



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

R1:1989

REF/sbl

Lidingö fjärrvärmecentral

Utvärdering av värmepumpar, el- och oljepannor

Henrik Enström
Lars Solin

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plad *Ser*

BYGGDOK

Institutet för byggdokumentation
Hälsingegatan 47
113 31 Stockholm, Sweden
Tel 08-34 01 70
Telex 12563. Telefax 08-32 48 59

Byggeforskningsrådet

R1:1989

LIDINGÖ FJÄRRVÄRMECENTRAL

Utvärdering av värmepumpar, el- och oljepanno

Henrik Enström
Lars Solin

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
830931-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till Skandinavisk Termoekonomi AB, Stockholm

REFERAT

Rapporten redovisar Lidingö fjärrvärmecentrals driftsresultat under två års drift. Förutom två värmepumpar ingår olje- och elpannor i anläggningen. Vissa resultat kan därför vara intressanta även utanför värmepumpsteknikens område. Bland resultaten kan särskilt nämnas att värmeupptagning ur mycket låga vattentemperaturer, 1 C och lägre, har kunnat studerats.

Resultaten riktar sig till kommuner, värmeverk, konsulter, forskare m fl. Lidingö fjärrvärmecentral ingår tillsammans med tre andra projekt i ett paket behandlade stora värmepumpar med avloppsvatten och/eller havsvatten som värmekälla och fjärrvärme som värmesänka.

I Byggforskningsrådets 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.

R1:1989

ISBN 91-540-4995-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

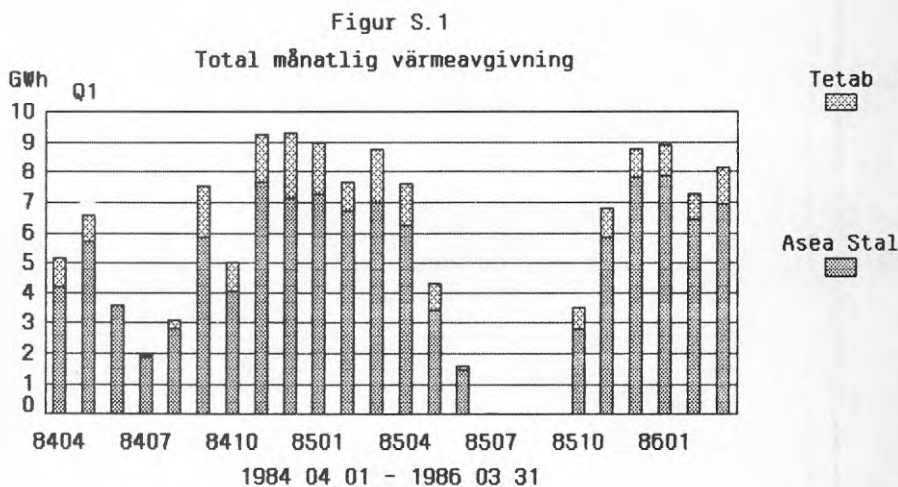
INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	2
1. INLEDNING	7
2. ANLÄGGNINGSBESKRIVNING	8
3. MÄTPROGRAM OCH UTVÄRDERING	15
3.1 Mätdatainsamling (MCE)	17
3.2 Mätutvärdering	17
4. SYSTEMPRESTANDA	19
4.1 System Tetab värmepump	19
4.2 System Asea Stal värmepump	24
4.3 System el- och oljepannor	33
5. ANLÄGGNINGSPRESTANDA	36
6. VÄRMEKÄLLA	45
7. VÄRMESÄNKA	50
8. EKONOMI	54
BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER	57
REFERENSER	58
BILAGA	59

På Lidingö finns två värmepumpanläggningar vid fjärrvärmecentralen. De upptar bägge värme ur havsvatten (ca 1–20 °C) och avger värme till fjärrvärmenätet (ca 60–80 °C), internt kyltekniskt finns dock stora skillnader. Den mindre anläggningen (3,5 MW) har levererats av Tetab och består av två värmepumpar försedda med skruvkompressorer. Asea Stal har levererat en värmepump på 11–13 MW med en turbokompressor.

Ett omfattande mätprogram har utförts under två års drift. data från ett 60-tal storheter har kontinuerligt lagrats varje timme och insamlats av Mätcentralen för Energiforskning, MCE, vid KTH. Totalt finns således drygt en miljon mätdata tillgängliga på MCE. Mätningarna har förutom värmepumparna även innefattat el- och oljepannor, varför hela fjärrvärmecentralen kan studeras.

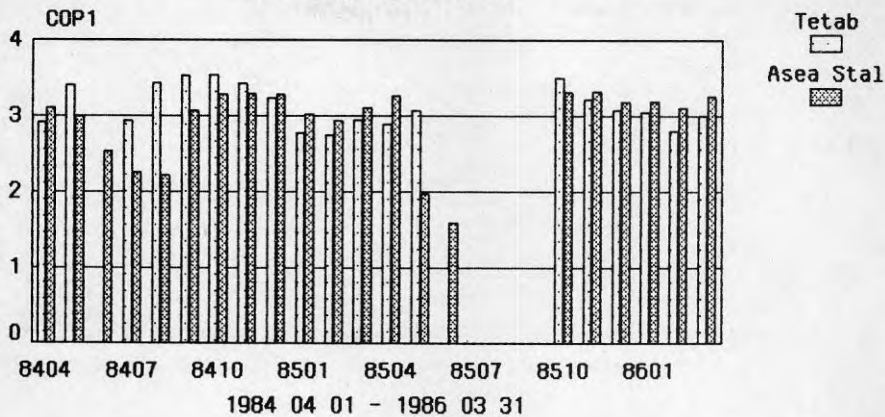
Värmepumparnas totala månatliga värmeavgivning framgår av figur S.1. Med kontinuerligt maximal kapacitet skulle hela anläggningen kunna leverera drygt 10 GWh/mån. Sommartid begränsas värmeleveransen av nätets behov och under 1985 prioritering av en avkopplingsbar elpanna. Under vinter och tidig vår är ofta värmekällans temperatur mycket låg, vilket förorsakar nedreglering av kapaciteten.



På motsvarande sätt visas värmefaktorn relaterad till kompressorernas elmotorer för respektive värmepump i figur S.2. De högsta värmefaktorerna uppnås under vår och höst då värmekällans temperatur är relativt hög och värmepumparna går på full kapacitet. An-

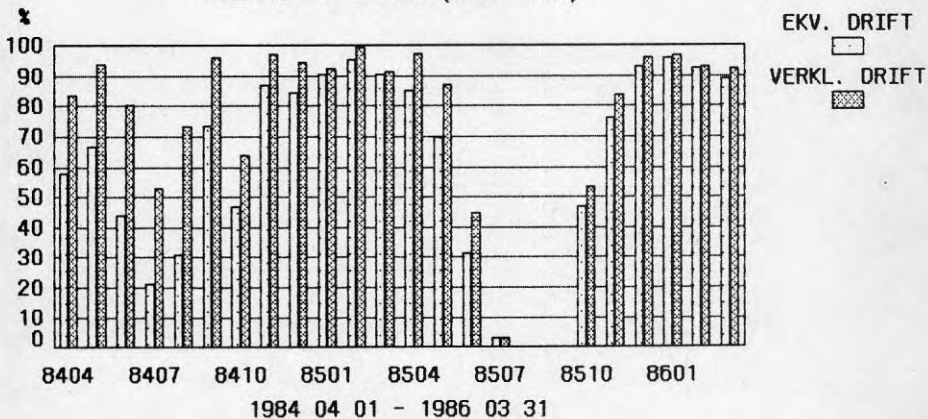
ledningen till den låga värmefaktorn sommartid för främst Asea Stal's värmepump är en betydande kapacitetsreglering.

Figur S.2
Månatlig Värmefaktor



Den större värmepumpens (Asea Stal) drifttid framgår av figur S.3. Där redovisas såväl den tid värmepumpen varit i drift samt dess ekvivalenta eller fulleffekts- drifttid.

Figur S.3
Relativ drifttid (ASEA STAL)

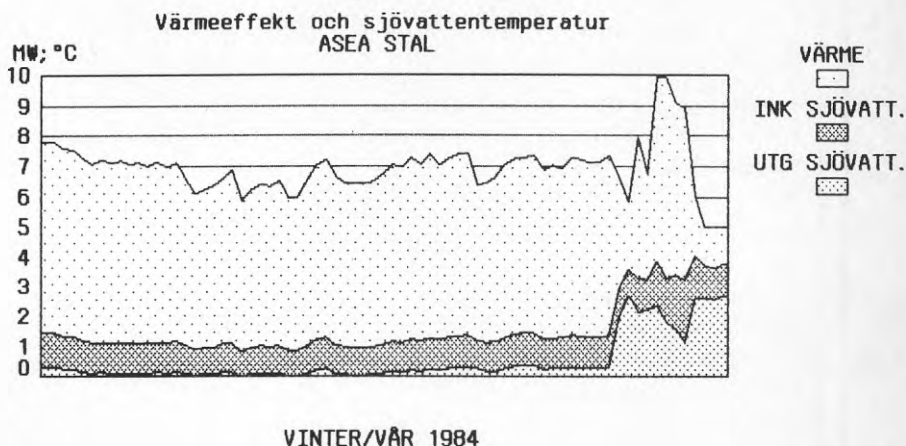


Fel och service på själva värmepumpen svarar för ca 45 % av stilleståndstiden. Återstoden, ca 55 %, hänförs till yttre begränsningar, främst prioritering av elpannor men även störningar i elleveransen,

hög fjärrvärmemetemperatur, pumpstopp etc. Räknat på total tid innebär detta en tillgänglighet för själva värmepumpen på 93,5 %.

Som framgår av figur S.4 har anläggningen varit i drift även vid mycket låga sjövattemperaturer, ned till endast 1 °C. Låga sjövattemperaturer har inte stoppad värmepumpen, men tvingat den gå med reducerad kapacitet. Andra orsaker till kapacitetsreglering är lågt värmebehov sommartid och prioritering av annan värmeenhet (elpannor). Av reglertekniska skäl har ibland också oljepannor varit i drift mer än nödvändigt, vilket minskat värmeutrymmet för värmepumpen.

Figur S.4

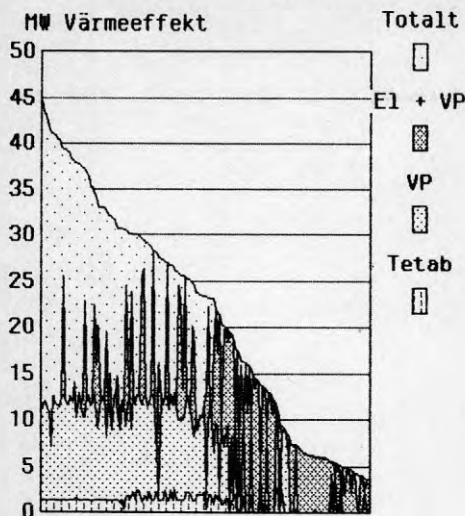


Då mätprogrammet omfattar fjärrvärmecentralens samtliga värmeenheter; oljepannor, elpannor och värmepumpar, kan "energimixen" studeras timme för timme. I rapporten redovisas detta såväl i kronologisk ordning som ackumulativt.

I figur S.5 visas ett varaktighetsdiagram från det andra mätåret, 1985/86. Där framgår med stor tydlighet hur elektricitet under stor del av året använts till elpannorna istället för till värmepumparna. Detta beroende på gällande regler avseende avkopplingsbar, skattebefriad, el. Även om elpannorna huvudsakligen varit i drift sommartid har ett visst elöverskott funnits även under andra tider på året. Under januari till och med mars har de dock ej använts, jämför kapitel 5.

Figur S.6 redovisar samma mätdata i ett cirkeldiagram. Respektive värmeenhets relativa värmeleverans syns då tydligt. En jämförelse med figur S.5 ger att värmepumparna skulle kunna svara för ca halva den totala värmeleveransen om tillgänglig el kunnat utnyttjas på bästa sätt.

Figur S.5

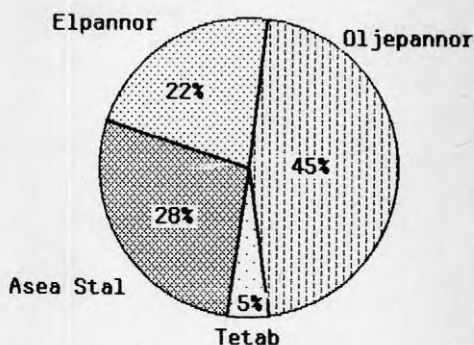
Varaktighetsdiagram
samtliga värmeenheter

1985-04-01 - 1986-03-31

Figur S.6

Total värmeleverans

20,1 GWh



1985 04 01 - 1986 03 31

Värmepumparna ägs av Vattenfall som säljer värme till Lidingö Energiverk enligt en alternativkostnadsprincip. Lönsamheten blir självfallet direkt avhängig kostnaden för alternativa bränslen, i detta fall tung eldningsolja och avkopplingsbar el.

Investeringskostnaden var 29,3 Mkr för Asea Stal's anläggning och 8,8 Mkr för Tetab's, motsvarande ca 2.500 kr/MW värme. Det första mätåret, 1984/85, var priserna för olja respektive el 1.950 kr/kbm samt 21 öre/kWh. En rak pay-off tid för anläggningarna blir då 3,8 respektive 5,5 år. Produktionskostnaden kan beräknas till ca 160 kr/MWh.

I rapporten ingår ett diagram där lönsamheten vid varierande energipriser redovisas. Därur framgår bland annat att värmepump-anläggningarna inte är lönsamma vid nuvarande prissituation (1988). Detta främst beroende på låga oljepriser.

Ett aktuellt och mycket uppmärksammat problem är de ofta betydande köldmedieläckage som har observerats från stora platsbyggda värmepumpar. Det är speciellt olyckligt då dessa av temperaturskäl oftast använder R12 som köldmedium. R12 är ett fullständigt halogenererat CFC-medium och är därför så stabilt att dess påverkan på stratosfärens ozonskikt blir förhållandevis stort.

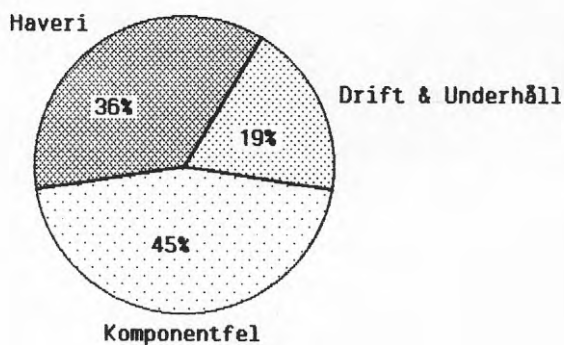
Köldmedieläckagen från Lidingöanläggningarna har också varit stora. Från driftstarten i november 1982 till och med januari 1986 redovisas ett läckage på drygt 20 ton. Det motsvarar en årlig förlust på

ca 25 % av totala fyllningsmängden. Figur S.7 visar detta läckage uppdelat på posterna haveri, komponentfel samt drift & underhåll. Uppenbarligen krävs såväl högre kvalitet på ingående komponenter som ändrad konstruktion och förbättrade rutiner för att nå acceptabla utsläppsnivåer.

Figur S.7

Köldmedieläckage nov -82 t o m jan -86

Totalt 20.150 kg



Lidingö Fjärrvärmecentral består av flera olika värmeproducerande enheter; 2 värmepumpar, 2 elpannor och 3 oljepannor. Den är därför ett intressant exempel på den ökande komplexitet som varierande energipriser har medfört under senare år.

I Byggforskningsrådets regi har flera utvärderingsprojekt av stora värmepumpar startats för att jämföra olika anläggningars tekniska och ekonomiska egenskaper. Denna rapport behandlar ett av dessa projekt. Syftet med projekten är bla att utvärderingen ska ske på ett likartat sätt för att lättare kunna göra jämförelser mellan anläggningarna.

Rapporten beskriver anläggningen och redovisar driftresultat och erfarenheter från två års drift. Totala systemdata för hela centralen samt mer detaljerade data om respektive enhet presenteras. Vidare beskrivs hur valet av värmeenhet till fjärrvärmenätet varierar under året, där energipriser bara är en parameter i beslutssituationen.

Senare tids debatt kring CFC-medier har ställt frågan om värmepumpars köldmedier i fokus. Projektet har därför utökats med statistik och erfarenheter avseende läckage under mätperioden.

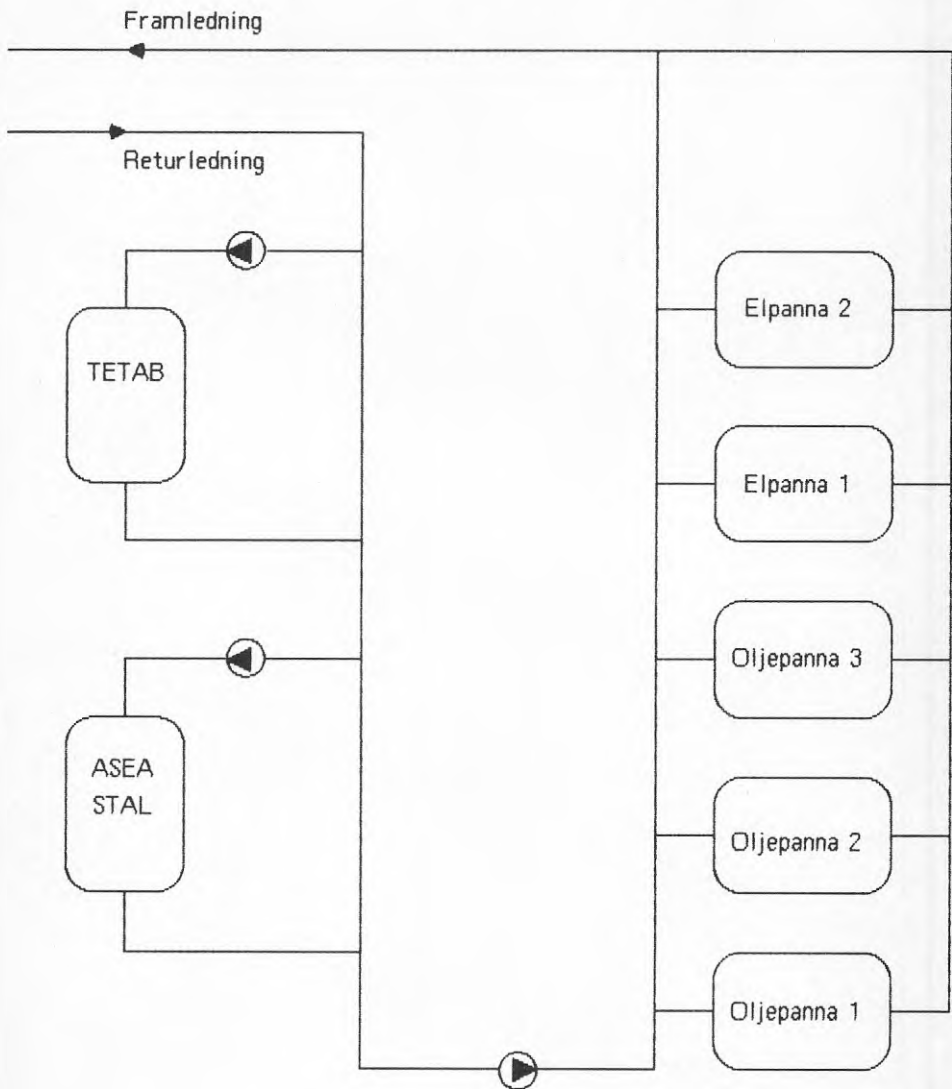
Resultat från utvärderingen har tidigare presenterats vid den XVI:e Internationella Kylkongressen i Paris 1983, vid ett tysk-svenskt seminarium i München 1986 samt vid den XVII:e Internationella Kylkongressen i Wien 1987.

Ett stort tack riktas till berörd personal vid Lidingö Energiverk, Vattenfall samt Mätcentralen för Energiforskning vid KTH för deras medverkan i projektet.

Fjärrvärmecentralen intill AGA-området på Lidingö består av 3 st oljepannor, 2 st sjövattnvärmepumpar samt fr. o. m. hösten 1984 även två elpannor avsedd för avkopplingsbar el, se fig 2.1. Anläggningen svarar för hela fjärrvärmebehovet på Lidingö.

Figur 2.1

Förenklat principkopplingschema över Lidingö fjärrvärmecentral



Värmepumpsystemen är levererade av Asea Stal respektive Tetab. De togs i drift under november -82 respektive maj -83.

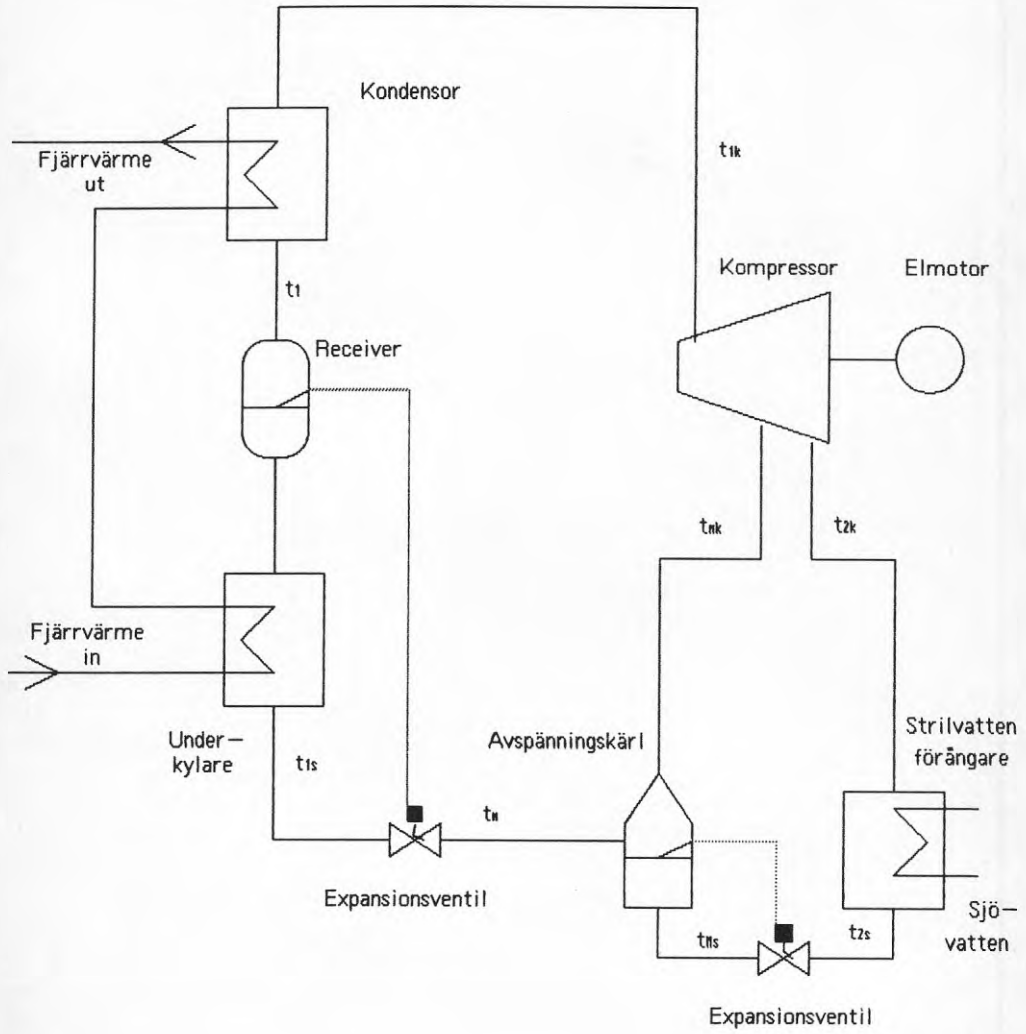
Värmepumparna är på varma sidan kopplade i serie, med Tetab-anläggningen först, därefter Asea Stal's anläggning samt som sista enheter oljepannor och elpannor.

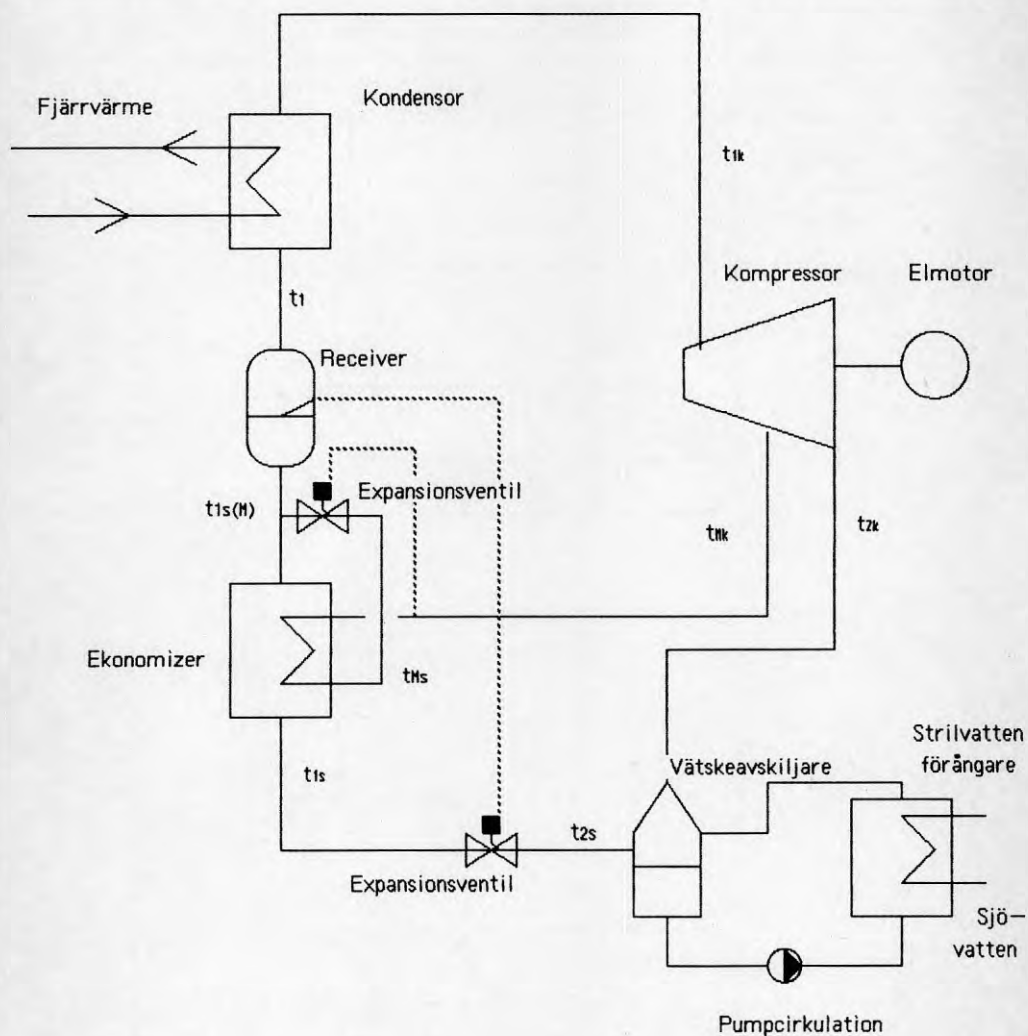
Sjövattnet pumpas upp från Lilla Värtan i en gemensam ledning för värmepumparna. Vattenintagen sitter på 3 a 4 meters djup och på ca 15 meters djup. Det senare används under vintern då djupvattnet är varmast. Växling av intag sker manuellt någon månad efter islossning, jämför figur 4.8.

Värmepumparna är på kalla sidan kopplade i parallell och utnyttjar ca 2 °C av sjövattnet innan det pumpas tillbaka ut i Värtan. De styrs på fyra parametrar; värmeeffekt, maximal ström, utgående kondensorvatten samt förångningstemperaturen. För Asea Stal's anläggning gäller börvärdena maximal ström 240 A, maximalt 80 °C utgående kondensorvattentemperatur samt minst -5.4 °C i förångningstemperatur. Lägsta godtagbara förångningstemperatur för Tetabvärmepumpen är något högre vilket troligen beror på bättre värmeövergång och därmed lägre temperaturdifferenser i förångaren. Motivet för begränsning av förångningstemperaturen är nämligen risken för isbildning på förångarytorna.

