



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.



LEIF NILSSON
OLOF ANDERSSON
THOMAS PROBERT

Akvifervärme- lagring i Lomma

R35: 1994

Utvärdering

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129327



BYGGFORSKNINGSRÅDET

R35:1994

AKVIFERVÄRMELAGRING I LOMMA

Utvärdering

**Leif Nilsson
Olof Andersson
Thomas Probert**

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 900719-4 från
Bygghörsningsrådet till Mätcentralen vid Chalmers Tekniska
Högskola, Göteborg.**

REFERAT

I Lomma finns en av landets största värmepumpsbaserade fjärrvärmecentraler, med en akvifer som lågtempererat säsongsvärmelager. Anläggningen har byggts ut med stöd av Byggforskningsrådet. Utbyggnaden innebar en utökning av den anslutna värmepumpseffekten och en komplettering av anläggningen med ett system som gör det möjligt att utnyttja ytvatten från Höje å som vämekälla under en stor del av driftåret.

Denna rapport beskriver översiktligt anläggningens drift under två år efter utbyggnaden. I två avsnitt diskuteras grundvattensbrunnarna och akviferens termohydraulik mera i detalj.

Värmecentralen har levererat 33.8 GWh respektive 36.9 GWh till fjärrvärmenätet under de två studerade driftåren. Detta utgör ca 80% av förväntad leverans, vilket främst beror på ovanligt mildt klimat under den studerade tiden. Fördelningen av värmeproduktionen på värmepumpar, respektive spetsvärme från avkopplingsbar el och olja, överensstämmer väl med projekteringsförutsättningarna. Medelvärmefaktorn för värmepumparna var 2.59

De problem som drabbat anläggningen har främst uppstått i åvattensystemets värmeväxlare. Driftproblemen har resulterat i att återladdningen av akviferlagret blivit mindre än önskvärt. Olika åtgärder som satts in har delvis avhjälpt problemen.

De nya grundvattenbrunnar som tillkom genom utbyggnaden utfördes med en modifierad teknik, eftersom den ursprungliga modellen visat sig ge igensättningsproblem på sikt. Trots detta visar även de nya brunnarna kraftig kapacitetsnedsättning. Problemen uppstår i samband med vattenuttag och visar en tidsutveckling som inte är typisk för vare sig partikulär igensättning eller kemisk utfällning.

Den termohydrauliska modelleringen visar god överensstämmelse med uppmätta resultat. Akviferen kan belastas hårdare utan olägenheter. Modellen tillåter också att prognoser för framtida drift i olika belastningsfall kan göras.

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.

R35:1994

ISBN 91-540-5678-0
Byggforskningsrådet, Stockholm

gotab 11923, Stockholm 1994

INNEHÅLL

	Sidan
FÖRORD	6
SAMMANFATTNING	7
1 INLEDNING-BAKGRUND	9
1.1 Lomma	9
1.2 Alnarpsakviferen	9
1.3 Fjärrvärme i Lomma	11
2 FÖRSTUDIE	14
2.1 Energitekniska förutsättningar	14
2.2 Värmekälla till värmepumpsdriften	14
2.3 Dimensionering	15
2.4 Investeringskalkyl	16
3 PROJEKTERING-UPPHANDLING-BYGGANDE	17
3.1 Utgångsläge - det första grundvattensystemet	17
3.2 Projektering för utbyggnaden	17
3.3 Upphandling	17
3.4 Byggande	18
4 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING	19
4.1 Värmecentralens produktionsenheter	19
4.2 Åvattensystemet	20
4.3 Grundvattensystemet	23
4.4 Mellankretsen	24
4.5 Värmekällsystemets driftfall	24
4.6 Fjärrvärmekretsen	26
4.7 Styr/regler/övervakningssystemet	26

4		
5	MÄTNING OCH UTVÄRDERING	27
5.1	Utvärderingens inriktning och syfte	27
5.1.1	Systemfunktion och energiflöden	27
5.1.2	Brunnsteknik och brunnfunktion	27
5.1.3	Akviferens termohydraulik och värmebalans	27
5.1.4	Modellbrunnförsök, brunnrehabilitering	28
5.1.5	Köldmediumförsök med R134a	28
5.2	Mätdatainsamling	28
5.3	Givarsystemets omfattning	30
6	DRIFT AV ANLÄGGNINGEN	32
6.1	Värmeleverans till fjärrvärmenätet	32
6.2	Driftfall i värmekällsystemen	36
6.3	Energiomsättning i värmekällsystemen	38
6.4	Värmepumparnas värmefaktorer	41
7	DRIFTPROBLEM OCH LÖSNINGAR	43
7.1	Inledning	43
7.2	Korrosionspåverkan i åvattensystemet	43
7.3	Nedsmutningsproblem i värmeväxlarna	44
8	ANLÄGGNINGENS DAGLIGA SKÖTSEL	50
8.1	Fjärrvärmecentralen	50
8.2	Åvattensystemet	50
8.3	Grundvattenbrunnarna	50
9	BRUNNSTEKNISK UTVÄRDERING	51
	Av Olof Andersson	
	VBB VIAK	
9.1	Hydrogeologiska förutsättningar	51
9.2	Brunnsteknisk beskrivning	52
9.3	Mätningsteknik	54
9.4	Resultat och utvärdering	55

		5
10	TERMOHYDRAULISK UTVÄRDERING	58
	Av Thomas Probert	
	Markvärmegruppen LTH	
10.1	Inledning	58
10.2	Akviferlagret i Lomma	58
10.3	Mätningar	65
10.4	Datormodellen	68
10.5	Indata för beräkningar	68
10.5.1	Brunnslägen	69
10.5.2	Formationsdata	69
10.5.3	Vattenflöden och injektionstemperaturer	70
10.6	Beräkningsresultat kontra mätningar	71
10.7	Sammanfattning	72
11	DISKUSSION	73
12	LITTERATUR	75
	APPENDIX - MÄTRESULTAT BRUNNAR	76

FÖRORD

Utvärderingen av Lommaprojektet har bedrivits av flera parallellt arbetande grupper för att åstadkomma en allsidig belysning av värmepumpssystemet med dess akviferlager och återladdningssystem. De synpunkter som kommit fram från experter med olika inriktningar har varit mycket stimulerande.

Denna rapport är endast en del av den dokumentation som projektet kommer att ge upphov till. Den innehåller en övergripande beskrivning av värmesystemets energitekniska egenskaper under två års drift. I två avsnitt beskrivs mera i detalj grundvattenbrunnarna och deras kapacitetsutveckling samt akviferlagret med avseende på dess termohydrauliska egenskaper.

Utöver de områden som behandlas i denna rapport kommer även andra aspekter av Lommaprojektet att rapporteras i en nära framtid. Conny Svensson, Teknisk Geologi, Lunds Tekniska Högskola, har studerat metoder för brunnrehabilitering med hjälp av en modellbrunn i värmeverket. Brunnstekniken och brunnarnas kapacitetsutveckling kommer att rapporteras utförligt i ett internationellt forum inom ramen för IEA, annex 6. En av värmepumparna har, slutligen, använts för provdrift med alternativt köldmedium R134a. Detta delprojekt har drivits av Lomma Energi AB i samarbete med VBB VIAK.

Värmepumpsdrift har lång tradition i Lomma. Förutsättningarna att driva experimentprojektet var därför sällsynt gynnsamma. Att resultaten kunnat bli så bra och intressanta som de är beror i hög grad på den stora erfarenhet och det stora engagemang som kommit projektet till del från Lomma Energi AB.

Att olika problem uppstår i experimentprojekt är närmast en självklarhet. Den stora kunskapsvinsten finns ofta i studiet av dessa problem och deras lösningar. Vi alla som ofta läser tekniska rapporter är vana vid att dessa är problemorienterade och ofta upplevs som negativa. Det känns därför angeläget att påpeka att problemen i Lommaprojektet trots allt varit begränsade och aldrig inneburit någon risk för värmeverkets funktion. Alla problem har angripits med stor energi och kreativitet och de erfarenheter man har fått är tankeväckande.

Ett stort antal personer har på olika sätt bidragit till att göra denna rapport möjlig. Först och främst riktas ett stort tack till värmechef Stig Möller och hans personal vid Lomma Energi AB. De har alltid haft tålamod att diskutera anläggningen och dessutom hjälpt till att hålla mätvärdesinsamlingen i gång. Lomma Energi AB har dessutom med stor gästfrihet iklätt sig värdskapet för referensgruppsmöten och andra sammankomster.

Entreprenören, Malmbergs i Yngsjö AB, har visat stor öppenhet och genom sin tekniske chef Rune Simonsson ställt upp för diskussioner. Konstruktionschef Jan Svensson har lagt ned ett stort arbete på datainsamlingssystemet.

Doc. Johan Claesson, LTH, tackas varmt för hjälp med den termohydrauliska analysen. Mina kollegor på Mätcentralen, Chalmers, fil. dr. Kjell Schroeder och ing. Håkan Larsson, tackas hjärtligt för all hjälp med projektet.

Göteborg i december 1993

Leif Nilsson

SAMMANFATTNING

Fjärrvärmecentralen Industrihamnen i Lomma baserar sin värmeproduktion på värmepumpar med ytvatten från en närbelägen å som värmekälla och med en sandakvifer som värmelager. Den är en av landets största anläggningar av sitt slag, med fyra värmepumpar på tillsammans 4.3 MW effekt. Som spetsvärmeenheter utnyttjas avkopplingsbar el och olja.

Anläggningen har med stöd av Byggforskningsrådet byggts ut effektmässigt och kompletterats med åvattensystemet, som är avsett både som direktvärmekälla och som värmekälla för akviferlagret. Den ursprungliga anläggningen utnyttjade värme från akvifervattnet utan återladdning. Med tiden framgick det klart att denna driftstrategi blev olämplig på grund av en fortlöpande nedkylning. Man skulle bli tvungen att driva anläggningen med en produktionskostnad som hela tiden skulle öka på ett svårbedömt sätt. Fördelen med den utbyggda anläggningen ligger alltså både i en större ansluten effekt och i förbättrade värmefaktorer genom högre temperaturer från värmepumparnas värmekällsystem. Frågan om hur nyinvesteringen påverkat produktionskostnaden för levererad fjärrvärme är därigenom svår att besvara på ett meningsfullt sätt. Man kan dock konstatera att den projekterade kostnadsramen i stort sett kunnat hållas.

Den utbyggda anläggningen togs i drift tidigt på våren 1991. Mätningarna för utvärderingen startade samtidigt och tillförlitliga mätdata finns från början av april -91. Mätningarna har ordnats genom att det ordinarie styr/reglersystemet kompletterats med en seriellt ansluten PC och genom att den befintliga uppsättningen givare i anläggningen utökats. Detta koncept har fungerat tillfredställande, med hög tillgänglighet.

Energileveranserna har under två studerade driftår hållit sig vid ca 80 % av förväntad leverans, nämligen 33.8 GWh respektive 36.9 GWh. De två utvärderade driftåren har båda varit ovanligt milda i södra Sverige. Värmepumparna har svarat för sin förväntade andel av värmeproduktionen. Uppmätta månadsmedelvärden av värmefaktorerna har legat mellan 2.3 och 3.0.

De tekniska problemen i anläggningen har i första hand drabbat åvattensystemet. Korrosion i värmeväxlare har orsakats av att havsvatten från Öresund blandats in i åvattnet. Problemen var av så allvarlig natur att det blev nödvändigt att byta till värmeväxlarplattor av inert material. Samma värmeväxlare drabbades också av nedsmutsning på grund av alger och andra föroreningar. Tidvis orsakade dessa problem en försämring av värmeväxlarnas effektkapacitet med mer än 50 %. Flera olika metoder för att avhjälpa nedsmutsningsproblemen har prövats och problemen har reducerats betydligt men är ännu inte helt avhjälpna. Som en följd av dessa problem har inte akviferen kunnat återladdas på det sätt som planerades. Det första studerade driftåret var återladdningen endast 21 % av uttagen värmemängd. Olika åtgärder som sattes in hjälpte upp situationen så att återladdningen under det andra studerade driftåret nådde upp till 64 % av uttagen värmemängd.

På akvifersidan har brunnarnas kapacitetsutveckling varit i fokus. Bakgrunden härtill är att de äldre brunnarna (anlagda 1986) ganska snart visade sig gå ned i kapacitet. Då åvattensystemet byggdes anlades samtidigt fyra nya brunnar. Dessa utformades lite annorlunda än de äldre med syftet att förebygga igensättningsfenomen.

Resultat av två års mätningar på samtliga brunnar visar emellertid att de nya brunnarna utvecklats på samma sätt som de äldre. I korthet innebär detta en mycket kraftig kapacitetsminskning första tiden följt av en stabilisering på nivån ca 1/4 av ursprunglig kapacitet.

Det märkliga är dels att igensättningen avstannat, dels att den bara skett då brunnarna använts för uttag. Processen bakom denna form av kapacitetsminskning har inte gått att spåra. För att få svar på denna gåta krävs fortsatta forskningsinsatser.

Akviferens termohydraulik har ägnats en ingående studie. Mätresultaten stämmer väl överens med den termohydrauliska beräkningsmodell som används. Resultaten visar att akviferen mycket väl kan belastas hårdare än vad som hittills sker. Modellberäkningarna förefaller ge så god överensstämmelse med observationer att även prognoser för olika framtida belastningsfall kan göras.

1. INLEDNING - BAKGRUND

1.1 Lomma

Lomma är en mindre kustort, belägen vid Öresundskusten ca 8 km nordost om Malmö centrum. Orten ligger längst inne i den ca 20 km vida Lommabukten, med långgrunda sandstränder och ett vindexponerat flackt dyn- och strandängslandskap. Lommabukten begränsas i söder av Limhamn och i norr av Barsebäckssudde med kärnkraftsverket Barsebäck, beläget ca 12 km nordväst om Lomma.

Bebyggelsen i Lomma är i stort sett samlad till de södra och östra sidorna av Höje å, se figur 1.1. Ån som sträcker sig i nord-sydlig riktning gör en skarp krök mot väster före utflödet i Öresund och avgränsar därmed en landtunga norr om Lomma centrum. Här, i Industrihamnsområdet, finns en del gamla industribyggnader och ett stort varvs- och uppläggningsområde för fritidsbåtar. I den västra delen av detta område ligger fjärrvärmecentralen Industrihamnen med ett par hundra meter strandäng och sandslätt mellan sig och en stor allmän badstrand.

Lomma kommun, som huvudsakligen omfattar tätorterna Lomma och Bjärred, har en positiv befolkningsutveckling. Sedan 1980 har man haft följande befolkningstal :

År	Befolkningstal
1980	16607
1985	16835
1990	17220
1996	19000

Siffran för 1996 är hämtad från en kommunal prognos från 1991. En betydande del av befolkningsökningen utgöres av inflyttning - många som har sitt arbete i Malmö eller Lund lockas säkert av den idylliska och lugna miljö som kommunen kan erbjuda. Lommas bebyggelse expanderar framförallt mot nordost. Vidare sker en successiv förändring av bostadsbeståndet i den gamla stadsbebyggelsen genom förtätning då gamla hus efter hand tas ut.

1.2 Alnarsakviferen

Alnarsakviferen är en av Sveriges största formationer av sitt slag. Den sträcker sig i nordvästlig riktning genom södra Skåne med Romeleåsen som begränsning i nordost. Bredden av akviferen är typiskt 20 km och den har en avrinning mot Öresund med ytterst låg flödes hastighet.

Akviferen består i Lommatrakten av en ca 30 m mäktig sandformation med fin- och mellansand. Uppåt begränsas sandlagren av moränleror, som sträcker sig till ca 35 m djup och nedåt av kalkberg på ca 65 m djup. Även kalkstenen har viss vattenföring.

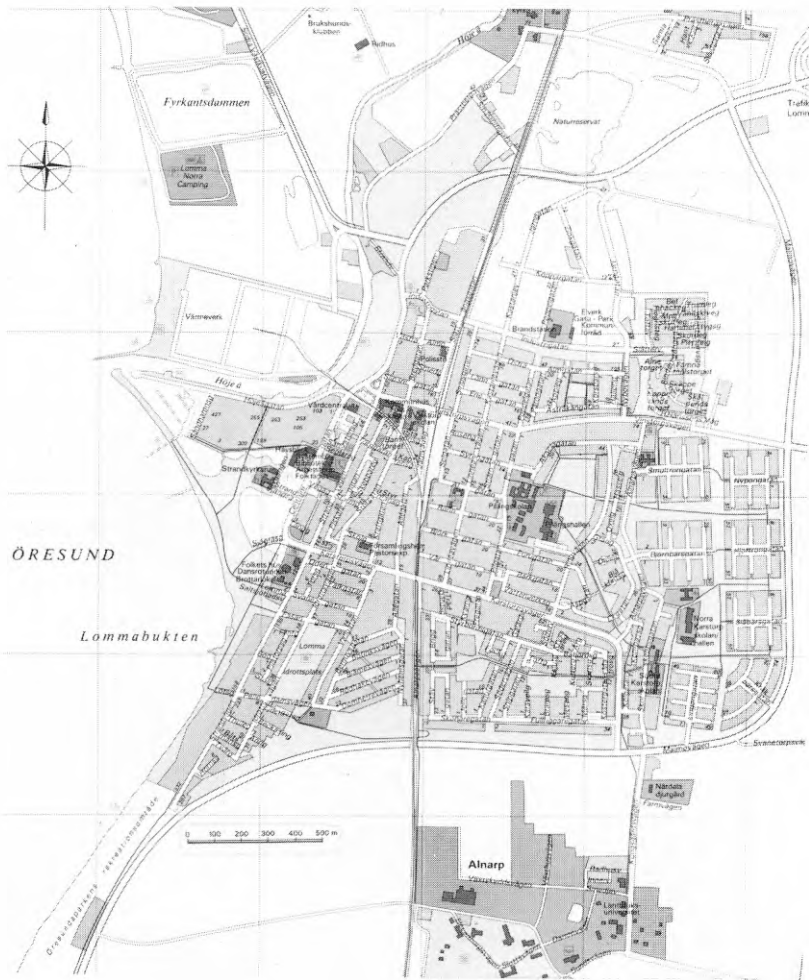


Fig 1.1 Översikt över Lomma med omgivningar. På landtungan nordväst om centrum finns fjärrvärmecentralen Industrihamnen. Akviferlagrets utsträckning motsvarar nästan hela landtungans bredd.

Vattenkvaliteten i Alnarskviferen är sådan att grundvattnet måste behandlas trycksatt och utan tillträde av luftsyre för att undvika utfällningar och korrosion. Sedimenten i akviferen är besvärliga ur brunnsteknisk synpunkt och kräver speciell teknik, varom mera på annan plats i denna rapport.

Alnarskviferen har under långa tider utnyttjats som vattentäkt och på senare tid som värmekälla på många ställen. I en rapport från 1984 av Leander och de Maré (BFR R167:1984) omtalas åtskilliga av dessa anläggningar.

1.3 Fjärrvärme i Lomma

Fjärrvärmeuppbyggnaden i Lomma inleddes i början av 80-talet. Det första nätet, Vinstorp, byggdes -81. Senare byggdes ett nät för Pilängsområdet -83 och till sist Industrihamnen 84/85. Det fanns alltså 3 separata nät fram till -87 då en sammankoppling gjordes. Eftersom fjärrvärmesystemet är av så pass relativt ungt datum konstruerades det redan från början för låg temperatur, de äldsta delarna för 90/65 °C och de senare delarna för 90/50 °C. Detta gynnar givetvis värmepumpsdrift. Även de äldsta delarna av fjärrvärmenätet hade så pass uppdimensionerade värmeväxlare i undercentralerna att man klarar de nu aktuella returtemperaturerna. Produktionen har hela tiden använt värmepumpar som basenheter och avkopplingsbar el samt oljepannor för effektspetsning.

Uppbyggnaden av värmecentralen i Industrihamnen påbörjades -85. De hangarliknande lokalerna (figur 1.2) inrymde tidigare Lomma Eternitfabrik, som en gång var ortens stora industri, men som naturligtvis lades ned i samband med att de svåra hälsoproblemen med asbest upptäcktes. Värmecentralen vid Industrihamnen stod färdig -87.



Fig 1.2 Industrihamnens värmeverk är inrymt i tidigare industrilokaler.

I slutet av 80-talet var två värmepumpsutrustade värmecentraler i drift: Pilängen med en 0.9 MW värmepump och Industrihamnen med två värmepumpar på respektive 1.6 MW och 0.9 MW. Som värmekälla användes grundvatten från Alnarpsakviferen.

Redan -84 då projekteringen av Industrihamnscentralen pågick fanns konceptet med återladdning av värme till akviferen med i diskussionen. På grund av att medel saknades fick dock dessa planer vila tills vidare, så under några år (-87 tom -90) drevs Pilängens två borrhål och Industrihamnens sex borrhål som värmekällor med återinjektering av kallt vatten och utan återladdning. Under denna tid togs Pilängens värmecentral gradvis ur drift, så numera är Industrihamnscentralen ansvarig för hela fjärrvärmedriften.

Anläggningen drivs av tre man, en värmechef och två tekniker. Man har haft den stora förmånen att kunna behålla samma personal hela tiden och dessutom har dessa deltagit aktivt i de successiva utbyggnader som skett. Detta har betytt att man har fått en ovanligt hög grad av intern kunskap om värmeproduktionen och optimeringen av anläggningen. Sedan juni -92 drivs verksamheten i bolagsform av Lomma Energi AB.

Fjärrvärmens har expanderat kraftigt under åren dels på grund av nybyggnation och framförallt genom anslutning av äldre fastigheter. Den anslutna effekten sedan -81 uppvisar följande bild:

År	Ansluten effekt kW
1981	750
1982	1158
1983	1158
1984	3853
1985	8582
1986	10618
1987	12038
1988	15038
1989	16800
1990	17300
1991	19500
1992	19700

Expansionen fortsätter, framförallt i området Norrvinstorp med nybyggnation och industrianslutning. Vid projekteringen av den nu befintliga utbyggda värmecentralen förväntade man sig en ansluten effekt av 20000 kW år 1992.

Som nämndes ovan har utnyttjandet av grundvattnet skett med en negativ värmebalans. Efter några år kunde man konstatera att temperaturen på grundvattnet i uttagsbrunnarna sjunkit från 9.5 °C till 8.5 °C. I ett kortare

tidsperspektiv innebär denna successiva nedkylning att värmepumparna tvingas gå med sämre COP, men på längre sikt äventyras driften i sin helhet. En termohydraulisk studie inom ramen för ett löpande BFR-projekt utförd av Claesson och Benett, Lunds Tekniska Högskola, förelåg i början av -89. I denna visades den fortlöpande nedkylningseffekt man kunde förvänta sig och hur den skulle plana ut mot ett stationärt värde efter ca 8 års drift. Tillsammans med minskad brunnskapacitet och på sikt ökade effektuttag bedömdes det att en fortsatt drift med oförändrat akviferlager utan återladdning skulle kunna orsaka allvarliga driftproblem. Den väsentligaste och dimensionerande faktorn för fortsatt och utökad värmepumpsdrift var dock brunnarnas flödeskapacitet snarare än nedkylningsrisken.

Mot bakgrund av de ovan nämnda faktorerna: utökad värmeproduktionskapacitet samt risken av att försämra akviferen som värmekälla, kom man till slutsatsen att akviferlagret vid Industrihamnen behövde utökas väsentligt, samt förses med ett system för återladdning av värme. Den anslutna värmepumpseffekten behövde också utökas. Dessa insikter ledde fram till den utbyggnad av Industrihamnsanläggningen, som ligger till grund för denna rapport.

2. FÖRSTUDIE

O. Andersson, VIAK AB, genomförde en förstudie som slutfördes under hösten -89. Framförallt behandlas lågtemperaturlagret i akviferen, men i korthet nämns också den framtida utbyggnad med kraft/värme och högtemperaturlager som planeras. Förstudien har utgjort underlag för dimensionering och planering av den utbyggda produktionsanläggningen vid Industrihamnen. Ur den synpunkten kan det vara motiverat att här referera de viktigaste punkterna.

2.1 Energitekniska förutsättningar

Under -89 var den totala värmeproduktionen ca 30 GWh, uppdelat på 17.5 GWh från värmepumpar och 12.5 GWh från olje- och elpannor. Den totalt anslutna effekten var drygt 16 MW. Akviferlagret vid Industrihamnen hade sex borrhål i drift.

Enligt de prognoser, som fanns tillgängliga, kunde man för år -92 vänta sig ett sammanlagrat effektbehov av 20 MW och ett värmebehov av 45 GWh. Värmepumpsdriften förväntades att täcka ca 60 % av årsvärmebehovet -92, dvs 27 GWh. Behov av spetsvärme från olja/el uppskattades föreligga under ca 4000 h för år -92.

Fjärrvärmens distributionsnät är av lågtemperatortyp och dimensionerat för temperatur 90/60 °C.

2.2 Värmekälla till värmepumpsdriften

Förstudien diskuterar 4 alternativa värmekällsystem:

- ytvatten från Höje å
- uteluft via köldmedietylare
- lågtempererad solvärme
- industriell spillvärme (processindustri Repak)

Av dessa bortföll uteluft och solvärme framförallt av kostnadsskäl. Spillvärmealternativet var tänkt som en förstärkning av övriga, men kom inte att realiseras av andra skäl.

