaden ligger i snitt mellan 16 och 23 öre. Det högre värdet gäller för uteluftvärmepumparna. Det kan vara värt att notera, att i de hus där värmepumpar installerats är den totala våningsytan klart större, än för husen i de övriga grupperna. Dessutom låg energiförbrukningsnivån för denna grupp också på en högre nivå än för övriga grupper. Det gäller i synnerhet när ytjord-, berg-, eller brunnsvärmepumpar använts.

Fönster - Flerbostadshus

Förväntad besparing har uppnåtts vid byte till treglasfönster i flerbostadshusen. Åtgärden har i genomsnitt reducerat energiförbrukningen med ca 10 %. I flerbostadshusen har också en viss temperatursänkning efter genomförd åtgärd uppmätts.

Besparingskostnaden är oftast mycket hög varför byte till tre-glasfönster måste motiveras av flera skäl än enbart energihushållning.

Vindsisolering - Flerbostadshus

Vindsisolering har i genomsnitt givit förväntad besparing. Den har i genomsnitt uppgått till ca 5 %. Besparingen är större i de hus där inreglering och injustering av värmesystemet samtidigt utförts. Besparingskostnaden är i genomsnitt 10 öre/kWh vilket innebär att åtgärden varit mycket lönsam även om den relativa besparingen är måttlig.

Reglerpaket - Flerbostadshus

Reglerpaket har utförts på flera olika sätt. Resultaten varierar så mycket att den uppmätta genomsnittliga besparingen inte är statistiskt säkerställd. Det är med andra ord osäkert om åtgärden ger någon besparing. I enskilda hus har emellertid mycket god besparing uppnåtts medan den uteblivit i andra och t o m resulterat i ökad förbrukning.

Det synes därför som om bättre uppföljning av regleråtgärder är viktigt för att erhålla goda sparresultat.

Åtgärdspaket - Flerbostadshus

Flera olika åtgärder har ingått i denna husgrupp. I genomsnitt har förväntad besparing uppmåtts men resultaten är mycket olika för olika hus och för olika kombinationer av åtgärder. Speciellt goda besparingar har erhållits där pannbyte eller byte av uppvärmningssystem utgjort en av åtgärderna i paketet. Sammantaget har åtgärdspaket reducerat den genomsnittliga förbrukningen med ca 15 %. Besparingskostnaden varierar självfallet mycket men uppgår i genomsnitt till ca 38 öre. Eftersom den i många hus är lägre kan lämpligt och rätt utfört åtgärdspaket bedömas bli lönsamt.

Fjärrvärmeanslutning - Flerbostadshus

Övergång till fjärrvärme från egen oljepanna har givit väsentligt större energibesparing än förväntad. Eftersom anslutningen till fjärrvärme innebär att verkningsgradsförlusterna flyttas från huset till energiproduktionsanläggning och distributionssystem utanför huset måste resultaten tolkas så att befintliga värmeanläggningar i husen varit i sämre kondition än man antagit. I genomsnitt har energiförbrukningen minskat med knappt 25 %. I de hus där samtidigt med fjärrvärmeanslutning ny reglerutrustning installerats är besparingen större än genomsnittet. Besparingskostnaden för åtgärden är 10 öre/kWh vilket innebär att åtgärden varit mycket lönsam.

Värmepumpsinstallationer - Flerbostadshus

Installation av värmepumpar i flerbostadshusen har lett till i det närmaste en halvering av energiförbrukningen. Värmepumpar som utnyttjar berg-, brunns- eller grundvattenvärme har i genomsnitt helt uppfyllt förväntningarna. Årsvärmefaktorn har bestämts till 2.9 vilket överensstämmer med broschyruppgifterna. Besparingskostnaden är i genomsnitt 17 öre/kWh vilket innebär att åtgärden varit lönsam.

Värmepumpar som utnyttjar uteluft (5st) har i genomsnitt en årsvärmefaktor på 3.1 vilket är väsentligt bättre än vad som utlovats i broschyrer.

Även i denna grupp är resultaten mycket olika i olika hus.

Appendix A. BETECKNINGAR OCH FÖRKORTNINGAR

W	Årsenergiförbrukning per lägenhet och år	kWh/lgh, år
Q	Gradtimmar	°C, h/år
T	Antalet timmar under uppvärmningssäsong	h/år
P	Antalet timmar under icke uppvärmningssäsong	h/år
b	Förlustfaktor	kWh/lgh, °C, h
c	Vinterfaktor	kWh/lgh, h
d	Sommarfaktor	kWh/lgh, h
θ_i	Innetemperatur	°C
θ_u	Utetemperatur	°C
$\theta_u(x)$	Dygnsmedeltemperaturen vid den tidpunkt på året som motsvarar x radianer	°C
a_u	Årsmedeltemperaturen	°C
A_u	Amplituden hos sinuskurvan anger temperaturvariationens storlek över året	°C
φ_u	Fasförskjutningen anger när max och min temperatur inträffar under året	radianer
x	Tidpunkten på året uttryckt i radianer (0 = 1 januari, 2π = 31 december)	radianer
W_i	Energiförbrukningen under mätperiod i dividerad med periodlängder i timmar, $i = 1, 2, \dots, n$	kWh/lgh, h
Δ_i	Genomsnittliga temperaturskillnaden inne-ute under period i, $i=1, 2, \dots, n$	°C
W_{ep}	Beräknad årsenergiförbrukning per lägenhet som skulle behövts om värmepumpsinstallation ej utförts	kWh/lgh, år
W_{driv}	Värmepumpens kompressors årsenergibehov	kWh/lgh, år
W_{el}	Elenergi till elpatron/elkassett som tillsatsenergi i ett hus vilket installerat värmepump	kWh/lgh, år
W_{ol}	Oljebbehov till oljepump som tillsatsenergi i ett hus vilket installerat värmepump	kWh/lgh, år

W_{ep}	Uppmätt årsenergiförbrukning (summan av $W_{driv} + W_{el} + W_{ol}$)	kWh/lgh, år
f	Solarean, arean för ett fiktivt fönster som släpper igenom all solinstrålning	m^2/lgh
f_s	Skuggningsfaktor	-
f_k	Karmfaktor	-
f_a	Gardinfaktor	-
f_g	Genomsläppsfaktor	-
A_F	Fönsterarea inkl karmyttermått	m^2/lgh
I	Genomsnittliga solinstrålningen under uppvärmningssäsongen	$kWh/m^2, h$
$I(x)$	Dygnsnedelsolinstrålningarna vid den tidpunkt på året som motsvarar x radianer	$kWh/m^2, h$
a_I	Årsmedelsolinstrålningen	$kWh/m^2, h$
A_I	Årsamplituden	$kWh/m^2, h$
φ_I	Fasförskjutning, anger när max och min solinstrålning inträffar under året	radianer
k	k-värde	$W/m^2, ^\circ C$
A	Klimathöljets area	m^2/lgh
n	Antal luftväxlingar per timme	oms/h
V	Uppvärmd volym	m^3/lgh
η	Uppvärmningssystemets verkningsgrad	
B	Energibesparing	kWh/lgh, år
B_M	Uppmätt energibesparing	kWh/lgh, år
B_T	Förväntad energibesparing	kWh/lgh, år
BK	Besparingskostnad	kr/kWh
R	real kalkylränta	%
q	Energiprisökning	%
TID	Energisparåtgärdens brukstid	år
r	korrelationskoefficient	

Index s = sommartid (icke uppvärmningssäsong)

Index v = vintertid (uppvärmningssäsong)

Index f = före åtgärdens genomförande

Index e = efter åtgärdens genomförande

Streck över en symbol = medelvärde, tex \bar{w}

SH = Småhus

FH = Flerbostadshus

VP = Värmepump

SPF = Årsvärmefaktor

ETG = Energitäckningsgrad

Id-numrens geografiska tillhörighet efter undersökningsort och hustyp

<u>Undersökningsort</u>	<u>Småhus</u>	<u>Flerbostadshus</u>
Lund	001-099	101-199
Göteborg	201-299	301-399
Stockholm	401-499	501-599
Umeå	601-699	701-799
Luleå	801-899	901-999

Appendix B. TIDSPLAN

Arbetet i projektet kan delas in i tolv perioder på följande sätt:

PERIOD 1: De åtgärds-kategorier valdes ut som skulle studeras i förundersökningen. Vidare utarbetades ett besiktningsprotokoll och ett antal åtgärdsprotokoll, liksom ett gemensamt telefonfrågeformulär ur vilket avgränsningsreglerna, se avsnitt 2.2, framgår. Mätinstrumenten för registrering av oljeförbrukning samt inne- och utetemperaturer producerades under denna period. Diverse informationsmaterial togs också fram.

PERIOD 2: Kurser hölls på de enskilda institutionerna för den personal som skulle utföra besiktningarna och göra installationen av mätutrustningen. De ca 50 byggnader som skulle studeras i förundersökningen valdes ut. Besiktningar samt föremätningar utfördes i dessa byggnader. Lägesrapportering till BFR samt planering av postenkät skedde under denna period. Vidare iordningställdes inläsnings- och kontrollprogram för bordsdatorer och dessutom igångsattes arbetet med beräkningsmodellen och övriga analysprogram för stordator.

PERIOD 3: Genomgångar av gjorda erfarenheter från inknappning av besiktningsuppgifter och mätvärden. Testning av beräkningsmodellen påbörjades.

Beslut om vilka åtgärder som skulle studeras hösten 1983 fattades våren-sommaren 1983. Åtgärdsprotokollen färdigställdes. Det var därför viktigt att man vid de olika institutionerna kontinuerligt följde såväl energisparverksamheten som ärendetillströmningen till respektive länsbostadsnämnd. För att ytterligare ta tillvara möjligheterna att göra urvalet på bästa möjliga sätt genomfördes under våren 1983 en enkätundersökning bland ägare till flerbostadshus i undersökningslänen.

PERIOD 4: Planen reviderades i syfte att rätta till de problem som kommit fram vid genomgången av erfarenheter under period 3 innan förberedelserna för huvudundersökningens föremätningar (del 1) och förundersökningens eftermätningar (del 2) påbörjades.

PERIOD 5: Huvudundersökningens ca 320 byggnader besiktigades. Förundersökningens ca 50 byggnader efterbesiktigades. I samband med besiktningarna påbörjades föremätningar i huvudundersökningens byggnader och eftermätningar i förundersökningens byggnader.

PERIOD 6: En lägesrapport baserad på före- och eftermätningar i 45 hus framställdes, se HII-gruppen (1984).

PERIOD 7: Förutom förberedelser inför de fortsatta studierna installerades kWh-mätare i ca 100 hus där värmepump installerats. Detta gjordes för att kunna separera drivenergin till kompressorerna från eventuell tillsatsenergi typ elkassett/elpatron. Mätperioden efter åtgärd för värmepumpsinstallation utsträcktes till ett helt år.

PERIOD 8: Efterbesiktningar och eftermätningar i huvudundersökningens ca 320 byggnader företogs. Vissa uppföljningsstudier gjordes. Installationen av kWh-mätare i värmepumpshuset slutfördes. Rättningsarbetet av alla insamlade uppgifter från föremätningarna och -besiktningarna påbörjades. Kompletterande insamling av saknade och felaktiga uppgifter gjordes.

PERIOD 9: Mätningarna i alla byggnader utom för värmepumps-huset slutfördes. Sommarmätningar förbereddes.

PERIOD 10: Data från efter-mätningarna och -besiktningarna och sommarmätningarna iordningställdes för databehandling.

PERIOD 11: Olika analyser och kontrollkörningar av materialet gjordes. Mätningarna i värmepumpshusen avslutades. Mätutrustningarna nedmonterades. Vissa uppföljningsstudier ägde rum.

PERIOD 12: Under denna sista period analyserades det insamlade datamaterialet och tabeller, figurer och diagram producerades. Dessutom rättades och kompletterades materialet.

Tabell B1. Projektets huvudaktiviteter vid olika tidpunkter.

