



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

R123:1983

Värmeåtervinning ur splittrade frånluftssystem i skola i Malmö

Olle Sund

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac <i>ser</i>

*K
9/1/83*

R123:1983

VÄRMEÅTERVINNING UR SPLITTRADE FRÄN-
LUFTSSYSTEM I SKOLA I MALMÖ

Olle Sund

Denna rapport hänföer sig till forskningsanslag
800938-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Malmö kommun.

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

R123:1983

ISBN 91-540-4024-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

FÖRORD	5
0 SAMMANFATTNING	7
1 PROJEKTET	12
1.1 Bakgrund	12
1.2 Syfte	12
1.3 Objektet	17
1.3.1 Byggnad	17
1.3.2 Värmesystem	17
1.3.3 Luftbehandlingssystem	17
1.3.4 Varmvattensystem	17
1.4 Energibesparingsåtgärder	17
1.4.1 Energisparpaket I	17
1.4.2 Energisparpaket II	18
2 ANGREPPSSÄTT	20
2.1 Årsvis avläsning av fjärrvärmeförbrukning	20
2.2 Veckovis avläsning av energiförbrukning	20
2.3 Kontinuerlig effektmätning av en värmepumpanläggning	21
2.4 Faktorer som påverkar mätresultatet	26
3 MÄTRESULTAT OCH KOMMENTARER	27
3.1 Resultat från mätningar	27
3.2 Kostnader	31
3.3 Ekonomiskt resultat	34
3.3.1 Ekonomisk vinst vid övertemperering	35
3.4 Kommentarer	37
4 MARKNADSUNDERSÖKNING	38
5 SLUTSATSER	40
5.1 Måterfarenheter och mätresultat	40
5.2 Energibesparing	40
5.3 Ekonomiskt resultat	40
6 FORTSATT ARBETE	43
BILAGA 1 Instrumentspecifikation	44
BILAGA 2 Avgiven värmepumpeffekt	45
BILAGA 3 Luftvärmarnas effekt med/utan värmepumpdrift	51
BILAGA 4 Sammanställning - luftvärmarnas effekt med/utan värmepumpdrift	58
BILAGA 5 Kyleffekt värmepump	60
BILAGA 6 Felkalkyl - dataloggermätningar	66
BILAGA 7 Felkalkyl - värmemängdsmätare	68

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1	Värmepumparnas placering i tilluftsschakt	14
Figur 2	Förångarnas placering i frånluften	14
Figur 3	Förångarens placering i frånluften -framtida lösning	15
Figur 4	Varaktighetsdiagram - värmepump kontra rekuperativ värmeåtervinning	15
Figur 5	Reducering av framledningstemperaturen till radiatorer	16
Figur 6	Mätning av vv- och vvc-kretsens energiförbrukning	21
Figur 7	Mätning av radiatorkretsens energiförbrukning	21
Figur 8	Värmeåtervinningsanläggning 3: sektionskiss	22
Figur 9	Värmeåtervinningsanläggning 3: planskiss - anslutande tillluftsaggregat	22
Figur 10	Mätgivarnas placering vid tilluftsaggregat	24
Figur 11	Mätgivarnas placering vid frånluftsaggregat	24
Figur 12	Insamling av data med logger	25
Figur 13	Uppmätt energibesparing	28
Figur 14	Mätresultat - avgiven värmepumpeffekt	30
Figur 15	Varaktighetsdiagram - värmepumpdrift	32
Figur 16	Varaktighetsdiagram - övertemperering	36

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1	Kostnader	9
Tabell 2	Besparingskostnader - energisparpaket II	9
Tabell 3	Beteckningar	11
Tabell 4	Indices	11
Tabell 5	Data för värmepumpar	18
Tabell 6	Data för värmemängdmätare	20
Tabell 7	Data för tilluftsfläktar	22
Tabell 8	Data för frånluftsfläktar	23
Tabell 9	Förteckning över mätgivare	25
Tabell 10	Energiförbrukning efter genomförande av energisparpaket I, MWh/normalår	27
Tabell 11	Energiförbrukning efter genomförande av energisparpaket I och II, MWh/normalår	27
Tabell 12	Kostnader	33
Tabell 13	Besparingskostnader - energisparpaket II	35
Tabell 14	Marknad för icke-konventionellt värmepumpsystem	38
Tabell 15	Kostnader	41
Tabell 16	Besparingskostnader - energisparpaket II	41
Tabell 17	Förutsättningar för felanalys	66

FÖRORD

Statens råd för Byggnadsforskning har gett Malmö kommun lån och anslag, för att installera och utvärdera besparingseffekten av ett antal värmepumpar för återvinning av energi ur frånluft. Objektet är en skola belägen i Malmö.

Malmö kommun har varit anslagsmottagare med Ingenjör Olle Sundh som projektledare. Installationsarbetet har huvudsakligen utförts av Ventilationsförbättringar i Malmö AB och utvärderingsarbetet av ÄF-Energikon-sults Mircea Abrahamsson, som även utformat byggforskningsrapporten i samråd med projektledare och med synpunkter från övriga medverkande.

En grupp med följande sammanställning har tillsatts för projektet:

Mircea Abrahamsson	ÄF Energikon-sult, Malmö, 040-13 00 00
Sven Andersson	Malmö Allmänna Sjukhus, 040-33 10 00
Ronny Blom	ÄF Energikon-sult, Malmö, 040-13 00 00
Knut Boij	Energiverken, Malmö, 040-24 40 00
Bertil Ekberg	Klas'vent AB, Malmö, 040-19 20 75
Lars Jensen	Lunds Tekniska Högskola, 046-10 73 51
Bo Järvig	Cronklimat AB, Malmö, 040-93 75 74
Tommy Pettersson	Ventilationsförbättringar AB, Malmö, 040-93 39 70
Olle Sundh	Malmö Fastighetskontor, 040-34 10 00
Bo Wallenborg	BPA, Malmö, 040-94 51 00

LITTERATURFÖRTECKNING

Bostadsdepartementet: Regeringspropositionen 1977/78:76
Energisparplan för befintlig bebyggelse.

Byggforskningens informationsblad B4:1977
Metoder för mätning av luftlöden i ventilationsinstallationer.

Statens Planverk, rapport nr 41

VVS-handboken

SAMMANFATTNING

Följande projekt har haft som mål att utvärdera lönsamheten hos ett värmeåtervinningssystem bestående av elva värmepumpar som kylvärmer frånluften och värmer tilluften i en ventilationsanläggning. Inom projektet har även den energisparande effekten av andra åtgärder belysts, nämligen reducering av ventilationsaggregats drifttider och tidstyrning av varmvattencirkulationspumpen.

De energibesparande åtgärderna har inom projektet uppdelats i två sparpaket, där de enkla och ej så kostnadskrävande åtgärderna ryms inom sparpaket I och installationen av värmeåtervinningssystemet inom sparpaket II.

Det aktuella objektet är en skola i Malmö, Lindeborgsskolan, med en uppvärmd lokalyta av 11.760 m². Byggnadsår 1973. Byggnadens energibehov tillgodoses med fjärrvärme. Energiförbrukningen före åtgärdernas genomförande har varit 3230 MWh/normalår eller 275 kWh/m² golvyta, år.

Skolbyggnaden är försedd med ett balanserat till- och frånluftssystem, totalt 130.000 m³/h. Någon värmeåtervinning förekommer ej. Uteluften tas in via fem schakt och distribueras vidare med hjälp av 18 st tilluftsfläktar. Frånluften bortföres med hjälp av 36 st fläktar utspridda placerade på tak med stora avstånd mellan sammanhörande till- och frånluftsfläkt.

Orsakerna till att det ej är intressant med ett konventionellt värmeåtervinningssystem, typ rekuperativ batterivärmare eller plattvärmeväxlare är följande:

- små fläktluftflöden
- stora avstånd mellan sammanhörande till- och frånluftsfläktar
- små utrymmen i fläktrum.

Det installerade återvinningssystemet arbetar enligt följande princip:

Ett flertal frånluftsfläktars luftflöde kyls med ett antal kylbatterier (förångare). Energin från dessa distribueras via ett köldmedium i ett rörsystem till en värmeavgivare bestående av en hermetisk kylkompressor och kondensor sammanbyggda till en enhet. Denna placeras fritt i uteluftsströmmen inne i intagsschaktet eller är placerad i anslutning till uteluftsintaget, som därefter överbygges. Styrning av värmepumpaggregatet sker på så sätt att frånluften kyls med konstant effekt. Vid stigande utetemperatur upprätthålls konstant kyleffekt med hjälp av en varvtalsstyrd axialfläkt. Den konstanta kyleffekten ger en hög årsverkningsgrad och möjliggör även övertemperering av tilluften. Denna kan utnyttjas genom att framledningstemperaturen till radiatorerna reduceras och på så sätt värms lokalerna med ventilationsluft. Priset per energienhet för uppvärmning via övertempererad tilluft är lägre än det för uppvärmning via radiatorer, vilket leder till en kostnadsbesparing.

Totalt har 11 st värmepumpar installerats och förvärmer ett tilluftsflöde av 130.000 m³/h samt kylvärmer ett frånluftsflöde av 65.000 m³/h. Enligt

fabrikanten uppgår kyleffekten per värmepump till 20,3 kW och kompresoreffektbehovet till 4,2 kW. Totalt 24,5 kW avgiven effekt per värmepump.

För att kunna bedöma energisparpaketets spareffekt har mätarbetet utformats på följande sätt.

- årsvis avläsning av fjärrvärmeförbrukning
- veckovis avläsning av energiförbrukning för fjärrvärme, radiatorer och varmvatten. Tidsperiod: december 1980-april 1981
- kontinuerlig mätning av värmepumpenläggning
tidsperiod: 16 mars-21 april 1981

För att kunna registrera energiförbrukningen till de olika förbrukningstyperna såsom varmvatten, radiatorsystemet och ventilationsanläggningar har ett antal extra, manuellt avlästa värmemängdsmätare installerats.

Den kontinuerliga mätningen avser en ventilationsanläggning med tre st värmepumpar. Tilluftens och frånluftens temperaturhöjning respektive sänkning, de befintliga luftvärmarnas effekttillskott, effekter m m har registrerats noggrant och insamlats med en datalogger. Mätvärdena har sedan stansats ut på remsa och beräkning har skett med dator.

Enligt den totala mätningen beräknas värmepumparnas avgivna effekt till $25,5 \pm 3,9$ kW. Den kontinuerliga mätningen redovisar tre olika resultat. Två av dessa är behäftade med för stora felmarginaler för att ligga till grund för en bedömning av aggregatens prestanda. Det tredje resultatet anger den avgivna effekten till $17,5 \pm 2,8$ kW.

Eftersom resultaten från de båda mätmetoderna ej överensstämmer inom felmarginalerna är någon av dem eller båda behäftade med okända fel. Vidare kan värmepumparna ha olika prestanda vid olika installationer, vilket skulle förklara skillnaden, eftersom den ena mätmetoden avser tre aggregat och den andra samtliga elva.

Till följd av det avvikande resultatet mellan de olika mätmetoderna, har en efterföljande mätning under en 10 månaders period utförts. Drifttiden för värmeåtervinnarna och energiförbrukningen till ventilationskretsen har registrerats och korrigerats till normalmånader. Resultatet från denna mätning avser samtliga 11 värmeåtervinnare och anger den avgivna effekten per återvinnare till $26,4 \pm 4,0$ kW. Resultatet pekar alltså på att det framräknade värdet från den totala mätningen, $25,5 \pm 3,9$ kW är representativt för hela anläggningen.

Fjärrvärmebesparingen för sparpaket I och II beräknas till 1.280 MWh/år respektive 490 MWh/år. Inom sparpaket I återstår vissa åtgärder. Besparingseffekten resulterar i en specifik energiförbrukning av 124 kWh/m^2 , år vilket skall jämföras med förbrukningen före åtgärdernas genomförande - 275 kWh/m^2 . En liten efterföljande energimätning under 1 års tid (81-04--82-04) har verifierat den beräknade besparingseffekten.

Sparpaketens kostnader framgår av nedanstående sammanställning.

Tabell 1 Kostnader

Typ av kostnad	Energisparpaket	
	I	II
Investeringskostnad, kkr	80 + (70)	660
Elenergikostnader, kkr/år	-16,2	20,6
Underhållskostnader, kkr/år	0	1

Elenergikostnaden för energisparpaket II exkluderar eventuella ökade eleffektkostnader -2,5 kkr/år. Installationen medför en reducering av fjärrvärmeeffektbehovet som resulterar i en kostnadsbesparing av 7,5 kkr/år. Denna effektminskning måste emellertid garanteras av abonnenten gentemot Energiverken genom t ex en reducering av ytan på fjärrvärmeväxlaren.

Besparingskostnaden, vilken skall ställas i relation till det rådande energipriset för en bedömning av åtgärdens lönsamhet blir för energisparpaketet I <0 kr/MWh, beroende på att enbart de årliga elenergikostnadsbesparingarna under åtgärdens livslängd betalar tillbaka investeringskostnaden. Pay-off-tiden understiger alltså ett år.

För energisparpaket II kan fyra olika besparingskostnader framräknas beroende på om ökad eleffektkostnad för drift av värmepumparna - 2,5 kkr/år respektive kostnadsbesparingen för fjärrvärmeeffektreduceringen -7,5 kkr/år medräknas eller ej.

Tabell 2 Besparingskostnader - energisparpaket II

Alt.	Eleffekt-kostnader	Fjärrvärme-effektbesparing	Besparings-kostnad kr/MWh
1	Ja	Ja	131
2	Ja	Nej	144
3	Nej	Ja	126
4	Nej	Nej	140

Samtliga alternativ ligger klart under det rådande energipriset för fjärrvärme - 165 kr/MWh, vilket tyder på god lönsamhet för värmepumpsinstallationen.

Den ekonomiska kalkylen har baserats på en drifttid av 8,1 h/dygn måndag - fredag, vilket är en relativt kort drifttid. Utgår man från alternativ fyra i tabell 1 - 140 kr/MWh, vilket är mest troligt och ökar drifttiden med 50 och 100%, fås en besparingskostnad av 105 kr/MWh respektive 88 kr/MWh. Följaktligen är lönsamheten starkt beroende av drifttiden. Drifftidsmätningar har under ett senare skede påvisat att den har tenderat att öka, vilket bidrar till en viss förbättring av lönsamheten.

Den potentiella marknaden för liknande installationer i landet för alla typer av byggnader har beräknats till 14.400 st värmepumpar. Totalt skulle då 720 GWh/år sparas till en investeringskostnad av 860 Mkr.

Eftersom det finns en stor marknad för liknande installationer bör svenska värmepumptillverkare undersökas med avseende på årsproduktionskapacitet. Det är ur nationalekonomisk synvinkel angeläget att skapa nya arbetstillfällen, varför en inhemsk produktion av komponenter till värmepumpar är önskvärd.

BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER

Använda beteckningar följer i stort SIS-rekommendationer.

Tabell 3 Beteckningar

Storlek	Enhet	Beteckning
Densitet	kg/m ³	ρ
Effekt	W	P
Energi	Wh	Q
Luftflöde	m ³ /h	q
Temperatur	°C	t
Värmekapacitivet	J/kg,°C	c _p

Indiceringen är utformad på följande sätt:

Tabell 4 Indices

Indices	Avser
F	Frånluft
T	Tilluft
l	Luft
v	Vatten
+	högre värde
-	lägre värde

Beteckningar och indices som ej framgår här har definierats i anslutning till texten.

I texten förekommer benämningar som bör förklaras:

- Avgiven effekt: I samband med värmepumpar avses all kondensor-effekt inklusive el till kompressorer.
- Rekuperativt värmeåtervinningssystem: Den återvunna energin transporteras från kylbatteriet i frånluftströmmen till värmebatteriet i tilluftströmmen med hjälp av en vätska bestående av vatten och något frostskyddsmedel.

Priser avser prisläget februari 1981.

1 PROJEKTET

1.1 Bakgrund

En stor andel av det svenska byggnadsbeståndet som tillkom under 60- och början av 70-talet utformades på sätt, som medfört ett betydligt större energibehov än om de krav på god energihushållning, som tillkom i och med att den nya energinormen (SBN 75) hade gällt.

Bland de byggnads- och VVS-mässiga orsakerna till detta kan följande nämnas:

- höga k-värden i väggar och tak i relation till SBN 75-kraven
- stora ventilationsluftflöden med dygnet-runt drift
- värmeåtervinning saknas
- splittrade ventilationssystem
- stora ofrivilliga ventilationsluftflöden
- höga framledningstemperaturer på värmevatten till radiatorer och luftvärmare
- dålig temperaturreglering

Främst avses allmänna lokaler typ skolor och kontorsbyggnader men även industrier. Den långa återstående livslängden för dessa byggnader innebär en betydande energisparpotential.

De energibesparande åtgärderna som normalt föreslås för byggnader av denna typ är följande:

- behovsanpassade ventilationsluftflöden
- drifttidstyrning av ventilationsaggregat
- nya och bättre tätningslistor vid fönster och dörrar
- sänkning av framledningstemperaturen
- sänkning av lokaltemperaturen

Dessa åtgärder medför en relativt stor energibesparing i förhållande till det investeringskapital som erfordras och resulterar i korta pay-off-tider.

Vad som återstår att göra är tilläggsisolering av väggar och tak samt anordnande av värmeväxling mellan till- och frånluftsflödena.

Tilläggsisolering har mycket långa pay-off-tider som i många fall även överstiger åtgärdens livslängd. Ett undantag är isolering av vindsbjälklag om det går att utföra med en ringa arbetsinsats.

Inom det akutella byggnadsbeståndet utformades ventilationssystemet med ett flertal mindre fläktar med små luftflöden och med utspridd placering, ofta med stora avstånd (>20 m) mellan sammanhörande till- och frånluftsfläktar. Detta leder till stora investeringskostnader vid installation av konventionell värmeåtervinningsteknik och medför långa

pay-off-tider. Ofta är det svårt med en eventuell värmeåtervinningsinstallation på grund av svårigheter med placering av batteriytor, särskilt på tilluftsidan. De befintliga tilluftsaggregaten kan till exempel vara placerade i små trånga fläktrum.

Vad man istället önskar vid installation av ett värmeåtervinningsystem kan vara ett system som medger följande fördelar:

- små dimensioner i förhållande till avgiven effekt
- enkel installation av värmeavgivare och upptagare
- enkla rördragningar mellan värmeavgivare och upptagare

I aktuellt byggforskningsprojekt är det ett värmeåtervinningsystem med dessa fördelar som provats.

I samband med att de energibesparande åtgärderna utförts har energimätare installerats för att effekten av åtgärderna skall kunna verifieras. Det är av stort värde om flera energimätare installeras för registrering av energin till radiatorer, ventilationssystem, varmvattenberedning och VVC-förluster. Därigenom kan besparingseffekten för respektive åtgärd noggrannare fastställas.

Resultatet av projektet är användbart för fastighetsägare inom den kommunala och privata sektorn. Resultatet kan tillämpas på andra objekt om hänsyn tas till de specifika förutsättningarna för objektet ifråga. Dessa kan bestå av andra drifttider, ventilationsflöden, temperaturnivåer o s v.