Det valda systemet blev således ytvatten från Höje å. De tillgängliga temperaturerna bedömdes vara:

Januari	1.5 °C	Juli	17.0 °C
Februari	1.5 °C	Augusti	16.4 °C
Mars	2.5 °C	September	11.8 °C
April	5.8 °C	Oktober	8.8 °C
Maj	10.1 °C	November	4.7 °C
Juni	15.8 °C	December	2.4 °C

Man kan förvänta sig viss inblandning av saltvatten i ytvattnet i Höje å, speciellt vid hård vind. De höga klorid- och sulfathalterna medför att speciell hänsyn måste tas till korrosionsriskerna vid konstruktion av ytvattensystemets komponenter. Vidare tar förstudien upp de problem som kan uppstå med alger, svampar och bakterier i ytvattensystemet. Behov av rensning och eventuell klorering förutspås.

Driften av värmepumparna kan delas in i tre olika årstidsberoende driftfallstyper. Förstudiens slutsats beträffande tillgängligheten:

1. Vinterperiod med akviferlagret som värmekälla. Beräknad drifttid 4300 h årligen.
2. Vår/höstperiod med åvatten som värmekälla. Beräknad drifttid 1400 h årligen. Driftsvillkor: åvattentemperatur > 8 °C.
3. Sommarperiod med åvatten som värmekälla och samtidig inlagring av värme till akvifer. Beräknad drifttid 3000 h årligen. Driftsvillkor: åvattentemperatur > 12 °C.

2.3 Dimensionering

Som nämnts ovan beräknades värmeleveransen från värmepumparna till 27 GWh för år -92. Värmelasten fördelas på driftfallperioderna enligt:

	Värme till fjvnät GWh	Medeltemperatur in (°C)	värmekälla ut (°C)	
Vinterperiod	17.2	12	4	(akvifer)
Vår/höstperiod	4.3	10	5	(åvatten)
Sommarperiod	5.5	16	8	(åvatten)

Avsikten med återladdningen skall vara att bibehålla akviferens energibalans. Det dimensionerande driftfallet blir sommarperioden då akviferen skall tillföras ca 10.5 GWh värme vilket representerar vinteruttaget samt akviferens nettovärme-förlust. Medeleffektbehovet blir alltså 3.5 MW under 3000 timmar, vilket leder till ett flödesbehov i akvifersystemet av 375 m³/h vid en temperaturdifferens av 8 °C. Med ca 70 m³/h per brunnspår krävs således 5 brunnspår och systemet skall alltså utökas med ytterligare 2 brunnspår.

Även för åvattensystemet blir sommarfallet dimensionerande. Systemet skall kunna leverera 10.5 GWh till lagring samtidigt som värmepumparna kräver 3.0 GWh för sin drift under sommarperioden. Totalt skall alltså åvattensystemet kunna leverera 13.5 GWh under 3000 h, vilket betyder ett medeleffektbehov av 4.5 MW.

2.4 Investeringskalkyl

I -89 års kostnadsläge beräknades investeringen i det utbyggda värmesystemet till 7.1 Mkr. Utbyggnaden skulle innebära en väsentlig utökning av den utnyttjade akvifervolymen, tillkomsten av åvattensystemet med vattenintag, filter, pumpar och värmeväxlare samt en utökning av värmecentralens värmepumpkapacitet genom inkoppling av ytterligare en värmepump. I stort förutsågs följande fördelning av kostnaderna:

- Värmecentralen inklusive VP3	3000 kkr
- Höje å-systemet	1450 kkr
- Brunssystem	1700 kkr
- Komplettering av styr/regler/övervakning	300 kkr
- Förprojektering inklusive undersökningsborrningar	450 kkr
- Byggkontroll	200 kkr

	7100 kkr

Finansiering föreslogs att fördelas mellan kommunens eget åtagande och experimentstöd på följande sätt:

- Bidrag för experimentbyggnad	450 kkr
- Experimentbyggnadslån	4250 kkr
- Kommunal egenfinansiering	2400 kkr

	7100 kkr

3. PROJEKTERING - UPPHANDLING - BYGGANDE

3.1 Utgångsläge - det första grundvattensystemet

Det första grundvattensystemet i Industrihamnsområdet färdigställdes under våren -87, med Malmbergs i Yngsjö AB som ansvarig entreprenör. Förfrågningsunderlaget, som togs fram av VBB, innehöll idéer om återladdning av akviferen, men dessa kom inte att bli realiserade av ekonomiska skäl. Byggandet förlöpte utan större problem, men en av infiltrationsbrunnarna slaggade igen med genomslag som följd. En ny brunn borrades som ersättning (försäkringssak) och samtliga brunnar försågs med tryckgivare, som automatiskt stänger ventiler vid för höga övertryck. Totalt togs sex brunnar i drift.

3.2 Projektering för utbyggnaden

Under -89 tog projekteringen av utbyggnaden av Industrihamnsanläggningen fart. Lomma Energi önskade ha med Malmbergs redan i planeringsstadiet, eftersom man varit nöjd med de insatser som gjorts vid projektering och uppbyggnad av det ursprungliga akvifersystemet. Vidare bedömdes det att man svårligen kunde finna någon annan regional entreprenör, som kunde behärska den speciella brunnsteknik som krävdes. En projektgrupp bildades med representanter från VIAK, VBB samt Malmbergs. Den ovan beskrivna förstudien togs som utgångspunkt för projekteringen, som utfördes av Malmbergs. På det här stadiet fanns ingen förpliktelse för kommunen för det slutliga valet av entreprenör - Malmbergs stod för risken av sitt projekteringsarbete.

Vissa premisser var från början givna för den utbyggda värmecentralen. Den tillkommande värmepumpen på 0.9 MW skulle flyttas till Industrihamnen från den inaktiva Pilängsanläggningen. Förstudiens slutsats att ytvatten från Höje å skulle utnyttjas som värmekälla accepterades. Vidare tillkom ytterligare en värmepump på 0.9 MW som avsågs att drivas för experiment med alternativt köldmedium R134a (separat projekt som ej omfattas av denna rapport).

3.3 Upphandling

Ansökan om stöd till projektet (undantaget parallellprojektet R134a) utgick från den ekonomiska analys, som presenterades i förstudien. Beslut från BFR förelåg 14 maj -90, då ett experimentbyggnadslån om 3.7 Mkr beviljades. Detta motsvarade ungefär hälften av den beräknade utbyggnadskostnaden.

Hela anläggningen, med sina 4 värmepumpar samt akviferlagret med 10 borrhål och åvattensystemet har hittills krävt 26 Mkr i investeringar.

Som ansvarig entreprenör antogs Malmbergs i Yngsjö AB, som i sin tur förhandlade fram kontrakt med följande underentreprenörer:

ABB:	styr/regler/ställverk	Industriel, Kristianstad:	el
Essenta:	isolering	Alfa/Laval:	värmeväxlare mm

Vissa arbeten utfördes av Stal Refrigeration direkt för Lomma Energi, framförallt ombyggnad av kondensor och elsystem. Lomma Energi utförde vidare vissa delar av anläggningsarbetet i egen regi, i första hand markarbeten.

3.4 Byggande

Arbetet med utbyggnaden bestod i huvudsak av följande delar:

- Byggnation av åvattenstationen med intag, pumphus med pumpgrav, sil och filter. Kulvert till värmecentral.
- Installation av två nya värmeväxlare i värmecentral, samt utbyggnad av en befintlig värmeväxlare. Viss tillkommande rördragning med pumpar och ventiler.
- Förflyttning och installation av en värmepump, samt renovering och drifttagning av denna. I ett senare skede tillkom samma arbeten för ytterligare en värmepump för R134a-projektet.
- Borrning och anläggning av ytterligare två brunnspår i akviferen. Kulvertering till värmecentral.
- Byte av styr/reglerdator. Tillkommande givare för ny utrustning. Programmering av styr/reglersystemet. Drifttagning och driftoptimering.

I stort sett förlöpte arbetet problemfritt. Dock visade det sig att det säkerhetssystem med uppsamlingstank för freon, som nuvarande lagstiftning kräver, erfordrade något mera tid och arbete än förväntat.

Ombyggnaden av värmepumpen från Pilängen gav vissa problem framförallt av samkörningskaraktär. Dokumentation från Stal tog lång tid att få fram.

Pumphuset vid åstranden fyller en dubbelfunktion, det utgör nämligen också allmän toalett för badstranden, som finns norr om hamnpirarna. Arkitektbehandlingen drog ut något på tiden vilket fördröjde byggnadstillstånd och uppförande av pumphuset/toaletten.

Filter i åvattensystemet visade stor benägenhet att bli nedsmutsat under provdrift.

Totalt sett blev förseningen av byggnadsfasen, orsakad av dessa faktorer, ett par månader. Den utbyggda anläggningen togs i drift i början av april -91.

4. ANLÄGGNINGSBESKRIVNING

I detta avsnitt beskrivs Industrihamnens värmecentral i det tillstånd den befann sig efter utbyggnaden av akvifersystemet och inkopplingen av två tillkommande värmepumpar. Vidare beskrivs några detaljer i anläggningen som inte ingick i de ursprungliga tillbyggnadsplanerna, men som tillkom efter en kort tids drift av anläggningen. Figur 4.1 visar värmecentralens enheter översiktligt och bör användas som referens vid läsningen av nedanstående beskrivning.

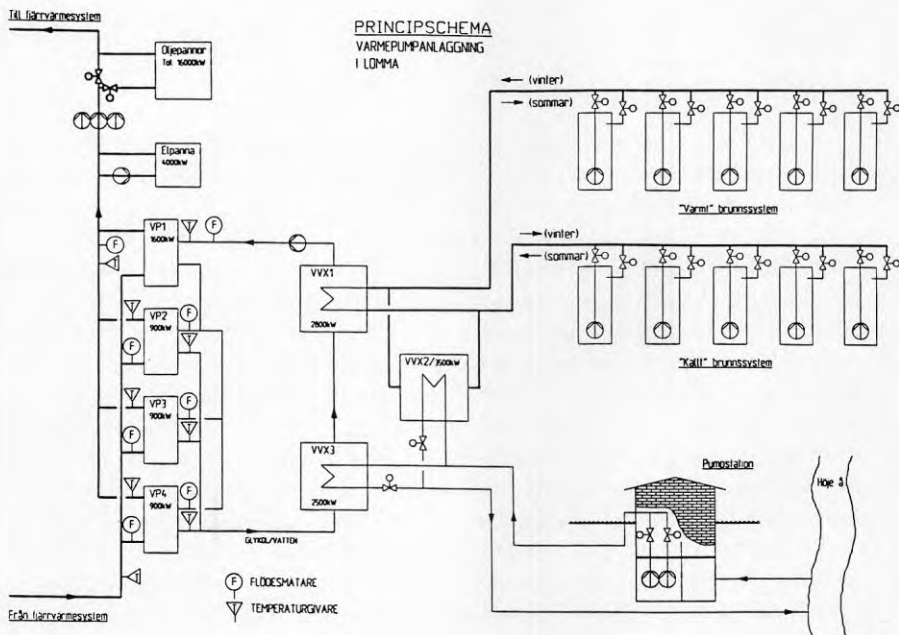


Fig 4.1 Värmecentralens enheter.

4.1 Värmecentralens produktionsenheter

Som basenheter används 4 värmepumpar med skruvkompressorer, av Stal Refrigerations tillverkning. VP1 har nominell effekt 1.6 MW och är av typ VSP 73EC. VP2-VP4 är på 0.9 MW vardera och dessa är av typ VSP 57EC. Det finns en elpanna med effekt 4 MW och tre oljepannor som spets-effektenheter. Två av oljepannorna är på 4 MW och en på 8 MW vilket innebär en avsevärd överkapacitet. Kontraktet om elleverans innebär att Sydkraft kan stoppa el till elpanna och/eller värmepumpar med kort varsel varför oljepannorna måste kunna täcka effektbehovet ensamma. Anläggningens totaleffekt uppgår alltså i nuläget till drygt 24 MW.

Samtliga värmepumpar kan effektregeras ned till 70 % av fulleffekt. Då spetseffekt från olja eller el ej behövs körs det antal värmepumpar som effektbehovet kräver och den värmepump som lagts som toppeffektenhet effektregeras. Värmepumparna VP2-VP4 är parallellkopplade till fjärrvärmekretsen, VP1 ligger tillkopplad i serie efter (dvs på den varma sidan) av dessa. VP1 utnyttjas praktiskt taget alltid som basenhet. Av värmepumparna var VP1 samt VP2 befintliga före utbyggnaden, VP3 tillkom från Pilångsvärmecentralen och VP4 slutligen används för experimenten med R134a.

El och olja används för effektspetsning vid behov. Vid måttliga behov av spetsning väljs mellan el eller olja främst beroende på tillgänglighet och taxa på el. Under en mindre del av driftåret krävs spetsning med olja för att nå tillräcklig värmeeffekt.

4.2 Åvattensystemet

Åvatten tas in via ett inlopp med diameter 600 mm på den norra sidan av Höje å, ca 150 m uppströms från hamnmyningen. Intaget är förankrat i åbrädden och är försett med ett grovt galler (se figur 4.2) som i första hand stoppar grövre grenar, plastsäckar etc .

Åvattnet leds till pumphuset (se figur 4.3) som är placerat ca 40 m från åstranden. Det kommer där in i en cylindrisk pumpbassäng (figur 4.4) med diameter 2.5 m, djup 4.0 m. Åvatteninloppet i pumpbassängen är försett med en skjutlucka. En skiljevägg med galler delar av bassängen vertikalt och skall hindra grövre föroreningar i vattnet att nå fram till pumparna. Galler och övriga detaljer i pumpbassängen kan nås via en lucka i pumphusets golv för manuell rensning. Inspektion och rensning ingår i den dagliga rutinen.

Från pumphuset går sedan åvattnet i markkulvert till värmecentralen, där det passerar ett filter (figur 4.5) innan det leds till värmeväxlarna. Filtret är av Alfa-Lavals tillverkning, Alfa-Strain 150, en typ som brukar användas för kylvattensystem i fartygsmaskinerier. Till styr/reglersystemet finns tillkopplat givare för differensstryck över filtret. Filtret backspolas automatiskt, antingen en gång per halvtimme eller då differensstrycket över filtret går över ett tröskelvärde.

All rördragning i detta system har utförts i rostfritt stål (SIS 2343). Värmeväxlarna utrustades med rostfria plattor. Eftersom man förväntade sig viss risk för korrosion på grund av höga kloridhalter såg man till att lägga in reglerfunktioner som förhindrar stillastående vatten i värmeväxlarna. Det är känt att "pit-corrosion" speciellt gynnas av kombinationen av hög kloridhalt och stillastående flöde. Vid stopp på anläggningen pumpas grundvatten genom värmeväxlarna för att åstadkomma en tvätteffekt. Kulverteringen i mark är utförd i PVC tryckledning.



Fig 4.2 Åvattenintagets skyddsgaller, samt filterkorg till Alfa-Strain filtret.



Fig 4.3 Pumphuset. I bakgrunden skymtar Lommas badstrand, samt vid horisonten Barsebäcksudde. Åvattenintaget i Höje å finns ca 10 m bakom kamerans position.

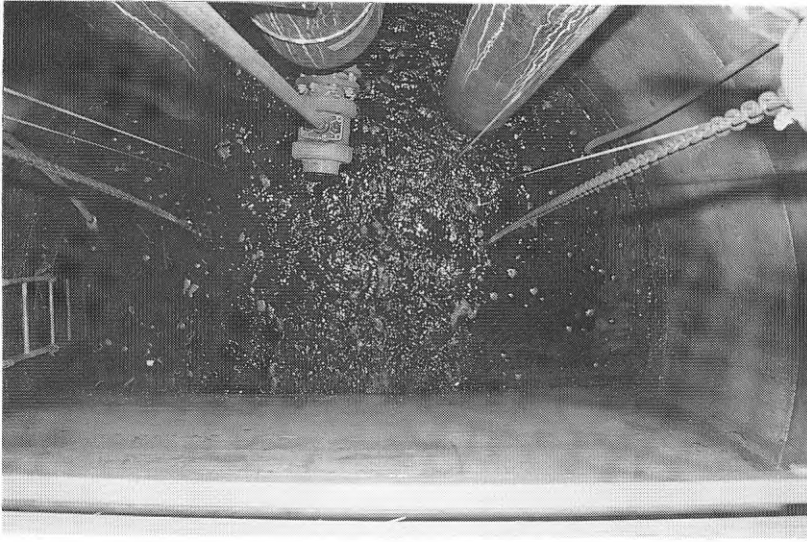


Fig 4.4 Pumpbassängen med skiljeväg/galler sedd från pumpsidan.

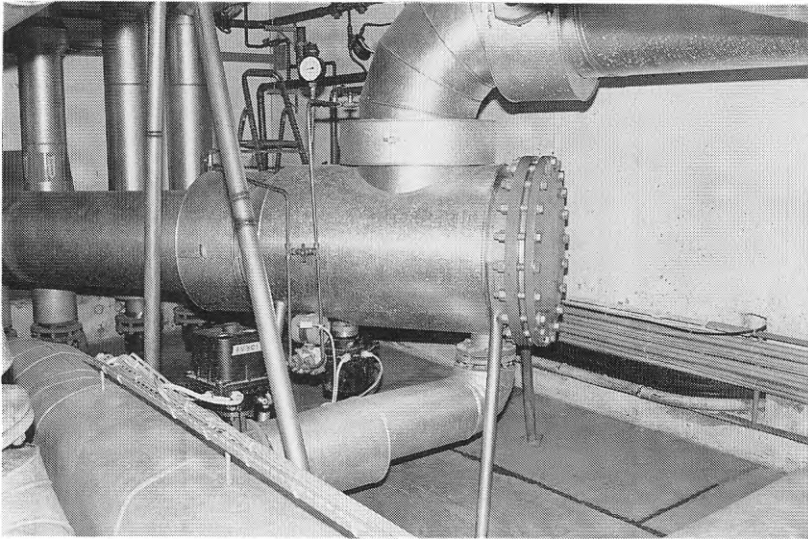


Fig 4.5 Alfa-Strain filtret med backspolningsledning.

4.3 Grundvattensystemet

Omfattningen av akviferlagret framgår av figur 4.6. De sedan tidigare befintliga brunnarna är B401-B403 och B411-B413, medan de nytilkomna har fått beteckningarna B404-B405 och B414-B415. Brunnsystemet är helt slutet och körs under övertryck. I figur 4.7 visas en brunnsöverbyggnad.

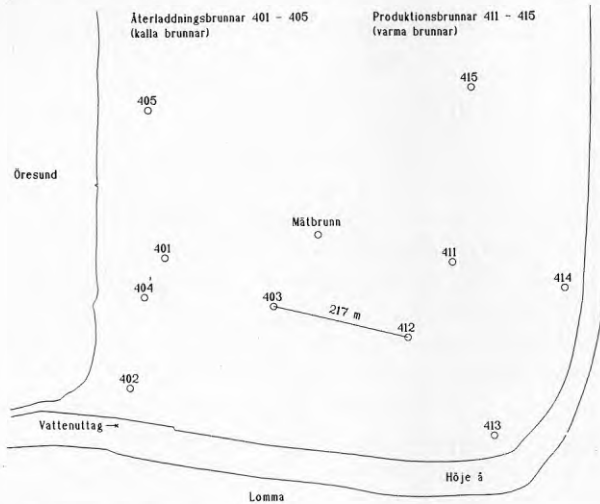


Fig 4.6 Akviferlagrets utsträckning.

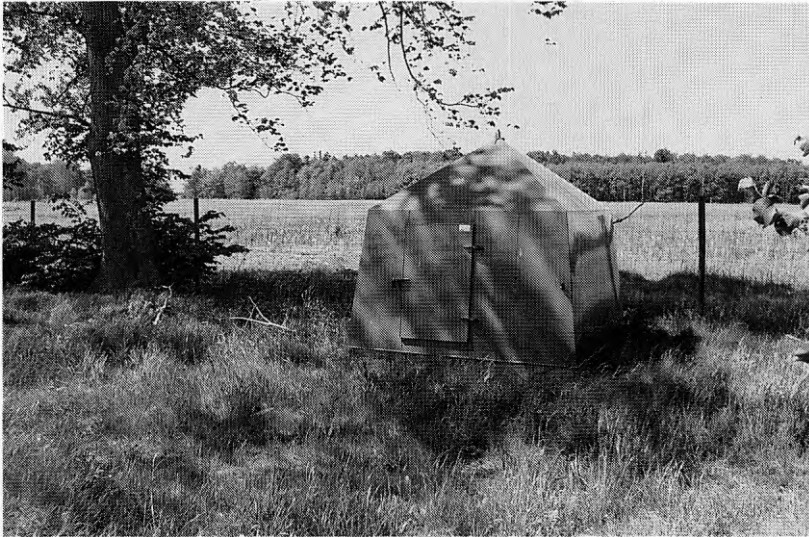


Fig 4.7 Brunnsöverbyggnaden till brunn B415.

Brunnarna i akviferen är utförda som grusfilterbrunnar. Grundvattnet pumpas upp med dränkbara pumpar av fabrikat KSB. Pumparna är ej reglerbara envarvspumpar på 18.8 kW per brunn. Flödesreglering fås genom strypning och drift till/från. Mellan brunnarna och värmecentralen används markkulvertar.

Kulverteringen av grundvattenledningarna är utförd i PVC tryckledning och för övrigt är systemet byggt i rostfritt material.

Värmeväxlaren VVX2-ÅV, som är en plattvärmeväxlare av Alfa-Lavals tillverkning används för att överföra värme från åvattensystemet till grundvattnetsystemet vid laddning av akviferlagret.

4.4 Mellankretsen

Till mellankretsen överförs värme från åvattensystemet via VVX3-ÅV, av Alfa-Lavals tillverkning och från grundvattnetsystemet via VVX1-GV.

Mellankretsen utgör ett slutet cirkulerande system fyllt med glykol/vattenblandning, innehållande 25% propylenglykol. Den överför värme från värmekällsystemen till värmepumparnas förångare. I mellankretsen finns även vissa kylbatterier inom värmecentralen inkopplade för att nyttiggöra den bortkylda effekten från lokalerna.

I mellankretsen är VP2-VP4 inkopplade parallellt med varandra och i serie med VP1. Inkopplingen är sådan att VP1 ligger först - på den varmaste sidan - i kretsen. Driften stoppar automatiskt om mellankretsen går under -2 °C.

4.5 Värmekällsystemets driftfall

Vinterdriftfall

Värme tillförs från den varma brunngruppen i akviferlagret till värmepumparnas brinekrets via VVX1-GV. De övriga två värmeväxlarna är inaktiva.

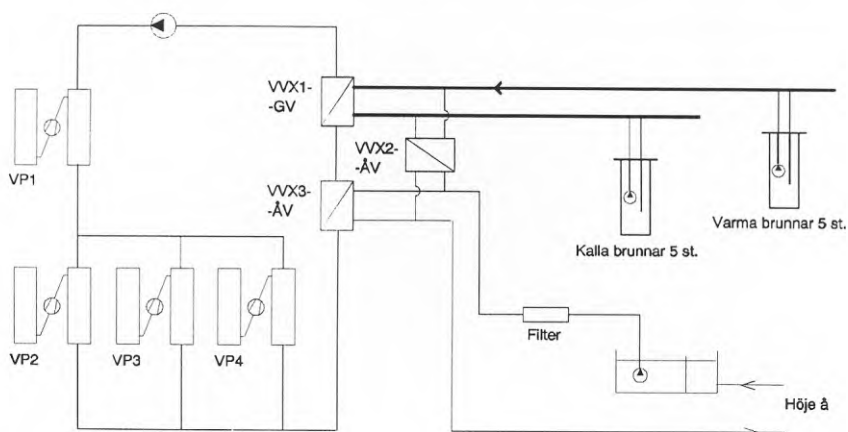


Fig 4.8 Vinterdriftfall

Höst/vårdriftfall

Enligt projekteringsförutsättningarna då åvattentemperaturen är mellan 8 °C och 12 °C. Värme tillförs brinekretsen från åvattenssystemet via VVX3-ÅV. Driftfallet kan kombineras med värmeöverföring från lagret via VVX1-GV.

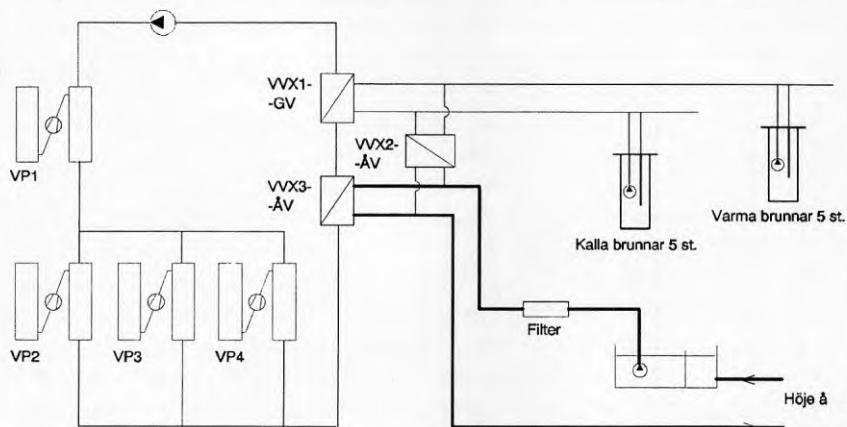


Fig 4.9 Höst/vårdriftfall

Sommardriftfall

Vid åvattentemperaturer > 12 °C. Värme tillförs från åvattenssystemet till brinekretsen via VVX3-ÅV. Samtidigt överförs värme från åvattenssystemet till grundvattenssystemet via VVX2-ÅV och värme laddas därmed ned i den varma brunngruppen.