Period	Tidpunkt	Huvudaktivitet
1	1/9-82--1/1-83	Förberedelser
2	1/1-83--1/4-83	Föremätning i 45 hus
3	1/4-83--1/7-83	Erfarenhetsutbyte
4	1/7-83--1/10-83	Revideringsarbete
5	1/10-83--1/4-84	Före/eftermätningar i 374 hus
6	1/4-84--1/7-84	Avrapportering R171:1984
7	1/7-84--1/10-84	Erfarenhetsutbyte revideringskompletteringsarbete
8	1/10-84--1/4-85	Eftermätningar i 327 hus
9	1/4-85--1/7-85	Avslutning av eftermätningar
10	1/7-85--1/10-85	Förberedelser för databehandling
11	1/10-85--1/5-86	Analyser och kontroller av data
12	1/5-86--	Slutliga analyser och rapportering

Appendix C. DYGNSMEDELTEMPERATURER

Dygnsmedeltemperaturerna från en klimatstation approximeras med en sinusfunktion med följande utseende:

$$\theta_U(x) = a_U + A_U \sin(x + \phi_U) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

där

$\theta_U(x)$ = Dygnsmedeltemperaturen vid den tidpunkt på året som motsvarar x radianer [$^{\circ}\text{C}$]

a_U = Årsmedeltemperaturen [$^{\circ}\text{C}$]

A_U = Amplituden hos sinuskurvan anger temperaturvariationens storlek över året [$^{\circ}\text{C}$]

ϕ_U = Färförskjutningen anger när max och min temperatur inträffar under året (radianer)

x = Tidpunkten på året uttryckt i radianer ($0 = 1$ januari, $2\pi = 31$ december)

Konstanter (Fourierkoefficienter) i sinusfunktionen för dygnsmedeltemperaturer vid några av SMHIs klimatstationer för åren 1951-80 (normalåret), samt antal graddagar för småhus (SH) respektive flerbostadshus (FH), under en uppvärmningssäsong enligt Tabell 3.4 i kapitel 3.

Klimatstation		Års- medel- tempe- ratur	Års- ampli- tud	Fas- för- skjut- ning	Graddagar för innetemperatur	
Nr	Namn	$a_u [^{\circ}\text{C}]$	$A_u [^{\circ}\text{C}]$	$\varphi_u [\text{rad}]$	SH 20.4 $^{\circ}\text{C}$	FH 21.8 $^{\circ}\text{C}$
26	Aluokta	-1.2	12.9	4.38	7 000	7 386
44	Kiruna flygplats	-1.6	12.8	4.39	7 102	7 489
128	Gunnarn	0.3	13.6	4.41	6 643	7 029
176	Haraholmen	1.6	12.6	4.28	6 194	6 580
186	Luleå flygplats	1.5	13.2	4.33	6 275	6 662
198	Storöhamn	1.1	12.9	4.30	6 358	6 745
182	Överkalix	0.4	14.4	4.40	6 680	7 066
158	Fällfors	2.2	12.0	4.37	5 989	6 375
286	Umeå flygplats	2.8	12.0	4.34	5 792	6 174
276	Nordmaling	2.7	11.6	4.33	5 785	6 167
460	Arlanda	5.5	10.6	4.32	4 630	4 963
474	Singö	5.4	10.0	4.23	4 576	4 909
464	Stockholm, Bromma	6.2	10.5	4.29	4 448	4 781
489	Härsfjärden	5.9	9.6	4.26	4 423	4 756
469	Riksten	5.5	10.3	4.30	4 596	4 930
526	Landvetter	6.2	9.6	4.33	4 227	4 542
512	Säve	7.0	9.3	4.28	4 007	4 322
600	Glommen	7.6	9.1	4.23	3 841	4 155
650	Hanö	7.0	8.4	4.18	3 898	4 213
607	Barkåkra	7.3	8.9	4.27	3 901	4 216
626	Osby	6.6	9.3	4.32	4 108	4 423
636	Sturup	7.4	8.9	4.26	3 877	4 192

Appendix D. MEDELSOLINSTRÄLNING

De dygnsvisa medelinstrålingarna approximeras med följande sinusfunktion

$$I(x) = a_I + A_I \sin(x + \varphi_I) \quad [\text{kWh/m}^2, \text{h}]$$

där

$I(x)$ = Dygnsmedelsolinstrålingarna vid den tidpunkt på året som motsvarar x radianer $[\text{kWh/m}^2, \text{h}]$

a_I = Årsmedelsolinstrålingen $[\text{kWh/m}^2, \text{h}]$

A_I = Årsamplituden $[\text{kWh/m}^2, \text{h}]$

φ_I = Fasförskjutning, anger när max och min solinstråling inträffar under året $[\text{radianer}]$

x = Tidpunkten på året uttryckt i radianer ($0 = 1$ januari, $2\pi = 31$ december)

Konstanter (Fourierkoefficienter) i sinusfunktionen för dygnsmedelvärden av solinstråling vid tre av SMHIs klimatstationer under åren 1955-79.

Klimatstation	Årsmedel- solinstråln. a_I $[\text{kWh/h, m}^2]$	Års- amplitud A_I $[\text{kWh/h, m}^2]$	Fasför- skjutning φ_I $[\text{radianer}]$
Ångelholm,			
horisontell yta	0.108	0.100	4.93
yta mot söder	0.100	0.046	5.10
yta mot väster	0.077	0.061	5.03
yta mot norr	0.041	0.031	5.16
yta mot öster	0.072	0.057	5.06
Tullinge,			
horisontell yta	0.106	0.107	4.95
yta mot söder	0.101	0.057	5.13
yta mot väster	0.077	0.068	5.06
yta mot norr	0.042	0.037	5.17
yta mot öster	0.075	0.068	5.06
Luleå,			
horisontell yta	0.104	0.120	4.99
yta mot söder	0.102	0.077	5.20
yta mot väster	0.077	0.081	5.15
yta mot norr	0.043	0.048	5.18
yta mot öster	0.078	0.088	5.08

Appendix E. ENERGIBESPARINGEN I ETT SMÅHUS SOM TILLÄGGSISOLERATS

Illustration av beräkningsgången.

Huset

Ett av de studerade husen ligger i Luleå. Det är ett enplans småhus som byggdes 1974 av trä med platta på mark. Huset värms upp med direktverkande elvärme. Till huset hör ett fristående garage som också uppvärms med direktverkande elvärme.

Husets bruttoarea är 129 m^2 . Huset är självdragsventilerat. Den uppvärmda volymen är 292 m^3 .

I juni 1984 försågs fönstren med en tredje ruta och väggarna tilläggsisolerades. Från besiktningar av huset före och efter dessa åtgärder erhöles uppgifterna i Tabell E1.

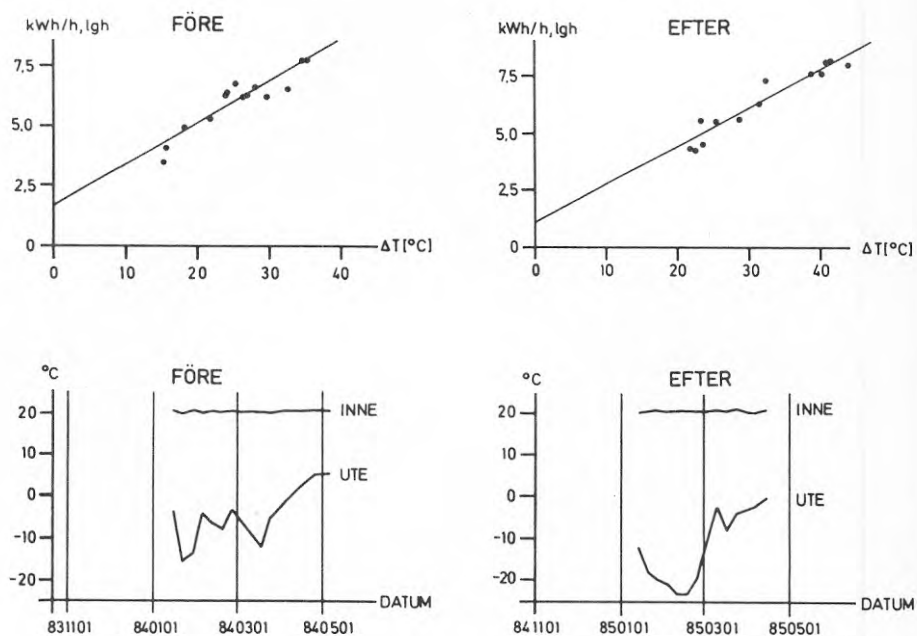
Tabell E1. Areor och k-värden.

Byggnadsdel	Area [m^2]	k-värde [$\text{W}/\text{m}^2, \text{ }^\circ\text{C}$]		kA-värde [$\text{W}/\text{ }^\circ\text{C}$]	
		Före åtgärd	Efter åtgärd	Före åtgärd	Efter åtgärd
Huset					
Golvbjälklag ¹⁾	129	0.35	0.35	33.9	33.9
Väggar	129	0.37	0.30	47.7	38.7
Fönster	23	2.60	1.90	59.8	43.7
Vindsbjälklag	129	0.25	0.25	32.3	32.3
För huset totalt				173.7	148.6
Garaget					
Golvbjälklag ¹⁾	31	0.47	0.47	11.0	11.0
Väggar	61	0.29	0.29	17.7	17.7
Vindsbjälklag	31	0.24	0.24	7.4	7.4
För garaget totalt				36.1	36.1
För huset och garaget totalt				209.8	184.7

1) För golvbjälklag mot kryprum, platta på mark samt källaryttvägg under marknivå har kA-värdet reducerats med 25 procent.

Uppmätt energibesparing.

Med hjälp av den befintliga elmätaren i huset och en uppmonterad temperaturmätare erhöles veckovisa uppgifter om energiförbrukningen i huset och garaget och inne- och utetemperaturer för 15 veckor före och 14 veckor efter isoleråtgärderna. I energiförbrukningsuppgifterna ingår i detta fall energin för uppvärmning, beredning av tappvarmvatten och hushållsapparater. I Figur E1 visas mätvärdena.



Figur E1. Uppmätta veckovisa energiförbrukningar och inne- och utetemperaturer före isolering (till vänster) och efter isolering (till höger).

Av nedanstående sammanställning av temperaturmätningarna framgår t ex att efterperioden var 7°C kallare än föreperioden.

Genomsnittlig	Före- perioden	Efter- perioden
Utetemperatur		
Egna mätningar vid huset	-4.6 °C	-11.9 °C
Vid SMHIs närmaste klimatstation	-5.0 °C	-12.4 °C
Innetemperatur	20.4 °C	20.7 °C

Eftersom energiförbrukningen i ett hus starkt influeras av inne- och utetemperaturen är det uppenbart att vi måste korrigera för skillnader mellan framförallt periodernas utetemperatur för bestämning av energibesparingen.

Vi kan avgöra hur energiförbrukningen beror på inne- och utetemperaturen genom att bestämma energisignaturen för huset. Energisignaturen är värden på vissa storheter eller parametrar i en energibalansmodell för huset. Av energisignaturen (parametervärdena) kan avläsas hur husets energiförbrukning är vid olika klimatbelastningar. I vårt fall behöver vi bestämma två energisignaturer, en signatur för huset före åtgärderna och en för huset efter. För bestämning av energisignaturerna används de uppmätta veckovisa medelvärdena på energiförbrukning, inne- och utetemperaturer. Vi använder en av de allra enklaste energisignaturerna, som beskriver egenskaperna med hjälp av tre parametrar, nämligen:

$$W = b Q + c T + d P$$

där

W = Årsenergiförbrukningen [kWh/lägenhet,år]

Q = Antalet gradtimmar [°Ch/år]

T = Antal timmar under uppvärmningssäsongen [h/år]

P = Antal timmar under icke uppvärmningssäsong [h/år]

och där de tre parametrarna benämns

b = Förlustfaktorn [kWh/lgh,h,⁰C]

c = Vinterfaktorn [kWh/lgh,h]

d = Sommarfaktorn [kWh/lgh,h]

Vinter- respektive sommarfaktorn representerar temperaturoberoende energiförbrukning som i vårt fall i huvudsak är energi för tappvarmvattenberedning. Vi har antagit att denna energiförbrukning är olika sommar- och vintertid men konstant över respektive tidsperiod.

Ur mätningar vintertid kan de två parametrarna b och c bestämmas och ur mätningar sommartid kan d bestämmas för varje hus. I de fall hushållsel ingår i energimätningarna elimineras denna genom att parametern c minskats med 0.525, vilket gäller för småhus, enligt avsnitt 3.6.

Sommarfaktorn varierar inte bara från hus till hus utan också ofta från år till år beroende på när semestrar infaller. För de flesta energisparåtgärder är dock sommarfaktorns storlek av underordnat intresse när man vill ta reda på energibesparingar. Av dessa anledningar sätts därför sommarfaktorn till samma värde för alla hus av samma typ, se Tabell 3.6.