1.2 Syfte

Projektet syftar till att beskriva och bedöma de ekonomiska och energimässiga besparingseffekterna vid genomförandet av två olika energisparpaket. Dessa har utförts på en befintlig skolbyggnad som har en förväntad stor energisparpotential. Vidare har även de tekniska möjligheterna till registrering av spareffekterna analyserats.

Energisparpaket I

- * Drifttider för ventilationsaggregat anpassas efter brukstider
- * Drift utöver normala brukstider styrs av timer
- * Tidstyrning av varmvattencirkulationspump

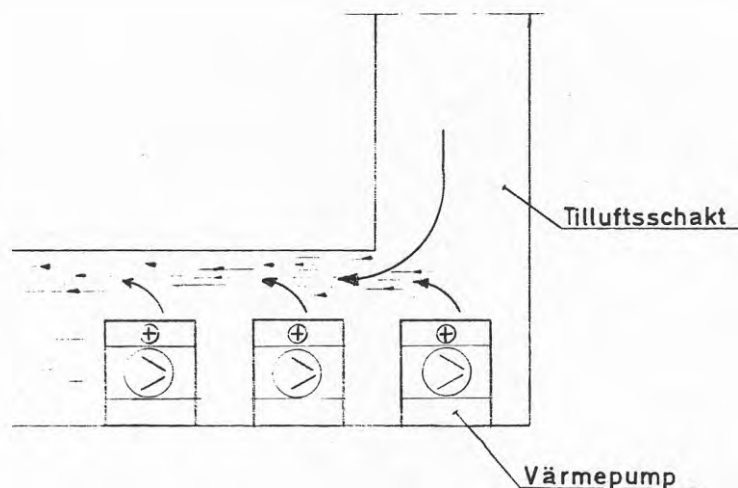
Energisparpaket II

Installation av ett värmeåtervinningsystem bestående av ett värmepumpaggregat som kyler ett flertal frånluftsflöden och avger energin till tilluftsanläggningarnas uteluftsintag.

Energisparpaket I utgörs av konventionella åtgärder, vilka normalt utförs i ett första skede på grund av deras låga investeringskostnader och korta pay-off-tider.

Energisparpaket II består av ett icke konventionellt värmepumpsystem. Ett flertal frånluftsfläktars luftflöde kyles med ett antal förångare. Energin från dessa distribueras via ett köldmedium i ett rörssystem till en värmeavgivare, bestående av en hermetisk kylkompressor och kondensor sammanbyggda till en enhet. Denna placeras fritt i uteluftsströmmen i intagsschaktet eller är placerad i anslutning till uteluftintaget, som därefter överbygges.

Utformningen framgår av figur 1.



Figur 1: Värmepumparnas placering i tilluftsschakt

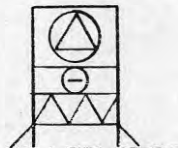
Installationen av förångare i frånluften har medfört att befintliga frånluftsfläktar måste bytas och förses med större elmotorer, eftersom luftens passage genom förångaren ger upphov till ett ökat tryckfall. De nya fläktarna har även försetts med en annan kanalanslutning.



Figur 2: Förångarens placering i frånluften

På tilluftssidan fordras normalt ingen ombyggnad förutom den som tidigare nämnts.

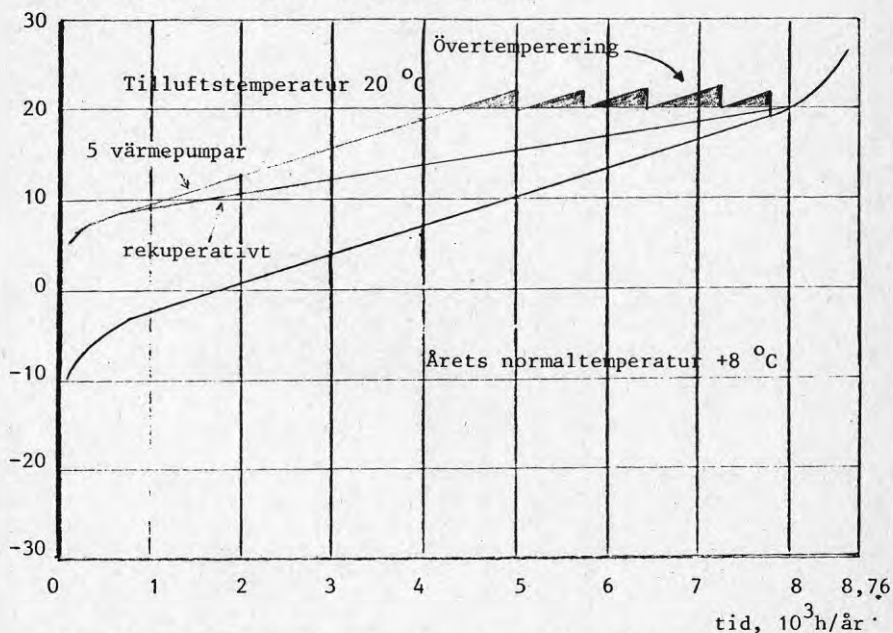
I framtida anläggningar lyfts den befintliga frånluftsfläkten bort och kanalen förses med en låda innehållande filter och förångare. Den befintliga fläkten installeras därefter ovanpå lådan. Förångarbatterierna dimensioneras för en låg lufthastighet över frontarean c:a 2 m/s, vilket ger ett lågt tryckfall över batteriet. Härigenom kan ofta befintliga elmotorer användas. Det ökade tryckfallet kan eventuellt användas till en luftflödesreducering om en sådan accepteras. Fördelarna med installationen är låga installationskostnader och låg eleffektökning.



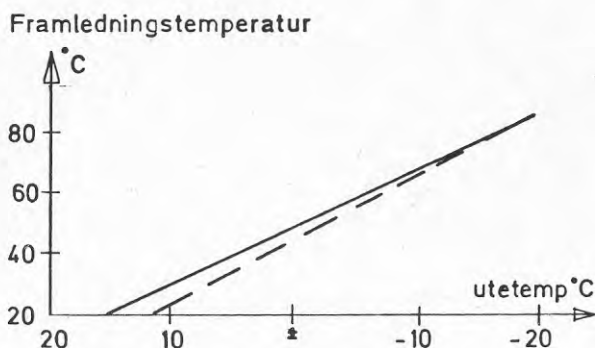
Figur 3: Förångarens placering i frånluften - framtida lösning

Styrning av värmepumpsaggregatet sker på så sätt att frånluften kyls med en konstant effekt. Vid stigande utetemperatur upprätthålls konstant kyleffekt genom att luftflödet genom kondensorn ökas med hjälp av en varvtalsstyrd axialfläkt.

Skillnaden i arbetssätt mellan det nyss beskrivna värmepumpsystemet och ett konventionellt rekuperativt värmeåtervinningssystem framgår av nedanstående varaktighetsdiagram. Tilluftstemperaturen och frånluftstemperaturen antar samma värde, $+20^{\circ}\text{C}$. De båda systemen antas ha samma dimensionerade effekt vid lägsta utetemperatur. Övertemperering av tilluften antas ske med maximalt 20°C .



Figur 4: Varaktighetsdiagram - värmepump kontra rekuperativ värmeåtervinning



Figur 5: Reducering av framledningstemperaturen till radiatorer

Av figur 4 och 5 framgår att den konstanta kyleffekten som är en funktion av antalet värmepumpar, ger en bättre årsverkningsgrad och även möjliggör en övertemperering av tilluften. Denna övertemperering kan utnyttjas genom att framledningstemperaturen till radiatorerna reduceras och på så sätt värma lokalerna med ventilationsluft. Priset per energienhet för uppvärmning via övertempererad tilluft är lägre än det för uppvärmning via radiatorer, vilket leder till en kostnadsbesparing.

Fördelarna resp. nackdelarna med tillämpningen av det beskrivna värmepumpsystemet jämfört med ett rekuperativt värmeåtervinningssystem kan sammanfattas enligt nedan:

Fördelar

- enkel installation av värmegivare (kondensor)
- enkla rördragningar mellan värmegivare och upptagare (förångare)
- mindre dimensioner på rör och batteriytor på grund av större temperaturskillnad mellan värmeupptagare och värmegivare
- mindre anslutningseffekt vid fjärrvärme

Nackdelar

- erfarenhet av den ekonomiska livslängden saknas

Initiativet till en installation av ett värmepumpsystem i större skala grundar sig på tillfredsställande resultat från liknande pilotanläggning vid KF lagercentral i Malmö. Där testades en liknande värmepump under ett år och resultatet var så tillfredsställande ur energisparande och ekonomisk synvinkel att prov i större skala ansågs vara motiverat.

1.3 Objektet

1.3.1 Byggnad

Det aktuella objektet är en skola, Lindeborgsskolan, belägen i Malmö. Den är en så kallad integrerad anläggning med låg-, mellan- och högstadieskola, sporthall, bibliotek, skolkök och förskola. Byggnadsår 1973. Skolan är i ett plan. Den uppvärmda lokalytan är 11.760 m². Fläktrum, skyddsrum etc finns i källare men det mesta utrymmet under mark är ventilerat kryputrymme.

Energiförbrukningen har i medeltal före genomförandet av de energibesparande åtgärderna varit c:a 3.230 MWh/normalår (275 kWh/m², normalår).

Förutom aktiviteterna under normal brukstid förekommer även aktiviteter under kvällar och helger främst i sporthallen men också i lektions-salar.

1.3.2 Värmesystem

Skolanläggningen abonnerar på fjärrvärme, med en anslutningseffekt av 2,13 MW. Värmevattnet distribueras i ett tvärörssystem och framledningstemperaturen styrs av flera utekompenserade shuntgrupper.

1.3.3 Ventilationssystem

Skolbyggnaden är försedd med ett balanserat till- och frånluftssystem, totalt c:a 130.000 m³/h. Luftflöden enligt SBN -80. Någon värmeåtervinning har tidigare ej förekommit.

Uteluften tas in via fem schakt och distribueras vidare med hjälp av 18 st tilluftsfläktar, var och en med luftflöden varierande mellan 2.000 - 14.000 m³/h.

Frånluften bortförs med hjälp av 36 st fläktar placerade på tak, var och en med luftflöden varierande mellan 2.000 - 7.000 m³/h.

Tilluftens temperatur efter luftvärmare och fläktar är i de flesta fall +20°C.

1.3.4 Varmvattensystem

Tappvarmvatten distribueras med en temperatur av 50°C. Varmvatten-cirkulation förekommer.

1.4 Energibesparingsåtgärder

1.4.1 Energisparpaket I

Utfördes i stort sett under januari - februari 1980.

Delar av vissa åtgärder kvarstår - installation av termostatventiler och montering av tätningslister vid fönster, vilket var tänkt att genomföras

under sommaren 1981 men har när detta skrivs uppskjutits tills vidare.

Kostnaden för åtgärderna har uppgått till 80.000 kr för de som är utförda och beräknas till 70.000 för de återstående.

1.4.2 Energisparpaket II

I samtliga fem tilluftsschakt har totalt 11 st värmepumpar installerats. Totalt tilluftsflöde - 130.000 m³/h. Genomsnittlig drifttid under mätperioden relaterat till måndag - fredag: 8,1 h/dygn.

Värmepumparna hämtar energi från 18 st av totalt 36 st frånluftsfläktar, vilket motsvarar ett luftflöde av 65.000 m³/h.

Återvinningssystemet består av en sammanbyggd kompressor och kondensorenhet med tillhörande kylbatteri. Antingen ett eller två stycken beroende på storleken av frånluftsflödet.

Samtliga aggregat med undantag av ett är identiska med avseende på storlek.

Tabell 5 Data för värmepumpar

Kondensorenhet

Fabrikat	Lennox
Typ	HS10 - 653 (10 st) HS10 - 413 (1 st)

Kompressor

Fabrikat	Tecumseh
Typ	AG 5561 F (10 st) AH 5540 E (1 st)

Förångare

Fabrikat	Lennox
Typ och storlek	C3/41 - C10/135

Köldmedium

R 22

Värmepumparnas kyleffekt enligt katalogdata är angivet till 20,3 kW vid en förångningstemperatur av 5°C och en kondensortemperatur av 32°C. Tillsammans med kompressorarbetet på 4,2 kW fås en avgiven effekt av 24,5 kW. Den teoretiska värmefaktorn beräknas till 6,1.

Investeringskostnaden uppgår till c:a 66.000 kr per värmepump. Totalt 730.000 kr.

Enligt uppgift från entreprenör kan med hänsyn till vissa förenklingar i installationen på frånluftsidan priset per värmepump reduceras till 60.000 kr.

Totalt 660.000 kr. I det fortsatta beräkningsarbetet används denna kostnadssiffra.

2. ANGREPPSSÄTT

För att kunna bedöma åtgärdernas spareffekt måste energiförbrukningen före och efter genomförandet registreras. I det här aktuella fallet kan Energiverkets fjärrvärmemätare användas men måste kompletteras med värmemängdsmätare för registrering av energiförbrukningen till radiatorer, tappvarmvattenberedning och vvc-förluster. Ventilationsaggregatens energiförbrukning fås som skillnaden mellan fjärrvärmemätaren och de övriga kompletterande mätarna.

För att kunna mäta ett antal värmepumpars prestanda noggrannare, görs även en kontinuerligt registrerande mätning vid en ventilationsanläggning, där lufttemperaturer och flöden samt värmevatteneffekt och även eleffekter mätes.

Mätarbetet har uppdelats enligt följande:

- årsvis avläsning av fjärrvärmeförbrukningen
- veckovis avläsning av energiförbrukningen för fjärrvärme, radiatorer och varmvatten. Tidsperiod: december 1980 - april 1981
- kontinuerlig mätning av en värmepumpanläggning. Tidsperiod 16 mars - 21 april 1981

2.1 Årsvis avläsning av fjärrvärmeförbrukning

Eftersom skolanläggningen abonnerar på fjärrvärme finns uppgifter om årlig energiförbrukning från och med det att skolanläggningen togs i bruk. Underlaget har använts för att fastställa anläggningens energistatus innan energisparpaket I och II genomfördes.

2.2 Veckovis avläsning av energiförbrukning

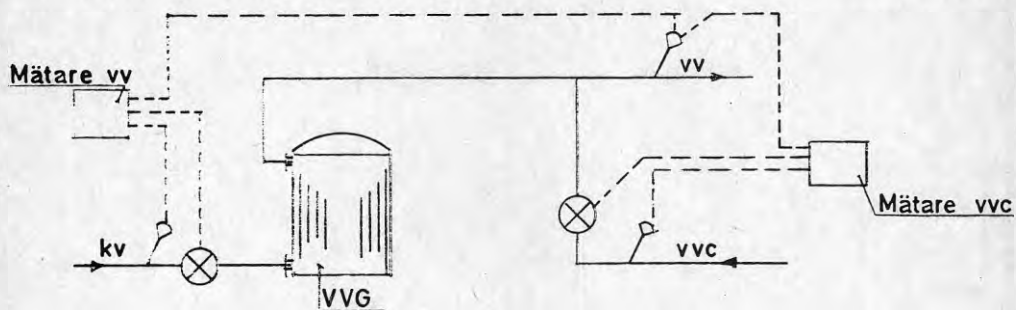
För att noggrannt registrera energiåtgången på olika typer av förbrukare har värmemängdsmätare installerats för mätning av energimängd till:

- radiatorer
- varmvattenberedning
- varmvattencirkulation

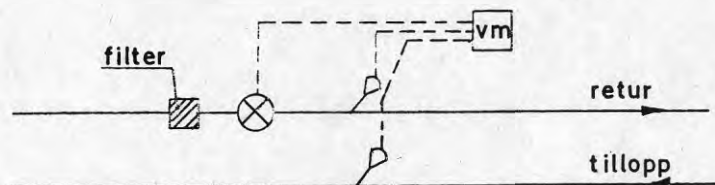
Tabell 6 Data för värmemängdsmätare

<u>Fabrikat</u>	Pollux
<u>Mätartyp och storlek</u>	120° 25/10 PDH 120° 80 mm 120° 50 mm WS PDH
<u>Integreringsverk</u>	AJ 7271
<u>Temperaturgivare</u>	Platinamotståndstermometrar Pt 100 AJ 7276-15

Principen för inkoppling på systemet framgår av nedanstående figurer.



Figur 6: Mätning av vv- och vvc-kretsens energiförbrukning



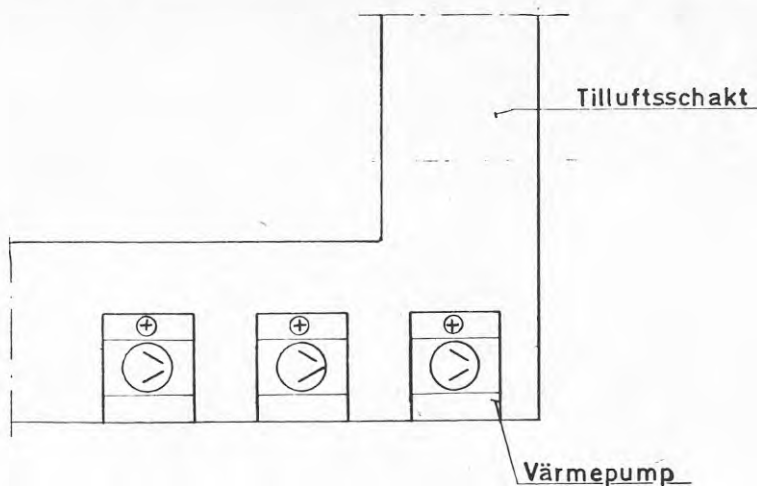
Figur 7: Mätning av radiatorkretsens energiförbrukning

Energiförbrukningen för ventilation fås genom att subtrahera ovanstående tre förbrukningslag från fjärrvärmeförbrukningen. Samtliga värmemängdsmätare har sådan mätupplösning att en noggrann registrering för veckoperioder medges.

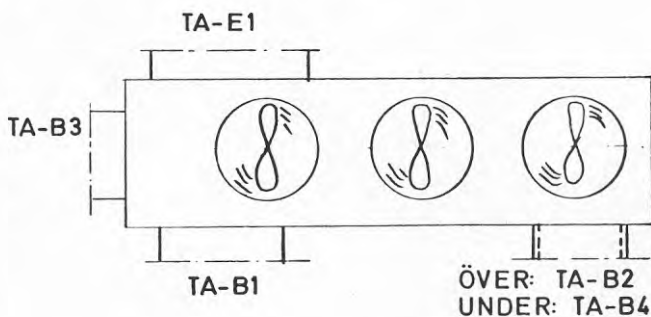
2.3 Kontinuerlig effektmätning av en värmepumpänläggning

För att studera värmepumparnas avgivna effekt och inverkan på det befintliga värmesystemet har en kontinuerlig registrerande mätning skett. Mätobjektet, som är ett av de fem tilluftsschakten, har bestått av ett återvinningssystem med tre värmepumpar. Dessa är placerade i intagsschaktets botten, som ansluter till fem tilluftssaggregat. Energin hämtas vid fem samhörande frånluftsfläktar.

Anläggningens (nr 3) utformning framgår av figur 8 och 9.



Figur 8: Värmeåtervinningsanläggning 3: sektionsskiss



Figur 9: Värmeåtervinningsanläggning 3: planskiss - anslutande tilluftsaggregat

Tabell 7 Data för tilluftsfläktar

Tilluftsfläkt	Luftflöde m^3/h	Drifttid (månd - fred) h
TA-E1	13.500	8 - 15.30
TA-B1	7.250	8 - 15.30
TA-B2	8.800	8 - 15.30
TA-B3	8.700	8 - 15.30
TA-B4	<u>3.060</u>	timer
Summa	38.320 (exkl. TA-B4)	

Frånluftssystemet består av 5 aggregat.