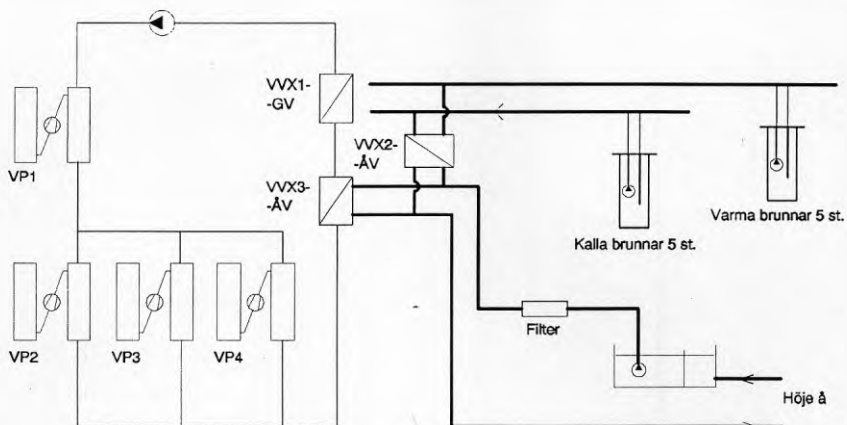


Fig 4.10 Somnardriftfall

4.6 Fjärrvärmekretsen

Värmebärarkretsen i Industrihamnsanläggningen är uppbyggd på konventionellt sätt. Figur 4.1 visar hur enheterna är sammankopplade, men det bör nämnas att denna bild är mycket översiktlig. Åtskilliga ventiler och rörsträckningar, som kan användas för manuella omkopplingar, har inte ritats ut. Vidare har enheternas inshuntning i kretsen inte tagits med i full detalj, speciellt gäller detta de tre oljepannorna.

De enheter som ingår i produktionsanläggningen och deras respektive effekter har redan beskrivits i avsnitt 4.1.

4.7 Styr/regler/övervakningssystemet

Värmecentralen styrs och övervakas från ett manöverrum i värmepumpsbyggnaden. Styr/regler/övervakningssystemet är av typ ABB Master och det fick en genomgripande uppgradering i samband med utbyggnaden.

Systemet är mycket välbestyckat med givare. Totalt tas data in till Mastersystemet från 135 givare och ytterligare 35 data tillkommer internt genom beräkningar. Ett stort antal av dessa data finns med enbart av driftövervakningsskäl för att underlätta för värmecentralens personal att styra driften optimalt i olika situationer.

Regleringen av driften kan i mycket hög grad styras från Mastersystemet, framförallt genom att där ställa önskade parametrar för reglersystemets börvärden.

5. MÄTNING OCH UTVÄRDERING

5.1 Utvärderingens inriktning och syfte

För att ge en allsidig belysning av Lommaprojektet samarbetar flera organisationer i utvärderingen. En stor del av insatserna har finansierats med medel från BFR, både som direkta programanslag och genom att forskare med mera långsiktiga ramanslag har utnyttjats. Samtidigt har det också bedrivits parallella utvärderingsprojekt som finansierats från annat håll.

De olika intresseområden, som varit aktiva i projektet och deras inbördes relationer kan översiktligt beskrivas på följande sätt.

5.1.1 Systemfunktion och energiflöden

Värmecentralens systemfunktion och dess energiomsättning utvärderas av Energitekniska Mätcentralen vid Chalmers Tekniska Högskola (MCTH). Speciellt fokuseras intresset till funktionen av systemkomponenter i åvattenssystemet och i grundvattensystemet. Övriga funktioner i värmecentralen, dvs värmepumpsdriften samt effektspetsning med el och olja behandlas mera översiktligt, eftersom här relativt konventionell och välbekant teknik används.

MCTH ombesörjer vidare insamlingen och distributionen av mätdata till flera av de andra utvärderande organisationerna.

5.1.2 Brunnsteknik och brunnsfunktion

VBB VIAK (Malmö) studerar brunnstekniska frågor i samband med akviferutnyttjandet, speciellt brunnarnas långsiktiga kapacitetsutveckling. Denna studie är en del i ett internationellt samarbete under IEA, annex 6, varför den kommer att publiceras utförligt i det sammanhanget. Inom ramen för denna rapport behandlas det brunnstekniska intresseområdet något mera översiktligt.

Detta delområde förses med större delen av sina data från MCTH, men man gör även vissa egna observationer på plats i samarbete med Lomma Energi AB.

5.1.3 Akviferens termohydraulik och värmebalans

Markvärmegruppen vid Lunds Tekniska Högskola arbetar med termohydraulisk modellering av förloppen i akviferlagret. Beräkningarna ger även möjlighet för prognoser några år in i framtiden och kan därför även användas som beslutsunderlag för brunnarnas framtida driftstrategi. Resultat från den termohydrauliska utvärderingen ingår i denna rapport.

MCTH förser markvärmegruppen med mätdata.

5.1.4 Modellbrunnförsök, brunnrehabilitering

Teknisk Geologi, Lunds Tekniska Högskola, arbetar på plats i Lomma med en modellbrunn där man kan framkalla olika typer av kemiska/mikrobiologiska igensättningsmekanismer och studera metoder att rehabilitera brunnar, som drabbats av dessa problem. Resultaten från dessa experiment faller utom ramen för denna rapport.

Modellbrunnprojektet samlar in sina egna observationsdata men förses också med ett mindre antal referensdata från MCTH.

5.1.5 Köldmediumförsök med R134a

Detta delprojekt, som drivs av Lomma Energi i samarbete med VBB VIAK (Malmö) ingår ej i den av BFR finansierade studien i Lomma. Det kommer inte att tas upp till behandling i denna rapport mer än så till vida att värmepumpen som används (VP4) finns med som värmeproducerande komponent i systemet och därför ingår i redovisningen av levererad värme till fjärrvärme.

5.2 Mätdatainsamling

Som nämndes i anläggningsbeskrivningen är värmecentralen Industrihamnen försedd med ett kvalificerat datoriserat styr/regler/övervakningssystem av typ ABB Master, figur 5.1. Ett osedvanligt stort antal givare har kopplats till Mastersystemet, utöver de som krävs för anläggningens reglering finns åtskilliga givare som används för ren övervakning och för att ge operatörerna underlag för driftstekniska beslut.

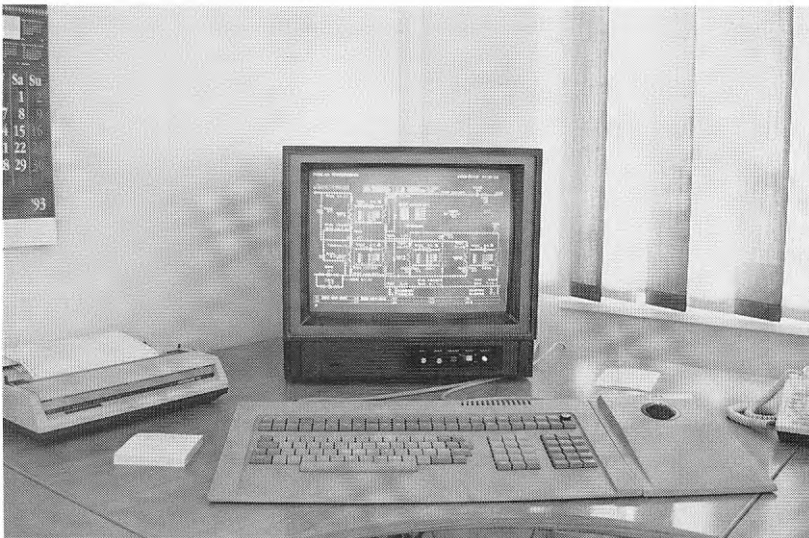


Fig 5.1 Anläggningen styrs och övervakas via ABB Mastersystemet.

Den vanliga metoden i fullskaleexperiment innebär att det studerade systemet förses med en uppsättning givare enbart avsedda för experimentet. I detta projekt bedömdes detta som överflödigt, med hänsyn till rikhaltigheten i det befintliga övervakningssystemet.

Ett problem var att det inte fanns någon möjlighet att lagra insamlade data på lämpligt sätt, för att senare kunna överföra dessa till de datorsystem som skulle användas för bearbetning och utvärdering. Lösningen blev att utöka ABB Mastersystemet med en PC-dator med mjukvara för att till PC:n hämta in ett urval av tillgängliga mätdata. Det använda mjukvarusystemet var PC Manager från Essentor AB.

De utvalda mätdata från Mastersystemet samplades till PC Manager var 6:e minut. I PC Manager beräknades sedan timvärden, summor och medelvärden, som lagrades på PC:ns skivminne. En gång per vecka hämtades mätdata via telefon med hjälp av ett kommunikationsprogram (PC Anywhere) till MCTH:s datorsystem för utvärdering vid Chalmers. Mätdata föreligger alltså där som timdata.

Data distribuerades till projektdeltagarna i form av förbearbetad rapportering -tabeller och diagram - eller i form av datafiler på disketter. Mätningarna har fungerat väl och med hög tillgänglighet. Totalt bortfall av mätdata har inträffat mindre än 10 dygn under ca två års drift. Korta bortfall av data har korrigerats genom insättning av medelvärden av mätdata före/efter avbrottet. Sådana korrekationer har varit mycket få och har inte påverkat resultaten i stort.

Mätdata har inte fullt så låg mätosäkerhet som MCTH brukar nå med egna mätsystem, som enbart byggts upp för ren mätning i experimentprojekt. Framförallt har detta märkts i anläggningens energibalanser där man ofta har kunnat observera obalanser på några procent. Detta har dock inte uppfattats som något stort problem eftersom utvärderingen i projektet inte varit inriktad på noggrann prestandamätning utan snarare på systemfunktion.

5.3 Givarsystemets omfattning

Nedan ges en översiktlig sammanfattning av de givare som haft betydelse för utvärderingen av Lommaprojektet. Temperaturer mäts genomgående med Pt-100 givare och vätskeflöden med magnetisk/induktiva flödesmätare av fabrikat Fischer & Porter. Där det angivits att en värmeenergi mätts, innebär detta också att motsvarande flöde och temperaturpar funnits tillgängliga i data.

Omgivningen

Utetemperatur
Vindhastighet

Åvattensystemet

Temperatur hamnvatten
Ledningsförmåga hamnvatten (avspeglar salthalt)
Vattennivå åvattenpumpstation
Differenstryck över sil i åvattenledning till värmecentral
Flöde till VVX2-ÅV
Flöde till VVX3-ÅV
Temperatur till VVX2-ÅV
Temperatur från VVX2-ÅV
Temperatur till VVX3-ÅV
Temperatur från VVX3-ÅV

Grundvattensystemet

Flöde till/från samtliga brunnar individuellt
Temperatur till/från samtliga brunnar individuellt
Vattennivå i samtliga brunnar individuellt
Tryck i ledning till samtliga brunnar individuellt
Tryck i samtliga brunnar individuellt
Tryck i samlingsledning kalla brunnar
Tryck i samlingsledning varma brunnar
Temperatur i samlingsledning kalla brunnar
Temperatur i samlingsledning varma brunnar
Temperaturer i mark centralt i lagret, 7 nivåer

Mellankretsen

Värme till VP1
Värme till VP2
Värme till VP3
Värme till VP4
Värme till värmepumpar totalt
Värme från VVX1-GV
Värme från VVX2-ÅV + VVX3-ÅV (drifttillståndsberoende)
Värme från VVX3-ÅV

Fjärrvärmekretsen

Värme till fjärrvärmenät
Värme från elpanna
Värme från oljepannor
Värme från VP1
Värme från VP2
Värme från VP3
Värme från VP4
Värme från värmepumpar totalt
COP VP1
COP VP2
COP VP3
COP VP4
COP värmepumpar totalt

Övrigt

El till VP1
El till VP2
El till VP3
El till VP4
El till värmepumpar totalt
El till elpanna

6. DRIFT AV ANLÄGGNINGEN

6.1 Värmeleverans till fjärrvärm nätet

I tabellerna 6.1 och 6.2 samt i figurerna 6.1 och 6.2 redovisas levererade värmemängder till fjärrvärm nätet, presenterade som månadssummor och uppdelade på produktionsenheterna. De två studerade driftåren är definierade som löpande år. Driftår 1: april -91 tom. mars -92. Driftår 2: april -92 tom. mars -93.

Som framgår av data domineras värmeproduktionen av värmepumpsdriften, medan olja och el utgör effektspetsning under den kalla årstiden. Under typiskt ca 5 sommarmånader svarar värmepumparna för praktiskt taget hela värmeleveransen. Valet mellan olja och el under tider då värmepumparna inte räcker till sker beroende på tillgänglighet och eltaxa. Som tidigare nämnts har elleverantören, Sydkraft, i sista hand oinskränkt beslutsrätt om elleverans.

Enligt projekteringsförutsättningarna (se kap. 2) väntade man sig ett totalt årligt värmebehov av 45 GWh. Av detta beräknades värmepumparna leverera ca 60 % eller 27 GWh. En jämförelse med verkligt uppmätta data ger vid handen att under driftår 1 levererades 33.8 GWh (75 % av förväntad leverans) och under driftår 2 levererades 36.9 GWh (82 % av förväntad leverans). Förklaringen till de relativt små värmeleveranserna är sannolikt i första hand det ovanligt milda klimat, som rått under den studerade tidsperioden.

Värmepumparna förväntades leverera ca 60 % eller 27 GWh av det totala värmebehovet. Det uppmätta resultatet blev att värmepumparna levererade ca 65 % av värmelasten under driftår 1 och ca 62 % under driftår 2, i båda fallen således en något högre andel än förväntat. Dessa andelar av den totala värmeleveransen motsvarar dock *i absoluta tal* något mindre än de projekterade 27 GWh, för båda driftåren.

Om man granskar driften av värmecentralen mera i detalj framgår en del störningar och avbrott, som under vissa tidsperioder påverkat framförallt värmepumpsdriften. Dessa störningar har oftast orsakats av relativt normala serviceåtgärder. I kort sammanfattning kommenteras här några av de mest betydelsefulla av dessa irregulariteter.

Under augusti -91 avbröts värmepumpdriften 3 dygn då arbete på åvatten-VVX utfördes.

Under oktober -91 reducerades värmepumpdriften under två tidsperioder om 4 respektive 3 dygn då arbete i ABB-Mastersystemet pågick. Anläggningen kördes då med manuellt styrda oljepannor.

Under november -91 lades ett nytt program in i Mastersystemet vilket ledde till ett antal dygn med manuell drift (olja).

Under en tidsperiod från mitten av april -92 till mitten av juli -92 genomgick VP1 en omfattande 40000 timmarsservice, varför den inte utnyttjades under denna tid.

Under ett par veckor i slutet av april -92 och början av maj -92 konverterades VP4 till köldmedium R134a (den hade tidigare körts med R12 som köldmedium för att ge referensdata).

Under flera perioder i maj -92 begränsades värmepumpsdriften på grund av arbeten i åvattensystemet. Bland annat byggdes åvattenintaget om samt försågs med en luftrida för att minska insuget av fasta föroreningar i åvattensystemet. Vidare utfördes muddringsarbeten i Höje å i närheten av åvattenintaget. Pumpbassängen i pumphuset slamsögs och rensades och filter i åvattensystemet delades och rengjordes.

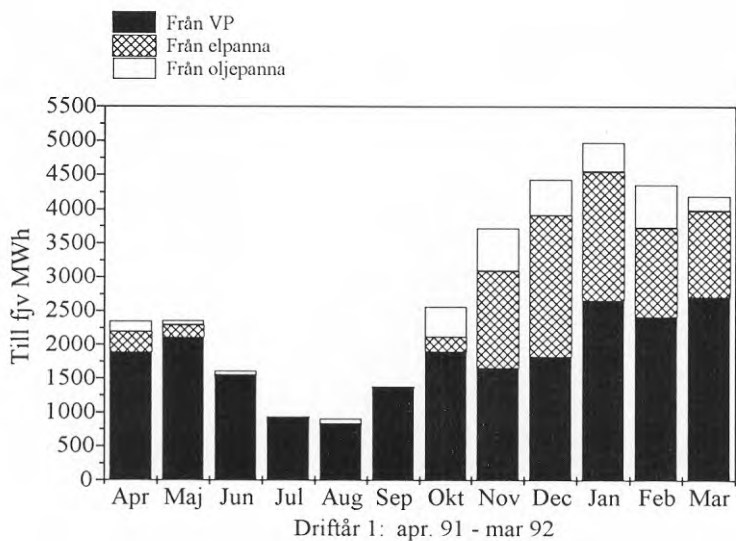


Fig 6.1 Levererad värme till fjärrvärmenätet driftår 1

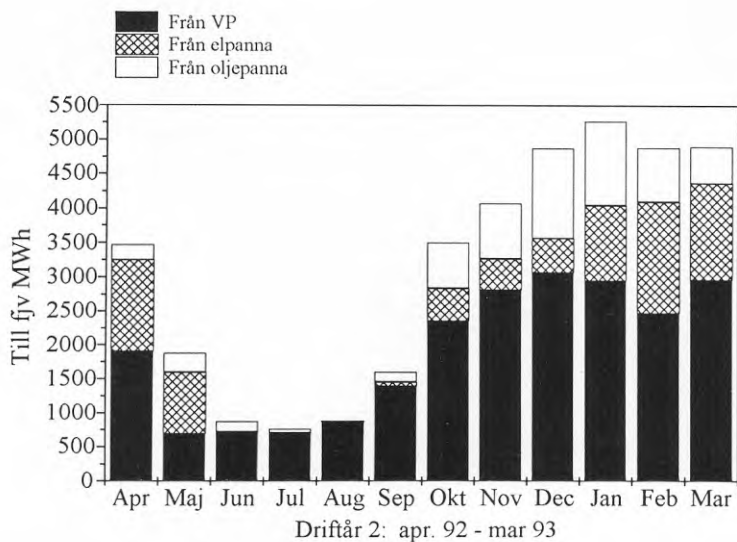


Fig 6.2 Levererad värme till fjärrvärmenätet driftår 2

År mån	EP MWh	OP MWh	VP MWh	Tot MWh
91 04	309	159	1882	2350
91 05	185	65	2108	2358
91 06	0	61	1544	1605
91 07	0	11	917	928
91 08	0	70	830	900
91 09	0	32	1356	1388
91 10	221	447	1898	2566
91 11	1434	630	1658	3722
91 12	2089	519	1824	4432
92 01	1883	426	2661	4970
92 02	1309	630	2421	4360
92 03	1270	214	2709	4193
Summa	8700	3264	21808	33772
Projekterat			27000	45000

Tabell 6.1 Värmecentralens produktion för driftår 1 uppdelat på produktionsenheter. EP = elpanna, OP = oljepanna, VP = värmepumpar.

År mån	EP MWh	OP MWh	VP MWh	Tot MWh
92 04	1341	226	1906	3473
92 05	895	288	692	1875
92 06	0	150	716	866
92 07	0	54	699	753
92 08	0	10	866	876
92 09	56	149	1390	1595
92 10	482	664	2357	3503
92 11	452	805	2816	4073
92 12	499	1309	3070	4878
93 01	1094	1221	2956	5271
93 02	1617	784	2481	4882
93 03	1400	527	2969	4896
Summa	7836	6187	22918	36941
Projekterat			27000	45000

Tabell 6.2 Värmecentralens produktion för driftår 2.

6.2 Driftfall i värmekällsystemen

I projekteringen (kap 2) antogs det att värmepumparnas driftbetingelser kunde delas upp på tre årstidsbundna driftfallstyper. Avgörande för typen av driftfall var åvattentemperaturen. Då denna var under 8 °C skulle vinterdriftfallet råda, med utnyttjade av akviferlagret som värmekälla, förväntad varaktighet 4300 h årligen. Vid åvattentemperaturer mellan 8 °C och 12 °C skulle vår/höstdriftfallet råda med användning av åvatten som direkt värmekälla, förväntad varaktighet 1400 h årligen. Vid åtemperaturer större än 12 °C slutligen skulle sommardriftfallet inträffa med inlagring av värme från åvattensystemet till akviferlagret, förväntad varaktighet 3000 h årligen.

Jämfört med den förväntade varaktigheten av åvattentemperaturen i de tre årstidskategorierna kom de verkliga åvattentemperaturerna att fördela sig på följande sätt :

Åvattentemp, °C	Varaktighet per år, h		
	Förväntad (normalår)	Verklig driftår 1	Verklig driftår 2
< 8	4300	3672	3960
8 - 12	1400	1560	1320
> 12	3000	3552	3480

Som tydligt framgår av data var både 1991 och 1992 ovanligt milda år. Om anläggningens drift hade styrts enbart efter utfallet av tillgängliga åvattentemperaturer skulle uppmätta drifttider givetvis överensstämma med data i tabellen ovan. I stället kom fördelningen av värmekällsdriften på de olika driftfallen att se ut så här :

Driftfall	Drifttid per år, h		
	Förväntad (normalår)	Verklig driftår 1	Verklig driftår 2
Vinter	4300	2885	154
Vår/höst	1400	3831	5171
Sommar	3000	2068	3435

I en grafisk bild framstår kanske skillnaderna tydligare mellan förväntade driftfall och verkliga. Figur 6.3 utgör ett försök att representera hur de olika driftfallen växlat under de två studerade driftåren.

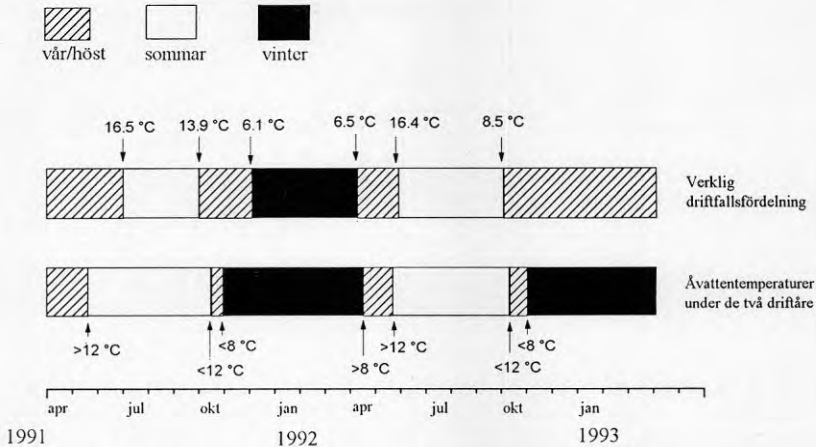


Fig 6.3 Driftfall i värmekällsystemen i relation till åvattentemperaturen.

Vissa omständigheter gjorde alltså att driften av värmekällorna kom att skilja sig i rätt hög grad från vad man förväntat sig. Det visade det sig fördelaktigt att utnyttja åvattnet ned till låga temperaturer. Hösten -91 inleddes vinterdriftfallet först då åtemperaturen kommit ned till ca 6 °C. Vår/höstdriftfallen bibehölls över huvud taget längre än förväntat - samtidigt utnyttjande av åvattnet och grundvattnet från akvifären dikterades delvis av rena kapacitets-skäl. Åvattensystemet drabbades av problem på grund av nedsmutsning av värmeväxlare och i grundvattensystemet nådde inte brunnarna helt upp till den önskade flödeskapaciteten. Dessa driftproblem diskuteras i kapitel 7 och 9.

På sensommaren/hösten -92 började man driva systemet i ett nytt drifttillstånd som närmast kan beskrivas som ett utvidgat vår/höstdriftfall (se fig 6.4). Då temperaturen i åvattnet i sommardriftfallet började närma sig gränsen för direktutnyttjande till VP via VVX3, med samtidig laddning av akviferen via VVX2, började man utnyttja VVX1 på ett nytt sätt. Värmepumparnas brinekrets tillfördes värme från åvattensystemet via VVX3 som drevs med högt effektutbyte. En mindre del av det överförda värmets togs tillbaka från brinekretsen via VVX1 och växlades mot akvifervattnet, som pumpades från de kalla mot de varma brunnarna. Akvifervattnet pumpades med reducerat flöde, ca 40-50 % av det laddflöde som använts vid den tidigare laddningen via VVX2. Resultatet blev fortsatt laddning av akviferen med ca 30 % av den tidigare laddeffekten. Temperaturen till de varma brunnarna blev ca 10 °C, mot tidigare ca 13 °C. När behov av att utnyttja akviferen uppstod senare på säsongen levererade brunnarna först detta sist nedladdade grundvatten. Ännu längre in på vintersäsongen när värmebehovet var större levererade brunnarna det varmare grundvatten, som lagrats under sommarens tidigare skeden.