För huset i Luleå har parametrarna beräknats med regressionsanalys av mätningarna från föreperioden till:

$$W = 0.193 Q + 0.49 T + 0.46 P$$

För att bestämma den årliga energibesparingen behöver vi veta under hur lång tid av året huset behöver värmas upp och den genomsnittliga temperaturskillnaden inne-ute under denna uppvärmningsperiod. Dessutom behövs de uppmätta innetemperaturerna före och efter åtgärderna under uppvärmningssäsongen.

Detta hus i Luleå antas värmas upp mellan den 1 september och 4 juni, längden på uppvärmningssäsongen (T) blir då 6 624 timmar. Under denna period var medeltemperaturen utomhus -2.3°C i

genomsnitt under åren 1951-80 vid den närmaste av SMHIs klimatstationer (Luleå flygplats). Vid innetemperaturen 20.4°C blir Q lika med $6\,624 (20.4+2.3) = 150\,365$ gradtimmar. Vi antar att den uppmätta innetemperaturen är representativ för hela uppvärmningsperioden. Sommarperiodens längd (P) blir $2\,136$ timmar.

Den totala bruttoenergiförbrukningen för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten under ett normalår före åtgärderna utförts, beräknas för Luleåhuset till:

$$0.193 * 150\,365 + 0.49 * 6\,624 + 0.46 * 2\,136 = 33.3 \text{ MWh/år}$$

Efter de utförda åtgärderna resulterade analysen av mätningarna att årsenergiförbrukningen kunde bestämmas ur:

$$W = 0.174 Q + 0.18 T + 0.46 P$$

Medeltemperaturen ute under uppvärmningsperioden var -2.3°C under normalåret. Med den lite högre innetemperaturen 20.7°C i efterperioden blir Q lika med $153\,352$ gradtimmar. Efter åtgärderna har den årliga energiförbrukningen under ett normalt år sjunkit till

$$0.174 * 153\,352 + 0.18 * 6\,624 + 0.46 * 2\,136 = 28.7 \text{ MWh/år.}$$

Den uppmätta energibesparingen blir

$$33.3 - 28.7 = 4.6 \text{ MWh/år}$$

Om innetemperaturen fortsätter att ligga kvar på den under efterperioden uppmätta nivån 20.7°C , är det motiverat att säga att energibesparingen är 4.6 MWh/år i genomsnitt över ett antal år.

Om innetemperaturen vore 20.4°C under båda perioderna blir energibesparingen

$$6\,624 * [0.193 * (20.4+2.3) + 0.49] + 2\,136 * 0.46 -$$

$$(6\,624 * [0.174 * (20.4+2.8) + 0.18] - 2\,136 * 0.46) = 4.9 \text{ MWh/år}$$

Om innetemperaturen sänks 0.5°C till följd av åtgärderna blir energibesparingen

$$6\,624 * [0.193 * (20.4+2.3) + 0.49] + 2\,136 * 0.46 -$$

$$(6\,624 * [0.174 * (19.9+2.3) + 0.18] - 2\,136 * 0.46) = 5.5 \text{ MWh/år}$$

I avsnitt 3.5 redovisas gjorda antaganden om hur mycket innetemperaturen kan tillåtas bli sänkt från dessa standardiserade värden vid olika typer av åtgärder utan sänkning av inomhuskomforten.

Förväntad energibesparing

Den förväntade energiförbrukningen under ett normalår beräknas enligt

$$W = b Q + c T - f S + d P$$

där

$$b = \frac{0.001 k A + n 0.33 V}{\eta_V} = \frac{0.001 * 209.8 + 0.5 * 0.33 * 248}{1} = 0.251 \text{ [kWh/}^{\circ}\text{C, h]}$$

I Luleåhuset med direktverkande elvärme sätts uppvärmningssystemets verkningsgrad lika med 1.

$V = 293 \text{ m}^3 \times 0.85 = 248 \text{ m}^3$, vilket är den ventilerade delen av uppvärmda volymen.

$Q =$ Antalet gradtimmar under uppvärmningssäsongen [$^{\circ}\text{C, h/år}$]

$c = -0.24 \text{ kWh/h, lgh}$ enligt avsnitt 3.6

$S = (I \cdot T) = \text{kWh/m}^2$ totala solinstrålningen under uppvärmnings-säsongen

$I = 0.06 \text{ kW/m}^2$, den genomsnittliga vertikala solinstrålningen under uppvärmningsperioden, vägd med de aktuella fönsterareorna mot de olika väderstrecken som vikter

$f = \text{Solarean, [m}^2/\text{lgh]}$

$d = 0.46 \text{ kWh/h, lgh}$ enligt avsnitt 3.6

Solinstrålning tillgodogörs framförallt via fönstren. På föreliggande hus är fönsterareorna före och efter åtgärd fördelade efter väderstreck och antalet glas på följande sätt:

Fönster	Area [m ²]	Area [m ²]	
	före åtgärd 2-glas	efter åtgärd 2-glas	3-glas
Mot norr	7	1	6
Mot öster			
Mot söder	11		11
Mot väster	5		5
Summa	23	1	22

Beroende på att huset ligger mer eller mindre skuggigt och andra avskärmningsfaktorer minskar den "effektiva fönsterarean".

Likaså minskar glasrutorna solinstrålningen genom fönsteröppningen. Den på så sätt reducerade fönsterarean benämns solarea (f) och kan beräknas med hjälp av fyra reduktionsfaktorer på följande sätt, där de för föreliggande hus antagna värdena på reduktionsfaktorerna anges inom parentes under varje faktor.

$$\left[\begin{array}{c} \text{Sol-} \\ \text{area} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Skuggnings-} \\ \text{faktor} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \text{Karm-} \\ \text{faktor} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \text{Gardin-} \\ \text{faktor} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \text{Genom-} \\ \text{släpps-} \\ \text{faktor} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \text{Fönster-} \\ \text{area} \end{array} \right]$$

(0.95 för soligt läge som här) (0.7) (0.8) (2-glas:0.7) (3-glas:0.6)

Solarean blir 8.6 m^2 före åtgärd. Efter åtgärd reduceras solarean på grund av 3-glasfönstrens sämre genomsläpplighet till 7.3 m^2 .

Då erhålls:

$$W = 0.251 * 150\,365 - 0.24 * 6\,624 - 8.6 * 0.06 * 6\,624 \\ + 0.46 * 2\,136 = 33.7 \text{ MWh/år}$$

Den förväntade energiförbrukningen, för huset i Luleå, före åtgärd blir, vid den antagna innetemperaturen 20.4°C , 33.7 MWh/år . Den förväntade energibesparingen beräknas med utgångspunkt från standardiserade innetemperaturer. I detta fall antas åtgärden kunna leda till en temperatursänkning med 0.5°C . Innetemperaturen blir då 19.9°C och den förväntade besparingen blir

$$33.7 - 27.9 = 5.8 \text{ MWh/år}$$

Den förväntade besparingen på 5.8 MWh/år är således vad man utifrån tekniska uppgifter och uteklimatdata kan vänta sig att erhålla om innetemperaturerna ligger på de standardiserade nivåerna.

Sammanfattning av måtten på nivåer och besparingar

Det förda resonemanget på basis av mät- och besiktningsdata ger följande resultat, med det 95-procentiga konfidensintervallet angivet:

	Uppmätt värde MWh/år	Förväntat värde MWh/år
A. Vid uppmätta innetemperaturer (20.4°C före, 20.7°C efter)		
Energiförbrukning före	33.3 \pm 1.2	
Energiförbrukning efter	28.7 \pm 2.2	
Energibesparing	4.6 \pm 2.5	
Energibesparing, i procent av föreförbrukningen	14 %	
B. Vid standardiserade innetemperaturer (20.4°C före, 19.9°C efter)		
Energiförbrukning före	33.3 \pm 1.2	33.7
Energiförbrukning efter	27.8 \pm 2.2	27.9
Energibesparing	5.5 \pm 2.5	5.8
Energibesparing, i procent av föreförbrukningen	16 %	17 %

Resultaten i vänstra kolumnen är baserade på mätvärden. Resultaten i högra kolumnen är baserade på besiktningssuppgifter. För förväntade nivåer och besparingar i de enskilda husen kan inte osäkerheterna beräknas med statistiska metoder. Resultat redovisas för två uppsättningar innetemperaturer, uppmätta och standardiserade, för Luleåhuset, enligt nedanstående tabell:

Innetemperatur	Före åtgärderna °C	Efter åtgärderna °C	Ändring efter-före °C
A. Uppmätt	20.4	20.7	0.3
B. Standardiserad	20.4	19.9	-0.5

Av resultaten framgår, att en relativt god överensstämmelse har erhållits för föreliggande hus mellan uppmätta och förväntade nivåer och besparingar.

Appendix F. ENERGIBESPARING AV VÄRMEPUMPSINSTALLATION

Illustration av beräkningsgången.

Huset.

Ett tvåplans småhus med uppvärmd vind och källare och som ligger i Helsingborg är byggt 1923 och ombyggt 1975. Huset är byggt av tegel. Huset värmdes upp med olja fram till mars 1984, då en värmepump med uteluft som värmekälla installerades. Värmepumpen täcker inte hela energibehovet. Elkassett används som tillskottsvärme.

Bruttoarean är 193 m^2 . Huset är självdragsventilerat. Den uppvärmda volymen är 362 m^3 . Andra byggnadstekniska uppgifter som erhöles vid besiktningen av huset före värmepumpsinstallationen lämnas i Tabell F1.

Tabell F1. Beräknade transmissions- och ventilationsförluster.

Byggnadsdel	Area [m ²]	k-värde [W/m ² , °C]	kA-värde [W/°C]	[W/°C]
Golvbjälklag ¹⁾	74	0.48	26.6	
Källarvägg under mark ¹⁾	18	0.96	13.0	
Källarvägg ovan mark	30	2.02	60.6	
Väggar	106	0.41	43.5	
Fönster	17	2.60	44.2	
Vindsbjälklag	96	0.28	26.9	
Transmissionsförluster				214.8
Ventilationsförluster (0.5 0.33 308 ²⁾)				50.7
Husets förlustfaktor				265.5

1) För golvbjälklag mot kryprum, platta på mark samt källaryttervägg under marknivå har kA-värdet reducerats med 25 procent.

2) Den ventilerade andelen av uppvärmda volymen.

Energiförbrukning före installationen

Med hjälp av en drifttidmätare monterad på brännaren till oljepannan och en temperaturmätare erhöles veckovisa uppgifter

om oljeförbrukningen i huset, inne- och utetemperaturer för tio veckor före installationen av värmepumpen. Dessa mätvärden och de tekniska uppgifterna om huset gav följande uppmätta och förväntade nivåer(brutto/normalår) före installationen. (Beräkningarna görs på samma sätt som i Appendix E):

Tabell F2. Energiförbrukningen per lägenhet och normalår före installationen av värmepump.

	Uppmätt MWh/år	Förväntat MWh/år
A. Vid uppmätt innetemperatur		
Energiförbrukning före 95-procentigt konfidensintervall	30.3	-
för energiförbrukning före åtgärd	27.6-33.0	
B. Vid standardiserad innetemperatur		
Energiförbrukning före 95-procentigt konfidensintervall	28.8	31.9
för energiförbrukning före åtgärd	26.1-31.5	

De uppmätta nivåerna skiljer sig åt från de förväntade energiförbrukningarna. I detta fall var indata till den uppmätta energibalansmodellen för "dåliga", för att energiparametern b respektive c skulle kunna beräknas tillräckligt noggrant. Detta beror bland annat på att utetemperaturen inte varierade så mycket under mätperioden som man skulle ha önskat. Vi var därför tvungna att sätta en av parametrarna (c) lika med 0. Osäkerhetsintervallen för de uppmätta nivåerna blir här således betydande.

Inne- och utetemperaturer

Utetemperaturen varierade endast mellan -2.0°C och 2.6°C runt medelvärdet 0.3°C under föreperioden. En anledning till denna låga variation är att mätperioden var relativt kort. En annan anledning är att huset ligger i södra Sverige där utetemperaturen inte varierat lika mycket som i norra Sverige.