Tabell 8 Data för frånluftsfläktar

Frånluftsfläkt	Luftflöde m ³ /h	Drifftid (månd - fred) h
FF-B2	4.280	8 - 15.30
FF-B3	3.215	8 - 15.30
FF-E1	2.000	8 - 15.30
FF-E5	4.670	8 - 15.30
FF-E6	<u>4.770</u>	8 - 15.30
Summa	18.935	

För att kunna kartlägga systemets effektbalans har följande deffekter beräknats.

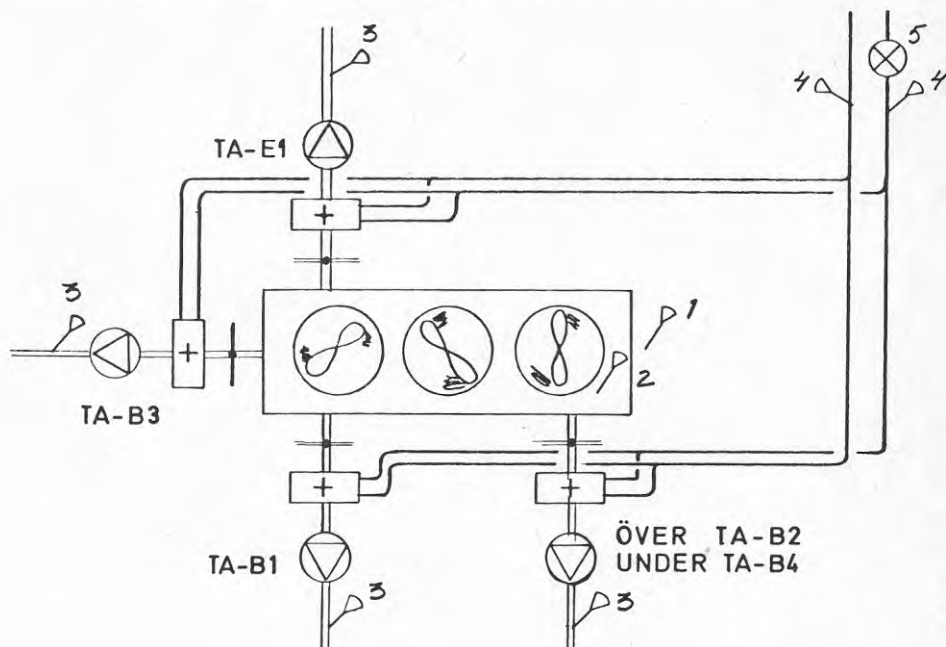
- tilluftens effekthöjning vid passage genom aggregaten
- effekt från luftvärmare
- tilluftsfläktarnas uppvärmning av tilluften
- värmepumparnas avgivna effekt
- förångarbatteriernas kyleffekt
- frånluftsfläktarnas uppvärmning av frånluften

För att ovanstående deffekter skulle kunna beräknas har följande storheter uppmätts:

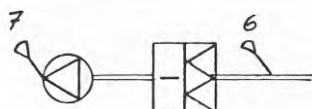
- utetemperatur
- tilluftstemperatur efter fläktar
- tilluftsflöde
- värmevattnets flöde
- värmevattnets temperaturdifferens
- eleffekt tilluftsfläktar
- eleffekt värmepumpar
- frånluftens temperatur före kylbatteri
- frånluftens temperatur efter fläkt
- frånluftsflöde
- eleffekt frånluftsfläktar

- anläggningens drifttid

Mätgivarnas placering framgår av figurerna 10 och 11. I tabell 9 redovisas vad respektive givare registrerar.



Figur 10: Mätgivarnas placering vid tilluftsaggregat

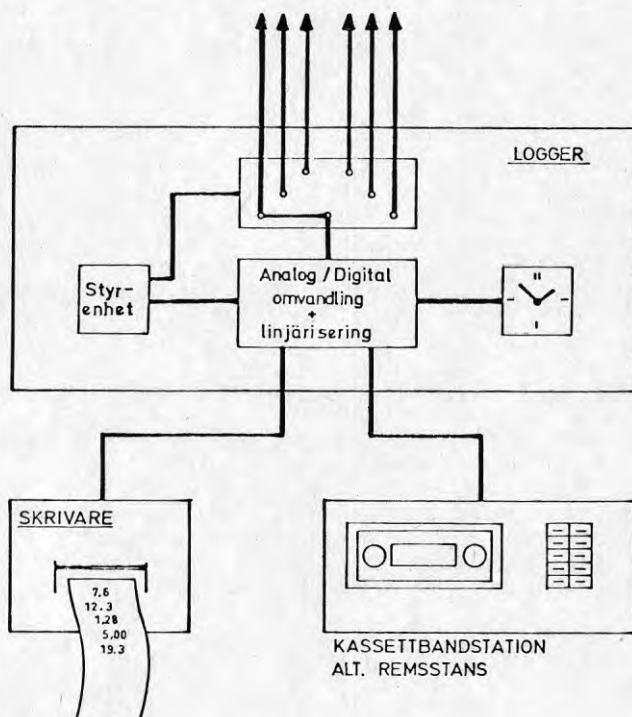


Figur 11: Mätgivarnas placering vid frånluftsaggregat

Tabell 9 Förteckning över mätgivare

Mätgivare nr	Registrerar	Typ
1	Utetemperatur i skuggan på tak	Termoelement
2	Utetemperatur i tilluftsschakt	"
3	Tilluftstemperatur efter fläktar	"
4	Värmevattnets tillopps- och returtemperatur	"
5	Vätskeflöde	Annubar med tryckkännare
6	Frånluftstemperatur före kylbatteri	Termoelement
7	Frånluftstemperatur efter kylbatteri och fläkt	"

Samtliga mätvärden har insamlats med hjälp av en datalogger (DORICON) och skrivits ut på remstans.



Figur 12: Insamling av data med logger

En instrumentspecifikation redovisas i bilaga 1.

Vidare mättes elenergin till värmepumparna kontinuerligt med hjälp av en elenergimätare.

Tillufts- och frånluftsfläktarnas eleffektbehov mättes med hjälp av ett universalinstrument.

Samtliga luftflöden har mätts med prandtlrör enligt föreskrivna mätmetoder angivna i "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer" utgiven av Byggforskningen.

2.4 Faktorer som påverkar mätresultatet

Under mätperioden har det framkommit att temperaturgivaren som är placerad på tak och befinner sig i skuggan visar ett högre mätvärde än den temperaturgivare som är placerad i schakt. Orsaken är den att vid solstrålning uppvärms den svarta takytan och ovanliggande luftlager. Dessa varma luftkuddar förflyttar sig allt efter hand som vinden blåser och når även skuggiga platser.

Vid mätning av tilluftsflöden har två mätningar kunnat ske vid rekommenderat mätplan, två vid alternativt och ett vid varken rekommenderat eller alternativt. Med rekommenderat mätplan avses mätplan där bästa mätnoggrannhet kan uppnås. Samtliga frånluftsflöden har mätts vid rekommenderat mätplan.

Termoelementen som registrerar värmevattnets vätesketemperatur är direkt anbringade på stälrören med tejp. Värmeledningen mellan givare och rör har förbättrats med kontaktmassa. Termoelementen har sedan isolerats med mineralull.

Vid mätning av frånluftens effektsänkning finns ett antal faktorer som reducerar mätnoggrannheten. Frånluftskanalerna i undertak är oisolerade, varvid frånluften närmast kanalytan nedkyls. Detta leder till temperaturskiktningar före kylbatterier och sämre mätnoggrannhet. Vidare så är en del av plåttrumman efter kylbatteriet och fram till fläkt oisolerad, vilket leder till ett icke försumbart effekttillskott vid solig väderlek och ger upphov till att temperaturgivaren efter fläkt ger ett missvisande värde.

Vätske- och gasrören till respektive från förångaren är samisolerade, varvid en viss värmeöverföring sker från vätske- till gasröret. Detta har enbart en positiv inverkan på värmepumparnas prestanda men dess storlek är svår att mäta.

Vid beräkningsarbetet har värdet på utemperaturen tagits från givaren i tilluftsschaktet. Samtliga övriga faktorer som har nämnts, har medtagits i en felkalkyl för bedömning av noggrannheten av mätresultaten. Undantaget är samisoleringseffekten.

3 MÄTRESULTAT OCH KOMMENTARER

3.1 Resultat från mätningar

Energiförbrukningen innan några energisparande åtgärder genomfördes uppgick till 3.230 MWh för hela skolanläggningen för ett normalår. Någon uppdelning av energiförbrukningen på olika förbrukningstyper såsom radiatorer och ventilation o s v, har ej gjorts före energisparpaket I.

Efter det att största delen av energisparpaket I genomfördes mättes energiförbrukningen till radiatorer, varmvattenberedning och fjärrvärme under en 2-veckorsperiod i december 1980. Korrigerat till normalår fås följande resultat:

Tabell 10 Energiförbrukning efter energisparpaket I, MWh/normalår

radiatorer	810
varmvattenberedning inkl. vvc-förluster	150
ventilation	<u>990</u>
Summa = fjärrvärme	1.950
Energibesparing	1.280

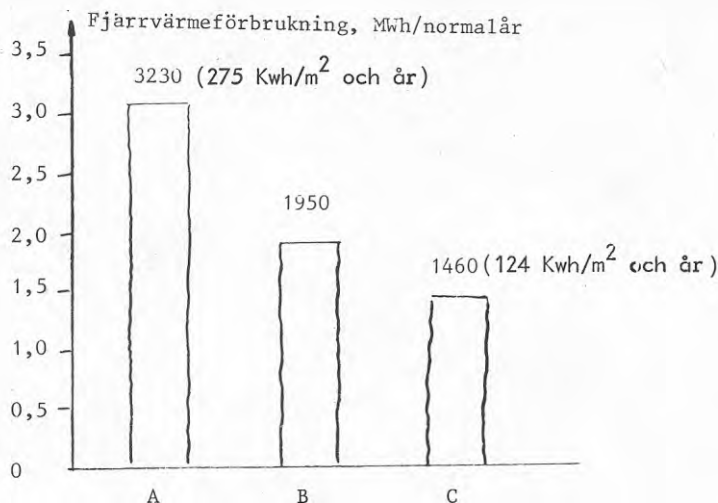
Energisparpaket II genomfördes under de två första månaderna 1981. Energiförbrukningen mättes under en 4-veckorsperiod i mars månad med följande resultat:

Tabell 11 Energiförbrukning efter energisparpaket I och II, MWh/normalår

radiatorer	810
varmvattenberedning inkl. vvc-förluster	150
ventilation	<u>500</u>
Summa = fjärrvärme	1.460
Energibesparing	490

Fjärrvärmeförbrukningen för skolanläggningen åskådliggörs i figur 13 allt eftersom de olika sparåtgärderna har vidtagits.

Arlig energiförbrukning, MWh/normalår



Figur 13: Uppmätt energibesparing

- A: Före genomförande av sparåtgärder
- B: Efter större delen av energisparpaket I
- C: Efter energisparpaket II

Summan av energibesparingen för de två paketen blir 1.770 MWh/år.

Före och efter genomförandet av de båda energisparpaketen uppgick den specifika energiförbrukningen till 275 respektive 124 KWh/m² och år.

Tidstyrning av vvc-pumpen har medfört en energibesparing av storleksordningen 50 MWh/år.

Effektminskningen för uppvärmning av ventilationsluften, som är en följd av värmepumpinstallationen uppgår till totalt 281 kW. Totalt finns 11 st värmepumpar installerade och i drift, vilket motsvarar 25,5 kW per värmepump. Felet har beräknats till $\pm 3,9$ kW. Resultatet överensstämmer mycket bra med det förväntade, som baseras på fabrikantens angivna värde 24,5 kW. Värmepumpinstallationen leder emellertid till en ökad elenergiförbrukning. Storleken av denna redogörs senare. Parallellt med ovanstående avläsningar av värmemängdsmätare och den därigenom framräknade energibesparingen, gjordes en kontinuerlig effektmätning av en värmepumpinstallation. Mätmetodiken har beskrivits under rubriken 2.3.

Mätningen har syftat till att fastställa tre stycken värmepumpars avgivna effekt, vilken med datorns hjälp har räknats fram på tre olika sätt.

- I: Effekttillskottet till tilluften minus luftvärmarnas avgivna effekt samt fläktarbetet
- II: Skillnad mellan avgiven effekt från luftvärmare med/utan värmepumpdrift
- III: Förångarbatteriernas kyleffekt plus värmepumparnas elenergiförbrukning

Resultat från samtliga datakörningar redovisas i bilagedelen.

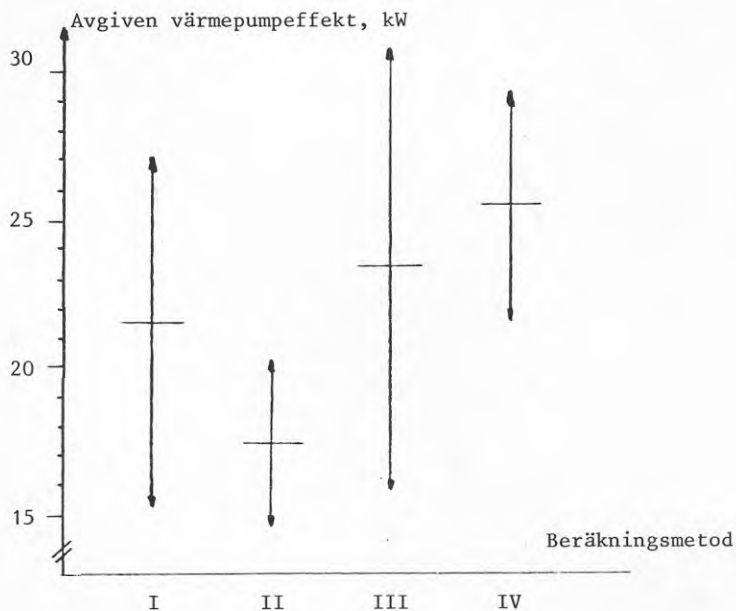
Fläktarbetet som kommer tilluften tillgodo i form av värme uppgår till 4 kW. Eleffektbehovet per värmepump har uppmätts till 4,2 kW och inkluderas i den avgivna effekten.

Enligt beräkningsmetod I framgår i bilaga 2 att värmepumparnas avgivna effekt är starkt beroende av utetemperaturen, med en effektförsämring vid högre utetemperatur. Medelvärdet av den avgivna effekten under mätperioden med felavvikelse beräknas till $21,5 \pm 6,2$ kW per värmepump.

Resultat från beräkningsmetod II i bilaga 3 och 4 är korrigerad för olika värden på inblåsningstemperatur eftersom denna i viss mån varierar med utetemperaturen. Referenstemperatur: $20,0^{\circ}\text{C}$. Av sammanställningen (bilaga 4) framgår effektskillnaden vid drift med/utan värmepump, vilket motsvarar värmepumparnas avgivna effekt. Den beräknas till $17,5 \pm 2,8$ kW per värmepump. Någon variation i avgiven värmepumpeffekt som funktion av utetemperaturen kan ej urskiljas.

Beräkningsmetod III anger frånluftens effektsänkning vid passage genom förångarbatterierna. Se bilaga 5. Här urskiljs även ett likartat utetemperaturberoende som för beräkningstod I. Medelvärde för samtliga mätningar blir $19,2 \pm 7,5$ kW/värmepump. Till detta resultat tillkommer värmepumparnas eleffektförbrukning, vilken har uppmätts till 4,2 kW per värmepump. Totalt $23,4 \pm 7,5$ per värmepump.

Resultatet från de tre olika beräkningssätten samt den på värmemängdsmätarna avlästa effektreduceringen, redovisas tillsammans med felmarginaler i figur 14. För en utförligare redovisning av beräkning av felmarginaler hänvisas till bilaga 6 och 7.



Figur 14: Mätresultat - avgiven värmepumpeffekt

Beräkningsmetod I, II och III har tidigare förklarats.

Metod IV avser den veckovisa avläsningen av värmemängdsmätare för hela anläggningen.

Resultatet från metod I - III överensstämmer inom felmarginalerna men ej metod II och IV. Orsaken till detta kan vara följande:

1. - värmepumparna vid anläggning 3 kan ha en lägre avgiven effekt än övriga värmepumpar inom skolan. Totalt för hela skolan blir resultatet det som metod IV redovisar
2. - mätmetoden vid anläggning 3 kan ha varit behäftad med okända felaktigheter
3. - mätmetod IV kan ha varit behäftad med okända felaktigheter

Mätmetoden vid anläggning 3 har noggrant testats och kontrollerats. Vidare föreligger det vara osannolikt att värmemängdsmätarna skulle vara behäftade med några större fel förutom de som ryms inom

felmarginalerna. Om värmepumparnas prestanda varierar, är det fel att proportionera resultat från anläggning 3 till samtliga värmepumpar. Följaktligen används resultatet från metod IV som ett representativt värde för samtliga värmepumpar i det fortsatta beräkningsarbetet.

Frånluftsfläktarnas eleffektbehov har uppmätts före och efter installation av kylbatteri, filter och nya frånluftsfläktar.

Resultat:

Före	2,97 kW
<u>Efter</u>	<u>8,57 kW</u>

Skillnad 5,6 kW

Effekten skall relateras till ett frånluftsflöde av 18.940 m³/h, vilket ger en specifik effekthöjning motsvarande 0,30 kW per 1.000 m³/h frånluft. Val av frånluftsfläktar har emellertid gjorts utan tanke på låg elenergiförbrukning, eftersom anläggningen först och främst är till för att utvärdera värmepumpinstallationen. Blir resultatet av installationen ekonomiskt fördelaktigt och det blir aktuellt med liknande installationer på andra objekt kommer befintliga frånluftsfläktar att behållas och placeras ovanpå de "lådkonstruktioner" innehållande filter och förångare som beskrivits i kapitel 1.2, vilket medför en mindre ökning av eleffektbehovet än i aktuell installation.

3.2 Kostnader

Kostnaderna för de två energisparpaketen kan uppdelas i följande typer:

- investeringskostnader
- ökade elenergikostnader
- underhållskostnader

Investeringskostnaderna för energisparpaket I uppgår till 80.000 kr och 70.000 kr för de åtgärder som är utförda respektive de kvarstående.

För energisparpaket II uppgår investeringskostnaderna till totalt 660.000 kr eller 60.000 kr per värmepumpaggregat - 11 st.