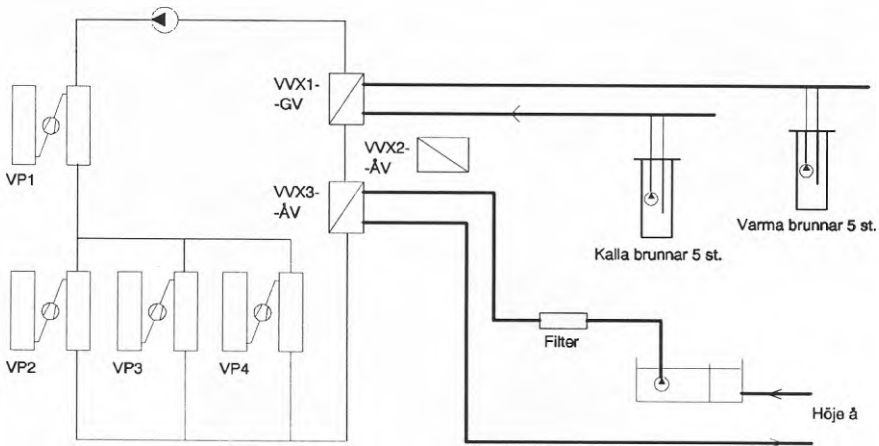


Fig 6.4 Det "nya" driftfallet hösten -92.

6.3 Energiomsättning i värmekällsystemen

De omsatta värmemängderna i värmekällsystemen framgår som månads-summor i tabellerna 6.3 och 6.4 samt i figurerna 6.5 och 6.6. Som redan nämnts kunde värmepumparna täcka lite mer än den förväntade delen av värmelasten båda driftåren. Några problem att få tillgängliga värmekällor att räckta till uppstod alltså inte, men man bör då ha i minnet dels det milda klimatet och dels det faktum att värmepumpar tidvis inte utnyttjades på grund av diverse serviceåtgärder.

Uttaget av värme från värmekällorna (åvatten och akvifer summerat) var för båda de studerade driftåren drygt 14000 MWh, men fördelningen av värmeuttaget mellan åvatten och akviferavatten skiljer sig åt en del vid en jämförelse av driftåren. Under driftår 1 användes 5301 MWh värme från åvattensystemet och 8703 MWh från akviferen till värmepumparna. Motsvarande siffror för driftår 2 blev 6118 MWh från åvattensystemet och 8007 MWh från akviferen. Skillnaden beror framförallt på att åvattensystemet var i drift under hela senhösten/vintern 92-93. Under denna tid togs värme från åvattensystemet vid låg temperatur samtidigt som akvifersystemet användes som spetsvärmekälla.

Förutom som värmekälla till värmepumparna, utnyttjades åvattensystemet också för laddning av akviferlagret. De totala uttagen av värme från åvattensystemet (till VP direkt och till laddning) blev 7108 MWh för driftår 1 och 11220 MWh för driftår 2. Akvifersystemet återladdades driftår 1 med 1807 MWh, motsvarande 21 % av den värmemängd man under driftåret tog från akviferen. Under driftår 2 återladdades 5102 MWh, 64 % av upptagen värmemängd. Målet att ersätta upptagen värmemängd kunde alltså inte nås, utan akviferens energibalans var negativ under den studerade tidsperioden. Orsaken till det betydligt bättre resultatet under driftår 2 finns framförallt att finna i de olika åtgärder som utfördes för att förbättra åvattensystemet, varom mera i kap 7.

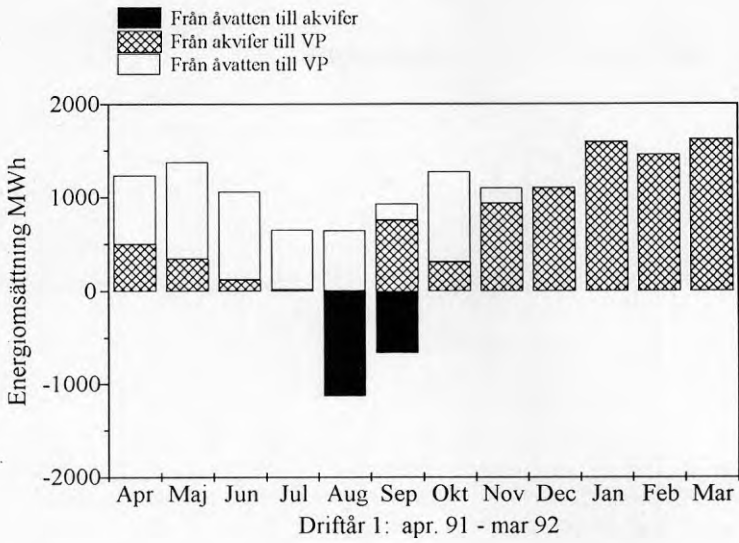


Fig 6.5 Energiomsättning i åvatten- och akvifersystemen driftår 1. Energi till akviferen har plottats negativ för bättre tydlighet.

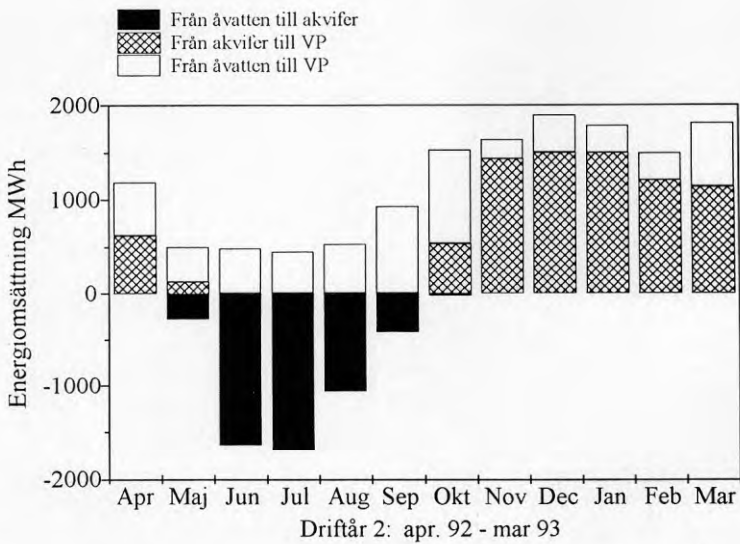


Fig 6.6 Energiomsättning i åvatten- och akvifersystemen driftår 2.

År mån	Från akvifer till VP MWh	Från åvatten till VP MWh	Från åvatten till akvifer MWh
91 04	495	738	0
91 05	338	1036	0
91 06	117	942	0
91 07	11	641	0
91 08	0	641	1136
91 09	753	175	671
91 10	303	965	0
91 11	933	163	0
91 12	1098	0	0
92 01	1590	0	0
92 02	1450	0	0
92 03	1615	0	0
Summa	8703	5301	1807

Tabell 6.3 Energiomsättning i värmekällsystemen under driftår 1. Data är presenterade som månadssummor.

År mån	Från akvifer till VP MWh	Från åvatten till VP MWh	Från åvatten till akvifer MWh
92 04	620	561	0
92 05	125	370	277
92 06	0	484	1635
92 07	0	445	1682
92 08	0	525	1058
92 09	0	922	423
92 10	531	986	27
92 11	1423	201	0
92 12	1491	390	0
93 01	1488	283	0
93 02	1198	286	0
93 03	1131	665	0
Summa	8007	6118	5102

Tabell 6.4 Energiomsättning i värmekällsystemen under driftår 2.

6.4 Värmepumparnas värmefaktorer

Tabell 6.5 sammanfattar de uppmätta värmefaktorerna för de fyra värmepumparna under de två studerade driftåren. Alla COP är presenterade som månadsmedelvärden. Vid medelvärdesbildningen har endast använts driftdata då respektive värmepump producerat mer än 70 % av sin nominella effekt. Normalt regleras värmepumparna inte ned med mera än 30 %. Värmefaktorerna inkluderar endast drivenergi till kompressorerna och avgiven värmeenergi och inkluderar alltså inte el till cirkulationspumpar och övrig "serviceel".

Värmepumparna 2 tom 4 är alla parallellkopplade på såväl brinesidan som värmesidan och drivs därigenom alltid vid samma betingelser då samtidigt drift av flera värmepumpar pågår. VP4 användes för prov med alternativt köldmedium från början av maj -92 vilket man kan se en viss inverkan av i dess uppnådda COP. Skillnaden i COP mellan VP2 och VP3 är liten och i viss mån betingade av slumpmässiga skillnader i driftförhållanden. Dock kan man dra slutsatsen att VP3 är något bättre driftoptimerad än VP2.

Den största värmepumpen, VP1, genomgick en omfattande 40000 timmarsrenovering under sommaren -92. Resultatet är lätt att se av data. När VP1 åter startades i juli -92 gav den genomsnittligt ca 17 % högre värmefaktorer än före renoveringen.

År mån	COP VP1	COP VP2	COP VP3	COP VP4
91 04	2.53	2.46	2.94	----
91 05	2.41	2.34	2.85	----
91 06	2.43	2.45	2.90	----
91 07	2.30	2.34	----	----
91 08	2.43	----	----	----
91 09	2.33	2.28	2.61	----
91 10	2.44	2.40	2.93	----
91 11	2.64	2.46	3.03	----
91 12	2.55	2.37	2.87	----
92 01	2.47	2.26	2.73	----
92 02	2.42	2.23	2.69	----
92 03	2.41	2.25	2.74	2.48
92 04	2.54	2.59	2.82	2.51
92 05	----	2.88	2.73	2.42
92 06	----	2.60	----	2.31
92 07	2.82	2.44	----	2.58
92 08	2.73	----	----	----
92 09	3.01	----	----	2.47
92 10	3.03	2.71	2.76	2.45
92 11	2.96	2.70	2.81	2.38
92 12	2.95	2.68	2.78	2.35
93 01	2.84	2.59	2.68	2.22
93 02	2.73	2.56	2.64	2.20
93 03	2.80	2.63	2.67	2.38

Tabell 6.5 Uppmätta värmefaktorer för värmepumparna. Månadsmedelvärden.

7. DRIFTPROBLEM OCH LÖSNINGAR

7.1 Inledning

Som framgått av föregående kapitel har värmepumpdriften varit framgångsrik under utvärderingsperioden så till vida att värmebehovet har kunnat täckas med den förväntade andelen värmeleverans från värmepumparna. Detta beror delvis på att perioden har varit ovanligt mild, och att värmepumparnas tillgänglighet varit god. Däremot har den upptagna värmemängden från åvattensystemet inte räckt till för att ladda akvifärlagret i önskvärd omfattning, vilket kan orsaka att driften i ett längre tidsperspektiv blir mindre ekonomisk.

Den absolut främsta orsaken till det låga värmeutbytet från åvattensystemet är nedsmutsning och därav följande kapacitetsnedsättning av åvattenvärmeväxlarna. Vidare har korrosionsproblemen i åvattensystemet varit betydligt allvarligare än vad som förutsetts.

Båda dessa problemkomplex har angripits med energiska och kostnadskrävande åtgärder som i betydande grad minskat problemen. Trots dessa åtgärder måste man konstatera att i nuläget en del återstår att göra innan problemet med nedsmutsning av värmeväxlarna lösts på ett helt tillfredställande sätt.

7.2 Korrosionspåverkan i åvattensystemet

Intaget till åvattenpumpstationen ligger endast ca 150 m från åmynningen. Under perioder med blåsigt väder tränger saltvatten från Öresund långt upp i Höje å och orsakar därmed ett förhöjt värde av kloridjoner i det uppumpade åvattnet. I fig 7.1 visas med ett exempel hur uppmätt elektrisk ledningsförmåga i åvattnet (givaren är placerad i pumpbrunnen) är kopplat till vindhastigheten.

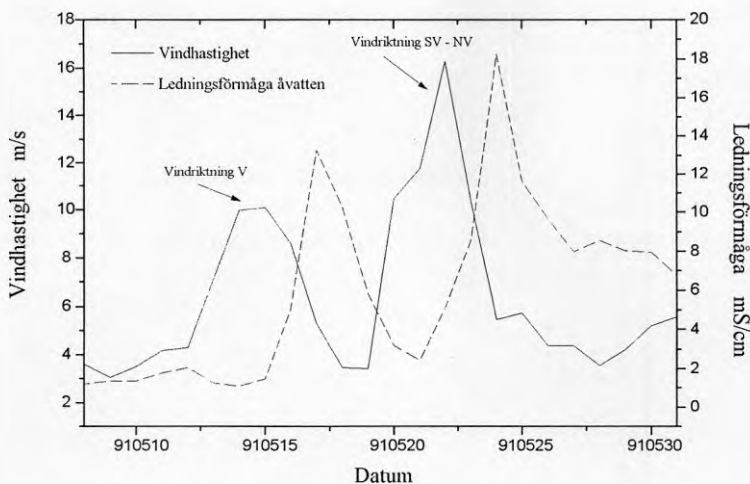


Fig 7.1 Vindhastighetens påverkan på åvattnets salthalt.

Det är notabelt att salthalten i åvattnet når sitt maximum först i samband med att vinden avtar. Detta fenomen kan iakttas i samband med alla de perioder av blåsväder som förekommit under de studerade två driftåren. Vindriktningen under dessa blåsiga perioder ligger nästan undantagslöst i kvadranten mellan väst och syd. En möjlig förklaring kan vara att pålandsvinden initialt orsakar ett förhöjt vattenstånd i ån men ingen större intransport av saltvatten, i alla fall inte mer än i det absoluta ytskiktet av ån. När sedan vinden avtar och vattennivån i ån sjunker bildas möjligen en motström av havsvatten utmed åbotten som för in avsevärda mängder saltvatten. Alternativt kan man kanske tänka sig att fördröjningen av saltchocken efter vindpåverkan beror på att omblandningen av yligt vatten och bottenvatten i ån är en process som tar viss tid i anspråk. Uppmätta värden på ledningsförmågan i åvattnet motsvarar ofta salthalter mellan 0.5 och 1.0 % , vilket betyder i det närmaste rent havsvatten.

Korrosion på de rostfria värmväxlarplattorna upptäcktes i samband med rengöringsarbeten redan under den första driftsäsongen, sommaren -91. Problemet löstes radikalt genom byte till titanplattor, vilket utfördes på VVX2 tidigt nästa driftsäsong, 920427. Samtidigt byttes svårt angripna gjutjärnsventiler i åvattensystemet mot ventiler i aluminiumbrons. Gjutjärnsventilerna hade placerats i systemet på grund av en felleverans.

I början av påföljande driftsäsong, 930301, byttes även plattorna i VVX3 mot titanplattor. I och med dessa åtgärder utgör inte längre korrosion på grund av inträngande saltvatten något problem.

7.3 Nedsmutningsproblem i värmväxlarna

De första indikationerna på kommande problem med nedsmutning av värmväxlarnas åvattensidor visade sig redan under provdrift hösten -90, då man konstaterade att "tång" ansamlades i filtret. Redan i förstudien förutses vissa problem med "vattnets innehåll av mikroorganismer typ alger, svampar, bakterier etc". Det skulle med tiden visa sig att dessa problem blev av både envist och svårbemästrat slag. Föreningar av grövre slag tycks spela en viktig roll i problembilden, det vill säga delar av större alger samt delar av klorofyllväxter av typ ålgräs.

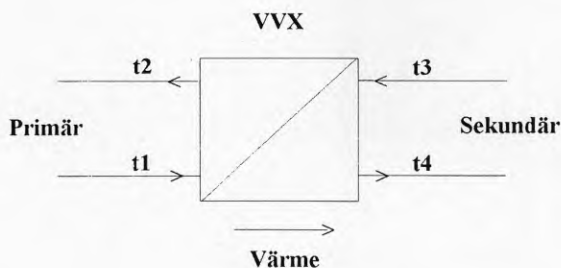
En avslöjande parameter för att bedöma en värmväxlars tillstånd är dess *effektivitet*, kvoten mellan verklig överförd effekt och den teoretiskt maximalt överförda effekten under rådande driftbetingelser. Effektiviteten kan definieras på följande sätt:

$$E = \frac{Q}{Q_{\max}}$$

Maximalt teoretiskt överförd effekt begränsas av det minsta värmekapacitetsflödet, det vill säga i allmänhet den sida av värmeväxlaren där vätskeflödet är minst om det är samma medium på värmeväxlarens båda sidor.

$$Q_{\max} = (F \cdot \rho \cdot C_p)_{\min} \cdot \Delta t_{\max}$$

I fortsättningen används beteckningar på temperaturerna på primär- och sekundärsidorna av värmeväxlaren enligt nedanstående figur.



Den teoretiskt maximala temperaturdifferensen som värmeväxlaren kan ge utgöres av skillnaden mellan inloppstemperaturerna på primär- och sekundärsidorna:

$$\Delta t_{\max} = (t_1 - t_3)$$

Med utnyttjande av det förenklande antagandet att $Q_{\text{primär}} = Q_{\text{sekundär}}$ (förlustfri värmeväxlare) kan värmekapacitetsflöden elimineras ur kvoten mellan Q och Q_{\max} ovan, och uttrycket för effektiviteten blir endast en kvot av temperaturdifferenser. Man erhåller två olika uttryck för effektiviteten beroende på om värmekapacitetsflödet är minst på primär- eller sekundärsidan. Text om det är minst på primärsidan gäller

$$E = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_3}$$

Effektiviteten ger ett tydligt mått på värmeväxlarplattornas tillstånd, eftersom den är alltid direkt proportionell mot värmeöverföringskoefficienten. Den har vidare den stora fördelen att ge ett värde som är oberoende av de temporära

driftbetingelserna och fungerar därför väl som analysinstrument även för värmeväxlare som drivs under variabla betingelser.

I fig 7.2 och 7.3 framgår hur allvarlig kapacitetsnedsättning nedsmutsnings-effekten innebär. Rengöring av plattorna återställer värmeväxlarna effektivt, men resultatet blir tyvärr kortvarigt. Redan den första veckan efter rengöring sjunker effektiviteten med ca 10 %. Inverkan av nedsmutsningen på den överförda effekten är katastrofal. Så till exempel var den överförda effekten hos VVX2 strax före rengöringen i augusti -91 ca 1500 kW, vilket kortvarigt steg till ca 3000 kW efter rengöring. Bottenrekordet för överförd effekt över VVX2 var ca 600 kW.

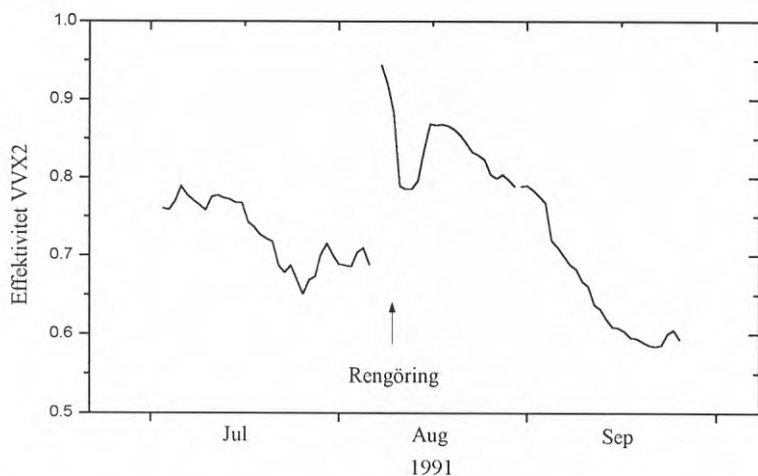


Fig 7.2 Effektivitetsförändringar hos VVX2 under sensommaren -91

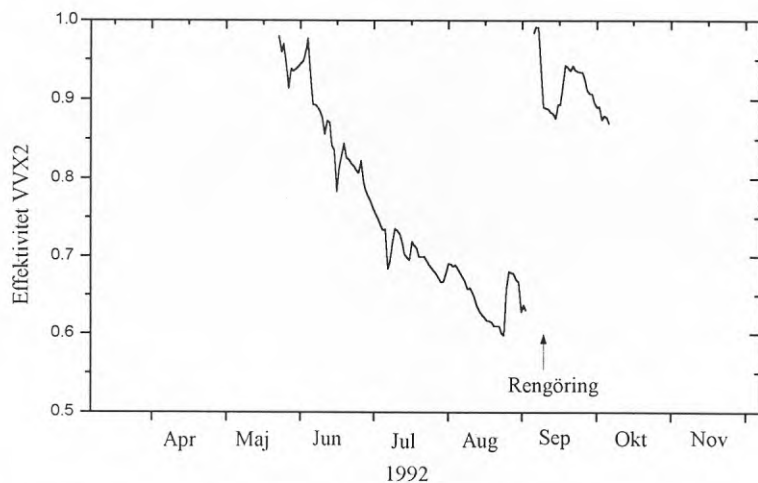


Fig 7.3 Effektivitetsförändringar hos VVX2 under sommaren-hösten -92

Nedsmutningsproblemen identifierades på ett tidigt stadium av projektet och åtskillig möda har lagts ned för att förbättra situationen. En kortfattad kronologisk sammanfattning av de viktigaste insatserna är belysande.

- apr -91 Provisoriskt galler har monterats före pumpinsug. Filtret i värmepumpsbyggnaden får backspolas nästan kontinuerligt.
- aug -91 Värmeväxlarna delas och rengöres.
- apr -92 Titanplattor monteras i VVX2.
- maj -92 Åvattenintaget byggs om. Intaget förses med en luftridå som hjälper till att avvisa större föroreningar (Fig. 7.4). Silen i filtret byts till maskstorlek 1 mm från tidigare 2 mm. Ett läckage i filterkorgen tätas. Höje å muddras i anslutning till intaget. Pumpbrunnen i pumphuset rensas och slamsugs. På försök monteras kolvarrangemang (Alfa-Laval), som möjliggör körning av endast halva primärsidan av värmeväxlarna, med högre tryckfall som följd. Alfa-Laval gör försök med en liten VVX med beväxningshindrande skikt på plattorna.



Fig 7.4 Åvattenintagets luftridå. Hamnpirarna sträcker sig ca 150 m nedströms till hamnmynningen.

- jul -92 Åvattenpumpar rengöres samt får oljebyte. Skyddsanoder monteras.
- sep -92 VVX2 delas och rengöres. Kolvarrangementen tas bort - ger ingen effekt. VVX med beväxningsskydd fungerar ej. Åvattenbrunnen rensas. Prov på sediment tas för kemisk analys.
- okt -92 Bägge VVX är helt igensatta av "gräs".
- nov -92 För framtiden planeras inköp av dykutrustning för manuell rensning av inloppskanal i å. Installation av pump för rensning av galler i pumphus övervägs. Inköp av egna verktyg för delning av VVX planeras. Ny rördragning övervägs för att möjliggöra enkel backspolning av VVX. Prov med rensning med hjälp av het lösning av kaustiksoda planeras.
- dec -92 VVX2 och 3 tvättade med kaustiksoda. Tryckfallet sjönk från 1.5 till 1.1 bar.
- feb -93 VVX2 tvättad med kaustiksoda.
- mar -93 Åvattenbrunn rensas. Plattor i VVX3 byts till titan. Kolvarrangementen tas bort från VVX3. Samtidigt delas och rensas VVX2. Spolventil i filtret ger problem, den är en känslig spjällventil som lätt sätts igen. Byte till kulventil planeras.
- apr -93 Tång vandrar förbi filtret i en springa mellan silhus och filterfläns. Omkonstrueras med gummitätning. Åvatteninlopp och pumpbrunn rensas.

Som synes har nedsmutsningsproblemen försakat mycket extraarbete och samtidigt inneburit att värmeutbytet från åvattensystemet tidvis varit mindre än hälften av det man annars kunnat ta ut.

Vid de återkommande rensningarna av värmeväxlarna har man kunnat bilda sig en uppfattning om hur problemen uppstår. Det förefaller som om det först bildas en ansamling i värmeväxlarnas inlopp av grövre material som lyckas ta sig förbi galler i inlopp, pumpbrunn och filter. Förekomsten av detta grövre material varierar starkt med omständigheterna. Påverkan av väder och vind är påtaglig - lösslitna alger och växtdelar pressas under blåsiga perioder långt upp i Höje å från Öresund. Det har också noterats att förekomsten av föroreningar ökat starkt då hamnen trafikerats av större fartyg. De proppar som bildas av grövre material minskar lokalt flödet genom värmeväxlarna och utgör samtidigt bryggor som finare sediment kan samlas mot. Efter demontering kan föroreningarna relativt lätt spolas bort - de har närmast karaktär av ett finkornigt,

lerblandat slam. Den kemiska analys som gjordes på material från rensningen i september -92 visade att sedimentet till 60% bestod av minerogent finkornigt material av framförallt lermaterial med inslag av kvartskorn. Resterande 40% bestod av organisk substans, troligen alger och bakterier. Detta kan tolkas så, att det är en ren sedimentationsprocess, snarare än en biologisk beväxning, som orsakar den finkorniga beläggningen.

Problemen har minskat i betydande grad sedan tillkomsten av lufttridån och tätningen av filtret. Även rundspolning med kaustiksoda, som sker med hjälp av en liten pump speciellt anskaffad för ändamålet, har viss rengörande effekt. Annars är den motåtgärd som troligen skulle ge den bästa effekten mot nedsmutsningsproblemen, att ordna möjlighet för effektiv backspolning av värmeväxlarna genom korskoppling. Backspolning bör i så fall ske tillräckligt ofta för att förhindra att bryggor av grovt material börjar bildas i värmeväxlarna. Hittills har dock kostnaden att ordna ett backspolningssystem varit avskräckande. Delning och mekanisk rensning, slutligen, är effektivt. Nackdelarna blir dock stora, rensningen är tids- och arbetskrävande och kräver att driften stoppas. Vidare håller inte värmeväxlarnas tätningar i längden för upprepade demonteringar, utan man får ett omfattande behov av underhåll och utbyte.