I Asea Stal:s system ingår en tvåstegs turbokompressor. Dess kapacitet regleras i första hand med ledskeneskovlarnas vinkel, därefter med by-pass reglering mellan hög och lågtryckssidan. Förångarna är av strilvattentyp, ca 450 st plattor à 1 x 1.2 m, utförda i Monit. I värmeväxlaren sker motströmsvärmväxling, där sjövattnet faller nedåt och köldmediet leds in nedtill i plattan, förångas och leds bort i toppen. På varma sidan sker värmeväxling till fjärrvärmvattnet i såväl kondensator som i underkylare. Värmeväxlarna är av tubpannetyp. I underkylaren kyls kondensatet till en lägre temperatur än kondenseringstemperaturen. Ca 10% av total värmeavgivning sker i underkylaren. Köldmediets underkylning förhindrar gasbildning före expansionsventilen och minskar förlusterna vid expansionen. I systemet finns även ett avspänningskärl, där bildad gas efter första expansionen (dvs vid ett mellantryck) avsugs och leds in i kompressorn på mellantrycksnivån. Med denna koppling sparas arbetet för att höja trycket från lågtryck till mellantryck för denna gasmängd. Köldmediesystemet visas i figur 2.2. Totalt avgiven värmeeffekt är ca 11-13 MW beroende på aktuella vattentemperaturer. Effekten kan regleras ned till ca 6 MW.

Den andra värmepumpanläggningen är levererad av Tetab och består av två separata köldmediekretsar, se figur 2.3. Total värmeeffekt är ca 3,5 MW vilket svarar mot fjärrvärmenätets dygnsmedeleffekt under högsommaren. I vardera enheten ingår en skruvkompressor, kondensator och förångare, samt övrig erforderlig utrustning. I varje system ingår två förångarpaket, vertikala tubpanneförångare med ca



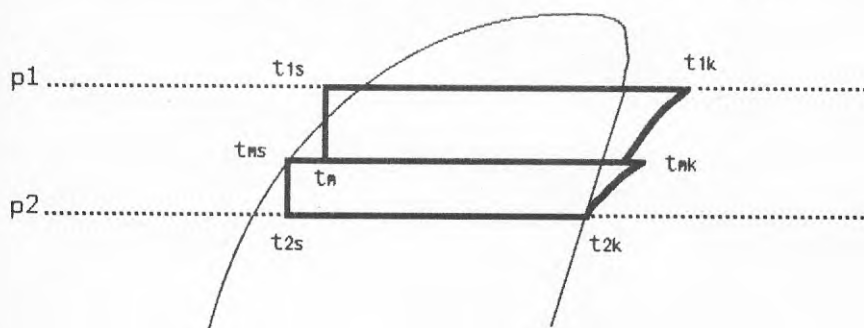
Principkopplingsschema – köldmediesystemet
TETAB

350 st tuber/ paket. Tuberna är 3.2 m höga med sjövattnet strömmande på utsidan. Materialet är 254 SMO.

En skillnad jämfört med Asea Stal's kopplingsprincip är att underkylare saknas, istället förhindras gasbildning före och under expansion genom kylning av condensatet med ett delflöde av expanderad gas, en så kallad economizerkoppling. Detta delflöde leds därefter till kompressorns mellantrycksnivå. Huvudflödet expanderar till vätskeavskiljaren i vars botten vätskan samlas. Vätskan pumpas till förångaren och en vätske/gas-blandning återförs vätskeavskiljaren. Bildad gas avsugs till kompressorns lågtrycksnivå. De bägge principerna för underkylning framgår också av figurerna 2.4 och 2.5. Där visas köldmediets principiella kretslopp för respektive anläggning.

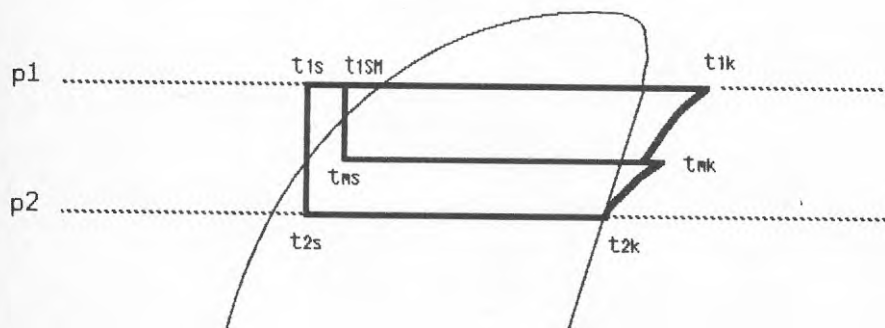
Figur 2.4

Kylprocessen i köldmediediagram, ASEA STAL



Figur 2.5

Kylprocessen i köldmediediagram, TETAB



Den relativa förångarytan är knappt hälften av Asea Stal´ s, vilket torde bero på en kraftig ytförstoring av förångarrören på köldmediesidan i Tetab´ s anläggning. Det största värmemotståndet vid värmeväxlingen kan hänföras till köldmediesidan, medan man har kraftig turbulens och högt värmeövergångstal på vattensidan. Oljesystemet i anläggningen kylde i början med fjärrvärmevattnet, men byggdes senare om till köldmediekylning då man inte ville riskera oljeläckage till vattnet. Elmotorns kylning sker med förångat köldmedium som överhettas innan det sugas in i kompressorn.

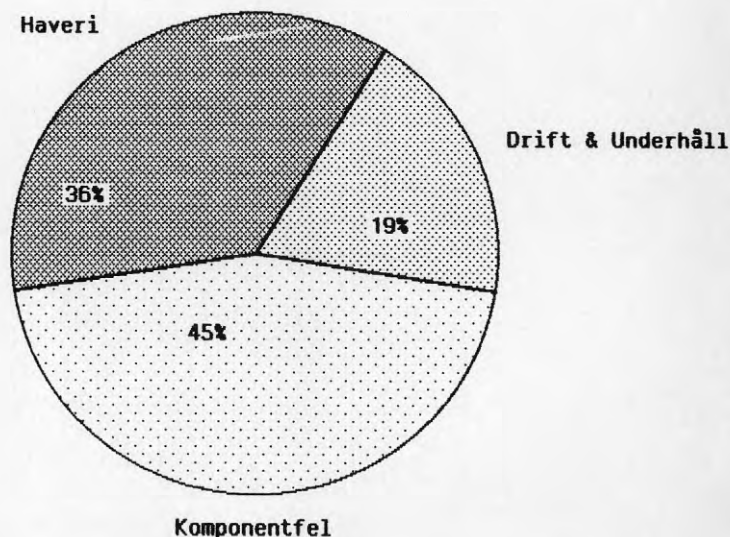
Värmepumparna använder R12 som köldmedium, i Asea Stal´ s system ryms ca 20 ton och i Tetab´ s 2x4 ton. Valet av R12 beror på erforderlig värmeavgivningstemperatur. Vid lägre temperaturkrav används hellre R22 på grund av dess större volymetriska köldalstring. R22 är även att föredra av miljöskäl då dess påverkan på ozonskiktet anses vara klart mindre än R12´ s. I anläggningarna finns läckagevarnare som gör personalen uppmärksam på höjda halter av köldmedium i luften. Detta är inte minst viktigt av arbetsmiljöskäl då gasen är tyngre än luft och vid mycket höga halter kan förorsaka risk för kvävning.

Köldmedieutsläppen har från starten i november 1982 till januari 1986 varit 18.150 kg för Asea Stal´ s anläggning och 2.000 kg för Tetab´ s. Det ger årliga utsläpp av 28 % (Asea Stal) respektive 9 % (Tetab, togs i drift maj-83). De stora utsläppen från främst den större värmepumpen har givetvis resulterat i diverse åtgärder. Figur 2.6 visar läckagens uppdelning på huvudrubrikerna komponenter, haverier samt drift & underhåll.

Figur 2.6

Köldmedieläckage nov -82 t o m jan -86

Totalt 20.150 kg



En stor post har komponentfel utgjort, ca 9.000 kg har försvunnit via felaktiga tätningar, ventiler etc. Dessa komponenter har bytts ut. En annan stor och svåråtkomlig post är haverier, i ovanstående siffror ingår 7.340 kg i samband med ett kompressorhaveri. Efter januari -86 har dessutom ett ventilhaveri inträffat i samband med servicearbeten på ett av Tetab's system, varvid merparten av fyllningen försvann. Ett liknande haveri har också drabbat Asea Stal's anläggning. Läckagen vid drift och underhåll uppgick under perioden ovan till 3.810 kg. Dessa torde kunna minskas med bättre packningar och bättre rutiner.

Normalt borde i första hand värmepumparna användas som värme-producenter. Prisrelationen mellan avkopplingsbar och "normal" el har dock tidvis gjort det mer lönsamt att nyttja elpannorna. Under sen höst, vinter och tidig vår måste olja användas för att klara erforderlig värmning. Under den tid som centralen är obemannad är värmepumparnas effekt manuellt nedställd så, att en oljepannas mineffekt ryms inom det totala värmeeffektbehovet. Vid ökande värmebehov ökas effektuttaget från oljepannorna medan värmepumpens kapacitet är oförändrad. En förändring av kapacitetskontrollen ska ske under sommaren 1988 i samband med ett datorbyte. Därefter kommer först värmepumparna att öka sin kapacitet för att klara ökande värmebehov och först i andra hand reglerar spetslastkällan upp.

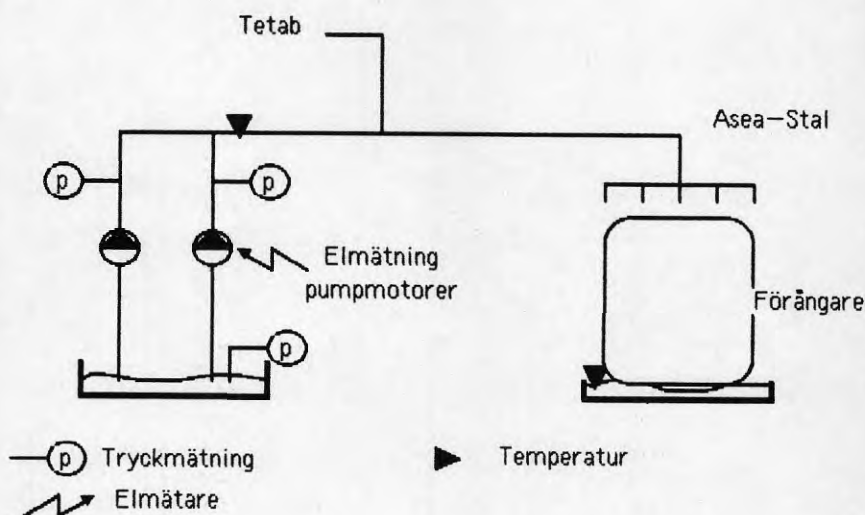
Centralen är under dagtid på vardagar bemannad av driftpersonal som kontrollerar anläggningen från ett kontrollrum. Övrig tid övervakas den från Stockholm Energi's kraftvärmecentral Värtaverket, ca 5 km från anläggningen. Personal därifrån ronderar regelbundet centralen och kan på kort varsel åtgärda larm och dylikt.

I mätprogrammet ingår ca 60 st mätta storheter. Vid anläggningen beräknas även värmefaktorn direkt för att uppnå större noggrannhet. Mätningarna har pågått under drygt 2 år, mellan mars 1984 till maj 1986. I programmet ingår mätning av temperaturer, flöden, energier och drifttider. I figur 3.1 och 3.2 redovisas mätpunktsplacering samt typ av mätpunkt. Mätningarna omfattar endast den sekundära sidan, några mätningar på köldmediesystemet har inte genomförts.

Mätningar har även utförts på hela fjärrvärmecentralen, inklusive olje- och elpanna, vilket gör det möjligt att studera hela värmeanläggningens funktion och prestanda. I kapitel 5 redovisas exempelvis varaktighetsdiagram där värmeavgivning från respektive anläggningsdel framgår.

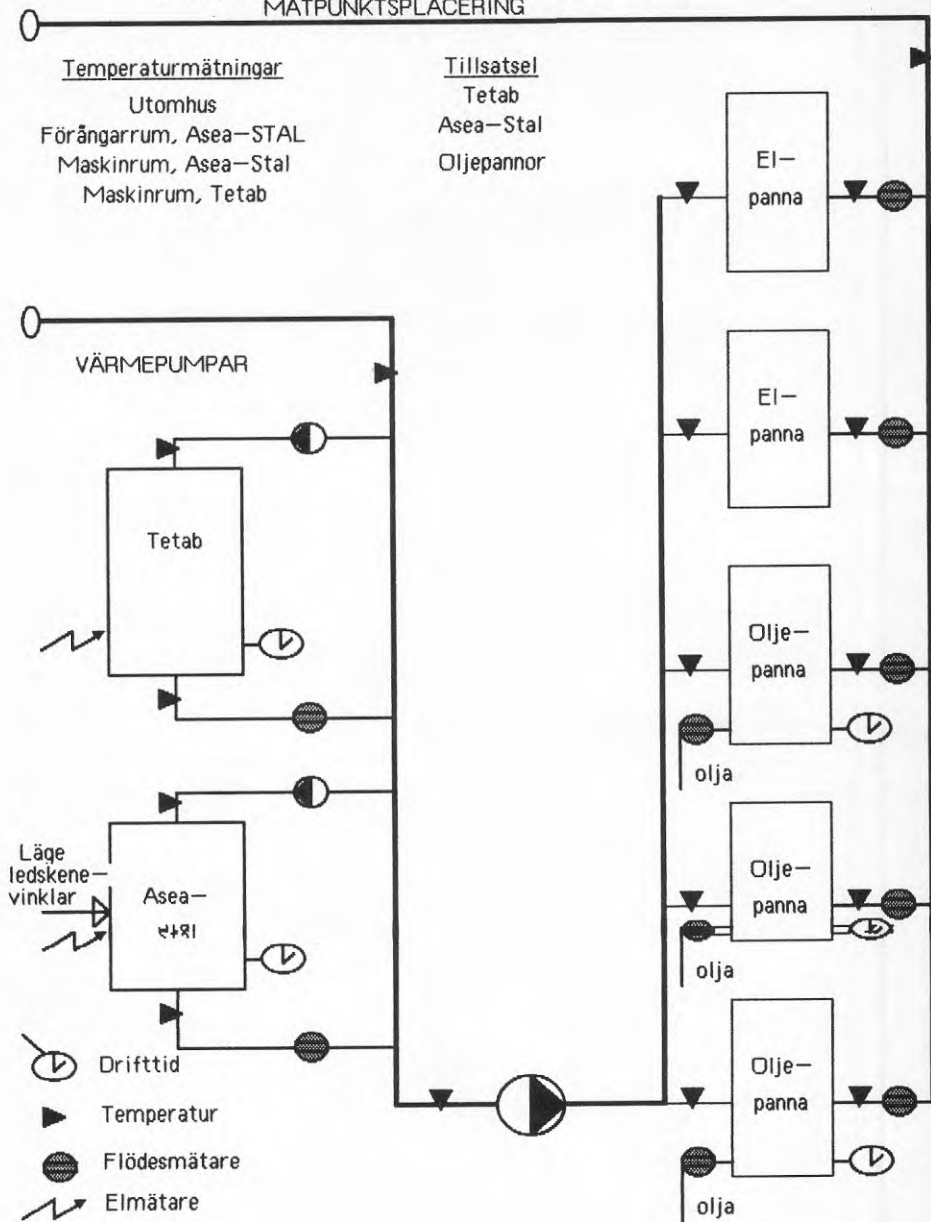
Figur 3.1

Mätpunkter på sjövattnetsidan.



Figur 3.2

PRINCIPSCHEMA LIDINGO FJARRVARMECENTRAL
MÄTPUNKTSPLACERING



3.1 Mätdatainsamling

Mätcentralen för Energiforskning, MCE, vid KTH, Stockholm har utfört insamlingen av mätdata.

En mät dator vid värmepumpen avkänner samtliga mätpunkter var femte minut och lagrar detta värde i sitt primärminne. Dessa data omarbetas varje timme, så att t ex temperaturer beräknas som ett timmedelvärde medan energier och drifttider fås som ett ackumulerat timvärde.

Det beräknade timvärdet lagras därefter på ett kassetband och en ny mätcykel kan lagras i primärminnet. På kassetten ryms ca 14 dygns mätvärden.

Kassetten innehåll läses över till ett minidatorsystem, HP1000, och mätpunkterna lagras antingen på skivminne eller magnetband.

För att följa snabba dynamiska förlopp, finns även möjlighet att genomföra intensivmätningar. Vid dessa mätningar lagras respektive mätpunkt på kassetbandet, dvs med 5 minuters intervall. På kassetbandet ryms då mätvärden från ca 1 dygn.

MCE har också ansvarat för kalibrering av mätutrustningen.

3.2 Utvärdering

Bearbetning av mätvärden sker med hjälp av ett speciellt utvärderingsprogram kallat MUMS. I detta språk finns kommandon för att enkelt skriva ut tabeller och rita grafer. De senare ritas vanligen som funktion av tiden men kan även ritas som funktion av annan godtycklig storhet, mätt eller beräknad.

För att hitta samband mellan två storheter finns möjlighet att skapa snittmängder, dvs att endast studera mätpunkter då övriga storheter ligger inom ett väl definerat intervall. Denna teknik har utnyttjats i ett flertal diagram för att påvisa beroende. Storheter som inte ingår i mätprogrammet kan dock inte utnyttjas, exempelvis köldmediemängden i värmepumpsystemet eller onoggrannhet i mätutrustningen. Detta innebär att tekniken bör användas med viss försiktighet, speciellt vid långa tidsperioder.

Mätpunkter kan beräknas till ett längre intervall än en timme, t ex dygnsvärden. Det är speciellt väsentligt för att studera storheter som varierar med flera cykler, fjärrvärmemetemperaturen varierar både över dygnet och över året.

Vid utvärderingen har även grafer och beräkningar utförts vid en Apple Lisa. Mätdata har överförts via telefonmodem till persondatorn. Därefter kan förbindelsen brytas och all utvärdering ske lokalt vid persondatorn med hjälp av persondatorns kalkyl- och grafikprogram. Texten i rapporten är skriven i ett ordbehandlingsprogram som gör det möjligt att placera in diagram och tabeller

direkt i textavsnitten. Man erhåller således ett dokument med hela rapporten, med undantag av vissa diagram som utförts vid MCE.

4. SYSTEMPRESTANDA

I detta kapitel beskrivs värmepumparna och el- resp oljepannorna som värmeproducerande enheter. Vissa data om deras kapacitet och verkningsgrad anges men de betraktas i första hand som "svarta lådor". Prestanda och drifttider redovisas i diagramform. Mätprogrammet medger inte komponentstudier då inga mätningar görs på köldmediekretsarna. Värmefaktorer redovisas hänfödda till kompressoreffekter. Detta för att ge ett mer generellt resultat. Den totala värmefaktorn, inklusive hjälpeffekter, redovisas i ekonomikapitlet (kap 8).

Redovisningen följer fjärrvärmevattnets väg genom anläggningen, dvs först redovisas Tetab's värmepump, därefter Asea Stal's och slutligen el- och oljepannorna.

I värmepumparna flyttas värme från en låg nivå, sjövattnets temperatur, till en högre nivå, fjärrvärmevattnets temperatur. För att detta ska vara termodynamiskt möjligt erfordras högvärdig energi, i detta fall i form av mekaniskt arbete som tillgodosöks köldmediet i kompressorn. Som arbetsmedium för denna energitransport utnyttjas köldmediet R12. Värmepumpen erfordrar, i detta fall, ca 30 % energi av hög kvalitet, el, för att avge 100 % värme av hetvatten-temperatur. Man erhåller en stor kvantitet värme av "mellan-kvalitet".

Ett gemensamt problem för båda värmepumparna, Asea-Stal och Tetab, är att få systemen täta. Läckage av olja och köldmedium har orsakat många driftstopp samt arbete med läcksökning. Läckställen är bla axeltätningar och säkerhetsventiler. Även om läckan är liten och inte skulle behöva påverka driften så stoppas ändå aggregaten av miljöskäl tills läckstället återfunnits. För att minska läckage-risken har speciella checklistor och driftinstruktioner utarbetats och under 1988 kommer en anläggning för omhändertagande av CFC-köldmedier att anskaffas. Sedan driftstarten 1983 till januari 1986 har totalt ca 20 ton köldmedium läckt ut, vilket nästan motsvarar den totala fyllnadsmängden, jämför kapitel 2 ovan. I samband med ett arbete på Asea Stal's anläggning 1986 gick en ventil sönder och ca 7-8 ton R12 läckte ut. En liknande incident skedde 1987 i en av Tetab's värmepumpar. En öppning och nedsugning av Asea Stal's värmepump medför ca 500 kg i läckage. Läckagen vid service har också varit betydande, tillsammans med haverier svarar de för ca 80 % av allt läckage. Två haverier inträffade dessutom i samband med servicearbete. Detta resultat måste beaktas vid framtida ombyggnader och nykonstruktioner.

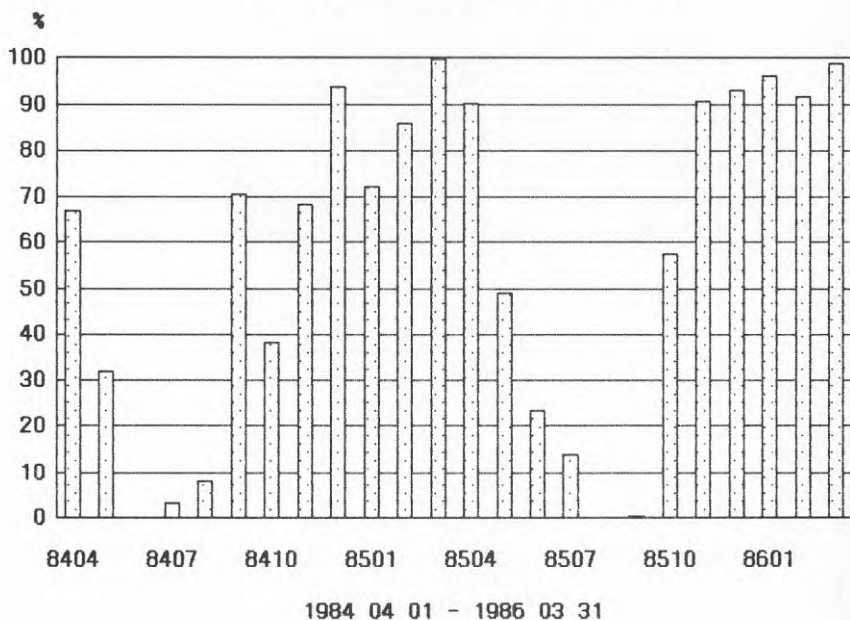
4.1 SYSTEM TETAB VÄRMEPUMP

Värmepumpen består av två helt åtskilda likadana köldmediesystem, se även figur 2.3. Den togs i drift i maj 1983.

I figur 4.1 och 4.2 redovisas de två kompressorernas drifttid. Den bestäms av köldmediesystemets, värmekällans, värmesänkans och

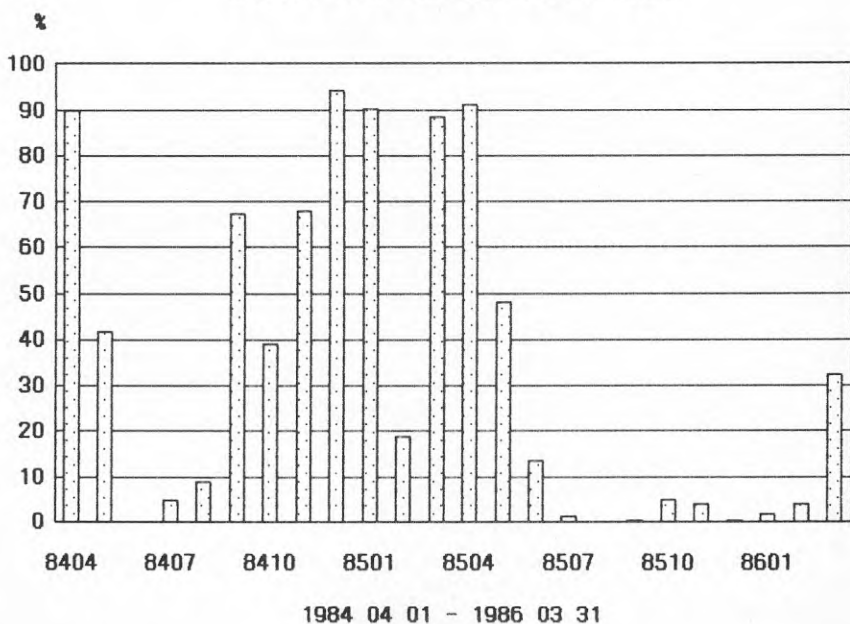
Figur 4.1

Relativ drifttid aggregat 1, TETAB



Figur 4.2

Relativ drifttid aggregat 2, TETAB



Under intrimningsperioden erhöjls flera stopp i köldmediesystemet framförallt beroende på felaktigt ställda temperaturvakter och återkommande byten av oljefilter i kompressorernas oljesystem.

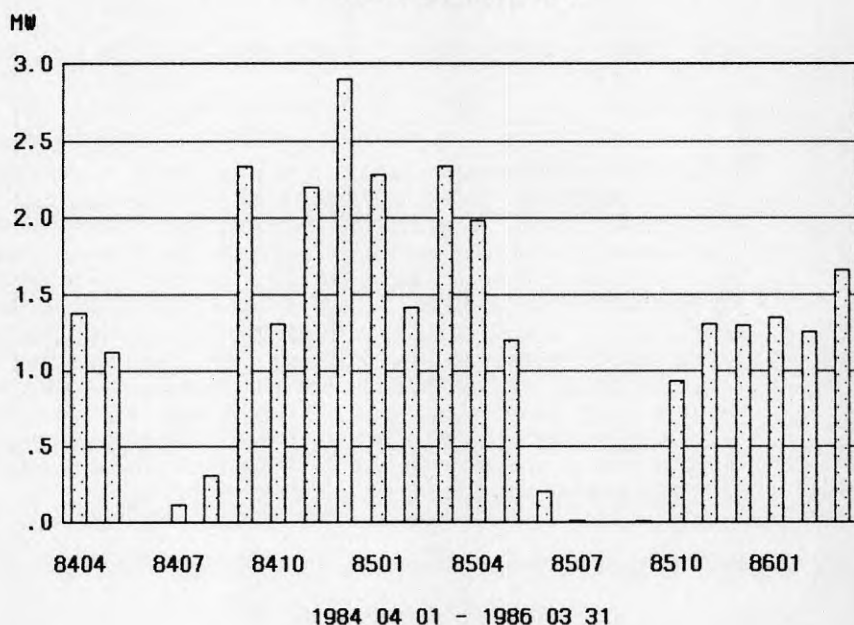
Låg sjövattemperatur, vilket ej kan belasta värmepumpen, har inte givit upphov till stopp i någon större utsträckning, men därernot reducerat kapaciteten. Med full effekt erhöjls alltför kraftig påfrostning på förångarrören.

Ett problem man inte kommit tillrätta med under de år värmepumpen varit i drift är oljeläckage från skruvkompressorerna. Läckagen är närmast att karakterisera som ett arbetsmiljöproblem då den ökar risken för olycksfall. Förutom olja läcker även köldmedium ut i dessa otätheter, vilket är ett globalt miljöproblem.

Avgiven genomsnittlig värmeeffekt för hela värmepumpen per månad visas i figur 4.3. Värmepumpen är för liten för att ensam klara värmebehovet under sommaren varför man väljer att utnyttja Asea Stal's värmepump. Under höst och vår kan man av reglertekniska skäl i hela värmecentralen (jämför kap 2 ovan) inte låta värmepumpen avge maximal kapacitet. Under våren är vidare låga havsvattemperaturer en anledning som kan leda till kapacitetsreglering av värmeeffekten.

Figur 4.3

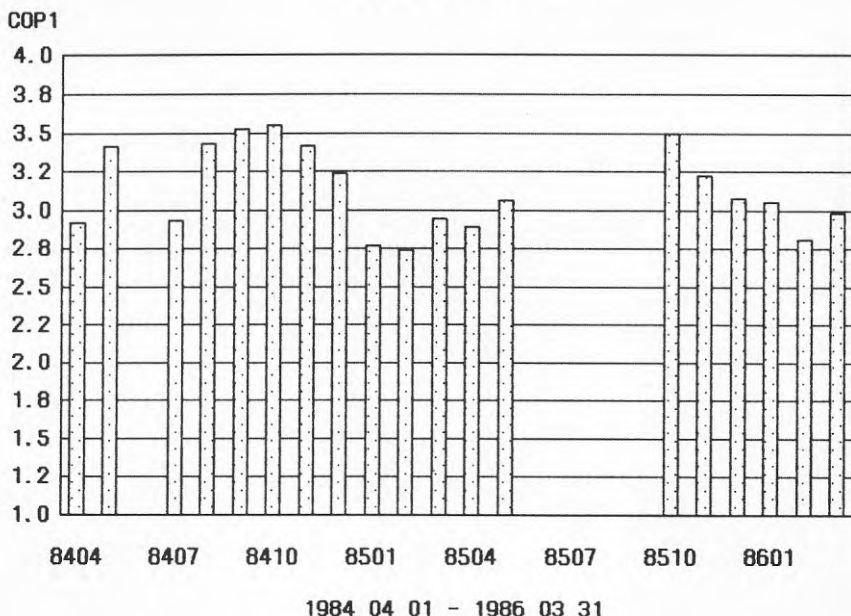
Värmeeffekt, TETAB



Värmefaktorn, definerad som avgiven värmeeffekt dividerad med kompressoreffekten, finns angiven i figur 4.4. Den högsta värmefaktorn erhålls under september – oktober då sjövattemperaturen fortfarande är hög och värmebehovet är så pass stort att värmepumpen inte behöver nedregleras nämnvärt.

