



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

R87:1990

**Jordvärmesystem i
småhusområde**

Driftuppföljning Surte

Torbjörn Jilar

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135492

Byggforskningsrådet

R87:1990

JORDVÄRMESYSTEM I SMAHUSOMRÅDE

Driftuppföljning Surte

Torbjörn Jilar

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860184-3
från Statens råd för byggnadsforskning till CTH, Avd
för installationsteknik, Göteborg.

REFERAT

I Surte utanför Göteborg ligger ett ca 10 år gammalt grupphusområde där varje småhuslägenhet har ett ytjordvärmesystem av Thermia-verkens fabrikat. Vid tidigare CTH-projekt (791363-5) har värmesystemens elförbrukning och värmeproduktion samt därmed sammanhängande årsvärmefaktor bestämts för 11 av områdets totalt 88 småhuslägenheter. Vidare har utnyttjningstiden för lh-eleffekt på nätstationsnivå uppmätts för området samt för ett ungefär lika stort direktelområde och ett område med enbart hushållsel. Arbetet har varit en del av ett omfattande systemtekniskt och markgeologiskt forskningsarbete genomfört av fyra institutioner vid CTH och samordnat av avd f Installationsteknik.

I rapporten redovisas en sammanfattning av forskningsresultaten. Även en fortsatt driftuppföljning är gjord i syfte att bestämma årsvärmefaktorn och påverkande faktorer för alla 88 ytjordvärmesystemen. Mätningar har vid två tillfällen på året gjorts med hjälp av en kompakt, mobil mätutrustning. Även årsförbrukning av el har registrerats för alla systemen. Dessa resultat kommer att redovisas i en kompletterande rapport senare.

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.

R87:1990

ISBN 91-540-5258-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

gotab Stockholm 1990

INNEHÅLL

SURTEPROJEKTETS BAKGRUND	1
YTJORDVÄRMEPUMPARS TILLFÖRLITLIGHET	4
MARKPÅVERKAN	18
DETALJSTUDIE AV TVÅ VÄRMEPUMPSYSTEM	26
STUDIER AV ELFÖRBRUKNING OCH EKONOMI	29

Förord

I Surte nära Göteborg ligger ett grupphusområde, där ett omfattande systemtekniskt och markgeologiskt forskningsarbete har genomförts vid fyra institutioner på Chalmers tekniska högskola. Arbetet har skett på uppdrag av Statens Råd För Byggnadsforskning.

I föreliggande rapport redovisas en sammanfattning av forskningsresultaten. Den läsare som vill ta del av en mer omfattande redovisning av resultaten hänvisas till referenserna i slutet av varje kapitel. Följande personer har haft ansvar för var sin del av forskningsarbetet.

Eva Blinge - Tillförlitlighet för värmepumpar

Peter Wilén - Markpåverkan

Tomas Hallén - Detaljstudier av värmepumpar

Torbjörn Jilar - Elförbrukning och ekonomi

Kjell Schroeder - Mätdata.

Ansvar för samordning samt för sammanställning av föreliggande rapport har legat på Torbjörn Jilar vid avdelningen för Installationsteknik.

Göteborg i oktober 1986

Torbjörn Jilar

SURTEPROJEKTETS BAKGRUND

Under senare år har värmepumpar för bostadsuppvärmning tilldragit sig allt större intresse i Sverige. Detta hänger främst samman med att värmepumpar vid många undersökningar och utredningar visat sig ha utmärkta möjligheter att bli betydelsefulla och ekonomiskt tilltalande hjälpmedel för att minska oljeberoendet. Faktiska insatser i form av statligt stöd till forskning och installation samt en allt intensivare marknadsföring av värmepumpar har gjort dessa allt vanligare. I Sverige finns för närvarande cirka 100 000 värmepumpar installerade, många med flera års praktisk drift bakom sig. Om dagens ökningstakt på omkring 30 000 å 40 000 installationer av värmepumpar per år håller i sig kommer totalantalet att vara uppe i cirka 250 000 stycken år 1990. Sifferuppgifterna gäller aggregat med maximal värmeeffekt på 100 kW och flertalet är små enheter för enfamiljshus men även större enheter för t ex värmecentraler tas allt oftare i bruk.

Många värmepumpar arbetar med uteluft som värmekälla och kräver därför en tillskottsvärmekälla under årets kallaste period. Från kraftproducenters och kraftdistributörers sida har man helt naturligt ej varit speciellt positiva till att ansluta uteluftvärmepumpar med el som tillskottsvärmekälla. Fossila bränslen har därför blivit vanliga i kombination med värmepumpinstallationer i befintliga hus. Som en speciellt intressant kombination framstår här en luftvärmepump tillsammans med en bränslepanna där paralleldrif kan ske (sk bivalenta system). Detta ger ett högt utnyttjande av såväl elkraftssystemet som av värmepumpinstallationen och är ekonomiskt intressant både i produktions- och konsumtionsledet.

Värmepumpsystem som på förångarsidan arbetar i mer temperaturstabila värmekällor än uteluft har under senare år blivit vanliga på småhussidan. Ytjordvärmesystemet är det vanligaste, installerat i cirka 15 000 hus. Mestadels har enstaka, styckbyggda hus utrustats med systemet men det förekommer även i grupphusområden, bland annat i Surte med 88 småhuslägenheter. När systemtypen som här används i ett tätt exploaterat grupphusområde måste markanvändningen redan från planeringsstadiet anpassas till jordvärmeackumulering som kräver stora fria ytor. Även om varje hus individuellt förses med jordvärmslinga tvingas man att utnyttja allmän mark. Den markrättsliga situationen vid sådan exploatering är ännu ej helt klarlagd rent juridiskt. Till exempel har frågan om gemensamt ansvar vid läckage inte fått sitt svar.

Mot bakgrund av vad som sagts om ytjordvärmesystemet förefaller ett djupjordvärmesystem med vertikalt slangsystem att vara ett intressant alternativ. Detta av speciellt två skäl, litet behov av markareal och möjlighet till hög temperaturnivå i jordvärmelagret. Mot dessa fördelar ska ställas nackdelen att säsongsvärmelagring måste ske aktivt med någon form av hjälpsystem, t ex luftbatteri eller solfångare. Om det finns stora grundvattenflöden kan man dock klara sig utan återladdningar.

Även om ytjordvärmesystemet som sådant redan är väl utvecklat rent tekniskt och kommersiellt återstår ändå en del frågor att besvara. Bland forsknings- och utvecklingsbehov nämnda i aktuella översikter finns t ex områden som "mer systematisk utvärdering av ekonomin" samt "bättre dimensioneringsmetoder".

I Surte ett par mil norr om Göteborg ligger det första svenska småhusområde där ytjordvärme har kommit till användning helt igenom. Här färdigställdes år 1980 ett grupphusområde med 88 småhuslägenheter, var och en utrustad med ett ytjordvärmesystem med värmepump. Intressant i sammanhanget är att husen ligger inom det riksbekanta skredområdet i Surte där skredolyckan år 1950 åstadkom stor förödelse i tätortens bebyggelse. Vid olyckan gled ett 24 ha stort område ut mot Göta älv. Området har sedan dess legat outnyttjat för att stabiliseras och har nu alltså bebygts igen efter 30 år.

Byggherre är kommunägda AB Alebyggen, projektör Riksbyggen, huvudentreprenör BPA och leverantör av ytjordvärmesystem AB Thermia-Verken.

Alltsedan husområdet färdigställdes har ett omfattande systemtekniskt och markgeologiskt forskningsarbete om området pågått vid fyra institutioner på Chalmers tekniska högskola. Här följer en kort presentation av projekten.

1. Tillförlitlighet för värmepumpar

Engigiteknik, avd för ångteknik med reaktorteknologi

Projektet omfattar en praktisk uppföljning av värmepumpens komponent- och systemfunktioner. Denna uppföljning har jämförts med använd predikteringsmetod vilken därmed bedömts. Vidare har värmepumpens tillförlitlighet studerats.

2. Markpåverkan

Geologi

Studierna har koncentrerats till uppföljning av långsiktiga förändringar hos markvärmeackumulatören. Av speciellt intresse är marktemperaturprofilens förändring år från år. Förändringar hos lermaterialet närmast jordvärmelangarna och eventuell inverkan på markytebilden har också uppmärksamats.

3. Detaljstudie av två värmepumpsystem

Värmeteknik och maskinlära

Två sk referenshus tjäna som mätobjekt för värmetekniska detaljstudier av värmepumpsystemet som sådant. Studierna omfattar bl a värmepumparnas värmefaktorer samt temperaturnivåer hos den markförlagda värmebärarkretsen samt hos radiator- och tappvarmvattenkretsarna.

4. Studier av elförbrukning och ekonomi

Avd för installationsteknik

(Samarbete med Statens Vattenfallsverk)

Projektet omfattar främst eleffektuttagets varaktighet samt elenergiförbrukningens fördelning över året för området med ytjordvärmepumpar. Jämförelser med avseende på effektvaraktighet, energiförbrukning och sammanlagring görs också med områden där direktel respektive fossileldning används för uppvärmning. Vidare görs kostnadsjämförelser mellan olika slag av eltariffer. En energiekonomisk värdering av ytjordvärmesystemet görs också där verklig värmeproduktion ställs mot anläggnings- och driftkostnader.

YTJORDVÄRMEPUMPARS TILLFÖRLITLIGHET

INLEDNING

Driften av 88 stycken ytjordvärmepumpar av typ JBC 400M har studerats och deras tillförlitlighet har utvärderats. Projektets uppläggning har också gjort det möjligt att studera användbarheten av en metod för tillförlitlighetsberäkningar.