8. ANLÄGGNINGENS DAGLIGA SKÖTSEL

8.1 Fjärrvärmecentralen

På daglig basis väljer driftpersonalen via styrsystemet den typ av drift som önskas beroende på yttre omständigheter. I allmänhet prioriteras värmepumpsdriften varefter elpanna respektive oljebrännare utnyttjas vid behov först i andra och tredje hand. Värmebehovet bestämmer givetvis vilka enheter som drivs. Även i primärvärmekällorna väljs det efter omständigheterna bland annat vilka brunnar som skall utnyttjas etc. De flesta driftinställningarna sker via ABB Mastersystemet som också har en omfattande säkerhetsautomatik med övervakning av temperatur- och tryckvakter. De valda driftenheterna stegas in i vald sekvens av styrsystemet efter behov.

Utöver driftövervakning utför driftpersonalen fortlöpande underhåll av anläggningen inklusive smärre reparationer då behov uppstår.

Större åtgärder i värmepumparna, såsom periodiskt återkommande översyn och renoveringar, utförs av ABB Stal Litzell.

8.2 Åvattensystemet

Åvattenintaget och pumpbrunnen inspekteras dagligen och rensas vid behov. Vissa tider på året ansamlas stora mängder av alger och andra fasta föroreningar mot gallret i pumpbrunnen och dessa avlägsnas manuellt med handverktyg. Med längre mellanrum tas gallren upp ur brunnen och åtgärdas mera omsorgsfullt på marken vid pumphuset genom mekanisk rengöring och vattenspolning. Dagligen åtgärs ca 1 timme arbetstid till dessa arbeten.

8.3 Grundvattenbrunnarna

Brunnsystemet får en viss backspolningseffekt genom att flödesriktningen växlas varje år då omställning mellan sommar- och vinterdriftfall sker. I samband med driftfallsomläggningen flyttas också manuellt ett antal tryckgivare från det kalla till det varma brunnsystemet eller vice versa. Data från dessa tryckgivare är relevanta endast i det mottagande brunnsystemet och man har avstått från dubblering av givare av kostnadsskäl.

Brunnsystemet är konstruerat för att arbeta under övertryck vilket kräver viss övervakning. Ibland uppstår behov av avluftning vilket då utföres manuellt.

9. BRUNNSTEKNISK UTVÄRDERING

9.1 Hydrogeologiska förutsättningar

Ett av de stora problemområdena med att lagra energi i akviferer är brunnarnas känslighet för igensättning. Detta gäller speciellt brunnar av sk grusfiltertyp, vilka är de man tvingas använda i finkorniga avlagringar, se figur 9.1.

I aktuellt fall består akviferen nästan uteslutande av finkornig välsorterad sand. Sandavlagringen, som är 25-30 m mäktig, överlagras av 35-40 m lera och lermoräner, vilket gör att akviferen är sluten och således står under ett hydrostatiskt övertryck.

Betraktas akviferen lite mer i detalj, är ett generellt drag att de understa metrarna innehåller enskilda lager med lite grövre sand och att det är hit den huvudsakliga vattenföringen är knuten. Ett annat gemensamt drag är att kornstorleken successivt minskar uppåt i lagerföljden, detta som en följd av ett ökat antal siltränder i finsandsbädden.

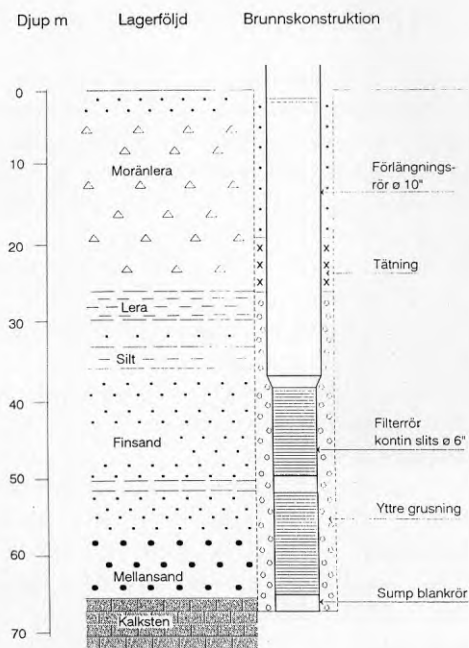


Fig 9.1 Grusfilterbrunn

En annan för igensättningsproblematiken avgörande faktor är grundvattnets kemiska sammansättning. Särskilt känsliga för utfällningar är vatten som dels har en hög hårdhet, dels innehåller järn och mangan i jonform. I aktuellt fall har vattnet just denna karaktär.

Sammantaget är således förutsättningarna för anläggning och drift av brunnar inte de allra bästa. Detta visade sig också ganska snart efter det att de äldsta brunnarna varit i drift ett par år. Undersökningar visade att de brunnar som använts som uttagsbrunnar (B411-413) hade tappat avsevärt i kapacitet. Även återföringsbrunnarna (B401-403) hade blivit sämre, men återgick till nära nog ursprunglig kapacitet efter backspolning.

Vad gäller uttagsbrunnarna utfördes försök med rensblåsnings- och syrabehandlingsförsök. Effekten av dessa åtgärder blev dock mycket marginella, varför antogs att kapacitetsförsämringen berodde på irreversibla processer. Det låg nära till hands att bli misstänka att finpartiklar vandrade in i grusfiltret och successivt tätade detta. En annan orsak bedömdes vara kemisk utfällning av järnkarbonater, en utfällning som inte går att syrabehandla på konventionellt sätt.

9.2 Brunnsteknisk beskrivning

I samband med utbyggnaden av brunnssystemet med ytterligare fyra brunnar (B404-405 och B414-415) gjordes en något annorlunda dimensionering. Denna innebar bl a att differentierad slitsvidd och kornstorlek på filtergrus användes i något fall. Vidare sattes blanka rör förbi siltiga avsnitt av lagerföljden. Syftet var givetvis att minimera riskerna för igensättning av filtergruset på vissa nivåer men samtidigt öka rensblåsningseffekten på andra.

Förhoppningen var att dessa "nya brunnar" inte skulle uppvisa samma nedgång i kapacitet som "de äldre" visat sig göra.

Bortsett från smärre skillnader i filterkonstruktion och filterlängder, se tabell 9.1, är brunnarna i övrigt likvärdigt utformade.

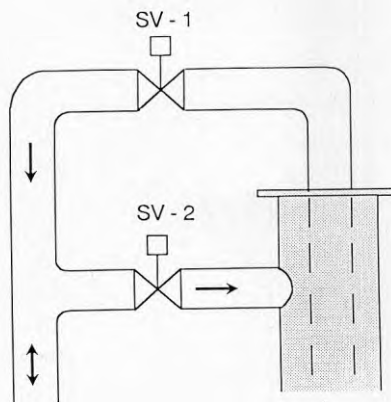
Anläggningstekniskt är brunnshålen borrade med rotationsborrning med omvänd vätskespolning i dimension 15" vilket ger en filtergrustjocklek av ca 2.5" mellan hålvägg och filterrör.

Dubbelflödesfunktionen, dvs brunnarnas förmåga att både leverera uppumpat vatten och ta emot vatten för injektering, fordrar en speciell konstruktion på brunnshuvudet. Principen framgår av figur 9.2. Kännetecknande drag är att vattnet vid återföring, via styrventiler, tvingas in i utrymmet mellan stigarrör och brunnsrör och att systemet är lufttätt.

Då brunnen användes för uttag är ventil SV-2 stängd, medan flödet på uttaget kan regleras via SV-1. Vid injektering är SV-1 stängd medan mängd och därmed återföringstryck regleras med SV-2.

Brunn	Djup (m)	Filterrör		Grusning		Blankrör
		Nivå (m u my)	Slits (mm)	Frakt (mm)	Nivå (m u my)	Nivå (m u my)
401	64.0	43.5-63.5	0.50	0.7-1.2	39-64	
402	64.0	44-64	0.50	1.0-1.7	40-64	
403	64.0	44-64	0.50	0.7-1.2	39-64	
404	64.0	40.5-63.5	0.50	0.7-1.2	27-64	50.5-52.2
405	64.0	46.5-63.5	0.50/- 0.25	0.7-1.2/- 0.3-0.7	30-64	
411	66.0	41.5-65.5	0.50	0.7-1.2/- 1.0-1.7	38-66	
412	66.0	45-65	0.50	0.7-1.2	41-66	
413	65.0	44-64	0.50	0.7-1.2	40-65	
414	64.5	46.5-64.5	0.50	0.7-1,2	30-64.5	53.5-55.5
415	64.0	47.0-64.0	0.50	0.7-1.2	32-64	

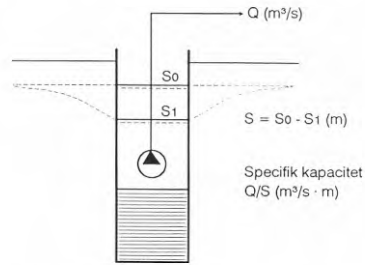
Tabell 9.1 Brunnstekniska data



Figur 9.2 Principsystem för dubbel brunnsfunktion

9.3 Mätningsteknik

Ett enkelt och tillförlitligt sätt att studera hur brunnar utvecklas kapacitetsmässigt är att mäta flöde som funktion av avsänkning (vid uttag) respektive återföringstryck (vid injektering). Denna sk specifika kapacitet, återspeglar bla strömningmotståndet genom brunnfiltret, se figur 9.3, och berättar således om motståndet ökar (vid igensättning) eller minskar (vid rensugning).

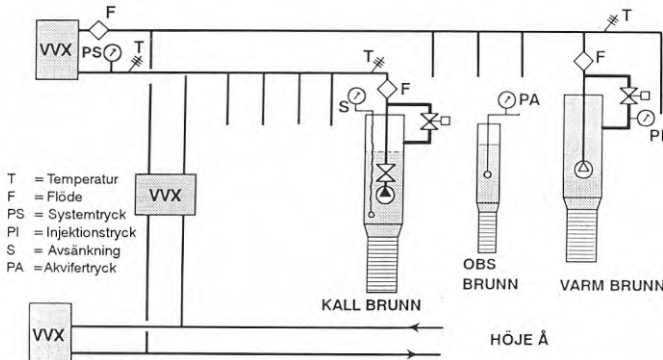


Figur 9.3 Definition av specifik kapacitet

Till saken hör dock att den specifika kapaciteten är olika vid olika flöden och att dessutom sambandet mellan specifik kapacitet och flöde följer en för varje brunn unik ekvation.

Vidare påverkas specifik kapaciteten också av akviferens allmänna trycknivå, uttagets och återföringens geometriska och flödesmässiga fördelning samt vattnets temperatur (viskositet/densitet).

Sammantaget innebär detta att en rad korrigeringar krävs för att erhålla jämförbara mätvärden, vilket i sin tur ställer krav på mättekniken. Det system och de parametrar som använts i aktuellt fall framgår av figur 9.4



Figur 9.4 System och mätparametrar för kontroll av brunnarnas kapacitetsutveckling

Av de parametrar som anges i figuren är det bara akvifertrycket som mätts manuellt. Övriga mätvärden har loggats via styr- och övervakningsystemet, se avsnitt 4.7.

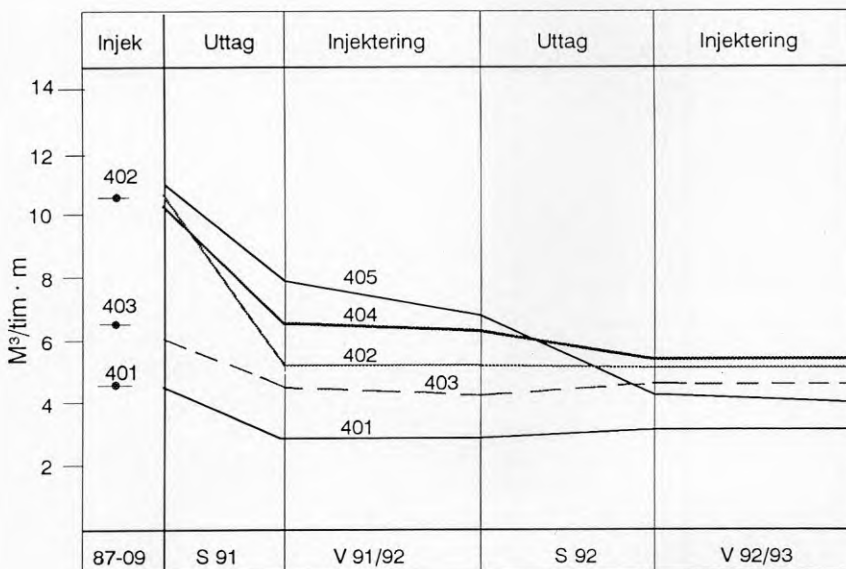
Det skall nämnas att tryckgivarna för mätning av avsänkning är mobila och att dessa flyttats mellan brunnarna vid övergång till sommar- respektive vinterdrift.

9.4 Resultat och utvärdering

För att studera var enskild brunnns specifika uttags- och injekteringskapacitet har dygnsmedelvärden på flöden och tryck använts.

För att få jämförbara värden har vidare bara driftsituationer med likartade förhållanden avseende flöden och flödesfördelning valts ut ur den stora datamängden. Härtill har vissa korrigeringar gjorts för temperaturberoende densitets- och viskositetsskillnader och för akviferens årstidsberoende nivåvariation.

Det på dessa grunder plottade resultatet för den kalla brunngruppen framgår i förenklad form av figur 9.5.



Figur 9.5 De kalla brunnarnas kapacitetsutveckling

De äldre brunnarna (B401-403) undersöktes avseende uttags- och återföringskapacitet första gången i september 1977 (VP-anläggning Lomma Centrum-Funktionskontroll av brunnssystemet, VIAK AB, Malmö 871104). Brunnarna hade då varit i drift ett knappt år som injekteringsbrunnar. Därefter användes de som injekteringsbrunnar fram till sommaren -91 då den första energilagringsperioden började och då även de nya brunnarna (B404-405) togs i drift.

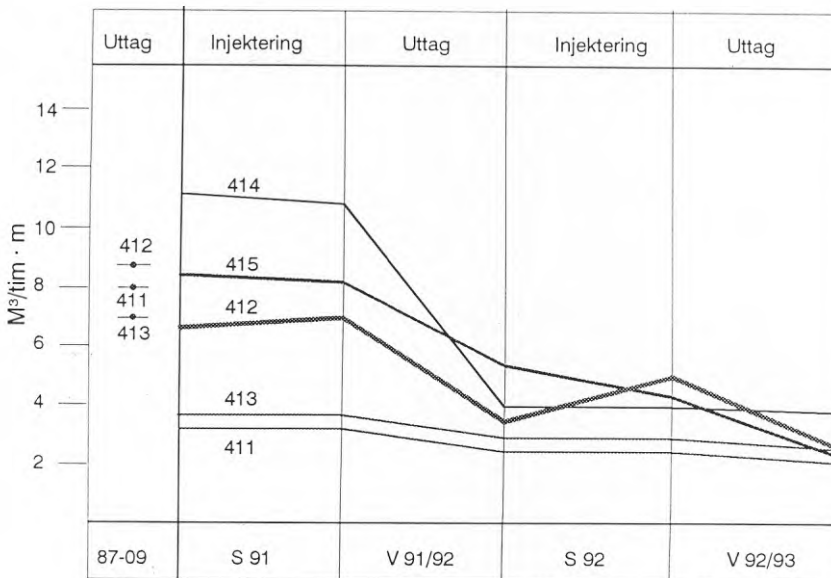
Resultatet av uppföljningen visar att de äldre brunnarna i stort behållit sin injekteringskapacitet under de fyra år de användes som återföringsbrunnar. Dock har den från början sämsta brunnen (B401) blivit procentuellt sett betydligt sämre.

Med ett vänt flöde fr o m april 1991 sker en märkbar försämring av alla brunnar utom just B401. Ju högre kapacitet från början, ju större är försämringen.

Notabelt är att B405 också försämras under injektering, medan de andra brunnarna ligger på nära nog konstant nivå.

Förvånansvärt är att alla brunnar slutligen tenderar samla sig inom ett snävt gemensamt kapacitetsområde.

Motsvarande analys av de varma brunnarna visar i stort sett samma mönster, se figur 9.6, nämligen en tendens att kapaciteten minskar för varje uttagsperiod, svag eller ingen försämring vid injektering och en slutlig ansamling runt ett snävt kapacitetsområde.



Figur 9.6 De varma brunnarnas kapacitetstuveckling

De äldre brunnarna (B411-413) hade efter 1 års uttagsdrift (sept -87) sannolikt redan tappat en betydande del av ursprunglig kapacitet. Vad gäller B411 och B413 hade dessa redan nått sina bottenlägen då uppföljningen startade våren -91. B412 däremot tycks vara en brunn som konstigt nog ökar i kapacitet under injektering, men samtidigt tappar igen vid uttag.

Den bild av kapacitetsutvecklingen som framkommit indikerar starkt att igensättningsfenomenen endast uppstår i samband med uttag ur brunnarna. Vidare visar analysen att igensättningen successivt tonar ut och att var enskild brunn slutligen når en - som det verkar - förutbestämd kapacitet, vilken är ungefär en fjärdedel av den ursprungliga.

Det är svårt att hitta någon idag känd igensättningsprocess som skulle resultera i det beskrivna mönstret.

En kemisk utfällning borde erfarenhetsmässigt börja smygande för att sedan accelerera, mätt i specifik kapacitet. Processen som här dokumenterats uppvisar en motsatt effekt.

En partikulär igensättning är inte heller särskilt trolig (B412 möjligen undantagen) eftersom denna rimligen också borde fortgå vid injektering och dessutom generera en del finsand i systemet, något som inte noterats.

Sammanfattningsvis kan konstateras att alla brunnar samlas på en kapacitetsnivå som är ungefärligen 20-30 % av den ursprungliga. Det måste också anses belagt att kapacitetsnedgången inträffar då brunnarna används för uttag och att nedgången är störst i början för att sedan plana ut.

Vilka igensättningsprocesser som orsakar kapacitetsförsämringen har inte gått att besvara. Mycket pekar dock på att det inte är kemisk utfällning och knappast heller partikelvandring. Detta lämnar dörren öppen för nya teorier och fortsatta forskningsinsatser.

10 TERMOHYDRAULISK UTVÄRDERING

10.1 Inledning

Grundvattenvärmesystem såsom det aktuella vid Lomma Energiverk utnyttjar grundvattnets värmeinhåll, i synnerhet under vinterhalvåret, som värmekälla till en värmepump. Grundvatten tas upp via ett antal brunnar och återföres efter nedkylning via ett antal andra brunnar. Grundvatten med olika temperaturer kommer att röra sig i grundvattenmagasinet. Man får en *termohydraulisk* process i marken.

Det återförda kallare vattnet kyler efter hand ett allt större område kring återföringsbrunnarna. Man måste undvika att få upp detta kallare vatten i upptagsbrunnarna. Upptagsbrunnarna måste ligga så långt bort att man inte får *termiskt genomslag*. Å andra sidan vill man begränsa ledningsdragning mm. Man får ett optimeringsproblem rörande brunnsplaceringar och vattenpumpningsstrategier. Ett sätt att begränsa nedkylningen är att såsom sker i Lomma vända pumpriktningen under sommaren och då pumpa in varmt vatten.

För att kunna optimera ett sådant grundvattenvärmesystem med återladdning måste man behärska de termohydrauliska processerna i grundvattenmagasinet med sina brunnar och pumpningsstrategier. Den primära geohydrologiska uppgiften är att få ett så gott grepp som möjligt på hur vattnet strömmar i grundvattenmagasinet. Nästa steg är att utveckla matematiska datormodeller som beskriver grundvattenströmning och temperaturförlopp. Inom Markvärmegruppen pågår detta arbete sedan lång tid tillbaka.

Syftet med undersökningen är mera specifikt att beskriva vattenströmningen (och vattentemperaturen) med en matematisk modell. Modellen skall sedan kunna verifieras mha observerbara data (vattentemperaturer). Som alltid finns det en viss osäkerhet i modeller som beskriver verkligheten och det är denna osäkerhet som skall övervinnas. Målet är att få så pass stort förtroende för modellen att tillförlitliga prognoser kan göras.

10.2 Akvifervärmelagret i Lomma

Anläggningen för grundvattenvärmelagret i Lomma består av fem "varma" brunnar, fem "kalla" brunnar och en mätbrunn. Tre brunnspar har varit i drift utan återladdning av värme sedan 1987, vilket innebär att en viss nedkylning av akvifären varit för handen redan från början av den nu studerade tidsperioden. Anläggningsområdet visas i figur 4.6.

Under vintersäsongen tas vatten upp via de varma brunnarna och återföres till de kalla. Härvid erhålles värme till värmepumparna. Under sommarsäsongen med pumpning i motsatt riktning tas vatten upp från den kalla sidan och uppvärms genom värmeväxling mot Höje å för att sedan pumpas ned på den varma sidan. Härvid bildas en *uppvärmningszon* kring varje varm brunn. Dessa uppvärmningszoner minskar i omfång eller förbrukas helt under vintersäsongen och en *nedkylningszon* bildas kring varje kall brunn. Temperaturen i en upp-

värminingszon ligger vanligtvis mellan 11 °C och 14 °C. I nedkylningszonerna är temperaturen ungefär 3-5 °C. Grundvatten i akviferen som är termiskt opåverkat av brunnsvattnet kallas ostört. Det ostörda grundvattnets medeltemperatur är 9,5 °C. Gränsen mellan en uppvärmnings- eller nedkylningszon och det ostörda vattnet i akviferen kallas för en *termisk front*. Den datormodell som beskrivs i avsnitt 10.4 beräknar alla dessa termiska fronter runt brunnarna. För att ge en uppfattning om vad som händer i grundvattenmagasinet skall vi börja med att redogöra för beräkningsresultaten. Förutsättningar för modellen och indata till denna anges i avsnitt 10.4 och 10.5. Uppvärmnings- och nedkylningszoner visas i figurerna 10.1-10.5. De termiska fronterna är randytor till dessa zoner. Grundvattenmagasinet har stor horisontell utsträckning. Det ligger i huvudsak mellan djupen 53 m och 65 m. Figurerna avser ett horisontellt tvärsnitt mitt i magasinet, dvs på djupet 59 m.

Grundvattensystemet med tio brunnar började utnyttjas våren 1991. Under perioden 910401-910703 tas vatten upp från den varma sidan (brunnarna 411-415) och pumpas ned på den kalla sidan (brunnarna 401-405). I figur 10.1 syns omfånget av nedkylningszonerna kring varje kall brunn i slutet av perioden (910703). Till att börja med trycks vattnet radiellt ut från varje brunn. I frånvaro av andra brunnar blir nedkylningszonen cirkulär med brunnen i cirkelns centrum. Efterhand som påverkan från de andra brunnarna gör sig påmind deformerar den cirkulära formen på nedkylningszonen. Ju större påverkan är från de andra brunnarna desto mer deformerar nedkylningszonen. Brunn 405 och brunn 402 i figur 10.1 påverkas inte nämnvärt av de andra brunnarna medan nedkylningszonerna kring övriga kalla brunnar, 401, 404 och 403, uppvisar tydliga tecken på yttre påverkan. Randen till en nedkylningszon kallas termisk front och utgör gränsen mellan stört- och ostört grundvatten. I dessa beräkningar betraktas den termiska fronten som en skarp gräns utan att ta hänsyn till de blandningsprocesser som tenderar att utjämna temperaturskillnader. Grundvattnet som tas upp i de varma brunnarna är väsentligen ostört.

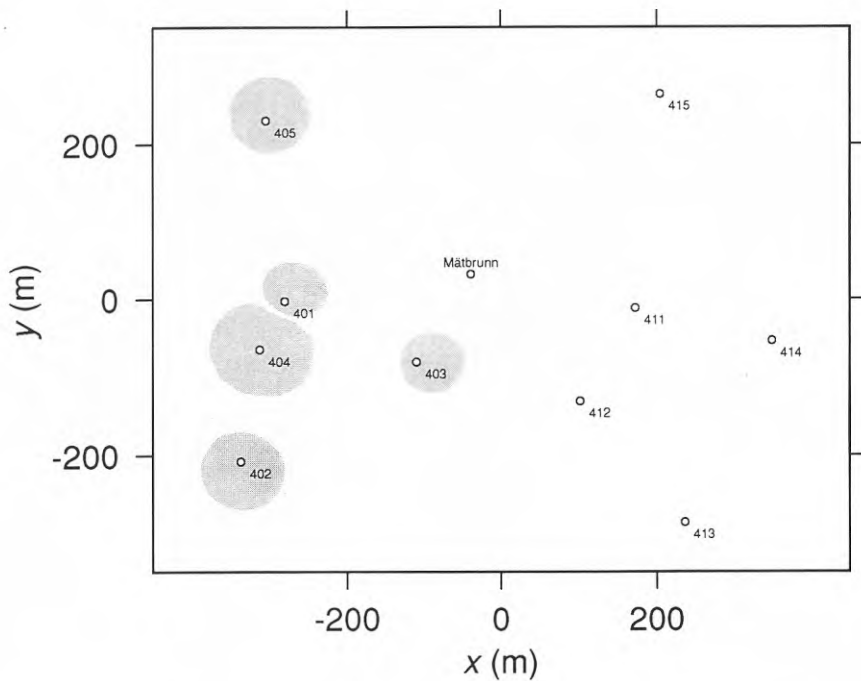


Fig 10.1 Nedkylningszoner efter första vintersäsongen 910401-910703.