Figur 4.4

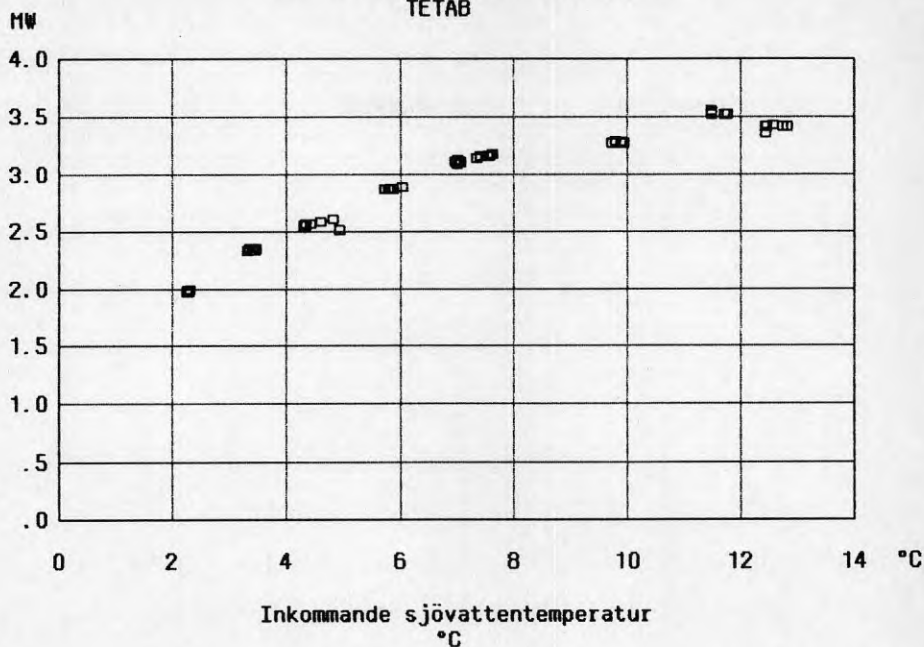
Värmefaktor, TETAB



Figur 4.5 visar anläggningens kapacitet som funktion av inkommande sjövattemperatur. Endast mätpunkter då värmepumpen varit i drift under minst 97 % av en timme är medtagna. Någon sovring beträffande utgående kondensorvattemperatur har inte skett. Som synes av diagrammet är kapaciten inte primärt beroende av kondensorvattemperaturen, vilket stämmer väl med skruvkompressorers karaktäristik. Avgiven värmeeffekt från skruvkompressorssystem varierar nämligen i mycket liten grad med kondenseringstemperaturen. Däremot har den stor betydelse på värmefaktorn, ty elmotoreffekten ökar kraftigt. I figur 4.6 resulterar detta som en större spridning av mätpunkterna. De båda systemens gemensamma värmefaktor är vid 3–4 °C inkommande vattentemperatur så hög som 3.0.

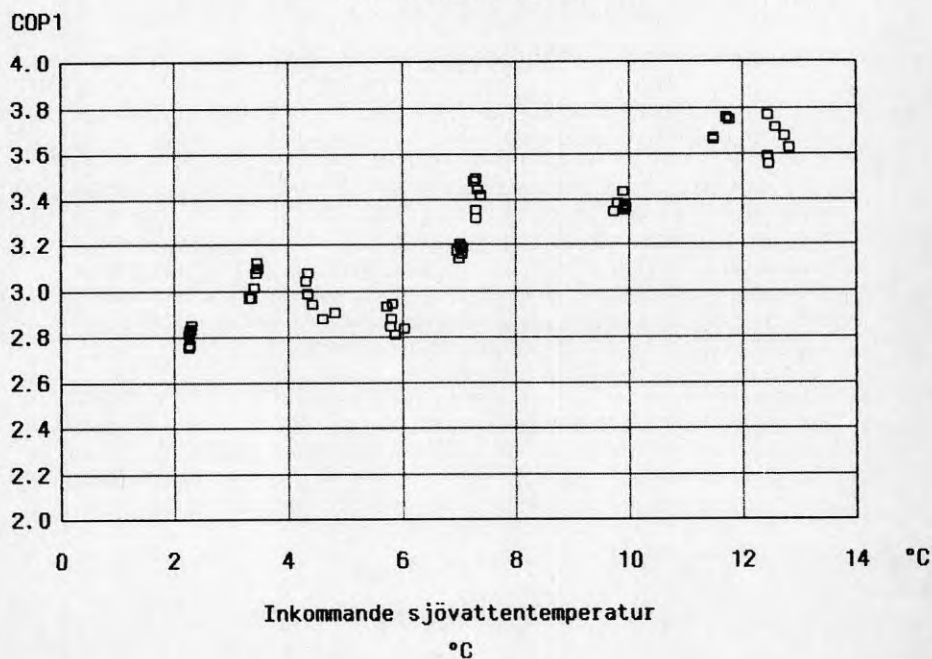
Figur 4.5

Värmeeffekt sfa sjövattentemp.
TETAB



Figur 4.6

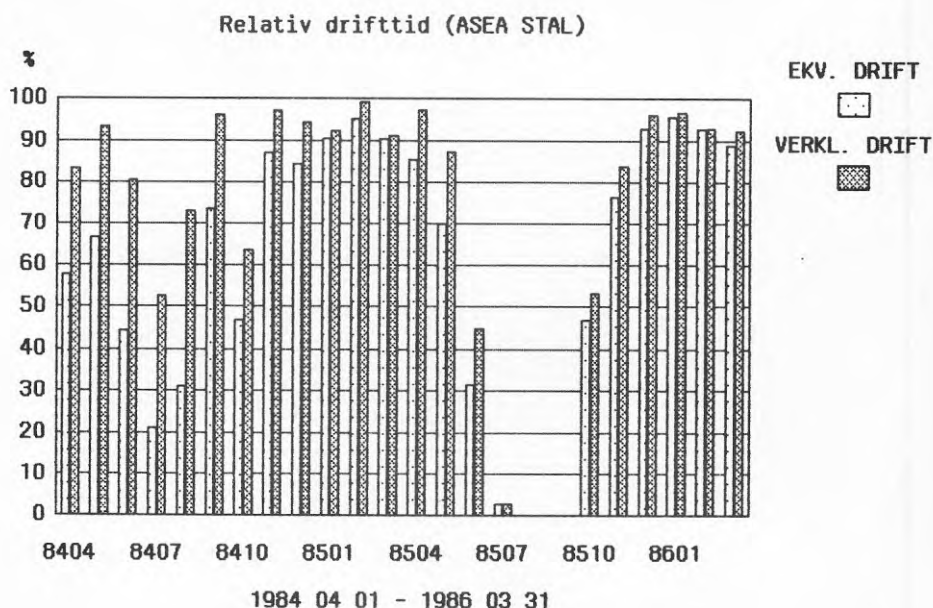
Värmefaktor, TETAB



4.2 SYSTEM ASEA STAL VÄRMEPUMP

Figur 4.7 anger kompressorns drifttid samt den ekvivalenta drifttiden. Med ekvivalent drifttid avses den verkliga drifttiden omräknad till fulleffekt drifttid. Om kompressorn körs nedreglerad så att den endast avger 75 % av värmeeffekten är den ekvivalenta drifttiden 75 % av den verkliga. Av diagrammet framgår att anläggningen har dellastats främst under vår, sommar och höst då värmebehovet är litet och problematiken med samkörningen med oljepannorna är aktuell. Under högsommaren är värmepumpens effekt större än värmebehovet varför den måste nedregleras under långa drifttider, något som försämrar värmefaktorn och kan öka slitaget.

Figur 4.7



För värmepumpen skulle en sänkning av framledningstemperaturen, idag ca 80 °C, därför få stor betydelse. 80 °C är den maximalt möjliga temperaturen ut från aggregatet, varför den i princip alltid måste vara i drift med dagens körsätt. En möjlig driftstrategi under denna del av året skulle vara att ackumulera värme i fjärrvärmenätet och istället köra on/off. Man slipper dåliga dellastverkningsgrader och det extra slitaget som nedreglering kan innebära.

Värmepumpen var under sommaren 1984 avställd under ca 4 veckor för ombyggnad av kompressorns ledskenereglering. En kort tid senare inföll garantirevisionen vilket innebar ytterligare driftstopp. Vidare har en kompressorelmotor kortslutits i samband med start. Bland övriga komponentfel kan noteras att axeltätningar bytts, olje- och

köldmedieläckage kunde hänföras till dessa. Larmstopp har inträffat vid många tillfällen, ex vis spänningsfall, men kan snabbt åtgärdas av personal på plats alternativt av personal från Värtaverket.

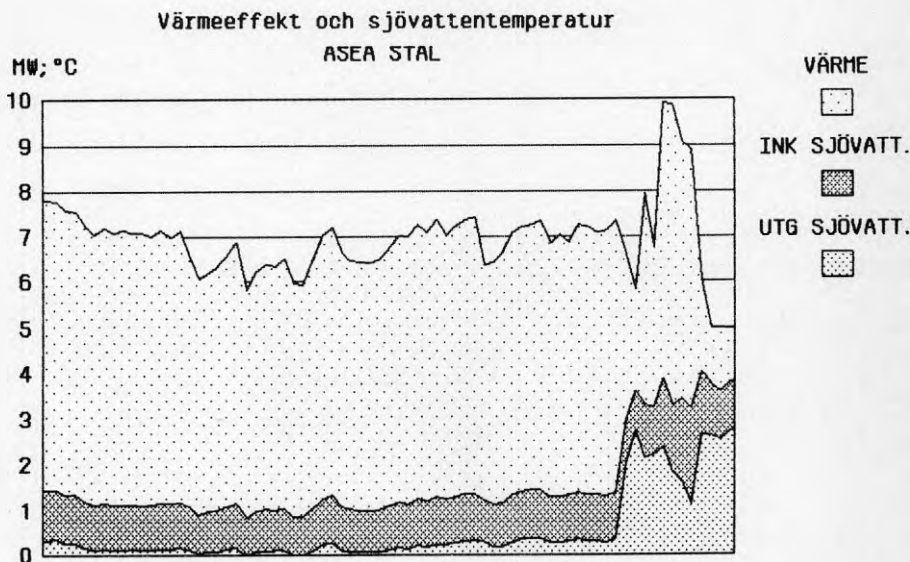
Förångarna är tillverkade av två plattor med en smal spalt i vilken köldmediet förångas. På utsidan strömmar sjövattnet. Vid svetsningen av plattorna fordras skyddsgas för att förhindra ombildningar av metallen, Monit (25Cr, 4Ni, 4Mo), men på ca 70 av de 450 plattor hade otillräckligt med gas använts. Redan efter en kort tid erhöles korrosionsangrepp och ungefär hälften av plattorna började läcka. Efter demontage och avlägsnande av dåliga svetszoner kunde plattorna på nytt svetsas. Några ytterligare angrepp har inte inträffat.

Sommaren och hösten 1984 var värmepumpen avställd under ca 4 månader vilket delvis berodde på komponentfel. Avtalsförhållanden gjorde det också förmånligt att utnyttja avkopplingsbar el. Arbetena på värmepumpen genomfördes under en längre tid än vad som var nödvändigt beroende på elpannans låga rörliga kostnad. Av 4 månaders stillestånd kan man uppskatta att värmepumpen dock var tillgänglig under 3 av dessa.

Tillgängligheten har i övrigt påverkats av elarbeten inom elnätet på Lidingö då omkopplingar har skett. Dessa störningar har dock varit marginella, något 10-tal timmar under den studerade perioden.

På våren, vid islossning, är sjövattemperaturen mycket låg vilket även det påverkar drifttiden. Anläggningen kan arbeta med maximal effekt ned till ca 2 °C. Det är dock i drift ned till knappt 1 °C på inkommande sjövattnet. Figur 4.8 visar kapaciten vid låga sjövattemperaturer.

Figur 4.8



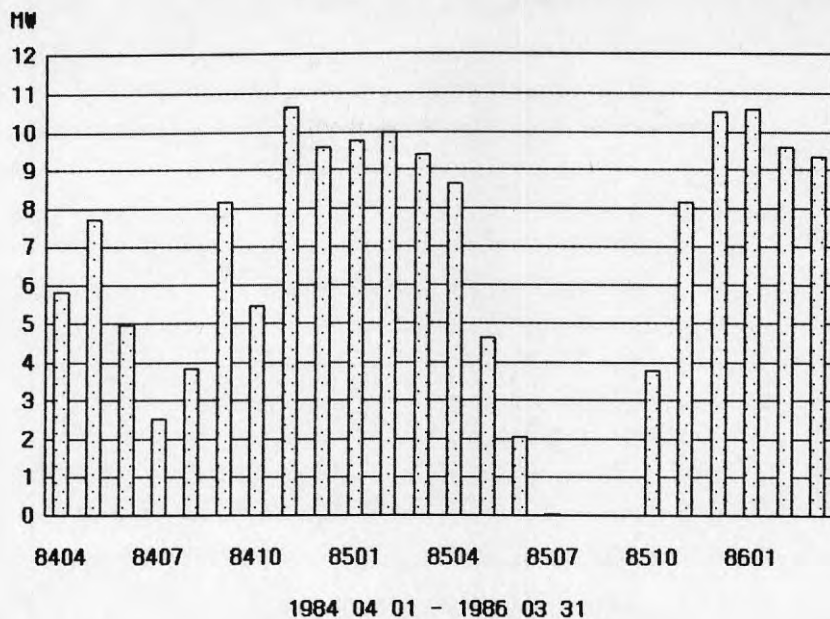
VINTER/VÅR 1984

Vid låga sjövattemperaturer måste aggregatet kapacitetsregleras och emellanåt stoppas för att avfrosta samlingsrör från is. Orsaken är att vikten från isen i annat fall blir för stor för konstruktionen. Avfrostningen sker manuellt med varmvatten. På förångarplattorna ligger vid dessa temperaturer en tunn beläggning om ca 3–4 mm is. Omslaget mellan vinter- och sommarintag syns tydligt i figur 4.8. Denna ändring kunde uppenbarligen skett tidigare, vid de låga temperaturer som här är aktuella har en enstaka grad's höjning mycket stor betydelse.

Den månatligen genomsnittliga värmeeffekten och värmefaktorn, definierad ur kompressorelen, för värmepumpen återges i figur 4.9 respektive 4.10. Avgiven värmeeffekt hänger direkt samman med systemets drifttid vilket beskrivits ovan. Värmefaktorn är under en stor del av året på en hög och jämn nivå, mellan 3.0 – 3.2. Under vintern då sjövattemperaturen är låg är ändå värmefaktorn hög vilket kan förklaras med att även utgående kondensorvattentemperatur är låg. Temperaturluckan mellan hög- och lågtrycks-sidan är lägre än mitt i sommaren. Sommartid ska värmepumpen själv klara värmebehovet vilket innebär ca 80 °C i framledningen medan den under vintern endast behöver hålla ca 65–70 °C ut från kondensorn. Sommartid går också värmepumpen ofta med reducerad kapacitet, vilket försämrar värmefaktorn. Denna försämring blir än mer märkbar för den totala värmefaktorn, d v s då hänsyn tas även till hjälpeffekter.

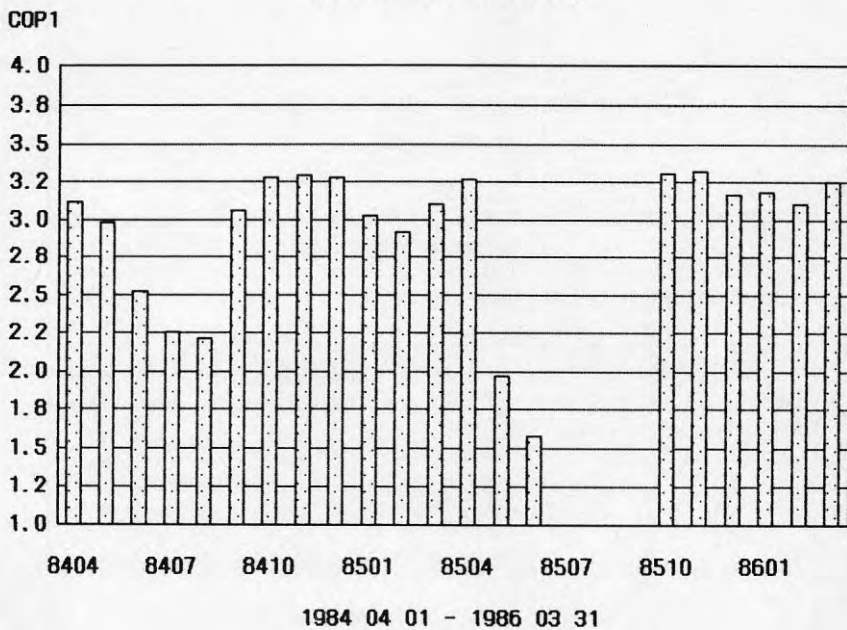
Figur 4.9

Värmeeffekt, ASEA STAL



Figur 4.10

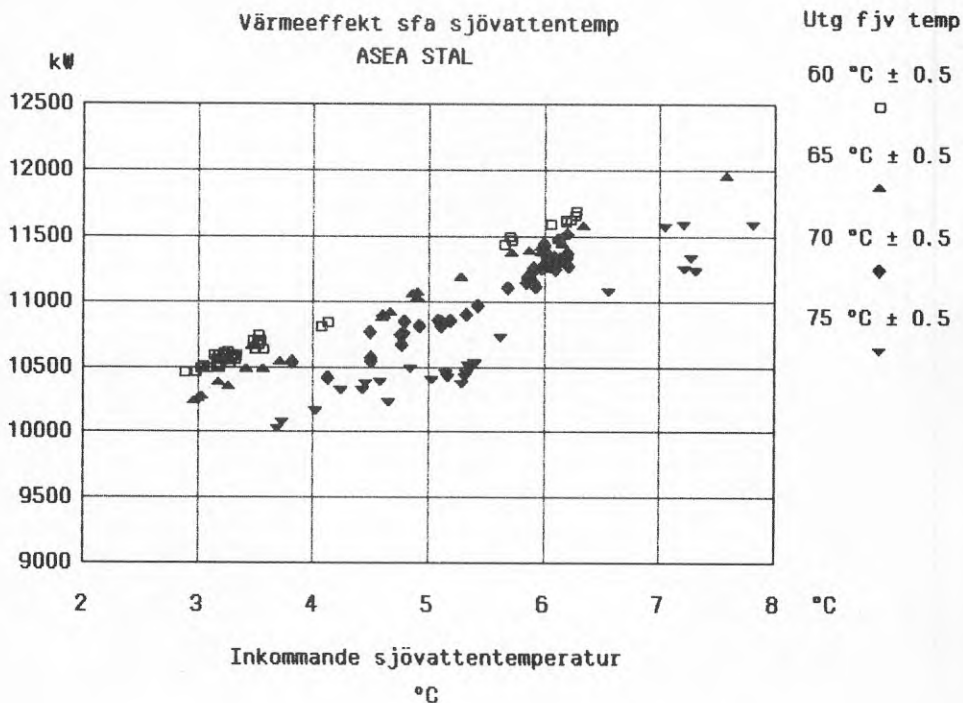
Värmefaktor, ASEA STAL



Ett kapacitetsdiagram där värmeeffektens beroende av inkommande sjövattemperatur framgår återges i figur 4.11. Mätdata redovisas vid fyra olika temperaturer på utgående fjärrvärmevatten. Diagrammet är framtaget under följande förutsättningar;

- minst 97 % drifttid per timme
- kompressorn går utan strypning av flödet i ledskenekransen
- utgående vattentemperatur är fastställd med en onoggrannhet på ± 0.5 °C.

Figur 4.11

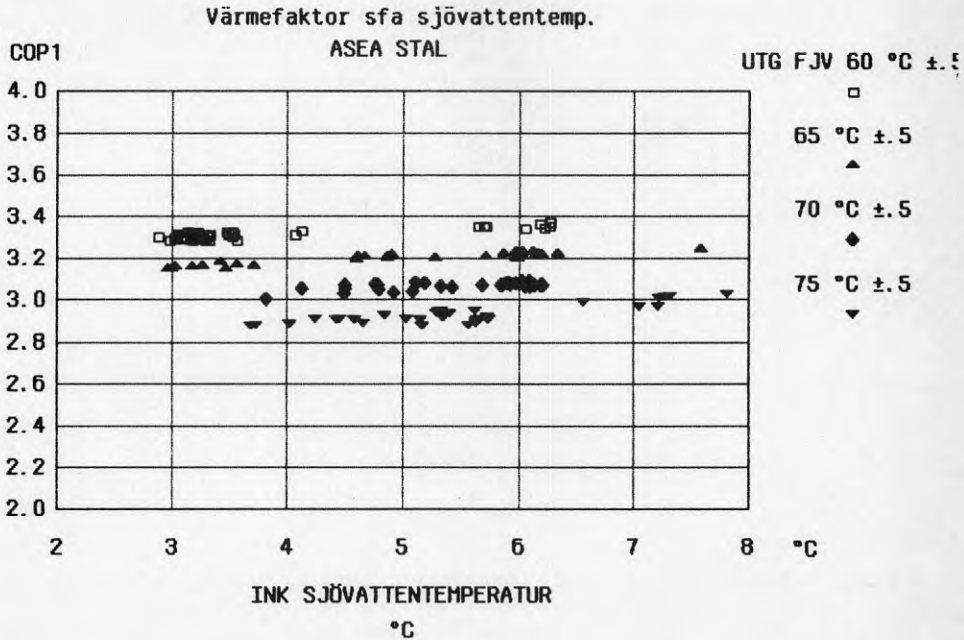


Effektminskning vid sjunkande sjövattemperatur är ungefärligen rätlinjig ned till 3 °C, vilket visar att anläggningen kan köras utan kapacitetsreglering ned till denna temperatur. Förloppet är härvid likartat skruvkompressor-anläggningens, jämför figur 4.5.

Av figur 4.11 framgår också tydligt inverkan från fjärrvärmesidans temperaturnivå. Till skillnad från skruvkompressorn, jämför ovan, påverkas turbokompressorers effektagivning i hög grad av kondenserings-temperaturen.

Ovanstående förutsättningar gäller även för figur 4.12, värmefaktorn relaterad till kompressorelen. Förändringen per grad C är ungefär lika stor på varma som på kalla sidan. En förändring på 5 °C påverkar värmefaktorn med ca 0.15 enheter.

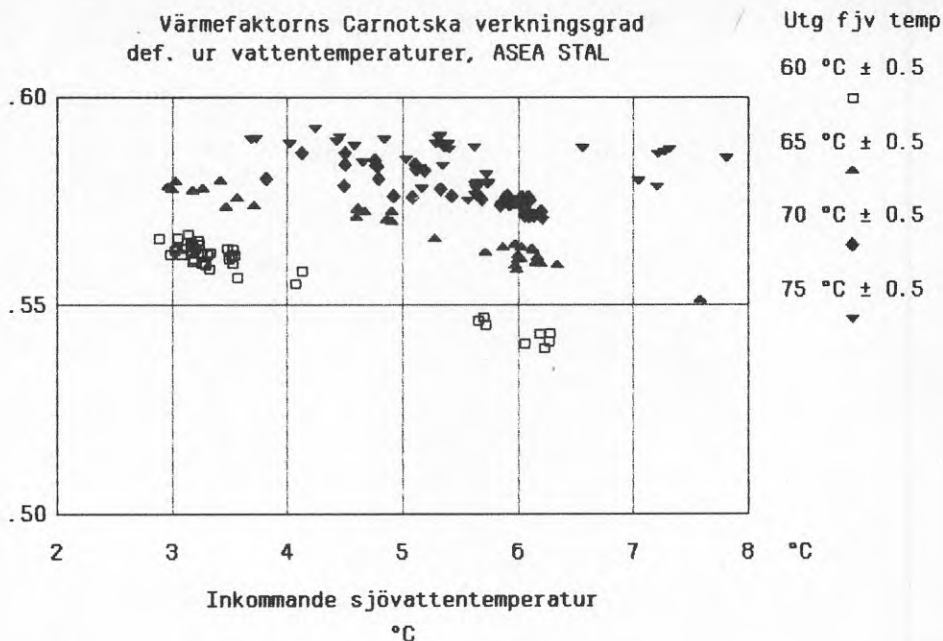
Figur 4.12



Även figur 4.13, värmefaktorns Carnotska verkningsgrad, är framtagen under samma villkor. Den beskriver anläggningens värmefaktor jämfört med den teoretiskt bästa möjliga värmefaktorn vid samma temperaturvillkor. Denna verkningsgrad får inte förväxlas med den inom kyltekniken använda, vilken avser relationen mellan verklig och ideal köldfaktor. Värmefaktorns Carnotska verkningsgrad är här baserad på inkommande sjövattemperatur och utgående kondensorvattemperatur. Den speglar därmed hela värmepumpsystemets prestanda relativt en ideal process.

Vid högre sjövattemperatur och / eller lägre fjärrvärmevattentemperatur förbättras den faktiska värmefaktorn. Värmefaktorns Carnotska verkningsgrad sjunker däremot vid stigande sjövattemperatur. Det beror bland annat på att den verkliga anläggningen begränsas av fixa värmeväxларыtor och därför kräver ökande temperaturdifferens mellan vatten och köldmedium då kyl- och värmeeffekterna ökar. Dessutom förändras kompressorns verkningsgrad med tryckförhållandet. Dessa begränsningar har givetvis inte en teoretisk process.

Figur 4.13



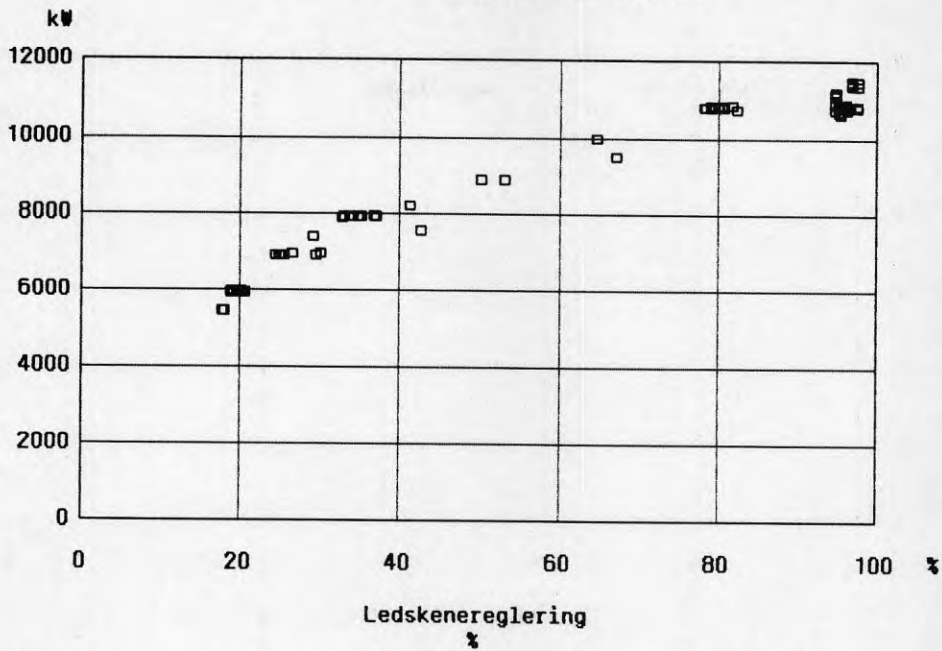
Anläggningens prestanda (värmeeffekt, eleffekt och värmefaktor), som funktion av ledskeneregleringen beskrivs i figur 4.14 till 4.16. Diagrammen är framtagna under följande villkor;

- 97 % drifttid
- 65 °C ± 1 °C på utgående kondensorvatten
- 5 °C ± 1 °C på inkommande sjövattemperatur.