En förstudie över tillförlitligheten hos en tidigare värmepumpsmodell, JBC 400, har gjorts tidigare [3], [4]. Resultatet från dessa studier tillsammans med uppgifter om gjorda tekniska förändringar har använts för att förutsäga driftutfallet för de 88 värmepumparna i Surte.

METODIK

Den metod som använts är utvecklad av W. Nelson [1]. Metoden har valts därför att den enkelt behandlar sk censurerade tester, dvs en test som avbryts innan hela populationen felat. Utbytesintensiteter och serviceintensiteter har tagits fram, dels för värmepumpen som helhet och dels för enskilda komponenter. Serviceintensiteten svarar mot "fel" som inte lett till utbyte av komponent. Utbytes- och serviceintensiteter har ritats upp mot tiden till fel på fördelningspapper.

De flesta komponenternas service- och utbytesfrekvens har god anpassning till Weibullfördelningen, varför denna antagits gälla.

Sannolikheten för att det uppstår fel i en värmepump och att den måste genomgå service kan tecknas som summan av de enskilda komponenternas felsannolikhet. Detta kan göras om de enskilda komponenternas felsannolikhet kan antas oberoende.

$$P_{\text{service}} = \sum P_{\text{feltyp}}$$

P_{service} = sannolikheten att värmepumpen behöver service

P_{feltyp} = sannolikheten att viss feltyp inträffar

Antagandet om oberoende felhändelser utnyttjas då driftutfallet i Surte predikteras. Den förväntade servicesannolikheten kan nu skrivas

$P_{service} = \sum P_{feltyp} - \sum P_{feltyp, åtgärd}$

$P_{service}$ = sannolikheten att värmepumpen behöver service

P_{feltyp} = sannolikheten att viss feltyp inträffar

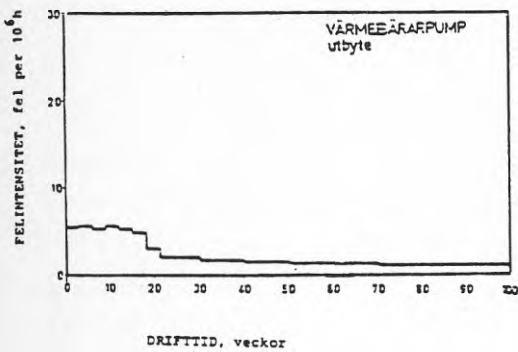
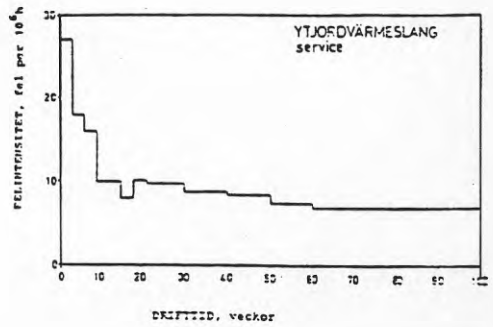
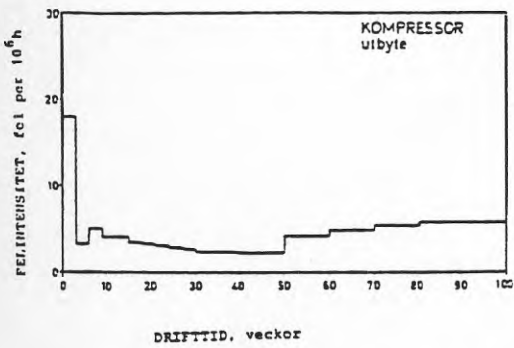
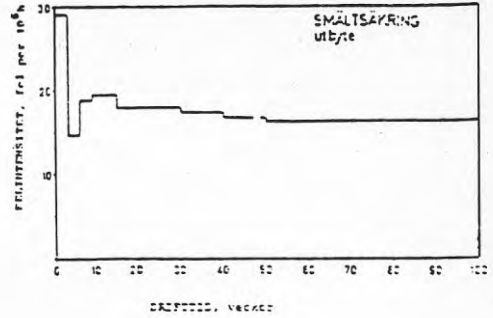
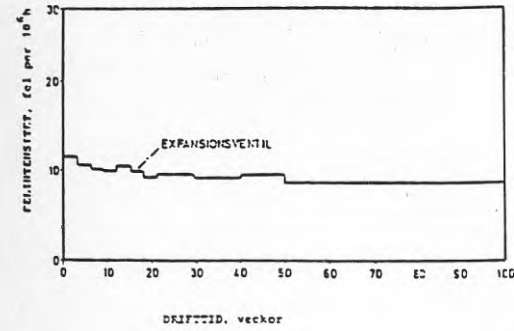
$P_{feltyp, åtgärd}$ = sannolikheten att viss feltyp inträffar, men denna feltyp antas försvinna som följd av viss konstruktionsändring

En mer detaljerad redogörelse över använd metodik finns i [2].

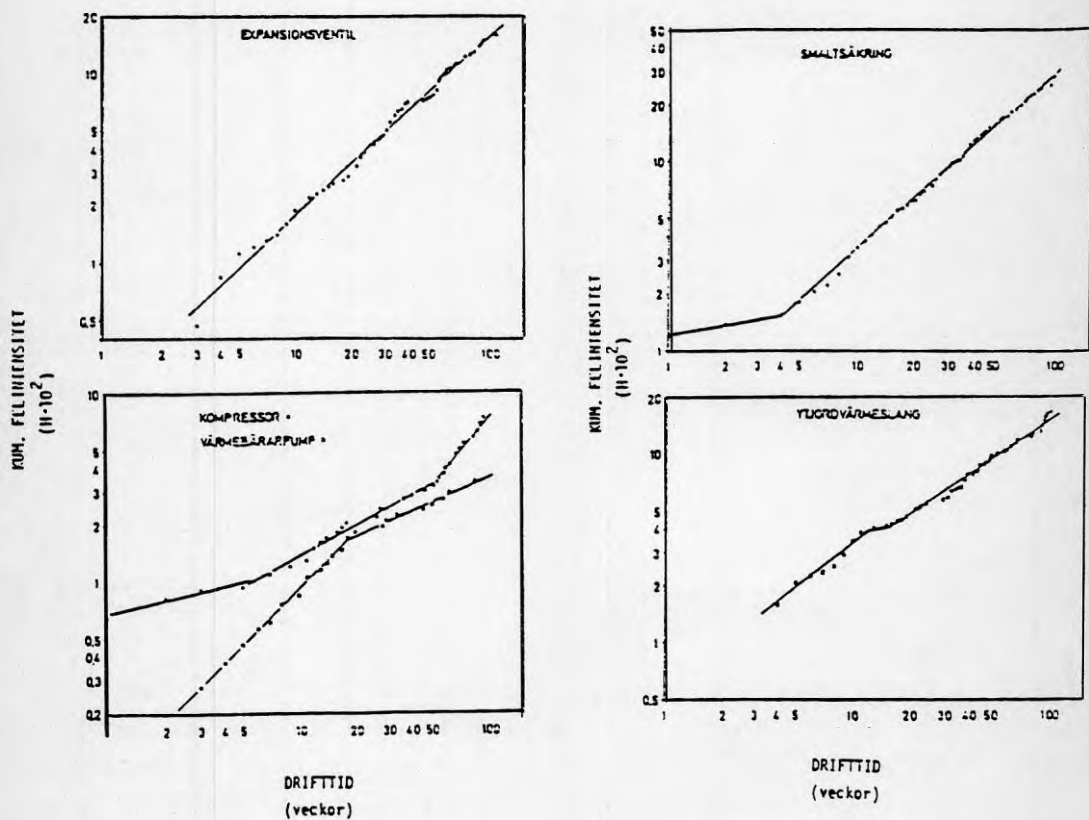
FÖRSTUDIE JBC 400

Denna studie omfattade ca 1000 ytjordvärmepumpar, typ JBC 400. Värmepumpens totala servicebehov, samt serviceintensiteter och utbytesintensiteter för enskilda komponenter togs fram [3]. Resultatet från studien redovisas nedan. Tabell 1 visar kritiska komponenter i denna värmepumpsmodell.

I figur 1 visas utbytesintensitetens tidsberoende. För de flesta komponenter följer felintensiteten den s k badkarskurvan. Det studerade tidsintervallet täcker inte in utslitningsperioden, varför denna inte finns med på figuren. I figur 2 finns samma utbytesintensiteter presenterade i kumulativ form, ritade på Weibullpapper. Denna presentationsform visar på utbytesintensitetens långsiktiga trend. Exempelvis antyder figuren en något ökande utbytesintensitet för kompressorn! Värmebärarpumpen har däremot en klart avtagande utbytesintensitet.



Figur 1 Utbytes- och serviceintensitet för några komponenter i JBC 400.



Figur 2 Kumulativa utbytesintensiteter respektive serviceintensiteter för några komponenter i JBC 400.