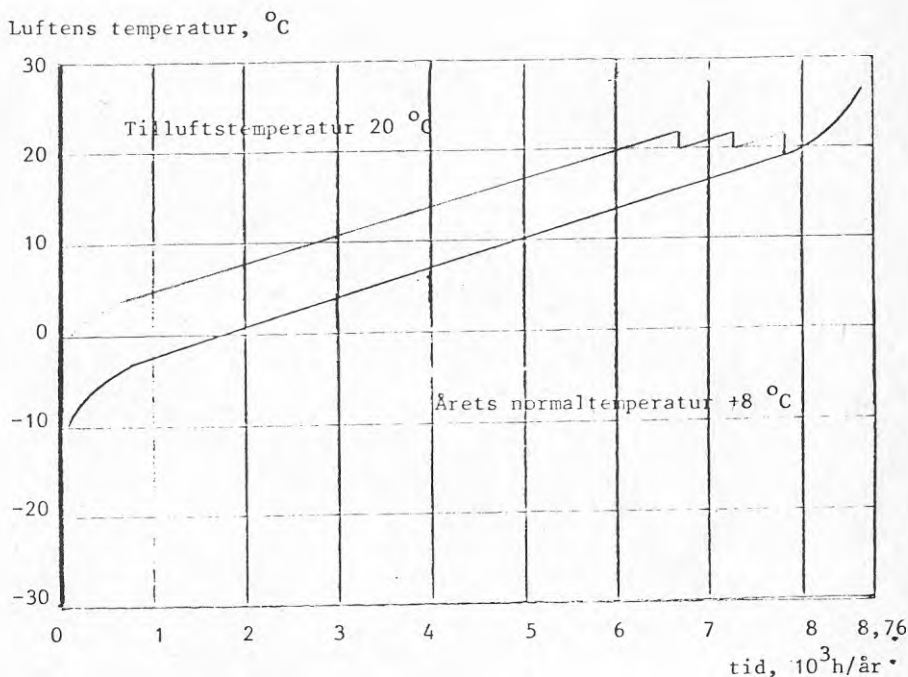
Åtgärderna i energisparpaket I medför en sänkning av elenergiförbrukningen. Medeldriftstiden relaterad till vardagsdygn var före åtgärdernas genomförande 15,4 h. Energisparpaket I innebär bl a att fläktarnas drifttider anpassas efter behovet, vilket har medfört att ovanstående drifttid - 15,4 h, kunnat reduceras till 8,1 h. Frånluftsfläktarnas eleffektbehov uppgår till 0,16 kW per 1.000 m³/h frånluft och tilluft-fläktarna till 0,23 kW per 1.000 m³/h tilluft.

Med ovanstående förutsättningar reduceras den årliga drifttiden med 1.520 h. Ventilationssystemet är med vissa undantag ej i drift under skollovet. Elenergiesparingen som uppnås blir av storleksordningen 77 MWh/år.

Värmepumpinstallationen i energisparpaket II medför en ökning av både eleffektbehovet och elenergiförbrukningen. Med en avgiven värmepump-effekt av 25,5 kW per aggregat fås på skolanläggningens totala tilluftsmängd 130.000 m³/h en temperaturhöjning av 6,5°C. Övertemperering av tilluften sker i flera steg med ett största värde av c:a 2°C.

Medeldrifttiden för samtliga tilluftsggregat uppgår till 8,1 h utslaget på vardagsdygn. Med dessa förutsättningar blir medelårsdrifttiden för värmepumparna 1.745 h.

Värmeåtervinningsanläggningens drifttidskaraktistik framgår av figur 15.



Figur 15: Varaktighetsdiagram - värmepumpdrift

Följaktligen kommer eleffektbehovet till följd av värmepumpinstallationen att öka med 46,2 kW och elenergiebehovet med 80,6 MWh/år. Vidare kräver frånluftsfläktarna mer elenergi på grund av det extra tryckfallet över förångarbatteri och filter. För värmepumpinstallation 3 har det ökade effektbehovet uppmätts till 0,30 kW per 1.000 m³/h frånluft. Nu har emellertid fläktar med framåtböjda

skovlar installerats med en verkningsgrad av c:a 55%. Skall liknande värmepumpsinstallationer utföras på andra objekt kommer om möjligt befintliga fläktar att uppvarvas eller befintliga flöden att reduceras, vilket tillsammans med ett lågt tryckfall över filter och förångare beräknas ge upphov till en eleffektökning av 0,11 kW per 1.000 m³/h frånluft. Totalt har värmeåtervinning installerats för halva frånluftsfördet - 65.000 m³/h, vilket då medför en eleffektökning av 7,2 kW och en ökning av elenergibehovet med 12,1 MWh/år. Totaleleffektökning - 53,4 kW och total ökning av elenergiförbrukningen -92,7 MWh/år.

Det kan vara intressant att jämföra ökningen avseende eleffekten vid installation av en värmepump med ett rekuperativt återvinningssystem under samma förutsättningar. Antas 50% temperaturverkningsgrad ökar eleffektbehovet för en sådan installation med 1,4 kW jämfört med 4,9 kW för värmepumpalternativet.

Underhållskostnader avser service av extern firma och extra arbete som fordras av anställd driftpersonal. I det här aktuella fallet kräver värmepumparna en viss drifttillsyn av installationsfirman. Vidare måste filterna vid frånluftsflyktarna bytas vid behov vilket också kräver servicekostnadsökning. Totalt uppskattas underhållskostnaderna för energisparpaket II till 1.000 kr/år. För energisparpaket I uppstår ej några liknande kostnader.

Med utgångspunkt från ett eleffektpris av 46:70 kr/kW, år och ett elenergipris av 21 öre/kWh kan tabell 12 uppställas för de olika besparingsalternativens kostnader.

Tabell 12 Kostnader

Typ av kostnad	Energisparpaket	
	I	II
Investeringskostnader, kkr	80 + (70)	660
Ökade elenergi kostnader, kkr/år	-16,2	19,6
Underhållskostnader, kkr/år	0	1

Anm.: Eventuella ökade eleffektkostnader beräknas till 2,5 kkr/år.

Den alternativa uppvärmningsformen medför även en reduktion av fjärrvärmeeffekten med 280 kW, vilket motsvarar en kostnadsbesparing av 7.500 kr/år. Möjligheterna till en sådan besparing diskuteras mer utförligt i "Kommentarer", kapitel 3.4.

3.3 Ekonomiskt resultat

För att bedöma sparåtgärdernas ekonomiska lönsamhet bör den beräkningsmodell som används ta hänsyn till följande parametrar:

- önskad realkalkylränta
- fjärrvärmeprisets årliga ökning räknat i fast penningvärde
- elenergiprisets årliga ökning räknat i fast penningvärde

För närvarande finns det ingen kalkylmetod som till fullo tar hänsyn till samtliga tre parametrar. Den som emellertid är bäst lämpad och som rekommenderas vid liknande lönsamhetsbedömningar är hämtad från Bostadsdepartementets regeringsproposition 1977/78:76 och anger en besparingskostnad (kr/MWh) som kan ställas i relation till det rådande energipriset. En hög besparingskostnad betyder därvid att den tänkta investeringen ej är ekonomiskt fördelaktig. Ju lägre besparingskostnad man får desto mer inbesparad energi får man för varje investerad krona.

Följande formel gäller:

$$\text{Besparingskostnad} = \frac{\text{investering} + p1 \times \text{årlig kostnad}}{p2 \times \text{årlig energibesparing}}$$

$$\text{där } p1 = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^n}{\frac{r}{1+r}} \quad \text{och } p2 = \frac{1 - \left(\frac{1+q}{1+r}\right)^n}{\frac{r-q}{1+r}}$$

Med reala belopp avses räntor och prisökningar i fast penningvärde. r står för realkalkylränta och q för fjärrvärmeprisets årliga reala ökning. n är avskrivningstiden.

Av beräkningsmodellen framgår vid en värmepumpinstallation där man sparar fjärrvärme för uppvärmningsändamål men samtidigt måste uppoffra elenergi för drift av värmepumpar, att hänsyn ej tas till förändringar elenergiprisets. Prognoser för framtida elenergi priser antyder emellertid en stabilare prisutveckling, varför det synes lämpligt att antaga att det reala elenergi prisets kommer att vara konstant under de utförda besparingsåtgärdernas livslängd.

Fjärrvärmeprisets reala årliga prisökning antas till 2%. Real kalkylräntas antas till 4% vilket är normalt vid investeringar i kommunala sammanhang. Livslängden för energisparpaketen bedöms till 15 år.

Med ovanstående förutsättningar fås en negativ besparingskostnad för energisparpaket I beroende på att enbart elenergikostnadsbesparingen under 15 år är större än investeringen. Sparpaketet har alltså en pay-off-tid understigande ett år.

Samtliga åtgärder är emellertid ej avslutade. Dessa skall slutföras under ett senare skede till en kostnad av 70.000 kr, vilket även leder till en ökad energibesparing. Med största sannolikhet kommer hela åtgärds-paketet fortfarande att ha en pay-off-tid understigande ett år.

Besparingskostnaden för sparpaket II kan beräknas för fyra olika fall:

Tabell 13 Besparingskostnader - energisparpaket II

Alt.	Eleffektkostnader	Fjärrvärmeeffekt- besparing	Besparingskostnad kr/MWh
1	Ja	Ja	131
2	Ja	Nej	144
3	Nej	Ja	126
4	Nej	Nej	140

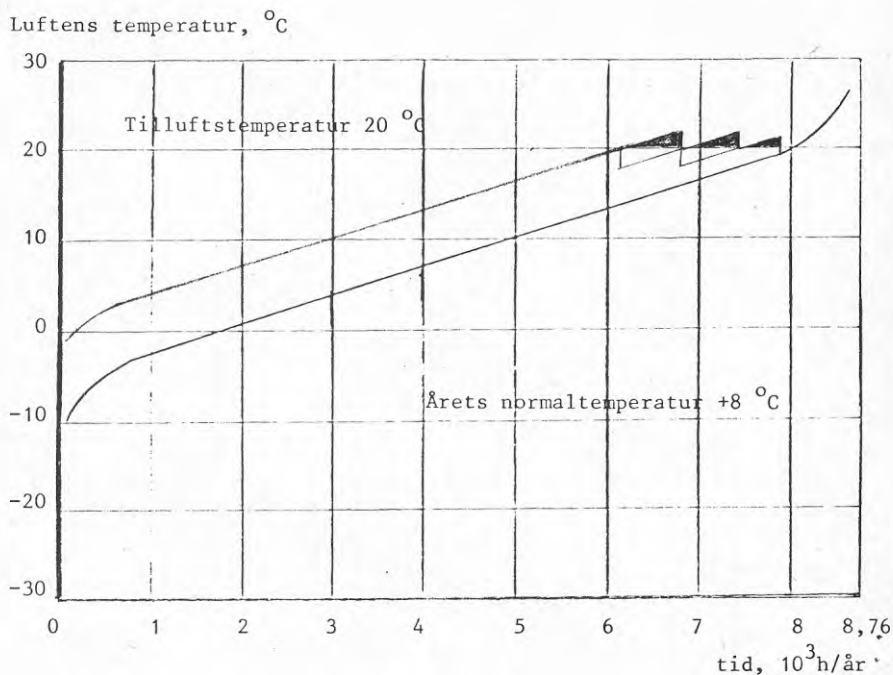
Besparingskostnaden varierar mellan 1261 och 144 kkr/MWh.

Största inverkan har kostnadsminskningen för reducering av fjärrvärme-effektbehovet. Samtliga värden ligger emellertid med god marginal under det nuvarande fjärrvärmepriset - 165 kr/MWh, vilket tyder på god lönsamhet.

3.3.1 Ekonomisk vinst vid övertemperering av tilluft

Värmeåtervinningssystemens konstanta kyleffekt oberoende av den rådande utetemperaturen möjliggör en övertemperering av tilluften. På så sätt kan man värma lokalerna via ventilationsluften istället för via radiatorerna. Eftersom samma energimängd producerad av värme-pumparna är billigare än om den producerades via fjärrvärme, bör en ekonomisk vinst uppnås.

I figur 16 framgår övertempereringens storlek för värmeåtervinningsanläggning nr 3.



Figur 16: Varaktighetsdiagram - övertemperering

Följande värden för anläggning 3 används:

- 25,5 kW avgiven effekt per värmepump
- 20°C temperaturhöjning av tilluften per värmepump
- tilluftsflöde: 38.320 m³/h
- drifttid övertemperering: 400 h/år

Kostnaden för övertemperering består i extra elenergi för drift av värmepumparna, vilken beräknas till 1,7 MWh/år och motsvarar 360 kr/år.

Vinsten består i att framledningstemperaturen till radiatorerna kan sänkas så pass mycket att den önskade rumstemperaturen ändå innehålls. Energimängden som produceras billigare med hjälp av värmepumparna motsvarar den som fordras för att övertemperera tilluften - totalt 3,8 MWh/år. Vidare även den mängd energi som hade erfordrats för att konstanthålla tilluftstemperaturen vid 20°C om värmepumparna hade avstängts. Denna är lika stor, 3,8 MWh/år. Kostnadsbesparingen uppgår

till totalt 1.220 kr/år. Vinst 860 kr/år.

De tre värmepumparna i anläggning tre sparar totalt 143 MWh/år. Övertempereringen medför en besparing av 7,6 MWh/år, vilket motsvarar 5% av totala besparingen.

3.4 Kommentarer

Under mätskedet har det konstaterats att när fläktar ej är i drift och intagsspjällen är stängda fås en omvänd luftrörelse genom de tilluftsaggregat som är placerade i källarplan och med ett takplacerat intagschakt. Denna skorstensverkan uppstår helt naturligt till följd av att varmluft i ventilationskanalerna vill stiga uppåt. Eftersom intagsspjällen ej är helt täta kan den varma luften tränga igenom och ut i det fria via intagschakten. Denna ofrivilliga ventilation är av sådan storlek att man bör ta hänsyn till den vid nyprojekteringar för att nedbringa byggnadens totala energiförbrukning.

Av mätresultatet i figur 13 framgår att samtliga mätmetoder är behäftade med stora felmarginaler, $\pm 29\%$, $\pm 16\%$, $\pm 32\%$ och $\pm 16\%$ för beräkningsmetod I, II, III och IV. En realistisk målsättning vore att nedbringa felmarginalerna till maximalt $\pm 10\%$.

Felets storlek i beräkningsmetod I beror på att resultatet bygger på skillnaden mellan två storheter. Vidare har tilluften ej kunant mätas i enbart rekommenderade mätplan.

Beräkningsmetod II redovisar tillsammans med metod IV den minsta felmarginalen.

Felmarginalen för beräkningsmetod IV hade kunnat reducerats om energiförbrukningen till ventilationsaggregaten hade mätts direkt och inte genom att ta skillnaden mellan tre stycken mätare. Vidare påverkas felmarginalen av att ett antal fläktar är timerstyrda. Mätfelet för värmemängdsmätarna är i viss mån tilltagna i överkant. Fabrikanten redovisar ett lägre värde men detta gäller vid provning hos tillverkaren. Mätfelet ökar sedan under drift.

Resultatet från beräkningsmetod III är behäftat med en så pass stor felmarginal, $\pm 32\%$, att resultatet är praktiskt taget ointressant. Följaktligen är resultaten från beräkningsmetod II och IV säkrast. Orsaken till skillnaden mellan dem har tidigare nämnts i kapitel 3.1.

Installationen av värmepumparna medför att värmeeffektbehovet reduceras, i det här aktuella fallet med 280 kW. I och med att återvinnings-systemet består av 11 st värmepumpar som arbetar oberoende av varandra, kan ovanstående effektreducering ligga till grund för en sänkning av den abonnerade effekten vilket skulle medföra en kostnadsbesparing av c:a 7.500 kr/år. Energiverken godkänner emellertid inte några ansökningar angående reducereing av den befintliga abonnerade fjärrvärmeeffekten om inte kunden kan garantera att han inte kan ta ut den del som han säger sig spara. En sådan garanti från kundens sida kan bestå i en minskning av värmeväxlarens yta eller installation av en maxflödesventil som effektivt hindrar ett större effektuttag än det kunden abonnerar på.

4 MARKNADSUNDERSÖKNING

Det kan vara av intresse med en enkel bedömning av den potentiella marknaden för denna typen av värmepumpinstallationer. Följande underlag har hämtats från Statens Planverks rapport nr 41.

I tabell 14 framgår den del av landets byggnadsbestånd som ventileras med ett frånluft-tilluftssystem (FT). För varje huskategori har en viss luftomsättning och drifttid för ventilationssystemet antagits. Därefter kan årsenergimängden för drift av ventilationssystemet beräknas.

För närvarande finns det fem huvudgrupper av återvinningssystem som normalt installeras vid energibesparande syfte i ventilationsanläggningar.

- regenerativt system (roterande växlare)
- rekuperativt system
- heatpipes system
- plattvärmeväxlare
- värmepumpsystem

Det i den här rapporten beskrivna värmepumpsystemet kan i de flesta fall konkurrera med rekuperativt och vanligt värmepumpsystem vid mindre anläggningar.

Årsenergiverkningsgraden för det aktuella återvinningssystemet antages till 50%. Årsmedeltemperatur, +6°C.

Under dessa förutsättningar kan nedanstående tabell uppställas.

Tabell 14 Marknad för icke konventionellt värmepumpsystem

Huskategori	I	II	III	IV	V	VI
Skolor	30	2.5	2000	700	20	70
Handel, bank och försäkring	65	2.5	2000	1500	20	150
Offentliga förvaltn.	25	2.5	2000	600	20	60
Samf. post och tele	15	2.5	2500	500	20	50
Sjukhus socialvård	60	3.0	5000	4200	10	210
Industrier:						
Kontor	25	2.5	2000	600	20	60
Verkstäder	65	3.0	3000	2300	10	110
Bostäder	<u>10.9</u>	0.5	5000	<u>150</u>	13	<u>10</u>
Totalt	295.9			10550		720

Förklaring till tabell 14:

- I: Andel av det specifika byggnadsbeståndet med FT-system, Mm³ byggnadsvolym
- II: Luftsomsättningar, oms/h
- III: Drifttid för ventilationssystem, h/år
- IV: Energi för uppvärmning av ventilationsluft, GWh/år
- V: Antagen andel som kan förses med icke-konventionellt värmepumpsystem, %
- VI: Energi som återvinns, GWh/år

Totalt 720 GWh/år beräknas kunna återvinnas med ett icke-konventionellt värmepumpsystem. Antages varje värmepump spara 50 MWh/år skulle 14.400 st behöva installeras. Kostnaden för varje värmepump uppgår till 60.000 kr vilket ger en total investeringskostnad av 864 Mkr.

5 SLUTSATSER

5.1 Mäterfarenheter och mätresultat

Värmeåtervinningsaggregatens avgivna effekt har uppmätts på två olika sätt, dels med en kontinuerlig registrerande mätning på tre aggregat och dels genom avläsning av värmemängdmätare för samtliga elva aggregat.

Enligt den totala mätningen beräknas värmepumparnas avgivna effekt till $25,5 \pm 3,9$ kW. Den andra mätmetoden redovisar tre olika resultat. Två av dessa är behäftade med för stora felmarginaler för att ligga till grund för en bedömning av återvinningsaggregatens prestanda. Det tredje resultatet anger den avgivna effekten till $17,5 \pm 2,8$ kW.

Värmepumparnas kyleffekt enligt katalogdata är angivet till 20,3 kW. Tillsammans med kompressoreffekten 4,2 kW blir den avgivna effekten 24,5 kW.

Eftersom resultaten från de båda mätmetoderna ej överensstämmer inom felmarginalerna är någon av dessa eller båda behäftade med okända fel. Vidare kan värmepumparna ha olika prestanda beroende på installationen, vilket skulle förklara skillnaden eftersom den ena mätmetoden avser tre aggregat och den andra samtliga elva.