Kapaciteten minskar tämligen proportionellt ned till ca 30 % reglering, då den minskar kraftigt. Värmefaktorn påverkas dock inte mycket, inom området 40 – 80 % är den konstant och vid höga respektive låga procenttal sjunker den något. Detta innebär att eleffekten då ökar mera än värmeavgivningen. Påtagligt är dock att dellastegenskaperna vid ledskenereglering inte påverkar verkningsgraden nämnvärt. Om värmepumpen effektavgivning måste begränsas mer än ca 50 % måste dock reglering med by-pass ventil mellan hög- och lågtryckssida utnyttjas. Denna reglerprincip ger betydligt sämre prestanda och bör således undvikas. Sommartid kan man dock bli tvungen härtill på grund av använda höga framlednings-temperaturer

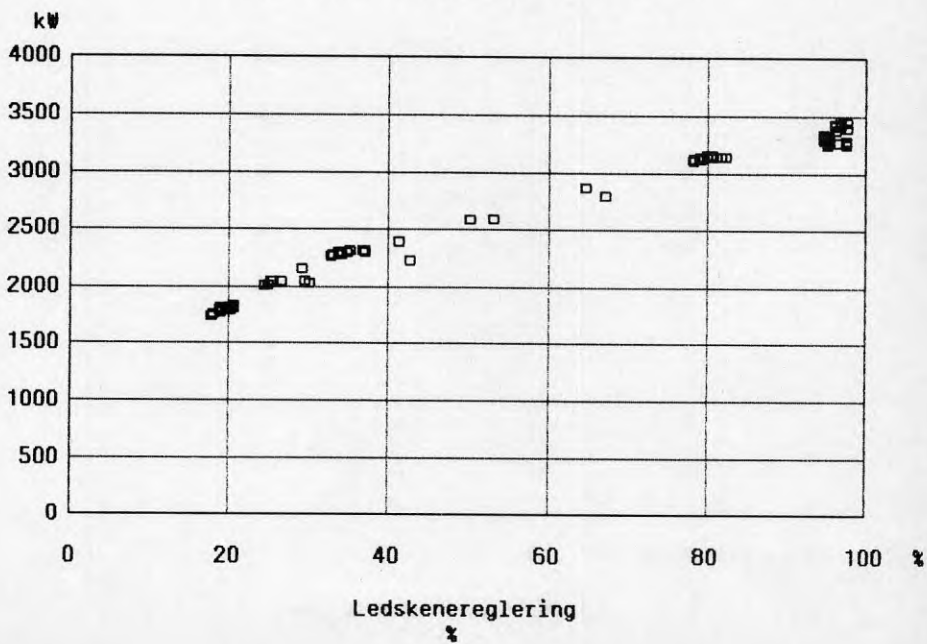
Figur 4.14

Värmeeffekt vid dellast, ASEA STAL



Figur 4.15

Eleffekt vid dellast, ASEA STAL



4.3 SYSTEM EL – OCH OLJEPANNOR

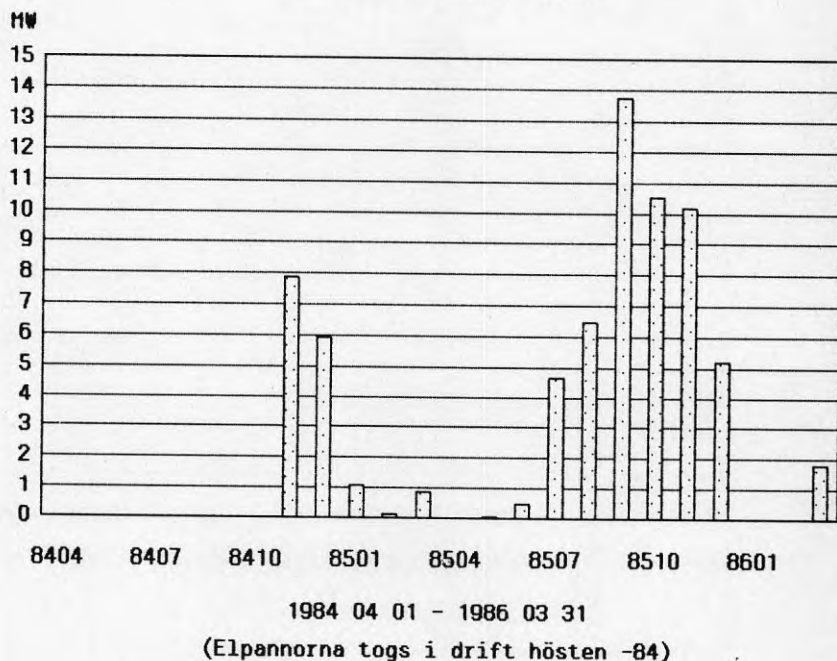
I fjärrvärmesystemet ingår 3 st oljepannor och fr o m hösten 1984 även 2 st elpannor. Elpannorna är avsedda för avkopplingsbar el och får endast användas då fossila bränslen inte används för elproduktion inom riket. För inkoppling av pannorna erfodras 5 dagars karenstid från det att fossila bränslen slutades användas. Avkopplingsbar el är energiskattebefriad och finns främst tillgänglig under låglasttid på sommaren. Utrymmet för avkopplingsbar el varierar dock kraftigt år från år.

Under sommaren – hösten 1985 fanns det god tillgång på billig el vilket, bla på grund av avtalsförhållanden, fick till följd att värmepumparna stod avställda under en längre tid. Ledskenerogeringen på Asea-Stal värmepumpen byggdes om under denna tid och en kort tid senare var det dags för en sedan lång tid tillbaka inplanerad garanti-revision. Dessa arbeten innebar att värmepumpen stod avställd under ca 3 månader. Elpannornas effekt är 2x12 MW om Asea Stal's värmepump är avstängd och 12+7 MW om den är i drift.

Genomsnittlig effekt per månad från elpannorna framgår av figur 4.17.

Figur 4.17

Värmeeffekt från elpannor

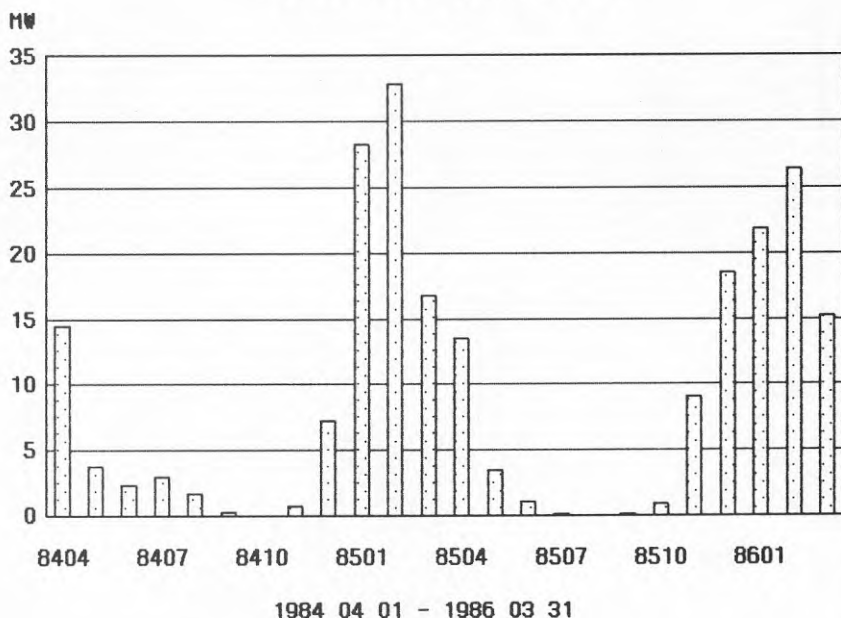


De tre oljepannorna, 3×30 MW, utnyttjas som spetslast då övriga värmeproducerande värmeenheter inte räcker till. Under sommaren -88 byggs en av pannorna om så att dess maximala effekt blir 12 MW. Vid normaldrift är pannornas mineffekt 6 MW, den ombyggda pannan kan dock nedregleras till 2 MW. Sommartid är behovet av oljeverme försumbart eftersom elpannorna kan fungera som spetsvärme med bättre ekonomi, drifts- och regleregenskaper. En maximalt nedreglerad oljepanna kan lätt slockna och därefter erfordras manuellt tillslag. Samkörningen mellan värmepumparna och oljepannorna har givit upphov till problem, speciellt under tider med låg personalbemanning såsom helger. Värmepumpen körs då nedreglerad för att oljepannans minlast alltid skall rymmas inom det totala värmebehovet. Vid effektökning i nätet tas den upp av oljepannan. Efter en förändring i reglerstrategin som kommer att ske under sommaren 1988 kommer i första hand värmepumpens kapacitetsreserv att utnyttjas innan oljepannans avgivna värmeeffekt ökas.

Oljepannornas genomsnittliga effekt per månad redovisas i figur 4.18.

Figur 4.18

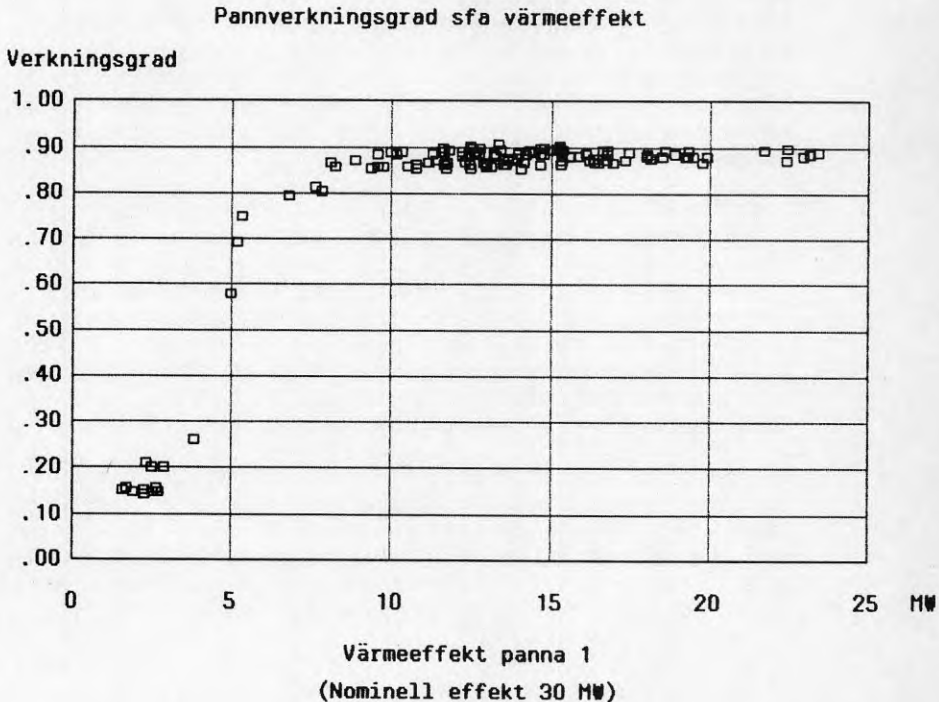
Värmeeffekt från oljepannor



Verkningsgraden för oljepanna nummer 1 finns återgiven i figur 4.19. Den är beräknad som kvoten mellan till fjärrvärmvattnet avgiven värme och till brännarna tillförd olja.

Värmevärdet för oljan är satt till 10.7 MWh/m^3 och endast mätdata då brännarna varit i drift under minst 2 timmar har utnyttjats. Verkningsgraden varierar mellan 0.85 – 0.90, inom ett brett effektområde för pannorna. Vid mineffekt är dock verkningsgraden betydligt sämre. Detta visar att det vore lämpligt med en oljepanna vars märkeffekt skulle vara som den ombyggda sommarpannan, kring 12 MW. Denna panna skulle klara spetsvärmebehovet med en betydligt bättre verkningsgrad än nuvarande, vars nominella effekt är 30 MW.

Figur 4.19



5 ANLÄGGNINGSPRESTANDA

Som nämnts inledningsvis finns mätdata för fjärrvärmecentralens samtliga värmeproducerande enheter; två värmepumpar, el- och oljepannor. En del diagram har därför framtagits för att kunna studera hur dessa enheter utnyttjats i praktisk drift. Samtidigt fås då också information om fjärrvärmenätets värmebehov i form av varaktighetsdiagram och som funktion av uttemperaturen.

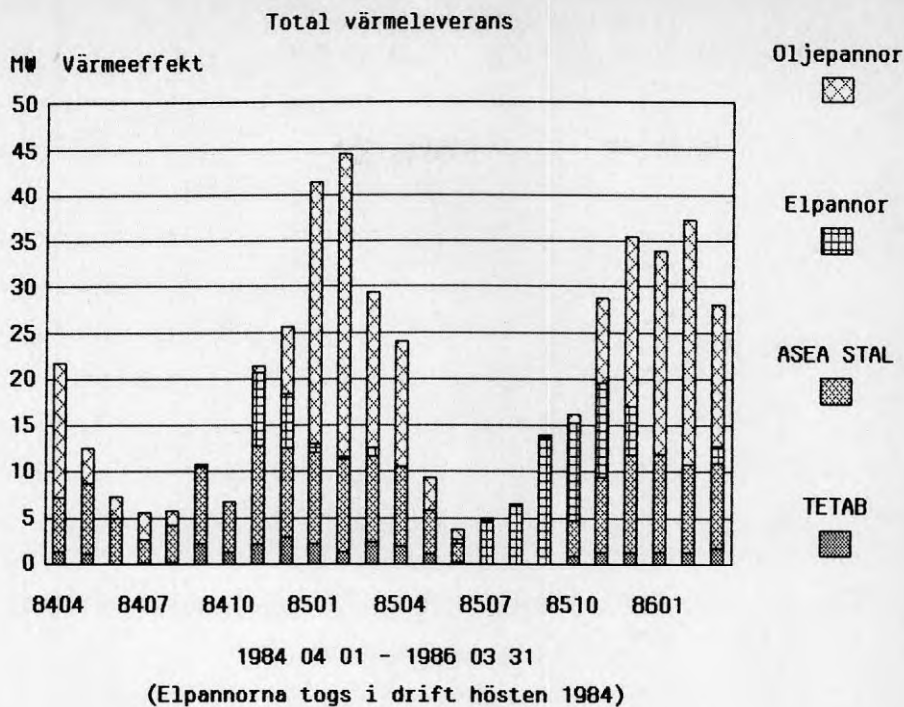
I detta kapitel redovisas fjärrvärmecentralens värmeavgivning från och med april 1984 till mars 1986. Figur 5.1 visar huvuddata i stapelform för hela mätperioden. I övriga figurer har materialet uppdelats i två 12-månadersperioder, april -84 till mars -85 samt motsvarande period 85/86. Totala värmebehovet var för den första perioden 170 GWh och för den senare 180 GWh.

Fördelningen på de olika anläggningsenheterna, Tetab's respektive Asea Stal's värmepumpar, el- samt oljepannor, framgår av figur 5.1 till 5.3. En jämförelse mellan figurerna 5.2 och 5.3 visar tydligt att elpannan i första hand tog last från den stora värmepumpen. Den relativa andelen oljevärme är konstant under de två tolv-månadersperioderna. De speciella bestämmelser och taxor som gällt för avkopplingsbar el har gjort det mer lönsamt att förbruka elektricitet direkt i en elpanna än att med god värmefaktor nyttja den i befintliga värmepumpar. Utan elpanna hade värmepumparna kunnat leverera ca halva nätets årsvärmebehov.

Figurerna 5.4 och 5.5 visar anläggningens värmeleveranser i kronologisk ordning. Observera att elpannan installerades under hösten 1984. Värmebehovet i fjärrvärmenätet framgår av figurerna 5.6 och 5.7, värmeeffekten visas där som funktion av utomhustemperaturen. Sambandet är mycket linjärt vid låga temperaturer medan sommar-driftfallet, då värmebehovet för tappvarmvatten dominerar, är mer varierat. Varaktighetsdiagram för fjärrvärmecentralen framgår av figur 5.8 och 5.9. Data från figur 5.4 och 5.5 är här sorterade i fallande ordning med avseende på totala värmebehovet.

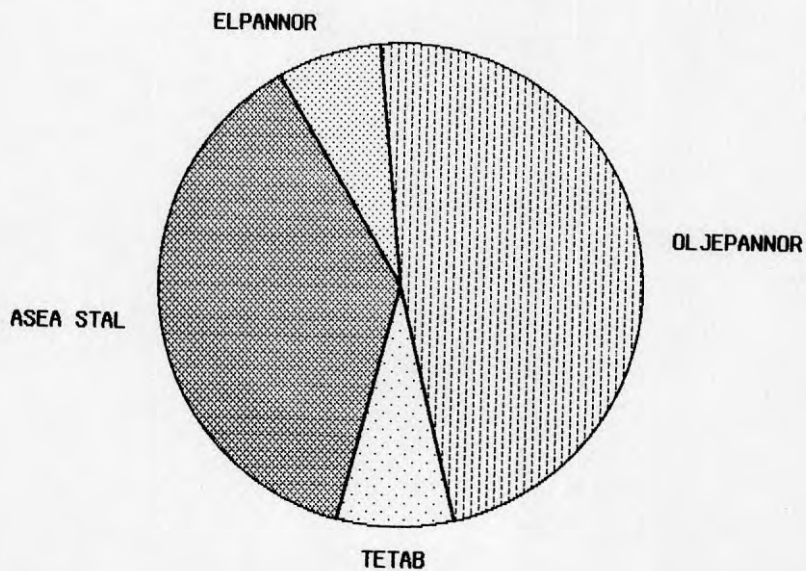
Av ovanstående diagram framgår tydligt hur tillgängliga värmeproducerande enheter utnyttjats. Elpannans betydelse avtar snabbt vid ökande totalt värmebehov (efterfrågan på el ökar i landet) och ersätts av oljepannan. Värmepumparna används som baslast i stort sett oberoende av det totala värmebehovet. I diagrammen syns tydligt att elpannan och värmepumparna tidvis konkurrerar.

Figur 5.1



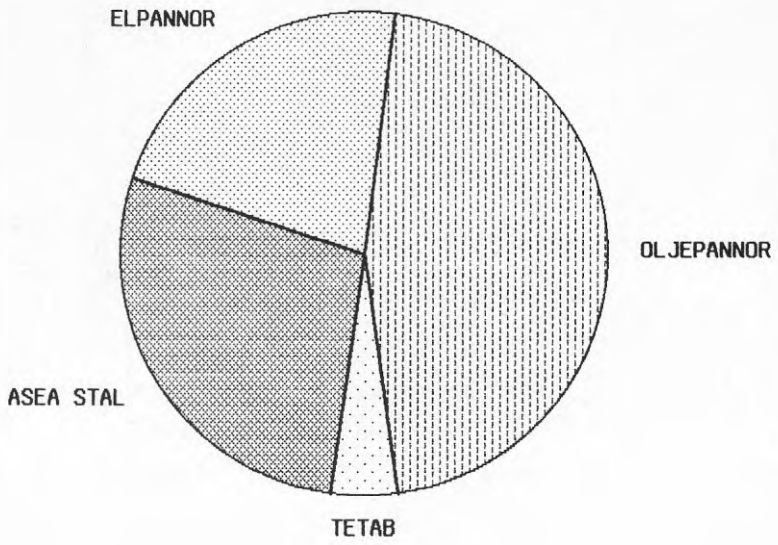
Figur 5.2

Total värmeleverans
1984 04 01 - 1985 03 31



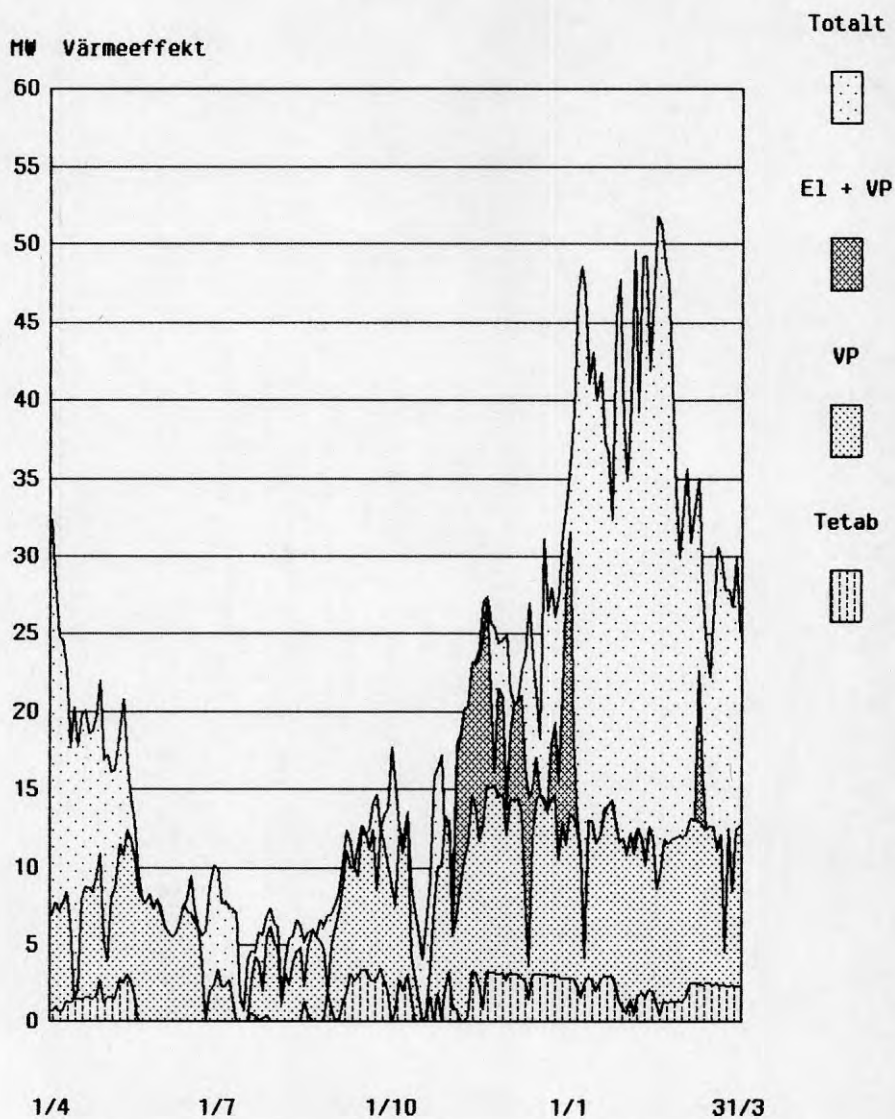
Figur 5.3

Total värmeleverans
1985 04 01 - 1986 03 31



Figur 5.4

Värme från alla värmeenheter

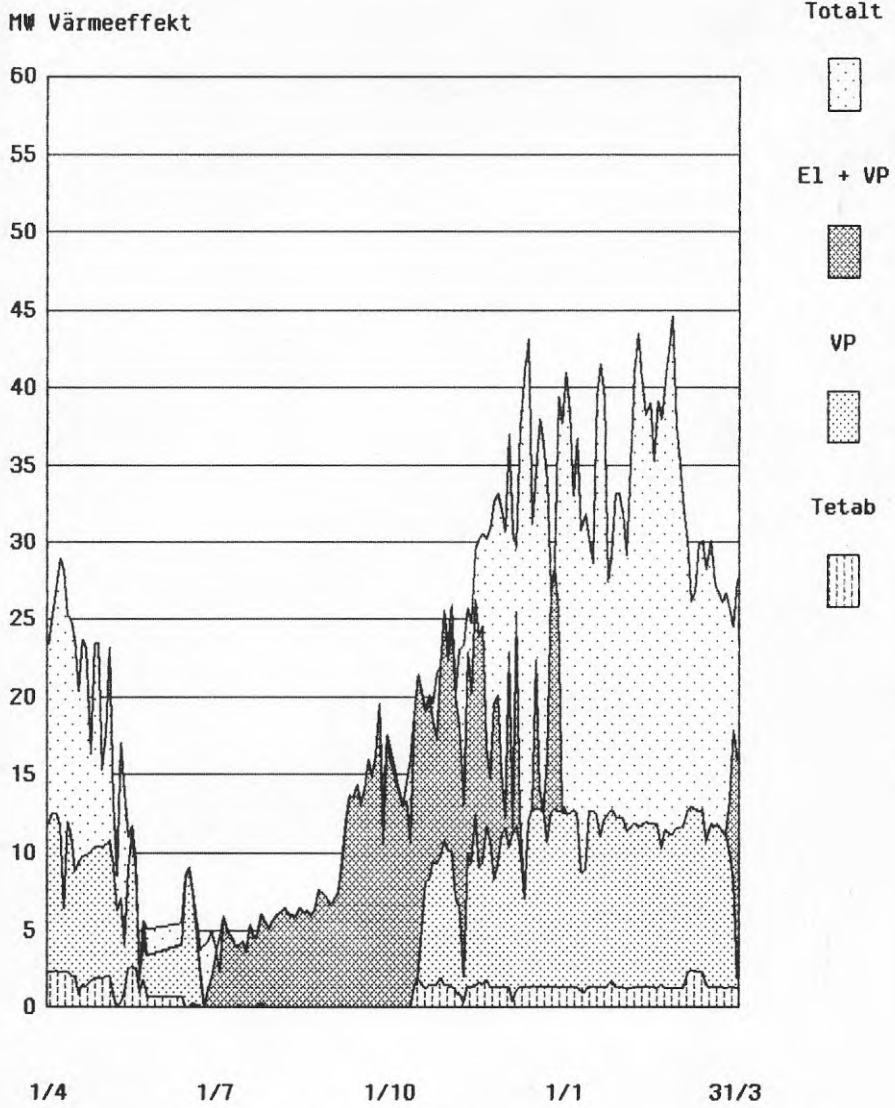


1984-04-01 - 1985-03-31

(Elpannorna togs i drift hösten 1984)