Tabell 1 Felintensiteter för komponenter i JBC 400

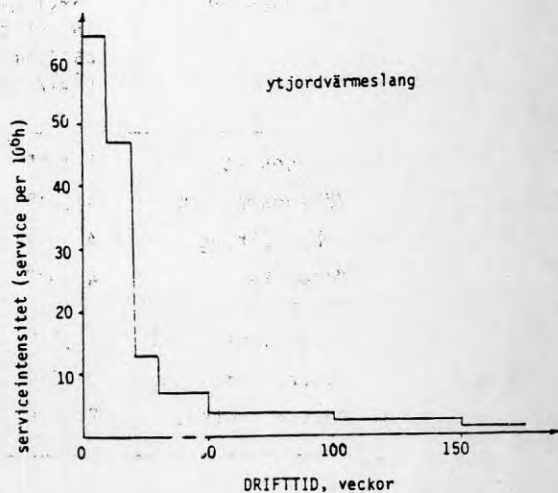
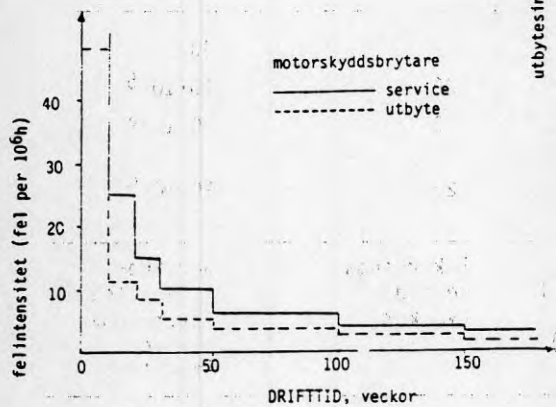
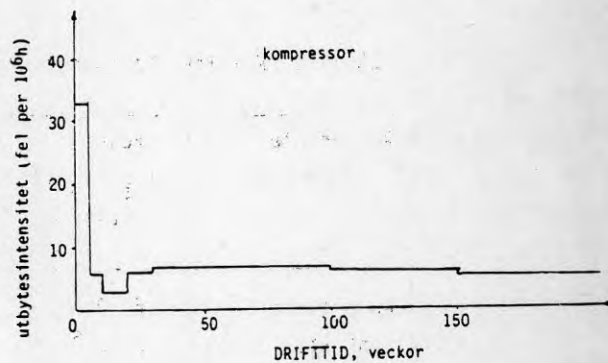
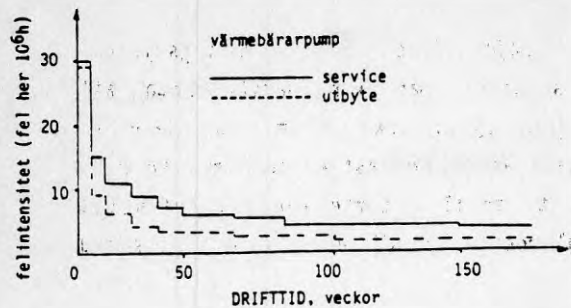
Komponenter	Felintensitet, utbyte (fel/timme)
Smältsäkring	$15 \cdot 10^{-6}$
Kompressor	$45 \cdot 10^{-6}$
Signallampa	$1,6 \cdot 10^{-6}$
Kontaktorer	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Värmebärarpump	$1,0 \cdot 10^{-6}$

Komponenter	Felintensitet, service (fel/timme)
Termostat	$8,5 \cdot 10^{-6}$
Expansionsventil	$8,5 \cdot 10^{-6}$
Ytjordvärmeslang	$6,5 \cdot 10^{-6}$
Pressostat	$5,5 \cdot 10^{-6}$

VÄRMEPUMPSDRIFTEN I SURTE - JBC 400M

Under åren 1979 - 1980 har ytjordvärmepumparna i Surte tagits i drift. Servicestatistik har samlats in i 3 år. Under denna period har också de enskilda värmepumparnas drifttid och antal starter kontinuerligt avlästs. Denna information om värmepumpens driftbetingelser gör det möjligt att studera hur dessa faktorer inverkar på tillförlitligheten. Det är framför allt intressant att se om någon komponents felintensitet är direkt beroende av driftsättet.

I tabell 2 redovisas kritiska komponenter i modell JBC 400M. I figur 3 visas dessa komponenters felintensitet och i figur 4 jämförs servicebehovet för JBC 400 och JBC 400M med det predikterade värdet. En jämförelse mellan de båda värmepumpstyperna visar en längre inkörningsperiod med högre serviceintensitet för JBC 400M. Bästperioden visar däremot på en lägre serviceintensitet för JBC 400M, vilket var avsikten med gjorda konstruktionsändringar. Inkörningsperiodens längd och höga intensitet kan bero på att Surte är "test"-område och därmed extra påpassat. Dessutom har



Figur 3 Utbytes- och serviceintensiteten för ett antal komponenter i JBC 400M.

de boende inte själva valt ytjordvärme som uppvärmningssystem, vilket är fallet i förstudien. Man kan därför anta att värmepumpsägarna i förstudien själva sköter om viss service. Skillnaden i serviceintensiteten under bästperioden mellan predikterat utfall och verkligt utfall i Surte kan till viss del tillskrivas service på reglercentralen då denna inte tagits med i predikteringen.

Tabell 2 Kritiska komponenter JBC 400M

Komponenter	Fel-intensitet, bästperiod (fel/tim)	Inkörningsperiod (veckor)	Fel-intensitet, inkörningsperiod (fel/tim)
Kompressor	$6 \cdot 10^{-6}$	5	$30 \cdot 10^{-6}$
Kontaktor	$3 \cdot 10^{-6}$	30	$10 \cdot 10^{-6}$
Motorskydds-brytare	$2 \cdot 10^{-6}$	30	$20 \cdot 10^{-6}$
Värmebärarpump	$2 \cdot 10^{-6}$	20	$10 \cdot 10^{-6}$

Komponenter	Service-intensitet bästperiod (fel/tim)	Inkörningsperiod (veckor)	Service-intensitet inkörningsperiod (fel/tim)
Pressostat	$5 \cdot 10^{-6}$	50	$26 \cdot 10^{-6}$
Värmebärarpump	$4 \cdot 10^{-6}$	30	$14 \cdot 10^{-6}$
Smältsäkring	$4 \cdot 10^{-6}$	0	$4 \cdot 10^{-6}$
Motorskydds-brytare	$4 \cdot 10^{-6}$	50	$30 \cdot 10^{-6}$
Expansionsventil	$4 \cdot 10^{-6}$	0	$4 \cdot 10^{-6}$
Ytjordvärmeslang	$3 \cdot 10^{-6}$	30	$50 \cdot 10^{-6}$
Juster. intens.	$8 \cdot 10^{-6}$	100	$30 \cdot 10^{-6}$

Värmepumpens driftkaraktärestik

Inverkan av antalet starter på komponenter i värmepumpen har studerats, men den studerade tidsperioden är för kort, varför inga generella eller långsiktiga slutsatser dras. Kompressorn är den komponent som framför allt påverkas av antalet starter den

utsätts för. Antalet rapporterade kompressorfel för värmepumpar med ett stort antal starter har jämförts med antalet för värmepumpar med få antal starter.

För kompressorhaverierna kan konstateras att

- inga kompressorhaverier har rapporterats för värmepumpar med ett litet antal starter
- förväntat antal haverier har rapporterats för värmepumpar med stort antal starter
- en studie över när haverierna skett visar att ungefär 60% skett då värmebehovet varit högt.

För värmepumpen som helhet konstateras att

- värmepump med stort antal starter har något förhöjd felintensitet i inkörningsperioden
- effekten av antal starter visar sig först när utslitningsperioden börjar. Tillgängliga data sträcker sig inte så långt i tiden.

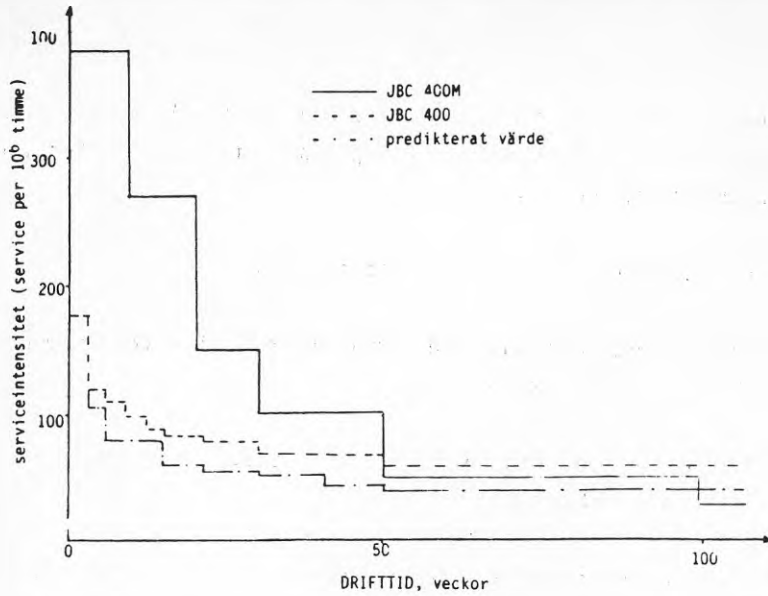
I figur 5 jämförs serviceintensiteten för värmepumpar dels med ett stort antal starter, dels ett litet antal starter med den totala serviceintensiteten. I rapport [2] redovisas resultatet från studien av värmepumparna i Surte.