Till följd av det avvikande resultatet mellan de olika mätmetoderna, har en efterföljande mätning under en 10 månaders period utförts. Drifttiden för värmeåtervinnarna och energiförbrukningen till ventilationskretsen har registrerats och korrigerats till normalmånader. Resultatet från denna mätning avser samtliga 11 värmeåtervinnare och anger den avgivna effekten per återvinnare till $26,4 \pm 4,0$ kW. Resultatet pekar alltså på att det framräknade värdet från mätmetod IV är representativt för samtliga 11 värmeåtervinnare.

5.2 Energibesparing

Energibesparing för sparpaketen I och II beräknas till 1,280 MWh/år respektive 490 MWh/år. Inom sparpaket I återstår vissa åtgärder. Bersparingseffekten resulterar i en specifik energiförbrukning av 124 kWh/m^2 , år, vilket skall jämföras med förbrukningen före åtgärdernas genomförande - 275 kWh/m^2 , år. En efterföljande energimätning under 1 års tid 81.04--82.04 har verifierat den beräknade besparingseffekten.

5.3 Ekonomiskt resultat

Fasta och löpande kostnader för de båda sparpaketen framgår av nedanstående sammanställning.

Tabell 15 Kostnader

Typ av kostnad	Energisparpaket	
	I	II
Investeringskostnad, kkr	80(+70)	660
Elenergikostnader, kkr/år	-16,2	23,1
Underhållskostnader, kkr/år	0	1

Elenergikostnaderna för energisparpaket II inkluderar ökade eleffekt-kostnader -2,5 kkr/år. Installationen medför emellertid en reducering av fjärrvärmeeffektbehovet som resulterar i en kostnadsbesparing av 7,5 kkr/år. Denna effektminskning måste emellertid garanteras av abonnenten gentemot Energiverken, genom t ex en reducering av ytan på fjärrvärmeväxlaren.

Besparingskostnaden, vilken skall ställas i relation till det rådande energipriset för en bedömning av åtgärdens lönsamhet, blir för energisparpaketet I <0 kr/MWh beroende på att enbart de årliga driftskostnadsbesparingarna under åtgärdens livslängd betalar tillbaka investeringskostnaden. Pay-off-tiden understiger alltså ett år.

För energisparpaket II kan fyra olika besparingskostnader framräknas beroende på om eleffekt-kostnaden för drift av värmepumparna -2,5 kkr/år respektive kostnadsbesparingen för fjärrvärmeeffekt-reduceringen -7,5 kkr/år medräknas eller ej.

Tabell 16 Besparingskostnader - energisparpaket II

Alt.	Eleffekt-kostnader	Fjärrvärme-effektbesp.	Besparings-kostnad kr/MWh
1	Ja	Ja	131
2	Ja	Nej	144
3	Nej	Ja	126
4	Nej	Nej	140

Samtliga alternativ ligger klart under det rådande energipriset för fjärrvärme -165 kr 7 MWh, vilket tyder på god lönsamhet för värmepumsinstallationen.

Den ekonomiska kalkylen har baserats på en drifttid av 8,1 dygn måndag-fredag, vilket är en relativt kort drifttid. Utgår man från alternativ fyra i tabell 14 - 140 kr/MWh, vilket är mest troligt och ökar drifttiden med 50 och 100%, fås en besparingskostnad av 105 kr/MWh respektive 88

kr/MWh. Följaktligen är lönsamheten starkt beroende av drifttiden. Drifttidsmätningar har under ett senare skede påvisat att drifttiden har tenderat att öka, vilket bidrar till en viss förbättring av lönsamheten.

Värmeåtervinningssystemens konstanta kyleffekt oberoende av den rådande utetemperaturen möjliggör en övertemperering av tilluften. På så sätt kan lokalerna värmas via ventilationsluften istället för via radiatorerna. Eftersom samma energimängd producerad av värmepumparna är billigare än om den producerades via fjärrvärme erhålls en ekonomisk vinst. Denna är av storleksordningen 5% av den totala kostnadsbesparingen åstadkommen av värmepumparna.

Det bör noteras att lönsamheten för sparpaket II hade förbättrats avsevärt om den genomförts före sparpaket I, eftersom drifttiden för ventilationsaggregaten var tidigare 15,4 h/dygn jämfört med nuvarande 8,1 h/dygn. Men eftersom sparpaket I består av enkla och billiga åtgärder med stor energibesparande potential skall de genomföras först.

Den potentiella marknaden för liknande installationer i landet för alla typer av byggnader har beräknats till 14.400 st värmepumpaggregat. Totalt skulle då 720 GWh/år sparas till en investeringskostnad av 864 Mkr.

6 FORTSATT ARBETE

Den uppmätta energibesparingen kan projeceras på liknande objekt inom landet. Följaktligen bör storleken av den aktuella marknaden för främst värmepumpinstallationer utredas noggrannare.

Eftersom det med största sannolikhet finns en stor marknad för liknande installationer bör de svenska värmepumptillverkarna undersökas med avseende på typ av komponenttillverkning och produktionskapacitet. Det är ur nationalekonomisk synvinkel angeläget att skapa nya arbetstillfällen, varför en inhemsk produktion av komponenter till värmepumpar är önskvärd. Sålunda kan en bedömning av den potentiella marknaden och en kartläggning av de svenska tillverkarna initiera en ny och större inhemsk produktion av värmepumpar.

BILAGA 1

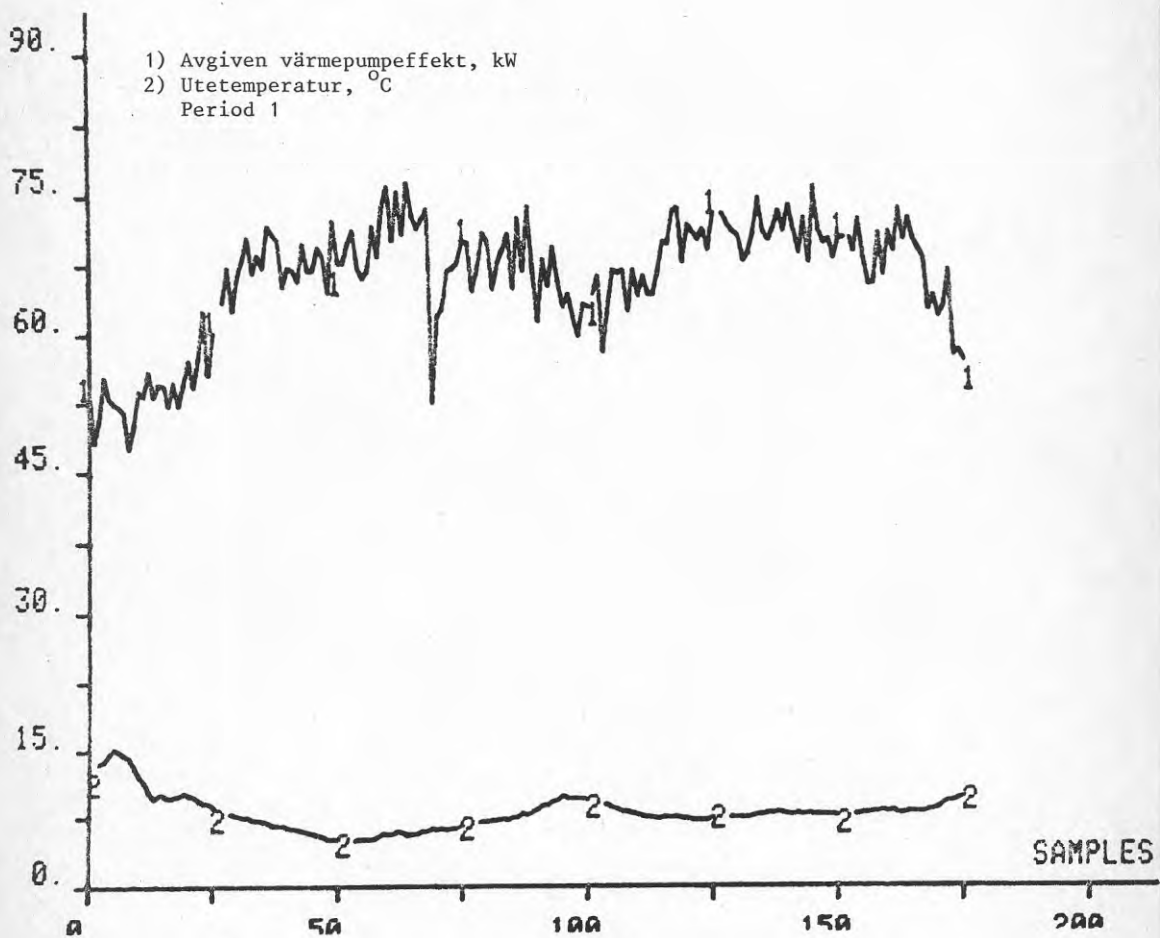
Instrumentspecifikation

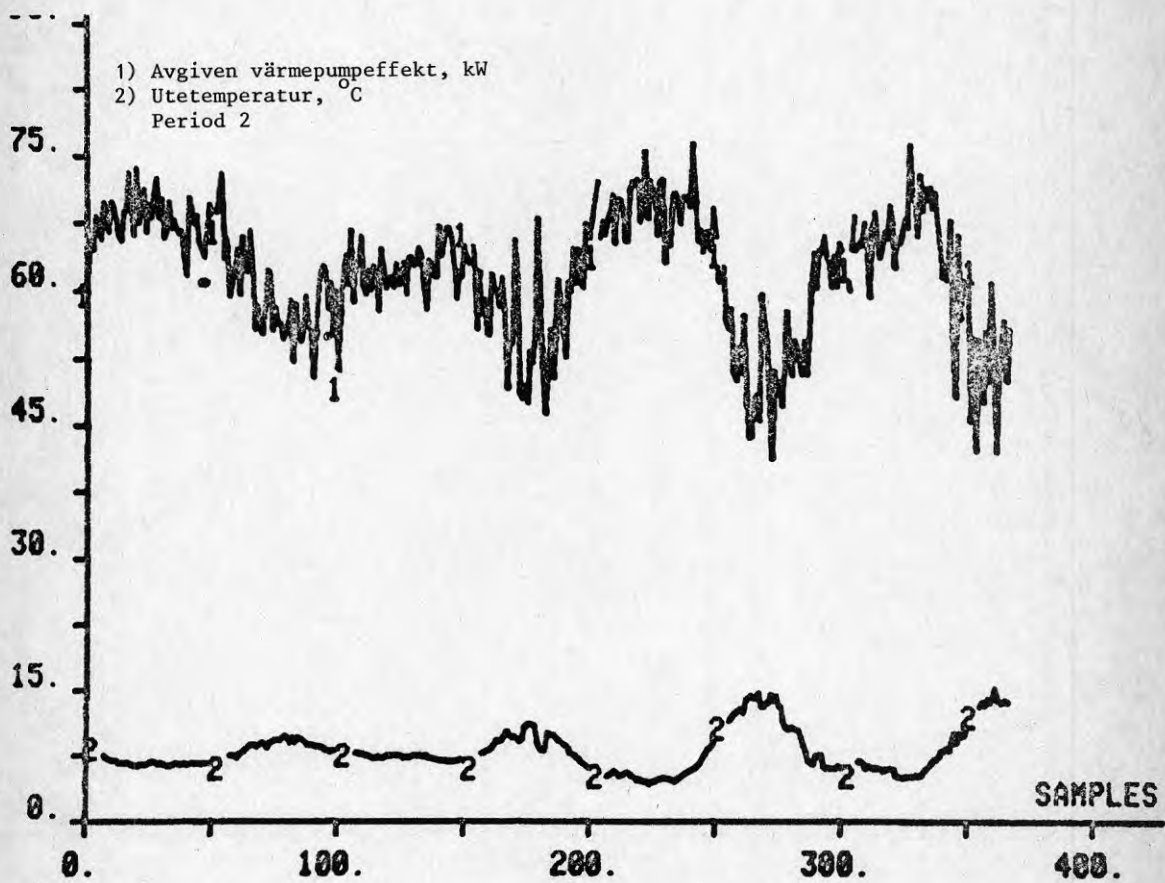
Datalogger	- Doric Digitrend 220
Remstans	- Facit 40/70
DP-cell (tryckgivare)	- Rosemount DP-1151
Termoelement + kompensationsledning	- Honeywell Spec. S001-13c typ E - Chromel-Konstantan
Annubar	- Gustaf Fagerberg AWR-73-CO3 70,3 mm
Mikromanometer	- Regin
Prandtlrör	
Elenergimätare	- Kilowattimmätare