Figur 5.5

Värme från alla värmeenheter

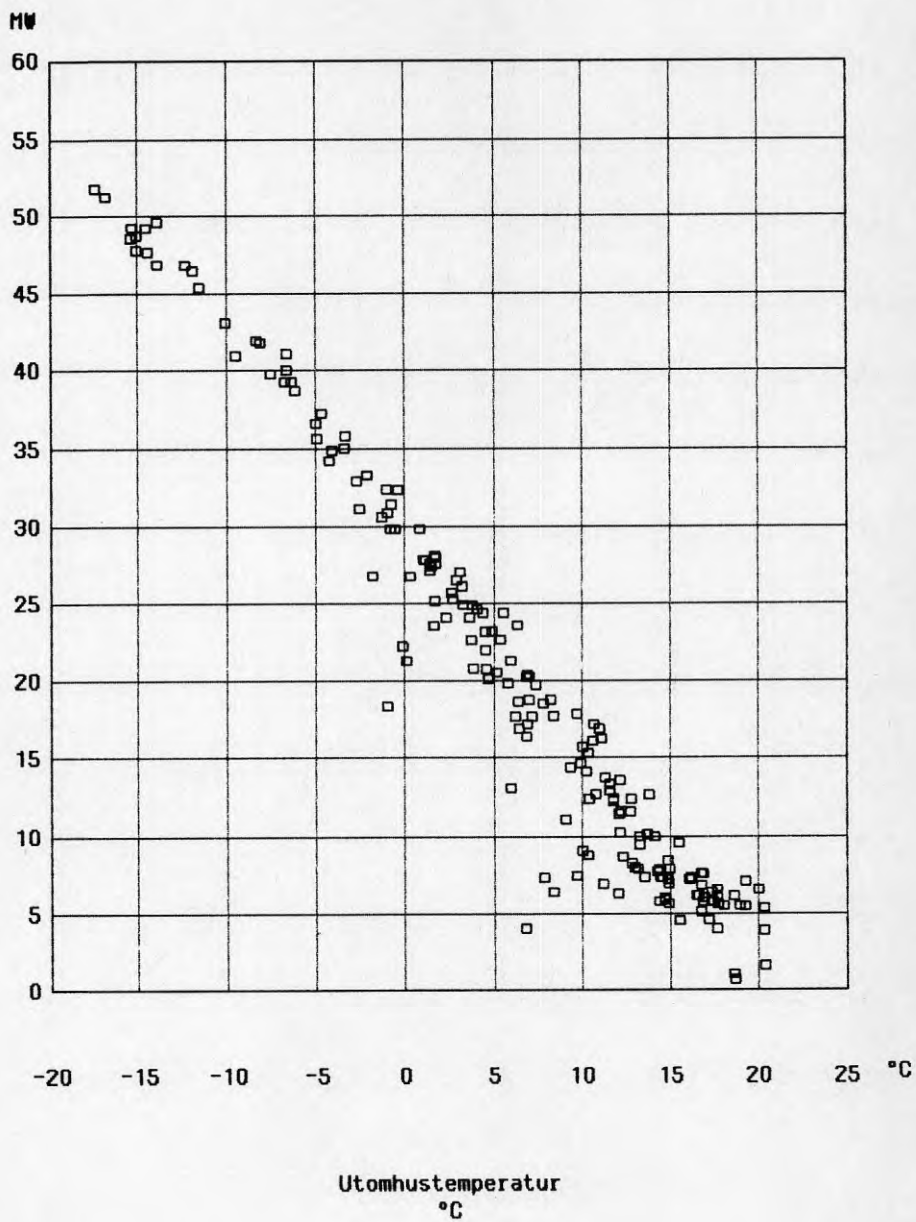


1985-04-01 - 1986-03-31

Figur 5.6

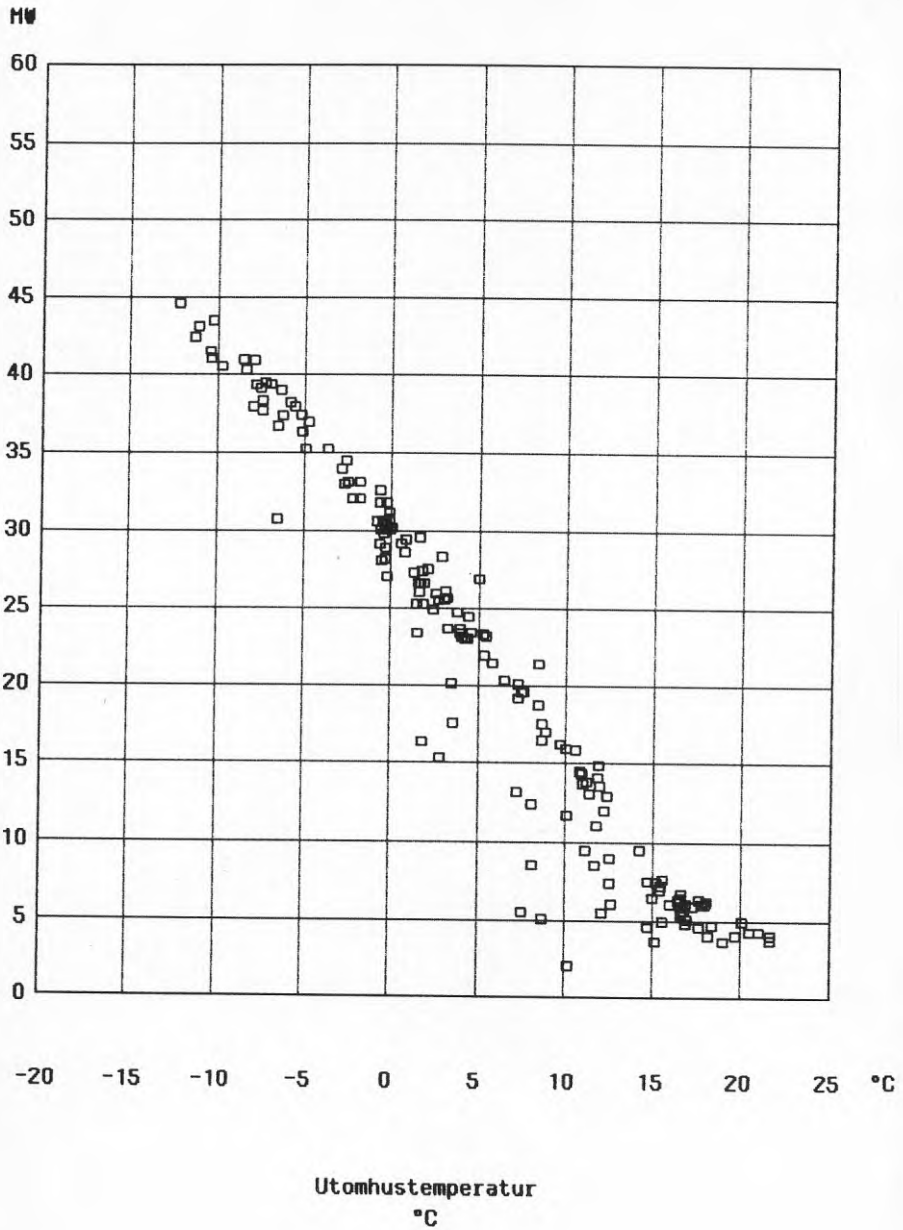
Värmeeffekt sfa utetemperatur

1984/85



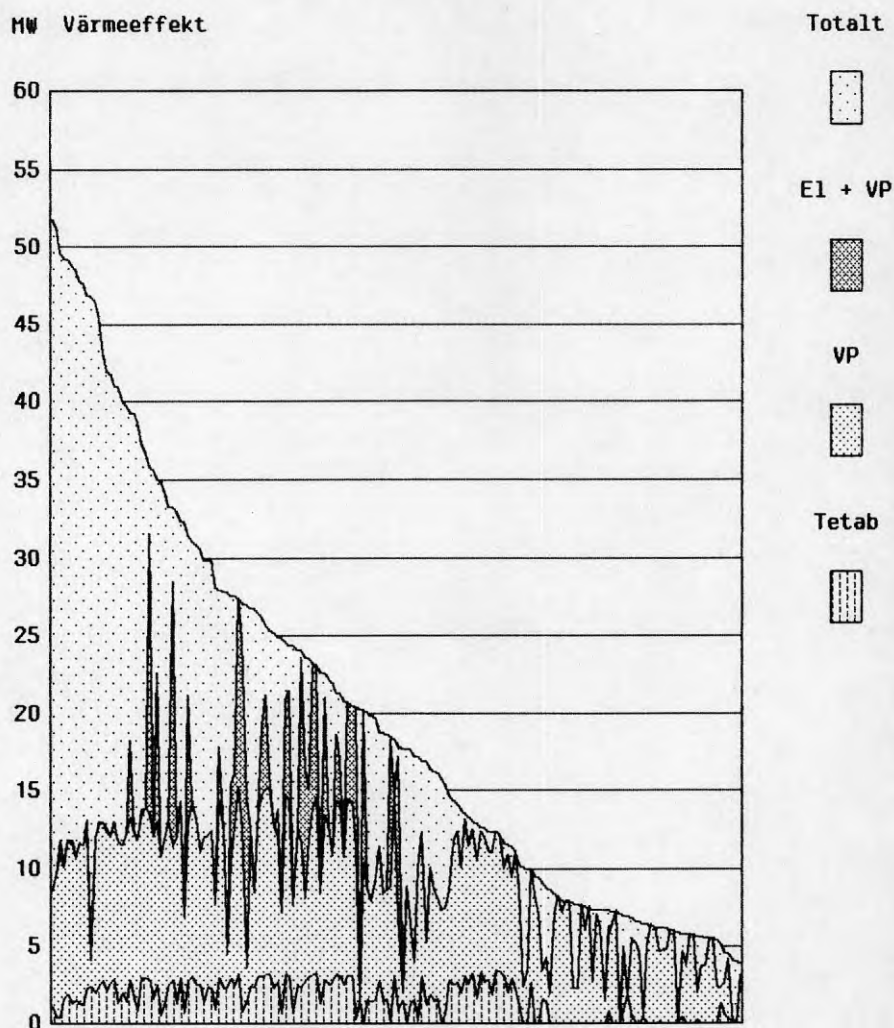
Figur 5.7

Värmeeffekt sfa utetemperatur
1985/86



Figur 5.8

Varaktighetsdiagram med alla värmeenheter

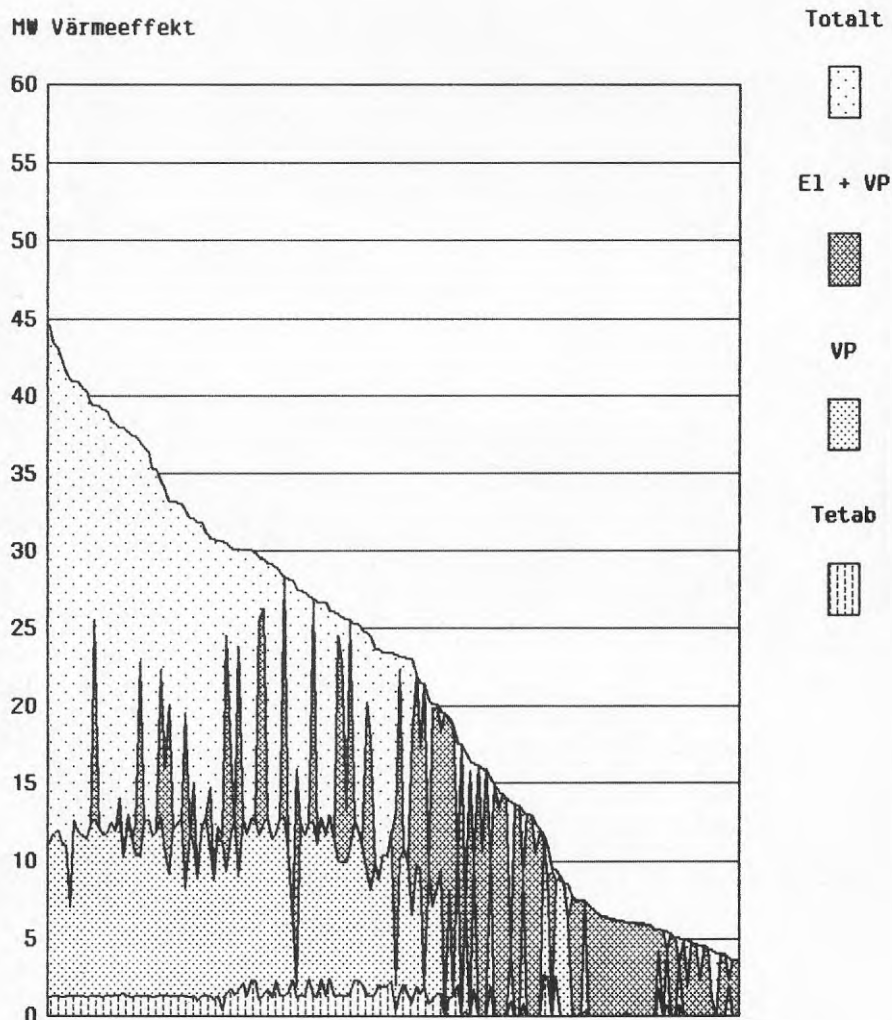


1984-04-01 - 1985-03-31

(Elpannorna togs i drift hösten 1984)

Figur 5.9

Varaktighetsdiagram med alla värmeenheter



1985-04-01 - 1986-03-31

6. VÄRMEKÄLLA

Värmepumparna använder bräckt sjövattnet från Stora Värtan, vid Stockholms inlopp. Salthalten medför speciella korrosionsproblem, varför inloppsgaller och andra vätskeberörda ytor måste väljas i hög materialkvalite. Ledningen mellan värmepumparna och havet, ca 150 m, är tillverkad av trätuber. Vid inloppsgallret har tidvis problem med algpåväxt uppträtt under sommaren.

Vattentemperaturen i Värtan varierar från någon enstaka grad C under vintern till ca 15–16 °C under sommaren, se fig 6.1. Som jämförelse finns i figur 6.2 utetemperaturens dygnsmedelvärden under mätperioden upptritad.

Det uppvärmda sjövattnet kan inte utnyttjas till fullo förrän i september då värmebehovet i fjärrvärmenätet ökat så att värmepumparnas hela kapacitet kan utnyttjas. Beroende på bland annat förhållandena vid isläggningen varierar vattentemperaturen vintertid år från år. Mätningar som underlag för projektering har därför intet eller litet värde om inte statistik från minst 5, helst 10 år finns tillgängligt.

Vintern 1984 råde extremt låga havsvattentemperaturer beroende på blåsigt väder vilket även medförde sen isläggning. Trots att vattentemperaturen var endast ca 1 °C kunde värmepumparna hållas i drift, dock på reducerad kapacitet. Det kylda sjövattnet från anläggningen var 0 °C, eller t o m något under, vilket ledde till att is bildades på förångarna. Ett mindre islager är dock inte kritiskt för förångarnas funktion. Figur 6.3 visar utgående temperatur från Asea Stal 's värmepump, och i figur 6.4 visas havsvattnets temperatur-differens, ca 1–2 °C.

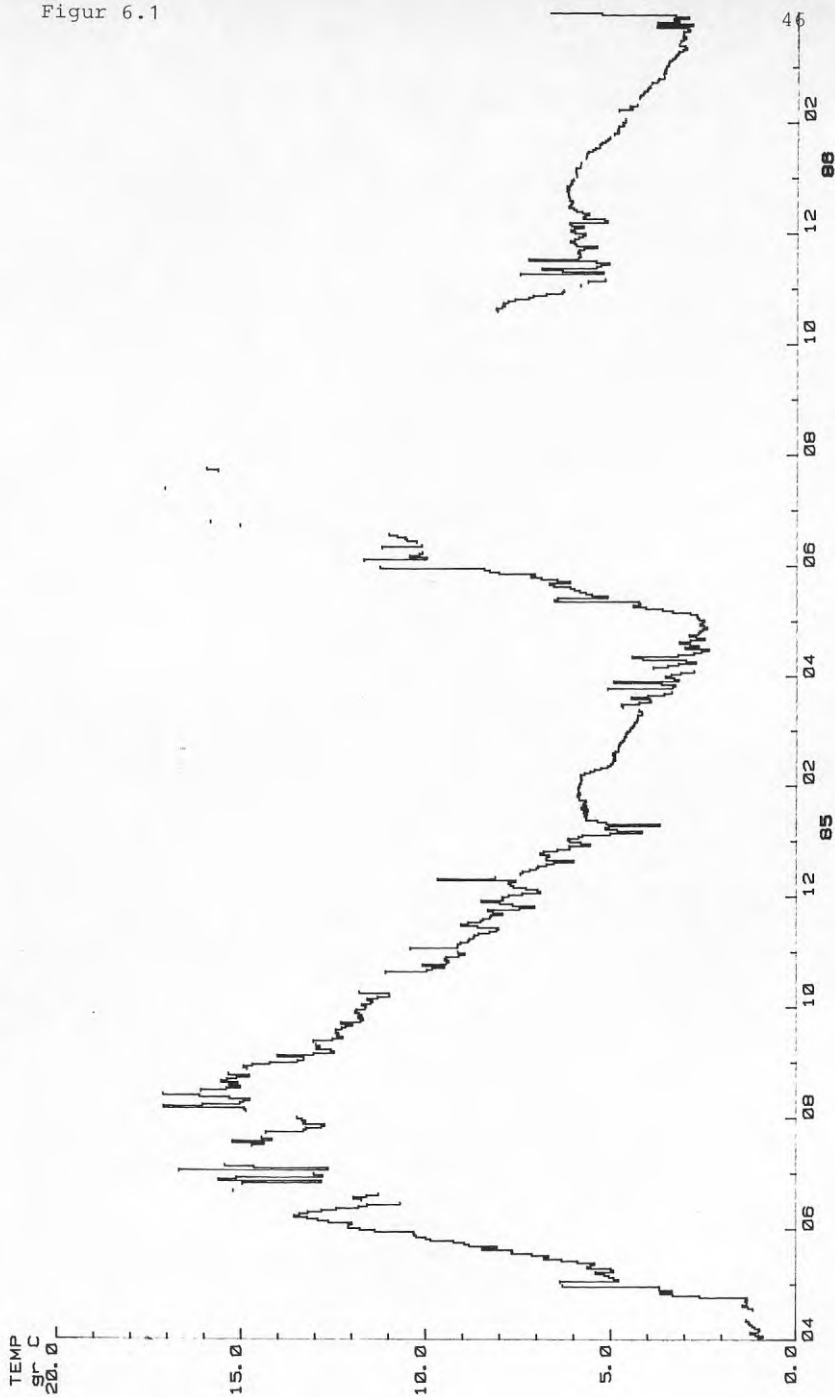
Erfarenheterna från projektet visar att man tekniskt mycket väl klarar även ytterst låga vattentemperaturer. Givetvis krävs då förhållandevis stora vattenflöden för att upprätthålla effekten. Med stora avstånd mellan värmepump och värmekälla kan detta bli ett problem. Tekniken med strilförångare kan också med fördel användas då renat avloppsvatten nyttjas som värmekälla och då flödet tidvis är en begränsande faktor (jämför resultat från Uppsala, se referenslista).

Under vintern finns det varmaste vattnet på större djup, det intaget sitter ca 15 m under ytan. Sommarintaget är placerat på ca 4 m djup.

0:00 AM WED. 2 DEC. 1987

Figur 6.1

INK SJOVATTEN

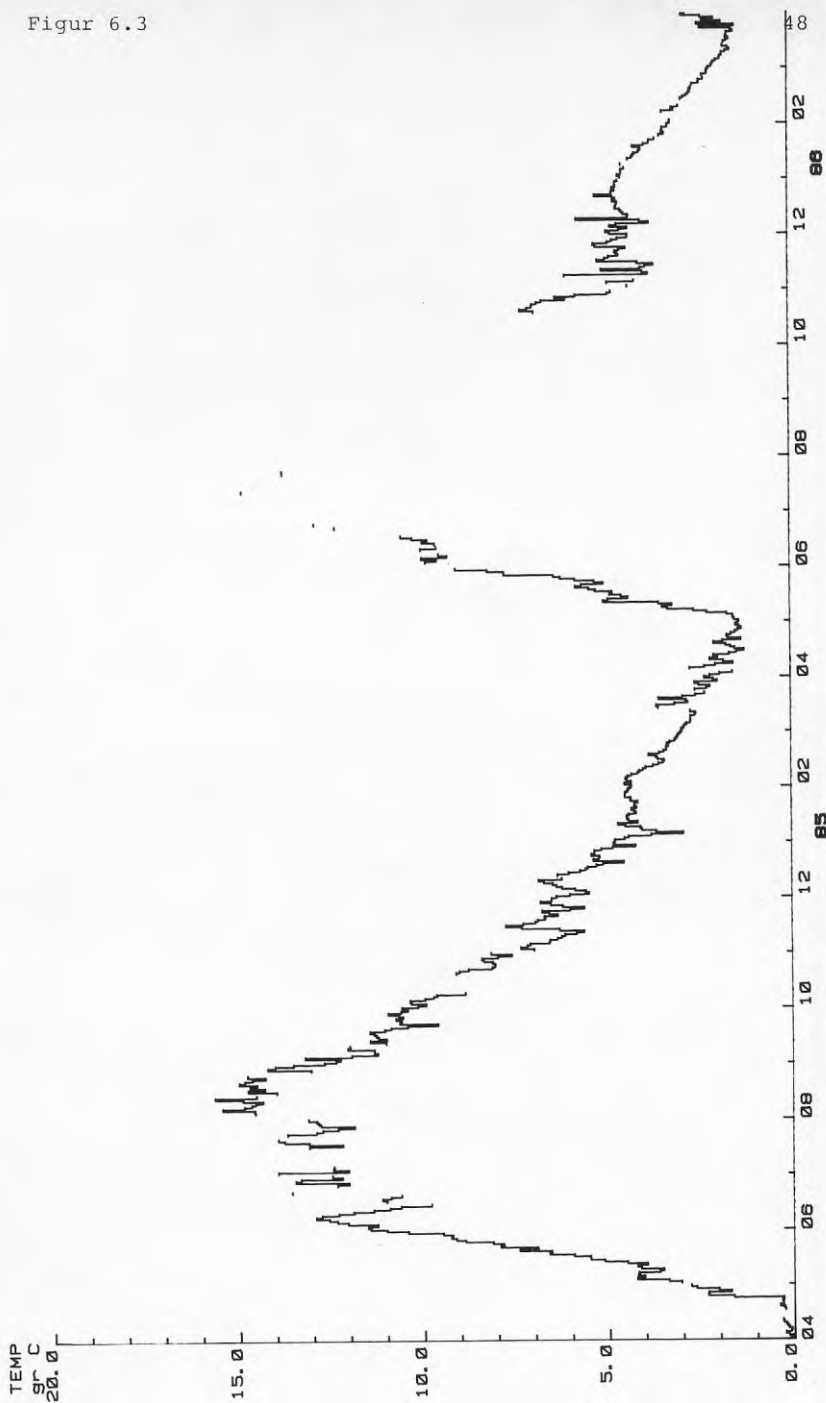


LIDINGO
840401 000000 - 860331 230000

8:11 AM WED., 2 DEC., 1987

Figur 6.3

————— UTG SJOVATTEN



LIDINGO
840401 000000 - 860331 230000

7. VÄRMESÄNKÅ

Värmepumparna avger sin värme till fjärrvärmesystemets returledning. Tetab's värmepump känner av det kallaste vattnet, vilket där- efter leds till Asea Stal's anläggning, jämför figur 2.1. Fig 7.1 visar nätets fram- och returledningstemperaturer under mätperioden.

I figur 7.2 är fjärrvärmevattnets inkommande och utgående temperaturer uppritade som funktion av utomhustemperaturen. Spridningen i inkommande temperatur (retur) kan inte förklaras utan studium av anslutna förbrukare. Uppenbarligen fungerar vissa abonnentcentraler inte tillfredsställande styrtekniskt.

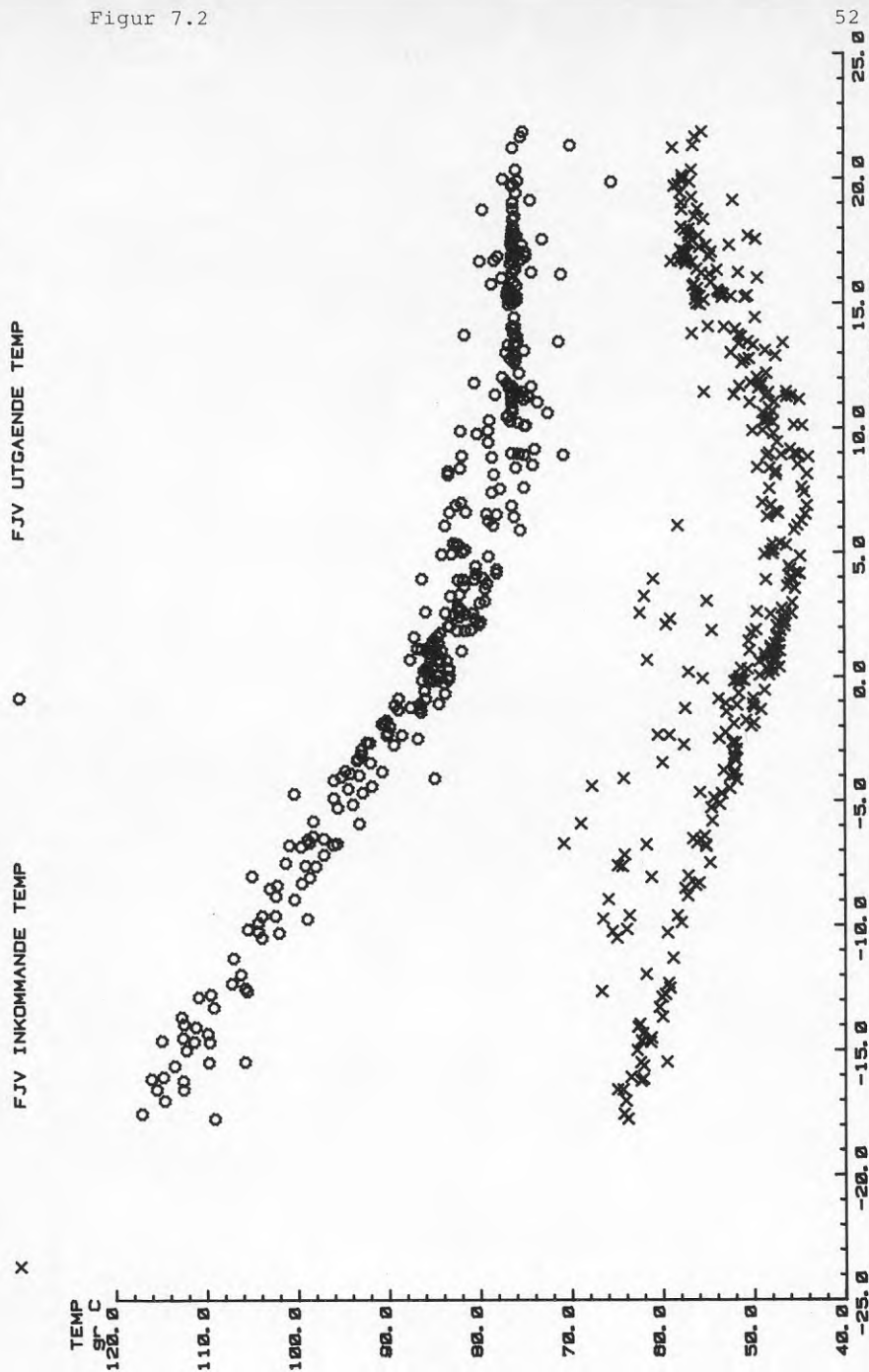
Framledningstemperaturen reglerar på utomhustemperaturen upp till +5 °C, för att vid högre utomhustemperaturer konstanthålla ca 80 °C i framledning. Orsaken till den höga temperaturen sägs vara kravet att säkerställa tappvarmvattentemperaturen i undercentralerna. Effekttuttaget i nätet regleras vid högre utomhustemperaturer dels med flödesminskning och dels med minskande temperaturdifferenser. Vattnets temperatur tillbaka från undercentralerna har ett minvärde vid +5°C utomhus. Att returtemperaturen stiger vid sjunkande utomhustemperatur är inte något stort problem för värmepumparna eftersom man upprätthåller ett högt vattenflöde i systemet och därmed erhåller små differenser över värmepumparnas kondensorer. På sommaren blir differenserna större då vattenflödet är lägre. Vattenflödet blir så lågt att Asea Stal-värmepumpens interna vattenkrets håller ett högre vattenflöde och således pumpar tillbaka redan uppvärmt vatten in i kondensorn.

Framledningstemperaturen från värmepumpen kan maximalt bli 80 °C, vilket innebär att fjärrvärmenätet inte kan användas som ackumulator. Värmepumpen eller någon spetsvärmekälla måste därför vara i drift kontinuerligt även om värmebehovet är litet.

Figur 7.3 visar fjärrvärmevattnets differensstemperatur som funktion av utomhustemperaturen. Mätpunkternas spridning förklaras huvudsakligen av variationer i returtemperatur, jämför ovan.

3.55 PM WED. 18 NOV. 1987

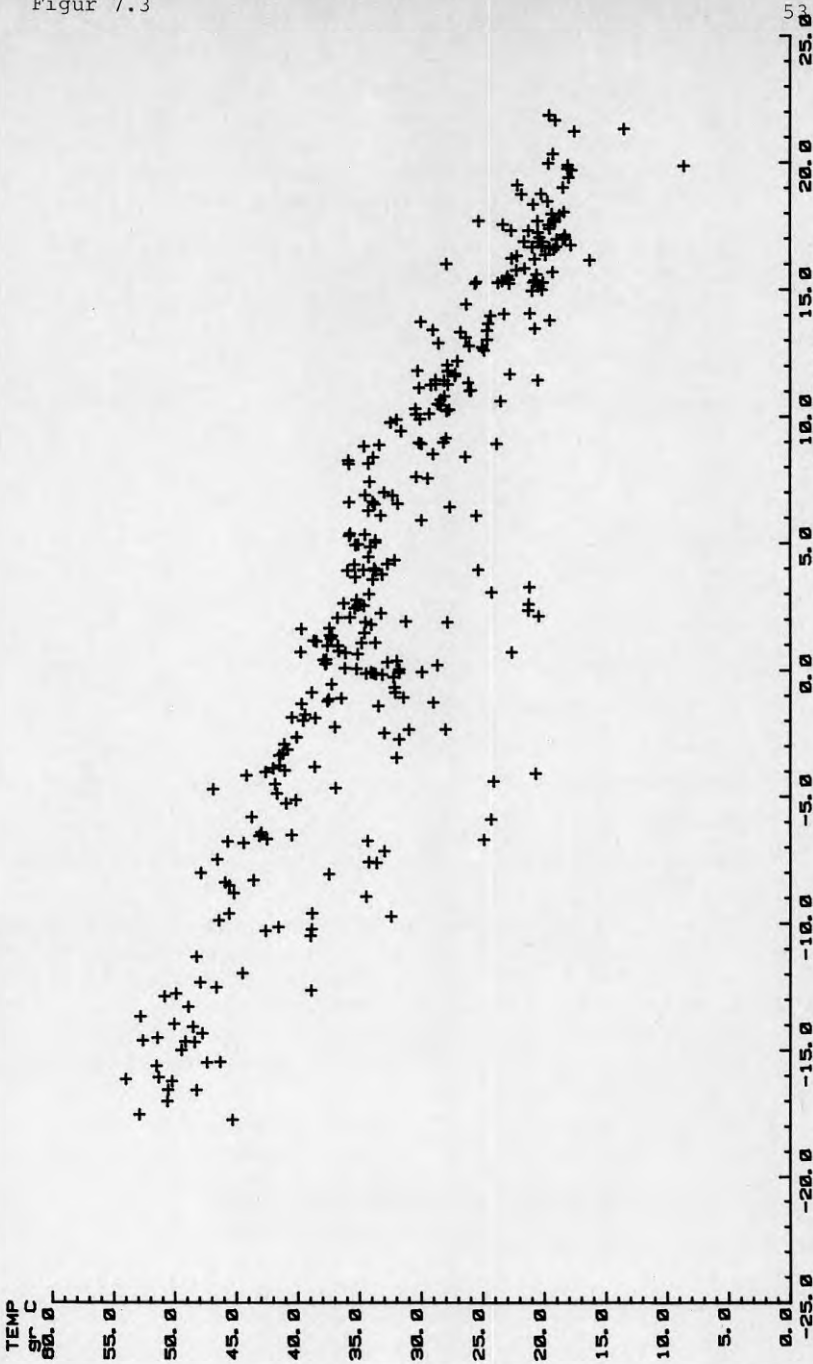
Figur 7.2



LIDINGO
850101 000000 - 851231 230000

Figur 7.3

FJV DIFF. TEMPERATUR



UTMHUSTEMPERATUR

LIDINGO

850101 000000 - 051231 230000

Värmepumparna ägs av Vattenfall som säljer värme till Lidingö Energiverk enligt alternativkostnadsprincip. El- och oljepannorna ägs däremot av Lidingö Energiverk. Med elpanneinstallationen försämrades värmepumparnas lönsamhet eftersom alternativkostnaden sjönk, medan lönsamheten på hela fjärrvärmecentralen förbättrades.