UNDERHÅLL

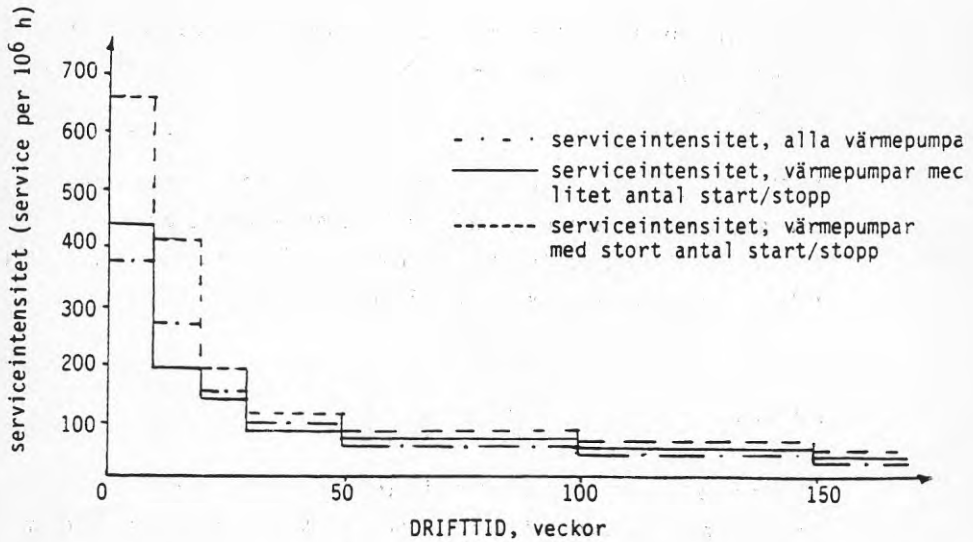
Förutom fel- och serviceintensiteter är ett systems tillgänglighet ett mått på dess tillförlitlighet. Därför har reparationstiden för systemet studerats och även underhållskostnaden har tagits fram.

Tillgängligheten definieras som

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$



Figur 4 En jämförelse av serviceintensiteten för dels JBC 400M och JBC 400 och dels predikterad intensitet.



Figur 5 Serviceintensiteten för värmepumpar med stort antal starter och med litet antal starter, jämförs med servicebehovet för hela populationen.

där

MTBF = medeltiden mellan fel som orsakar driftstopp

och

MTR = stilleståndstiden mellan felets uppkomst och slutförd reparation.

Tillgängligheten är ett mått på "sannolikheten att systemet fungerar då det efterfrågas". För att få fram värmepumpens tillgänglighet måste en systemanalys göras. Analysen visar vilka fel som leder till att värmepumpen inte kan fullgöra sin uppgift, dvs leverera en viss mängd värme.

Följande feltyper orsakar driftstopp:

Feltyp	Felintensitet (fel/timme)		
	år 1	år 2	år 3
Kompressorhaveri	$8 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
Värmebärarpumphaveri	$6 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
Bränd kontaktor	$10 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$\ll 10^{-8}$
Utlöst motorskydd	$14,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Utlöst hög/lågtrycksvakt	$18 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$
Utlöst temp. vakt	$\ll 10^{-8}$	$\ll 10^{-8}$	$\ll 10^{-8}$
Utlöst smältsäkring	$\ll 10^{-8}$	$\ll 10^{-8}$	$\ll 10^{-8}$
Internt elbortfall	$\ll 10^{-8}$	$\ll 10^{-8}$	$\ll 10^{-8}$
Externt elbortfall	$\ll 10^{-8}$	$\ll 10^{-8}$	$\ll 10^{-8}$

MTR sätts lika med tiden mellan felupptäckt och slutförd reparation. MTR antas samma under de studerade åren. Vid beräkning av MTR har alla servicetillfällen medtagits.

MTR = väntetid + reparations tid = 1 dygn + 1,25 tim = ungefär 25 tim.

Tillgängligheten, A, för ytjordvärmepumparna har beräknats för de tre första åren.

År 1

$$A_1 = 0,9986$$

År 2

$$A_2 = 0,9993$$

År 3

$$A_3 = 0,9997$$

MTTR är mycket mindre än MTBF. Därför är tillgängligheten inte känslig för fel vid beräkningen av MTTR. Tillgängligheten är hög trots att serviceintensiteten är relativt hög under det första året. Detta beror på de uppkomna felens karaktär. Få fel har in-
neburit driftstopp.

Underhållskostnad

Förväntad årsvis reparationskostnad skall läggas till värmepumpens driftkostnad per år. Under de två första driftåren gäller garantin och fabrikanter svarar för reparationskostnaden. Från tabell 4 framgår att kostnaden mer än halverats efter två driftår. Den största reparationskostnadsandelen tillskrivs kompressorn. Detta innebär att om ett kompressorhaveri inte inträffar före förväntad livslängd, minskar reparationskostnaden avsevärt. Under det tredje året betyder detta att reparationskostnaden blir 170 kr mot 370 kr om kostnaden för kompressorhaveri inte tas med. Å andra sidan: om man kalkylerar med kostnaden för ett kompressorhaveri har ju en stor del av den faktiska kostnaden vid ett haveri redan "betalats".

Tabell 4 Reparationskostnad (1980 års penningvärde)

Komponent	Komponent- utbyten (%)	Material- kostnad (kr/enhet)	Förväntad service- kostnad (kr/år och enhet)		
			År 1	År 2	År 3
Kompressor	100 %	3200	264	231	198
Värmebärrar- pump	58 %	2600	191	80	64
Ytjordvärme- slang	0	--	170	23	13
Expansions- ventil	55 %	318	14	14	14
Regler- central	56 %	1875	194	78	58
Kretskort	100 %	273	55	18	14
Motorskydds- brytare	42 %	125	29	5	3
Kontaktor	89 %	120	45	12	6
Freon 22		45 kr/kg			
S:a			962	461	370

Kommentarer: Kontaktorer och kretskort har ofta åtgärdats tillsammans med annat fel. Därför är den framtagna reparationstiden något missvisande. Den är för hög och därmed är också reparationskostnaden något för hög för dessa komponenter.

Förväntad mängd freon som måste fyllas på värmepumpen per år har inte gått att få fram. Anledningen är att det inte finns uppgifter på vilka reparationer som lett till påfyllning.

SAMMANFATTNING AV RESULTATET

- Under det första driftåret har värmepumparna i Surte, JBC 400M, en avsevärt högre serviceintensitet än värmepumparna i förstudien, JBC 400. Surte-området är ett testområde och detta gör det extra "påpassat", vilket är en trolig orsak till den höga serviceintensiteten.
- Efter ett års drift sjunker serviceintensiteten för JBC 400M till en nivå strax under JBC 400, och efter 2 år är serviceintensiteten i JBC 400M ungefär hälften av serviceintensiteten för JBC 400.
- I Surte har antalet start/stopp för de enskilda värmepumparna studerats. En något förhöjd serviceintensitet kan noteras för värmepumpar med stort antal starter. Men efter ett års drift är skillnaden marginell. Troligtvis visar sig betydelsen av antalet starter på värmepumpens felintensitet först när själva utslitningsperioden börjar. Tillgängliga driftdata omfattar inte denna period, varför inga slutsatser dras.
- Värmepumpar med stort antal starter har största frekvensen starter under uppvärmningssäsongen (okt-maj). Övervägande andelen service har också skett under denna period. För värmepumpar med litet antal starter finns inte så utpräglade toppar med stort antal starter utan dessa värmepumpar har en jämnare fördelning av starterna. Detta betyder att gångtiden/start för dessa är längre under uppvärmningssäsongen och kortare under sommarhalvåret.
- Följande komponenter i JBC 400M har orsakat driftstopp:
 - kompressor
 - värmebärarpump
 - motorskyddsbrytare
- Efter två års drift har underhållskostnaden för värmepumpen halverats.
- Kompressorn svarar för största andelen av reparationskostnaderna.

REFERENSER

- [1] Nelson W: Hazard plotting for incomplete failure data. Journal of quality technology vol 1, January 1969.
- [2] Blinge E: Resultat från tillförlitlighetsstudie över ytjordvärmepumpar i Surte. Rapport A86-149. Institutionen för Energiteknik, CTH 1986.
- [3] Blinge E, Carlsson L & Lindström H-O: En metod för uppskattning av felintensiteter - Exempel från värmepumpar. Rapport RE09-79. Institutionen för Energiteknik CTH 1980.
- [4] Carlsson L, Karlsson M & Karlsson B: Surteprojektet - tillförlitlighet för värmepumpar. Rapport RE03-79. Institutionen för Energiteknik, CTH 1979.

MARKPAVERKAN

Markpåverkanstudier

Målet med markpåverkanstudierna i Surteprojektet har kortfattat varit att

- undersöka de långsiktiga temperaturförändringarna i mark på grund av energiuttag med horisontella jordvärmesystem. Temperatursänkningen på olika djup i markprofilen och på olika avstånd från ytjordvärmeslang. Jämförelse med naturliga markförhållanden.
- studera förändringar av leran runt slangarna på grund av upprepade frys- och upptiningsförlopp. Huvudsakligen studeras skrymdensitet, vattenkvot och värmeledningsegenskaper och hur dessa förhållanden påverkar dimensioneringen.
- studera markrörelser, hävning eller nedsjunkning av mark ovanför och mellan jordvärmeslang på grund av värmeuttag.

Arbetet har genomförts med hjälp av

- temperaturmätningar i 6 vertikala profiler i slangtäckt och ej slangtäckt område,
- intensivmätningar av temperatur runt två slangsystem,
- sättningsmätningar för registrering av ojämnheter i marken uppkomna på grund av värmeuttagen,
- lerprovtagning och analys av proven.

Undersökningarna för projektet började 1980 och i december påbörjades marktemperaturmätningarna. All mätning avslutades i maj 1984.

Områdets geologi

Surte är beläget i Götaälvdalen. Dominerande jordarter är leror. De leror som avsattes under inlandisens avsmältning avsattes huvudsakligen i salt och bräckt vatten. Den glaciala leran avsattes nära landisen. Den senglaciala leran avsattes i en mer marin miljö under en period med snabb landhöjning. Under inlandisens slutskede (övergången mellan senglacial och postglacial tid) avbröts för en tid regressionen (landhöjningen) och övergick i en transgression.