Medan föreperioden var relativt kort (ca 2 mån), mättes energiförbrukningar och temperaturer under ett helt år efter värmepumpsinstallationen. Efterperiodens höga inne- och utetemperaturer, under uppvärmningssäsongen, förklaras av att mätningarna även innefattar de relativt varma höst- och vårmånaderna.

Tabell F3. Temperaturer före och efter värmepumpsinstallation.

Temperatur	Före- ¹⁾ perioden	Efter- ²⁾ perioden
Utetemperatur		
Enligt de egna mätningarna vid huset	0.3 °C	1.6 °C
Vid SMHIs närmaste klimatstation	0.2 °C	1.5 °C
Normalår		3.1 °C
Innetemperatur		
Uppmätta	21.4 °C	22.0 °C
Standardiserade	20.4 °C	20.4 °C

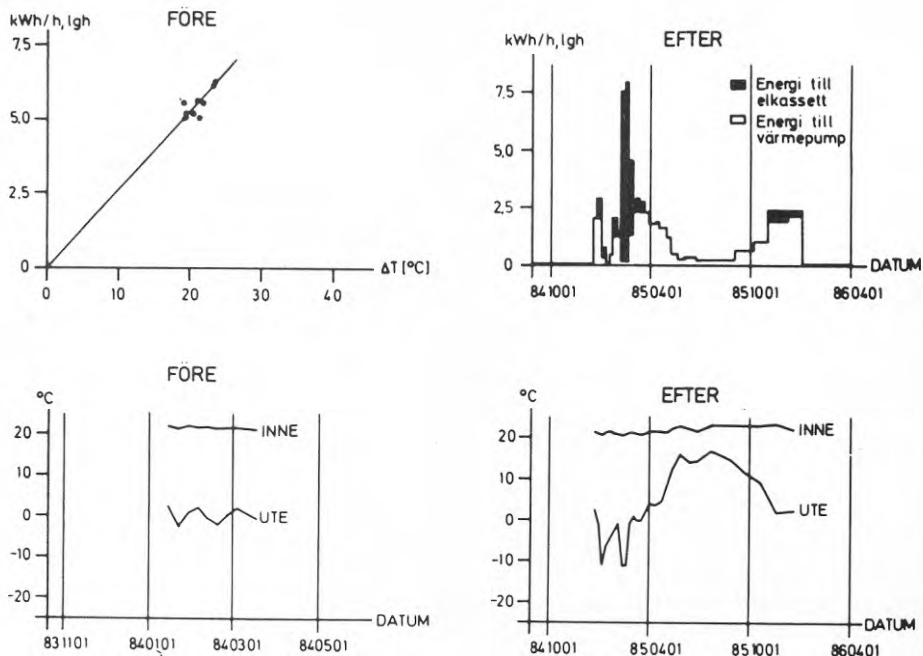
1) Gäller tidsperioden 840110-840320.

2) Gäller uppvärmningssäsongen för tidsperioden 850102-860101. för normalårsutetemperaturen gäller tidsperioden 1951-80.

Energiförbrukning efter installationen

För husen där värmepump installerats gäller inte förutsättningen om linjärt samband mellan energiförbrukning under vintern och temperaturskillnaden inne-ute. För dessa hus används modellen enligt avsnitt 3.3. Energiförbrukningen under efterperioden jämförs med den beräknade energiförbrukningen som skulle ha erhållits om åtgärden ej hade genomförts.

På värmepumparna installerades kWh-mätare med vilka drivenergin till värmepumpens kompressor och energin till elkassetten mättes separat. För Helsingborgshuset uppgick drivenergin till 9 306 kWh och tillsatsenergin till 4 038 kWh för perioden 1985-01-02--1986-01-01.



Figur F1. Uppmätta veckovisa energiförbrukningar och inne- och utetemperaturer före installationen av värmepump (till vänster) och efter installationen (till höger).

Uppmätt energibesparing

Metoden förutsätter att energiförbrukningen före åtgärd följer det linjära sambandet under uppvärmningssäsongen och antagandet att husets nettoenergiebehov ej förändrats.

Beräkningsgången blir för huset i Helsingborg:

Bestäm förlustfaktorn [b_f] och vinterfaktorn [c_f] för föreperioden och bestäm sommarfaktorn [d] enligt avsnitt 3.6.

För detta hus blev parameterskattningarna för föreperioden:

$$W'_{ep}(\text{brutto}) = 0.262 Q + 0.0 T + 1.30 P$$

Med hjälp av eldningssäsongens längd (T) och genomsnittliga temperaturskillnad Δ för uppvärmningssäsongen beräknas förbrukningen under "efterperioden", som om värmepumpen ej hade varit installerad.

Om detta hus i Helsingborg värms upp mellan den 26 september och 9 maj blir längden på uppvärmningssäsongens längd 5424 timmar. Under denna period var medeltemperaturen utomhus 1.6°C i genomsnitt under 1985 vid huset. Vid innetemperaturen 22.0°C blir Q lika med $5\,400 (22.0 - 1.6) = 110\,160$ gradtimmar. Sommarperiodens längd blir 3360 timmar.

$$W'_{ep}(\text{brutto}) = 0.262 * 110\,160 + 1.30 * 3360 = 33\,230 \text{ kWh/år, 1985}$$

Denna skattade energiförbrukning jämförs med den faktiskt uppmätta energiförbrukningen under efterperioden.

Den totalt uppmätta årsenergiförbrukningen efter installationen av värmepumpen är för hela 1985

$$W_{ep}(\text{brutto}) = 9\,306 + 4\,038 = 13\,344 \text{ kWh/år, 1985}$$

Uppmätt värmefaktor:

För huset kan nu årsvärmefaktorn (SFP) för 1985 bestämmas som förhållandet mellan nettobehov före åtgärd minus netto tillsatsenergi och drivenergin till värmepumpen. Verkningsgraden för oljepannan vinter- och sommartid har antagits till 0.80 resp 0.35 dessutom har verkningsgraden för tillsatsenergin satts till 0.95. Detta ger följande årsvärmefaktor

$$\text{SPF}(1985) = \frac{0.262 * 110\,160 * 0.80 + 1.30 * 3360 * 0.35 - 4038 * 0.95}{9\,306} = 2.23$$

Värmepumpens energitäckningsgrad:

För huset kan också värmepumpens energitäckningsgrad (ETG) för 1985 bestämmas som förhållandet mellan nettobehov före åtgärd minus netto tillsatsenergi och nettobehov före åtgärd.

Verkningsgrader enligt ovan ger täckningsgraden.

$$ETG(1985) = \frac{0.262 \times 110 \cdot 160 \times 0.80 + 1.30 \times 3360 \times 0.35 - 4038 \times 0.95}{0.262 \times 110 \cdot 160 \times 0.80 + 1.30 \times 3360 \times 0.5} = 0.84$$

För värmepumpen blir energibesparingen skillnaden mellan energibehov före och efter installationen:

$$W'_{ep}(\text{brutto}) - W_{ep}(\text{brutto}) = 33\,230 - 13\,344 = 19\,886 \text{ kWh/år,}$$

för ett år med uteklimat som 1985.

Sammanfattning av använda mått på nivåer och besparingar

Det förda resonemanget på basis av mät- och besiktningsdata ger följande resultat som kan användas för värdering av installation av uteluftsvärmepumpen.

Tabell F4. Energiförbrukningsnivåer, medeltemperaturer inne och ute under eldningssäsongen samt resultat för driftsåret 1985 för huset i Helsingborg som installerat en uteluftsvärmepump.

Energiförbrukning "före"	[MWh/lgh,år]	33.2
Energiförbrukning efter	[MWh/lgh,år]	13.3
Energibesparing	[MWh/lgh,år]	19.9
Innetemperatur	[°C]	22.0
Utetemperatur	[°C]	1.6
Årsvärmefaktor		2.3
Broschyrårsvärmefaktor		2.9
Energitäckningsgrad	[%]	84
Energibesparing, i procent av "före"-förbrukningen	[%]	60

Resultaten i ovanstående tabell är baserade på mätvärden, förutom en av årsvärmefaktorerna som är baserad på fabrikantens broschyruppgift, kallad broschyrårsvärmefaktor. Den gäller vid utetemperaturen 2°C och framledningstemperaturen 45°C för en uteluftsvärmepump.

Appendix G. HUSVISA ENERGIBESPARINGAR

Viktiga variabler samt uppmätta och förväntade besparingar hus för hus vid uppmätt respektive standardiserad innetemperatur. Här ingår inte de hus där värmepump installerats.

Tabell G1. Fönsterisolering i småhus.

Hus Nr	Uppvärmnings- system 1)		Inne- temperatur [°C]		Föreför- brukning [MWh/lgh,år]		Brutto- area [m ² /lgh]	Energibesparing					
	F	E	F	E	uppm 2)	förv 3)		[MWh/lgh,år]		Andel av föreför- brukningen			
								uppmätt 4)	5)	förvänt 5)	uppm %	förv %	
71	FV	FV	21.8	21.8	27.1	27.8	220	2.4	2.5	2.3	9	8	
72	OL	OL	21.1	20.9	38.0	24.1	183	5.0	5.5	2.8	13	12	
74	ED	ED	20.5	20.9	15.5	14.6	181	1.9	2.7	2.3	12	16	
75	EV	EV	20.1	20.8	19.7	25.7	163	.5	1.9	1.9	2	7	
76	OL	OL	22.4	22.8	43.3	32.7	240	5.4	5.1	2.1	12	6	
77	EV	EV	20.6	20.5	15.8	18.3	148	.2	.6	1.9	1	10	
201	ED	ED	21.8	20.6	21.5	19.2	264	3.3	2.4	1.7	15	9	
204	EV	EV	20.5	20.2	28.3	34.1	255	4.5	4.9	3.3	16	10	
273	EV	EV	20.5	21.6	21.9	24.8	195	-2.6	.1	2.6	-12	11	
858	EV	EV	21.7	21.6	24.8	30.2	168	-1.6	-1.3	1.8	-7	6	
872	ED	ED	20.3	20.9	26.1	23.6	162	-.4	1.0	2.1	-2	9	
873	ED	ED	17.5	16.5	15.5	32.1	301	1.7	1.8	4.6	11	14	
874	OL	OL	21.4	20.8	25.0	24.9	125	4.1	3.8	3.1	17	13	
875	EV	EV	21.9	21.1	30.2	35.3	194	1.5	1.5	3.3	5	9	
876	EV	EV	20.3	19.6	36.2	39.1	252	4.2	3.8	3.2	12	8	
877	EV	EV	23.4	22.1	33.4	32.2	187	2.9	2.2	3.0	9	9	
878	EV	EV	19.3	20.6	16.8	26.6	181	-2.0	-.4	2.0	-12	7	
879	EV	EV	21.6	20.7	29.3	34.4	224	1.3	1.1	3.7	4	11	
880	ED	ED	21.4	20.9	19.0	22.7	215	-.8	-.7	3.1	-4	13	
MEDELVÄRDE			20.9	20.8	25.6	27.5	203	1.6	2.0	2.7	6	10	

ANTAL HUS = 19

F = före åtgärd E = efter åtgärd

- 1) Uppvärmningssystem: FV = fjärrvärme, EV = vattenburen el, OL = olja och ED = direktverkande el.
- 2) Beräknad förbrukning (uppm) med mätningar som underlag och uppmätt innetemperatur.
- 3) Beräknad förbrukning (förv) med tekniska uppgifter som underlag och standardiserad innetemperatur.
- 4) Besparing, beräknad med uppmätt innetemperatur.
- 5) Besparing, beräknad med standardiserad innetemperatur, se avsnitten 1.3 och 3.1.

Tabell G2. Isolerätgärder i småhus.

Hus Nr	Uppvärmnings- system 1)		Inne- temperatur [°C]		Före- förbrukning [MWh/lgh,år]		Brutto- area [m ² /lgh]	Energibesparing				
	F	E	F	E	uppm 2)	förv 3)		[MWh/lgh,år]		Andel av föreför- brukningen		
							uppmätt 4)	förvänt 5)	uppm %	förv %		
4	OL	OL	20.0	20.5	28.4	29.6	135	6.6	8.0	6.6	23	22
5	ED	ED	21.5	21.1	24.0	21.4	106	8.8	8.4	5.8	37	27
31	OL	OL	20.2	20.5	36.8	31.8	220	5.6	6.7	8.9	15	28
32	OL	OL	22.9	23.6	69.4	47.4	263	15.7	15.9	13.5	23	28
33	OL	OL	21.4	21.5	27.1	32.2	151	7.6	7.7	8.2	28	26
34	EV	EV	20.9	21.2	43.0	36.1	182	19.9	21.0	18.0	46	50
35	OL	OL	19.2	19.5	28.3	28.1	136	3.8	5.6	8.2	13	29
73	EV	EV	19.2	19.6	36.0	32.7	327	5.4	8.6	8.2	15	25
210	OL	OL	20.3	20.6	22.7	22.6	131	4.6	5.3	3.8	20	17
212	OL	OL	19.1	18.8	44.0	45.4	194	9.1	9.9	17.2	21	38
221	EV	EV	20.5	21.0	19.5	31.1	156	6.2	6.9	15.0	32	48
222	OL	OL	20.9	18.6	30.0	52.9	211	1.5	- .5	14.1	5	27
223	ED	ED	20.3	20.7	15.9	16.2	164	1.8	2.4	2.5	11	15
224	ED	ED	19.3	19.6	10.3	18.5	195	.1	.3	4.4	1	24
260	ED	ED	17.3	18.6	41.8	30.1	180	21.5	29.2	17.8	52	59
275	EV	EV	21.5	20.5	14.9	25.2	190	1.8	1.8	10.3	12	41
432	EV	EV	19.3	20.0	19.2	26.2	169	-4.4	-3.2	4.4	-23	17
434	OL	OL	20.7	20.8	37.5	29.4	196	12.0	12.5	7.1	32	24
442	OL	OL	21.8	22.2	29.5	28.4	138	7.2	6.5	4.3	25	15
446	EV	EV	18.7	19.0	32.2	34.4	212	5.3	6.5	5.0	16	15
447	OL	OL	19.9	19.4	36.4	44.2	247	.9	.1	.9	3	2
450	EV	EV	20.8	20.5	21.7	28.3	168	1.4	1.0	2.5	7	9
851	ED	ED	21.4	21.2	30.4	36.0	190	7.8	8.0	7.1	26	20
852	OL	OL	20.3	21.2	48.0	66.2	353	5.2	10.0	20.4	11	31
853	EV	EV	19.6	20.1	34.7	36.4	229	3.9	5.2	4.5	11	12
854	EV	EV	17.6	18.6	27.0	32.7	190	2.6	4.6	7.9	10	24
855	ED	ED	19.2	19.0	43.2	36.2	234	1.7	1.5	.9	4	3
856	ED	ED	20.4	20.7	33.3	28.9	129	4.6	5.5	5.0	14	17
857	EV	EV	20.4	22.2	23.2	35.2	135	6.0	9.0	10.2	26	29
MEDELVÄRDE			20.2	20.4	31.3	33.2	191	6.0	7.0	8.3	19	25

ANTAL HUS = 29

Tabell G3. Åtgärds paket i småhus.

Hus Nr	Uppvärm- nings- system 1)		Inne- temperatur [°C]		Föreför- brukning [MWh/lgh, år]		Brutto- area [m ² /lgh]	Energibesparing [MWh/lgh, år]				
	F	E	F	E	uppm 2)	förv 3)		uppmätt 4)	förvänt 5)	uppm %	förv %	
414	OL	OL	19.2	18.9	31.1	41.5	187	6.2	7.4	8.7	20	21
423	OL	OL	20.4	19.6	25.6	27.3	200	3.2	2.5	1.4	12	5
435	OL	OL	22.0	18.2	39.9	32.0	156	14.8	10.5	3.8	37	12
449	OL	OL	22.0	20.9	37.3	41.8	148	10.9	9.8	25.3	29	61
MEDELVÄRDE			20.9	19.4	33.5	35.6	173	8.8	7.6	9.8	26	27

ANTAL HUS = 4

Tabell G4. Elkönvertering i småhus.

Hus Nr	Uppvärmnings- system 1)		Inne- temperatur [°C]		Föreför- brukning [MWh/lgh,år]		Brutto- area [m ² /lgh]	Energibesparing				
								[MWh/lgh,år]			Andel av föreför- brukningen	
								F	E	F	E	uppm
				2)	3)	4)	5)	5)	%	%		
205	OL	EV	22.4	23.2	38.1	21.9	160	1.9	3.7	5.5	5	25
261	OL	EV	22.5	19.4	41.6	34.1	254	19.4	14.1	7.5	46	22
265	OL	EV	21.1	19.1	30.0	40.8	300	2.3	-1.2	8.5	8	21
266	OL	EV	21.1	21.9	25.1	32.9	208	11.1	11.5	7.3	44	22
267	OL	EV	19.7	20.6	52.6	41.4	272	3.8	7.4	8.6	7	21
268	OL	EV	21.2	20.7	36.9	57.8	252	14.5	12.8	11.2	39	19
269	OL	EV	21.3	20.9	42.9	27.0	162	16.6	14.9	6.3	39	23
270	OL	EV	21.7	20.5	27.9	25.5	160	11.2	9.1	6.1	40	24
271	OL	EV	19.2	19.0	28.9	32.2	187	3.0	2.3	7.2	10	22
272	OL	EV	18.4	19.2	29.4	44.9	248	2.3	4.0	9.2	8	20
276	OL	EV	19.5	19.5	28.5	41.5	270	7.1	8.8	10.6	25	26
601	OL	EV	22.2	20.9	39.3	48.2	264	8.7	6.1	9.0	22	19
603	OL	EV	22.7	20.5	44.1	55.0	218	19.4	13.6	10.0	44	18
606	OL	EV	21.9	21.3	31.4	35.7	155	9.8	8.8	7.0	31	20
607	OL	EV	21.3	20.4	38.6	44.7	180	9.6	7.8	8.4	25	19
621	OL	EV	21.1	21.4	32.7	41.4	150	6.3	6.4	9.7	19	23
622	OL	EV	20.3	21.2	32.0	27.6	162	9.8	12.9	7.0	31	25
623	OL	EV	20.5	19.5	31.4	31.7	158	5.2	3.9	6.4	17	20
624	OL	EV	19.0	19.3	33.4	50.8	369	-2.5	-2.2	9.4	-8	18
626	OL	EV	21.8	21.0	44.5	39.6	197	16.6	17.5	9.3	37	23
642	OL	EV	21.2	21.2	45.7	39.5	276	7.7	6.8	7.6	17	19
645	OL	EV	21.1	21.2	37.0	50.0	266	14.8	14.6	9.3	40	19
647	OL	EV	21.3	21.1	61.1	58.1	350	2.6	1.6	10.5	4	18
648	OL	EV	20.7	21.0	38.5	43.7	217	7.3	8.0	8.3	19	19
821	OL	EV	21.4	21.7	61.3	51.4	288	21.2	21.3	9.4	35	18
822	OL	EV	20.6	21.1	33.2	44.8	243	3.1	3.5	8.4	9	19
823	OL	EV	20.0	20.3	36.1	38.9	240	5.9	6.4	7.5	16	19
824	OL	EV	20.4	20.9	47.0	42.8	260	5.9	6.6	8.1	13	19
825	OL	EV	19.0	19.7	37.6	51.3	244	12.1	15.3	11.5	32	22
841	OL	EV	20.6	20.7	35.7	52.3	239	7.0	7.1	9.6	20	18
843	OL	EV	23.1	23.0	37.1	35.0	163	4.9	5.4	6.9	13	20
844	OL	EV	23.5	24.4	35.6	31.3	142	3.5	3.6	6.3	10	20
845	OL	EV	21.2	20.9	47.3	45.6	271	6.3	5.4	8.5	13	19
846	OL	EV	20.4	20.1	28.0	32.0	158	3.7	3.4	6.4	13	20
847	OL	EV	19.8	17.6	28.4	51.2	241	3.4	-1	9.4	12	18
MEDELVÄRDE			20.9	20.7	37.7	41.2	226	8.2	7.7	8.3	22	20

ANTAL HUS = 35

Tabell G5. Fönsterisolering i flerbostadshus.

Hus Nr	Uppvärmnings- system 1)		Inne- temperatur [°C]		Föreför- brukning [MWh/lgh,år]		Brutto- area [m ² /lgh]	Energibesparing				
	F	E	F	E	uppm 2)	förv 3)		[MWh/lgh,år]		Andel av föreför- brukningen		
								uppmätt 4)	förvänt 5)	uppm %	förv %	
181	FV	FV	22.2	21.8	9.8	10.6	90(13)	-1.1	-1.1	.8	-11	8
182	FV	FV	22.0	22.4	10.5	10.1	80(22)	-.1	.3	.8	-1	8
183	FV	FV	22.4	23.2	18.0	15.7	126(12)	.4	1.4	1.3	2	8
185	FV	FV	21.8	20.4	14.8	12.6	118(30)	2.3	1.7	1.4	16	11
186	FV	FV	22.0	21.5	11.8	9.2	105(60)	1.2	1.2	.9	10	9
187	FV	FV	23.0	22.6	8.1	6.4	79(90)	.4	.2	.5	4	8
188	FV	FV	23.2	24.1	7.5	6.5	79(90)	.1	.2	.5	2	8
189	FV	FV	22.2	22.3	10.0	10.0	82(15)	.9	1.1	1.0	9	10
190	FV	FV	21.8	22.8	13.0	9.2	110(60)	.7	1.5	.6	6	6
191	FV	FV	23.8	23.6	13.4	9.2	110(60)	.4	.4	.6	3	6
192	FV	FV	22.6	22.3	11.1	7.9	96(80)	.3	.5	.8	3	10
193	FV	FV	23.1	23.1	11.1	7.8	96(80)	.7	.8	.5	6	6
194	FV	FV	20.5	20.6	9.7	10.4	93(13)	1.5	1.9	1.2	15	12
377	FV	FV	20.5	20.6	22.4	22.8	182(9)	6.8	7.9	2.4	30	10
385	FV	FV	23.9	22.6	12.9	8.8	96(138)	-.5	-1.0	.8	-4	9
386	FV	FV	23.9	22.5	13.7	8.8	96(138)	.0	-.5	.7	0	8
387	FV	FV	21.7	21.4	13.8	8.8	96(138)	1.3	1.5	.8	9	9
388	FV	FV	21.5	21.1	12.5	8.8	96(138)	-.9	-.9	.9	-8	10
522	OL	OL	19.3	19.8	12.1	13.1	77(38)	1.3	1.6	1.8	10	14
523	FV	FV	21.2	20.8	25.9	24.2	211(23)	3.3	3.3	4.4	13	18
556	OL	OL	21.8	21.1	11.7	10.8	73(50)	-1.1	-1.0	1.0	-10	10
731	FV	FV	21.8	21.5	21.1	21.8	180(9)	2.8	3.2	2.6	13	12
732	FV	FV	22.7	20.8	18.7	16.4	130(8)	3.6	2.7	1.8	19	11
733	OL	OL	22.0	21.5	16.5	16.2	95(10)	1.3	1.3	1.7	8	10
734	OL	OL	21.7	21.5	23.8	21.6	159(6)	6.9	7.2	2.3	29	11
735	OL	OL	22.1	20.4	16.9	14.4	97(8)	1.0	.4	1.6	6	11
931	FV	FV	21.9	22.4	29.1	42.7	168(27)	2.4	3.8	2.8	8	6
MEDELVARDE			22.1	21.8	14.8	13.5	112	1.3	1.5	1.3	9	10

ANTAL HUS = 27

6) Antal lägenheter anges inom parentes.

Tabell G6. Vindsisolering i flerbostadshus.

Hus Nr	Uppvärmnings- system 1)		Inne- temperatur [°C]		Föreför- brukning [MWh/lgh,år]		Brutto- area [m ² /lgh] 6)	Energibesparing				
	F	E	F	E	uppm 2)	förv 3)		[MWh/lgh,år]		Andel av föreför- brukningen		
								uppmätt 4)	förvänt 5)	uppm %	förv %	
104	FV	FV	23.5	24.1	13.7	15.3	116(17)	.4	.5	.6	3	4
105	FV	FV	23.0	22.2	17.0	16.7	115(16)	1.0	.2	1.1	6	6
121	OL	OL	22.1	22.6	13.3	16.3	84(90)	1.3	1.9	1.8	10	11
122	OL	OL	22.1	22.0	13.9	14.9	110(36)	.6	.5	.2	4	1
123	OL	OL	23.1	23.0	13.2	12.8	110(54)	.4	.2	.4	3	3
124	OL	OL	21.7	22.4	13.7	14.2	112(81)	1.1	1.7	.8	8	5
125	OL	OL	22.3	22.3	13.1	14.2	111(63)	-.2	-.2	1.1	-1	7
126	OL	OL	22.1	22.7	13.2	11.7	87(30)	-2.0	-1.6	.7	-15	6
127	OL	OL	22.5	22.4	11.1	13.3	113(44)	-.2	-.3	.7	-2	5
511	OL	OL	20.2	21.6	18.6	12.8	75(12)	1.7	3.1	.4	9	3
512	FV	FV	21.9	21.7	13.9	10.3	91(36)	.0	-.2	.8	0	8
513	FV	FV	22.2	23.6	12.6	11.1	91(36)	-.2	.6	.7	-2	6
514	FV	FV	22.4	22.6	13.8	11.1	89(57)	.3	.4	.8	2	7
515	FV	FV	22.3	22.1	17.4	13.4	87(35)	1.6	1.4	1.4	9	10
516	FV	FV	22.2	21.7	10.0	8.7	105(148)	.1	.0	.3	1	3
529	FV	FV	19.1	19.7	9.6	7.9	89(68)	.2	.6	.0	2	0
542	OL	OL	20.6	20.3	16.9	14.8	96(21)	.6	.4	2.4	3	16
557	OL	OL	21.2	21.8	14.5	15.2	68(18)	-.5	-.1	1.0	-4	7
583	FV	FV	20.1	19.9	18.7	18.9	123(9)	1.8	1.7	1.2	10	6
702	FV	FV	23.3	23.4	18.2	17.6	103(48)	2.3	2.5	.5	12	3
703	FV	FV	22.3	22.8	15.5	15.6	104(40)	.4	.8	.3	3	2
704	FV	FV	21.7	21.1	13.7	11.8	79(55)	1.3	1.0	.3	9	2
706	FV	FV	21.2	21.6	17.8	18.1	119(10)	-.8	-.5	.2	-4	1
711	FV	FV	22.3	22.9	14.6	12.3	98(57)	.7	1.1	.1	5	0
911	FV	FV	21.9	20.6	16.6	12.2	103(159)	2.1	1.5	.4	13	3
913	FV	FV	22.7	22.4	16.5	17.4	114(114)	2.0	1.7	.7	12	4
914	FV	FV	22.0	21.7	20.3	15.7	118(108)	.7	.6	.7	4	5
915	FV	FV	21.3	23.2	19.5	14.6	116(102)	.8	1.8	.7	4	5
917	FV	FV	20.8	21.4	12.7	13.3	109(102)	.7	1.2	.6	5	5
MEDELVÄRDE			21.9	22.1	15.0	13.9	101	0.7	0.8	0.8	5	6

ANTAL HUS = 29

Tabell G7. Reglerpaket i flerbostadshus.

Hus Nr	Uppvärmnings- system 1)		Inne- temperatur [°C]		Föreför- brukning [MWh/lgh, år]		Brutto- area [m ² /lgh] 6)	Energibesparing				
	F	E	F	E	uppm 2)	förv 3)		[MWh/lgh, år]		Andel av föreför- brukningen		
								uppmätt 4)	förvänt 5)	uppm %	förv %	
112	FV	FV	22.2	20.7	16.0	15.6	115(16)	.7	-.6	.2	4	1
115	OL	OL	23.3	20.9	13.0	13.3	84(28)	1.0	-.3	.4	7	3
116	OL	OL	20.8	19.7	8.7	10.2	59(55)	.0	-.4	.3	0	3
524	OL	OL	21.3	19.9	23.4	19.4	103(12)	4.7	4.4	1.0	20	5
540	OL	OL	22.3	21.4	19.3	24.9	152(20)	-1.3	-1.6	2.0	-7	8
541	OL	OL	20.5	20.3	14.9	14.1	107(64)	.1	.9	.7	0	5
547	FV	FV	21.6	20.7	12.7	11.5	92(18)	1.1	.9	.6	9	6
552	FV	FV	24.1	22.0	11.9	8.1	56(40)	2.2	1.1	.2	19	2
566	FV	FV	21.9	21.0	15.7	12.1	103(56)	1.5	1.1	.3	9	2
567	OL	OL	22.0	21.1	37.4	33.7	260(19)	3.2	2.5	2.0	9	6
568	OL	OL	21.4	19.7	18.3	14.0	105(11)	2.0	.7	.1	11	1
571	FV	FV	21.4	22.7	12.4	10.6	101(112)	-5.1	-4.3	.2	-41	1
572	FV	FV	21.5	22.2	14.9	13.7	124(64)	3.1	3.7	.2	21	1
573	FV	FV	22.1	23.3	17.5	11.9	112(64)	.5	1.5	.2	3	1
574	FV	FV	21.9	22.7	14.6	12.8	102(70)	-1.0	-.4	.2	-7	1
575	FV	FV	21.4	22.1	14.0	10.5	93(90)	-.3	.4	.1	-2	1
576	FV	FV	21.4	23.0	14.3	11.6	87(78)	-.2	.9	.2	-2	1
577	FV	FV	21.4	21.0	25.6	13.8	110(35)	-.4	-.2	.2	-1	1
598	FV	FV	22.0	21.7	14.0	13.5	140(24)	.7	.6	.2	5	1
MEDELVÄRDE			21.8	21.4	16.8	14.5	111	0.7	0.6	0.5	4	3

ANTAL HUS = 19

Tabell G8. Åtgärdspaket i flerbostadshus.

Hus Nr	Uppvärm- nings- system 1)		Inne- temperatur [°C]		Föreför- brukning [MWh/lgh, år]		Brutto- area [m ² /lgh] 6)	Energibesparing					
	F	E	F	E	uppm 2)	förv 3)		[MWh/lgh, år]		Andel av föreför- brukningen			
								uppmätt 4)	förvänt 5)	uppm %	förv %		
101	FV	FV	22.7	23.3	14.4	15.0	124(21)	.1	1.6	1.5	1	10	
102	OL	OL	21.2	20.9	14.2	15.8	87(52)	.9	1.4	1.9	6	12	
103	OL	OL	23.8	23.0	13.4	10.0	100(78)	1.9	1.8	1.1	14	11	
106	FV	FV	23.0	23.1	13.3	12.3	89(35)	1.9	2.6	1.3	14	11	
107	FV	FV	23.4	22.3	13.8	9.6	71(31)	4.8	4.3	1.9	35	20	
108	OL	OL	23.0	22.1	13.4	11.5	115(40)	.3	.2	1.7	2	15	
111	FV	FV	23.0	20.7	17.0	16.7	115(16)	1.7	-.4	1.3	10	8	
303	FV	FV	22.0	21.9	17.7	18.3	124(15)	2.9	3.5	2.9	16	16	
314	FV	FV	22.0	21.9	8.5	7.5	63(14)	.5	.8	1.1	6	15	
316	FV	FV	20.3	21.2	8.3	8.5	79(21)	.4	1.3	1.3	5	15	
318	FV	FV	19.8	21.4	11.0	10.1	84(19)	2.1	3.5	1.5	19	15	
320	FV	FV	21.3	19.5	8.3	10.3	87(14)	-.5	-.9	1.4	-6	13	
352	FV	FV	20.9	22.5	14.9	8.8	60(75)	2.7	3.8	2.4	18	27	
353	FV	FV	21.3	21.2	14.5	15.3	86(19)	2.1	2.7	9.1	15	59	
355	FV	FV	23.5	22.6	12.5	12.8	134(48)	1.1	1.1	1.6	9	13	
501	OL	OL	23.2	21.4	15.8	14.2	92(73)	.1	-.6	2.2	1	16	
502	OL	OL	21.6	20.6	17.8	14.1	93(38)	2.9	2.5	1.5	16	10	
503	FV	FV	22.7	21.1	19.0	18.9	133(19)	1.0	-.6	2.6	5	14	
504	OL	EV	23.6	22.2	19.6	12.2	107(112)	3.3	2.8	4.4	17	36	
506	FV	FV	23.3	22.3	17.0	11.7	97(35)	2.1	2.0	.9	12	8	
507	FV	FV	21.6	21.2	19.0	18.9	109(36)	.8	1.2	1.6	4	9	
508	OL	OL	22.6	22.8	17.8	11.5	103(28)	.9	.9	.7	5	6	
520	OL	OL	18.6	20.0	11.3	11.4	70(16)	.0	1.1	2.2	0	19	
531	OL	OL	20.7	20.6	13.8	10.3	99(80)	-.2	-.1	1.5	-1	15	
534	OL	FV	19.9	20.0	17.6	13.7	70(28)	4.5	5.4	3.5	26	25	
543	OL	OL	20.2	19.1	17.7	12.2	67(15)	5.8	6.2	1.0	33	8	
544	OL	OL	22.3	22.7	12.8	8.9	60(19)	3.5	4.0	1.0	27	11	
565	FV	FV	20.1	20.9	10.2	6.3	43(37)	2.2	2.9	.5	22	7	
579	OL	OL	20.9	19.4	17.8	10.9	75(31)	3.5	2.8	.6	19	6	
581	FV	FV	21.0	20.3	12.8	11.2	84(18)	.8	.6	.3	6	3	
582	FV	FV	21.5	21.9	14.9	11.6	99(12)	1.4	1.9	.3	9	3	
585	FV	FV	22.8	21.5	28.5	14.1	108(18)	2.8	1.6	1.0	10	7	
586	FV	FV	19.5	19.4	9.3	7.3	59(26)	1.3	1.9	1.1	14	15	
588	FV	FV	21.2	20.1	15.4	9.9	84(81)	3.0	2.6	.9	19	9	
595	OL	OL	22.7	22.2	26.2	25.5	162(31)	1.0	.7	1.4	4	6	
701	OL	OL	23.0	21.6	18.8	16.4	92(8)	5.3	4.9	2.6	28	16	
707	FV	FV	22.7	21.4	14.1	15.5	91(193)	3.5	3.0	5.7	25	36	
708	FV	FV	23.1	21.5	14.5	17.9	99(83)	2.6	1.7	4.8	18	27	
901	OL	EV	21.6	22.9	18.4	15.7	77(10)	7.6	8.8	5.8	41	37	
MEDELVÄRDE			21.8	21.4	15.2	12.9	92	2.1	2.2	2.1	14	16	

ANTAL HUS = 39

Tabell G9. Fjärrvärmeanslutning i flerbostadshus.

Hus Nr	Uppvärmnings- system 1)		Inne- temperatur [°C]		Föreför- brukning [MWh/lgh, år]		Brutto- area [m ² /lgh]	Energibesparing					
								[MWh/lgh, år]				Andel av föreför- brukningen	
	F	E	F	E	uppm 2)	förv 3)	6)	uppmätt 4)	5)	förvänt 5)	uppm %	förv %	
110	OL	FV	22.6	22.5	12.7	14.5	84(90)	.4	.1	2.0	3	14	
161	OL	FV	22.6	23.2	18.2	16.8	86(29)	7.3	7.8	3.0	40	18	
162	OL	FV	22.9	22.0	19.1	20.4	147(24)	3.8	3.0	2.6	20	13	
350	OL	FV	19.4	20.2	40.0	29.6	202(16)	14.0	18.8	5.0	35	17	
351	OL	FV	20.3	20.8	55.5	18.8	172(12)	18.1	22.6	3.3	33	18	
370	OL	FV	22.5	22.3	27.4	13.2	111(50)	11.6	11.5	2.5	42	19	
371	OL	FV	22.5	22.4	16.7	14.6	125(92)	1.2	1.8	2.7	7	18	
372	OL	FV	22.5	22.3	16.9	15.0	128(68)	2.5	3.0	2.7	15	18	
373	OL	FV	24.3	22.8	14.8	9.0	101(225)	3.3	2.8	1.8	22	20	
380	OL	FV	20.3	21.1	14.3	13.7	116(96)	-1.7	-.4	2.5	-12	19	
381	OL	FV	20.9	21.0	19.8	14.6	123(7)	5.8	6.8	2.7	29	18	
525	OL	FV	22.1	21.7	22.9	19.8	175(21)	6.8	6.4	2.5	30	13	
530	OL	FV	22.4	23.1	16.0	15.3	78(84)	5.3	6.0	2.7	33	18	
532	OL	FV	22.0	22.0	14.9	12.6	74(62)	-3.7	-3.7	1.7	-25	14	
533	OL	FV	21.4	22.0	16.3	15.0	96(72)	3.5	4.0	2.0	22	13	
545	OL	FV	21.2	20.5	18.0	15.9	112(54)	4.9	4.7	2.1	27	13	
546	OL	FV	22.0	21.1	13.3	11.1	85(33)	3.9	3.9	2.1	29	18	
548	OL	FV	20.6	21.9	16.2	12.1	82(11)	4.1	5.9	2.2	25	18	
569	OL	FV	21.6	22.6	12.5	9.0	67(33)	2.1	2.6	1.3	17	15	
587	OL	FV	22.5	22.5	13.4	9.2	81(36)	3.1	3.0	1.4	23	15	
724	OL	FV	22.1	21.8	19.5	19.2	117(6)	7.3	6.9	2.3	37	12	
725	OL	FV	23.2	22.3	22.1	17.4	114(12)	4.5	4.2	2.3	20	13	
726	OL	FV	19.4	20.9	17.1	13.4	88(14)	4.3	5.0	1.7	25	13	
728	OL	FV	21.0	21.3	17.0	18.7	115(8)	1.2	1.5	2.4	7	13	
729	OL	FV	21.8	21.4	19.9	15.7	77(10)	3.8	4.2	2.6	19	16	
921	OL	FV	21.7	22.2	25.3	22.2	150(10)	5.3	6.5	3.5	21	16	
MEDELVÄRDE			21.8	21.8	20.0	15.6	112	4.7	5.3	2.4	24	15	

ANTAL HUS = 26

Appendix H. HUSVISA ENERGIBESPARINGAR FÖR VÄRMEPUMPAR

Viktiga variabler och uppmätta besparingsresultat för driftsåret 1985, för hus där värmepump installerats hus för hus och efter typ av värmepump.

Tabell H1. Småhus vilka installerat värmepumpar med ytjord som värmekälla (Grupp A).

Hus Nr	Typ av värmekälla	Uppvärmnings-system	Innetemperatur [°C]		Föreförbrukning [MWh/lgh, år]		Bruttoarea [m ² /lgh]	Energibesparing				
			F	E	Brutto	Netto		[MWh/lgh, år]	Andel av	före-förbr.	SPF	ETG
		1)	3)						4)	5)	6)	
6	YT	OL	21.1	21.0	46.3	35.1	250	25.2	54	1.7	100	2.6
207	YT	OL	19.8	20.5	51.5	39.2	475	35.5	69	2.5	100	2.9
262	YT	OL	18.8	19.3	62.3	47.8	562	41.4	67	2.4	98	2.6
404	YT	OL	19.1	20.6	130.4	102.6	440	78.5	60	3.3	74	2.6
406	YT	OL	19.3	19.8	85.5	66.6	387	49.5	58	3.0	72	2.2
605	YT	OL	22.8	21.5	48.8	37.8	291	29.1	60	2.0	96	2.5
611	YT	OL	21.2	21.3	43.2	33.3	230	27.9	65	2.2	100	2.7
803	YT	EV	20.1	20.3	45.0	42.7	285	22.9	51	2.1	95	2.5
MEDELVARDE			20.3	20.5	64.1	50.6	365	38.7	60	2.4	92	2.6

ANTAL HUS = 8

- Typ av värmekälla:
GV = grundvatten
BR = brunn
UL = uteluft
YT = ytjord
BG = berg
SJ = sjövattnen
ÖV = någon av ovanstående värmekällor inkl annan energisparåtgärd
- Uppvärmningssystem före åtgärd:
FV = fjärrvärme
EV = vattenburen el
OL = olja
ED = direktverkande el
- Innetemperatur:
F = före åtgärd under mätperioden
E = efter åtgärd under uppvärmningssäsong
- SPF = årsvärmefaktor (Seasonal Performance Factor), se avsnitt 3.3
- ETG = energitäckningsgrad, se avsnitt 3.3
- SPFB = broschyrårsvärmefaktor, från fabrikantens broschyr

Tabell H2. Småhus vilka installerat värmepumpar med berg-,
brunns- eller grundvatten som värmekälla (Grupp B).

Hus Nr	Typ av värme- källa	Uppvärm- nings- system	Inne- temperatur		Föreför- brukning		Brutto- area [m ² / lgh]	Energibesparing				
			[°C]	[°C]	[MWh/lgh,år]	[MWh/lgh,år]		[MWh/ lgh,år]	Andel av	före- förbr.	SPF 4)	ETG 5)
	1)	2)	F	E	Brutto	Netto						
2	GV	OL	21.6	20.5	56.8	43.5	308	40.8	72	2.7	100	2.7
7	GV	OL	21.2	21.3	33.7	25.0	277	20.9	62	2.0	100	2.5
206	BR	OL	20.5	20.9	77.9	60.4	472	50.7	65	2.2	100	3.3
402	BG	OL	17.8	19.0	107.1	83.9	335	67.0	63	3.4	76	2.7
405	GV	OL	17.8	18.1	27.8	20.4	366	19.3	69	2.4	100	2.6
410	BG	OL	19.4	19.5	56.9	43.7	465	36.3	64	2.4	94	2.6
412	BG	OL	19.5	20.2	50.9	38.9	302	31.4	62	2.6	87	2.7
413	BG	OL	21.7	21.9	57.0	43.8	216	37.2	65	2.2	100	2.6
416	GV	OL	20.3	20.6	43.3	32.8	209	30.9	71	2.7	100	2.4
417	GV	OL	20.6	20.5	37.6	28.3	257	26.6	71	2.7	98	2.2
418	GV	OL	19.6	20.7	41.3	31.3	216	26.1	63	2.1	99	2.4
438	GV	OL	19.7	20.1	44.4	33.7	316	27.3	62	2.0	100	2.4
439	GV	OL	19.3	19.8	50.9	38.9	304	29.2	57	1.9	95	2.6
440	BG	OL	18.5	19.6	58.2	44.8	265	40.9	70	2.9	94	2.7
604	GV	OL	20.9	21.5	44.2	34.1	242	25.6	58	1.8	100	3.0
802	GV	OL	22.2	20.6	38.2	29.3	163	20.4	53	1.7	97	2.9
MEDELVÄRDE			20.0	20.3	51.6	39.5	295	33.1	64	2.3	96	2.6

ANTAL HUS = 16

Tabell H3. Småhus vilka installerat värmepumpar som har uteluft som värmekälla (Grupp C).

Hus Nr	Typ av värme- källa	Uppvärm- nings- system	Inne- temperatur		Föreför- brukning		Brutto- arga [m ² / lgh]	Energibesparing				
			[°C]		[MWh/lgh,år]			[MWh/ lgh,år]	Andel av	före- förbr.	SPF 4)	ETG 5)
			F	E	Brutto	Netto						
3	UL	OL	19.8	19.7	37.6	28.1	280	9.6	26	1.2	53	2.4
11	UL	EV	18.3	20.2	36.1	34.3	282	8.3	23	1.8	50	2.9
12	UL	EV	21.1	21.2	36.6	34.8	411	14.0	38	1.9	76	2.6
13	UL	OL	19.7	20.7	35.5	26.4	330	15.7	44	1.6	69	2.5
16	UL	OL	20.7	20.9	38.0	28.4	181	18.7	49	1.9	81	2.9
17	UL	OL	20.6	20.7	67.0	51.6	145	27.9	42	2.7	56	2.9
18	UL	OL	20.2	19.7	40.6	30.5	227	14.4	36	1.6	62	2.9
19	UL	OL	20.3	20.8	75.3	58.3	313	32.1	43	1.8	64	2.9
20	UL	OL	21.4	21.6	28.1	20.5	200	17.1	61	2.1	89	2.9
21	UL	OL	19.6	20.5	43.9	33.2	207	8.3	19	1.5	31	2.5
22	UL	OL	20.9	21.2	32.8	24.2	176	10.9	33	1.6	39	2.4
24	UL	OL	20.2	21.4	22.4	15.9	152	6.7	30	1.3	55	2.5
25	UL	OL	20.1	21.0	41.4	31.1	220	19.9	48	2.2	70	2.5
26	UL	EV	20.4	20.6	30.2	28.7	272	12.7	42	2.5	68	2.9
27	UL	OL	21.4	22.0	33.2	24.6	193	19.8	60	2.2	84	2.9
211	UL	EV	21.6	21.8	23.4	22.2	135	6.7	29	1.4	98	2.5
230	UL	OL	19.8	19.7	36.1	26.9	207	16.8	47	2.3	66	2.4
411	UL	OL	21.0	20.7	48.8	37.3	254	22.9	47	2.9	61	2.4
420	UL	OL	19.7	20.6	40.6	30.7	306	10.3	25	1.6	42	2.5
421	UL	OL	19.2	18.9	42.2	32.0	250	23.3	55	3.3	69	2.4
424	UL	EV	16.5	17.6	125.6	119.3	1168	33.0	26	2.0	58	2.9
426	UL	OL	20.6	20.8	32.4	24.1	156	3.1	9	.9	20	2.4
428	UL	OL	20.2	19.2	25.0	18.2	260	14.2	57	3.6	67	2.5
429	UL	OL	19.7	19.6	29.3	21.6	240	10.5	36	1.6	63	2.4
431	UL	OL	20.5	19.9	45.3	34.4	335	19.4	43	2.2	64	2.4
437	UL	OL	20.6	19.5	49.1	37.5	143	13.8	28	1.8	44	2.4
MEDELVARDE			20.2	20.4	42.2	33.6	271	15.8	37	2.0	62	2.6

ANTAL HUS = 26

Tabell H4. Småhus vilka installerat värmepumpar och som har gjort ytterligare energisparåtgärder av mindre omfattning (Grupp D).

Hus Nr	Typ av värme- källa	Uppvärm- nings- system	Inne- temperatur		Föreför- brukning		Brutto- area [m ² / lgh]	Energibesparing				
			[°C]		[MWh/lgh,år]			[MWh/ lgh,år]	Andel av			
			F	E	Brutto	Netto			före- förbr.	SPF	ETG	SPFB
1)	2)	3)				7)	4)	5)	6)			
202	ÖV	OL	20.5	19.6	20.6	14.5	126	10.7	52	1.5	92	2.4
401	ÖV	OL	18.4	19.7	61.5	47.4	252	45.9	75	3.2	98	2.7
415	ÖV	OL	18.5	17.8	80.5	62.6	427	37.4	47	2.6	57	2.9
422	ÖV	OL	20.3	20.9	38.6	29.3	382	16.3	42	1.9	68	2.4
425	ÖV	EV	18.0	18.9	43.7	41.5	186	25.7	59	3.6	80	2.9
433	ÖV	OL	20.0	19.7	65.4	50.6	314	33.1	51	4.6	50	2.2
436	ÖV	EV	19.0	18.8	18.8	17.9	224	6.1	33	2.4	65	2.4
441	ÖV	OL	19.5	19.5	39.4	29.8	247	27.4	69	2.5	99	2.6
448	ÖV	OL	22.8	21.3	44.8	35.7	434	29.9	67	2.4	99	2.4
MEDELVÄRDE			19.6	19.6	45.9	36.6	288	25.8	56	2.7	79	2.5

ANTAL HUS = 9

Tabell H5. Flerbostadshus vilka installerat värmepumpar som har sjövattnen som värmekälla (Grupp A).

Hus Nr	Typ av värme- källa	Uppvärm- nings- system	Inne- temperatur		Föreför- brukning		Brutto- area [m ² / lgh]	Energibesparing				
			[°C]		[MWh/lgh,år]			[MWh/ lgh,år]	Andel av			
			F	E	Brutto	Netto			före- förbr.	SPF	ETG	SPFB
1)	2)	3)				7)	4)	5)	6)			
584	SJ	OL	21.7	20.6	22.0	18.3	116(6)	10.2	47	2.1	76	2.7

ANTAL HUS = 1

7) Antal lägenheter anges inom parantes.

Tabell H6. Flerbostadshus vilka installerat värmepumpar som har berg-, brunn- eller grundvatten som värmekälla (Grupp B).