Under följande sommarsäsong (910704-910925) pumpas grundvatten upp ur de kalla brunnarna och uppvärms för att sedan pumpas ned i de varma brunnarna. Brunn 401 är helt avstängd och flödet i brunn 405 är nästan noll. I figur 10.2 syns de lätt deformerade, nästan cirkulära uppvärmningszonerna som har bildats under denna säsong kring de varma brunnarna. Energi har lagrats i akviferen. På den kalla sidan har nedkylningszonerna kring brunn 403 och brunn 402 tömts helt. Nedkylningszonen kring brunn 405 har minskat något. Eftersom brunn 401 har varit avstängd under hela denna period skulle egentligen nedkylningszonen från förra vintersäsong vara oförändrad, men pga påverkan från de andra brunnarna, främst brunn 404, har nedkylningszonen deformerats. En del av vattnet i nedkylningszonen omkring brunn 401 har sugits in till brunn 404.

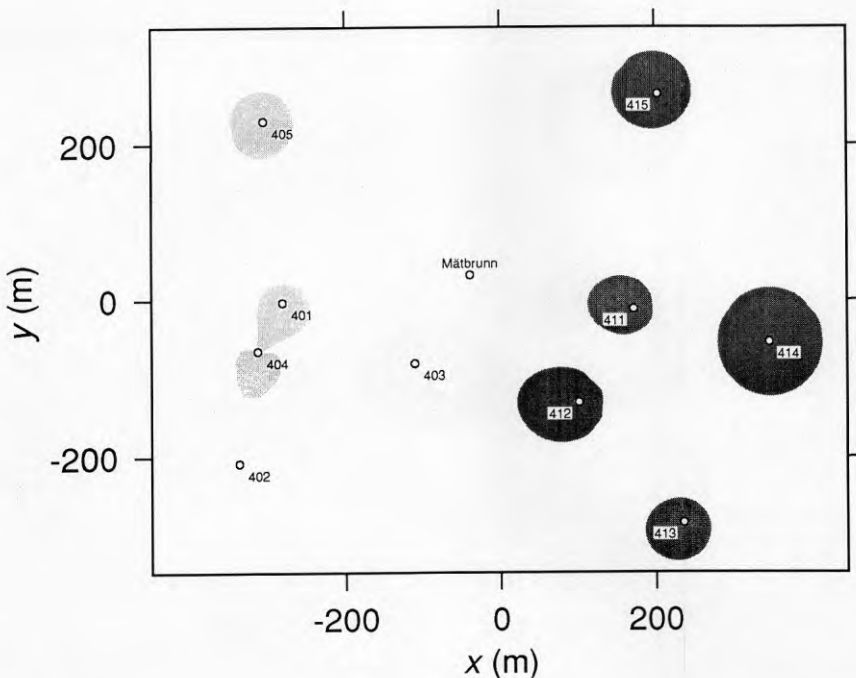


Fig 10.2 Nedkylnings- och uppvärmningszoner efter första sommarsäsongen 910704-910925.

Figur 10.3 visar de termiska fronterna i slutet av den andra vintersäsongen (910926-920522). All lagrad energi runt de varma brunnarna 411-415 förbrukas under denna period. Dessutom används ostört grundvatten som energikälla. Detta betyder att man tar ut mer energi ur akviferen än vad man matar in och det leder till en succesiv nedkylning av akviferen men det tar några år innan denna effekt blir märkbar. Nedkylningen av akviferen kan undvikas om man på sommaren återladdar akviferen med en energimängd, som motsvarar den uttagna energimängden. Nya nedkylningszoner har bildats och de har tryckt ut återstoden av de gamla nedkylningszonerna från första vintersäsongen 910401-910703. Denna figur kan jämföras med figur 10.1. Den sammanlagda ytan på nedkylningszonerna har ökat markant. Det korta avståndet mellan den termiska fronten kring den kalla brunnen 403 och den varma brunnen 412 är värt att notera.

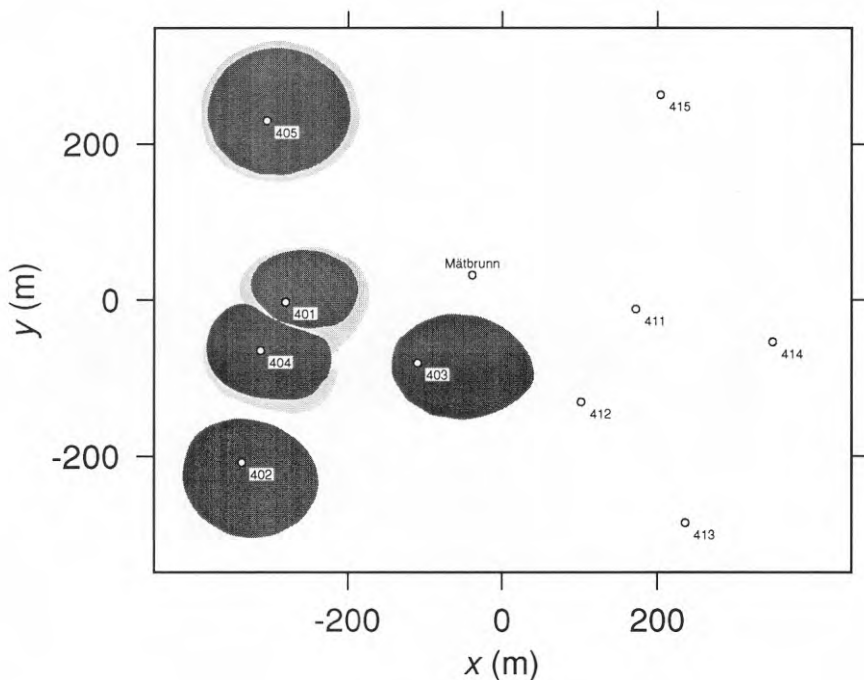


Fig 10.3 Nedkylnings- och uppvärmningszoner efter andra vintersäsongen 910926-920522.

Figur 10.4 visar de termiska fronterna efter den andra sommarsäsongen (920523-921011). Denna figur kan jämföras med figur 10.2. På den varma sidan har energi (uppvärmt grundvatten) lagrats i akviferen på samma sätt och i samma utsträckning, som under första sommarsäsongen. På den kalla sidan är det bara nedkylningszonen kring brunn 401 och brunn 404 som har minskat markant i omfång. Flödet från brunn 403 är nästan noll vilket medför att nedkylningszonen inte minskas nämnvärt i omfång. Däremot förflyttas hela nedkylningszonen närmare de mera aktiva kalla brunnarna. Dessutom har vatten sugits in till brunn 401 från brunn 404. Observera att de mörka områdena kring brunnarna 401-405 representerar nedkyllt grundvatten medan de mörka områdena kring brunnarna 411-415 representerar uppvärmt grundvatten.

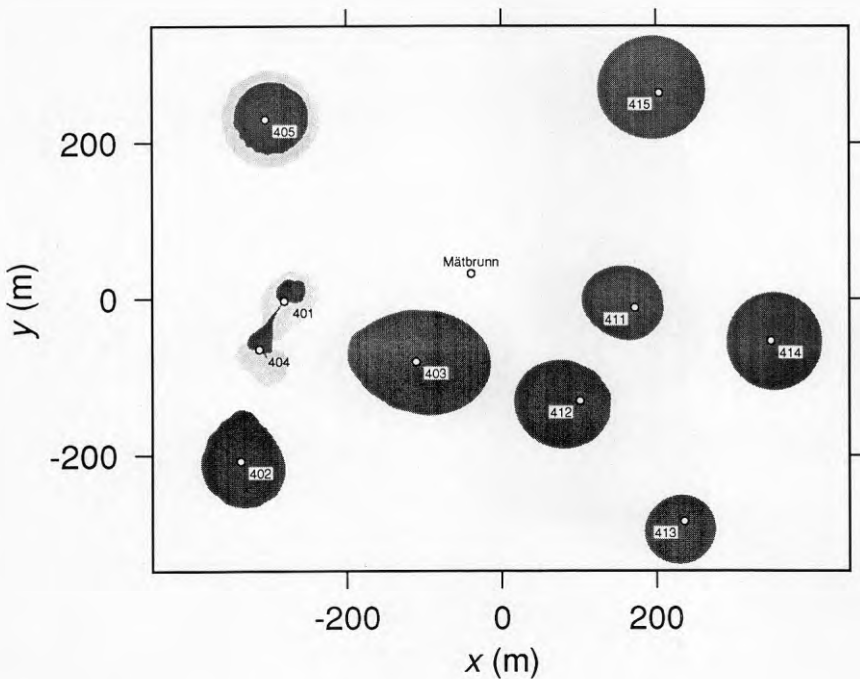


Fig 10.4 Nedkylnings- och uppvärmningszoner efter andra sommarsäsongen 920523-921011.

I figur 10.5, som visar alla termiska fronter i akviferen efter sista vintersäsongen (921012-930328), har nästan all den energi som lagrades i akviferen under föregående sommarsäsong förbrukats. Endast en liten rest av uppvärmningszonen finns kvar kring brunn 415. På den kalla sidan visas termiska fronter från tre olika vintersäsonger. Kring brunnarna 402 och 403 finns bara två fronter. Vatten från nedkylningszonen kring den kalla brunnen 403 från föregående vintersäsong har trängt in till den varma brunnen 412. Vi har beräkningsmässigt fått ett litet termiskt genomslag.

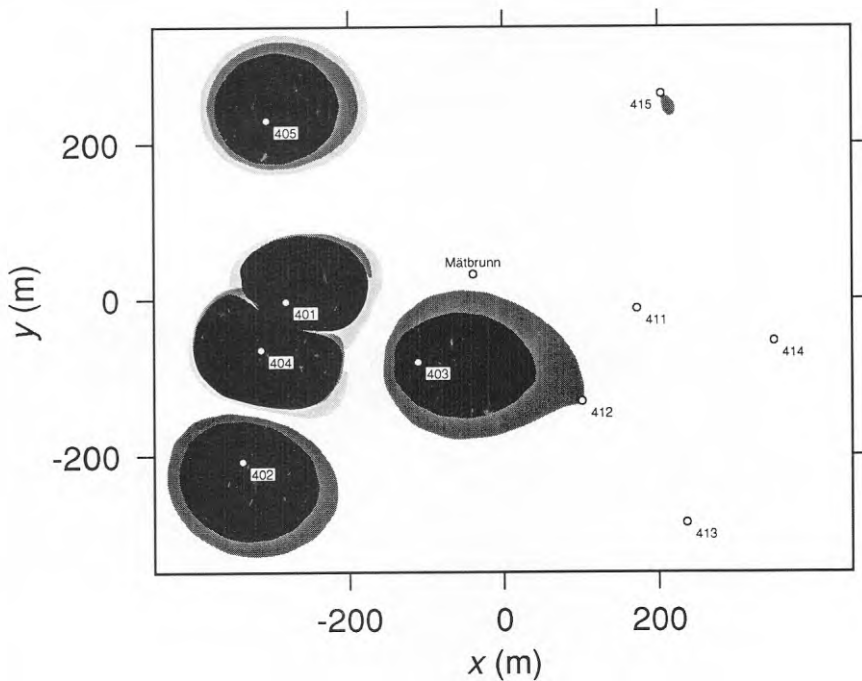


Fig 10.5 Nedkylnings- och uppvärmningszoner efter tredje vintersäsongen 921012-930328.

10.3 Mätningar

Anläggningen har varit i drift sedan början på året 1991. Under denna tid har tre sommarsäsonger och två vintersäsonger avverkats. Alla flöden och temperaturer i de enskilda brunnarna har registrerats av Mätcentralen vid CTH sedan 910401. Mätcentralen mäter vattentemperaturen och vattenflödet var sjätte minut. Varje timme bildas lämpliga medelvärden och summor. Det är dessa medelvärden och summor som lagras i Mätcentralens databanker. Mätcentralen bearbetar rådata och beräknar det flödesviktade dygnsmedelvärdet på temperaturen för varje brunn och den under ett dygn ackumulerade vattenvolymen till eller från varje brunn. Ovannämnda data används sedan som indata till alla datorberäkningar. Data saknas för vissa dagar pga fel i datainsamlingen eller driftstopp, då flödet sätts till noll och temperaturen lämnas odefinierad.

Vattenflödet och vattentemperaturen under tiden 910401-930430 visas i figur 10.6 för en varm brunn (412) och i figur 10.7 för en kall brunn (403). Vatten pumpas in i brunnen om flödet är positivt och vatten pumpas ut ur brunnen om flödet är negativt. Vattenflöden och vattentemperaturer för alla brunnar redovisas i appendix.

I figur 10.6 visar det övre diagrammet vattentemperaturen och det undre flödet. Från andra veckan i april 1992 till mitten av maj samma år är flödet noll och temperaturen odefinierad. Detta beror på att brunnen är avstängd. Därefter är brunnen i drift fram till början av oktober. Denna period utgör sommarsäsongen och varmvatten pumpas in i brunnen. Temperaturen varierar från 8 °C till 16 °C med en flödesviktad medeltemperatur på 14.1 °C. Flödet är något så när konstant i början (10 l/s) men sjunker i slutet av perioden (mitten av augusti) vilket ger ett medelflöde på 6.57 l/s. Under första veckan i oktober är brunnen återigen avstängd. Vintersäsongen är från andra veckan i oktober fram till slutet av april 1993 och då tas vatten upp från brunnen. I början under de första 8 veckorna har det upptagna vattnet från uppvärmningszonen kring brunnen temperaturen 13-14 °C. Denna temperatur sjunker gradvis i takt med att uppvärmningszonen töms på vatten och i slutet av perioden är temperaturen 8.5 °C. Under perioderna 920101-920201 och 921201-930501 sjunker vattentemperaturen stegvis med 0.5 grader åt gången. Dessa trappstegskurvor beror på att reglersystemet (ABB Master) som levererar mätdata till Mätcentralens dator avrundar till närmaste hel eller halv grad.

En första analys av mätdata visar att dessa i allt väsentligt är rimliga och internt konsistenta. Två slutsatser kan dras direkt. Den första slutsatsen är att mätdata inte visar några tydliga tecken på termiskt genomslag mellan varma och kalla sidan. Den andra slutsatsen är att det råder ingen *energibalans* i akviferen - uttagen energimängd är större än den inmatade energimängden. Det har varit problematiskt att återinjicera upptaget vatten pga igensättningar i de varma brunnarna. Grundvatten har då dumpats i Höje å under sommarsäsongen vilket har omöjliggjort återladdning av den varma sidan av akviferen med tillräckliga mängder varmvatten för att upprätthålla energibalansen i akviferen. Om denna energiobalans får fortsätta i några år kommer den till sist att orsaka termiskt genomslag.

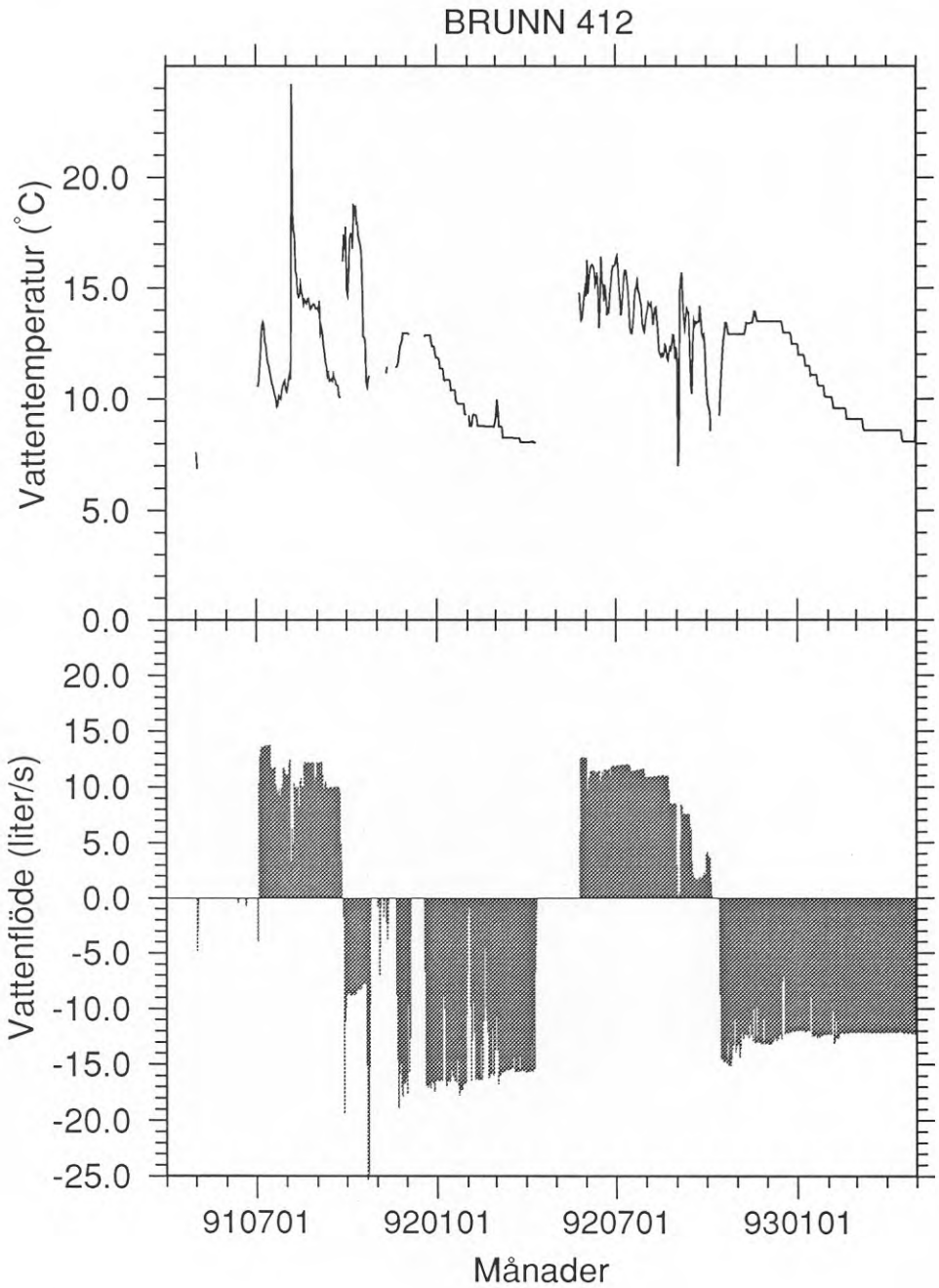


Fig 10.6 Vattenflödet och vattentemperaturen för den varma brunnen 412.

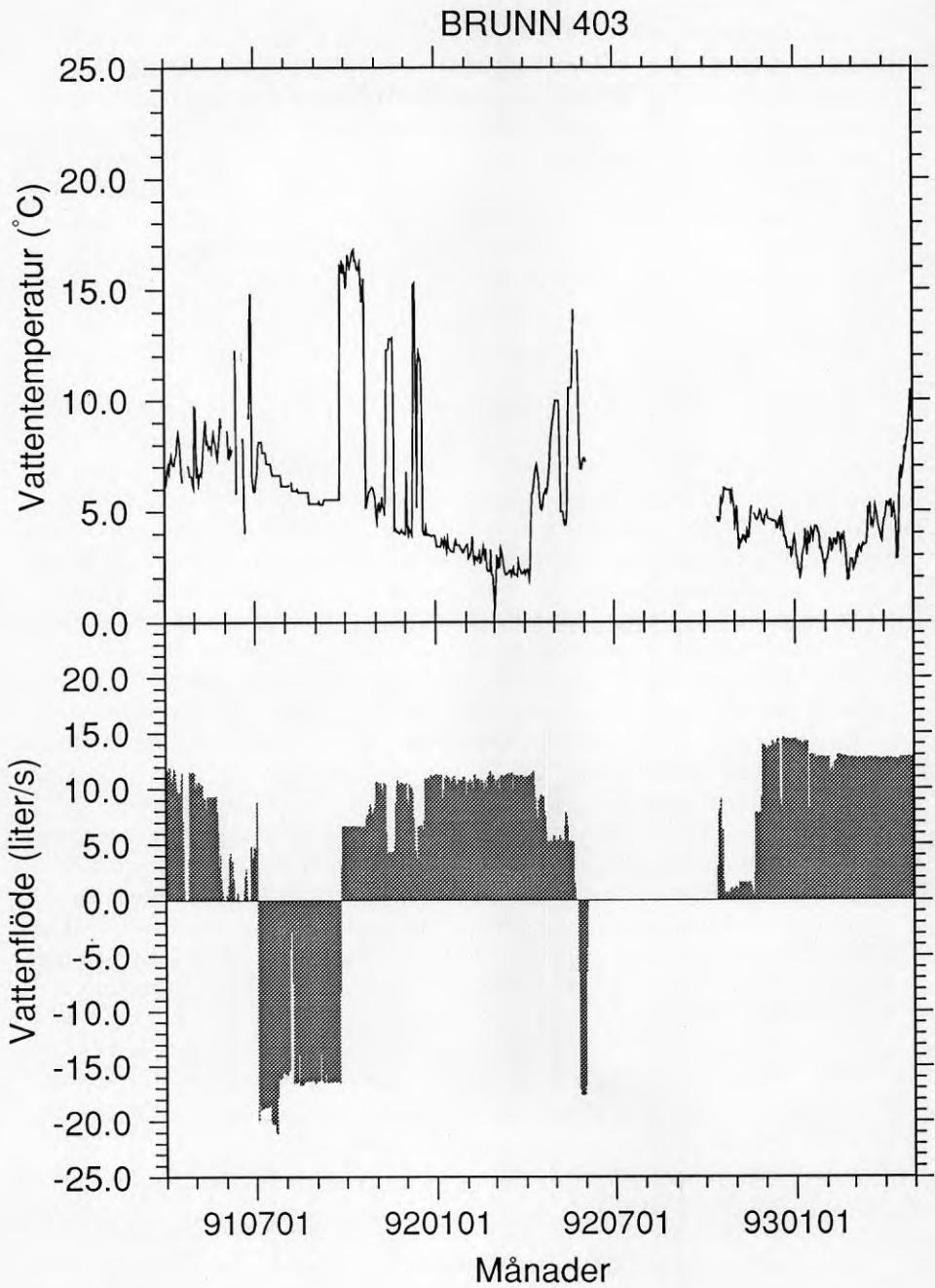


Fig 10.7 Vattenflödet och vattentemperaturen för den kalla brunnen 403.

Mätbrunnen ger ingen primär information pga det stora avståndet till de andra brunnarna. Mätbrunnen är belägen cirka 138 meter från närmast liggande brunn och anses vara utanför *influensområdet*. Influensområdet utgörs av uppvärmnings- och nedkylningszonerna där temperaturen avviker från den ostörda temperaturen. Influensområdet (de skuggade ytorna) visas för fem olika tidpunkter (910703, 910925, 920522, 921011 och 930430) i figurerna 10.1-10.5. Influensområdet är mycket nära mätbrunnen i figur 10.5. Det krävs bara en smärre minskning av akviferhöjden eller ökning av brunnsflöden för att mätbrunnen skall påverkas enligt datormodellen.

10.4 Datormodellen

Modellen kartlägger den termiska frontens utbredning i akviferen (se figurer 10.1-10.5). Den termiska fronten är gränsskiktet mellan det ostörda grundvattnet och det injekterade, uppvärmda eller nedkylda vattnet. Datormodellen som används utgår från att grundvattenflödet i akviferen kan beskrivas som en sk *potentialströmning* där grundvattenflödet kan beräknas i varje punkt. Detta gäller givetvis under vissa antaganden och förenklingar rörande akviferen och strömningen. Akviferen antas vara homogen och jämntjock med oändlig horisontell utsträckning. Den aktuella akviferen är en del av Alnarpsströmmen för vilken ovanstående antaganden bör vara väl uppfyllda. Strömningen skall följa Darcys lag och den skall vara mättad dvs tryckytan skall vara ovanför akviferens övre begränsningsyta. Dessutom får endast en försumbar vertikal strömning förekomma. Dessa förutsättningar torde vara väl uppfyllda. Modellen som används beräknar och följer de termiska fronterna i akviferen. På så sätt kan det kalla och det varma vattnets rörelse i akviferen kartläggas.

Modellen tar inte hänsyn till värmeledning och termisk dispersion (dvs värmespridning pga inhomogeniteter). Man räknar med skarpa temperaturfronter. I verkligheten får man i grundvattenmagasinet genom värmeledning och termisk dispersion en mjuk temperaturfront som normalt i dessa sammanhang kan ha en utsträckning på några meter. Vi ser dock i figur 10.1-10.5 att en front med en vidd i denna storleksordning inte ändrar karaktären på vad som sker. Den skarpa fronten ger den primära termiska räckvidden.

Modellen försummar också naturlig konvektion varvid varmare och därmed lättare vatten har en tendens att flyta uppåt i grundvattenmagasinet. Temperaturskillnaderna i vattnet är så pass måttliga att den naturliga konvektionen bör kunna försummas helt.

10.5 Indata för beräkningar

Den modell som används för att simulera det verkliga förloppet i akviferen behöver information om akviferens termiska egenskaper och flödesegenskaper samt akviferens höjd. Dessutom behövs data om brunnarnas lägen och vattenflöden med tillhörande temperaturer.