Vid denna postglaciala transgression steg havsytan ca 10 meter över den senglaciala regressionens maximum. Det postglaciala transgressionsmaximum, som inträffade för ca 7500 år sedan nådde i Surtetrakten ca 27 m över nuvarande havsytan. Detta havshöjningsmaximum kallas postglaciala gränsen, PG. Material svallades ut från dalsidorna genom våg- och strömverkan och bildade mer eller mindre mäktiga sand- och moskikt inlagrade i lersedimenten. För drygt 7000 år sedan började regression åter göra sig gällande och har fortsatt in i våra dagar med en kontinuerlig avsättning av postglacial lera i älvens mynningsområde. De finkorniga sedimentens totala mäktigheter i älvdalen är betydande. Mäktigheter på upp till 130 m har redovisats i Göteborg.

Surte södra ligger på det bekanta skredområdet, där skredolyckan 1950 åstadkom stor förödelse. Ett ca 24 ha stort bebyggt område gled ut mot Göta älv. Bostadsområdet ligger i skredets centrala del där marken sänktes 0-4 m under skredets inledande faser. Områdets SV-del lyftes 0-2 m vid skredet.

Energiuttag ur mark

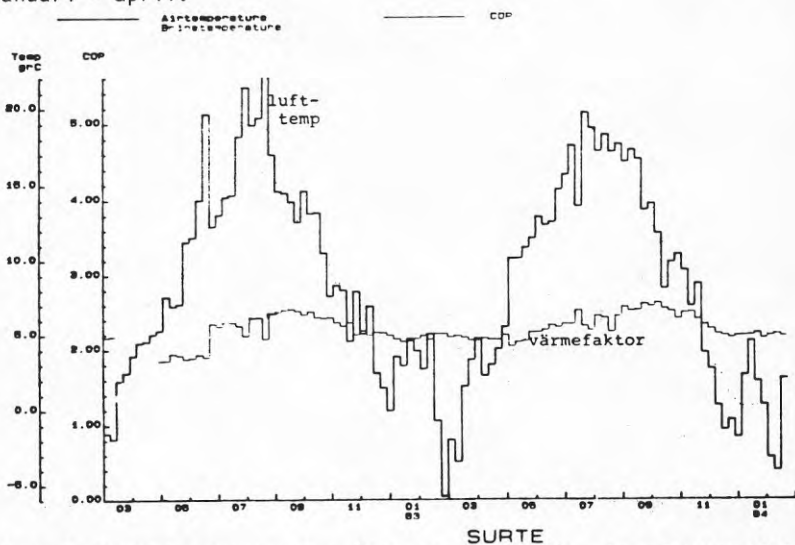
Energiuttaget ur mark sker med ca 300 m \varnothing 40 mm PEL-slang till varje värmepump. Det innebär att ca 26 km slang är utlagd i området, på tomtmark och allmän mark. Slangen är förlagd på 0.8-1.0 m djup med ett c/c-avstånd på 1.0-1.5 m.

Leran i de områden som omfattats av markpåverkanstudien är huvudsakligen en torrskorpelera med värmekonduktivitet $\lambda=1.2 \text{ W/m, } ^\circ\text{C}$, värmekapacitet $\approx 3.0 \times 10^6 \text{ J/m}^3, ^\circ\text{C}$.

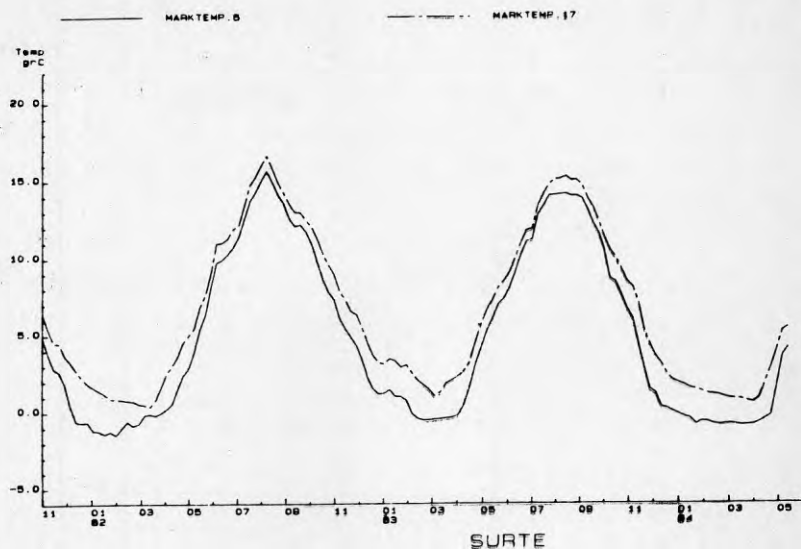
Vid värmeuttag i mark med ytjordvärmsystem sker en nedkylning av marken. Nedkylningen är störst nära slangen (värmeuttaget) och sprids utåt. Vid en "normal" dimensionering av ytjordvärmsystem utgörs en del av energin av latent värme, dvs frysning av vattnet i jorden närmast värmeuttaget.

För perioden 820628-830627 kan energiuttaget ur mark totalt för området uppskattas till ca 680 000 kWh (86 värmepumpar). Det motsvarar ett energiuttag på ca 20 kWh/m^2 och år, ett mycket måttligt energiuttag. Det innebär att marken tjälades mycket lite under den milda vintern 1982/83. Vintern 1983/84 var något kallare men endast vintern 1981/82 medförde frysning av marken i större omfattning. Under vintermånaderna har värmepumparnas gångtid varit 30-45%. Då har effektuttaget under drift varit ca 17 W/m med en köldbärartemperatur på -1°C .

För ett av de hus där mätning på värmepump och marktemperatur gjorts visas i figur 1 hur köldbärartemperatur och värmefaktor varierar under en tidsperiod. Även lufttemperaturen är redovisad i samma figur. I figur 2 visas marktemperaturen på 0.8 m djup intill jordvärmslang och mitt emellan två slangar (ca 0.75 m från jordvärmslang) för samma jordvärmsystem som figur 1. Det framgår av figurerna att värmefaktorn är relativt konstant under året, trots att köldbärartemperaturen sjunker under 0°C under januari - april.



Figur 1 Köldbärartemperatur (brinetemperatur), värmefaktor (COP) och utelufttemperatur för hus 2 i Surte under perioden mars 1982-februari 1984.



Figur 2 Marktemperaturen intill jordvärmeslang (nr 5) och mitt emellan två jordvärmeslangar (nr 17) på 0.8 m djup under perioden november 1981 - maj 1984 (Hus 2).

I tabell 1 visas medeltemperaturen i mark under två år i ett område med energiuttag. Det är en jämförelse mellan två vertikala profiler, en intill jordvärmeslang och en mellan två slangar. I medeltal är temperaturen ca 1°C lägre i profilen intill jordvärmeslang mätt från markytan ned till 1.5 m djup.

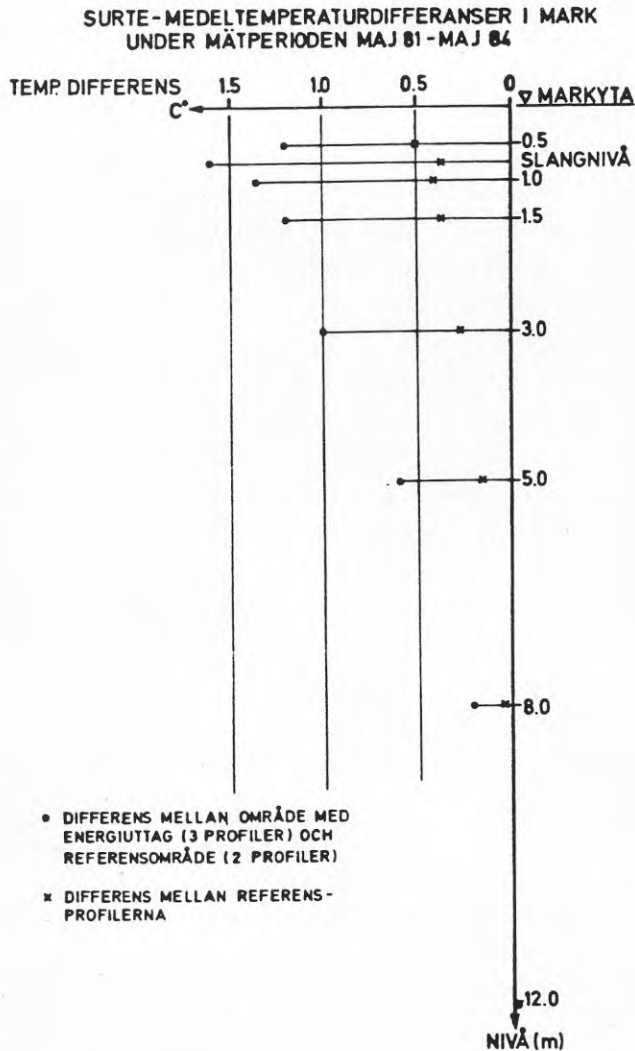
Tabell 1 Medeltemperatur i område med energiuttag. Mätperiod 820215-840225.

Djup (m)	Temperatur $^{\circ}\text{C}$	
	Profil intill slang	Profil mellan slangar
0.25 m	7.14	8.28
0.5 m	7.55	
0.75 m	6.05	7.58
1.0 m	6.81	
1.5 m	6.80	7.04
3.0 m	6.67	

Period 820215-840215.

Medellufttemperatur under perioden = 8.4°C .