Investeringen för Asea Stal's värmepump var 29,3 Mkr (2700 kr/kW) och för Tetab's anläggning 8,8 Mkr (2500 kr/kW). För första mätåret (840401-850331) kan följande ekonomiska utfall redovisas.

Tabell 8.1

Mätdata och ekonomi 84 04 01 - 85 03 31

	ASEA STAL	TETAB	
Värmeprod.	63,7	12,9	GWh
Elförbrukn. kompr.	21,4	4,1	GWh
Värmefaktor, tot	2,7	2,8	
Inbesparad olja	6780	1370	m ³
Oljekostnadsbesparing	13,2	2,7	Mkr
Elkostnad, 21 öre/kWh	4,5	0,9	Mkr
Kapitalkostn. 12%, 15 år	4,3	1,3	Mkr
Service & Underhåll	0,9	0,2	Mkr
Överskott	3,5	0,3	Mkr
Värmekostnad för vp	152	175	kr/MWh

Vid beräkning av total värmefaktor har kompressorernas elbehov uppräknats med 10 % för hänsyn till hjälpeffekter. Rak pay-off tid för anläggningarna blir med ovanstående förutsättningar 3,8 resp 5,5 år, (oljekostnad 1.950 kr/kbm). I verkligheten blir den längre eftersom värmepumparna har konkurrens med elpannan vars elektricitet är energiskattebefriad. Lönsamheten är givetvis direkt beroende av alternativ värmekostnad.

Av figur 8.1 framgår vid vilka energipriskombinationer värmepumpen kan konkurrera med el och olja. Figuren är konstruerad med uppmätta data från första mätåret för Asea Stal's värmepump. Kostnader för service och underhåll har inte medtagits. De anses balanseras med motsvarande kostnader för el respektive olja samt förlängd livstid för dessa pannor. Linjerna för investeringskostnad i kr/kW gäller enbart för värmepumpen, ingen kapitalkostnad har avräknats för alternativ värme.

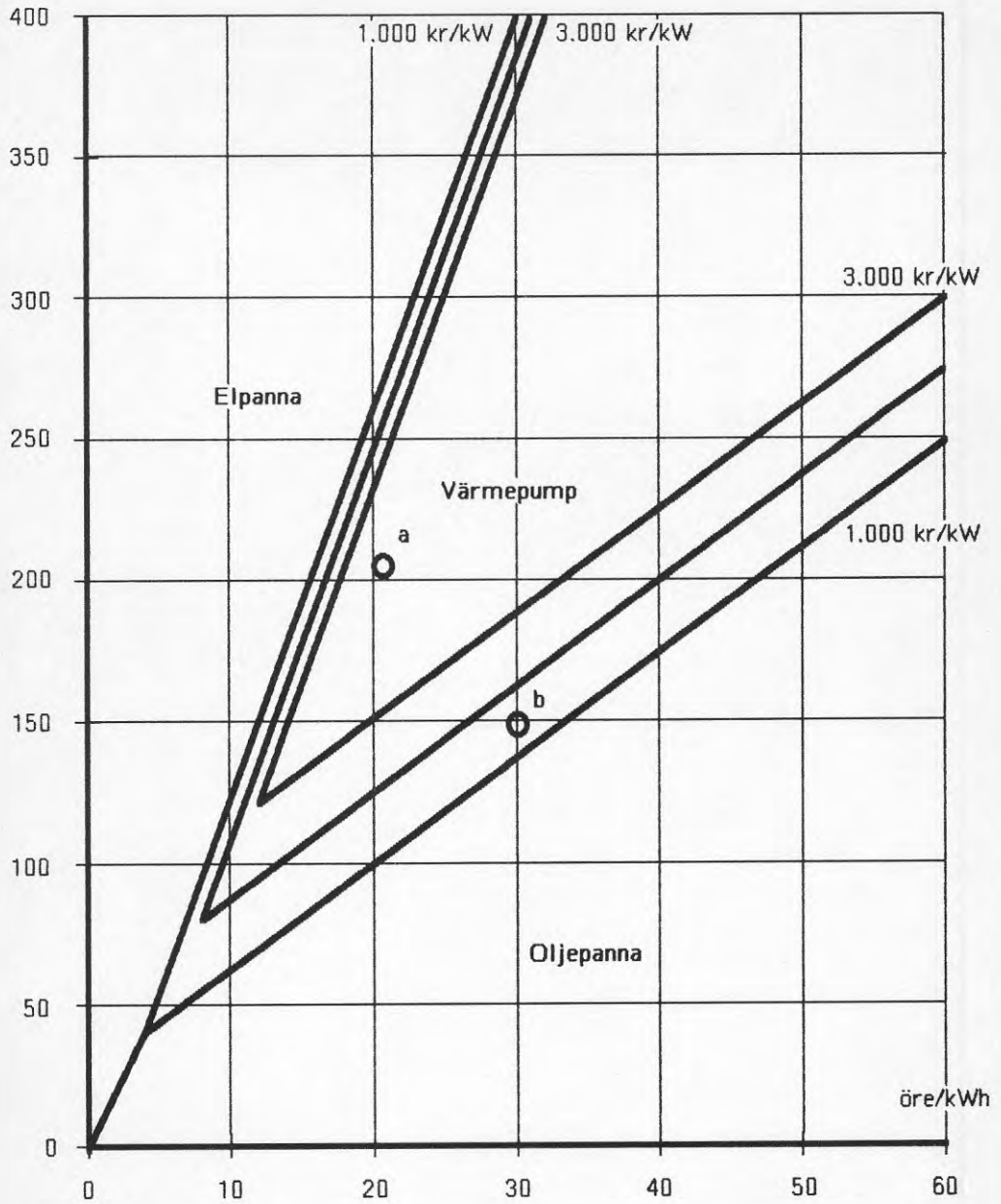
Punkten a i figur 8.1 motsvarar energiprissituationen under 1984, värmepumpen är då tydligen en konkurrenskraftig enhet. Med en för 1988 mer relevant energipriskombination, punkten b, blir läget ett annat. Figuren måste användas med försiktighet, den tar t ex inte hänsyn till tidsdifferentierade eltaxor. Det framgår dock att elpriset

måste vara synnerligen lågt för att konkurrera. Endast då skattebefrielse ges för elpanne-el, men inte för värmepump-el kan elpannedrift bli aktuell. En sådan konstlad styrning är svår att motivera. I dag och i framtiden torde valet därför stå mellan värmepump och ren oljeeldning (eller annat fossilt bränsle).

Lönsamhetsdiagram: oljepanna / elpanna / värmepump (ASEA STAL, 11 MW).

Annuitet $a = 0,147$.

Värmepris kr/MWh



Elpris

BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER

\dot{Q}_1	Värmeeffekt	W
Q_1	Värmeenergi	J, (Wh)
\dot{Q}_2	Kyleffekt	W
Q_2	Kylenergi	J, (Wh)
\dot{E}_k	Kompressoreffekt	W
E_k	Kompressorenergi	J, (Wh)
T_1, t_1	Kondenseringstemperatur	K, °C
T_2, t_2	Förångningstemperatur	K, °C
COP_1	Värmefaktor	
COP_2	Köldfaktor	
COP_{1C}	Värmefaktor för en Carnotprocess, baserat på vattentemperaturer	
COP_{2C}	Köldfaktor för en Carnotprocess, baserat på vattentemperaturer	
$1Ct$	Carnotska verkningsgraden, baserad på värmefaktorerna	
$2CT$	Carnotska verkningsgraden, baserad på köldfaktorerna	
t	Temperatur	K; °C

Pierre, B. 1972, Kylteknik ak., Inst. för Mekanisk värmeteori och Kylteknik, KTH, Stockholm.

Enström, H och Solin, L, 1987, Louddens värmepump, BFR-rapport R16:1987, Stockholm.

Enström, H och Solin, L, 1987. Uppsala värmepumpar, BFR-rapport R97:1988, Stockholm

Lundqvist, Peter och Lindström, Hans, 1984, Sjövattnvärmepump 11 MW och 3.5 MW, Lidköping. Driftrapport 1. Vattenfall, Stockholm.

Lundqvist, Peter, 1985. Drifterfarenheter från Sala, Lidköping och Visby värmepumpanläggningar. XXI:e Nordiska kylmötet, Stockholm.

Enström, H, 1983, Some experiences of heat pumps in district heating networks, XVIth International congress of refrigeration, Paris.

Enström, H, Solin, L och Karström, A, 1987, Large heat pumps in district heating networks, XVIIth International congress of refrigeration, Vienna.

BILAGA

Tabell 1: Månatlig värmeavgivning från respektive värmeenhet.

Tabell 2: Månatliga värme- och eleffekter för TETAB.

Tabell 3: Månatliga värme- och eleffekter för ASEA STAL.

Figur 1-20: Timmedelvärden för värmeeffekt och COP1, information kring driftinskränkningar finns införd.

Månatlig värmeavgivning

År Månad	TETAB MWh	ASEA STAL MWh	Elpannor MWh	Oljepannor MWh	Totalt MWh
84 04	993	4185		10462	15640
84 05	834	5726		1283	7843
84 06	0	3581		1673	5254
84 07	86	1879		2231	4196
84 08	228	2856		1218	4302
84 09	4674	5864		247	10785
84 10	977	4051		0	5028
84 11	1580	7664	5665	512	15421
84 12	2159	7131	4397	5427	20114
85 01	1696	7247	778	21051	30772
85 02	951	6717	106	22107	29881
85 03	1737	6776	623	12494	21630
Σ	12915	63677	11569	78706	166867

År Månad	TETAB MWh	ASEA STAL MWh	Elpannor MWh	Oljepannor MWh	Totalt MWh
85 04	1422	6207	16	9704	17349
85 05	892	3437	65	2561	6955
85 06	147	1487	340	742	2716
85 07	13	32	3480	143	2668
85 08	0	5	4807	37	4849
85 09	6	0	9921	122	10043
85 10	693	2819	7822	644	11978
85 11	945	5854	7314	6512	20625
85 12	967	7819	3862	13745	26393
86 01	1004	7871	0	16307	25182
86 02	846	6436	0	17727	25009
86 03	1235	6944	1334	11348	20861
Σ	8170	48911	38960	79592	175633

Tabell 2

Månatliga data för: TETAB

År Månad	Värme MWh	E1 MWh	COP1
84 04	993	341	2,91
84 05	834	245	3,40
84 06	0	0	-
84 07	86	29	2,97
84 08	228	66	3,45
84 09	4674	475	9,84
84 10	977	276	3,54
84 11	1580	463	3,41
84 12	2159	668	3,23
85 01	1696	613	2,77
85 02	951	347	2,74
85 03	1737	591	2,94
Σ	12915	4114	3,14

År Månad	Värme MWh	E1 MWh	COP1
85 04	1422	493	2,88
85 05	892	291	3,07
85 06	147	-	-
85 07	13	-	-
85 08	0	-	-
85 09	6	-	-
85 10	693	196	3,54
85 11	945	294	3,21
85 12	967	314	3,08
86 01	1004	329	3,05
86 02	846	301	2,81
86 03	1235	413	2,99
Σ	8170	2631	3,11

Tabell 3

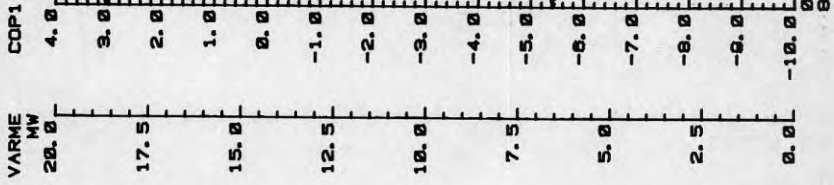
Månatliga data för: ASEA STAL

År Månad	Värme MWh	E1 MWh	COP1
84 04	4185	1346	3,11
84 05	5726	1924	2,98
84 06	3581	1419	2,52
84 07	1879	833	2,26
84 08	2856	1287	2,22
84 09	5864	1916	3,06
84 10	4051	1234	3,28
84 11	7664	2324	3,30
84 12	7131	2172	3,28
85 01	7247	2394	3,03
85 02	6717	2300	2,92
85 03	6776	2260	3,00
Σ	63677	21409	2,97

År Månad	Värme MWh	E1 MWh	COP1
85 04	6207	1902	3,26
85 05	3437	1746	1,97
85 06	1487	939	1,58
85 07	32	-	-
85 08	5	-	-
85 09	0	-	-
85 10	2819	852	3,31
85 11	5854	1761	3,32
85 12	7819	2466	3,17
86 01	7871	2470	3,19
86 02	6436	2073	3,10
86 03	6944	2138	3,25
Σ	48911	16347	2,99

VARMEEFFEKT

VARMEFAKTOR



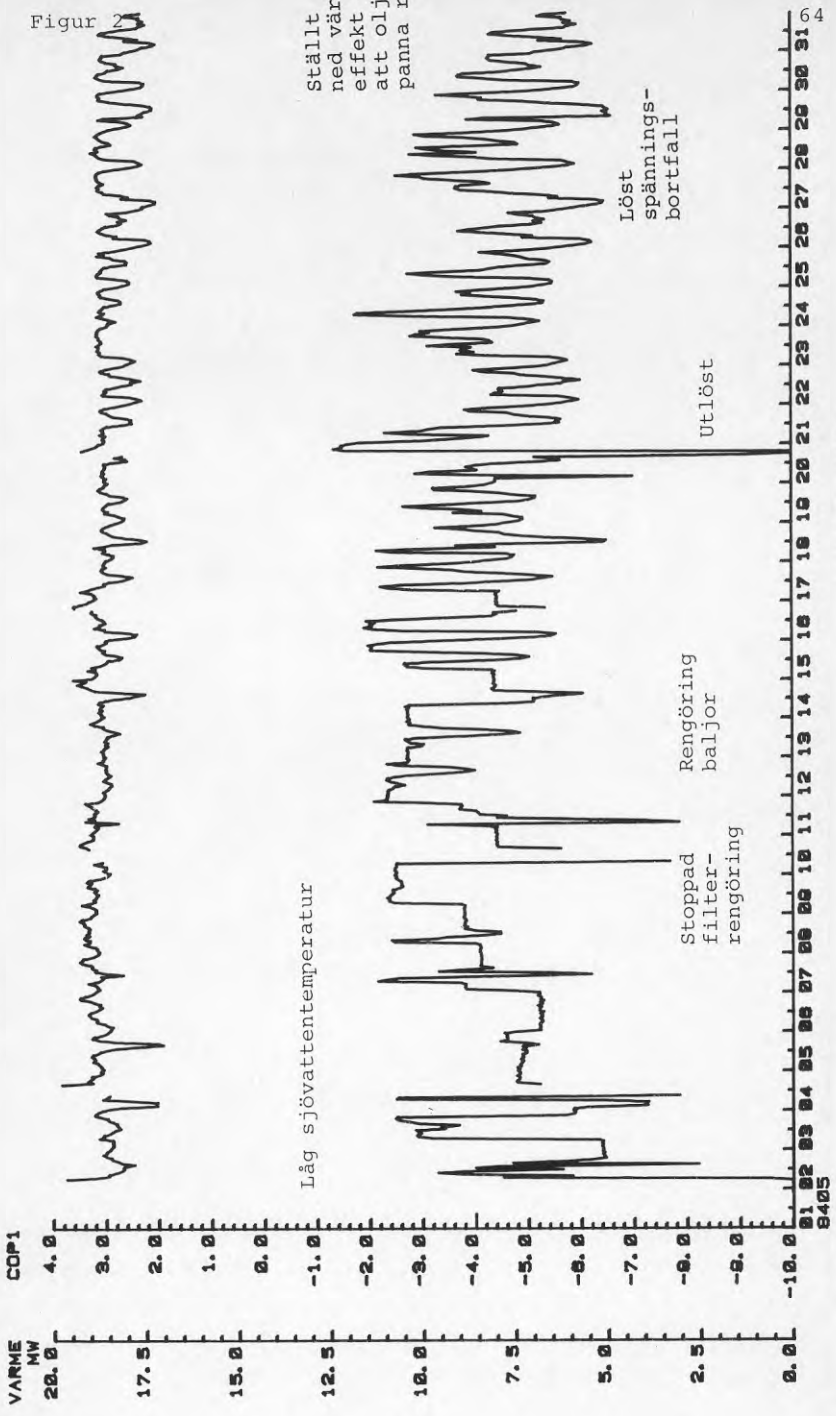
Figur 1



LIDINGO
840401 000000 - 840430 230000

VARMEEFFEKT

VARMEFAKTOR



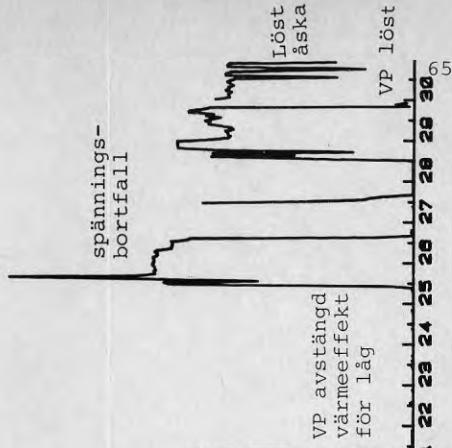
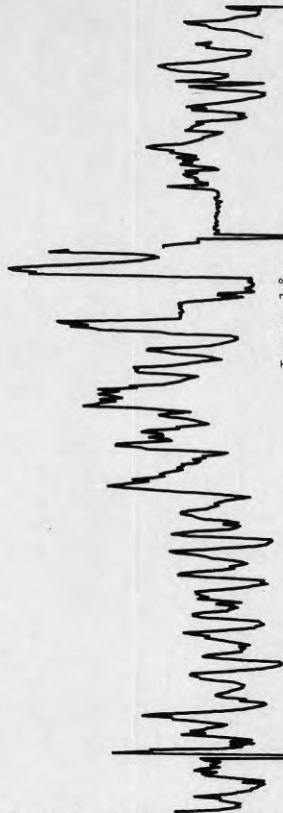
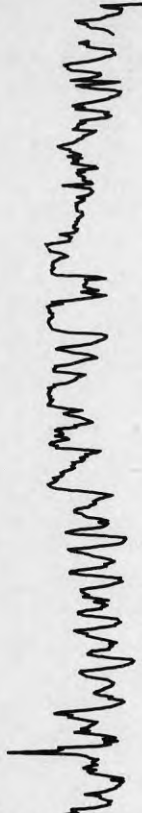
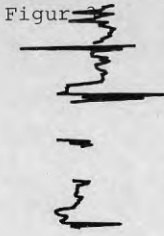
LIDINGO
840501 000000 - 840531 230000

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT

VARME MW 20.0 17.5 15.0 12.5 10.0 7.5 5.0 2.5 0.0

COP1 4.0 3.0 2.0 1.0 0.0 -1.0 -2.0 -3.0 -4.0 -5.0 -6.0 -7.0 -8.0 -9.0 -10.0



Figur

spännings-
bortfall

Larm låg
oljenivå

Utlöst
pga åska

VP avstängd
värmeeffekt
för låg

Löst
åska

VP löst

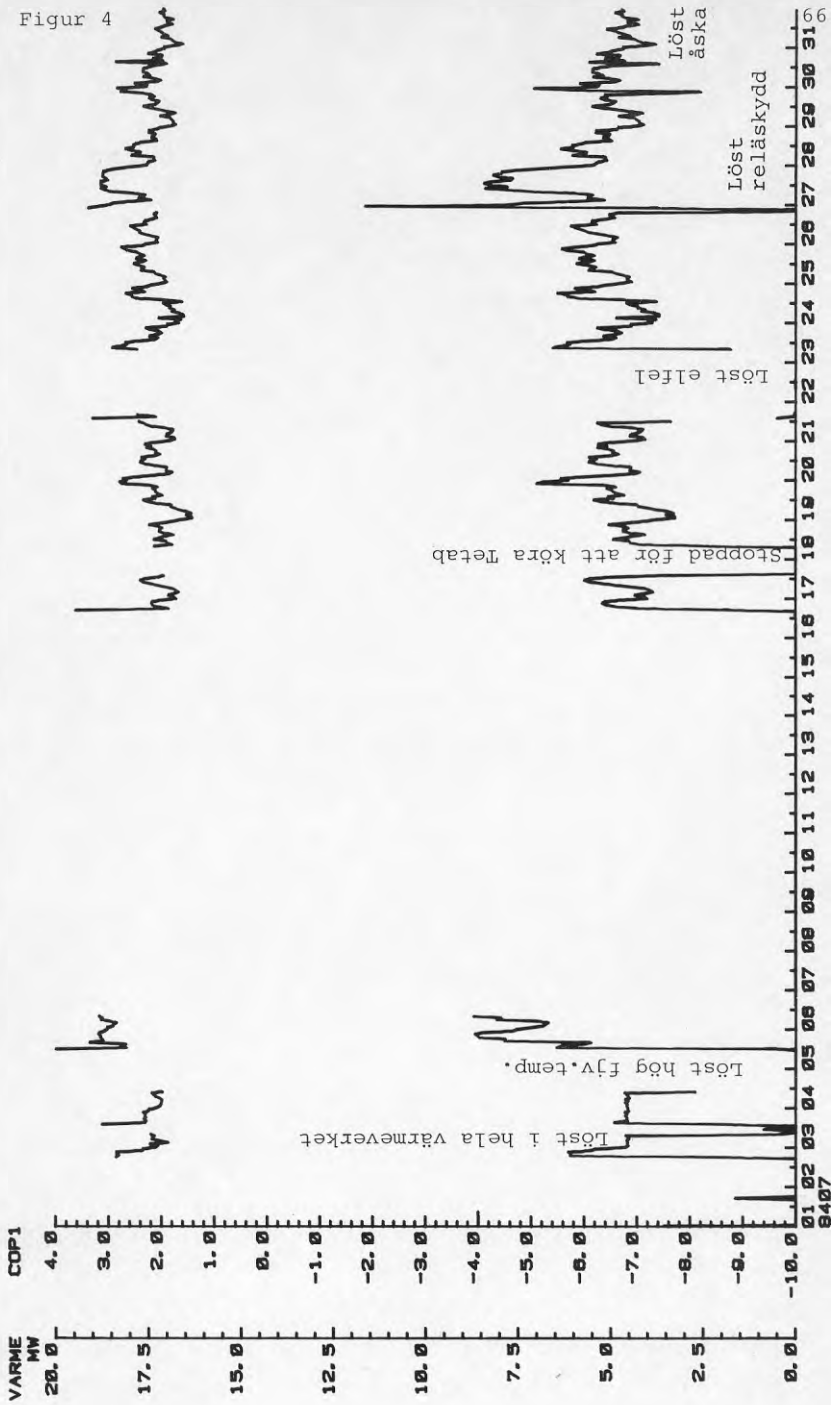
01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 30⁵