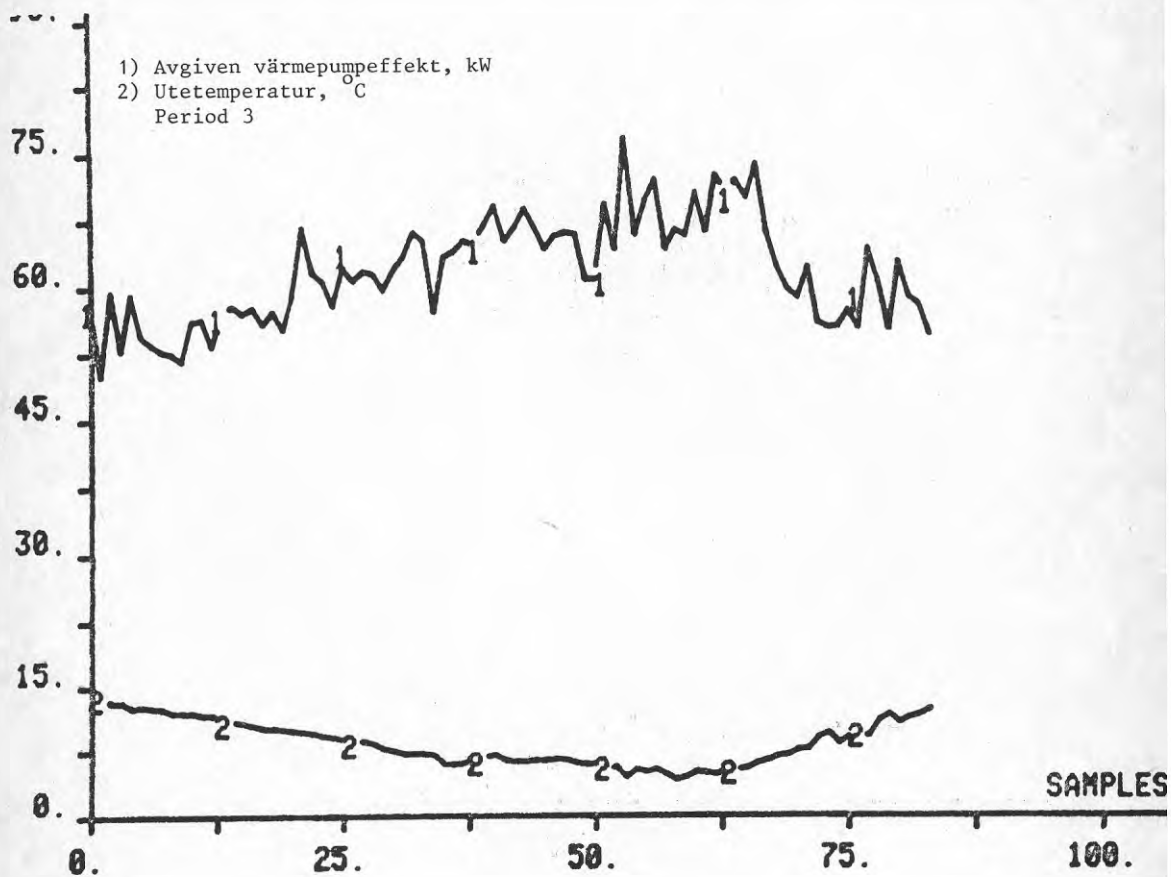
BILAGA 2

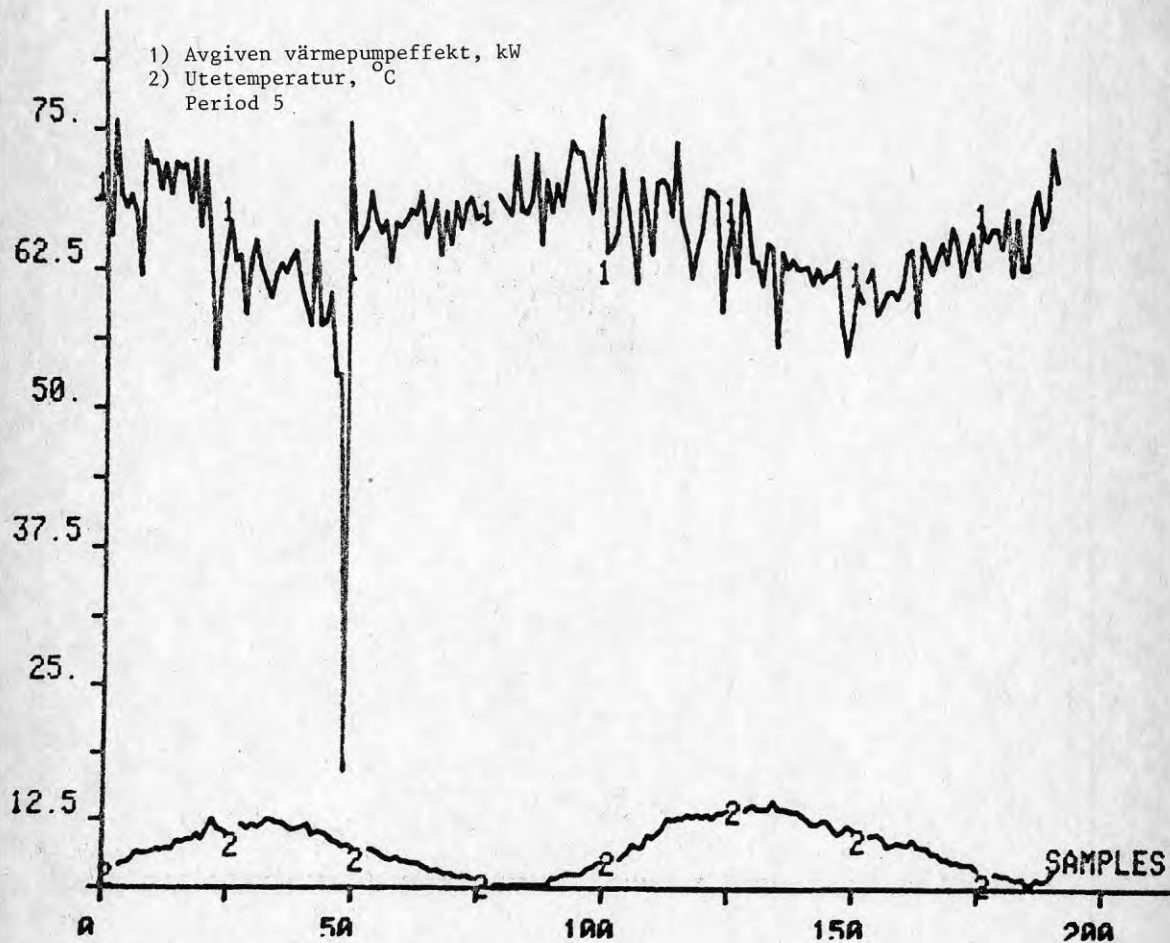
Avgiven värmepumpeffekt

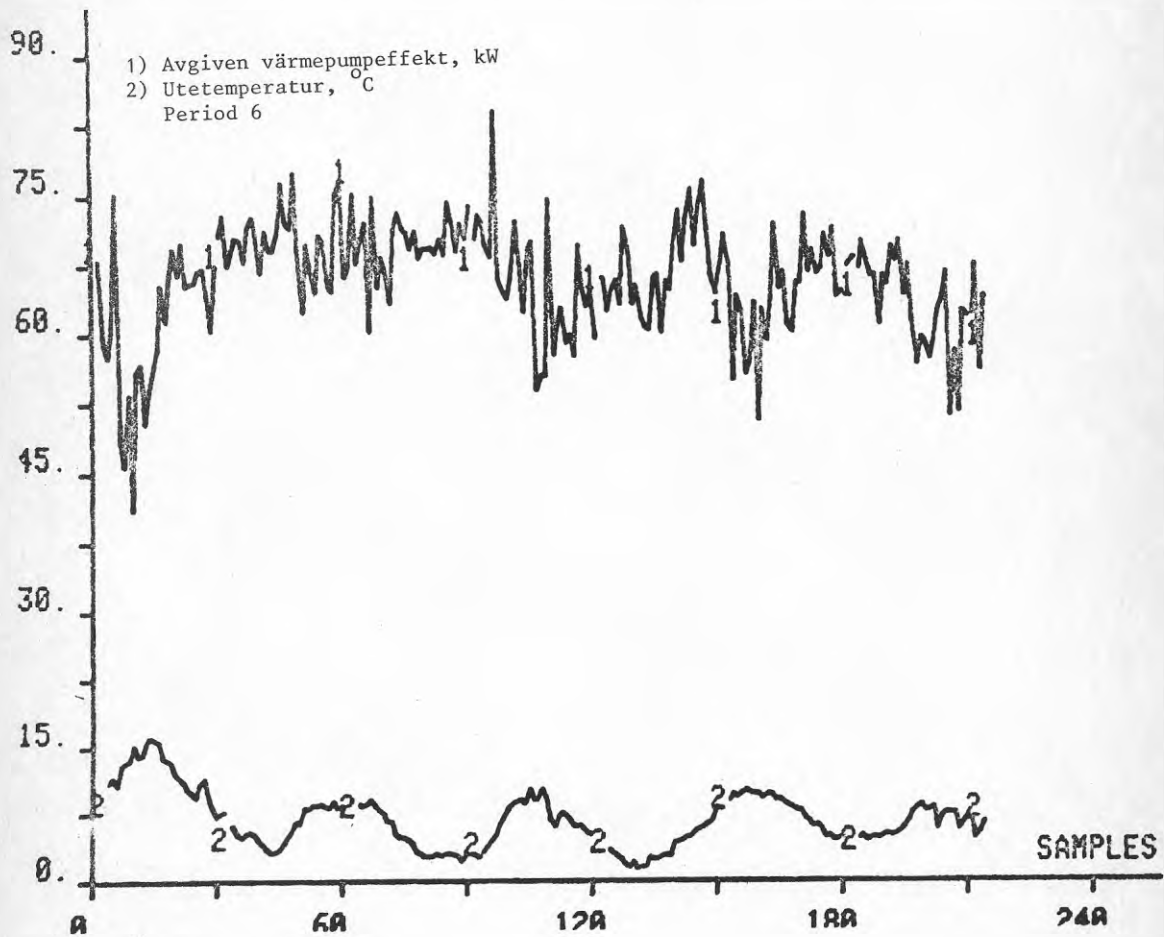
Bilaga 2 redovisar värmepumparnas avgivna effekt tillsammans med den rådande utetemperaturen vid anläggning 3 mätt under fem perioder. Samplingintervallet är 15 min, vilket innebär att 100 samples motsvarar en tid av 25 h. Effektangivelsen avser summan av de tre värmepumparna.







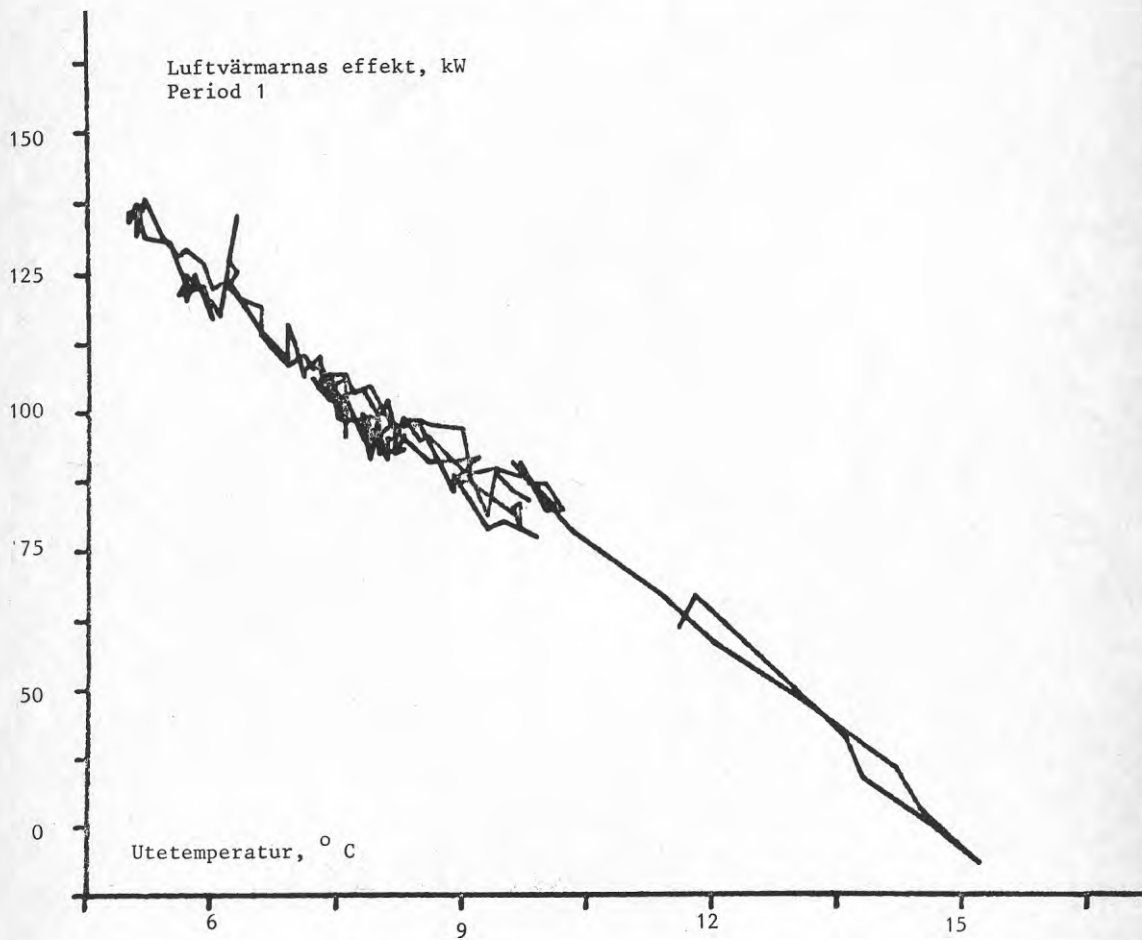


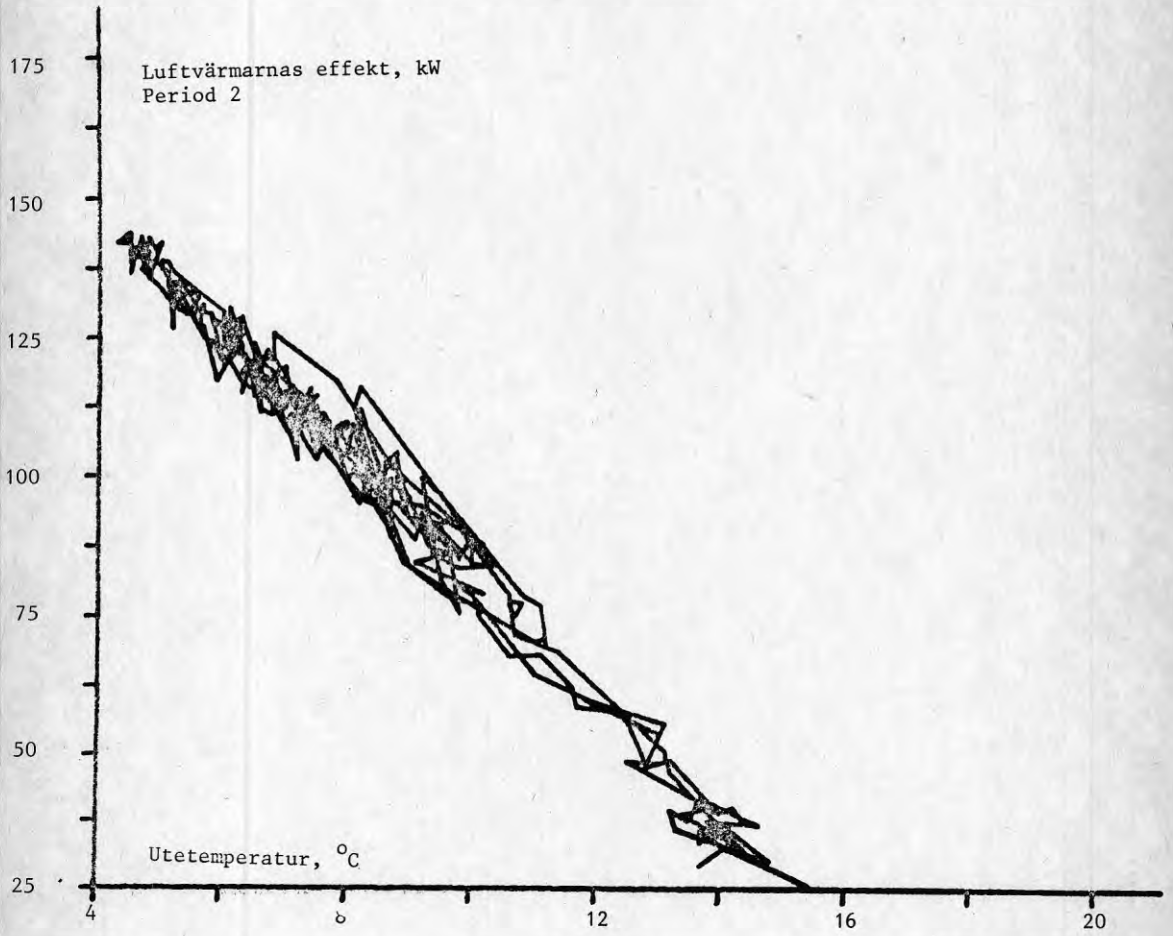


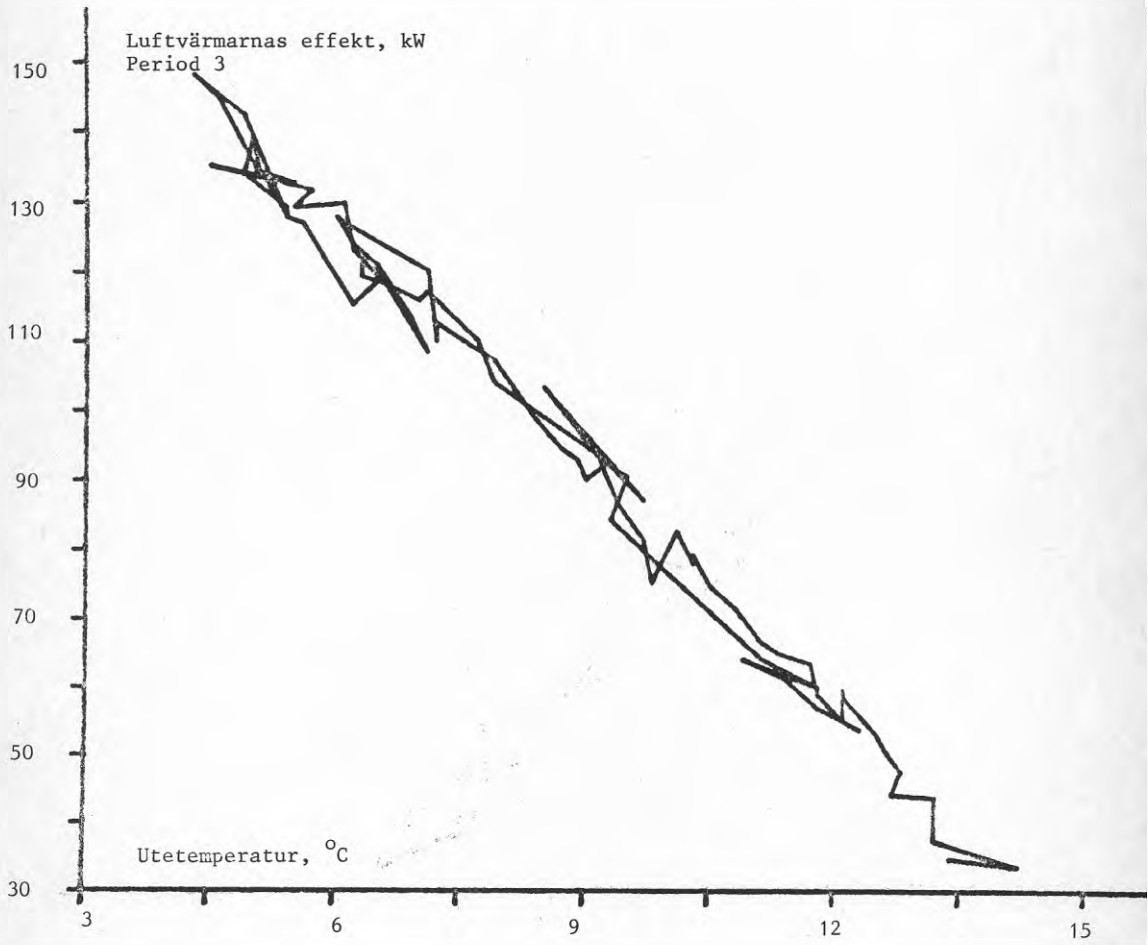
BILAGA 3

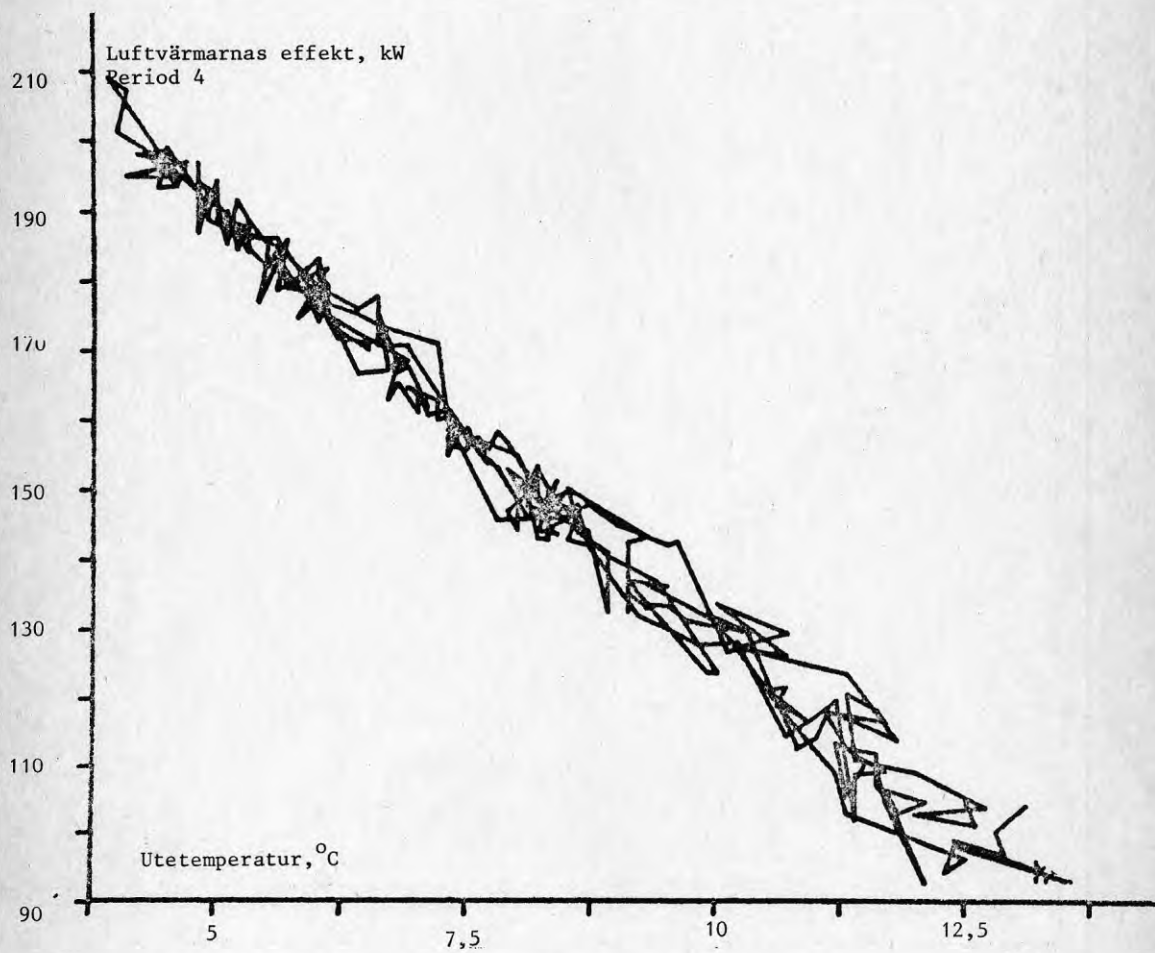
Luftvärmarnas effekt med/utan värmepumpdrift

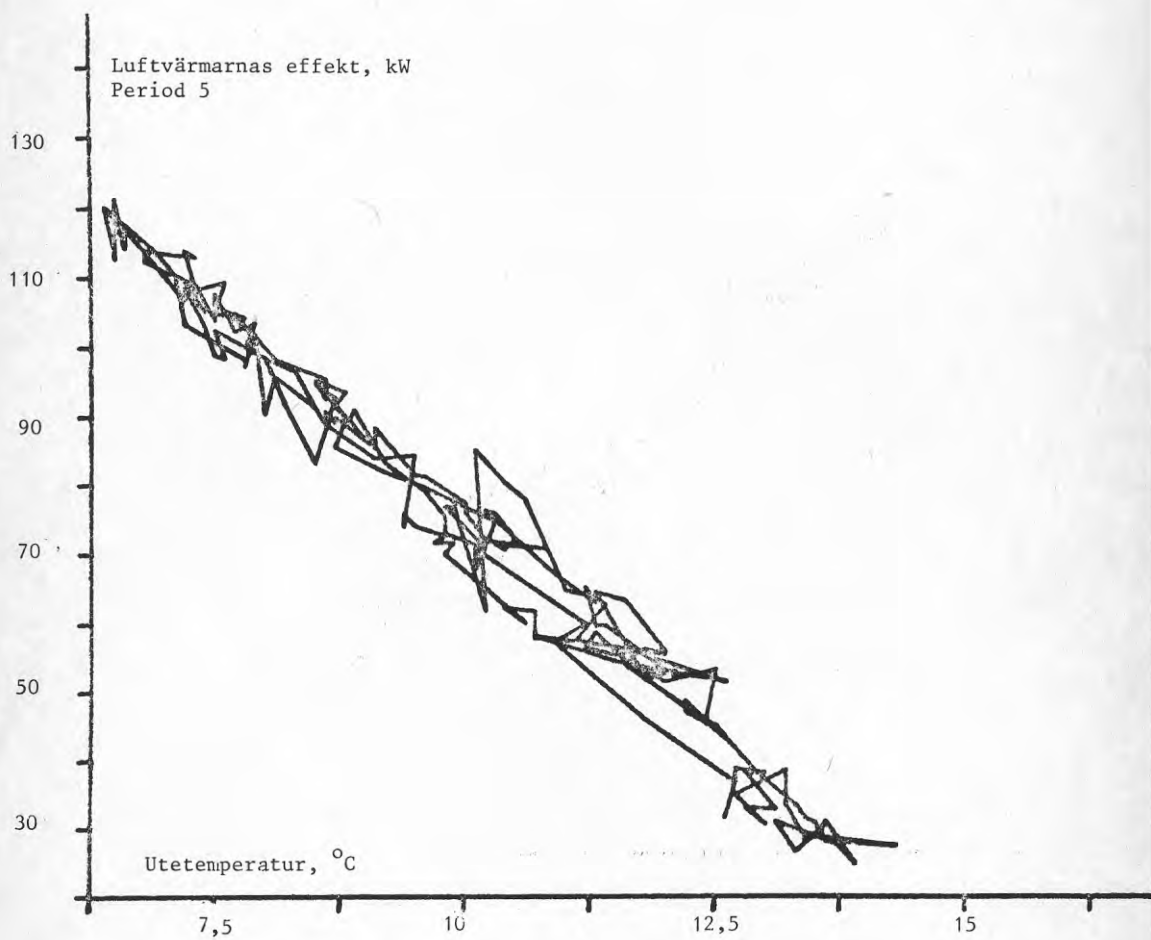
Effekten för anläggning 3 har uppmätts genom att registrera värmevattenflödet till luftvärmarna och dess temperatursänkning. Period 1, 2, 3, 5 och 6 avser värmepumpdrift. Period 4 utan värmepump.