De mer långsiktiga konsekvenserna av markvärmeuttag har registrerats i 6 vertikala profiler (ned till 12 m djup, 10 givare i varje profil). Marktemperaturen i ostörd mark är registrerad i två profiler och i mark med värmeuttag i fyra profiler. Medeltemperaturen under perioden maj 1981 - maj 1984 på de olika djupen i marken har beräknats. Medelvärdet för ostörd mark har satts till referens (0-nivå, medeltemperaturen för två profiler) och temperatursänkningen för slangtäckt område (medeltemperatur för tre av de fyra profilerna) är sedan avsatta åt vänster i figur 3.



Figur 3 Medeltemperaturdifferens i mark mellan markområde med värmeuttag och referensområde.

Största differensen (1.6°C) uppstår i slangnivå. På 0.5 och 1.5 m djup är differensen ca 1.2°C . Temperaturdifferensen sjunker sedan med djupet, men på 5.0 m djup är skillnaden fortfarande ca 0.6°C . I figuren är även skillnaden i medeltemperatur mellan de två ostörda markprofilerna avsatta.

Det är således en måttlig temperatursänkning i markens översta 1-3 m som åstadkommit genom energiuttagen. Skillnaden är knappast större än vad som naturligt kan förekomma inom ett område på grund av tex skuggverkan och vegetation. En jämförelse mellan tabell 1 och figur 3 visar även att slangarna inverkar mycket måttligt på varandra. Mitt emellan två jordvärmeslangar (c/c 1.5 m) har vi medeltemperaturer som inte skiljer sig speciellt mycket från ostörd mark.

Vegetationssäsongen, definierad som tidsperiod med varaktig marktemperatur överstigande $+5^{\circ}\text{C}$ på 25 cm djup, har jämförts. Under de tre undersökta säsongerna (1981, 1982, 1983) är vegetationssäsongen 20, 15 resp 7 dygn längre på markytor utan energiuttag än på mark med energiuttag. I stort sett hela skillnaden i vegetationssäsong infaller under våren.

Slangrörelser, sättningar

Jordvärmeslangarnas rörelser i marken vid värmeuttag har registrerats genom avvägning av slangarnas läge. Sättningsgivare är placerade dels direkt på slang och dels mellan jordvärmeslangar.

Mätgivarna är placerade vid slangar som huvudsakligen ligger i en torrskorpelera. Av sättningsmätningarna framgår att slangrörelserna direkt kan hänföras till perioder med frysning intill slangens. Slangarna rör sig uppåt i samband med frysningen och efter upptiningen under våren sjunker de långsamt tillbaka. I absolutnivå visar mätningarna på en slangförflyttning på 1-3 cm jämfört med utgångsläget. Totalt sett är slangrörelserna obetydliga. I torrskorpelera förefaller rörelserna fortgå år efter år och amplituden förefaller beroende av energiuttaget (frysningen).

Förändringar av leran intill jordvärmeslang vid temperaturer under 0°C

Vid värmeuttag med slutna slangsystem i mark sker en fuktrörelse från omgivande jord till jordvärmeslangen. I en lerjord medför energiuttag med frysning att vattnet i marken fryser som linser radiellt runt jordvärmeslangen. Islinsbildning vid frysning sker i de flesta finkorniga jordarter.

Provtagning av fryst lera runt jordvärmeslang har gjorts vid två tillfällen under projektets gång, i mars 1982 och i april 1984. De tjälade proverna visar totalt sett en markant högre vattenkvot än den ofrusna leran, ca 90% vattenkvot jämfört med 42.7% för ofrusna leran. Leran mellan islinserna uppvisar ungefär samma värden, ca 44% i genomsnitt, som den ofrusna leran.

Vid provtagningstillfällena framkom att den övre delen av den frysta zonen var något mjukare och kraftiga islinser saknades helt. Däremot fanns tunna islinser. Ju närmare röret ju större islinser och direkt på röret ett 0,5-1.0 cm tjockt islager (ren is).

Vattenansamlingen runt jordvärmeslangen inverkar positivt på jordvärmesystemet. Jämfört med det naturliga vatteninnehållet i Surteleran medför det att en större del latent värme kan utvinnas nära jordvärmeslangen. En förbättrad dimensionering skulle kunna göras om det var möjligt att beräkna vattenhaltsökningen för olika jordarter vid frysning.

Referenser

- Caldenius C & Lundström R: The landslide at Surte on the river Göta älv. SGU serie Ca nr 27.
- Hallén T & Edberg B, 1984: Surteprojektet, detaljstudie av två värmepumpsaggregat. Delrapport i koncept från Inst. för värmeteknik och maskinlära, CTH.

Jansson P-E & Lundin L-C, 1984: Fysikaliska effekter av ytjordvärmeuttag. BFR-rapport R50:1984.

Norrman I & Sundberg Å, 1963: Göta älv. Hydrologi och morfologi med särskild hänsyn till erosionsprocesserna. SGU serie Ca nr 43.

Sundberg J, 1982: Metoder för bestämning av värmeöverförande egenskaper i jord och berg. Rapport nr 5:1982. Jordvärme-gruppen CTH.

Wilén P, 1982: Ytjordvärmsystem i lera för 88 enbostadshus i Surte. Markpåverkan. Delrapport. Rapport nr 12:1982. Jordvärme-gruppen CTH.

Ytjordvärme - markkollektorn. BFR-seminarium mars 1982. BFR-rapport R37:1983.

DETALJSTUDIE AV TVÅ VÄRMEPUMPSYSTEM

Totalt ingår i projektet 88 st hus inom ett begränsat område. Vart och ett av husen är utrustat med en AGA-Thermia värmepump typ JBC 400 M.

Värmepumpens nominella effekt anges till 10 kW när köldbärartemperaturen är ± 0 °C och värmebärartemperaturen uppgår till +50 °C. Det maximala effektbehovet för ett hus är ca 5 kW vid $T_{ute} = -20$ och följdaktligen är värmepumparna väl tilltagna vilket speglas i att drifttiderna blir korta.

Av de 88 småhusen har 2 st referenshus valts ut, hus A och hus B, för mätning av energiförbrukning, temperaturer och dylikt.

I hus A bor 2 vuxna och 2 barn och i hus B bor 2 vuxna.

Följande storheter har mätts i de båda husen:

- temperaturdifferens över köldbäraren
- köldbärartemperatur före förångare
- köldbärarflöde
- temperaturdifferens över radiatorvatten
- radiatorframledningstemperatur
- radiatorvattenflöde
- temperaturdifferens över tappvarmvatten
- utgående tappvarmvattentemperatur
- tappad varmvattenvolym
- totalt till värmepumpaggregatet tillförd el
- antal starter
- drifttid
- inomhustemperatur
- utomhustemperatur.

Utifrån dessa uppmätta storheter har sedan kylenergi, radiatorvärmebehov, tappvarmvattenbehov (volym och energi), elbehov, värmefaktor m m framräknats. Vad gäller värmefaktorn så har beräkning skett både från "varma" och "kalla sidan", dvs varm värmefaktor = $(RAD + VV) / EL$ och kall värmefaktor = $(KYLA + EL) / EL$. Skillnaden mellan dessa båda är de förluster som uppstår, dels värmeförluster från vattenbehållare, dels förluster vid drift från kompressor, tryckrör och köldbärarpump. Detta innebär att "kall värmefaktor" alltid uppvisar ett högre värde än varm värmefaktor. Den av ovannämnda förluster representerade energimängden är dock ej att betrakta som helt onyttig eftersom den i stort sett tillförs huset. Med tanke på detta får man anse att beräkning från kalla sidan ger den för huset mest riktiga värmefaktorn.

Mätdata har insamlats från de 2 referenshusen under ca 2,5 år och har efterhand utvärderats av Mätcentralen, CTH.

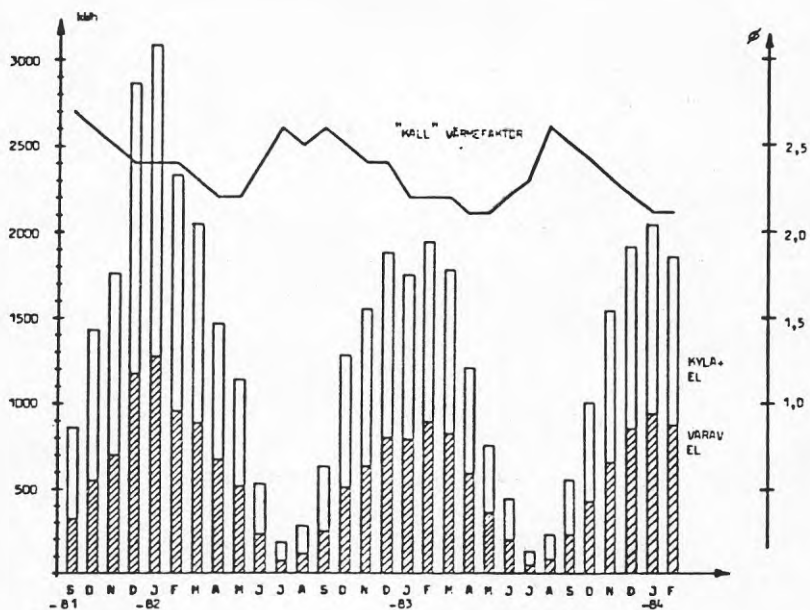
Mätningarna har under perioden störts av datafel, mätfel, havererade mätare m m vilket orsakat viss diskontinuitet i mätningarna, dock ej i sådan utsträckning att värdet av resultatet minskat.

Totalt förbrukar de båda referenshusen i stort sett lika mycket energi. Dock har hus B mindre tappvarmvattenförbrukning än hus A, vilket är rimligt med tanke på att hus B bebos av endast 2 personer, å andra sidan har hus B något större radiatorenergibehov.