10.5.1 Brunnslägen

Brunnarnas lägen visas i figur 4.6 och koordinaterna redovisas i tabell 10.1. Det kortaste avståndet mellan de varma och de kalla brunnarna är 217 meter (avståndet mellan brunnarna 403 och 412). Värt att notera är att utan brunn 403 blir det kortaste avståndet 402 meter vilket är nästan en fördubbling av det nuvarande avståndet (217 meter). De varma brunnarna är 411-415 och de kalla är 401-405.

Brunn	x-koord. (m)	y-koord. (m)
401	-280	-3
402	-336	-208
403	-110	-81
404	-312	-65
405	-304	230
411	172	-12
412	101	-131
413	236	-286
414	349	-54
415	204	264
Mätbrunn	-39	32

Tabell 10.1 Brunnskoordinater.

10.5.2 Formationsdata

Akviferen är i stort sett homogen och jämntjock med likartade egenskaper över hela anläggningsområdet. Anläggningsområdets utsträckning är liten relativt Alnarpsströmmens utsträckning och då är antagandet om akviferens oändliga horisontella utsträckning en god approximation. För beräkningarnas skull antar vi att formationen består av ett antal lager med väldefinierade egenskaper. Det första lagret är ett lerlager på 40 meter. Under detta ligger ett

sandlager på 25 meter som kan indelas i två områden med olika permeabiliteter: Det översta skiktet på 13 meter och det understa på 12 meter. Underst består formationen av kalksten. För denna lagerföljd anses följande flödesegenskaper gälla:

Djup (m)	Transmissivitet T (m ² /s)
0-40	1·10 ⁻⁹
40-53	1·10 ⁻³
53-65	3·10 ⁻³
65-	1·10 ⁻⁵

Tabell 10.2 Lagerföljd och flödesegenskaper.

I de två vattenledande skikten i akviferen kommer temperaturfronterna att röra sig oberoende av varandra och på så sätt kommer temperaturfronterna olika långt i respektive skikt. Det är den nedersta akviferen (53-65 m) som tar emot mest vatten (75 %) och som dessutom har den minsta höjden (12 m). Således får det nedersta akviferlagret (53-65 m) den största termiska frontutbredningen. Alla beräkningar utförs på detta lager.

10.5.3 Vattenflöden och injektionstemperaturer

Variationer i brunnsflödet och temperaturen är tillåtna men för att få mera lätthanterliga beräkningar används istället medelvärden över hela säsonger. Tidsmedelvärdet av flödet bildas på vanligt sätt medan temperaturmedelvärdet är det flödesviktade temperaturmedelvärdet. Detta medför att produkten mellan flödesviktad temperatur och medelflöde fortfarande är ett mått på energin.

I nedanstående tabell redovisas vilka medelflöden och flödesviktade temperaturer, som används i datorberäkningen. Medelflöden och medeltemperaturer har tagits fram för varje brunn och för varje säsong.

Brunn nr	Flöde (l/s) Temperatur (°C)	Vinter- säsong	Sommar- säsong	Vinter- säsong	Sommar- säsong	Vinter- säsong
		910401- 910703	910704- 910925	910926- 920522	920523- 921011	921012- 930430
401	Flöde	4.03	0.00	3.78	6.25	6.51
	Temperatur	7.25	-	4.17	4.89	4.13
402	Flöde	7.39	16.53	7.24	6.33	8.84
	Temperatur	7.41	6.46	5.05	5.28	4.30
403	Flöde	4.48	12.36	6.72	0.71	7.96
	Temperatur	7.41	6.19	5.24	7.77	4.20
404	Flöde	10.59	9.85	4.98	8.03	8.04
	Temperatur	7.57	7.79	4.16	5.03	4.23
405	Flöde	7.03	2.41	8.20	9.74	7.35
	Temperatur	7.60	8.89	4.77	4.75	4.14
411	Flöde	3.46	4.90	7.51	4.62	9.01
	Temperatur	9.63	12.58	10.27	14.01	11.22
412	Flöde	0.08	8.19	6.99	6.57	9.20
	Temperatur	8.42	12.48	10.61	14.10	10.92
413	Flöde	6.99	5.31	8.61	3.79	8.06
	Temperatur	10.05	12.60	10.69	13.95	11.24
414	Flöde	13.51	14.72	8.14	7.13	7.21
	Temperatur	9.97	12.57	11.49	14.22	12.48
415	Flöde	8.96	7.95	7.14	8.67	6.94
	Temperatur	10.02	12.01	10.82	14.08	12.65

Tabell 10.3 Medelflöden och medeltemperaturer i brunnarna.

10.6 Beräkningsresultat kontra mätningar

Datorberäkningarna visar tydligt att de flesta brunnarna i princip fungerar som autonoma system och är i stort sett opåverkade av varandra. Detta gäller i synnerhet brunnarna 402, 405, 413, 414 och 415.

Vissa händelser är intressanta ur modellverifieringssynpunkt. När en uppvärmningszon töms, tränger kallare, ostört vatten in i brunnen och detta kan kanske upptäckas i mätdata. Motsvarande händelse sker när en nedkylningszon

töms men enligt beräkningar och mätdata är detta en ovanlig företeelse pga vatten- och energiobalansen - återladdningen räcker inte till för att få bort nedkylningszonerna kring de kalla brunnarna.

Den magasinerade varmvattenvolymen från första sommarsäsongen förbrukas helt under andra vintersäsongen och detta återspeglas i mätdata. Mätdata från brunnarna 411-413 överensstämmer väl med beräkningarna under tredje vintersäsongen. Däremot är överensstämmelsen lite sämre för brunnarna 414 och 415. Detta kan bero på inhomogeniteter i akviferen.

Datorberäkningarna ger inget termiskt genomslag mellan varma och kalla brunnar under tiden 910401-930228. Under sista halvan av tredje vintersäsongen tränger kallvatten från brunn 403 in i den varma brunnen 412. Under samma period kan en liten temperatursänkning upptäckas i mätdata från brunn 412. Detta är en verifikation av modellen.

I slutet av den andra vintersäsongen (920522) är den kalla fronten från brunn 403 relativt nära brunn 412. Brunn 412 uppvisar en klart kallare profil som skulle kunna vara en indikation på ett eventuellt termiskt genomslag från brunn 403 men det är tydligen så att 412 alltid har levererat kallare vatten pga den stora nedkylningen som utfördes före detta projekts början.

10.7 Sammanfattning

Mätresultat och beräkningar överensstämmer väl. För några brunnar finns en viss skillnad, men överensstämmelsen är så pass hygglig, som man kan kräva med den information, som finns om grundvattenmagasinet. Systemet fungerar termohydrauliskt sett planerligt. Det kan belastas hårdare. Vi bedömer att prognoser för vad som händer vid olika hård belastning kan göras med hygglig säkerhet.

Vi planerar att fortsätta analyserna av mätdata med en mer komplicerad modell som också beaktar värmeledningen i detalj. Detta skall ge en ökad säkerhet vid prognoser om hur hårt systemet kan belastas under olika betingelser.

11 DISKUSSION

Driften av anläggningen har fungerat väl under de två studerade driftåren. På grund av milt klimat har inte kapaciteten behövt utnyttjas till fullo, men det råder inget tvivel om att värmecentralen kan prestera den effekt och den årliga värmeleverans den dimensionerats för. Från Lomma Energi AB:s sida är man nöjd med sin anläggning och anser att den fyller sin uppgift som avsett och utan allt för stora driftproblem.

De begränsade problem som trots allt har uppstått, har i första hand drabbat åvattensystemet. I efterhand kan man konstatera, att det troligen varit en fördel om vattenintaget hade kunnat placeras väsentligt längre uppströms. Utan tvivel hade både nedsmutsningen och korrosionen av värmeväxlarna då blivit mindre besvärande. Fördelarna med en placering längre uppströms måste dock vägas mot de ökade problem och kostnader, som en mycket längre vattenkulvert skulle innebära. Dragningen av kulverten skulle också lätt kunna ge konflikter med framtida markanvändning inom Industrihamnsområdet.

Problemen med åvattensystemet har angripits med flera metoder. Det förefaller som om luftridån vid åvattenintaget och förbättringarna i Alfa-Strain filtret haft fördelaktigast inverkan på förekomsten av alger och smuts i värmeväxlarna. Fortfarande kvarstår dock ett betydande behov av periodisk rengöring och översyn, vilket innebär en viss kostnadsbelastning och i någon mån påverkar värmeväxlarnas tillgänglighet. På längre sikt är troligen den bästa lösningen på nedsmutsningsproblemet, att bygga in en effektiv möjlighet till backspolning genom korskoppling.

Man har genom praktiska försök kommit fram till ett bättre utnyttjade av åvattenvärmet genom att förlänga driftsäsongen, det "nya driftfallet" som diskuterades i kap 6. Ett konsekvent utnyttjade av den möjligheten, tillsammans med åtgärder för att förbättra effektkapaciteten och tillgängligheten hos åvattensystemet, bör räcka till för att åstadkomma den önskade energibalansen för akviferlagret.

Hittills har den uttagna energin från akviferen överstigit den återinladdade. På lång sikt kan denna negativa energibalans ge oönskade konsekvenser för anläggningens driftekonomi. Akviferlagret är väl tilltaget i förhållande till de uttagna värmemängderna, så det är fullt möjligt att utnyttja grundvattnet utan återladdning under flera driftår innan några negativa effekter gör sig gällande. Man måste dock ta med i beräkningen att värmeuttagen kan komma att öka i framtiden. En ytterligare komplikation är man inte kan välja helt fritt vilken del av akviferen som utnyttjas - brunnarnas individuella kapacitet utgör begränsande villkor. På grund av dessa faktorer måste det anses som ett angeläget mål att öka återladdningen av akviferlagret, tills dess att energibalans kan upprätthållas. Den termohydrauliska undersökningen pekar tydligt på risken för termiskt genomslag. Det är av stor vikt att brunnarna drivs med en välavvägd driftstrategi, så att akviferens lagringskapacitet utnyttjas optimalt.

De nytillkomna brunnarna har uppvisat samma tendens till kapacitetsnedsättning som de ursprungliga, trots de extra försiktighetsåtgärder man vidtog vid

brunnskonstruktionen. Kapacitetsnedsättningen tenderar att plana ut vid ett konstant värde efter några års drift. Trots noggrann analys är inte orsaken till problemen helt klarlagd. Ytterligare forskningsinsatser är önskvärda beträffande såväl grusfilterbrunnars kapacitetsproblem som metoder för brunnrehabilitering. Tills vidare får man nöja sig med etablerade metoder som rensblåsning och syrabehandling och för övrigt acceptera att det är nödvändigt att dimensionera brunnssystemen med hänsyn till en viss ofrånkomlig kapacitetssänkning.

12 LITTERATUR

Leander B & de Maré L (1984) : Värmeutvinning ur grundvatten från Alnarpsströmmen. BFR-rapport R167:1984

Claesson J et al (1985) : Markvärme. En handbok om termiska analyser. BFR-T-skrifter T16-18:1985

Andersson O (1988) : The Flädie groundwater heatpump plant. BFR Document D9:1988

Kronqvist L & Simonsson R (1989) : Värme och kylsystem med akviferlager i Kristianstad. BFR-rapport R6:1989

Kronqvist L (1991) : Energilager i akviferer. BFR-rapport R40:1991

Åbyhammar T et al (1991) : Akviferbaserat energisystem. BFR-rapport R14:1991

APPENDIX - MÄTRESULTAT BRUNNAR

Vattenflöden och vattentemperaturer för alla kalla brunnar (401-405) och alla varma brunnar (411-415) under tiden 910401-930430 redovisas här. Mätdata för varje brunn visas i en figur i enlighet med avsnitt 10.3 och figurerna 10.6 och 10.7. I t.ex. figur "App1 Brunn 401" visar det övre diagrammet vattentemperaturen och det undre vattenflödet.

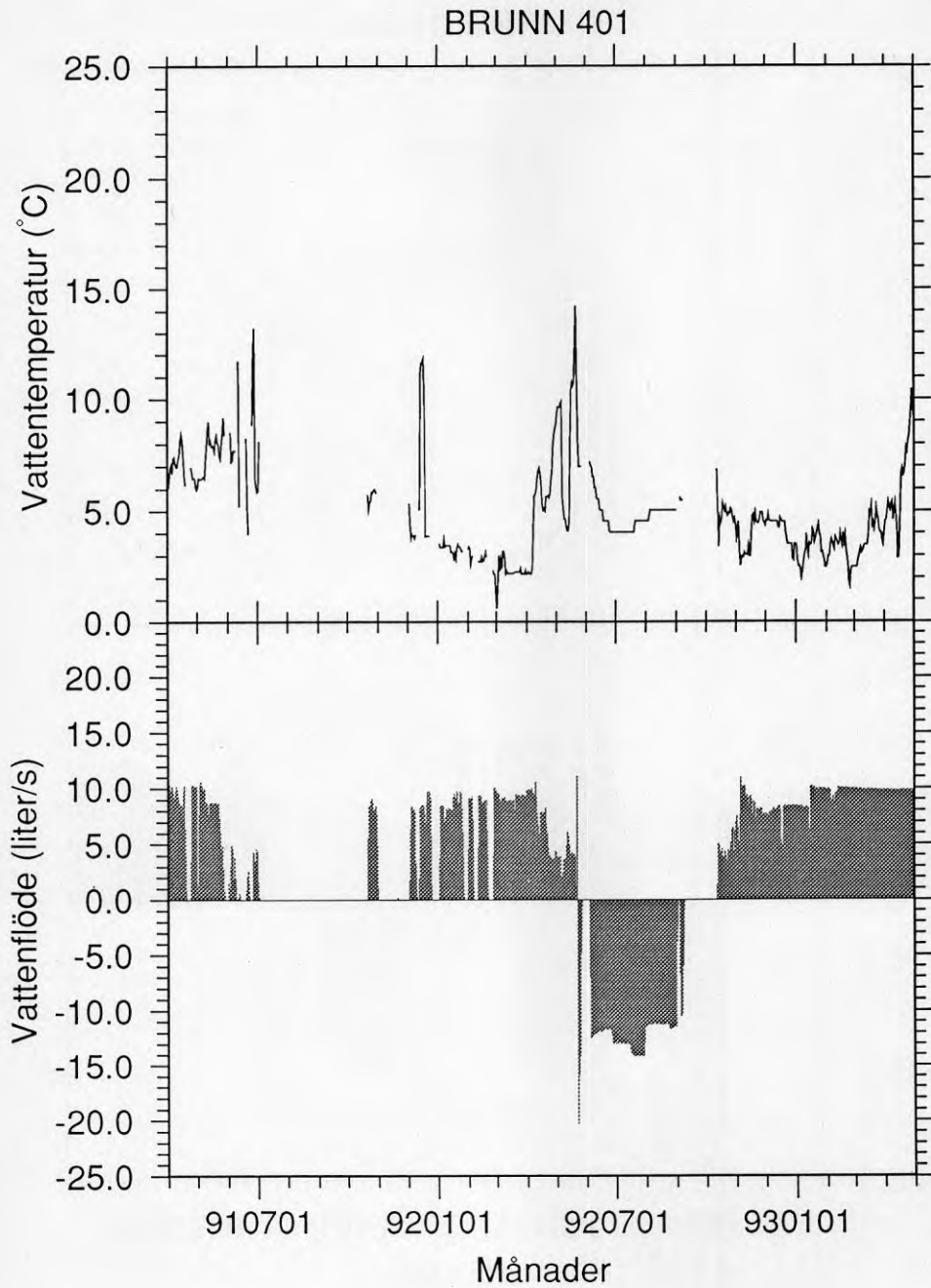


Fig App1 Brunn 401 - vattenflöde och vattentemperatur.

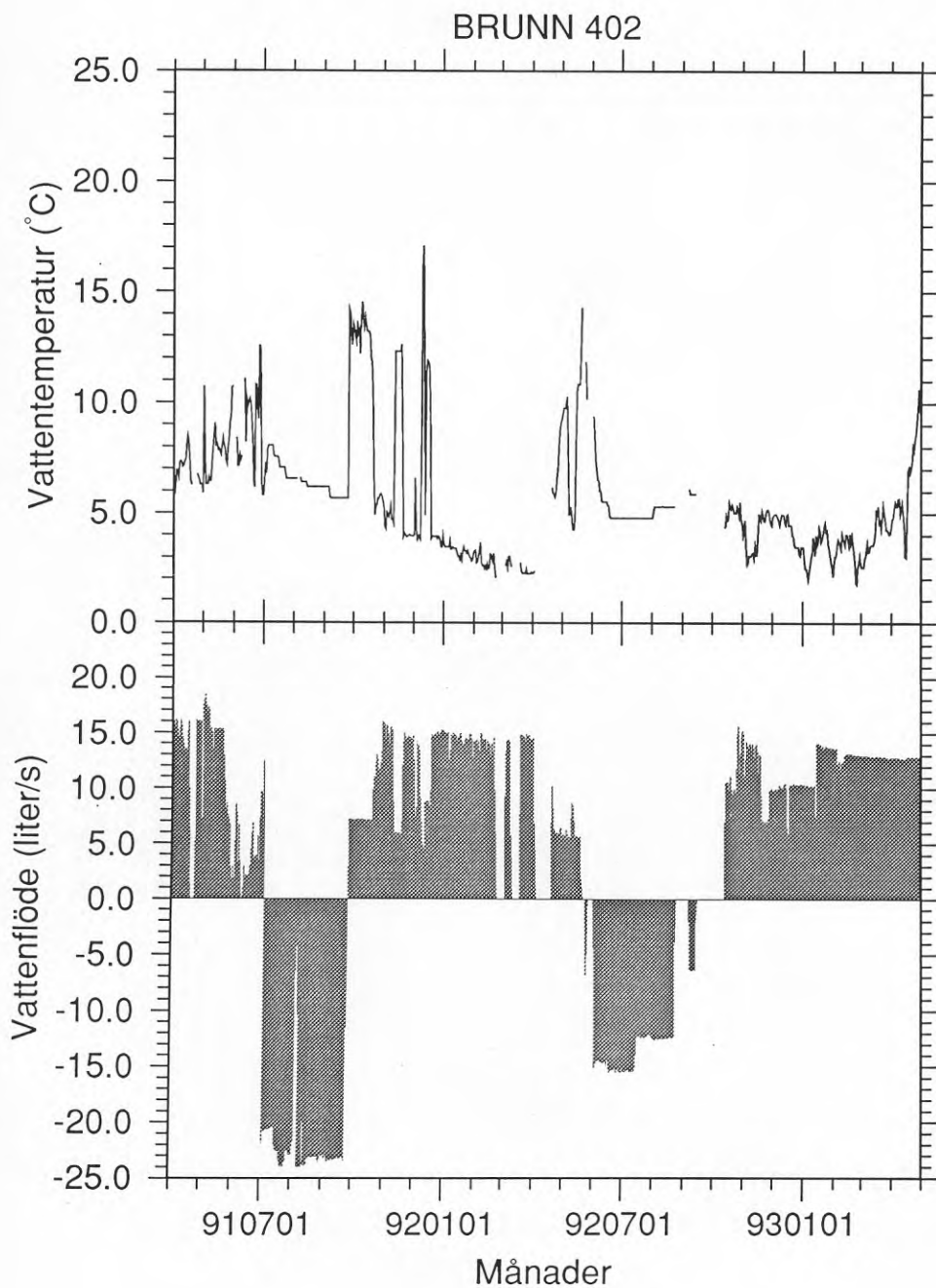


Fig App2 Brunn 402 - vattenflöde och vattentemperatur.

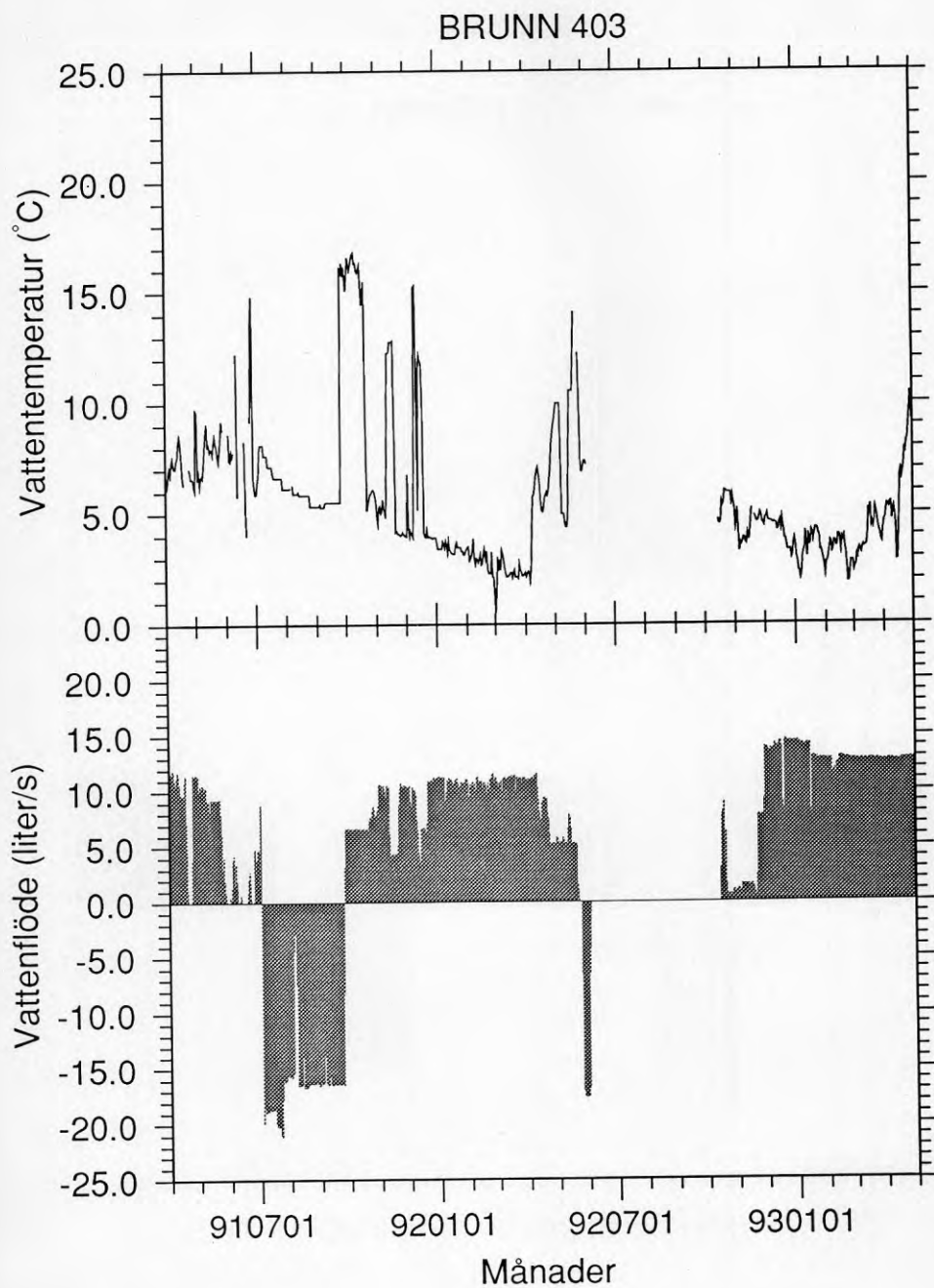


Fig App3 Brunn 403 - vattenflöde och vattentemperatur.

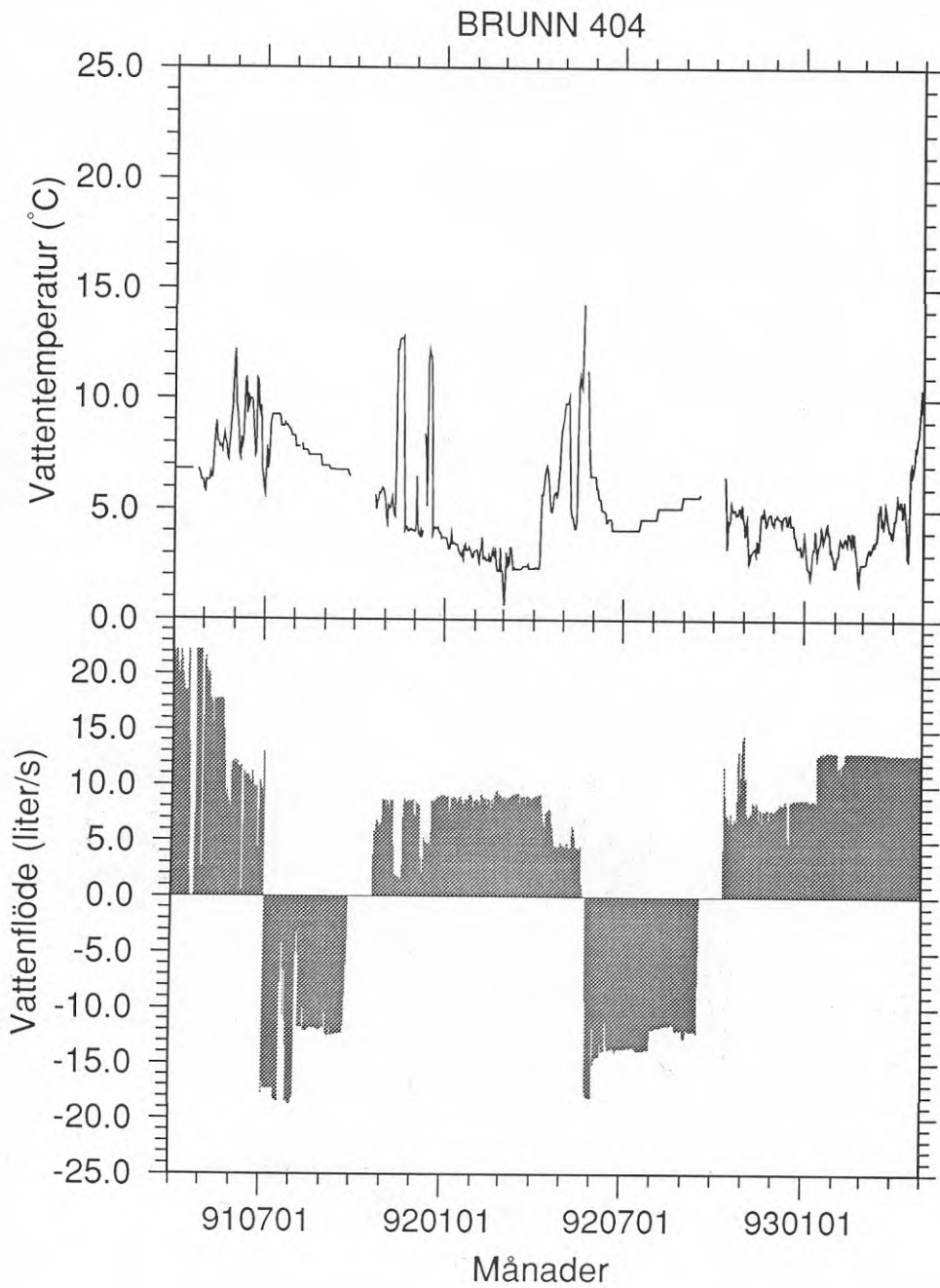


Fig App4 Brunn 404 - vattenflöde och vattentemperatur.