LIDINGO
040001 000000 - 040000 230000

8:05 AM FRI., 28 NOV., 1987

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT

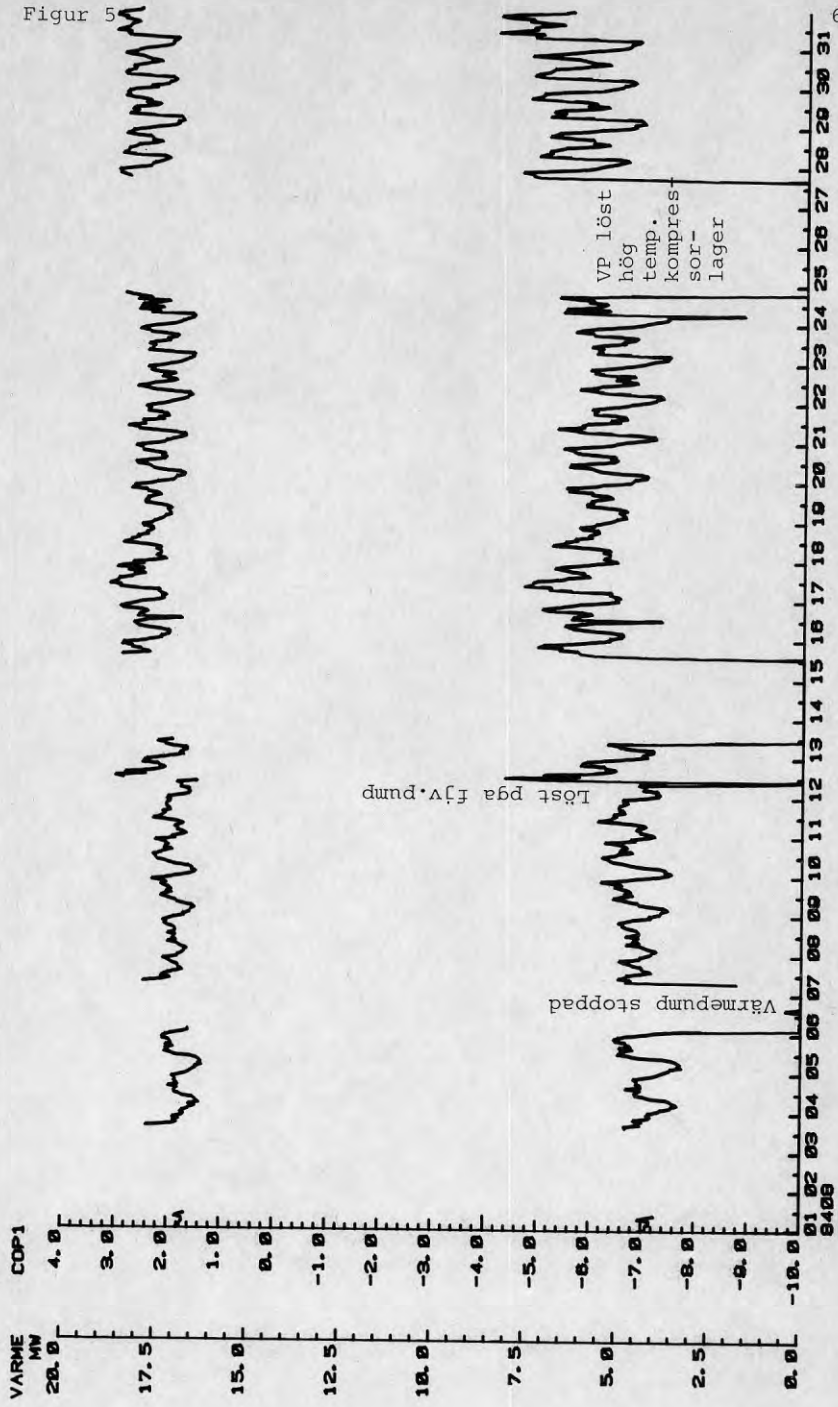


Figur 4

LIDINGO
840701 000000 - 840731 230000

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT

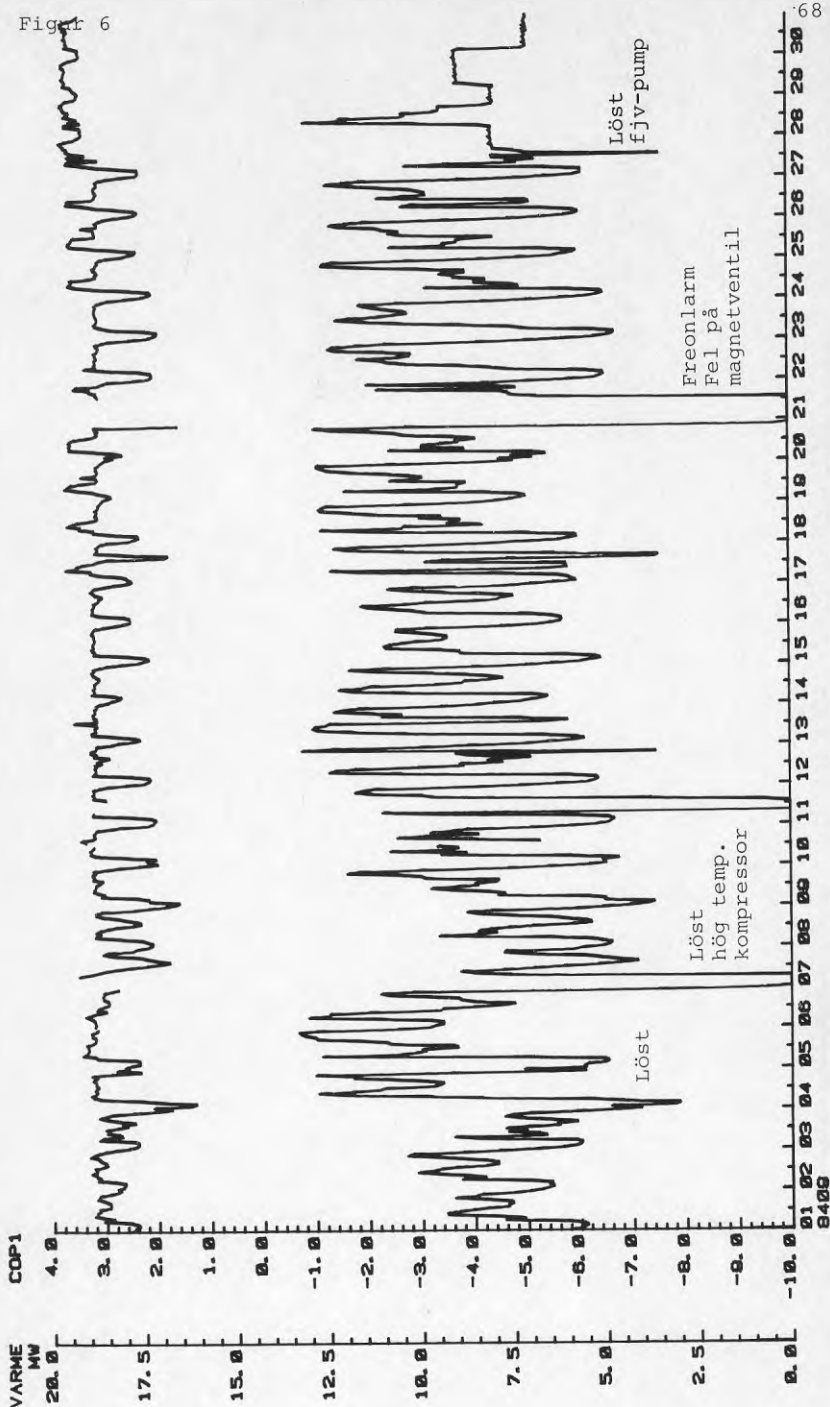


Figur 5

LIDINGO
840801 000000 - 840831 230000

VARMEFAKTOR

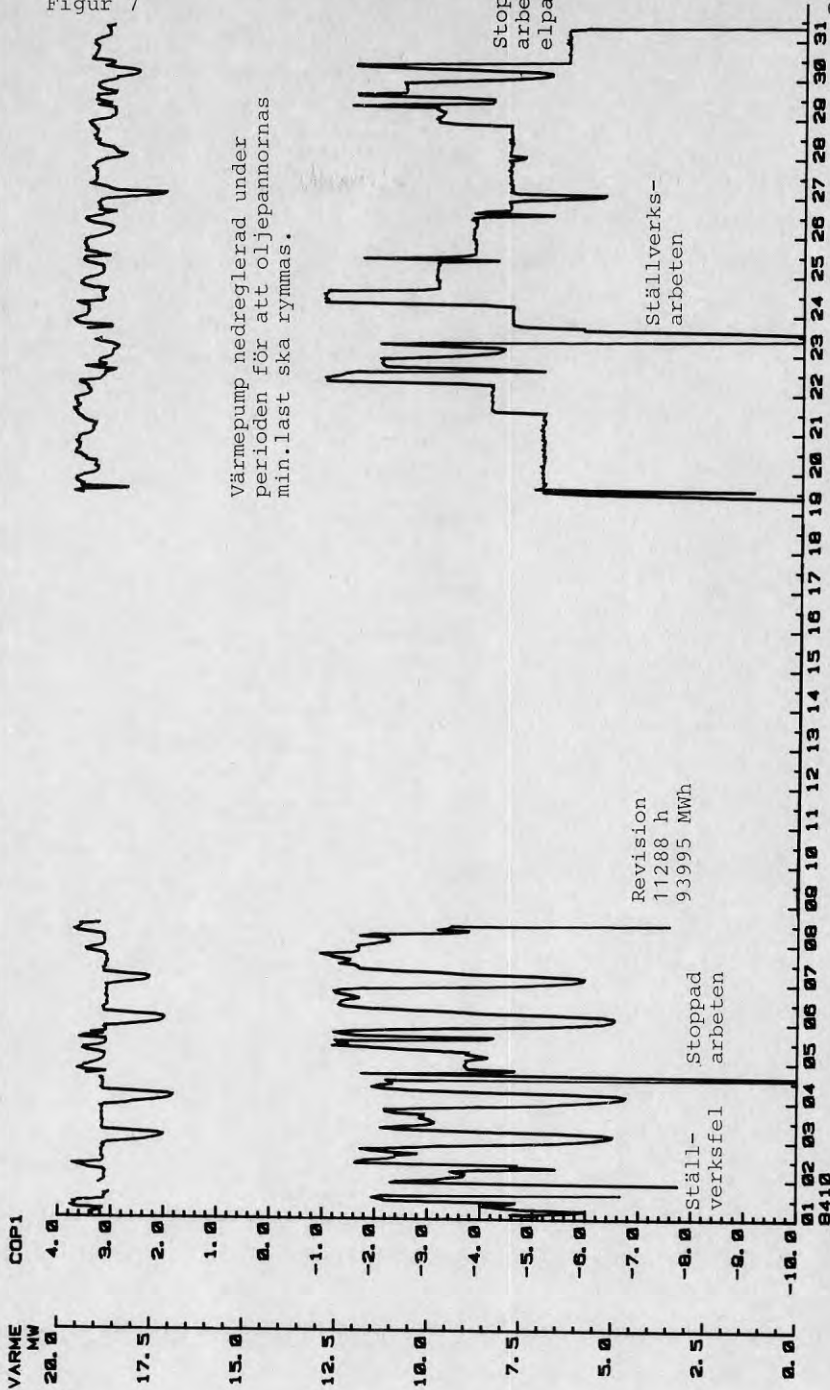
VARMEEFFEKT



Figur 6

VARMEEFFEKT

VARMEFAKTOR



Figur 7

Stoppad arbeten elpannor

Ställverks- arbeten

Revision 11288 h 93995 MWh

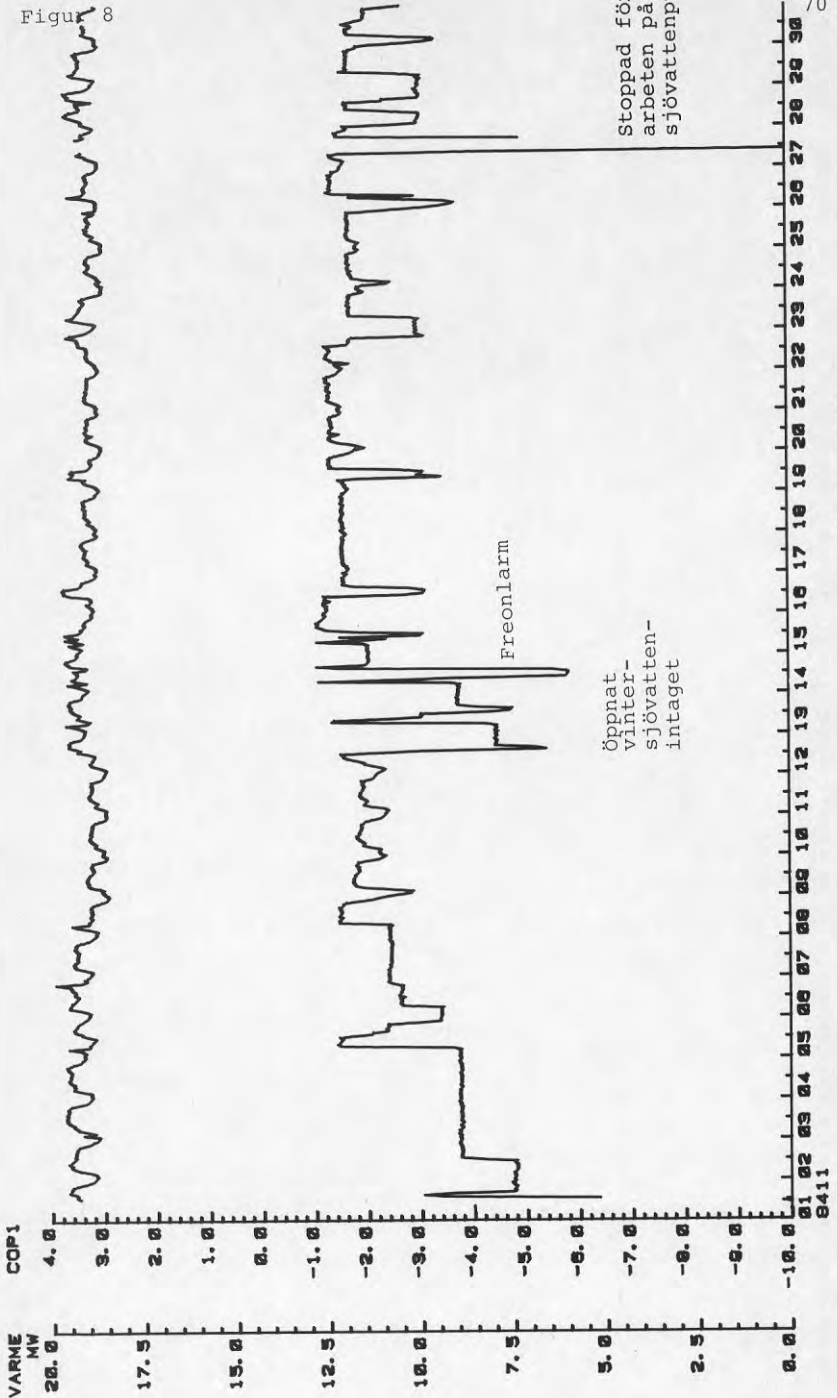
Stoppad arbeten

Ställ- verksfel

9:28 AM FRI.. 26 NOV.. 1987

VARNEFAKTOR

VARNEEFFEKT

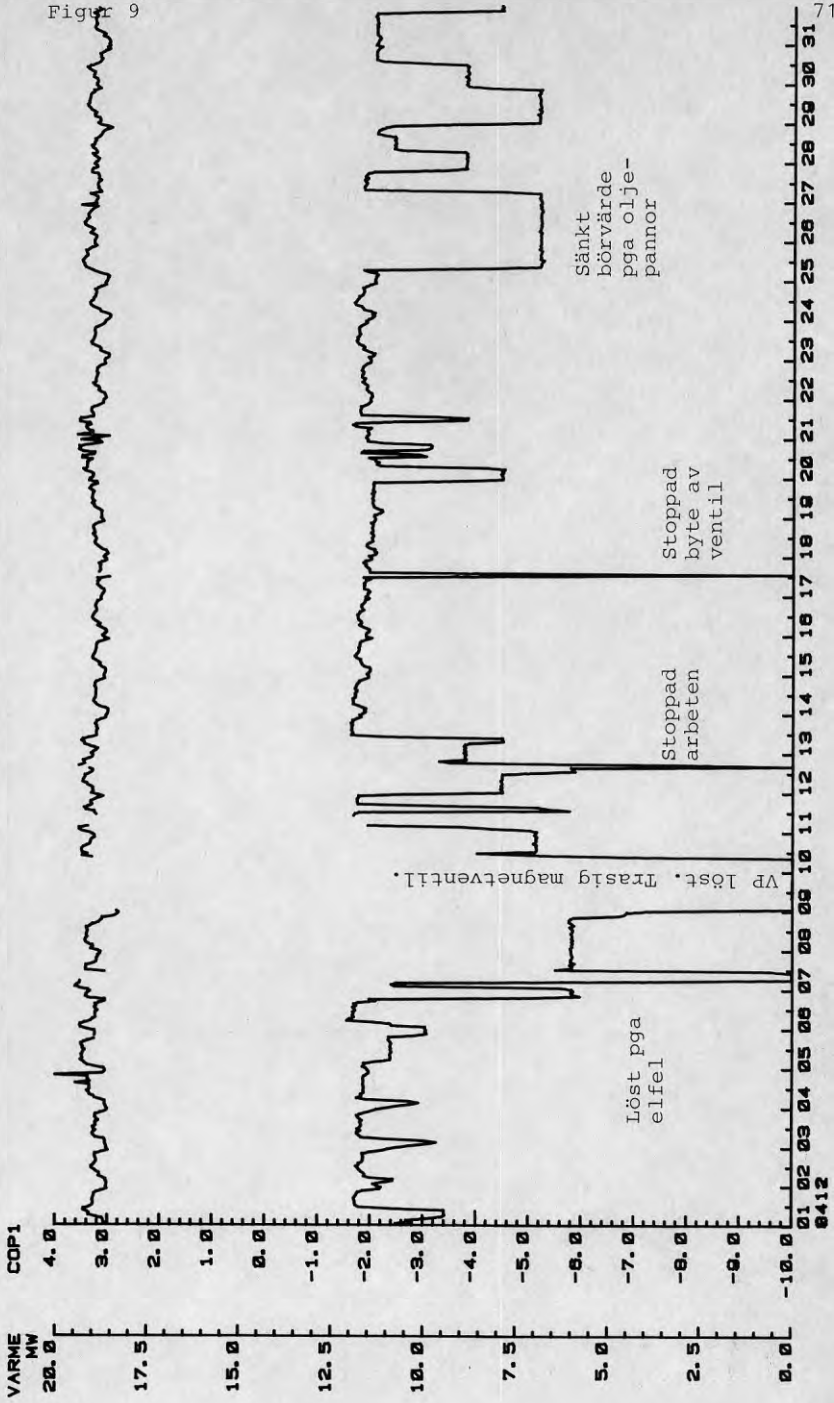


LIDINGO
841101 000000 - 841130 230000

0:27 AM FRI.. 28 NOV.. 1987

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT



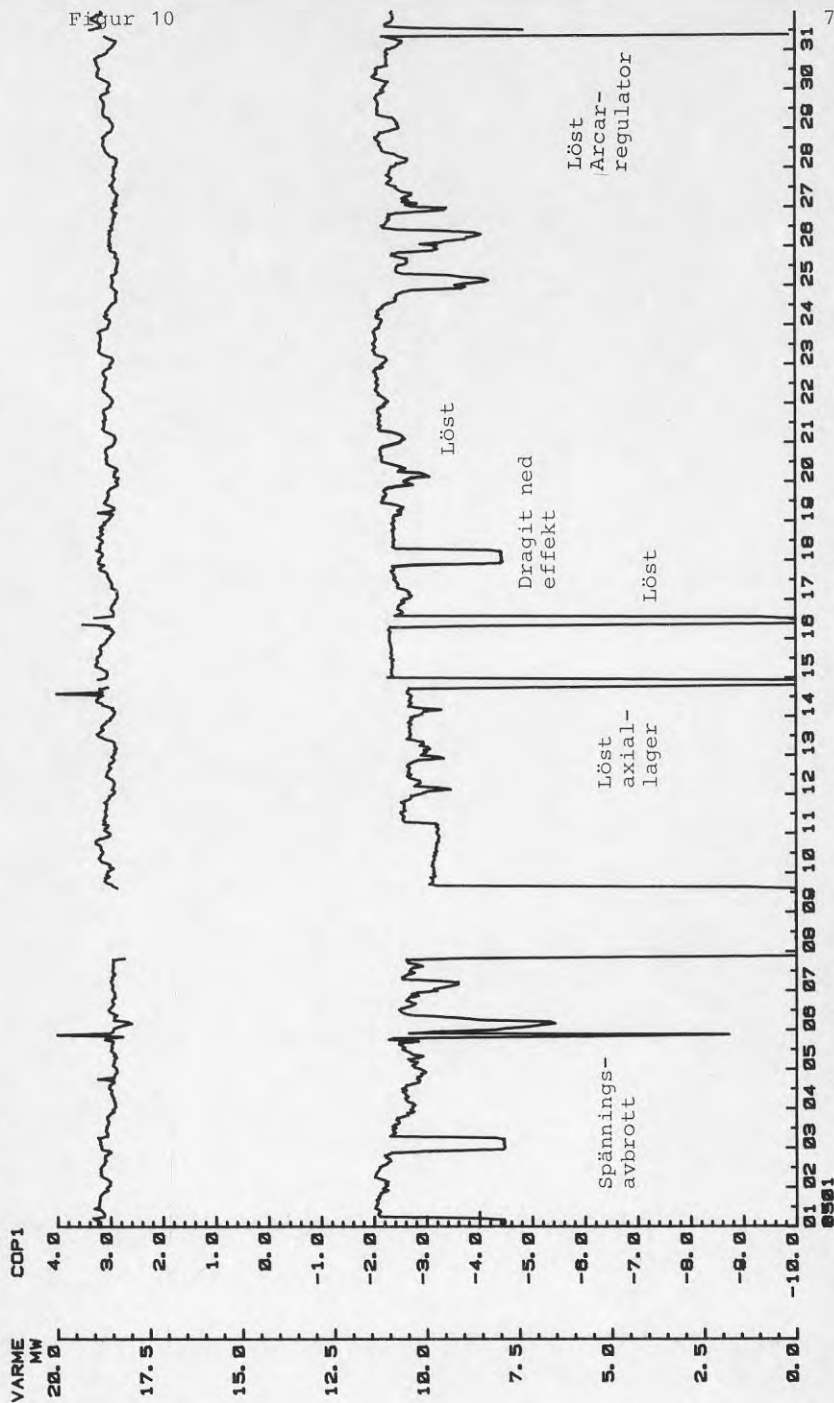
Figur 9

LIDINGO
841201 000000 - 841231 230000

08:45 AM FRI.. 26 NOV.. 1987

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT



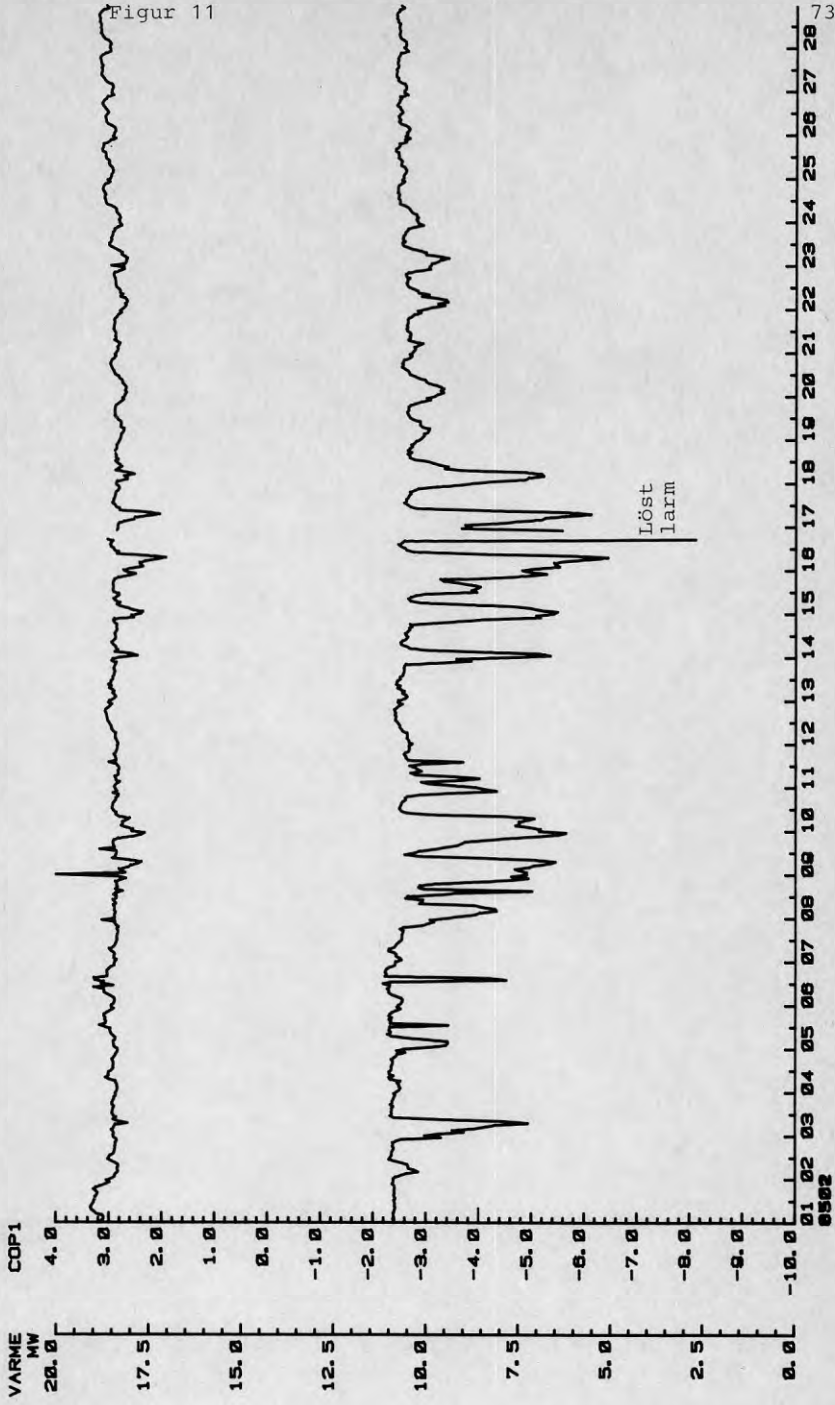
Figur 10

LIDINGO
850101 000000 - 850131 230000

10:18 AM FRI., 20 NOV., 1987

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT

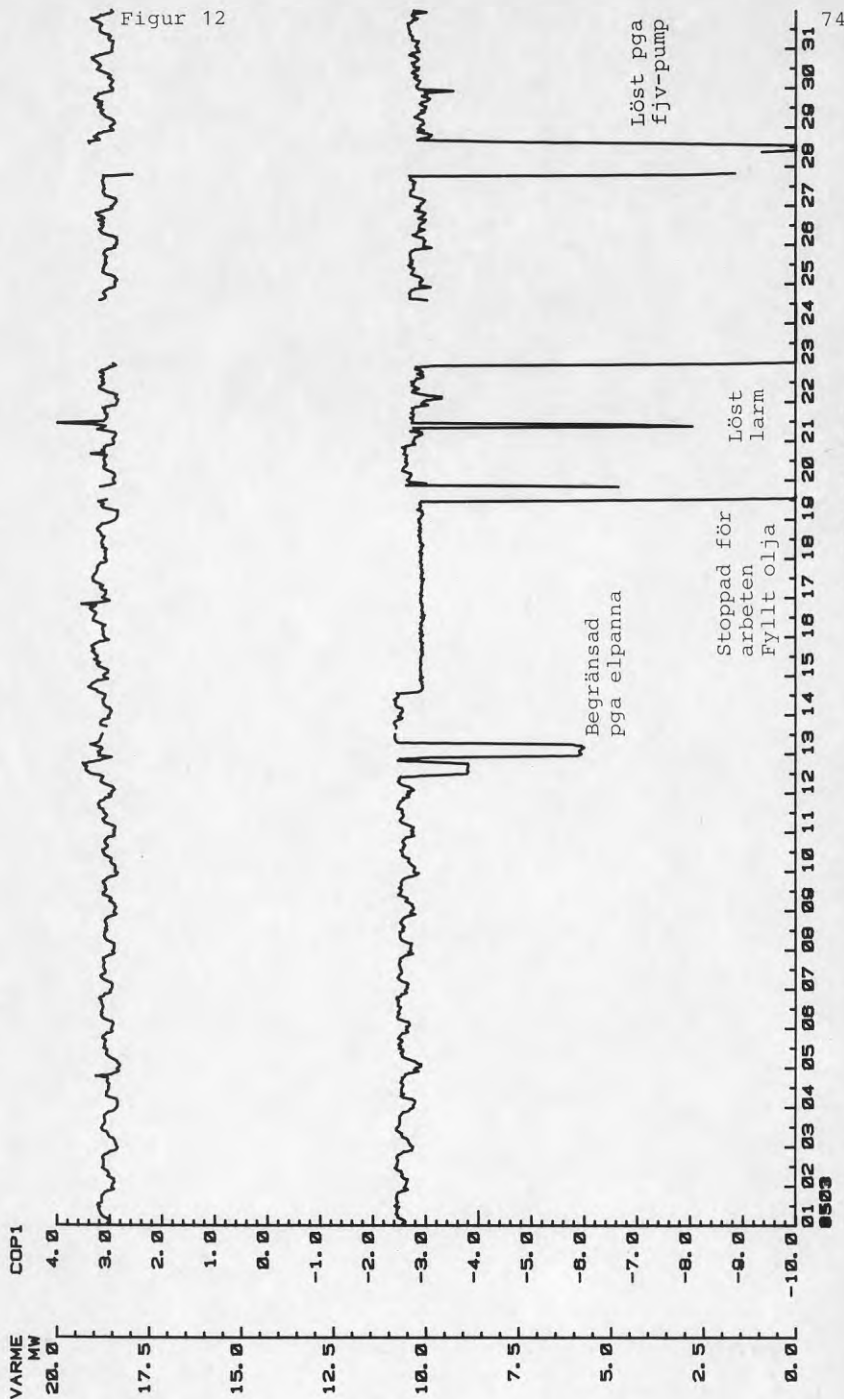


LIDINGO
850201 000000 - 850228 230000

16.17 AM FRI.. 28 NOV.. 1987

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT

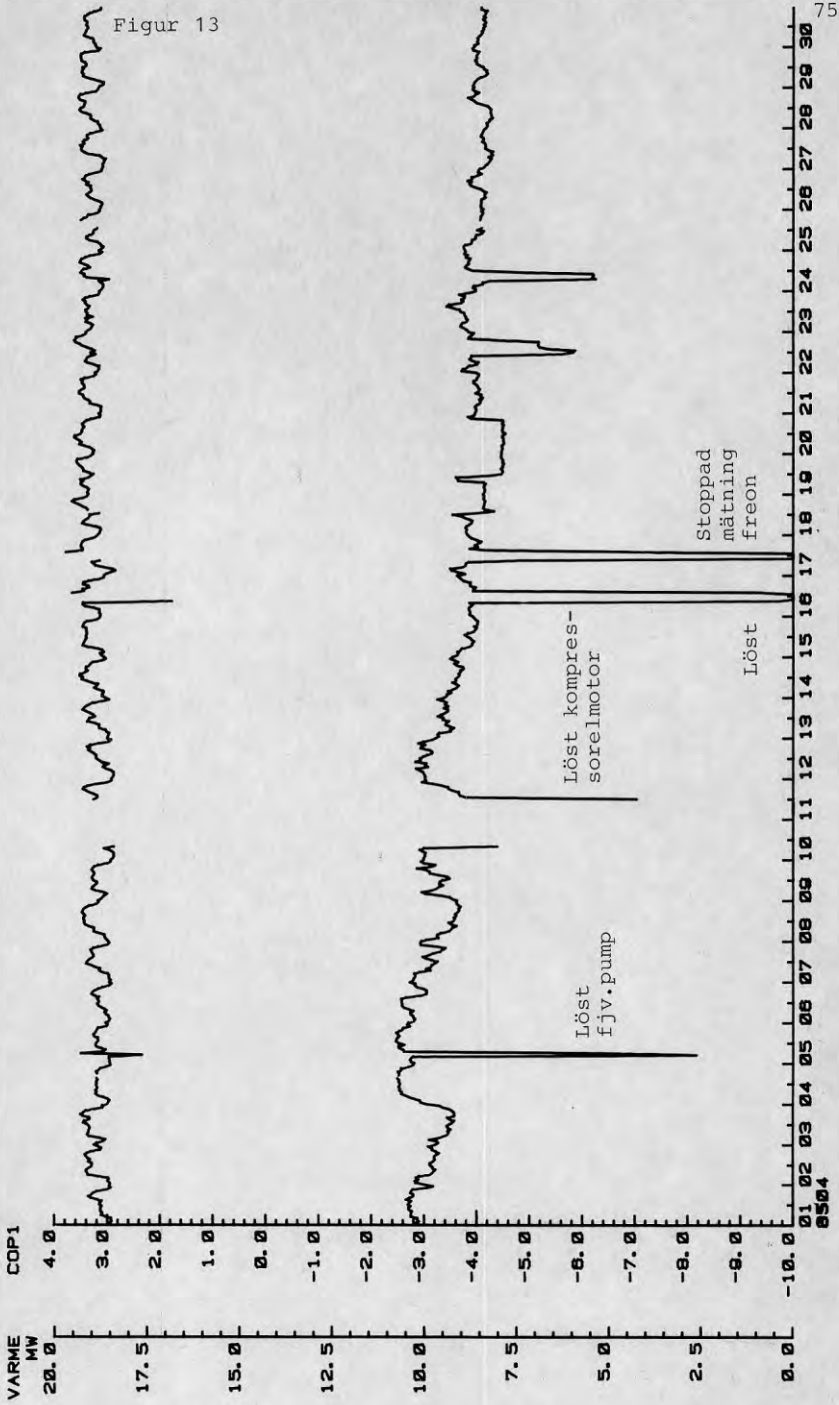


Figur 12

LIDINGO
850301 000000 - 850331 230000

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT



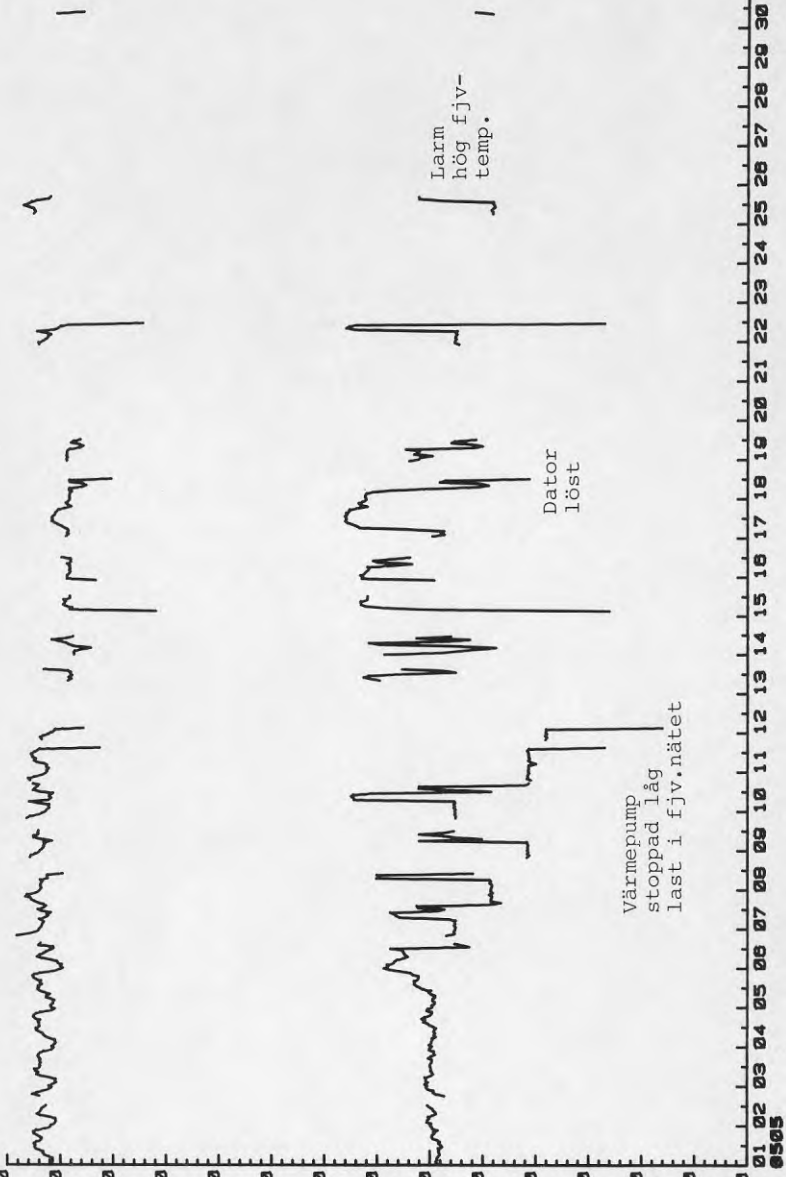
VARMEEFFEKT

VARMEFAKTOR

VARME MW
20.0
17.5
15.0
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
0.0

COP1
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
-4.0
-5.0
-6.0
-7.0
-8.0
-9.0
-10.0

Figur 14



Larm
hög
fjv-
temp.

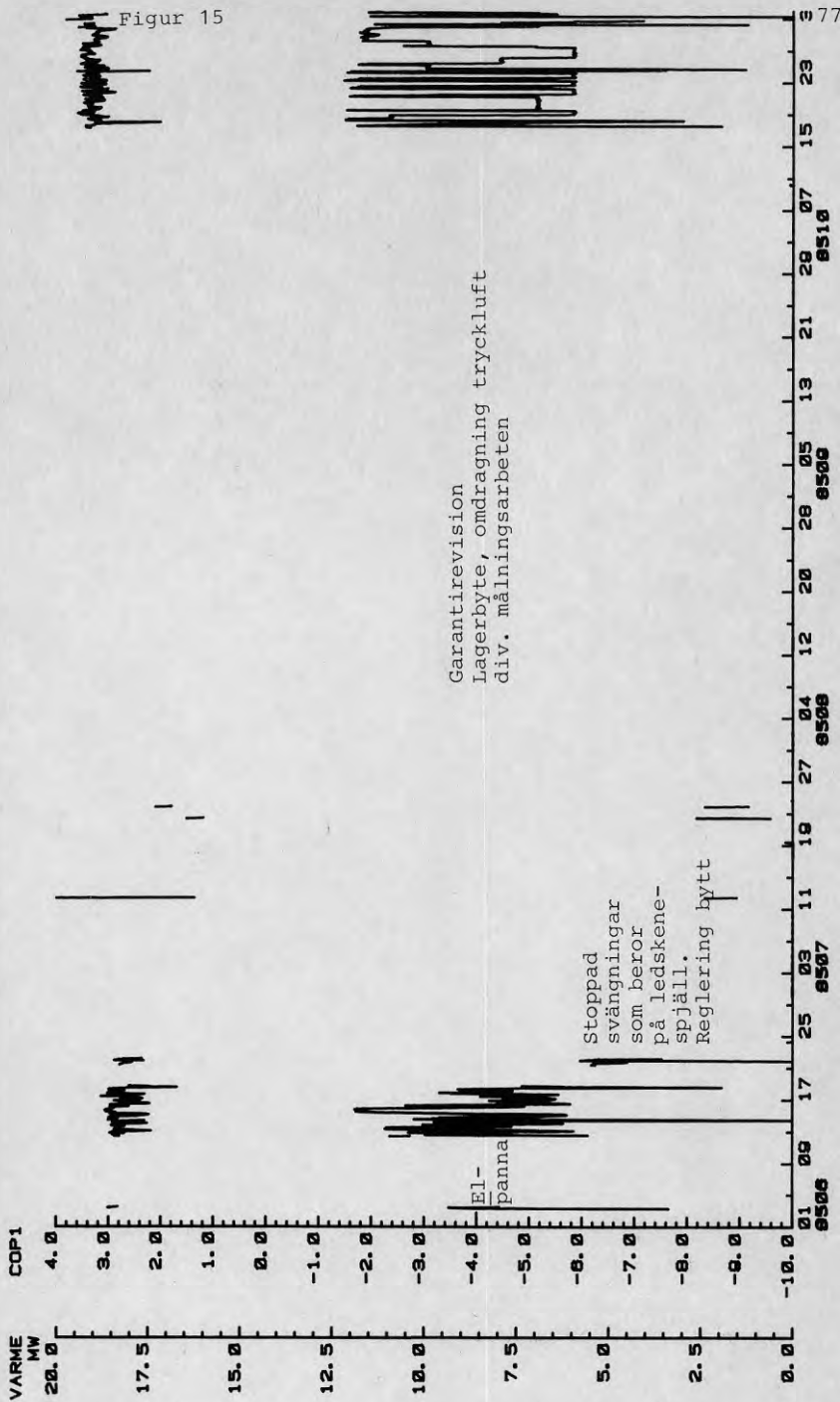
Dator
löst

Värme pump
stoppad låg
last i fjv.nätet

LIDINGO
850501 000000 - 850531 230000

VARMEFAKTOR

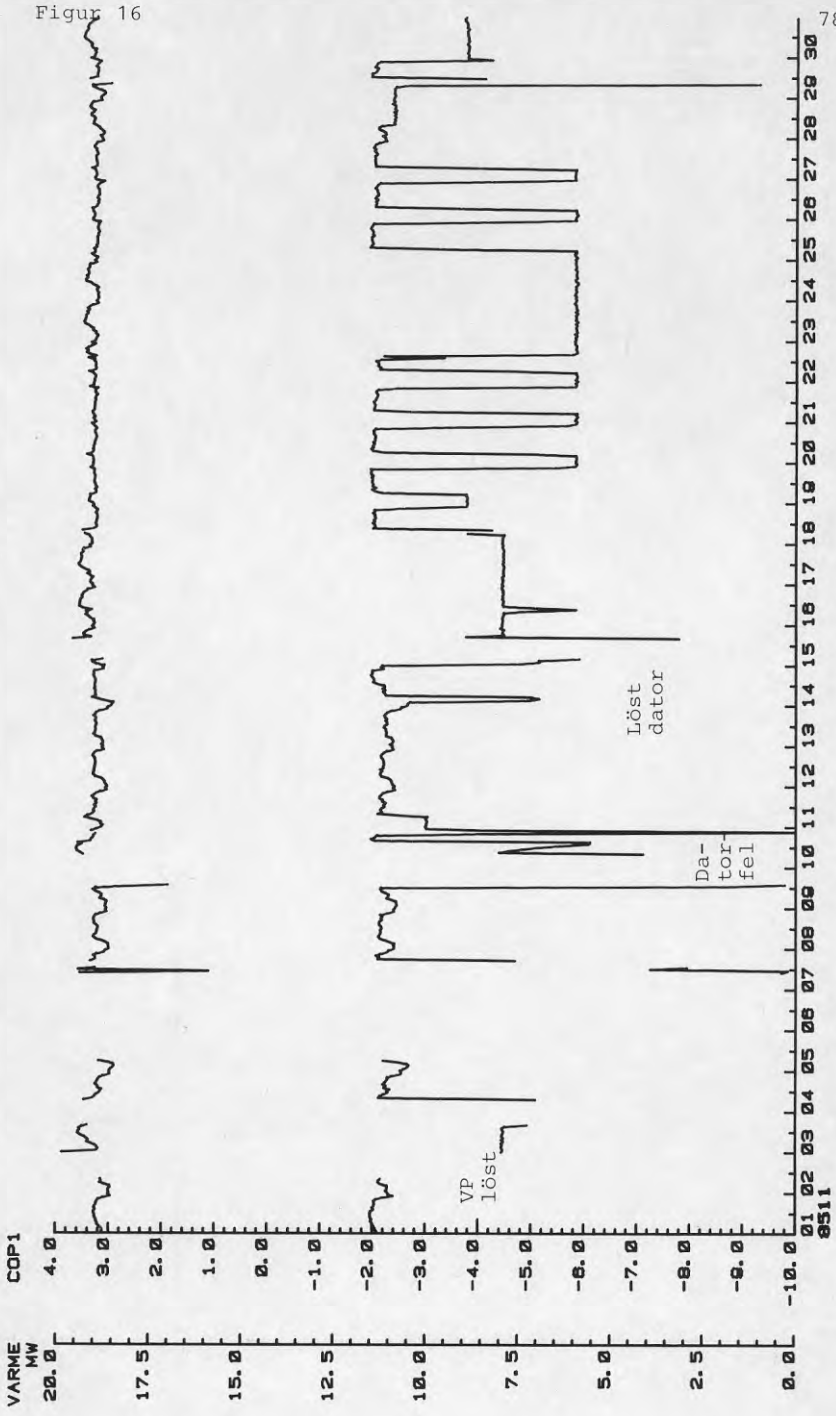
VARMEEFFEKT



18.38 AM FRI.. 28 NOV.. 1987

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT

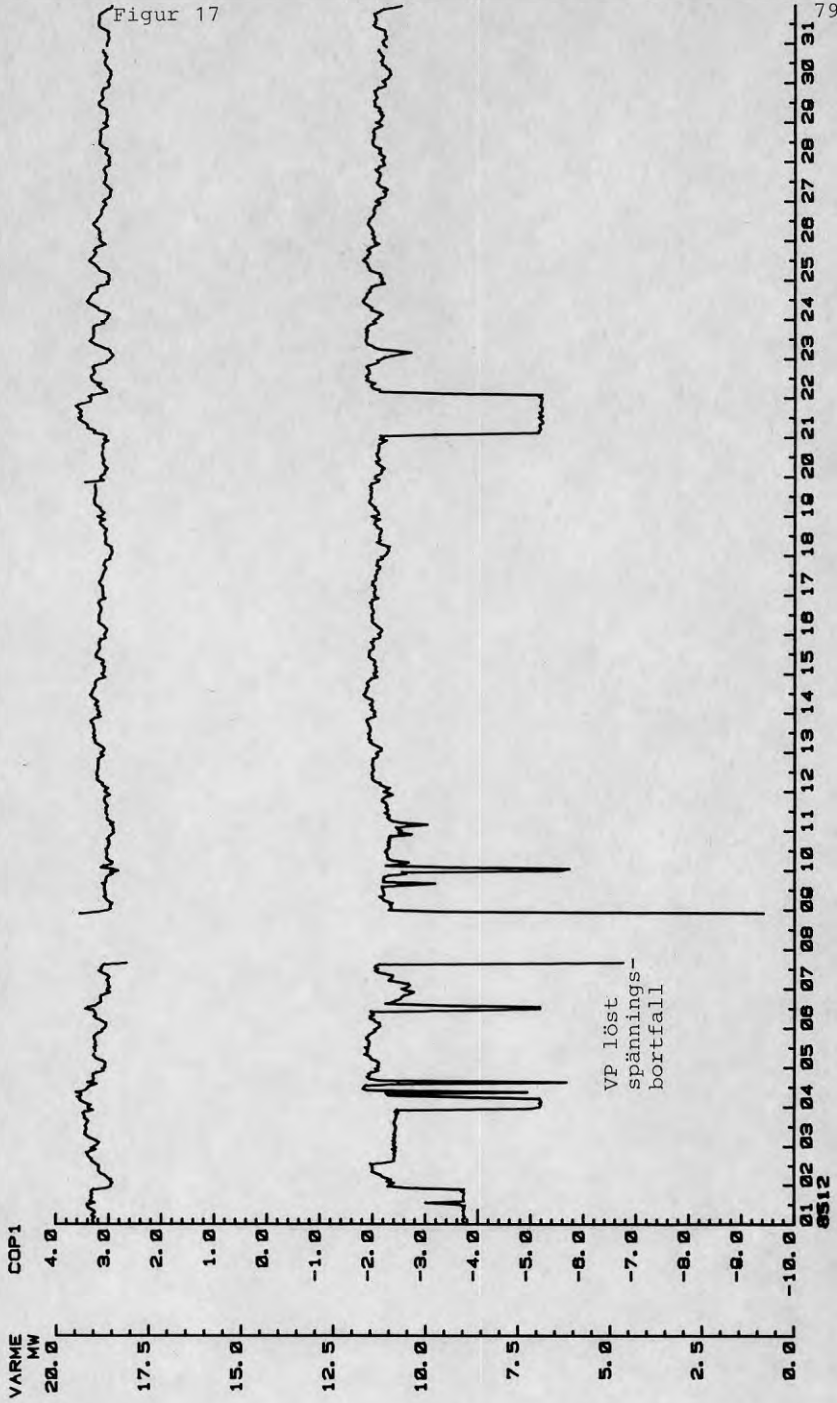


LIDINGO
851101 000000 - 851130 230000

18.48 AM FRI.. 28 NOV.. 1987

VARMEEFFEKT

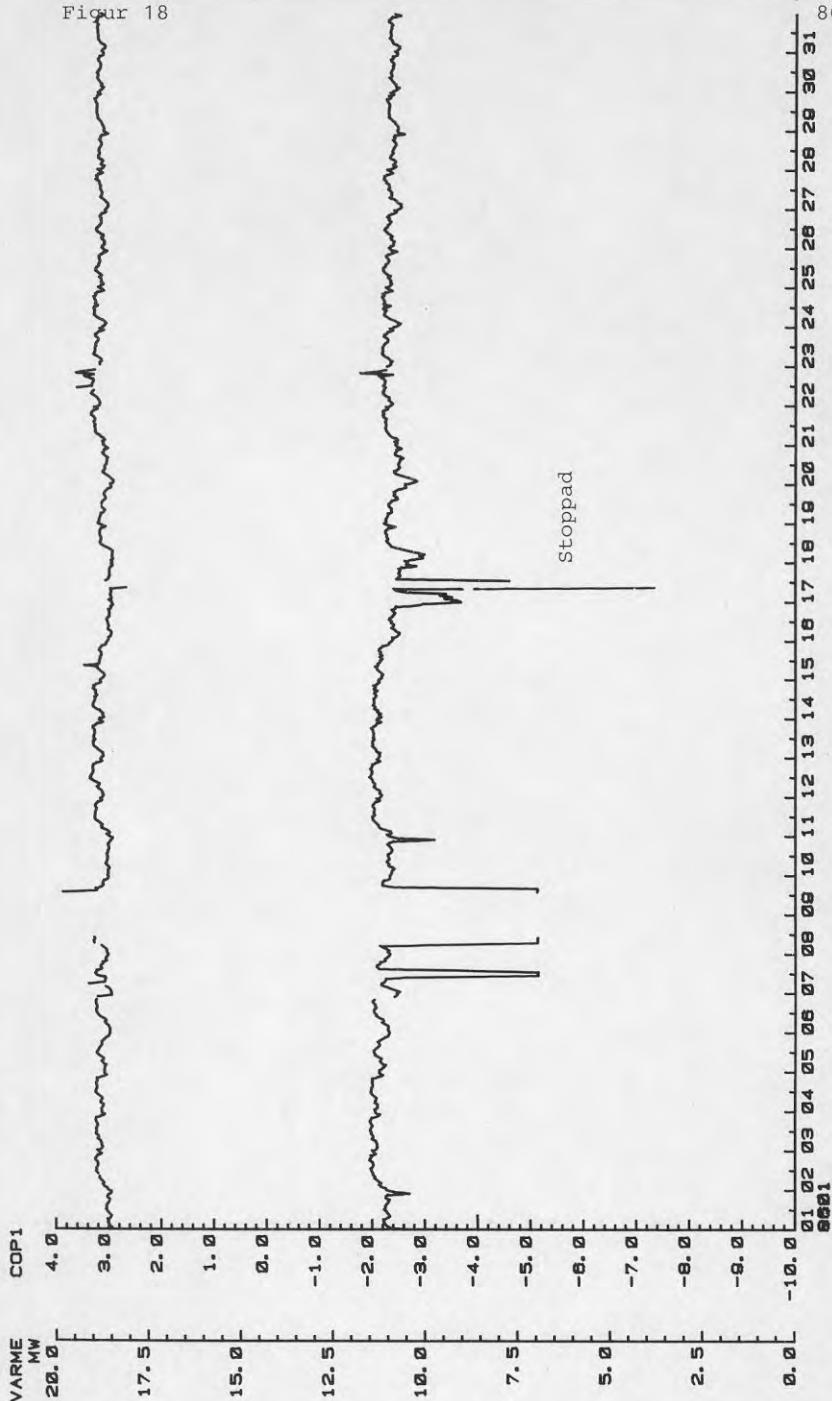
VARMEFAKTOR



16:51 AM FRI.. 28 NOV.. 1987

VARMEFAKTOR

VARMEEFFEKT

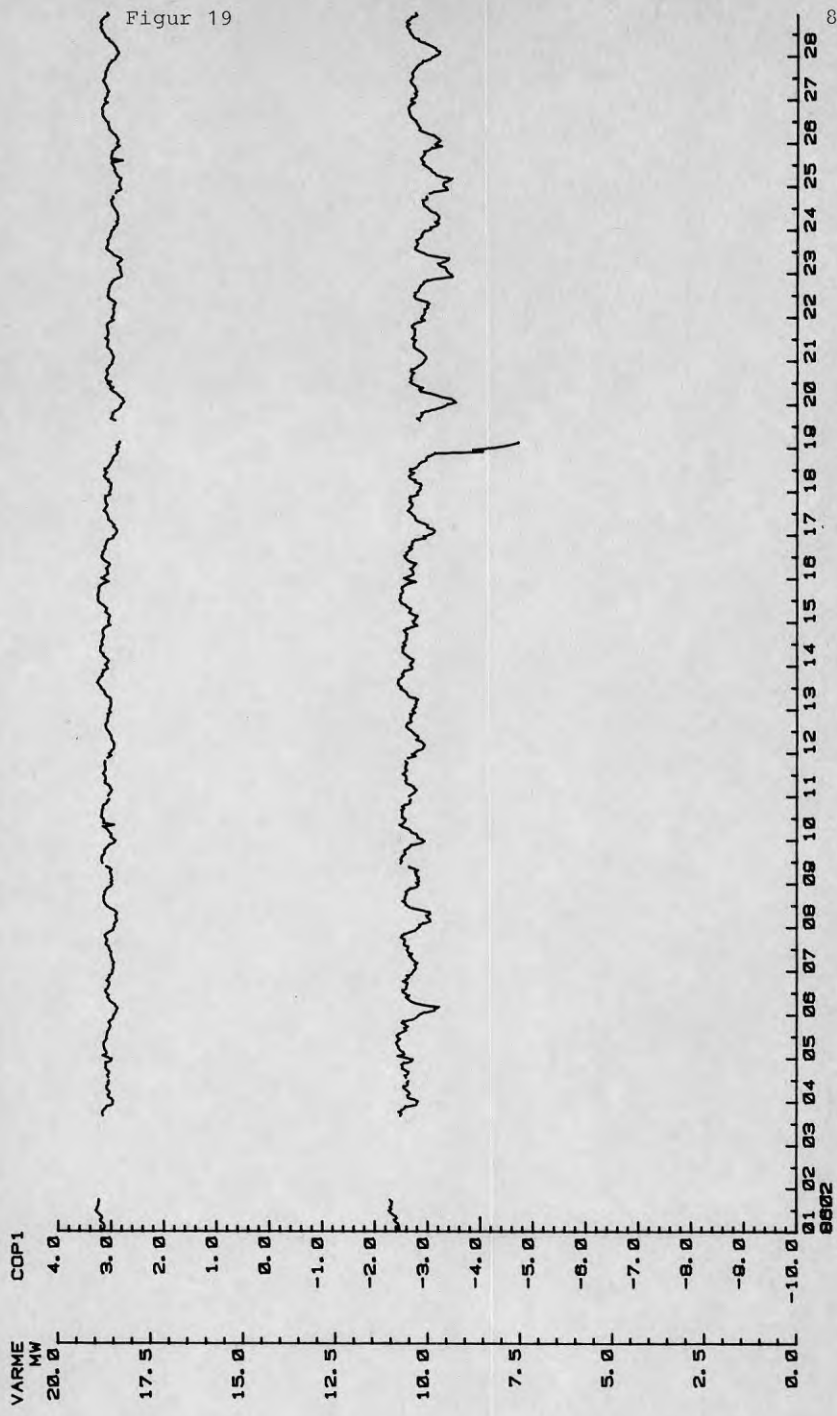


LIDINGO
880101 000000 - 880131 230000

04 25 AM THL. 9 DEC. 1987

VARMEFAKTOR, COP1

VARMEEFFEKT



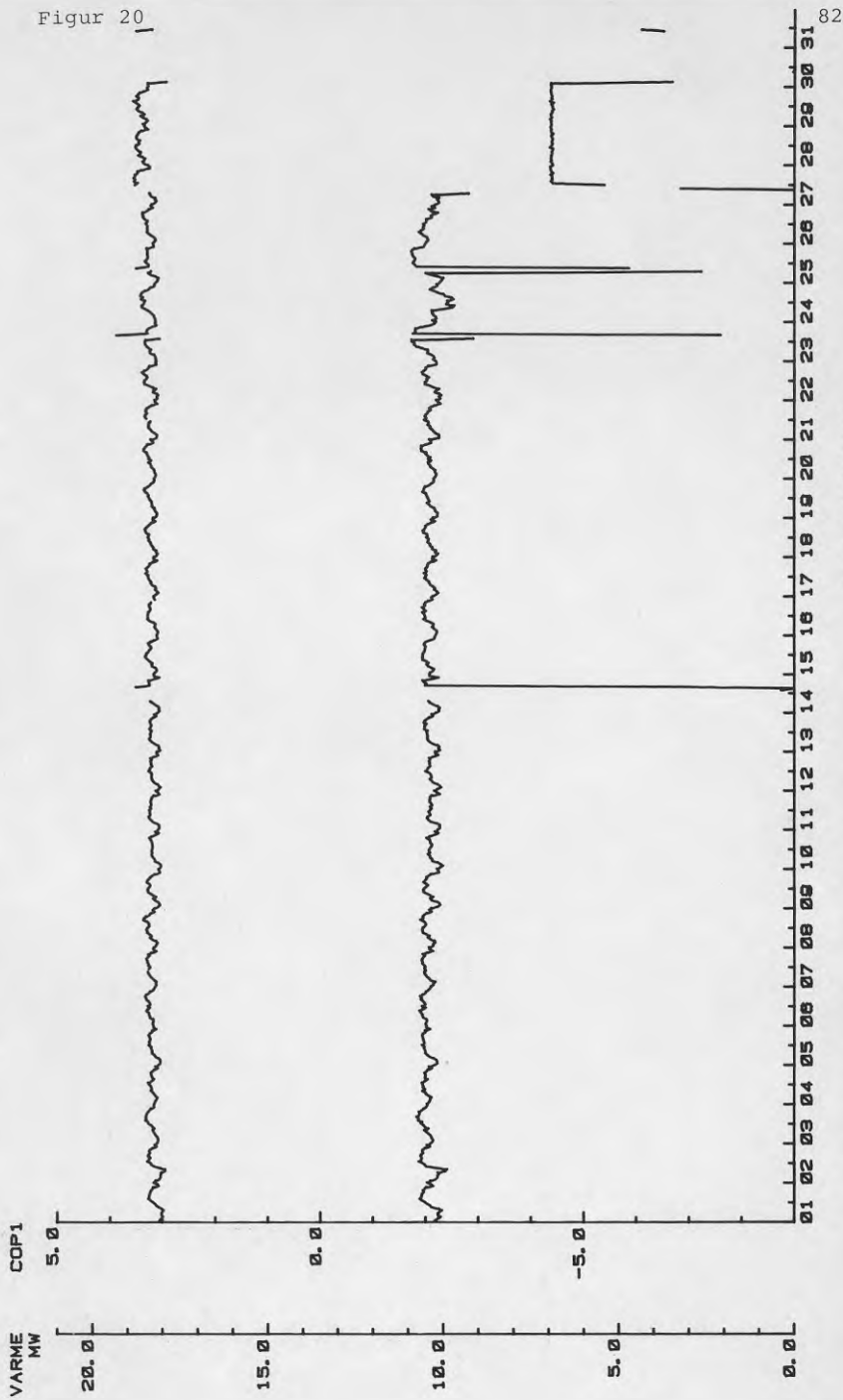
Figur 19

LIDINGO
860201 000000 - 860228 230000

2.21 PM WED., 18 NOV., 1987

VARMEEFFEKT

VARMEFAKTOR



82

LIDINGO
880301 000000 - 880331 230000

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830931-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Skandinavisk
Termoekonomi AB, Stockholm**

R1: 1988

ISBN 91-540-4995-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6709011

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna**

Cirka pris: 46 kr exkl moms