Typiska värden för ett hus är:

- total energiförbrukning \cong 14000 kWh/år
- elförbrukning \cong 6100 kWh/år
- energibesparing \cong 7900 kWh/år
- årsvärmefaktor \cong 2,3

I diagrammet nedan visas energimängder och värmefaktor månadsvis under hela mätperioden för hus A. Den påtagligt större energiförbrukningen under vintern 81/82 kan förklaras av att den perioden uppvisar ett kallare klimat än de 2 påföljande vintrarna.



Figur 1 Mätresultat månadsvis för hus A

- Summan av värmeupptagning från jorden och elförbrukning för värmepump (höga staplar)
- Elförbrukning för värmepump (låga staplar)
- Kall värmefaktor, dvs förhållandet mellan stapelvärdena (kurvan)

Referenser

Hallén, T, Edberg, B, Surteprojektet - värmeteknisk utvärdering av två referenshus (rapporten publiceras i jordvärmegruppens serie. Finns även hos Byggdok).

5 STUDIER AV ELFÖRBRUKNING OCH EKONOMI

Elförbrukning både för husen i grupp och för 9 enskilda hus behandlas. Mätningar av effektuttag har pågått kontinuerligt under 4 år. För att få jämförelser med värmepumpområdet har eluttaget för hus i grupp samtidigt mätts i ett område med direktelsystem, Skepplandaområdet, samt i ett område med enbart hushållsel, Önneredsområdet. Båda är grupphusområden av ungefär samma storlek som Surteområdet och ligger i Göteborgsregionen. Skepplandahusen representerar värmeisoleringsstandarden för hus byggda från mitten av 60-talet till mitten av 70-talet medan Surtehusen representerar isoleringsstandarden för senare byggda hus där värmeisoleringskraven enligt SBN 80 har följts.

Förutom elförbrukning behandlas även husens värmeförbrukning samt ytjordvärmesystemens värmetekniska prestanda. Vidare är en del el- och värmetekniska normalårsvärden framtagna ur mätresultaten och ligger till grund för ekonomiska jämförelser av eltariffer samt av olika typer av värmesystem för småhus.

I det följande redovisas de eltekniska studiernas huvudpunkter och väsentligaste resultat med en del kommentarer.

Elenergens tidsfördelning - tariffjämförelser

För lågspänning planerar Vattenfall som alternativ till säkringstarifferna en differentierad sk tidstariff med fyra energiavgifter. Tidsperioderna är november - mars respektive april - oktober, måndag - fredag kl 06-22 respektive övrig veckotid med energiavgifter mellan 10 öre/kWh (sommarnatt/helg) och 30 öre/kWh (vinterdag).

För tidstariffen är genomsnittligt energipris ca 18 öre/kWh vid ren hushållsförbrukning och ca 19 öre/kWh om elvärmeförbrukning ingår. Säkringstarifferna ger 23 öre/kWh respektive 18,5 öre/kWh.

Utvärderingen visar alltså att tidstariffen är praktiskt taget helt okänslig för uttagsmönstret hos abonnenter i bostäder vare sig någon form av elvärme eller ej ingår i elförbrukningen.

Maximala eleffekter - utnyttjningstider

Flera års uppmätta värden på nätstationsnivå ligger till grund för följande effekt- och energiuppgifter. För Skeplanda- respektive Surteområdet har uppgifterna sinsemellan gjorts jämförbara genom korrigeringar med hjälp av temperaturuppgifter ur klimatstatistiken för Göteborg (figur 1).

Normalår	Skeplanda (direktel)	Surte (jordvärme)	Önnered (hushåll)
Max 1h-effekt (kW/hus)	8,5	4,0	1,24
Energiuttag (kWh/hus)	20670	10580	3900
Utnyttjningstid för 1h-effekt (h/år)	2430	2650	3150

Utnyttjningstiden är alltså något längre för jordvärme- än för direktelområdet. Två faktorer dämpar dock skillnaden. För det första förekommer det allmänt nattsänkning av inomhustemperaturen i Surteområdet. Det medför att värmepumparnas elförbrukning samvarierar med hushållselförbrukningen och ger en effekttopp under ett par morgontimmar. För det andra är värmepumparna placerade i kalla förrådsutrymmen där aggregatets värmeförluster ej kommer bostadsutrymmet tillgodo.

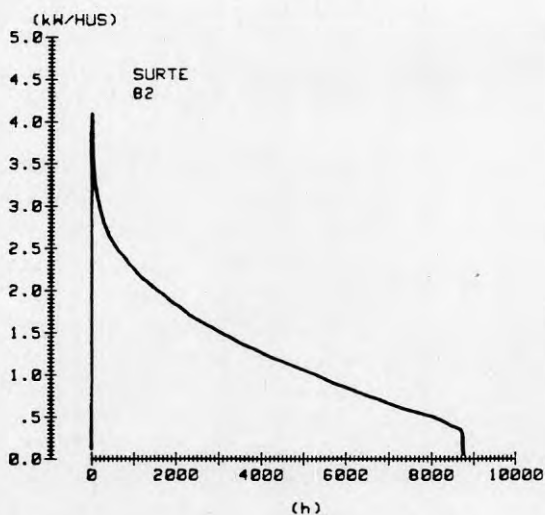
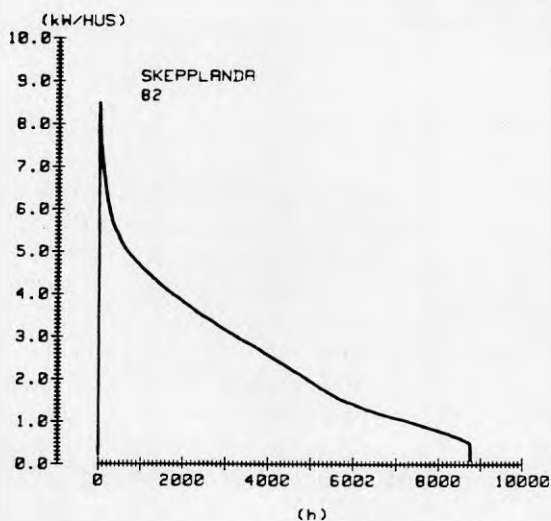
Eleffektens sammanlagring och överlagring

Eleffektens sammanlagring från enskilda hus till lågspänningsnätets transformatorstation är uppmätt i Surteområdet. För jordvärmeområdet gäller liksom för direktelområdena att sammanlagringen är avslutad redan efter ett 10-tal hus. Sammanlagringsfaktorn 1h-, 2h- respektive 6h-effekt ligger i båda fallen på ca 0,65, 0,70 respektive 0,80.

Överlagringen för Surte- respektive Skeplandaområdet som helhet är utvärderad för 3 baslaster med olika sammansättning mellan elförbrukning i industrin och övrig samhällssektor. Jordvärmeområdet har genomgående lägre överlagringsfaktorer än direktelområdet. Områdenas överlagringsfaktorer ligger på 0,76 respektive 0,92 för industribetonad baslast samt på 0,92 respektive 0,98 för bostadsbetonad baslast. Den allmänt förekommande nattsänkningen i Surteområdet påverkar dock bilden. Om nattsänkning saknats hade skillnaden mellan systemtyperna troligen blivit större.

Ytjordvärmesystemets värmefaktor

Beräkningen av den genomsnittliga värmefaktorn är baserad på uppmätta årsmedelvärden för å ena sidan värmeförbrukningen för tappvarmvatten och radiatorer och å andra sidan elförbrukningen för värmepumparnas drift. De använda mätvärdena härrör från mätningar i 9-hus och därmed 9 värmepumpsystem. Den genomsnittliga totala värmeförbrukningen per hus är 13 900 kWh medan elförbrukningen för värmepumpen är 6 700 kWh. Härur fås årsvärmefaktorn 2,06. Om värmepumpaggregaten hade varit placerade inom den uppvärmda delen av husen hade även värmeförlusterna nyttiggjorts och årsvärmefaktorn blivit ca 2,4.



Figur 1 Årsvaraktighetskurva 1982 för Skeplandaområdet (direktelvärm + hushållsel) och Surteområdet (jordvärme + hushållsel).

Elförbrukningens årskostnad - tariffjämförelse

Årskostnaden för den enskilde husägarens elanvändning är framtagen dels med hjälp av den nya tidstariffen, dels med hjälp av de vanliga säkringstarifferna. För att jämförelserna mellan jordvärmesystem och direktelsystem ska bli helt relevanta har hus med en och samma värmeförbrukning tagits som exempel. Normalårsvärden för energi- och effektuttag i Göteborgsklimat ligger till grund för framräknade energi- och effektagifter.

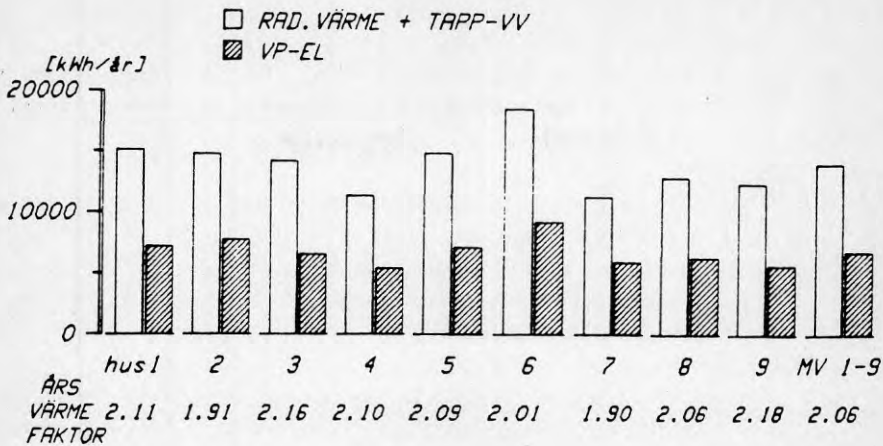
Tariffjämförelsen visar att tidstariffen ger upp till ca 100 kr lägre årskostnad än säkringstarifferna för fallen med elvärmesystem. För ett fall med enbart hushållsel ger tidstariffen ca 250 kr lägre årskostnad än säkringstariffen.

Ytjordvärmesystemets privatekonomi - jämförelse med andra värmesystem i småhus

Årskostnader för småhus utrustade med olika slags uppvärmningssystem är framtagna genom sammanställning av kostnader för drift, underhåll och kapitalupplåning. Behandlade uppvärmningsalternativ för nya småhus är dels direktelsystem, dels system med vattenburen elvärme, dels ytjordvärmesystem. Surteområdets hustyp representerar i kostnadsexemplen kategorin nya småhus. Uppvärmningsalternativen för äldre småhus är system med vattenburen elvärme respektive ytjordvärmesystem. Denna kategori representeras av Skepplandaområdets hustyp. Utgångspunkten är här ett exempel med befintlig, oljeeldad pannanläggning. Privatekonomiska kostnadsberäkningar är gjorda med hänsyn till kapitallånemöjligheter, bidrag och lånebetalningsvillkor från fall till fall. Som huvudförutsättningar gäller 50 % marginalsatt, 20 års ekonomisk livslängd samt kostnader framtagna i fast penningvärde vid 8 % inflation.

Kostnadsjämförelsen visar att jordvärmesystemet har lägre årskostnad än övriga alternativ om direktelsystemet undantas. Jordvärmesystemets högre kostnad jämfört med direktelsystemet beror till viss del på att dess radiatorsystem är dyrare än direktelsystemets elpaneler. För kategorin nya småhus ligger jordvärmesystemets årskostnad ca 300 kr under systemet med vattenburen elvärme. Motsvarande skillnad ligger för kategorin äldre småhus på ca 800 kr och skillnaden gentemot oljeeldad pannanläggning ligger på ca 3000 kr.

Driftkostnaderna i exemplen med ytjordvärmesystem är alla baserade på årsvärmefaktorn 2,06. Denna kan höjas till 2,4 genom lämplig värmepumpplacering vilket sänker driftkostnaden med ca 300 kr.



Figur 2 Värme- och elförbrukning samt värmefaktor under ett år (april 1983 - mars 1984) för 9 värmepumpsystem i Surteområdet.

Referenser

- Jilar, T, 1985, Surteprojektet - 88 småhus med ytjordvärme, Studier av elförbrukning. (Rapporten publiceras som internskrift vid avdelningen för Installationsteknik, CTH. Finns även hos Byggdok).
- Jilar, T, 1980, Elvaraktighetsstudier för grupphusområden med och utan villavärmepumpar. (Internskrift 1:8, 1980, Avd för installationsteknik, CTH.) Göteborg.
- Sundell, J, 1980, Simulation Model of Heat Pump System for single Family Dwellings. (Department of Electric Power Systems Engineering, the Royal Institute of Technology.) Stockholm.
- Registrering av effektuttag i elvärmda småhus, 1979. (Energiverken i Göteborg.) Göteborg.
- Sundell, J, 1979, Inverkan av värmepumptillämpningar på kraftsystemplanering och -drift, Delrapport 3: Simulering av värmepumpbelastningar. (Forskningsgruppen för elektriska energisystem, Institutionen för elektrisk anläggningsteknik, KTH.) Stockholm.

- Gustavsson, T, 1978, Utvärdering av belastningsmätningar vid några olika uppvärmningsformer för villor. (Examensarbete, Institutionen för elektrisk anläggningsteknik, KTH.) Stockholm.
- Fransson, R, Analys av belastningsmätningar vid uppvärmning av villor med värmepump samt utvärdering av belastningens inverkan på distributionsnät och produktionssystem. (Examensarbete, Institutionen för elektrisk anläggningsteknik, KTH.) Stockholm.
- Franck, P-Å, et al, 1981, Värmepump med vertikalt jordvärmesystem och vindkonvektorer. (Rapport nr 2, Jordvärmegruppen, CTH.) Göteborg.
- Hallén, T, 1982, Surteprojektet, Detaljstudier av två värmepumpaggregat, Delrapport till Byggforskningsrådet. (Institutionen för värmeteknik och maskinlära, CTH.) Göteborg.
- Rehn, I, 1982, Horisontella jordvärmesystem över och under grundvattenytan, geologiska förutsättningar i Orsa. (Rapport nr 4, Jordvärmegruppen, CTH.) Göteborg.
- Andersson, K-E, et al, 1982, Geologiska faktorerers betydelse vid dimensionering av horisontella ytjordvärmesystem. (Examensarbete, Publ. B 190, Chalmers tekniska högskola, Göteborgs universitet, Geologiska institutionen.) Göteborg.
- Wilén, P, 1983, Ytjordvärmesystem i lera för 88 enbostadshus i Surte, Markpåverkan. (Rapport nr 12, Jordvärmegruppen, CTH.) Göteborg.
- Berntsson, T, 1980, Dimensionering av jordvärmesystem. (Byggforskningsrådet, Rapport R53:1980.) Stockholm.
- Modin, B, Wilén, P, 1980, Byggnadsuppvärmning med jordvärmepump, Geologiska förutsättningar för värmelagring i lera inom större tätorter i Mellansverige. (Byggforskningsrådet, Rapport R88:1980.) Stockholm.
- Jordvärmegruppen, 1980, Användning av mark som värmekälla för värmepumpar i tätort, Översiktliga tekniska-ekonomiska bedömningar. (Byggforskningsrådet, Rapport R149:1980.) Stockholm.

- Glas, L-O, 1978, Värmepumpboken. (Ingenjörsläroverket AB.) Stockholm.
- Värmepumpar, Underlag för BFR:s programplan 1981-1984, 1980. (Byggnadsrådet, G33:1980.) Stockholm.
- Uppvärmningsalternativ för småhus - En jämförelse. (Föreningen FERA:s elvärmegrupp, blad G4, 1982 mars, Elvärmegruppens pärm.)
- Sammanlagrings- och belastningsstudier. (SEF:s tariffråd, Arbetsgruppen för sammanlagrings- och belastningsstudier (AG4).)
- Troedsson, T, et al, 1982, Ekologiska effekter av ytjordvärmeuttag. (Byggnadsrådet, Rapport R51:1982.) Stockholm.
- Jansson, P-E, Lundin, L-C, 1982, Fysikaliska effekter av ytjordvärmeuttag, Simulerade uttag för olika marker och klimat. (Byggnadsrådet, Rapport R50:1984.) Stockholm.
- Gustafsson, T, Enocksson, B, 1981, Eleffektuttag i småhusområden samt klimatdatabehandling. (Examensarbete E17:1981, Avd för installationsteknik, CTH.) Göteborg.
- Henrikz, S, Söderström, B, 1983, Elvaraktighetsstudier samt värmeekonomi för grupphusområden med och utan villavärmepumpar. (Examensarbete E35:1983, Avd för installationsteknik, CTH.) Göteborg.
- Lundström, E, Boendevanors inverkan på energiförbrukningen i småhus. (Byggnadsrådet, T46:1982.) Stockholm.
- Andersson, K A, 1981, Ytjordvärme eller direktelvärme? Två års erfarenheter från ett småhusområde i Arvika. (Byggnadsrådet, Rapport R45:1981.) Stockholm.
- Markvärme, utvinning och lagring, BFR:s Markvärmegrupp, Underlag för BFR:s verksamhetsplan 1984-1987, 1984. (Byggnadsrådet, G4;1984.) Stockholm.
- Värme i jord, berg och vatten, Utvinning och lagring, 1981. (Byggnadsrådet T1:1981.) Stockholm.

- Statens Vattenfallsverk, 1983, Uppvärmningskostnader för småhus - förutsättningar och beräkningar. (Utredning från Avd Drift och försäljning, Marknadssektionen.) Stockholm.
- Statens Vattenfallsverk, 1983, Uppvärmningskostnader för småhus - utvärdering av uppvärmningskostnader. (Utredning från Avd Drift och försäljning, marknadssektionen.) Stockholm.
- Håkansson, U, Iwarson, B, 1984, Elförbrukning för småhus med och utan jordvärmepumpar, mätningar i grupphusområden samt privatekonomi. (Examensarbete E38:1984, Avd för installationsteknik, CTH.) Göteborg.
- Carlsson, L, Karlsson, M, Karlsson, B G, 1980, Surte-projektet, Tillförlitlighet för värmepumpar. (Rapport RE03-79, Institutionen för energiteknik, Avd Ängteknik med reaktorteknologi, CTH.) Göteborg.
- Blinge, E, Carlsson, L, Lindström, H-O, 1980, Insamling av service- och driftstatistik i Surteprojektet. (Rapport RE10-79, Institutionen för energiteknik, Avd Ängteknik med reaktorteknologi, CTH.) Göteborg.
- Blinge, E, Carlsson, L, Lindström, H-O, 1980, En metod för uppskattning av felintensiteter - Exempel från värmepumpar. (Rapport RE09-79, Institutionen för energiteknik, Avd Ängteknik med reaktorteknologi, CTH.) Göteborg.

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860184-3
från Statens råd för byggnadsforskning till CTH, Avd för
installationsteknik, Göteborg.

R87:1990

ISBN 91-540-5258-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6801087

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirkapris: 41 kr exkl moms