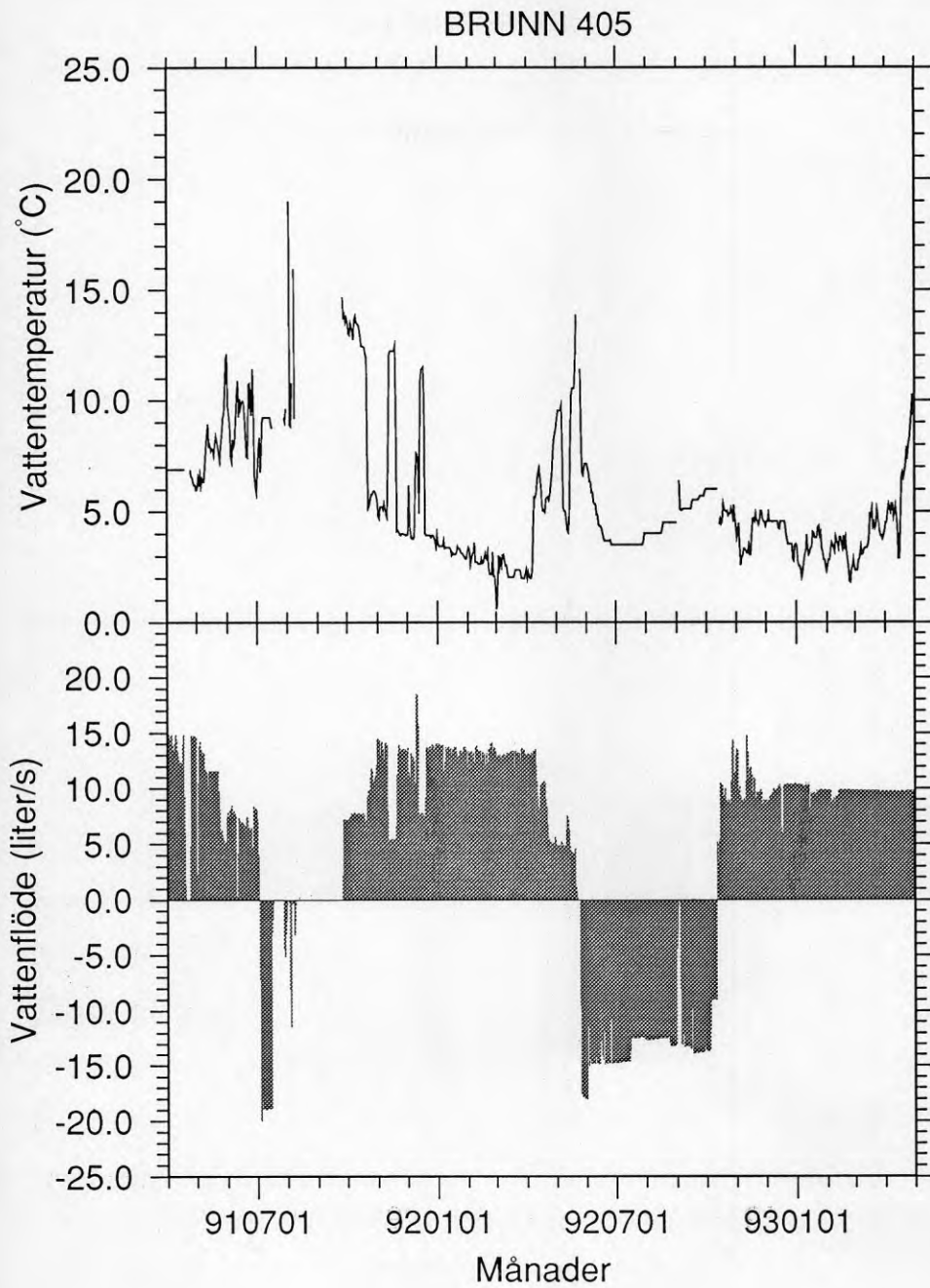


Fig App5 Brunn 405 - vattenflöde och vattentemperatur.

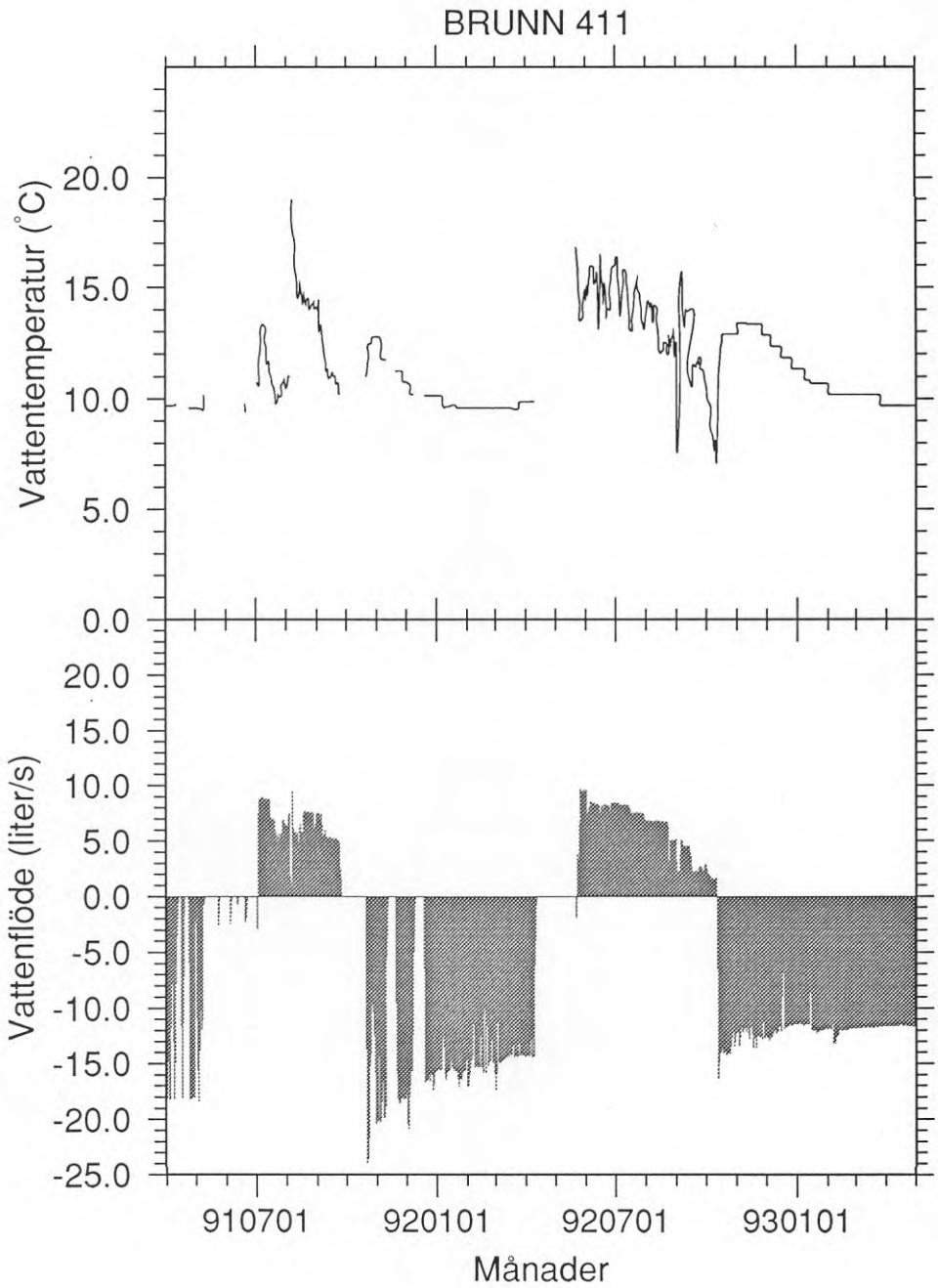


Fig App6 Brunn 411 - vattenflöde och vattentemperatur.

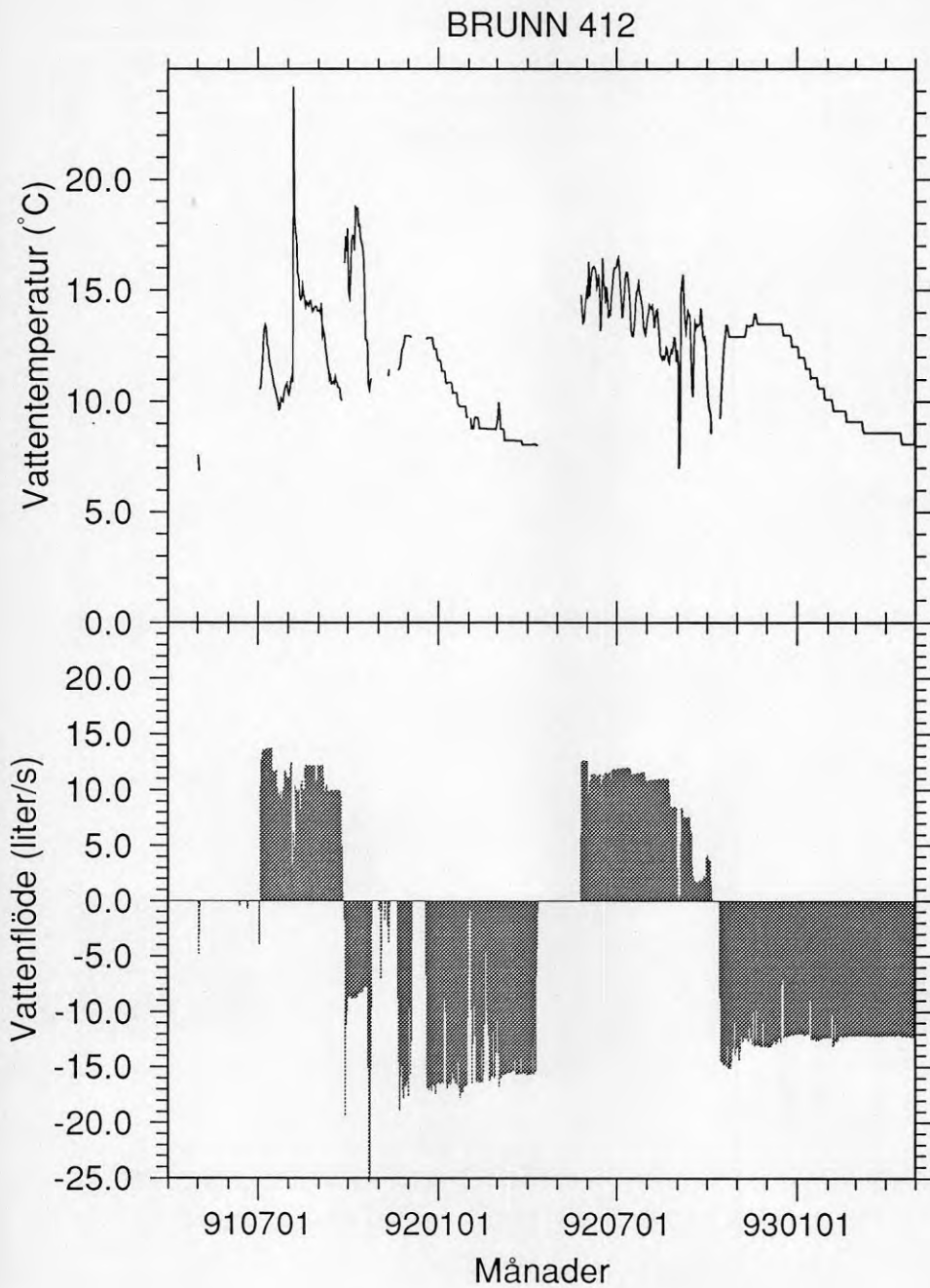


Fig App7 Brunn 412 - vattenflöde och vattentemperatur.

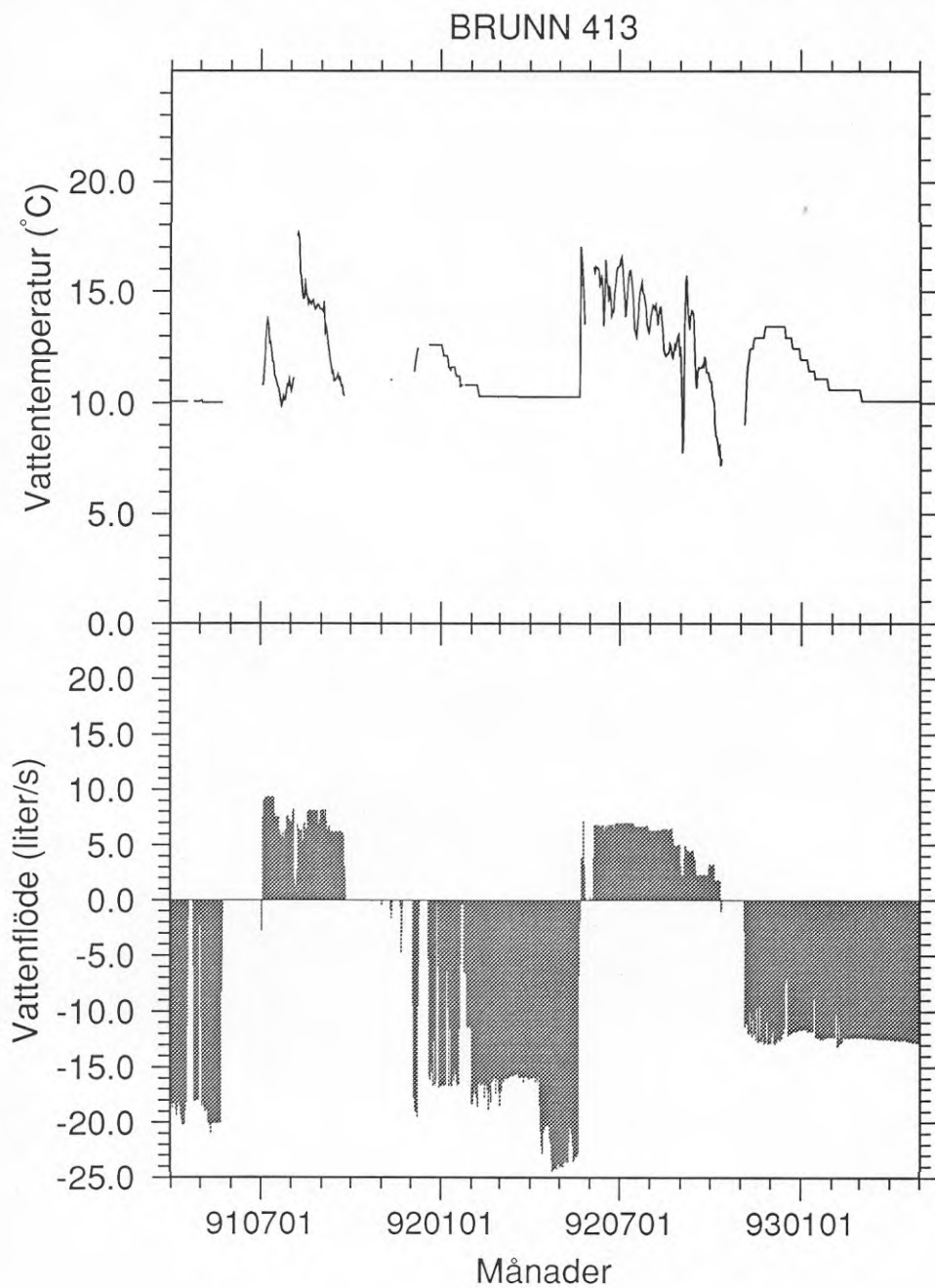


Fig App8 Brunn 413 - vattenflöde och vattentemperatur.

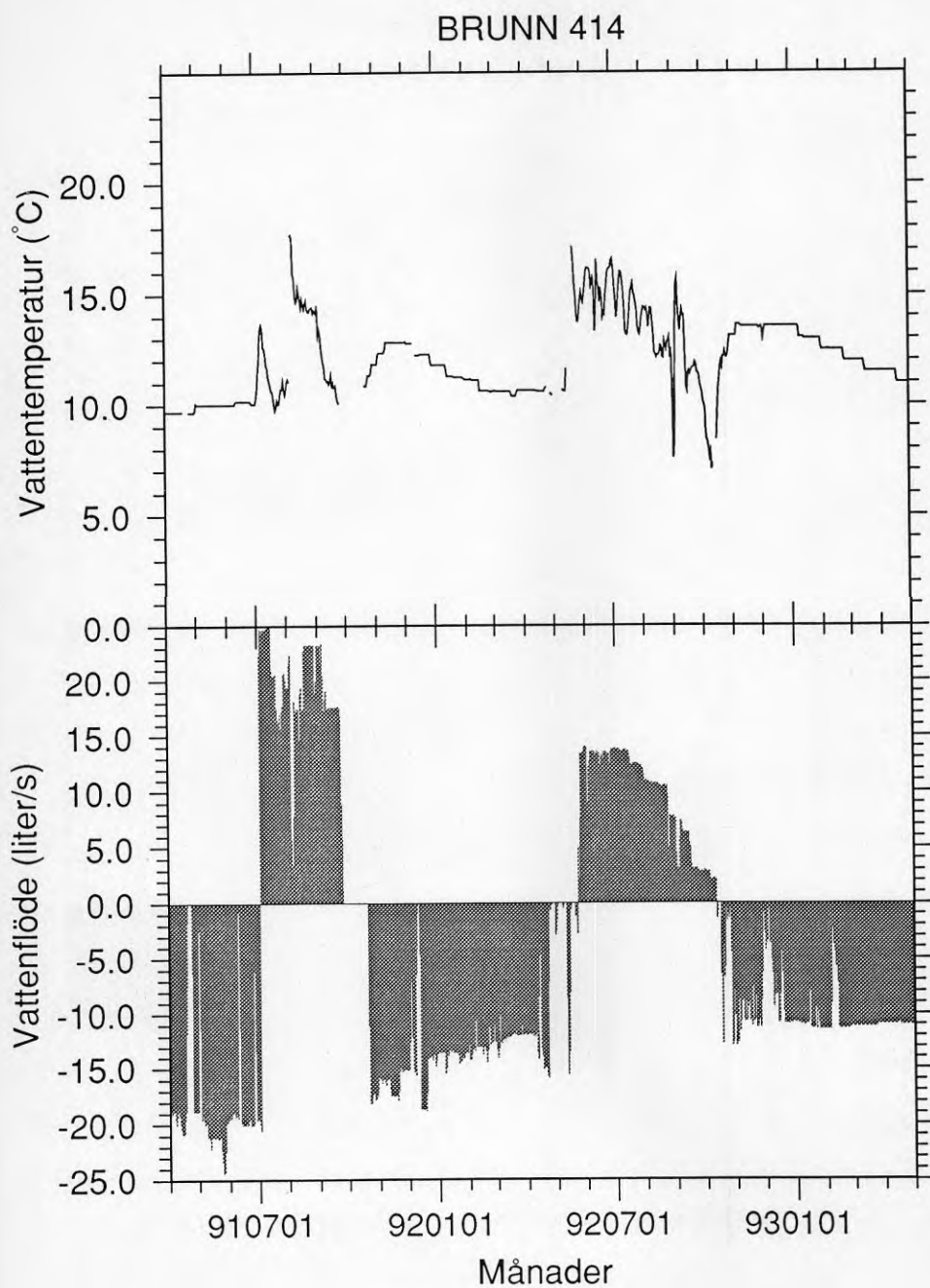


Fig App9 Brunn 414 - vattenflöde och vattentemperatur.

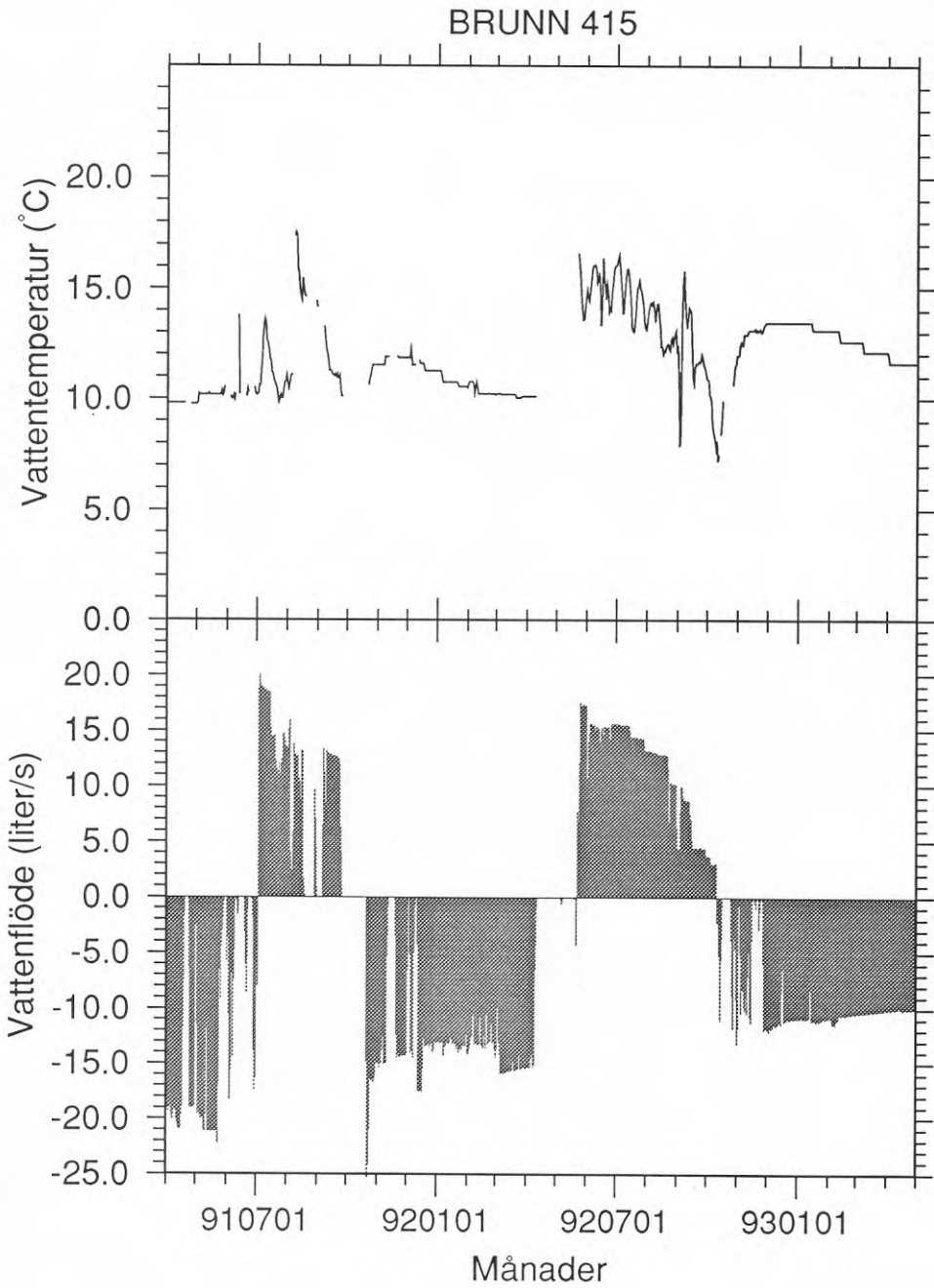


Fig App10 Brunn 415 - vattenflöde och vattentemperatur.

R35:1994

ISBN 91-540-5678-0

Bygghälsö, Stockholm

Art.nr: 6814035

Abonnementsgrupp:

V. Anläggningsteknik

W. Installationer

Distribution:

Svensk Byggjänst

171 88 Solna

Cirkapris: 87 kr inkl moms