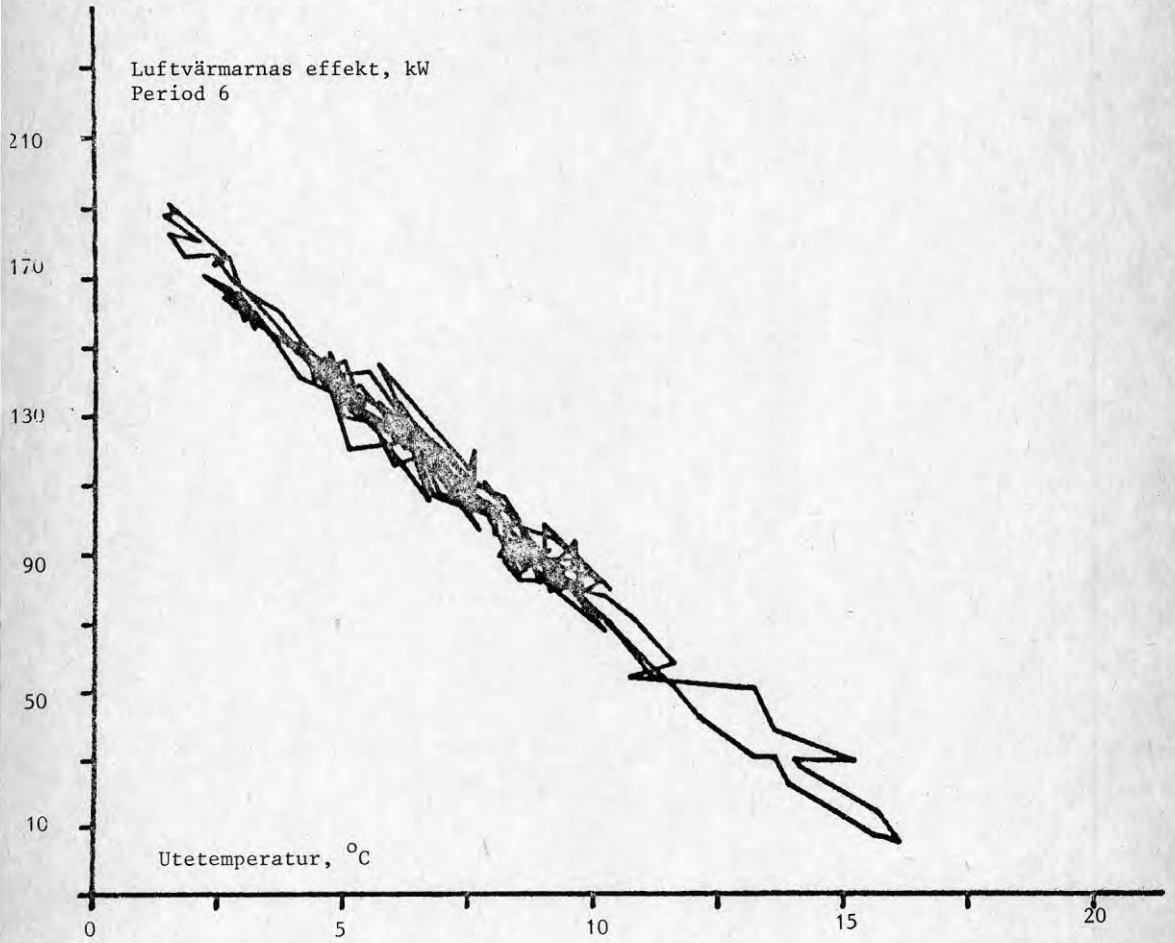








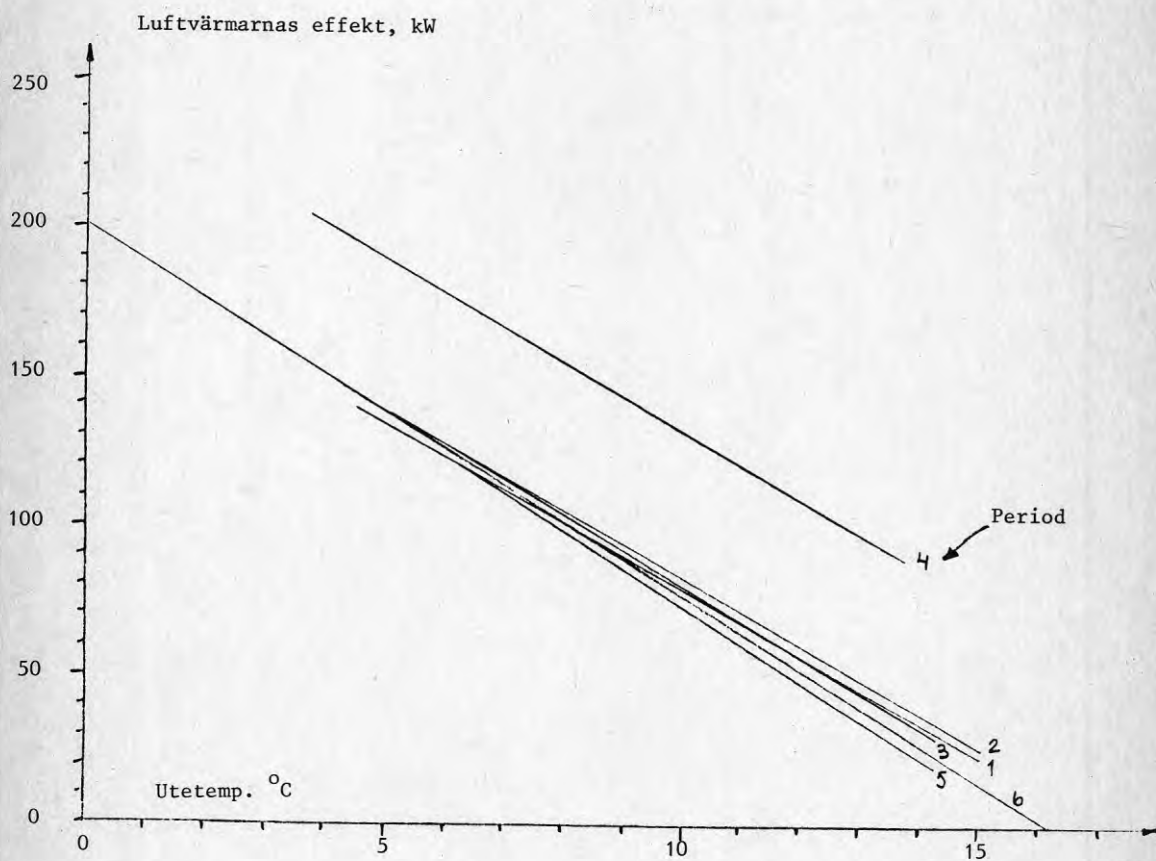




BILAGA 4

Sammanställning - luftvärmarnas effekt med/utan värmepumpdrift

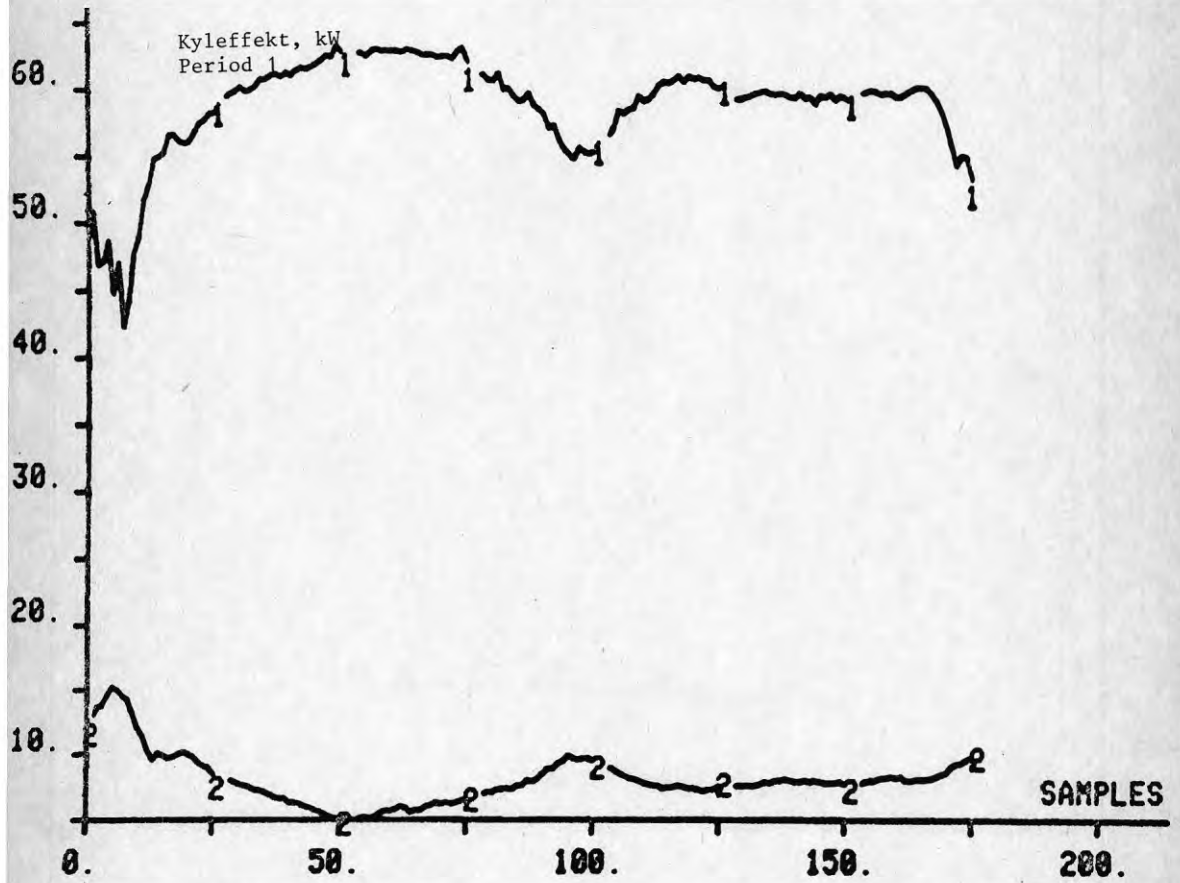
Samtliga mätperioder redovisas i ett gemensamt diagram varvid skillnaden i luftvärmarnas effekt vid drift med/utan värmepumpar bättre framgår. Skillnaden motsvarar de tre värmepumparnas avgivna effekt.