Hus Nr	Typ av värme- källa	Uppvärm- nings- system	Inne- temperatur		Föreför- brukning		Brutto- arga [m ² / lgh]	Energibesparing				
			[°C]		[MWh/lgh,år]			[MWh/ lgh,år]	Andel av			
1)	2)		F	E	Brutto	Netto	7)	före- förbr.	SPF 4)	ETG 5)	SPFB 6)	
131	GV	OL	21.7	22.9	30.3	25.3	183(12)	21.8	72	3.0	99	3.3
136	GV	OL	23.5	22.2	16.0	13.2	77(31)	10.7	67	3.8	84	3.3
137	GV	OL	23.2	22.2	15.3	12.6	94(27)	11.6	76	3.7	98	3.3
138	GV	OL	22.0	23.4	18.8	15.6	87(26)	14.1	75	3.9	95	3.3
550	GV	OL	20.0	20.1	26.5	22.2	100(12)	8.0	30	2.2	47	2.6
551	GV	OL	22.1	21.9	25.4	21.3	98(13)	6.8	27	1.9	46	2.6
563	BG	Gas	21.4	20.5	30.2	25.3	135(5)	19.0	63	2.5	93	3.2
580	BG	OL	20.6	20.2	20.8	17.3	94(9)	14.7	71	4.0	88	2.7
591	BG	OL	21.5	20.8	28.1	23.5	172(17)	10.2	36	2.1	59	2.3
592	GV	OL	20.1	20.7	34.4	28.9	228(6)	14.7	43	2.4	65	2.7
MEDELVÄRDE			21.6	21.5	24.6	20.5	127	13.2	54	2.9	77	2.9

ANTAL HUS = 10

Tabell H7. Flerbostadshus vilka installerat värmepumpar som har uteluft som värmekälla (Grupp C).

Hus Nr	Typ av värme- källa	Uppvärm- nings- system	Inne- temperatur		Föreför- brukning		Brutto- arga [m ² / lgh]	Energibesparing				
			[°C]		[MWh/lgh,år]			[MWh/ lgh,år]	Andel av			
1)	2)		F	E	Brutto	Netto	7)	före- förbr.	SPF 4)	ETG 5)	SPFB 6)	
132	UL	OL	20.3	22.1	19.5	16.2	90(10)	7.2	37	3.5	47	2.3
133	UL	OL	22.5	21.9	13.4	11.0	92(15)	4.1	31	2.2	45	2.3
134	UL	OL	22.2	22.1	12.7	10.4	88(14)	5.8	46	2.8	62	2.3
384	UL	OL	19.4	20.0	16.6	13.7	111(6)	7.5	45	3.4	58	2.8
535	UL	OL	21.2	20.9	16.6	13.8	90(9)	8.4	51	3.6	64	2.4
MEDELVÄRDE			21.1	21.4	15.8	13.0	94	6.6	42	3.1	55	2.4

ANTAL HUS = 5

Tabell H8. Flerbostadshus vilka installerat värmepumpar och som har gjort ytterligare energisparåtgärder av mindre omfattning (Grupp D).

Hus Nr	Typ av värme- källa	Uppvärm- nings- system	Inne- temperatur		Föreför- brukning		Brutto- arga [m ² / lgh]	Energibesparing				
			[°C]	[°C]	[MWh/lgh,år]	[MWh/lgh,år]		Andel av		Andel av		
	1)	2)	F 3)	E	Brutto	Netto	7)	före- förbr.	SPF 4)	ETG 5)	SPFB 6)	
526	ØV	OL	20.5	21.8	18.4	15.3	68(12)	8.7	47	4.0	57	2.4
527	ØV	OL	20.2	19.9	20.1	16.7	91(9)	6.9	34	3.1	43	2.4
536	ØV	OL	22.1	22.0	13.5	11.1	103(151)	4.3	32	2.1	49	3.0
537	ØV	OL	22.1	22.0	18.1	15.0	95(132)	6.0	33	2.1	54	3.0
MEDELVÄRDE			21.2	21.4	17.5	14.5	89	6.5	37	2.8	51	2.7

ANTAL HUS = 4

Appendix I. METODIK FÖR ANALYS AV FELEN I UPPMÄTT OCH
FÖRVÄNTAD ENERGIBESPARING

Den använda statistikan vid test av skillnader mellan mät- och teorimodellernas genomsnittliga energibesparingar \bar{B}_M respektive \bar{B}_T har följande utseende

$$(\bar{B}_M - \bar{B}_T) / \sqrt{\text{Var}\{\bar{B}_M - \bar{B}_T\}}$$

där $\text{Var}\{\bar{B}_M - \bar{B}_T\}$ är variansen av skillnaden $\bar{B}_M - \bar{B}_T$.

Variansen av det slumpmässiga felet e_M i en uppmätt energibesparing skattas med hjälp av

$$\text{Var}\{e_M\} = \text{Var}\{W_f\} + \text{Var}\{W_e\}$$

där de två varianserna i uppmätt årsförbrukning i högerledet, som kan hänföras till den slumpmässiga variationen i skattningarna av förlustfaktorn b och vinterfaktorn c , beräknas på följande sätt

$$\text{Var}\{W\} = T^2 [\text{Var}\{b\} * (\theta_i - \theta_u)^2 + 2 \text{Kov}\{b, c\} * (\theta_i - \theta_u) + \text{Var}\{c\}]$$

där θ_i och θ_u är de genomsnittliga inne- och utetemperaturerna, T är uppvärmningssäsongens längd i timmar, $\text{Var}\{b\}$ och $\text{Var}\{c\}$ är varianserna för skattningarna av b respektive c , och där $\text{Kov}\{b, c\}$ är kovariansen mellan b och c .

För att skatta variansen av det slumpmässiga felet e_T i förväntad energibesparing antas, att e_T är okorrelerad med det slumpmässiga felet e_M i uppmätt besparing.

Variansen för felet e_T i förväntad energibesparing kan därmed skattas ur följande ekvation

$$\text{Var}\{e_T\} = \text{Var}\{B_M - B_T\} - \text{Var}\{e_M\}$$

där $\text{Var}\{B_M - B_T\}$ är variansen för skillnaden mellan uppmätt besparing B_M och förväntad besparing B_T .

Den "genuina" variansen $\text{Var}\{B\}$ för energibesparingarna erhålls som differensen mellan variansen för uppmätta besparingar och felvariansen $\text{Var}\{e_M\}$.

Korrelationen $r(B_M, B)$ mellan uppmätt besparing B_M och energibesparingen B erhålls ur följande ekvation

$$r(B_M, B) = \sqrt{1 - \text{Var}\{e_M\} / \text{Var}\{B_M\}}$$

där $\text{Var}\{B_M\}$ är variansen i de uppmätta besparingarna.

Villkoret att den partiella korrelationskoefficienten mellan uppmätt och förväntad besparing skall vara lika med noll kan skrivas

$$r(B_M, B_T) = r(B_M, B) * r(B_T, B)$$

där r anger korrelationskoefficienten.

Korrelationen mellan förväntad besparing B_T och faktisk besparing B erhålls med hjälp av ovanstående två ekvationer.

REFERENSER

- Amnell G, (1985), Vätska/vatten- värmepump, 25 kW värme för små panncentraler. Resultat från ett års drift, Driftrapport 1985:9, Vattenfallsprojekt för solenergi och värmepumpar, Stockholm.
- Anderlind G, (1984), Approximation of monthly mean temperatures by using Fourier series, Report BKL 1984:1(E), Lunds tekniska högskola.
- Anderlind G, Hjalmarsson C och Norlén U, (1984), "Erfarenheter av Högskoleprojekt I och II och energisparkvarteren per maj 1984", delrapport till ENERGI 85, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
- Anderlind G, Nilsson A, Stadler C-G, (1986), Det lönar sig att spara energi i flerbostadshus. Erfarenheter från projektet "Energisparkvarter", G9:1986, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
- Byggnadsforskningsrådet (1984), ENERGI 85. Energianvändning i bebyggelse, G26:1984, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
- DsBo 1980:8, Energispareffekter i bostadshus där åtgärder genomförts med statligt energisparstöd, Bostadsdepartementet, 1981, Stockholm.
- Gaunt L, (1985), Bostadsvanor och energi - om vardagsrutinernas inverkan på energiförbrukningen i elvärmda småhus, Meddelande M85:14, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.
- Hammarsten S, (1983), Utvärdering av värmepumpar, Tekniska Meddelanden, Nr 260-267, Kungliga tekniska högskolan, Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, Stockholm.

- Hammarsten S och Hjalmarsson C, (1983), Energisignaturen är en modell som avspeglar boendevanorna, VVS och energi, Nr 1, 1983.
- HII-gruppen, (1984), Effekter av energisparåtgärder. Lägesrapport sommaren 1984, R171:1984, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
- HII-gruppen, (1985), Högskoleprojekt II - Evaluation of Effects of Energy Conservation Retrofits in Existing Residential Buildings. I Proceedings from the ASHRAE/DOE/-BTECC Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings III, Florida, Clearwater Beach, 1985.
- HII-gruppen, (1986), Högskoleprojekt II - Effects of Energy Conservation Measures: Results from a Swedish Before-After Study. Proceedings from the ACEEE 1986 Summer Study on Energy-Efficiency in Buildings, Santa Cruz, CA, August 1986.
- Hirst E och Goeltz R, (1985), Comparison of Actual Energy Savings with Audit Predictions for Homes in the North Central Region of the U.S.A. Building and Environment, Vol. 20, No 1, pp. 1-6.
- Hirst E, White D och Goeltz R, (1983), Comparison of Actual Electricity Savings with Audit Predictions in the BPA Residential Weatherization Pilot Program. ORNL/CON-142. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Hjalmarsson C, (1983), Huvudinstruktion för, undersökning av effekter av energisparåtgärder, Högskoleprojekt II. Stencilpärm 1983-08-23, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.

- Hjalmarsson C, (1987), Effektbehov i bostadshus. Experimentell bestämning av effektbehov i små- och flerbostadshus, Licentiat-uppsats 1987:09L, Avdelningen för konstruktionsteknik, Tekniska Högskolan i Luleå.
- Hjalmarsson C, (1987), "Energibesparing i befintliga bostadshus - en fältundersökning", VVS & Energi 1987:3.
- Holgersson M, Norlén U, (1984), Domestic indoor temperatures in Sweden. Building and environment, Vol 19, No 2.
- Johansen K, (1984), Beregning af energiforbrug i småhuse, SBI-rapport 148, Statens Byggeforskningsinstitut, Hörsholm.
- Lundström E, (1986), Occupant influence on energy consumption i single-family dwellings, Document D5:1986, Swedish Council for Building Research, Stockholm.
- Malmö Energiverk, (1985), Värmepumpar i Malmö och Barlöf.
- Mårtensson P, (1987), Energibesparing i småhus genom tilläggsisolering. Examensarbete 1987:008E, Avdelningen för konstruktionsteknik, Tekniska Högskolan i Luleå.
- Nilsson A, Bäck L, Fischer M och Stadler C-G, (1984), Energisparmöjligheter i befintlig bebyggelse, R143:1984. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
- Norlén U, (1985), Energiförbrukning i byggnader. Delrapport 5: Resultat från en urvalsundersökning, Meddelande M85:7, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.
- Norlén U och Holgersson M, (1981), Estimating effects of energy conservation measures: A Swedish study, Proceedings of the Conference on New Energy Conservation Technologies and their Commercialization, Vol I, Springer Verlag, Berlin.

Norlén U och Holgersson M, (1982), Programförslag, Undersökning av effekter av energisparåtgärder, Högskoleprojekt II. PM 1982-03-28, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.

Spante L, (1986), Villavärmepumpar, Driftsresultat 1984/85, Rapport UL-FUD-B 86:9, Vattenfallsprojekt för solenergi och värmepumpar, Stockholm.

Statens Provningsanstalt, Driftresultat från fältmätningar på värmepumpar, Faktablad utgivna 1985.

Taesler R och Anderson C, (1984), A method for solar radiation computing using routine meteorological observations. Energy and Buildings, No 7, s 341-352.

Tolstoy N, Sjöström C och Waller T, (1984), Bostäder och lokaler från energisynpunkt (ERBOL), Meddelande M84:8, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.

Vallenor U och Wikström L, (1984), Energiförbrukning i byggnader, delrapport 4: Mätning av oljeförbrukning och temperaturer, Meddelande M84:17, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.

Villavärmepumpar - rapport från VAST, Kraftverksföreningens utredningsstiftelse, Stockholm 1981.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821262-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens institut för
byggnadsforskning, Gävle.**

R107: 1989

ISBN 91-540-5128-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6709107

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna**

Cirkapris: 70 kr exkl moms