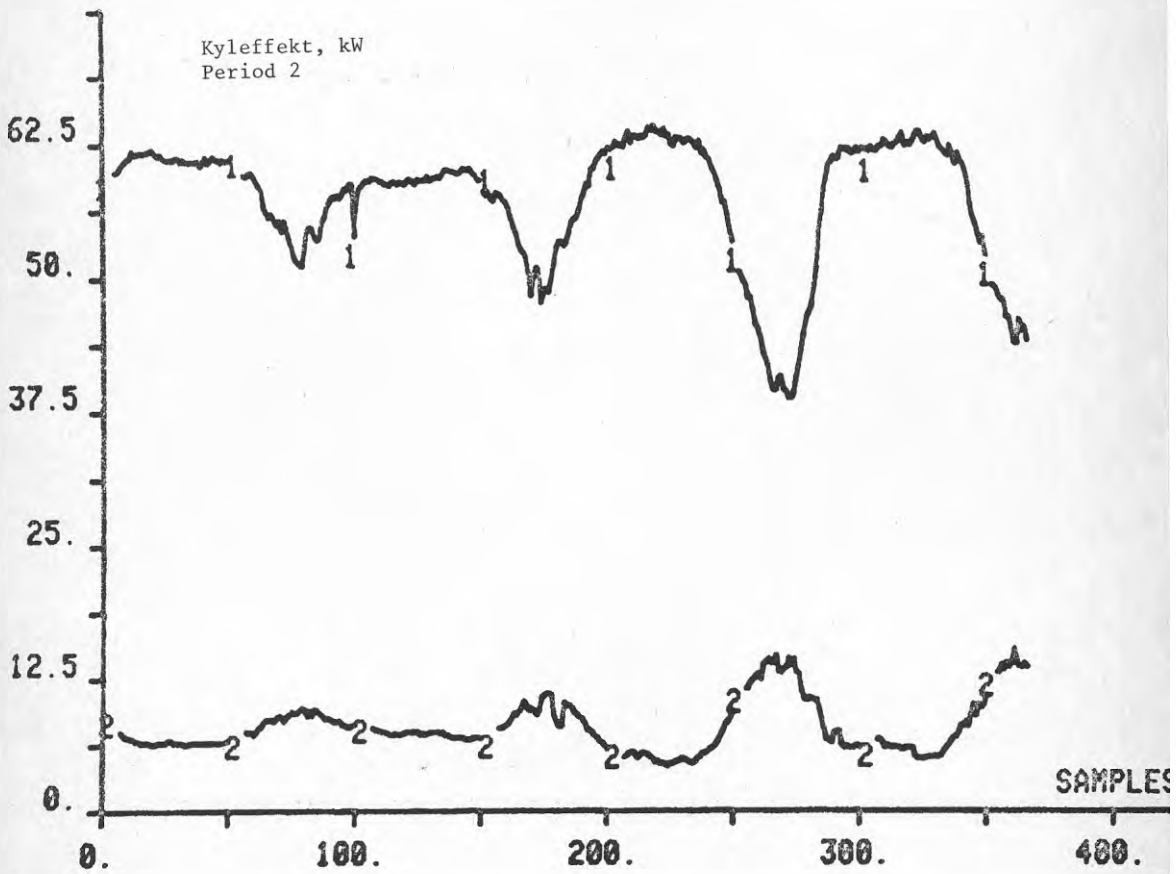


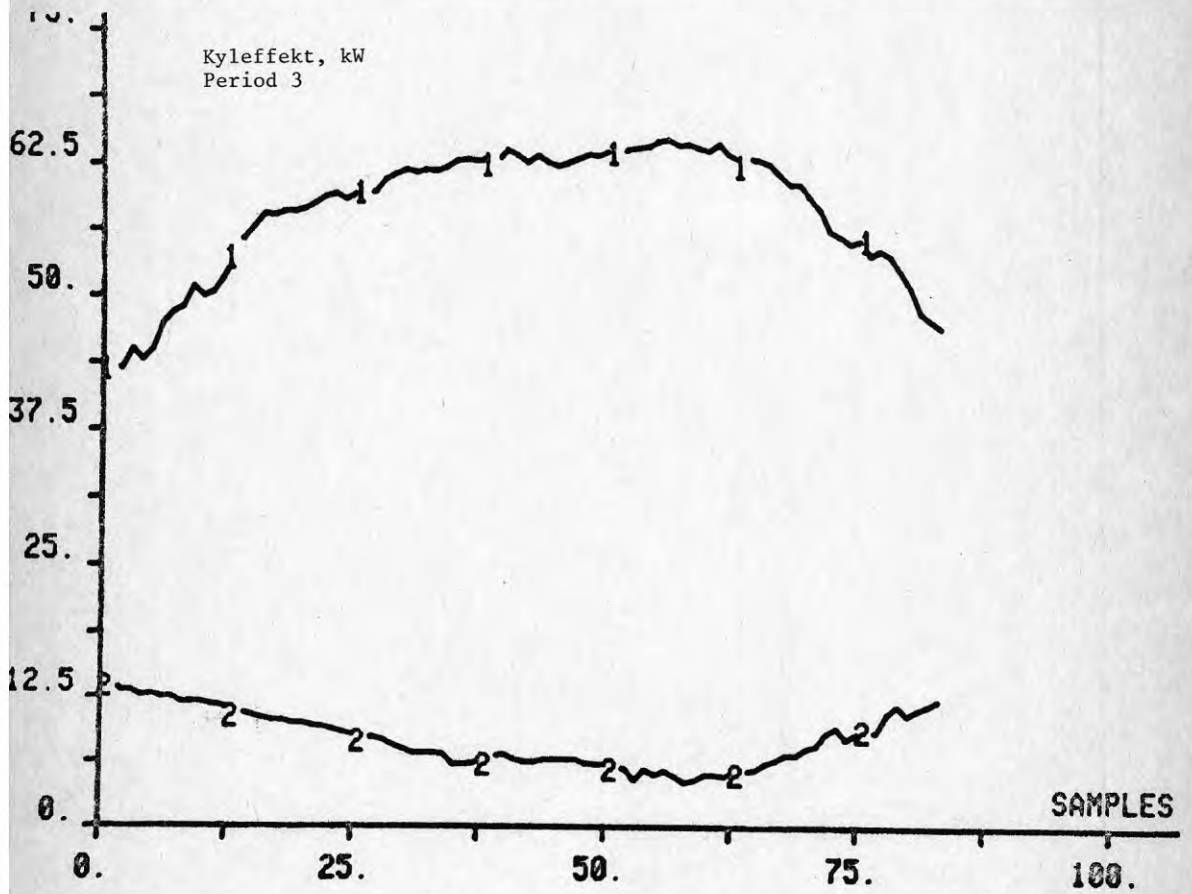
BILAGA 5

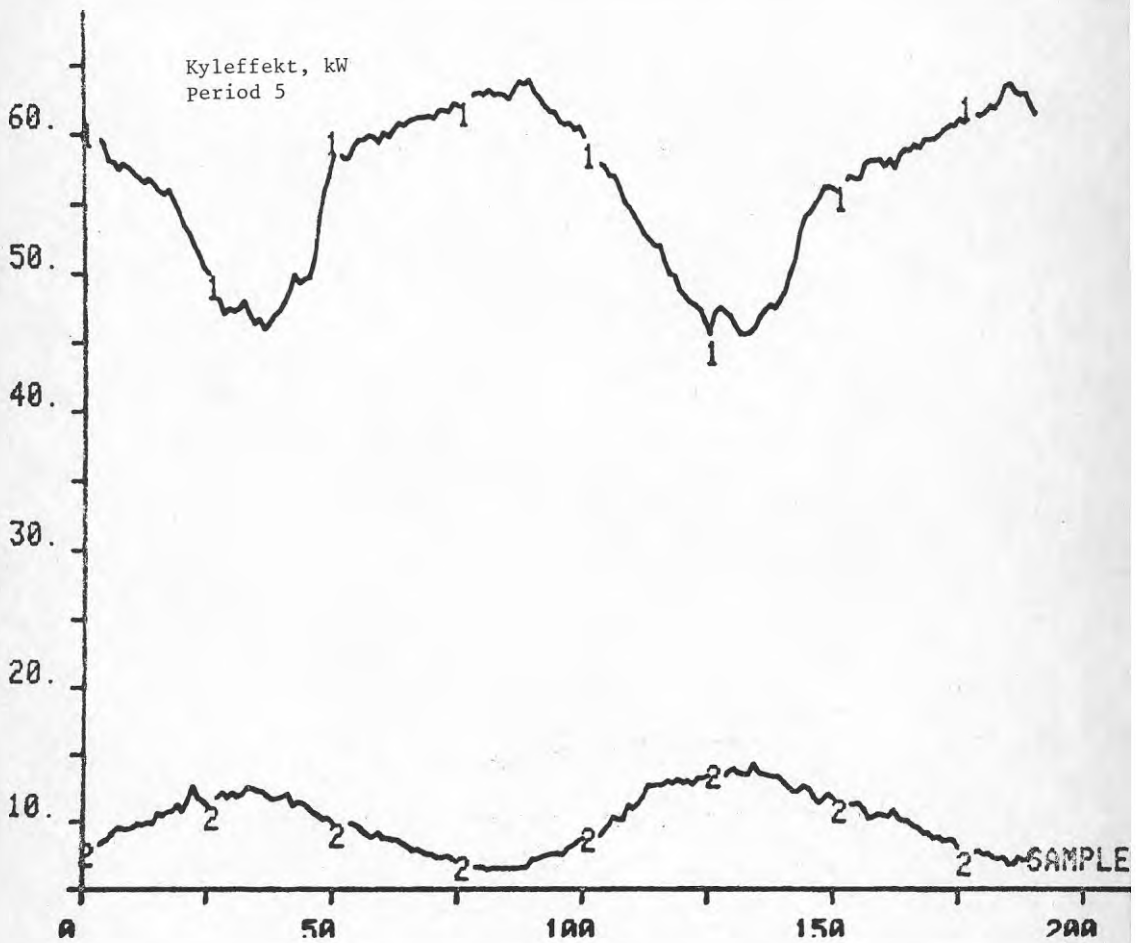
Kyleffekt värmepump

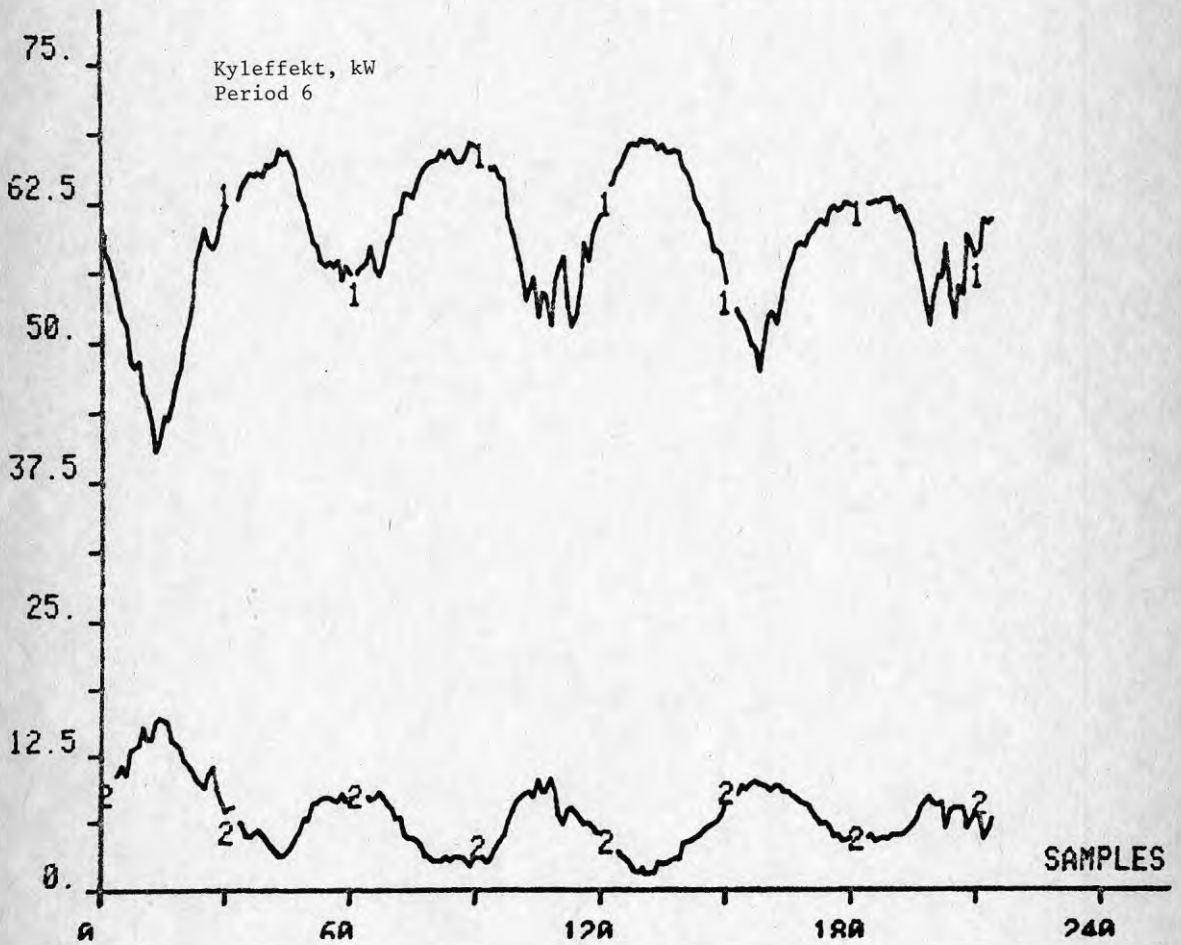
Diagrammen redovisar frånluftens effektsänkning vid passage genom fem kylbatterier för värmepumpanläggning 3. Fem mätperioder. Värmepumparnas avgivna effekt fås genom att addera till dess eleffektbehov, 3 x 4,2 kW. Samplingintervall 15 min.











BILAGA 6

Felkalkyl - dataloggermätningar

Felanalysen för beräkningsmetoder I, II och III, har baserats på följande förutsättningar:

Tabell 17 Förutsättningar för felanalys

Typ av givare	Metodfel	Mätinstr.fel	Avläsn.fel	Mätfel
<u>Temperatur, °C</u>				
i tilluftsschakt	+ 0.1	+ 0.1	0	+ 0.14
efter tilluftsfläkt	+ 0.1	+ 0.1	0	+ 0.14
före kylbatteri	+ 0.5	+ 0.1	0	+ 0.51
efter frånluftsfläkt	+ (0.5+0.56)	+ 0.1	0	+ 1.06
värmevatten till luft- värmare	+ 0.2	+ 0.1	0	+ 0.22
<u>Luftflöden, %</u>				
Frånluft		rekommenderat mätplan		+ 5
Tilluft - B1		alternativ mätplan		+ 7
B2		rekommenderat mätplan		+ 4
B3	varken rekommenderat el	alternativt mätplan		+ 10
B4		rekommenderat mätplan		+ 4
E1		alternativt mätplan		+ 7
<u>Vattenflöde, %</u>				
Annubar		enligt fabrikanter		+ 1.5
DP-cell	0	+ 2,5	0	+ 2.5

$$\text{Mätfelet} = (\text{Metodfel}^2 + \text{Mätinstr. fel}^2 + \text{avläsningsfel}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Metodfelet för temperaturgivarna vid frånluftsfläktarna tar hänsyn till temperaturgradienter i luften, som uppstår när den distribueras i kanal i utrymmet mellan under- och yttertak. Detta utrymme är ej uppvärmt och ventilationskanalen är osolerad varför frånluften närmast kanalytan avkyles och temperaturgradienter uppstår. Vidare tas även hänsyn till solens uppvärmning av kanalytor mellan kylbatteriet och temperaturgivaren efter frånluftsfläkten.

DP-cellens mätinstrumentfel avser onoggrannheten vid kalibrering av instrumentet.

Annubarens felangivelse gäller för det maximala vätskeflödet ner till 1/7 av detsamma. Under mätperioden låg det aktuella flödet inom ovanstående gränser.

Följande beräkningsformler har använts:

$$\text{- Effektsänkning frånluft } P_F = \rho_{1F} \cdot c_{p1} \cdot \sum_{k=1}^5 (t_{F+} - t_{F-}) \cdot q_{Fk}$$

k avser de olika frånluftaggregaten, totalt 5 st

- Effektsänkning värmevatten:

$$P_v = q_v \cdot \rho_v \cdot c_{pv} \cdot (t_{v+} - t_{v-})$$

- Effekthöjning tilluft

$$P_T = \rho_{T1} \cdot c_{p1} \cdot \sum_{k=1}^4 (t_{T+} - t_{T-})_k \cdot q_{Tk}$$

k avser de olika tilluftsfläktarna. TA-B4 har ej varit i drift under mätperioden.

För beräkning av vätskeflödet via tryckavläsningen i annubaren måste fabrikantens beräkningsformel användas:

$$q_v = 0,66 \cdot S \cdot D^2 \sqrt{\Delta p} \cdot \frac{v}{60 \cdot 1000}$$

där S är en specifik faktor för annubaren (0,72)

D är rörets innerdiameter, cm

p är det av differenstryckmätaren angivna tryckdifferensen, mmvp.

Vid felanalysen har en maximal felformel för uppskattning av felet använts, vilket är en mycket pessimistisk uppskattning.

$$y \leq \sum_{k=1}^n \left| \frac{df}{dx_k} \right| \cdot |\Delta x_k|$$

k = 1,2n-1, n

$\frac{df}{dx}$ avser partiella derivatan av den aktuella funktionen f på variabeln x. x är variabeln absoluta fel.

BILAGA 7

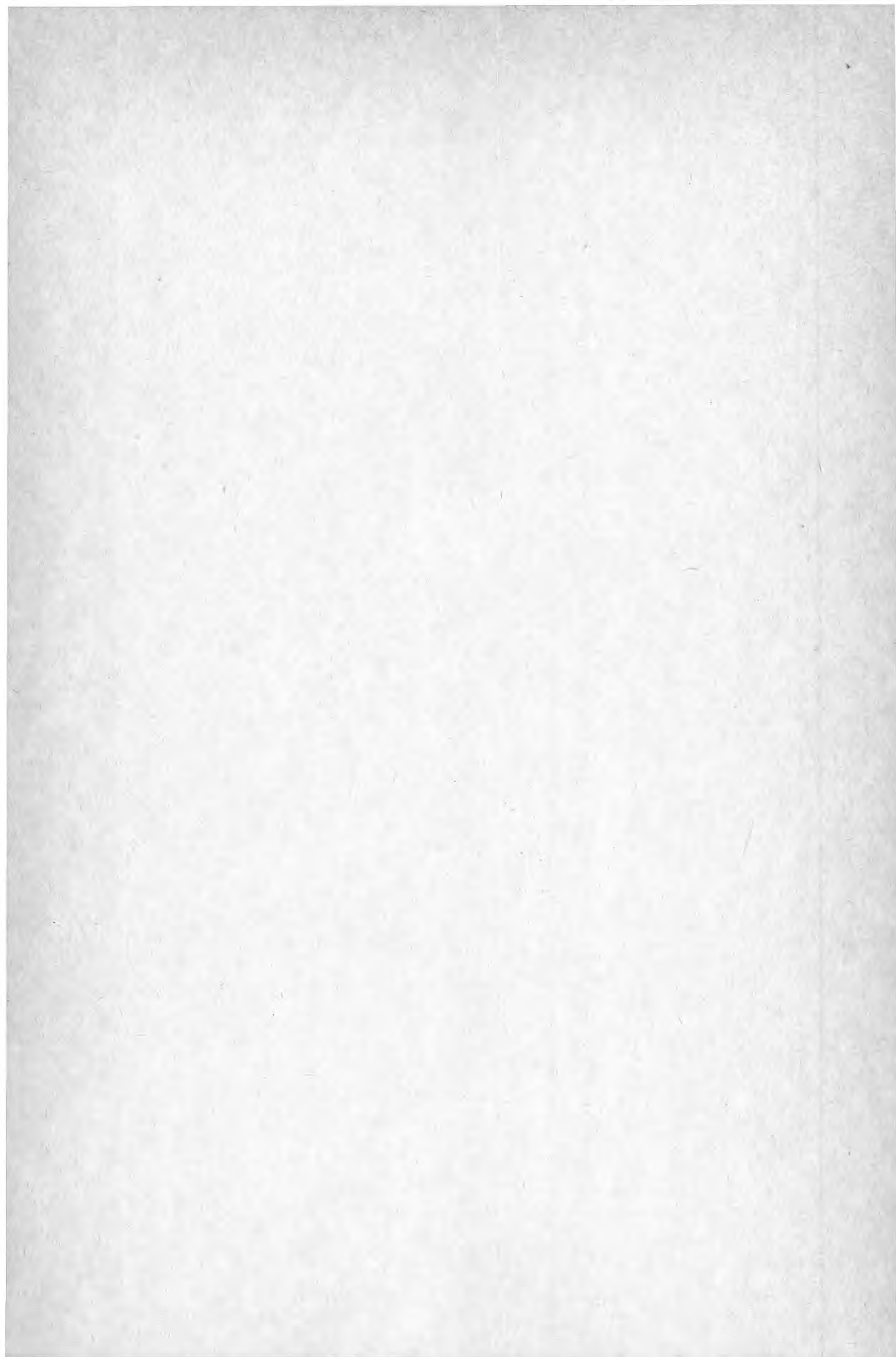
Felkalkyl - värmemängdsmätare

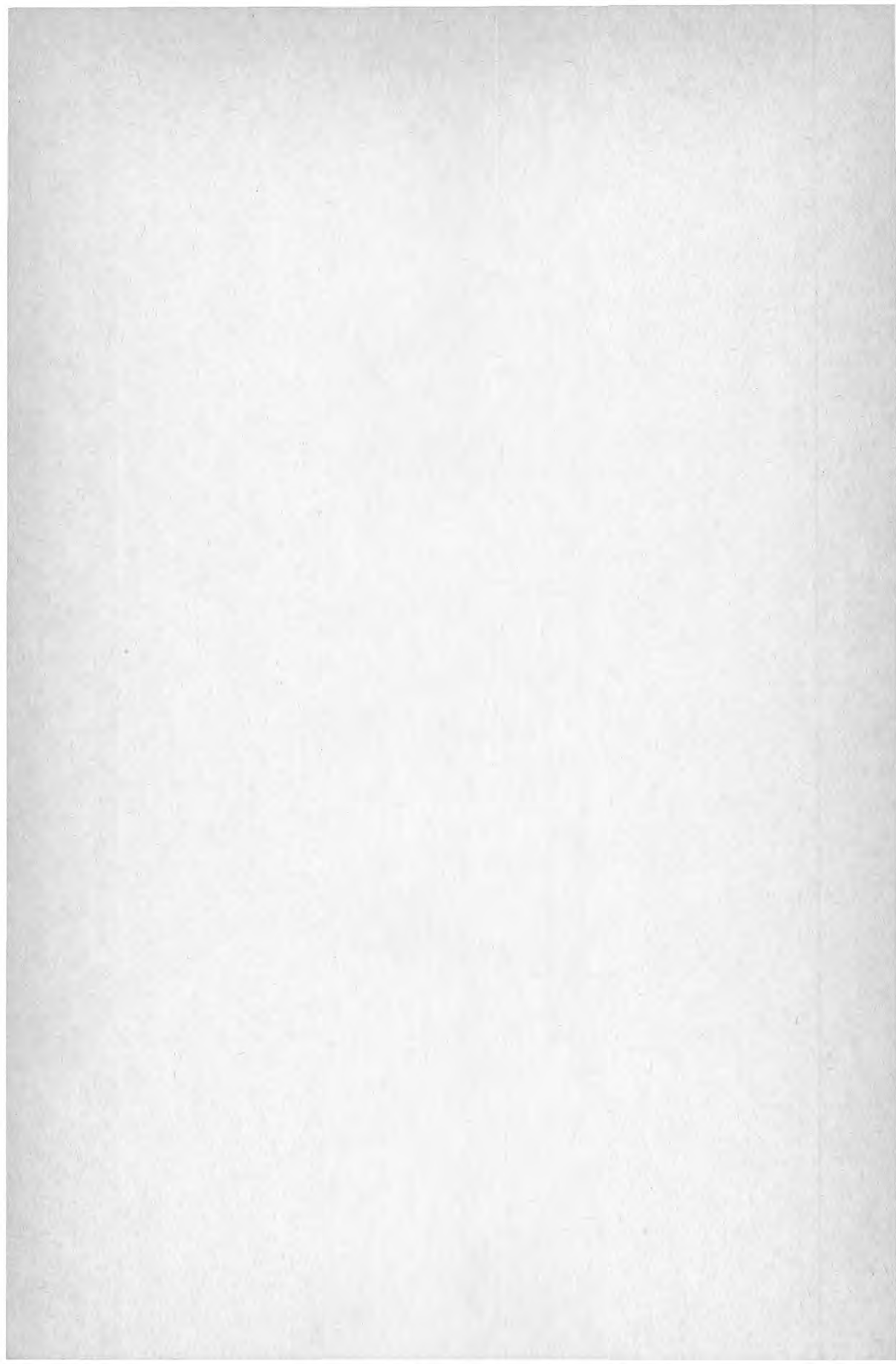
Beräkningsmetod IV har baserats på avläsningar av värmemängdsmätare. Vid beräkning av energin till ventilationsaggregaten måste avläsningresultaten från fjärrvärmemätaren reduceras med värdena från varmvattenberedning, VVC-förluster och radiatorer. Detta är en nackdel om en stor noggrannhet eftersträvas.

Vid samtal med personal på Energiverken i Malmö har det framkommit att värmemängdsmätare normalt har ett fel av storleksordningen

- + 5% inom 75% av mätområdet, små vätskeflöden
- + 2% inom 25% av mätområdet, stora vätskeflöden

Provningsprotokoll för de aktuella värmemängdsmätarna redovisar ett mindre fel än ovanstående gränser. Vid felanalysen har emellertid de av Energiverken angivna felgränserna använts.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
800938-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Malmö kommun.**

R123: 1983

ISBN 91-540-4024-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700823

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms