



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

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



Rapport

R13:1991

Akviferbaserat energisystem

**Projektering, byggande och idrifttagning
SAS huvudkontor
Solna**

**Tomas Åbyhammar
Anders Eriksson
Sam Johansson**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135520

Byggeforskningsrådet

R13:1991

AKVIFERBASERAT ENERGISYSTEM

Projektering, byggande och idrifttagning
SAS huvudkontor Solna

Tomas Åbyhammar
Anders Eriksson
Sam Johansson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 861047-4
från Statens råd för byggnadsforskning till AIB Anlägg-
ningsteknik AB, Solna.

REFERAT

Rapporten beskriver planering, byggande och idrifttagning av SAS nya huvudkontor i Frösundavik i Solna, norr om Stockholm, där ett akvifervärmelager används för lagring av värme och kyla. Huvudkontoret blev inflyttningsklart i januari 1988. Erfarenheter och hittills insamlade mätdata av större betydelse redovisas. Uppkomna problem i anläggningen och i angränsande system som bedöms ha ett allmänt intresse beskrivs ingående. Helhetsbilden av anläggningen är positiv eftersom anläggningen har uppfyllt och i vissa fall överträffat ställda funktionskrav. Rapportens problemorienterade framställning är därför ej representativ för anläggningens drift.

Akvifervärmelagret består till en del av grundvattenmagasinet i den rullstensås som genomkorsar tomt. Brunnssystemet består av fem brunnar placerade så att grundvattnet kan cirkulera mellan två varma och tre kalla brunnar. Den utnyttjade akvifervolymen är ca 800 000 m³. Installerad uttagskapacitet är ca 190 l/s.

Byggnaden har en bruttoyta av 63 000 m² och omfattar ca 1 450 kontorsrum, en större inglasad gata, två idrottsanläggningar samt tre garageplan. Som primär energikälla tillförs endast el. Från en energicentral distribueras hela kylbehovet om maximalt ca 2 MW. Värme för uppvärmning av tilluft och källarlokal, ca 3 MW, distribueras från energicentralen i ett högtempererat system.

Anläggningen utnyttjades inledningsvis för produktion av 1.5 GWh värme under byggtidens slutskede 1987. Detta fick flera oförutsedda och dyrbara konsekvenser. Trots detta var byggdriften ekonomisk.

Anläggningen kompletterades 1988 med en tredje värmepump m m. Kompletteringar, eftersläpande delar av hvudentreprenader, föroreningar i vattensystemen, oklarheter i distributionssystemets dimensionering m m medförde en lång idrifttagningsperiod.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R13:1991

ISBN 91-540-5302-1
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

gotab 93197, Stockholm 1991

INNEHÅLL

	sid
FÖRORD	
SAMMANFATTNING	1
A. BESKRIVANDE DEL	4
1. INLEDNING	4
1.1 Rapportens disposition, läsanvisning	4
1.2 SAS-Frösundavik	4
1.3 Värmelagringsanläggningen	6
1.4 Utvärderingsprojekten	7
1.5 Konsulter och entreprenörer	7
2. GEOLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	8
3. ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING AV BYGGNADERNA	16
3.1 Byggnadstekniska konstruktioner	16
3.2 Installationer	17
4. BYGGNADERNAS TILLFÖRSELSYSTEM	19
4.1 Primärenergi, elektricitet	19
4.2 Ventilation och lokalvärme	19
4.3 Glykolsystem	21
4.4 Värmesystem	25
4.5 Kylsystem	30
5. DET AKVIFERBASERADE VÄRMELAGRET	31
5.1 Markens tillgänglighet	31
5.2 Lagervolymer och brunnspaceringar	31
5.3 Temperaturmätningar	32
5.4 Värmelagrets installationer	35
5.5 Inlagring och uttag från brunnar	37
6. VÄRME- OCH KYLBEHOV	38
7. MÄTSYSTEM	40

	sid
B. RESULTAT OCH ERFARENHETER FRAM TILL 89-03-31	45
8. MÄTNINGAR	45
8.1 Byggande	45
8.2 Mätningar under byggtiden	45
8.3 Mätningar under idrifttagnings- perioden	45
8.4 Mätningar med det planerade mätsystemet	46
8.5 Elmätningar	49
9. PROVISORISK DRIFT UNDER BYGGTIDEN	50
10. IDRIFTTAGNING AV BYGGNADERNAS TILLFÖRSELSYSTEM	53
10.1 Värmesystemet	53
10.2 Glykolsystemet	59
10.3 Kylsystemet	60
10.4 Varmvatten	61
10.5 Elvärme i kontorsrummen	61
11. VÄRMEPRODUKTION	62
11.1 Drift med 2 värmepumpar	62
11.2 Drift med 3 värmepumpar	64
11.3 Värmeackumulering	66
11.4 Erfarenheter av elpannorna	67
11.5 Erfarenheter av varmvatten- beredning	68
12. KYLPRODUKTION	69
12.1 Kylsystemet	69
12.2 Glykolsystemet, tilluftkyla	70
13. UTFORMNING OCH BYGGANDE AV VÄRMELAGRET	71
13.1 Förstudier och vattendomsansökan	71
13.2 Projektering	72
13.3 Relationsritningar	78

	sid
14. BRUNNARNAS FUNKTION OCH GRUNDTVATNETS KEMI	79
14.1 Driftsförhållanden	79
14.2 Mätmetodik	81
14.3 Brunn 51	82
14.4 Brunn 52	83
14.5 Brunn 53	84
14.6 Brunn 34	85
14.7 Brunn 55	86
14.8 Grundvattnets cirkulation och kemi	87
15. AKVIFERLAGRETS FUNKTION	89
15.1 Allmänt	89
15.2 Södra polen	89
15.3 Norra polen	92
16. KOSTNADER	94
16.1 Investeringskostnader	94
16.2 Driftkostnader	98
C. SLUTSATSER	101
17. HYDROGEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR	101
17.1 Seismisk undersökning	101
17.2 Rörborrningar	101
17.3 Provpumpning	102
17.4 Långtidsobservationer	102
17.5 Rörborrningar i brunnslägen	102
17.6 Vattenkemi	103
17.7 Allmänna slutsatser	105
18. PROJEKTERING	106
18.1 Markanläggningarna	106
18.2 Energicentralen	106

	sid
19. PROJEKTORGANISATION OCH GENOMFÖRANDE	108
19.1 Projekteringsskede	108
19.2 Genomförande	109
19.3 Idrifttagning	109
19.4 Upphandling och besiktning	110
19.5 Dokumentation	112
20. DRIFT OCH UNDERHÅLL	113
20.1 Driftstrategi för akviferen	113
20.2 Drift och underhåll av brunnar	113
20.3 Drift och underhåll av övriga installationer	114
D. REFERENSER	115
E. BILAGOR	117
8.1 Redovisning av driften vid energi- anläggningen, 1987-11-09	
8.2 Redovisning av driften vid energi- anläggningen, 1988-05-08	
8.3 Redovisning av driften vid energi- anläggningen, 1988-11-22	
8.4 Uppmätta energimängder, april-dec 1989	
14.1 Vattentemperaturens inverkan på brunnens funktion	
14.2 Vattenkemiska analyser	
17.1 Rördrivningsprotokoll	

FÖRORD

Att genomföra teknisk utveckling inom stora kommersiella byggnadsprojekt är ingen självklar verksamhet. De risker som alltid finns inom forskningsprojekt kan på olika sätt störa byggprocessen och orsaka fördyringar. Beställare och byggherrar känner därför ofta tveksamhet vid införande av ny och oprövad teknik.

Vid SAS Huvudkontor, Frösundavik, har ny teknik använts inom flera områden. Denna rapport berör erfarenheterna från energianläggningen som är baserad på ett akviferlager för värme och kyla. Kontoret har genom sin tillkomst medverkat till att akviferlagertekniken kunnat utvecklas inom ett kommersiellt byggprojekt vilket givit värdefulla erfarenheter. Om energianläggningen vid SAS Frösundavik skulle ersatts av ett antal mindre projekt i olika testanläggningar hade längre tid krävts och resultatet hade ändå inte på samma sätt demonstrerat helheten inom teknikområdet.

Värmelagringdelen hanterades under förprojekteringen som en normal del av nybyggnadsprojektet. I samband med investeringsbeslutet uppmärksammades möjligheterna att få stöd av Byggforskningsrådet. Om värmelagret skulle ha kommit till stånd utan detta stöd får vi kanske aldrig veta, men vi vet att stödet varit till stor nytta vid idrifttagning och utvärdering. Att de omfattande erfarenheter som här redovisas kan ges vidare spridning är således Byggforskningsrådets och SAS förtjänst.

Solna, juni 1990

AIB Anläggningsteknik AB
Vatten- och miljöteknik

Tomas Åbyhammar

Anders Eriksson

Sam Johansson

SAMMANFATTNING

SAS nya huvudkontor i Frösundavik blev inflyttningsklart i januari 1988. Byggnaden är belägen på en del av Brunkebergsåsen (Stockholmsåsen), vars grundvattenmagasin (akvifer) också används för lagring av kyla och värme.

I denna rapport redogörs för planering, byggande och idrifttagning av anläggningen. Erfarenheter och hittills insamlade mätdata av större betydelse redovisas. Uppkomna problem i anläggningen och i angränsande system som bedöms ha ett allmänt intresse beskrivs ingående. Helhetsbilden av anläggningen är positiv eftersom anläggningen har uppfyllt och i vissa fall överträffat ställda funktionskrav. Rapportens problemorienterade framställning är därför ej representativ för anläggningens drift utan hänger samman med att alla typer av problem bör belysas i en rapport av denna typ.

Akvifervärmelagret består av en del av grundvattenmagasinet i den rullstensås som genomkorsar tomt. Brunnsystemet består av fem brunnar placerade så att grundvattnet kan cirkuleras mellan två varma och tre kalla brunnar. I de varma delarna av lagret är temperaturen 8-15°C, i den kalla delen av lagret 2-12°C. Den utnyttjade akvifervolymen är ca 800 000 m³. Den naturliga grundvattenströmmen i akviferen är liten och har i detta fall ej påverkat lagrets utformning.

Installerad uttagskapacitet är ca 190 l/s. Härav har som mest utnyttjats ca 110 l/s. Energianläggningens yttre del består av brunnar, brunnsöverbyggnader och grundvattenledningar. Samtliga pumpar och styrventiler har placerats i energicentralen för att skapa goda tillsynsmöjligheter. Pumparna är utrustade med varvtalsreglering.

Byggnaden som utgör SAS-Frösundavik har en bruttoyta av 64 000 m² och omfattar ca 1 450 kontorsrum, en större inglasad gata, två idrottsanläggningar samt tre garageplan. Som primär energikälla tillförs endast el. Från en energicentral distribueras hela kylbehovet om maximalt ca 2 MW. Värme för uppvärmning av tilluft och källarlokal, ca 3 MW, distribueras från energicentralen i ett högtempererat system, 60/20°C, och ett lågtempererat, frysskyddat system, 16/0°C. Kontorsrummen värms av direktverkande el med en sammanlagd effekt av ca 500 kW inklusive diverse övrig elvärme. Behovet av lågtempererad värme har beräknats till 1.5 GWh/år, högtempererad till 3.8 GWh/år och den direktverkande elenergin till 0.8 GWh/år.

I energicentralen tillgodoses distributionssystemens kylbehov genom direkt värmeväxling med kallt grundvatten från akviferlagret. Behovet i det lågtempererade värmesystemet tillgodoses på samma sätt genom direkt värmeväxling med varmt grundvatten. Denna

tillförsel av värme och kyla åstadkommes genom lagrets funktion och en mindre insats av el till cirkulationspumpar.

Det högre temperaturbehovet för värme och varmvatten tillgodoses av 3 st seriekopplade värmepumpar om ca 330 + 330 + 460 kW. Ackumulatortankar om 4 x 50 m³ svarar för effekttillskott dagtid samt utjämnar värmepumparnas drift.

Mätning sker främst med fast installerade mätare. Effekt, energi och flöden mäts hos flertalet in- och utgående strömmar i energicentralen. Datainsamling ombesörjs av fastighetsdatorn. Temperaturmätningar i akviferen sker dock manuellt.

Anläggningen utnyttjades inledningsvis för produktion av 1.5 GWh värme under byggtidens slutskede 1987. Detta fick flera oförutsedda och dyrbara konsekvenser. Trots detta var byggdriften ekonomisk.

Anläggningens värmepumpar har t o m december 1989 producerat ca 8 GWh värme inklusive byggvärme fr o m februari 1987. Beräknade data för anläggningen i dess nuvarande form är en värmeproduktion av 3.7 GWh/år i högtemperatursystemet och 1.6 GWh/år i lågtemperatursystemet. Kylbehovet har beräknats till 2.7 GWh/år. Elförbrukningen för ovanstående produktion har beräknats till 1.4 GWh/år. Den totala driftkostnaden, exklusive kapitalkostnad, har beräknats till 11 öre/kWh värme och kyla mot 18 öre för ett referenssystem med fjärrvärme och kylmaskiner. Investeringskostnaden för de jämförda systemen är ungefär lika varför kapitalkostnaderna också blir likvärdiga.

Vid inflyttningen i byggnaden vintern 1987/88 hade värmelagringsanläggningen, dvs akviferlagret och energicentralen, de planerade kapaciteterna för värme- och kylproduktion om man bortser från lagrets "oladdade" tillstånd. Det visade sig emellertid nödvändigt att utöka värmeproduktionskapaciteten för effekt och energi med 70 respektive 100 % för att tillgodose byggnadens verkliga behov.

Anläggningen kompletterades 1988 med en tredje värmepump m m. Kompletteringar, eftersläpande delar av huvudentreprenader, föroreningar i vattensystemen, oklarheter i distributionssystemens dimensionering m m medförde en lång idrifttagningsperiod. Dessa frågor beskrivs ingående i rapporten.

Normal drift påbörjades i mars 1989. Anläggningen har därefter arbetat bra. Resterande åtgärder från idrifttagningen har stört driften något under hösten 1989.

Värmepumpaggregaten av skruvkompressortyp har modifierats av leverantören men ej nått avsedd tillförlitlighet. Medelvärmefaktorn är ca 3, vilket är något lägre än leverantörens uppgifter. Ackumulatortankarna

ger avsett effekttillskott men ger tidvis upphov till besvärande temperaturförluster genom omblandning. Reglerprincipier, parametrar och funktioner beskrivs. Följderna av en korrosionsinhibitortillsats beskrivs.

Efter inledande störningar under byggnadstiden fungerar grundvattencirkulationen invändningsfritt. Under den första driftperioden uppstod järnutfällning vilket satte igen en brunn. När grundvattnet homogeniserats och de utnyttjade delarna av lagervolymen syresatts är utfällningsrisken för järn och mangan liten. Vattnet befinner sig dock nära mättnad för kalcium. Brunnar och värmeväxlare har inga beläggningar av betydelse. Inga indikationer har konstaterats som tyder på att grundvattensystemet skall medföra driftproblem eller höga kostnader för drift och underhåll i framtiden. Tvärtom indikerar hittillsvarande erfarenheter att anläggningen kan köras enbart på den södra delen av akviferen. Den norra delen av akviferen har betydligt lägre temperaturverkningsgrad än den södra, dels beroende på vattencirkulation genom den konstgjorda dammen norr om byggnaden och dels beroende på den höga hydrauliska konduktiviteten i området.

Under kalenderåret 1989 producerades 0.70 GWh förvärme, 2.2 GWh värme, 0.37 GWh förkyla och 2.8 GWh kyla. För denna produktion åtgick 0.85 GWh el i värmepumpar, 0.27 GWh i elpannor och 0.26 GWh för cirkulationspumpar m m. Detta ger ett godhetstal (producerad värme och kyla dividerad med tillförd el) av 4.8. Byggnadens totala elförbrukning under samma period var 9.0 GWh. Värme- och kylproduktionen förbrukade således ca 15 % av det totala elbehovet.

Slutsatserna är att det är möjligt att inom ett normalt anläggningsprojekt planera och bygga ett akvifervärmelager samt att lagret med kringutrustning kan ges planerad kapacitet och funktion. Investeringsbeloppet 15-17 Mkr i stället för planerade 13 Mkr är en naturlig följd av att anläggningen byggts i två etapper.

För framtida anläggningar bedöms akviferlager ha samma eller något högre investeringskostnad än konkurrerande alternativ om en betydande kylkapacitet krävs. Den mängd drivenergi som förbrukas är ca 20 % av producerad värme och kyla. Konsekvenserna av energikostnadsstegringar i framtiden blir dessutom små eftersom det akviferbaserade systemet har en låg förbrukning av köpt energi.

Fördelarna med förvärmning av tilluft bör särskilt framhållas eftersom den kan ske utan värmepump och blir effektivare ju lägre utetemperaturen blir. Detta medför ett jämnare effektbehov på eftervärmningen som kan tänkas ske med alternativa system som värmepump, olja eller gaseldning.

A. BESKRIVANDE DEL

1. INLEDNING

1.1 Rapportens disposition, läsanvisning

Rapporten vänder sig såväl till personer som arbetar med hydrogeologi som till de som arbetar med värme- och kylteknik eller genomförande av ny teknik i byggandet. Den enskilde läsaren har troligen störst intresse av de fackområden där han själv är aktiv. Genom att texten följer kapitelrubrikerna relativt strikt är det möjligt att hoppa över vissa avsnitt utan att förlora helhetsintrycket.

Rapporten består av 3 huvuddelar; A, B och C. A är en beskrivande del, där anläggningarna beskrivs i det utförande de har i november 1989. Andra utföranden och driftsätt som tidigare varit aktuella beskrivs i del B. Del B upptar annars erfarenheter av byggande, drift och idrifttagning fram till 89-03-30 när den egentliga driften anses börja. För perioden 89-04-01 till 89-12-31 presenteras vissa insamlade data. I del C har tyngdpunkten lagts på slutsatser av planering, byggande och idrifttagning.

Del B har strukturerats efter driftskeden och systemdelar medan del C indelats på projektadministrativa grunder. Detta medger en god genomlysning av projektet men medför också att resultat och slutsatser ibland presenteras i samma avsnitt.

Resultaten av mätningar under perioden 1989-04-01 till 1990-03-31 kommer att redovisas i en separat rapport som beräknas vara färdigställd 1990-09-30.

1.2 SAS - Frösundavik

Från och till sedan 60-talet har SAS behov av ett nytt kontor aktualiserats och på 70-talet gjordes en kostnadskalkyl för ett nybygge men det sköts på framtiden.

Det kontor som nu står på plats stammar från februari 1982. Då inleddes en genomgång av hur SAS fastighetsförvaltning kunde utvecklas i ett antal delprojekt - varav ett var att undersöka villkoren för att bygga ett nytt samlat huvudkontor.

I oktober 1985 fattade SAS styrelse beslut att bygga Frösundavik. Den 27 november 1985 utlöste SAS' tre styrelseordförande gemensamt det första sprängskottet vid en högtidlig ceremoni. Frösundavik stod klart årsskiftet 1987-88, se figur 1.1.



Figur 1.1 SAS-Frösundavik, vintern 1987/88

Målsättningen med projektet har formulerats så här:
"En långsiktigt, ekonomiskt, tekniskt och socialt
väl fungerande anläggning alltid öppen för arbete
och fritid".

Det ovanliga är att SAS likställer kontorets sociala
möjligheter med de rent professionella och betonar
att fritidsaktiviteter skall ha ett utrymme bredvid
det dagliga arbetet. Det hänger samman med SAS ut-
talade ambition att varje medarbetare skall kunna
komma till sin rätt som hel människa - som social
och privat person och inte bara som arbetskraft.

Denna målsättning uttrycktes tydligt redan i täv-
lingsprogrammet och inbjudan till ett antal skandi-
naviska arkitekter att tävla om att få rita Frö-
sundavik:

"Människorna ska lätt få kontakt med varandra och
känna frihet att fatta beslut. Huvudkontoret får
inte vara toppen på en pyramid utan ska kunna ge
service till dem som arbetar i flygverksamheten."

Finessen med projektet Frösundavik är enligt SAS att den målsättning man satt har uppnåtts. Dessutom har det skett till en låg kostnad.

Kontoret är byggt som ett litet samhälle. Det är ett naturligt sätt att skapa mänskliga proportioner i en så här stor anläggning. Med flera hus utmed en gata blir miljön på varje plats både omväxlande och överskådlig och det är lätt att orientera sig. Huvudgatan genom anläggningen har puls och livlighet. Den har en stimulerande karaktär med ingredienser man normalt inte finner i kontor utan snarare förknippar med små städer och samhällen. Uppe i husen tonas livligheten successivt ner.

1.3 Värmelagringsanläggningen

Efter arkitekttävlingen, där AIB Anläggningsteknik AB tillsammans med en av de tävlande arkitekterna föreslagit akviferlagringsidén, utlystes en tävling för projektörer av installationer av el och VVS. AIB Anläggningsteknik AB lämnade det enda förslaget till okonventionell värme- och kylförsörjning i mars 1985.

Förslaget intresserade projektledningen och hydrogeologiska undersökningar inleddes 1985. Dessa resulterade dels i ett förprojekteringsunderlag i augusti 1985 och dels i en ansökan om vattendom i december 1985.

Anläggningen projekterades första halvåret 1986 och installationerna genomfördes huvudsakligen under andra halvåret 1986 i de då ännu inte överbyggda källarplanen.

Den därpå följande tiden har i utvärderingsprojektet indelats i följande perioder:

- Drift under byggtiden 1987-02-18 till 1987-11-06
- Idrifttagning 1987-11-07 till 1989-03-31
- Normal drift.

Under förstudietiden bestod projektet dels av den nu uppförda kontorsanläggningen och dels av en databyggnad. Värme- och kylanläggningarna planerades för hela behovet. Speciellt dataanläggningens kylbehov om ca 6 GWh/år var styrande för akviferlagrets och markanläggningarnas utformning. Den planerade lagringskapaciteten var då 2-3 ggr den nuvarande.

1.4 Utvärderingsprojekten

Byggeforskningsrådet, BFR, har beviljat SAS ett experimentbyggnadslån och en riskgaranti för de okonventionella delarna av energianläggningen. Ett villkor i dessa avtal är att projektet skall dokumenteras och utvärderas så att erfarenheterna kan spridas.

Byggeforskningsrådet driver ett utvecklingsprogram för värmelagring. SAS-Frösundavik ingår här som ett nyckelprojekt inom området akviferlagring. Anledningen är att detta är det första projektet där hela värme- och kylproduktionen (utom kallrasskydd i kontorsrummen) sker på basis av akviferlagret. Att lagringsprojektet är helt integrerat i byggprocessen och inte ett separat projekt medför att demonstrationsvärdet är extra stort.

Mätningar i marken och utvärdering av akviferens funktion genomförs av Institutionen för Vattenbyggnad vid Kungliga Tekniska Högskolan, BFR-projekt nr 861049-5.

AIB Anläggningsteknik genomför utvärdering av brunnar och grundvattensystem samt de värmetekniska installationerna i byggnadens energicentral (denna rapport, projektnr BFR 861047-4).

Dessa projekt följs av en referensgrupp bestående av: Lars-Erik Ahlf, SAS, Olle Andersson, VIAK, Johan Claesson, LTH, Gunnar Hansson, Södertälje Energiverk, Per-Erik Nilsson, CTH, Bengt Åberg, Rimbo, samt Björn Sellberg (adjungerad).

1.5 Konsulter och entreprenörer

Konsulter för energianläggningar och angränsande delar har varit:

Projektsamordning och byggledning: Åke Larson Byggare AB
Arkitekt: Niels Torp A/S Arkitekter, Oslo
Byggkonstruktör: Arne Johnson Ingenjörbyrå ab
El: Gösta Sjölander AB
Energicentral: AIB Anläggningsteknik AB
VA: AIB Samhällsteknik AB
VVS: Curo P O Andersson Konstruktionsbyrå AB

Entreprenörer till energiproduktionsanläggningen är bl a:

Rör: Calor-Celsius AB
Styr: Staefa AB
Värmepumpar: Stal Refrigeration AB
VA: Svenska Vägbeläggningar
Observationsrör och provpumpningsbrunnar: Akva Terra AB
Grundvattenbrunnar: Malmbergs i Yngsjö AB

2. GEOLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

För att kunna klara värme- och kylagringens behovet på säsongsbasis för en anläggning av Frösundavikskontorets storlek krävs tillgång till en stor lagervolym i jord eller berg.

Berglagervolym finns i princip alltid tillgänglig i Sverige. Möjlighet att lagra värme och kyla i ett bergrumslager finns vid Frösundavik men skulle bli dyrt att genomföra. Lagring av värme och kyla kan även tänkas ske via borrhål i bergmassan. Med nuvarande teknik krävs ett stort antal borrhål eftersom in- och utlagring av värme sker genom värmeledning i berget. Det är därför svårt att få ett s k borrhålslager i berg ekonomiskt konkurrenskraftigt.

I jord finns även system med slangar i lera och torv. Dessa system bygger på värmeledning i jordlager. Jordlager av denna typ finns ej i tillräcklig mäktighet vid Frösundavik. Dessa lagertyper var därför ej aktuella.

Olika typer av energilagrar presenteras i /Boysen m fl 1986/.

En stor potentiell lagervolym finns dock i den grusås Frösundavikkontoret är placerat på. Lagret utgöres av den volym sand och grus som finns under grundvattenytan. I detta fall uppgår denna volym till ca 1.5 milj m³.

Sand- och grusvolymen vid Frösundavik ligger i en bergdal som slutar söder om kontoret. Bergdalen är endast öppen mot Brunnsviken och åsens fortsättning norrut. Detta medför litet tillrinningsområde. Vattengenomströmningen genom lagerområdet blir därför liten. Vid en beräknad grundvattenbildning av 2-4 l/s erhålles med 25 % porositet i akviferen en teoretisk omsättningstid av vattnet på 2.4 år. Någon vattentäkt i grusåsen eller annan typ av grundvattenpumpning som kan störa lagerfunktionen finns ej.

Åsmaterialet har hög permeabilitet. Detta förbilligar uttags- och inlagringssystemet till lagret genom att i princip endast ett fåtal brunnar behövs för att tillskapa ett stort lager. Av driftsäkerhetsskäl byggdes två varma och tre kalla brunnar.

En viktig förutsättning är att grundvattnet i stort sett är fritt från järn och mangan, vilka ämnen, om de förekommer lösta i grundvattnet, kan orsaka igen-sättningsproblem i värmväxlare och infiltrationsbrunnar. Viss järn-manganhalt förelåg i det djupare grundvattnet inom aktuellt lagerområde. Genom cirkulation av vatten mellan ytligare och djupare lager har järn-manganhalten minskat genom oxidation av det djupare grundvattnet.

För att kunna utnyttja ett akviferlager måste således vissa förutsättningar finnas:

- närhet till akvifer

När det gäller SAS-kontoret ligger kontoret direkt på akviferen, fig 2.1.

- tillräcklig volym av sand och grus under grundvattenytan (akvifervolym)

Akvifervolymer i anslutning till kontoret kan som nämnts ovan uppskattas till 1.5 milj m³. Akviferdjupet varierar mellan 15 och 25 m. Djupaste rörborring, 8604, går ner till -24 och den är belägen ca 100 m SV om entrén till SAS-kontoret. Fast botten av morän eller berg påträffades ej utan fortsatt borrning var möjlig i denna punkt. Av fig 2.2 framgår de nivåer de djupaste rörborringarna går ner till.

- hög vattengenomsläpplighet hos grus- och sandmaterialet

I de flesta rörborringarna har påträffats isälvs-material med mycket god till god genomsläpplighet.

För att undersöka förutsättningarna för ett akviferlager har jordlagrens genomsläpplighet och den hydrauliska kommunikationen i grundvattenmagasinet undersökts genom en långtidsuppföljning av grundvattenytan och hur den påverkas av vattenytan i Brunnsviken. Även en provpumpning med uttag av 50 l/s i kontorets södra del och återinfiltration i en uppgrävd infiltrationsbassäng i kontorets norra del har utförts. Uppmätta vattenståndsvariationer framgår av fig 2.3. Av figuren framgår att Brunnsvikens reglerar grundvattenytan i grusåsen och att Brunnsvikens naturliga variation ger större vattenståndspåverkan än ett uttag och återinfiltration av 50 l/s. Akviferen har således hög vattengenomsläpplighet och god hydraulisk kommunikation mellan norra och södra delen.

- grundvattenkemiska förhållanden som medger uttag och infiltration utan igensättningsproblem

De grundvattenkemiska förhållandena är av stor betydelse i ett akviferlagringsprojekt. Vattenprover har därför uttagits på ett flertal nivåer i grundvattenmagasinet vid utförandet av rörborringar. Av analysresultaten framgår att halterna av Fe, Mn, hårdhet (Ca + Mg), Cl, SO₄ och HCO₃

ökar mot djupet i akviferen, fig 2.4 och 2.5. Halten av Fe, Mn och Cl är också högre i norra delen av akviferen än i mellersta delen (vid kontoret) och i södra delen av akviferen.

Ett cirkulationssystem med uttag och återinfiltration i rörbrunnar med 4-5 m långa filterrör valdes. Alternativt hade för infiltrationen en typ av grunda lätt rensningsbara infiltrationsbrunnar eller infiltrationsbassänger ovan grundvattenytan kunnat väljas.

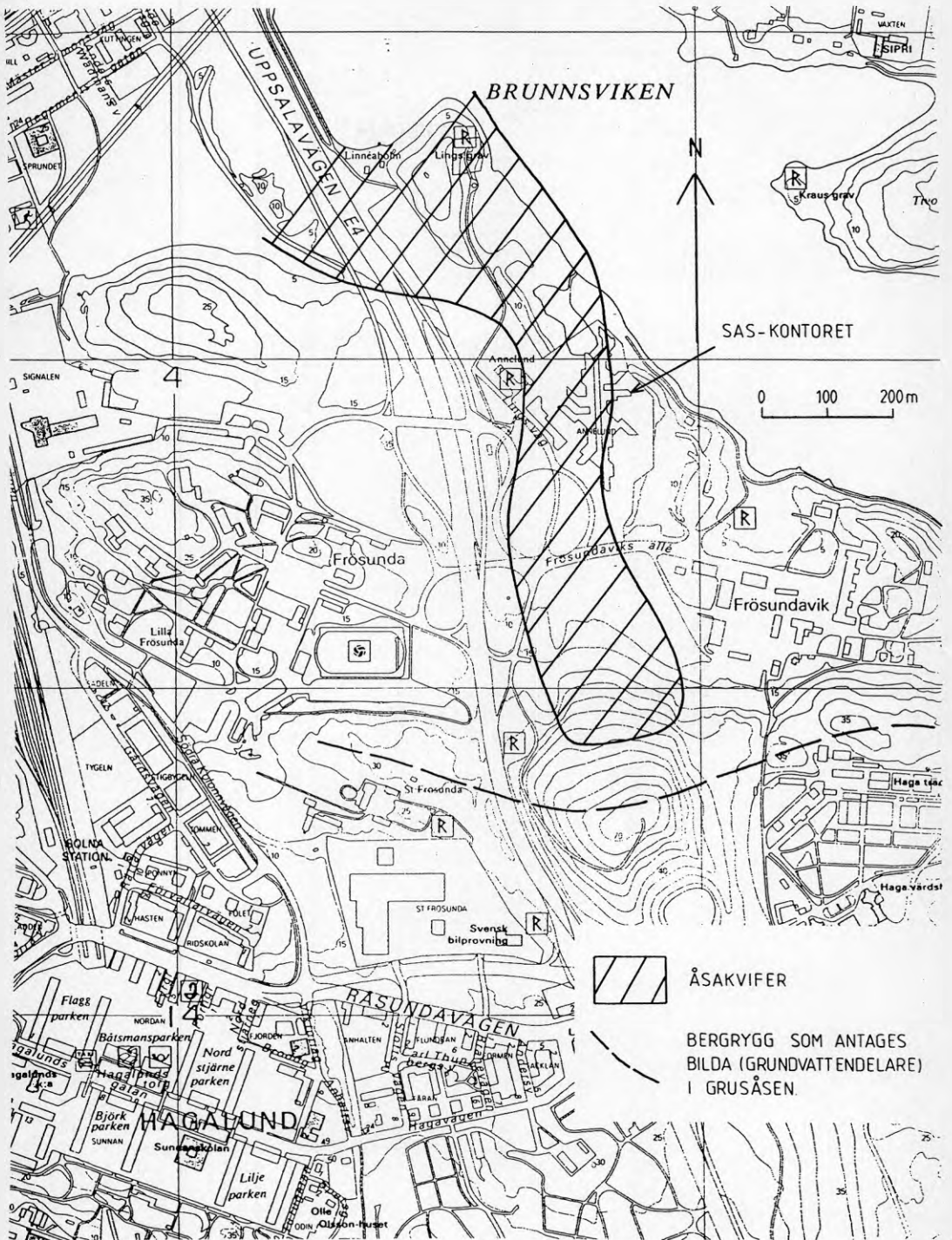
- liten grundvattenomsättning i akviferen

Vid lagring av värme och kyla i en akvifer får grundvattengenomströmningen i lagerområdet ej vara så stor att värme eller kyla bortföres ur lagret.

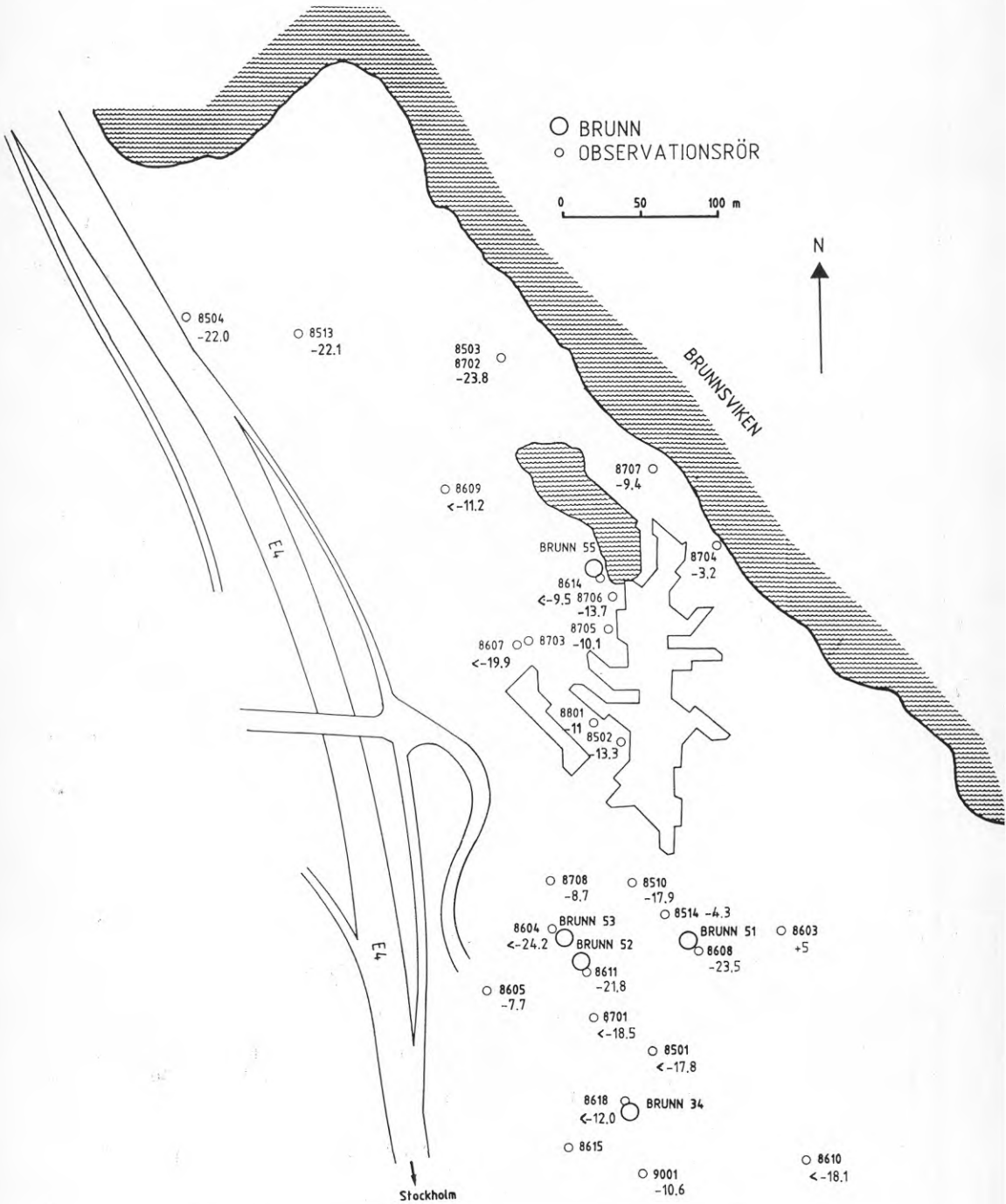
Grusåsen vid SAS-kontoret har litet tillrinningsområde, fig 2.6. Grundvattenbildningen har beräknats till 2-4 l/s. Goda förutsättningar för att inlagrad värme och kyla kring brunnar skall ligga kvar i lagerområdet föreligger därför.

Genom Brunnsvikens vattenståndsvariation sker en viss fram- och återgående vattenrörelse i grundvattenmagasinet som kan antagas ge en viss utjämnning av värme och kyla i lagerområdena, speciellt i lagerdelen närmast Brunnsviken. Denna inducerade vattenrörelse har ej medfört några större problem.

Sammanfattningsvis uppfyller grusåsen vid SAS-kontoret de krav man ställer på en åsakvifer som skall kunna utnyttjas som akviferlager.

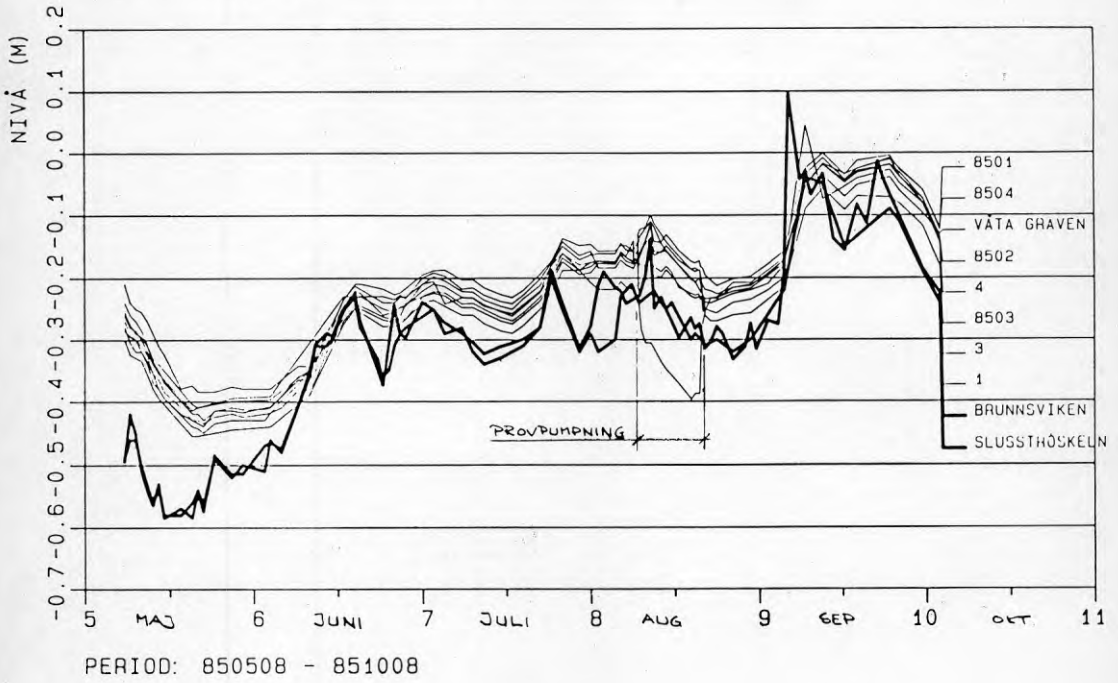


Figur 2.1 SAS-kontorets läge i förhållande till akviferen

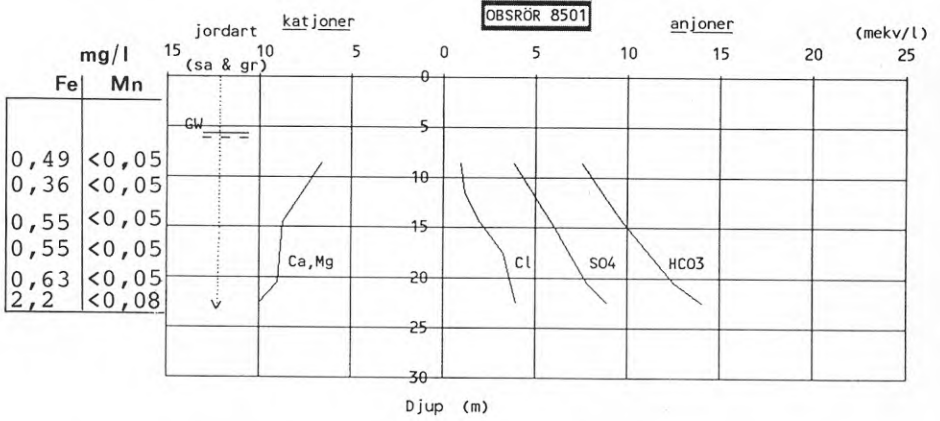


Figur 2.2 Karta över Frösundaviksområdet. Nivåer till vilka rörborringar gått ner. Tecknet < betyder att röret ej drivits till fast botten av morän eller berg.

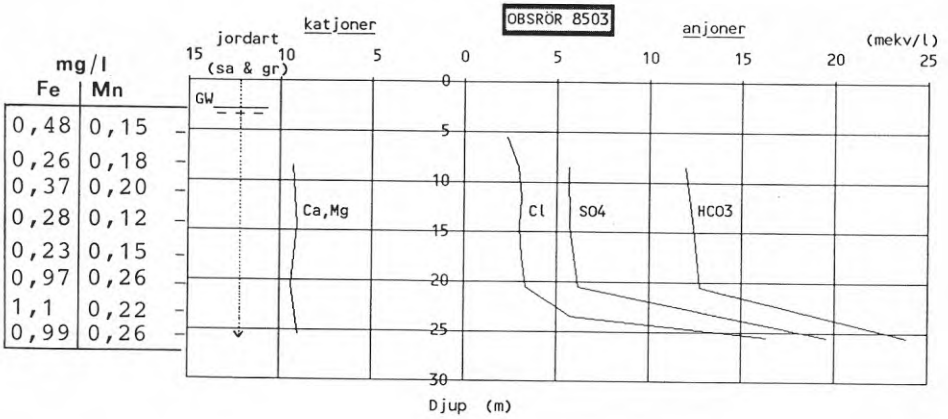
SAS-FRÖSUNDAVIK
GRUNDVATTENSTÄNDSOBSERVATIONER MAJ-SEPT 1985
PROVPUMPNING 850809 - 850822



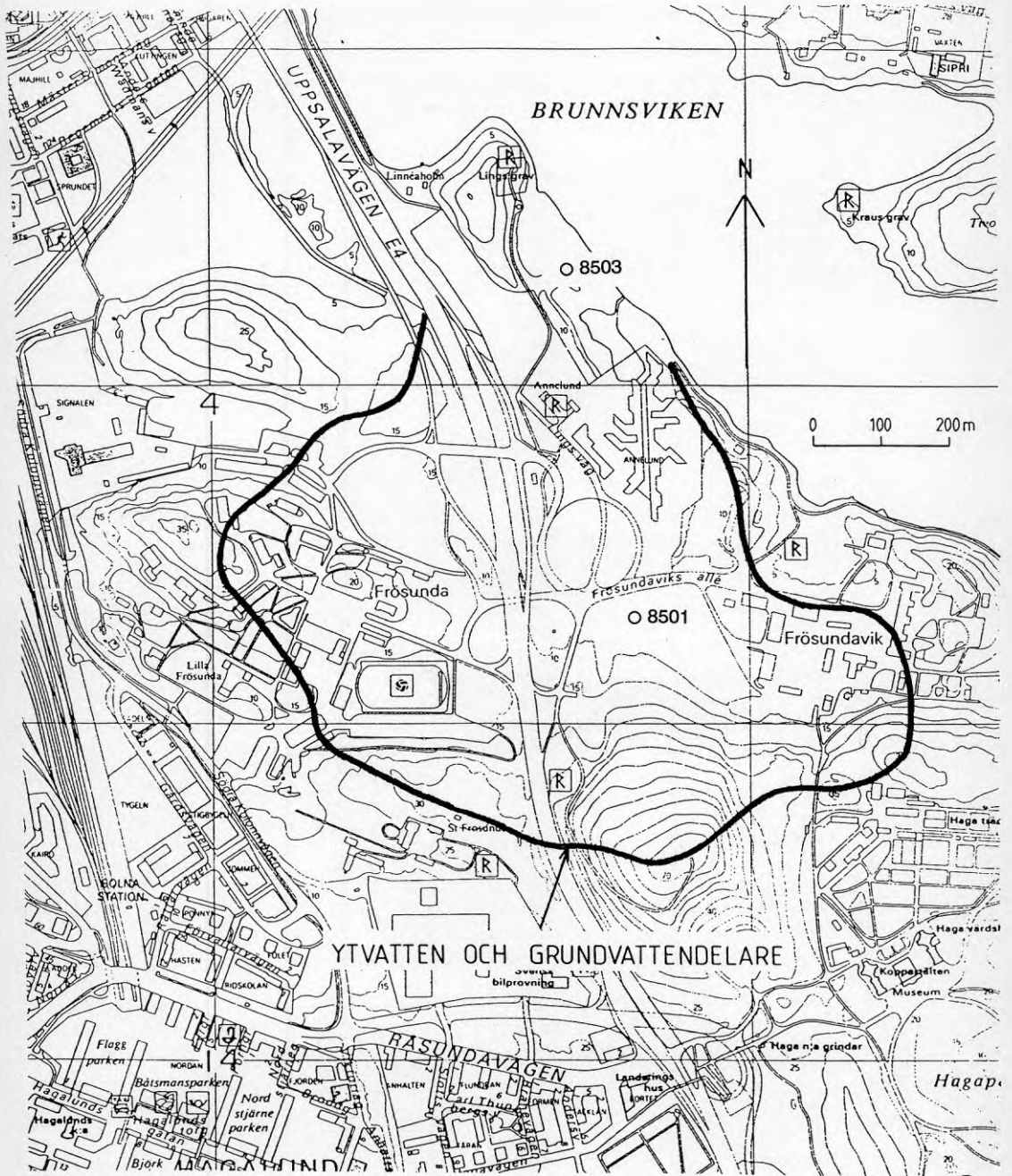
Figur 2.3 Vattenståndet i Brunnsviken och i sju observationsrör inom Frösundaviksområdet



Figur 2.4 Vattenkemiförhållanden i södra delen av akviferen



Figur 2.5 Vattenkemiförhållanden i norra delen av akviferen



Figur 2.6 Akviferens tillrinningsområde

3. ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING AV BYGGNADERNA

3.1 Byggnadstekniska konstruktioner

Frösundavikanläggningen består av 5 huskroppar som står i förbindelse med varandra genom en överglasad gata, se figur 1.1. Dessutom ingår en friliggande kontorsbyggnad förbunden med övriga byggnader med en gångbar kulvert. Högsta huskroppen har 9 våningar. I anslutning till entrén finns ett underjordiskt garage i tre plan med plats för ca 300 bilar.

Grundläggning

Marken utgöres av sand, grus och berg. Grundläggning har skett på plattor i friktionsjord. Grundvattennivån ligger vanligen 2 meter under golv.

Källarvåningar

De 2 källarvåningarna har utförts av platsgjuten betong.

Stomme

Byggnadernas bärande stomme ovan markplan har utförts av pelare och balkar i stål. Dessa samverkar med bjälklag av prefabricerade håldäckselement i betong. Trapphus och elschakt tjänstgör som stabilisering av stommen.

Fasader

Byggnadernas fasader byggs upp av utfackningsväggar. De yttre fasaderna har till största delen beklätts med fasadglas. Några fasader är gipsklädda.

Fönster

Kontorshusens fönster omfattar ca 50 % av fasadytan och består av 2-glas isolerruta med argonfyllning.

Tak

Taket är konstruerat enligt principen omvänt tak. Det innebär att närmast den bärande betongen ligger en fuktspärr med en värmeisolering ovanpå. Som skydd ligger överst ett lager singel. Taket har lagts med litet fall.

Glasad gata

På en brandskyddad stålstomme vilar ett tak av dubbelt isolerglas med härdad ruta. Den överglasade gatans vertikala partier är av enkelglas. Totalt finns ca 2500 m² glas.

Mängduppgifter

Total byggnadsarea	17 255 m ²
Bruttoarea	64 000 m ²
Bruttovolym	225 400 m ³
Antal kontorsrum	1 450 st
Antal hushörn	150 st
Schaktmassor totalt	130 000 m ³
Stålstomme	1 100 ton
Betonghåldäck	36 000 m ²
Betong, platsgjuten	10 000 m ³
Armering	600 ton
Glasytor	37 000 m ²
Gipsstuckatur	600 ton
Gipsskivor	1 000 ton
Våningshöjd	3.2 m

3.2 Installationer

Ventilation

Arbetet med ventilationssystemet har föregåtts av ett noggrant utvecklingsarbete. Detta har bland annat innefattat omfattande fullskaleprov av kontorsmoduler. Luftintagen ligger i markplanet, vilket överensstämde med arkitektens intentioner att slippa skorstenar. Mätningar gjorda av Solna kommun visade att luften höll samma kvalitet i markplanet som högre upp.

Systemet bygger på att all luft kommer utifrån, man vill alltså inte ha någon återluft. För att reducera platsbehov och kostnader för ventilationskanaler har luftflödet begränsats till 190 000 m³/h.

Kontorsrummen har till- och frånluft i bakkant, dvs luftkanalerna mynnar på kortväggen mot korridoren. Inblåsningstemperaturen är konstant. På grund av fackliga krav finns till- och frånluftskanaler till varje rum.

I vissa samlings-salar tillämpas deplacerande ventilation.

Kylning av kontorsrummen sker helt separat från ventilationsanläggningen med hjälp av kylkonvektorer i undertaken.

Ventilationsanläggningen presenteras utförligare i kap 4.

Belysning

Belysningen i kontors- och multirum är utförd med för projektet konstruerad golvarmatur för lysrör, med 3/4 indirekt och 1/4 direkt ljus som kompletteras med platsbelysning på arbetsytor. En stor del av lamporna är av typ lågeffektlysrör.

Utformningen av belysning i gatan är en effektiv kombination av stolp- och väggarmatur, spotlights samt växt- och undervattensbelysning. Belysningen styrs av en datoranläggning i förhållande till årstidsväxling och dygnsrytm. En stor del av belysningen i allmänna ytor och gata är utförd med ljuskällor av lågvoltstyp (12 V).

Totala antalet lysrör och lampor i byggnaderna är 12 700 st.

Datakablage

Stora satsningar har gjorts för att få ett effektivt och väl fungerande datanät. Systemet är uppbyggt med 4-trådsnät i kombination med enklare kablage för printerstationer. Varje arbetsplats har anslutningsmöjlighet för två bildskärmsterminaler och en skrivare.

Mängd datakabel 500 km.

Brandskydd

Byggnadens brandskydd utgörs av rök- och värmedetektorer.

4. BYGGNADERNAS TILLFÖRSELSYSTEM

4.1 Primärenergi, elektricitet

Eleenergi utgör den enda tillförda energiformen vid SAS Frösundavik. Högspänning 20 kV tillförs i två oberoende matningar från Solna kommuns nät.

Förbrukningen mäts vid huvudställverket och distribueras till ett flertal transformatorstationer i anläggningen. Mätning vid olika förbrukare förekommer endast vid energicentralen, se beskrivningen av mätsystemen. Energicentralen matas med lågspänning 0.4 kV. Detta sker från två transformatorer för att uppnå en god tillgänglighet.

Förutom konventionella förbrukare såsom belysning och fastighetsdrift finns elektriska strålningsvärmare i flertalet kontorsrum. Den installerade effekten för elvärmare är 450 W per kontorsrum. För 1350 rum ger detta en installerad effekt av ca 600 kW.

Utomhus finns belysning och motorvärmare. Eftersom motorvärmarnas drifttid är begränsad till 3 timmar per parkeringstillfälle är energiförbrukningen från dessa relativt liten trots hög installerad effekt.

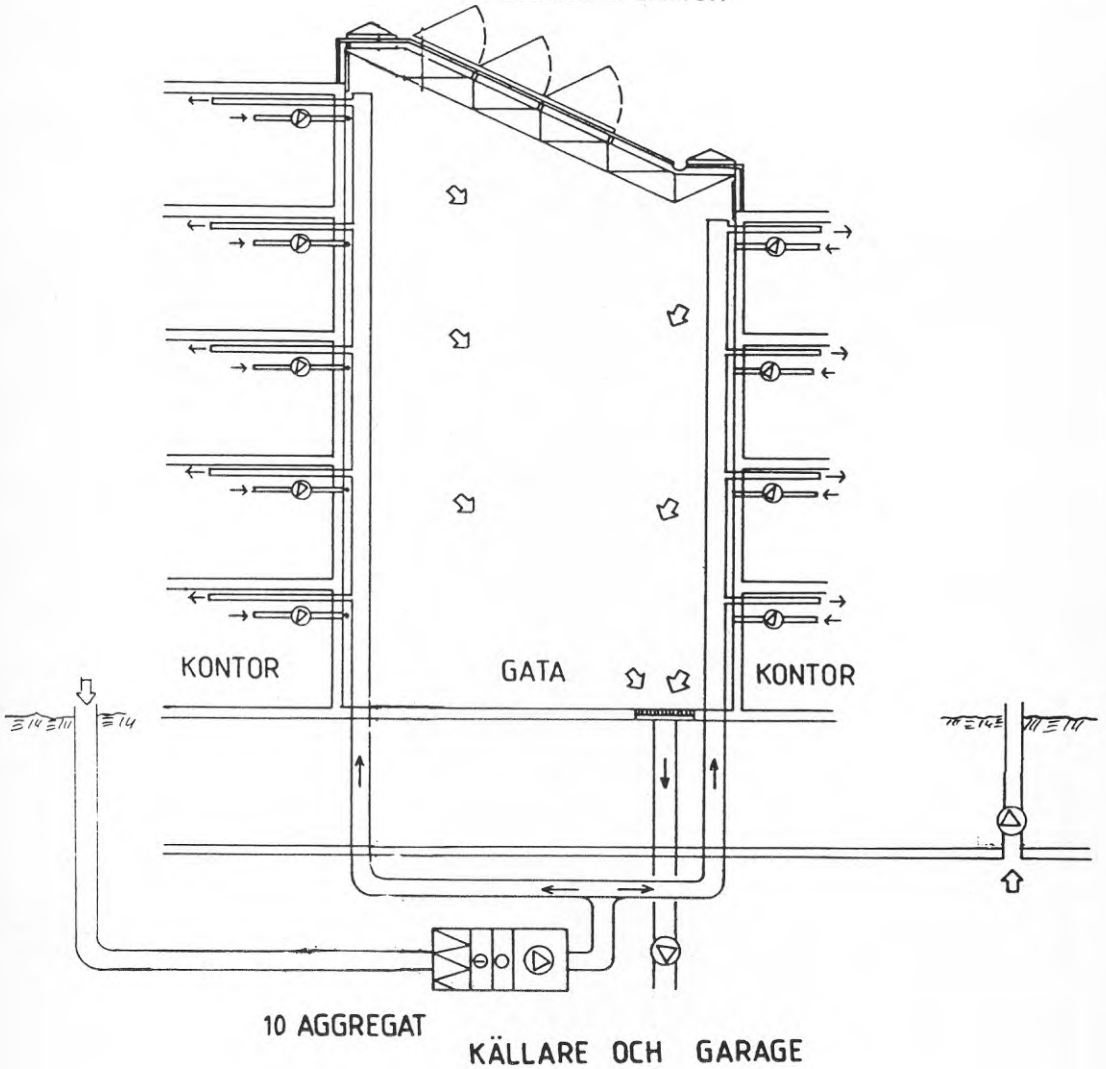
4.2 Ventilation och lokalvärme

Dagtid tas uteluft in vid marknivå och leds till 10 st tilluftaggregat i byggnadernas källarplan. I sju av aggregaten förvärms luften med hjälp av ett glykolsystem. I övriga tre aggregat för lokaler såsom bad, restaurang och idrottshall tillämpas ett variabelt återluftflöde. Eftersom luftflödena blandas före batterierna är förvärmning vid dessa inte meningsfull.

I samtliga aggregat eftervärms luften av värmesystemet vanligen till 20°C. Denna luft tillförs kontorsrummen och lokalerna. Med undantag av restaurangen värms alltså inte lokalerna eller rummen med hjälp av luftflödet.

Frånluft från lokalerna och rummen leds i kanaler från respektive rum via fläktar till gatan. Gatans temperatur tillåts sjunka till +14°C vilket innebär att gatan främst värms av luftflödet. Se figur 4.1. Vid gatans gavlar, som består av stora glasytor, finns dessutom viss värmestillförsel från värmesystemet för att begränsa kallraset. Vid höga temperaturer i gatan öppnas luckor för att vädra bort överskottsvarme.

ÖPPNINGSBARA
LUCKOR VID
RÖK ELLER HÖG
GATUTEMPERATUR



Figur 4.1 Principschema för ventilationsanläggningen

Rummen värms av den värme som verksamheten alstrar, av solinstrålning och vid behov av elradiatorer. Elradiatorerna har en effekt av 400 W. De är placerade över fönstret i alla rum mot yttervägg.

Om gatans temperatur nattetid sjunker under 14°C startas ventilationen som annars är avstängd. Tillluftaggregaten tar då 100 % returluft från gatan, värmer denna med värmesystemet (glykolsystemet är avstängt) och cirkulerar luften genom rummen och gatan så att gatans temperatur höjs. Detta blir endast aktuellt vid låga utetemperaturer och utgör således den dimensionerande lasten nattetid för värmesystemet som annars har en låg last nattetid.

Om tilluftaggregaten vid dagdrift inte uppnår önskad inblåsningstemperatur sker automatiskt övergång till den ovan beskrivna nattdriften.

Gatans frånluft leds via fläktar dels direkt ut och dels via garage och lastgata ut till det fria. Återvinning av värme ur avluften sker alltså endast indirekt genom nyttjande i sekundära och tertiära utrymmen. Orsaken härtill är dels en avsikt att uppnå energibalans på årsbasis i akviferlagret och dels att avluftens temperatur är låg vid dimensionerande utetemperatur eftersom den då kyls både i gata och garage.

4.3 Glykolsystem

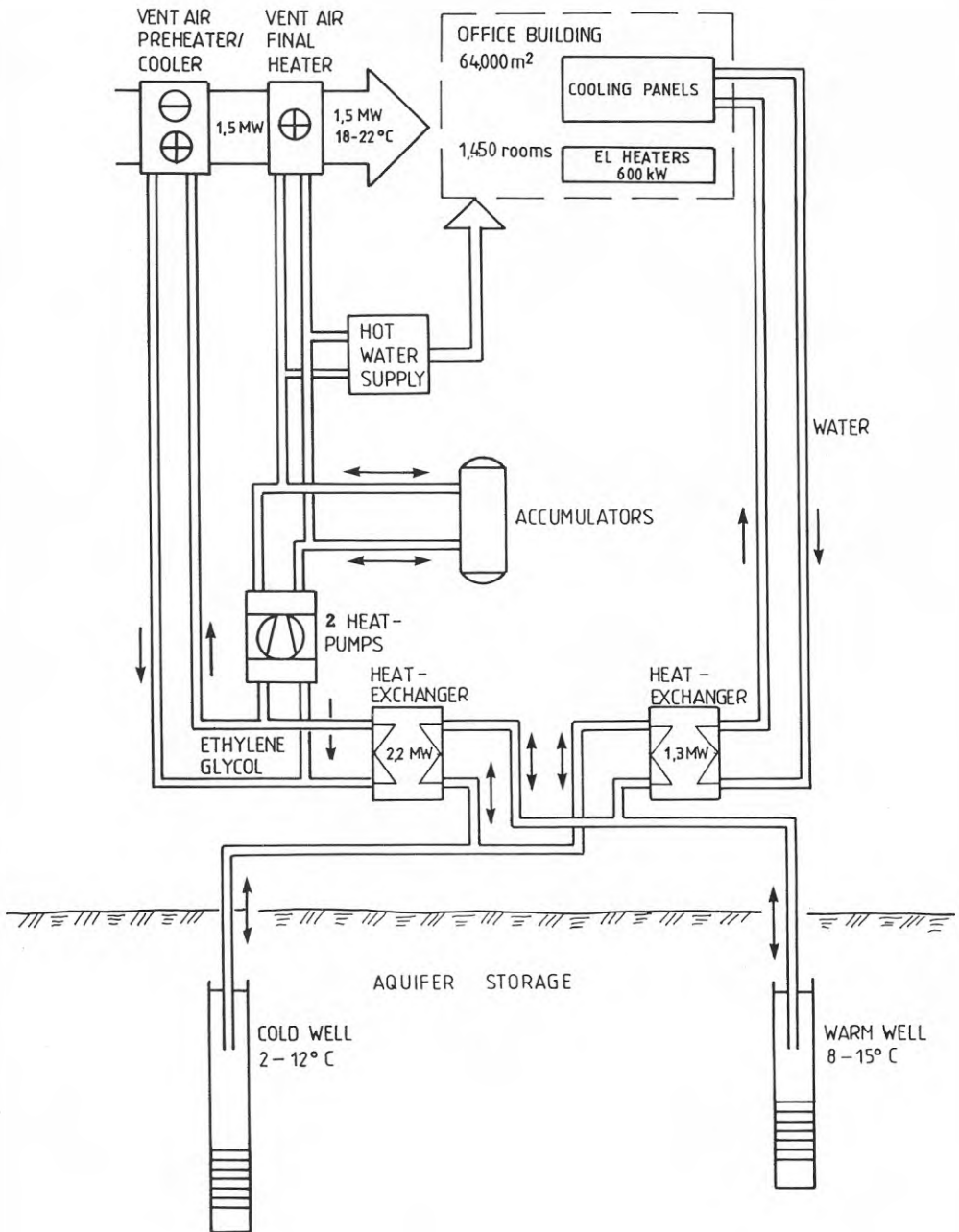
Ett principschema för de rörsystem som utgår från energicentralen visas i figur 4.2.

Glykolsystemet utnyttjas för värmetransport på tre olika sätt. Det överför värme mellan grundvatten och tilluft, från grundvatten till värmepumpar samt från tilluft till värmepumpar eller grundvatten. Det senare fallet innebär således kylning av tilluft.

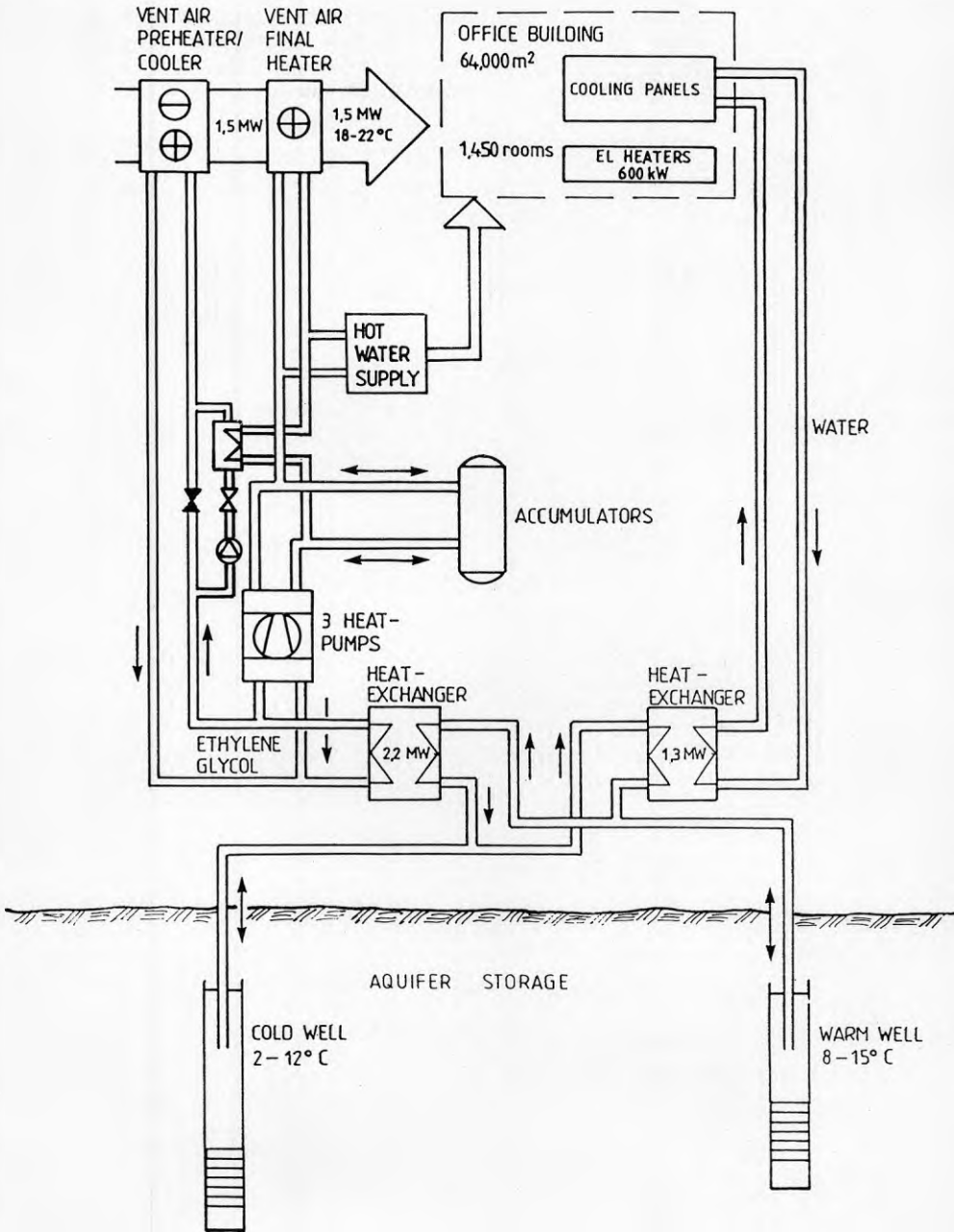
4.3.1 Förvärmning av ventilationsluft

Från grundvattenvärmeväxlare i energicentralen distribueras lågtemperaturvärme till de 7 tilluftaggregat där förvärmning förekommer. Värmeväxlaren betecknas "2.2 MW" på figur 4.2. Luften värms vid dimensionerande utetemperatur till lägst +5°C. Glykoltemperaturen fram/retur är då 11/0°C.

För att överföra värmeeffekt från eftervärmningsbatterierna till förvärmarna har under idrifttagningstiden komplettering skett med en mindre värmeväxlare. Denna överför värme från värmesystemet till glykolsystemet, se figur 4.3.



Figur 4.2 Principschema för energicentral och distributionssystem



Figur 4.3 Principschema för energicentral och distributionssystem efter kompletteringar 1988/89

Glykolkretsen styrs så att en mindre cirkulationspump normalt arbetar på dagtid. Vid utetemperaturer under -10°C skiftas till en större pump. De reglerventiler som finns vid de 7 förbrukarna är helt öppna vid förvärmning. Flödet "stryps in" en gång för alla med hjälp av s k injusteringsventiler.

Förvärmning med grundvatten startas när utetemperaturen är lägre än 5°C eller när värmepumparna arbetar. Förvärmningstemperaturen regleras ej, däremot regleras grundvattenflödet så att flödet är lika på vardera sidan av värmeväxlaren. Denna reglerprincip är av stor betydelse för att undvika onödig grundvatten-cirkulation och därav följande uttradering av temperaturskillnaden i akviferlagret.

Glykolsystemet finns i byggnadens källarplan och har vid förvärmning en största kapacitet uppgående till 35 l/s och 1500 kW vid $11/0^{\circ}\text{C}$.

4.3.2 Kylning av ventilationsluft

Glykolsystemet utnyttjas sommartid för kylning och avfuktning av inkommande ventilationsluft. Cirkulationen sker på samma sätt som i värmefallet men vätskan kyls av kallt grundvatten i samma värmeväxlare. Vid samtidig drift med värmepumparna tas kyla i första hand från dessa.

Kylning av tilluften kan ske i samtliga 10 tilluft-aggregat. Reglerventiler vid respektive aggregat öppnar så att erforderlig kyleffekt nås. Glykolflödet varierar med kylbehovet.

De lokaler som utnyttjar returluft kyls i första hand genom ökad uteluftandel och i andra hand med kyla via glykolsystemet. Inblåsningstemperaturen är här aldrig lägre än 15°C . Till kontorsrummen är inblåsningstemperaturen konstant $20-22^{\circ}\text{C}$ vilket innebär att större kyleffekter blir aktuella först vid utetemperaturer över 20°C , dvs under en kort tid av året.

Grundvattenkylningen startar om returtemperaturen på glykolsystemet blir högre än 12°C . Därefter styrs grundvattenflödet så att utgående grundvatten är konstant (16°C). Glykolen får då en temperatur som överstiger grundvattentemperaturen med ca 1.0°C . Dimensionerande temperaturer på glykolsidan är fram/retur $11/17^{\circ}\text{C}$ motsvarande 560 kW vid största flödet 24 l/s.

För denna driftform är systemets kapaciteter rikliga eftersom driften vid förvärmning är dimensionerande.

4.3.3 Köldbärare till värmepumpar

Samtidigt med värmepumparna arbetar en glykolcirkulationspump i en delvis parallell krets till den tidigare beskrivna kretsen till tilluftaggregaten. Denna andra krets utgör köldbärare till de 3 värmepumparna. Kapaciteten är 730 kW vid 17 l/s och 11/0°C.

4.3.4 Glykolsystemets uppbyggnad

Den cirkulerande lösningen består av 20 % etylenglykol i vatten samt med glykolen levererade korrosionsinhibitorer m m. Glykoltillsatsens funktion är att förhindra frysning med sprängverkan vid störningar. En högre halt skulle ha medfört fullständigt skydd mot frysning men också försämrade transport och överföring av värme.

Det slutna rörsystemet som endast finns i källarplanen är byggt i olegerat stål, tryckklass PN 10. Expansion sker i ett slutet stålkärl med gummiblåsa. Systemet är avsäkrat med dubbla säkerhetsventiler vid expansionskärllets konstruktionstryck 6 bar.

4.4 Värmesystem

De värmesystem som utgår från energicentralen består av glykolsystemet för förvärmning av inkommande uteluft (se 4.3) och ett mer konventionellt system främst för eftervärmning av tilluft vilket beskrivs nedan. Detta system matas med värme från värmepumparna. De installerade elpannorna är endast avsedda som reserv.

Normalt brukar man anse att det inte är ekonomiskt att dimensionera värmepumpar för hela effektbehovet. Förvärmningssystemet gör emellertid att förutsättningarna blir ovanligt gynnsamma. Orsaken är att förvärmarnas avgivna effekt ökar markant vid låga utetemperaturer. Som en följd av detta är belastningsökningen på eftervärmningssystemet vid låga utetemperaturer mindre accentuerad än normalt. Dessutom stängs markvärmen vid entréer av vid låga utetemperaturer. Detta sammantaget gör att utnyttjningstiden för den installerade värmepumpkapaciteten blir hög.

Värmesystemet överför värme från värmepumpar och vid störningar från elpannor, lagrar värmen i ackumulatörer samt distribuerar värmen till byggnadens olika förbrukare, se figur 4.2.

4.4.1 Värmepumpar och ackumulatorer

De tre värmepumparna har installerats i två omgångar. Först installerades 2 st Stal Refrigeration VRP 55E med CFC 12 som arbetsmedium. När effektbrist konstaterats installerades 1988/89 ytterligare en likadan maskin dock med det för atmosfären mindre skadliga arbetsmediet CFC 22. Värmeeffekterna är ca $330 + 330 + 460 = 1120$ kW.

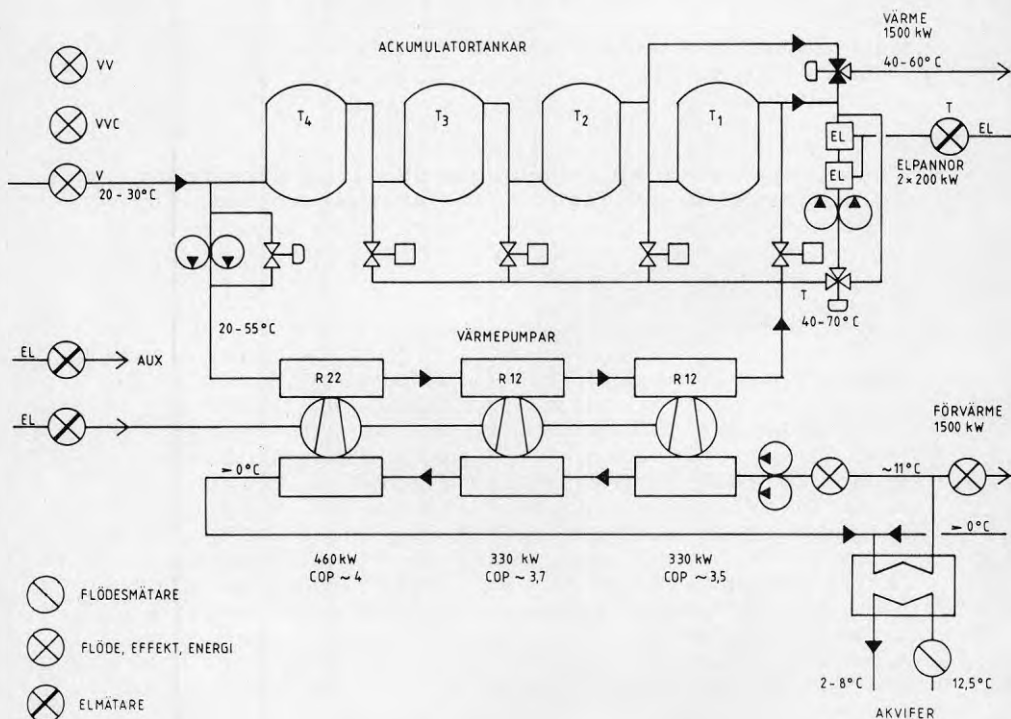
Värmepumparna är seriekopplade såväl på värme- som köldbärarsidan, se figur 4.4. Värmebärarflödet styrs inom intervallet 10-15 l/s så att den aktuella framledningstemperaturen för värmesystemet eftersträvas också ut från värmepumparna. Detta flöde leds till en av de fyra ackumulatortankarna. Temperaturen ut från värmepumparna jämförs med tankarnas temperaturer. En ventil vid den tank där vattnet har något lägre temperatur öppnas.

Systemet medför ett antal fördelar:

- Antalet starter för värmepumparna minimeras eftersom ackumulatorerna tillgodoser behoven när värmepumparna står.
- Seriekopplingen medför att temperaturhöjningen i varje värmepump minskar och därmed elförbrukningen.
- Värmepumparna kan tidvis leverera vatten av lägre temperatur utan att späda ut vatten av högre temperatur i tankarna.
- Kapacitetsreglering av värmepumparna erfordras endast vid begränsande temperaturer på köldbärare (0°C) eller värmebärare (48°C/70°C).
- Möjlighet att utnyttja lågpristaxa för el.

Akkumulatorerna utgörs av 4 st stående cylindriska tankar om $4 \times 50 \text{ m}^3$. Lagringskapaciteten är max 7 MWh.

Värmepumparna styrs med hänsyn till laddningstillståndet i ackumulatorerna och framledningstemperaturen. Energiinnehållet (laddningstillståndet) i ackumulatorerna mäts med 2 temperaturgivare per tank och beräknas relativt 30°C. Framledningstemperaturen beror av utetemperaturen och beskrivs på konventionellt sätt.



Figur 4.4 Principschema för värmeproduktionsanläggningen

Värmepumparna stoppas när laddningsfaktorn 135 uppnås och minst en tank har en temperatur överstigande 53°C. Detta senare för att trygga varmvattenförsörjningen sommartid.

Vid högt eleffektuttag i huvudställverket stoppas värmepumparna i två steg för att begränsa effektagifterna. Värmepumparna är den enda enhet som styrs av fastighetens totala effektuttag.

4.4.2 Elpannor

De två elpannorna om 2 x 200 kW är avsedda som reserv vid värmepumphaverier. En panna startas automatiskt vid larm från någon värmepump. Nattetid kan båda elpannorna starta vid låg energinivå i ackumulatortankarna. Övrig drift av elpannorna sker genom manuell start.

Värme från elpannorna tillförs den varmaste ackumulatortanken med en fast inställbar temperatur (70°C). Ackumulatorerna och dessas expansionssystem är dimensionerade för 120°C vilket möjliggör en omfattande "elackumulering".

4.4.3 Värmedistribution

Värmesystemet betjänar främst eftervärmare i tilluft-aggregaten samt markvärme vid entré och lastgata, viss värmning i källarplanen. Värmning av 190 000 m³ ventilationsluft/h från +5°C utgör den helt dominerande förbrukaren när ventilationen är i drift. Systemet är helt konventionellt med en utetemperatur-kompenserad framledningstemperatur av 30-60°C. Flödet styrs av förbrukarna med hjälp av 2-portsventiler. Temperaturen regleras i 2 st treportsventiler så att returvatten, vatten från den näst varmaste tanken och vatten från den varmaste tanken blandas i nämnd ordning vid ökande temperaturbehov. På detta sätt sparas övertempererat vatten i en tank för att möta behovet senare under dagen. Effektkapaciteten är 1500 kW vid 60/30°C och 12 l/s.

4.4.4 Beredning av tappvarmvatten

Tappvarmvatten bereds i 2 st seriekopplade värmeväxlare. Värmevatten tas på liknande sätt som till värmesystemet från de två varmaste ackumulatortankarna via en blandningsventil som ger en lägsta temperatur av 50°C. Flödet av värmevatten regleras så att tappvattentemperaturen blir den önskade, 45°C. Värmeväxlarnas yta är så avpassad att utgående värmevatten kyls till en temperatur som är 5 grader över inkommande kallvattentemperatur.

För att uppnå detta är en plattvärmeväxlare mest ekonomisk. Plattvärmeväxlare kan emellertid läcka vid de stora temperaturväxlingar som kan bli aktuella vid tappvarmvattenberedning. För att utjämna dessa temperaturväxlingar har en rörvärmeväxlare seriekopplats i motström så att endast lägre och mindre variabla temperaturer når plattvärmeväxlaren.

Det cirkulerande varmvattenflödet VVC leds in mellan de två växlarna vilket bidrar till att öka värmevattnets avkylning i plattväxlaren. Kapacitet 3.5 l/s vid 45°C.

4.4.5 Värmeöverföring till glykolsystem

Under idrifttagningen konstaterades att tilluftaggregatens eftervärmningsbatterier var dimensionerade så att en värmevattentemperatur av 55-60°C erfordras under nästan hela uppvärmningssäsongen. Den planerade kurvan för framledningstemperaturen på värmevattnet kunde inte användas. För att minska temperaturbehovet i värmesystemet vid utetemperaturer över lägsta utetemperatur kompletterades anläggningarna med en mindre värmeväxlare som överför värme till glykolsystemet och därmed förvärmarna. Växlaren tar värme från värmesystemets retur, ca 30°C, och överför den till ett delflöde av glykolflödet, se figur 4.3.

Värmeöverföringen regleras så att glykolens nominella temperatur 11°C upprätthålls vid dimensionerande utetemperatur. Vid högre utetemperaturer ges glykolen en högre temperatur varvid värmesystemets temperatur kan tillåtas falla enligt den ursprungliga reglerkurvan. Denna värmeöverföring belastar förvärmarsystemet och undantränger i viss mån den direkta förvärmningen från grundvattnet. Vid låg last är denna negativa effekt marginell men vid hög last är grundvattnets effekttillskott värdefullt. Detta är orsaken till den "omvända" regleringen av denna funktion.

Överföringskapaciteten är 500 kW varvid värmesystemets returvatten kyls från nominella 30 till 20°C. Lagrets drift eller kapacitet påverkas inte av denna förändring.

4.4.6 Värmesystemets uppbyggnad

Det cirkulerande mediet består av kommunalt vatten utan tillsatser. Det i övrigt slutna systemet har 2 st öppna expansionskärl med skyddsfilm mellan vatten och luft. Systemet som endast finns i källarplanen är byggt i olegerat stål med klenare armatur och värmeytor i mässing och koppar. Systemet är avsäkrat vid ackumulatortankarnas konstruktionstryck 4 bar. Som extra säkerhet är varje tank försedd med separat säkerhetsventil. Orsaken är att vid vissa ventillägen kan cirkulationspumparnas tryck adderas till det statiska varvid tankarna utsätts för större tryck än det som huvudsäkerhetsventilerna vid elpannorna öppnar för.

4.5 Kylsystem

Kylsystemet erhåller kyla från grundvattnet via en plattvärmväxlare i energicentralen. Denna betecknas "1.3 MW" i figur 4.3. Kylan distribueras till kylkonvektorer i undertaket i varje kontorsrum. Dessutom kyls datorrum, televäxelrum och kylmaskiner för kök m m.

Förbrukarna av kyla styr flödet i systemet med 2-portsventiler. Systemet är i drift kontinuerligt men pumpkapaciteten anpassas i tre steg beroende på utetemperaturen. Framledningstemperaturen är normalt 14°C. Vid fuktiga sommarförhållanden höjs temperaturen till uteluftens daggpunkt plus 1 grad för att undvika kondens. Under sommaren 1988 och -89 reglerades temperaturen med hänsyn till den våta temperaturen.

Det cirkulerande mediet består av kommunalt vatten utan tillsatser. Det slutna rörsystemet är byggt i olegerat stål, tryckklass PN 10. Expansion sker i ett slutet stålkärl med gummiblåsa. Systemet är avsäkrat med säkerhetsventil vid expansionskärllets konstruktionstryck 6 bar.

Systemet är dimensionerat för 80 l/s vid 14/18°C vilket ger en största kyleffekt av 1300 kW.

5. DET AKVIFERBASERADE VÄRMELAGRINGSSYSTEMET

5.1 Markens tillgänglighet

Brunnar och ledningar har fritt kunnat placeras inom SAS-kontorets tomt. Den södra brunnen ligger dock utanför SAS-fastigheten. För denna brunn med tillhörande ledning har träffats särskild överenskommelse mellan SAS och markägaren Solna kommun.

Brunnen inom Solna kommuns markområde har ej fått en optimal placering från kapacitetssynpunkt och har lägst kapacitet av de fem brunnarna. Brunnen är dock betydelsefull eftersom den medger ett utnyttjande av en akvifervolym söder om kontoret.

En viss begränsning av möjligheterna att placera brunnarna följde med valet att utnyttja sugledningarna eftersom den nedschaktade sugledningen ej kan ligga för djupt, dvs marknivån ej får ligga för högt över grundvattenytan. Högst ligger marknivån vid de kalla brunnarna där den ligger mellan nivån +8 och +10 m.

5.2 Lagervolymer och brunnsplaceringar

Akviferlagret utgöres av en sand- och grusfylld bergdal i nord-syd med en sadelpunkt i kontorets södra del, dvs bergdalen breddas och fördjupas både mot norr och söder. Grundvattendjupet i bergdalen varierar enligt utförda rörborrningar mellan 10 m och 15 m vid sadelpunkten och över 20 m vid norra och södra delen. På de vattenförande lagren (akviferen) finns 5-10 m isolerande jordlager bestående av grus och sand som i vissa delar täckes av lera och fyllning.

Lagervolymer mellan de två yttersta (varma) brunnarna, dvs volymen sand och grus under grundvattenytan mellan dessa brunnar, kan beräknas till ca 600 000 m³ (100 x 400 x 15). En viss deltagande lagervolym finns även utanför dessa brunnar varför den utbyggda lagervolymer för själva SAS-lagret kan beräknas till 800 000 m³. Den utbyggda lagervolymer kan definieras som den sammanlagda akvifervolym där grundvattnet sätts i rörelse vid grundvattencirkulation mellan varma och kalla brunnar.

Inom Frösundaviksområdet finns dock en total akvifervolym på ca 1.5 milj m³ om man även räknar in volymen utanför den med nuvarande brunnsystem tillgängliga (utbyggda) lagervolymer.

Brunnsplaceringen var föremål för flera överväganden. I idéstudien skissades på en större varm pol vid nuvarande dammen och en kall pol i söder (där de tre

i drift varande kalla brunnarna ligger) samt en kall pol nordväst om den varma polen.

På grund av att de planerade datahallarna, som skulle ligga intill E4 i norra delen, ej byggdes blev den norra kalla polen ej utbyggd. Det eftersträvades även att placera brunnarna så långt från Brunnsviken som möjligt för att minska risken för saltvatteninträngning. Därför utplacerades en kompletterande varm pol söder om kontoret.

De olika brunnarnas slutliga placering framgår av figur 5.1

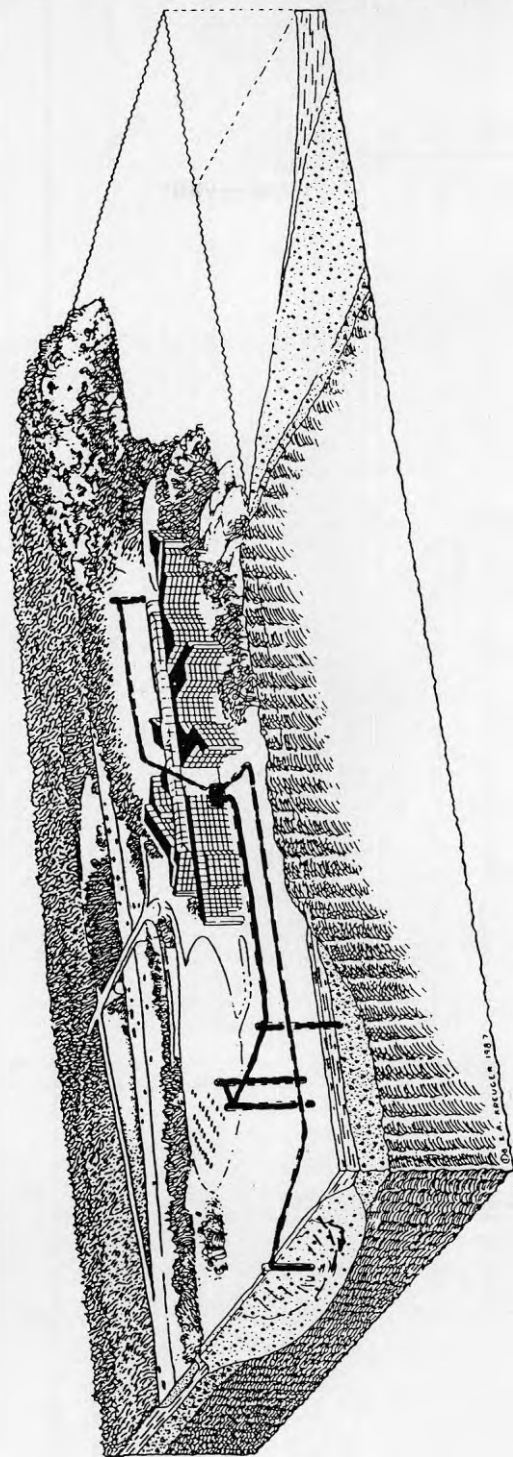
Av figuren framgår även att de varma brunnarna ej går ner lika djupt i akviferen som de kalla, vilket även framgår av figur 5.2, som är en längdprofil genom lagret.

De tre kalla brunnarna har en placering av de 4-5 m långa silarna så nära botten av akviferen som möjligt med hänsyn till jordlagrens genomsläpplighet. Silarna är placerade mellan nivåerna -15.2 och -19.2, -11.0 och -16.0 samt -12.3 och 17.3, dvs silrören är 4 respektive 5 m långa.

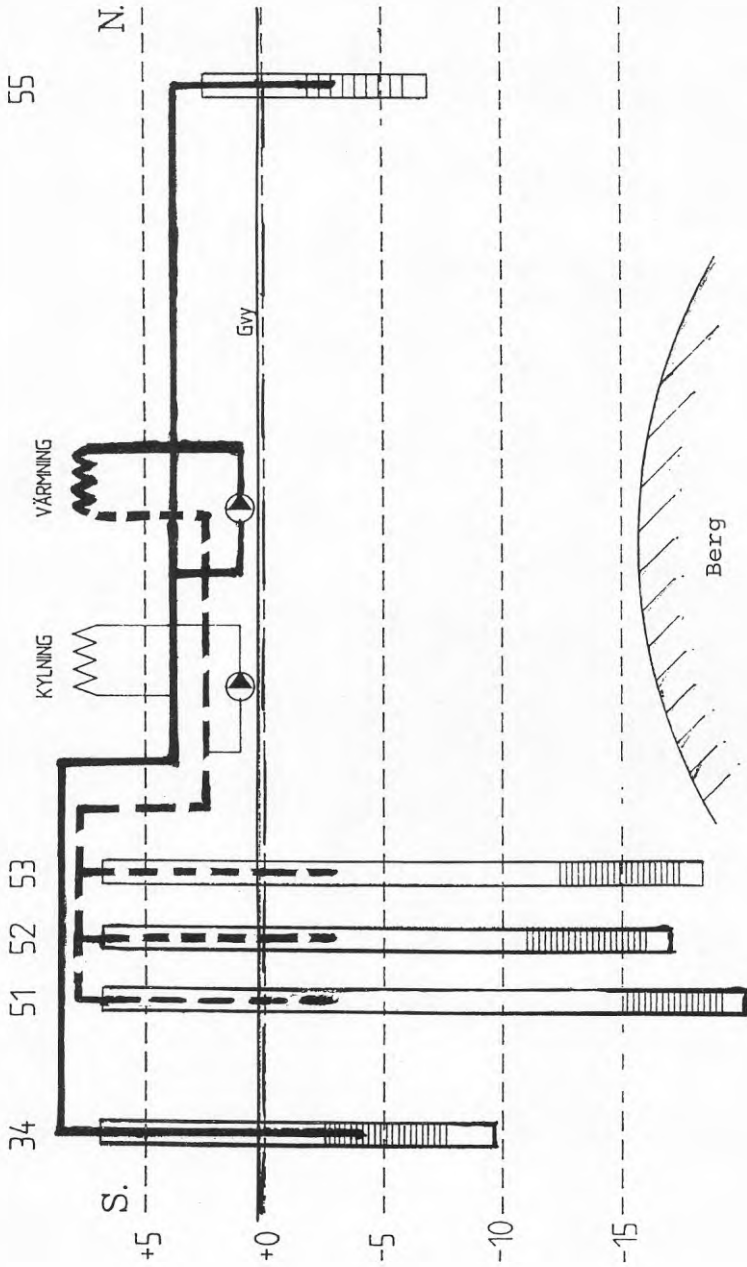
De två varma brunnarna har en placering av silarna så nära grundvattenytan som möjligt med hänsyn till avsänkningen vid stora uttag. Södra brunnens sil är placerad mellan -2.6 och -7.6 och norra brunnens sil mellan -1.9 och -5.9, dvs silrören är 5 respektive 4 m långa. Med tanke på den ringa avsänkningen (3 cm) vid uttag av 100 l/s kunde silrörets överkant ha placerats på 1.4 m högre nivå eller på nivån -0.5 (medelvattenstånd i Brunnsviken -0.33) i den norra varma brunnen.

5.3 Temperaturmätningar

Med hjälp av temperaturmätningar i observationsrör kan såväl i plan som i profil uppmätas hur stor del av den utbyggda akvifervolymen som utnyttjas. För att lära känna akviferens naturliga temperaturförhållanden mättes under ett år ett 15-tal rör med 1-2 månaders intervall. Dessa mätningar finns redovisade av /Lidström K, 1989/.



Figur 5.1 Brunnarnas placering kring SAS-kontoret



Figur 5.2 Längdprofil genom akviferlager

5.4 Värmelagrets installationer

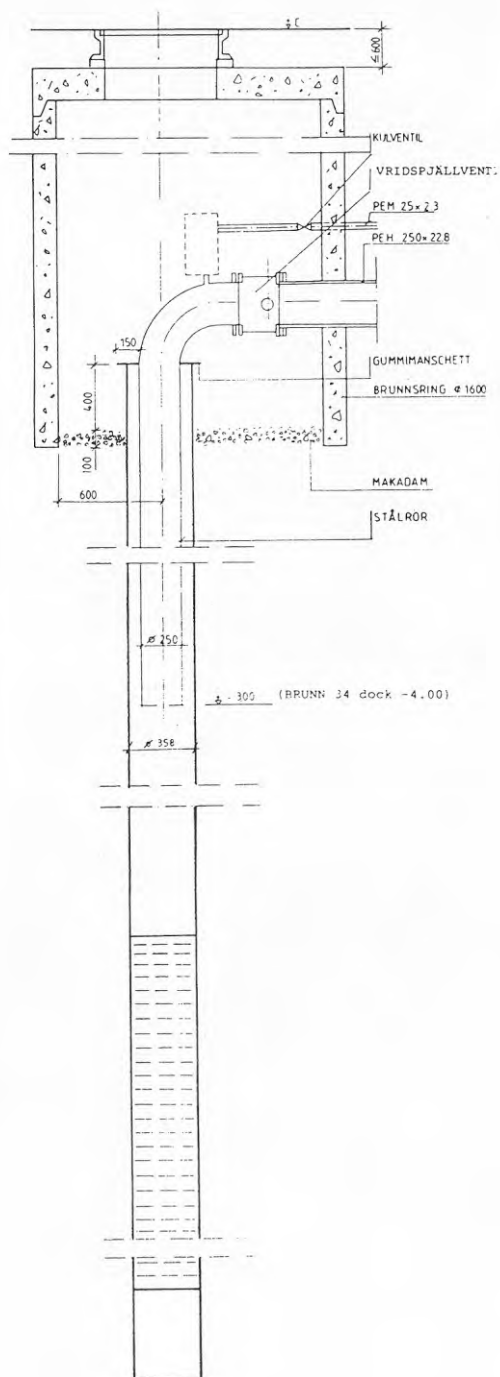
De fem brunnarna har silrör av olika längd, 4-5 m, alla med diametern 350 mm. Slitsvidden i silrören är 2 mm utom i den norra varma brunnen där den är 3.6 mm. beroende på omgivande material. Silrörens nedre del är förlängda upp till brunnsöverbyggnaden med ett syrafast stålrör av samma diameter, se figur 5.3.

I brunnsrören är ett syrafast stålrör med diametern 250 mm nedstuckat så att vatten kan sugas upp alternativt levereras under vattenytan i brunnen. Rören är öppna förbundna med brunnarna för att förhindra att hydrauliska tryckslag skall påverka grusfiltret utanför silröret. Brunnsöverbyggnaderna är av enkelt utförande med betongringar och gjutjärnsbetäckning i mark, se figur 5.3.

I varje brunn finns en avstängningsventil och en avluftningsanordning. Markledningarna till och från brunnar och energicentral är utförda i svetsad polyeten i tryckklass PN 10. Den höga tryckklassen har valts för att klara de tryckslag som kan uppkomma i rörsystemet. Högpunkter i rörsystemet är avluftade och anslutna till ett vakuumsystem så att ledningarna alltid är fyllda.

I brunnarna finns således inga pumpar eller ventiler för omkastning av flödesriktning el dyl. Som en förberedelse för oförutsedda åtgärder i brunnarna finns ett tomrör med diametern 25 mm till varje brunnsöverbyggnad i vilket t ex en elkabel kan dragas.

Pumparna som cirkulerar grundvattnet är placerade inomhus i energicentralen på nivån +1 m. Grundvatten cirkuleras genom två värmeväxlare som betjänar kyltaks-kretsen respektive glykolkretsen, se kap 3. Var och en av dessa kretsar har en varvtalsstyrd pump med kapaciteten ca 55 l/s samt ytterligare en likadana pump med fast varvtal som reserv. Flödet styrs via varvtalet så att önskade temperaturer upprätthålls i distributionssystemen. Grundvattenflödet begränsas så att det inte överstiger flödet på värmeväxlarnas andra sida. Den totala kapaciteten för cirkulation av grundvatten är 190 l/s. Härav avsågs 60 l/s användas för kylning av den tidigare planerade dataanläggningen.



Figur 5.3 Grundvattenbrunnar, principutförande

5.5 Inlagring och uttag från brunnar

Det kalla vattnet har om det lagras in i botten på akviferen inte någon annanstans att taga vägen än att ligga kvar kring de kalla brunnarna. Någon risk för att den regionala grundvattenströmmen skulle föra bort kylan ansågs ej föreligga eftersom det var känt att akviferen i södra delen ligger i en sänka i berget. Vattenkemiska analyser vid rekognoseringsborrningarna visade också ett något mer stagnant vatten i botten på akviferen i denna del med högre salthalt än vid ytan och viss järn- och manganhalt.

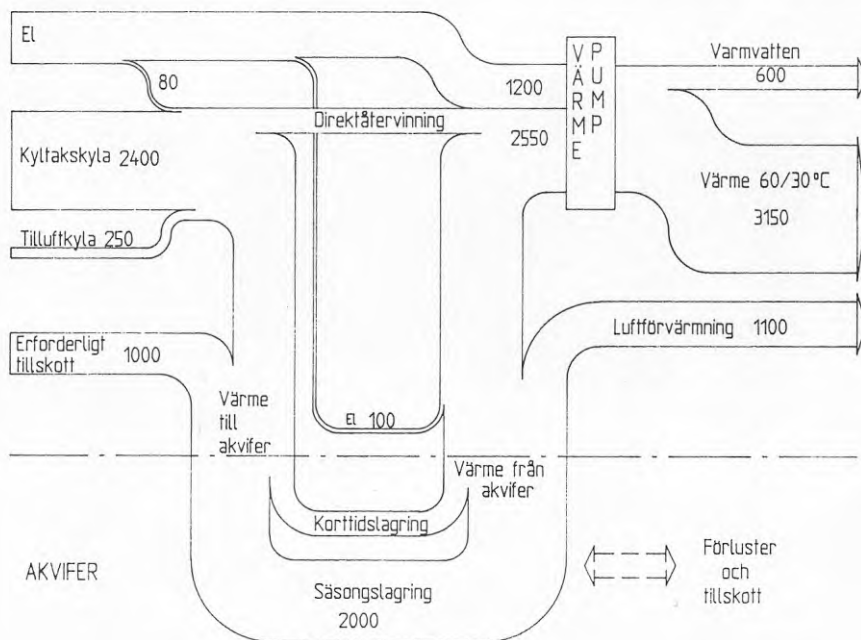
En osäkerhet förelåg om hur det uppvärmda grundvatt-net skulle bete sig i akviferen efter inlagring. Dels är det känt från grundvattenströmning i grus-åsar att vattenomsättningen är störst i det ytliga grundvattenlagret, dels fanns risken att det inlagrade varma vattnet tämligen snabbt skulle flyta ut som ett tunnare lager närmast grundvattenytan och ej gå att återvinna.

6. VÄRME- OCH KYLBEHOV

Energianläggningen utformades efter den specifikation VVS-projektören upprättade 1986. I samband med idrifttagningen konstaterades en värmeeffektbrist.

En ny specifikation upprättades 1988. Med det nya värmebehovet för båda systemen, 4850 MWh/år i stället för 3300 MWh/år, uppstår en obalans i akviferlagret om ca 1000 MWh/år. Under idrifttagningen konstaterades att kylbehovet för data och kökskyla var större än projekterat. Ett energiflödesschema med de beräknade värmebehovsvärdena visas i figur 6.1. Här har kylbehoven räknats upp så att balans uppnås i akviferlagret.

1988-02-10
SAS FRÖSUNDAVIK, Energiflöden genom energicentralen (MWh/år)



Figur 6.1 Planerade årliga energiflöden genom energicentralen

Elprojektören upprättade 1986 en förteckning över den planerade elförbrukningen.

Tabell 6.1 Planerad elförbrukning

Objekt	Effekt kW	Energi MWh/år
Energicentral (2 värmepumpar)	250	1 200
Byggnaden:		
- Elvärme	350	1 070
- VVS	450	1 950
- Hissar m m	220	80
- Styransläggningar	100	600
Verksamheten:		
- Kontor, kont.drift	220	1 910
- Kontor, dagdrift	1 430	4 290
- Kök	320	190
- Pool	20	60
- Ytterbelysning	<u>20</u>	<u>60</u>
Summa	3 650	11 500

En jämförelse mellan figur 6.1 och tabell 6.1 visar att förbrukningen av el för det akviferbaserade energisystemet planerades till ca 10 % av hela förbrukningen. Vidare kan det noteras att av tillförda 11 500 MWh el planerades endast 2400 MWh kylas bort med kylsystemen (sol- och personvärme oräknat). Motorvärmare på parkeringen som tillkommit senare omfattas inte av tabell 6.1.

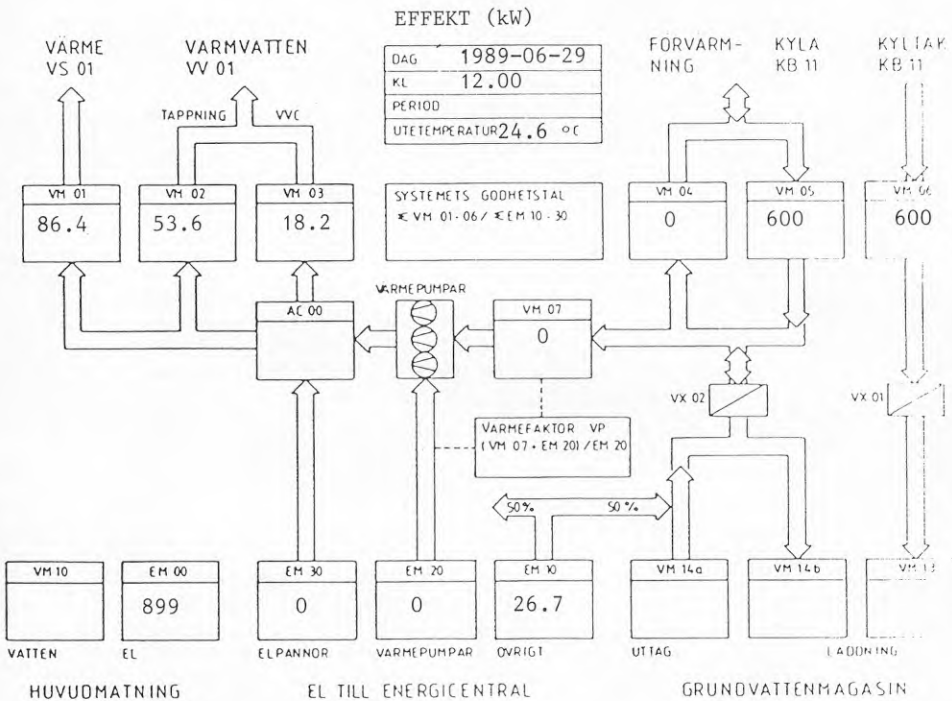
Den årliga kostnaden för tillförd el beräknades 1986 till 3.3 Mkr varav alltså 1/10 avsåg energicentralen. I samband med 1988 års specifikation (3 värmepumpar) beräknades energicentralens förbrukning till 1400 MWh/år motsvarande 460 kkr/år (1988 års elpris).

7. MÄTSYSTEM

Inom byggnaden sker mätningar med fast installerad utrustning vanligen ansluten till fastighetsdatorn. Denna utrustning utnyttjas i detta projekt.

Mätningar i marken sker med portabel utrustning och har beskrivits i BFR-projekt 861049-5, Institutionen för Vattenbyggnad vid KTH, jfr /Johansson, 1989/.

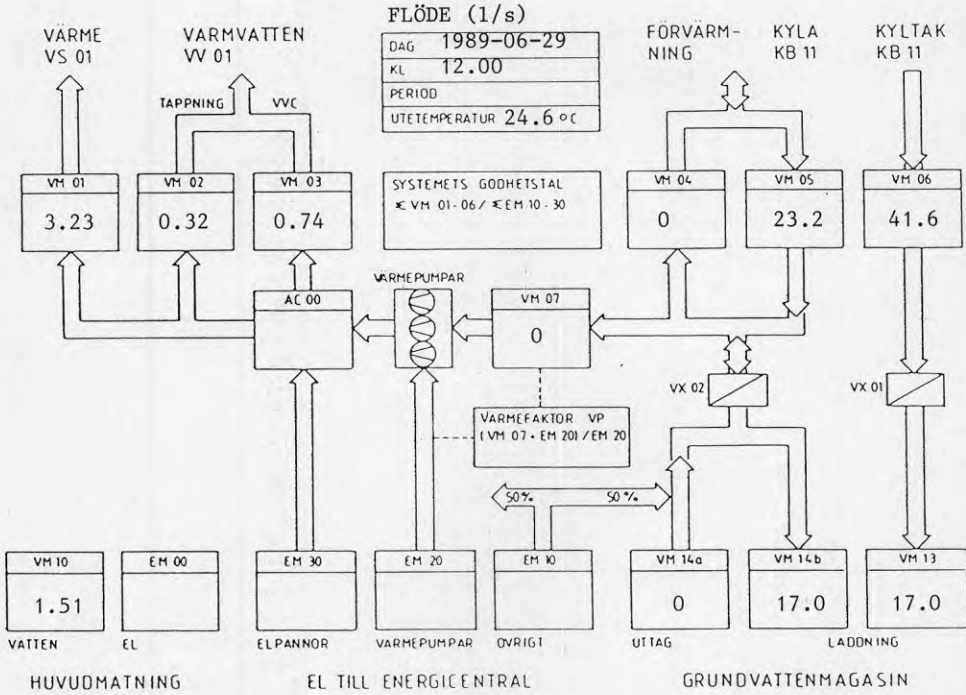
Mätningarna i byggnaden omfattar en stor mängd givare. De som i första hand avses utnyttjas i utvärderingsprojekt visas på figurerna 7.1-7.3.



Figur 7.1

Mätare för effekter

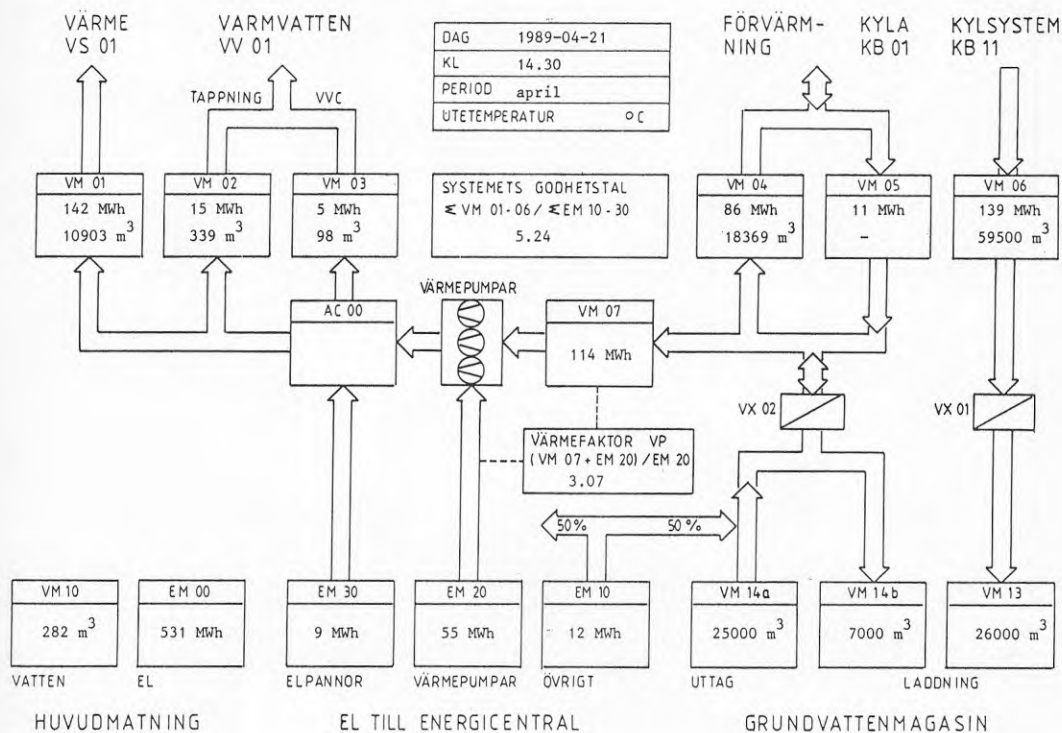
Ex: den 26 juni 1989, kl 12.00, utetemperatur 24.6 °C, molnfri himmel, grundvattentemperatur 9 °C in och 17 °C ut.



Figur 7.2

Mätare för flöde

Ex: den 26 juni 1989, kl 12.00, utetemperatur 24.6 °C, molnfri himmel, grundvattentemperatur 9 °C in och 17 °C ut.



Figur 7.3 Akkumulerade energi- och vätskemängder

Som mått på anläggningens energieffektivitet har, enligt förslag från prof Enno Abel, CTH, införts begreppet godhetstal som definieras

$$\text{godhetstal} = \frac{\text{producerad kyla och värme}}{\text{tillförd elenergi}}$$

I detta fall fås den producerade energin genom summering av energimätarna VM01-VM06. Den tillförda elenergin fås genom summering av EM10-EM30, jfr figur 7.3.

Som framgår av figurerna presenteras flera signaler från varje givare. Figurerna 7.1 och 7.2 visar momentana förhållanden och utgör en del av underlaget för utvärdering av funktioner såsom kapaciteter, verkningsgrader, styrning och reglering m m. Bild 7.3 visar ackumulerade värden för produktion och förbrukning samt medelvärden av värmepumparnas värmefaktor

samt systemets godhetstal. De månadsvis och årsvis ackumulerade data som visas i Figur 7.3 kan användas för jämförelser bl a med andra fastigheter.

Mätgivarna består av konventionella vattenmätare (levererade av Armaturljonsson, typ AJ 7104, 7154, 7020 och 7164) kombinerade med temperaturgivare och integreringsverk (från samma leverantör). Där mätningar av små temperaturdifferenser sker, t ex i köldbärarsystemen, används givare av typ Pt-500 för att höja noggrannheten, annars används Pt-100-givare. Den totala onoggrannheten för varje enskild mätning bedöms vara max $\pm 5-10$ %. Det största mätfelet uppkommer i flödesmätarna när låga flöden förekommer.

Övriga mätare är förutom gängse termometrar och manometrar ett stort antal temperaturgivare i installationer och lokaler, utegivare för temperatur och fuktighet samt drifttidsmätare för roterande utrustning.

Mätarna installerades vintern 1987. Samtliga mätare var i funktion från 1989-04-01 med lokal indikering. Överföring till fastighetsdatorn blev färdig 1989-06-15. Effektvisning liksom flödesvisning är ännu ej tillförlitlig för momentana avläsningar. En hel del data av varierande kvalitet insamlades under hela driftperioden före dessa datum.

Som framgår av figurerna 7.1-7.3 mäts effekter, flöden och mängder på ett relativt heltäckande sätt i energicentralen. Likaså mäts byggnadens huvudmätningar av el och vatten. Däremot förekommer ingen separat mätning av olika förbrukare inom byggnaden utom vid energicentralen.

Manuella avläsningar av vissa mätare görs dagligen. Andra mätare avläses manuellt vid varje månadsskifte. Syftet med de dagliga avläsningarna är främst driftövervakning. De månatliga avläsningarna utgör reserv vid datorbortfall etc.

B. RESULTAT OCH ERFARENHETER FRAM TILL 1989-12-31

8. MÄTNINGAR

8.1 Byggande

Som framgår av föregående kapitel har den elektriska installationen av mätutrustningen pågått i ca två år, vilket är anmärkningsvärt eftersom sådana mätare rutinmässigt installeras t ex i fjärrvärmeundercentraler. Orsaken till den långa installationsperioden är alltså inte i första hand tekniska svårigheter utan prioritering och administration. Entreprenören har haft kapacitetsbrist och har därför tvingats prioritera anläggningsdelar som direkt berört fastighetens grundläggande funktioner. Eftersom energianläggningen fungerat tillfredsställande har inte projektsamordnaren eller fastighetsägaren bedömt det vara nödvändigt att prioritera mätanläggningen.

Vid driftstarten i februari 1987 fanns endast mekaniska mätare. Framst utnyttjades värmepumparnas drifttidsmätare och leverantörens data för effekter vid de relativt konstanta arbetsförhållanden som då rådde.

Från 1988-11-01 har flertalet energimätare varit möjliga att avläsa lokalt vilket givit utökad information.

8.2 Mätningar under byggtiden

Dagligen antecknades 7 temperaturer, 5 vätskemängder, 4 energimängder samt drifttider för värmepumpar. Dessutom markerades om elpannorna var i drift. Dessa uppgifter har tillsammans med övriga iakttagelser utvärderats i bilaga 8.1.

Ca 1.3 GWh togs under perioden från akviferen och ca 1.9 GWh tillfördes byggnaden.

8.3 Mätningar under idrifttagningsperioden

Data insamlades på samma sätt som tidigare. Data fram till 1988-11-16 har sammanställts och utvärderats i bilaga 8.2 och 8.3.

För den återstående tiden fram till 1989-03-31 har värmepumparna arbetat:

VP1, 2166 h + VP2, 1866 h + VP3, 734 h = 4766 h

Vid en medeleffekt av 220/330 kW har under perioden följande energimängder genererats:

Energimängd från akvifer: 1.1 GWh

Energimängd till byggnad: 1.6 Gwh

Total energimängd för perioden 87-02-18 till 89-03-31 blir då:

Från akvifer: 3.9 GWh

Till byggnad: 5.9 GWh

8.4 Mätningar med det planerade mätsystemet

Fastighetsdatorn har registrerat en hel del uppgifter från 1988 och framåt. Mätinsamlingen blev operationell i april 1989. Mätvärden från tiden före april 1989 är i några fall felaktiga eller tvivelaktiga eftersom omkopplingar m m skett i mätarna. Allteftersom riktiga mätserier erhålles efter mätanläggningens färdigställande kan man troligen avgöra vilka värden som är riktiga för tiden före 1989-03-31.

Som anges i inledningen kommer mätresultaten att presenteras och utvärderas i en särskild rapport. Här presenteras delar av det som hittills insamlats.

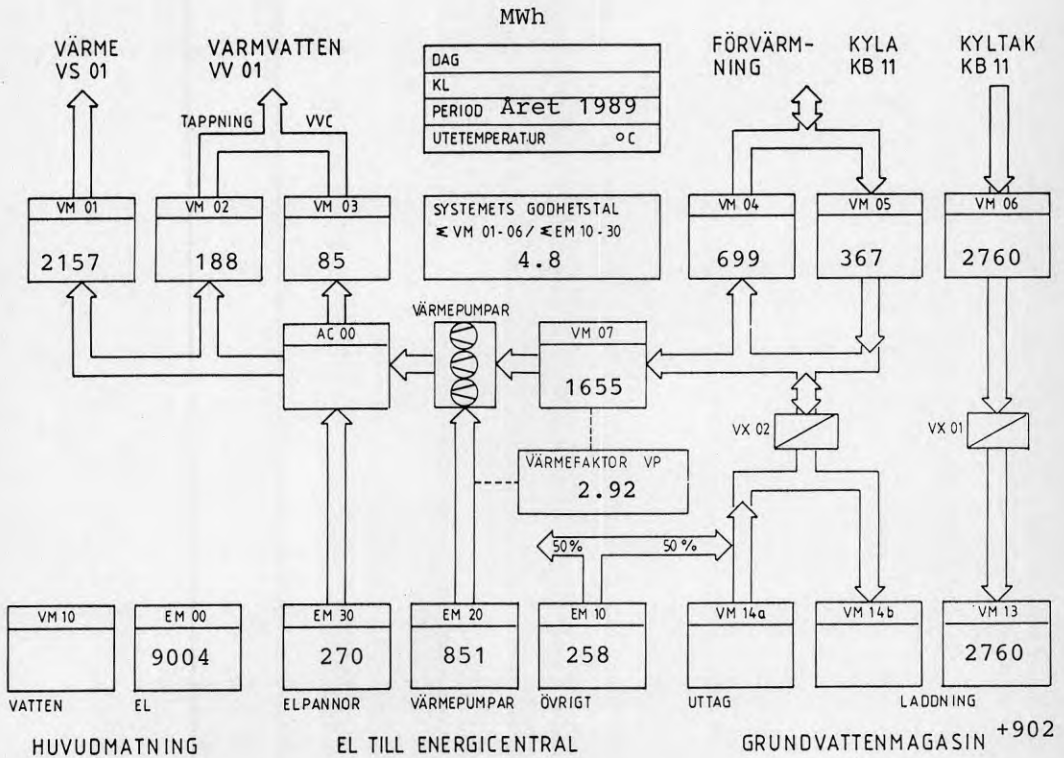
Bilaga 8.4 visar uppmätta energimängder för månaderna april t o m december 1989. Mätningarna visar en normal fördelning av värme med hänsyn till årstiden. Anmärkningsvärt är emellertid att kylkretsens last är ungefär konstant, dvs oberoende av utetemperaturen. Den kyleffekt som är beroende av utetemperaturen är således liten. Figur 8.1 visar uppmätta energimängder för kalenderåret 1989.

I figur 7.1 och 7.2 visar momentana värden en varm sommar dag i juni. Båda kylkretsarna arbetade vid det tillfället med 17 l/s och ca 600 kW kyleffekt. Den maximala kapaciteten är 55 respektive 80 l/s. Detta visar att både grundvattentemperaturen och kylasten kan tillåtas öka avsevärt. Elförbrukningar för att kyla med effekten 1200 kW är endast 26.7 kW inklusive samtliga cirkulationspumpar i grundvatten- och kylkretsar.

Figur 8.2 visar nettovärmefaktorn för samtliga värmepumpar. Resultaten är relativt väl samlade runt värdet 3. Detta är dock några tiondelar under förväntat

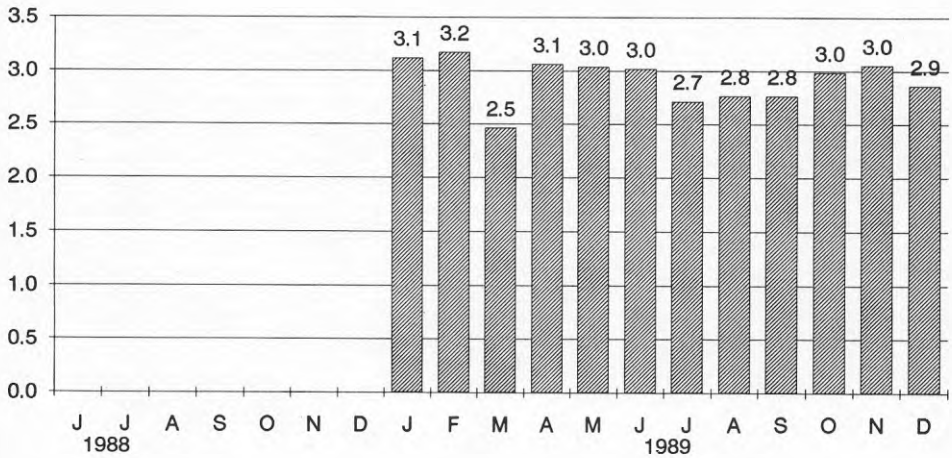
resultat. Figur 8.3 visar godhetstalet månadsvis. Godhetstalet definieras som till byggnaden levererad värme och kyla dividerat med total elförbrukning för energicentralen. Godhetstalet närmar sig vintertid värmefaktorn för värmepumparna men når sommartid höga värden eftersom kylningen kräver så litet yttre energitillförsel med detta system.

I figur 8.4 har de månadsvisa medelvärdena för värmefaktor och godhetstal avsatts mot månadens medeltemperatur utomhus. Diagrammet visar att värmepumpdriften är relativt oberoende av utetemperaturen medan godhetstalet som påpekats ovan är mycket beroende av andelen kyla eller värme.



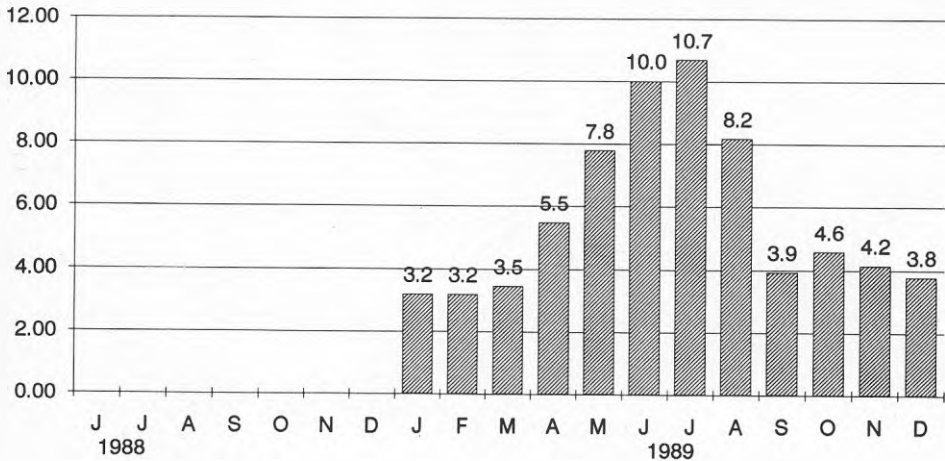
Figur 8.1 Ackumulerade energimängder kalenderåret 1989.

SAS AKVIFERLAGER 1988-1989
Värmefaktor

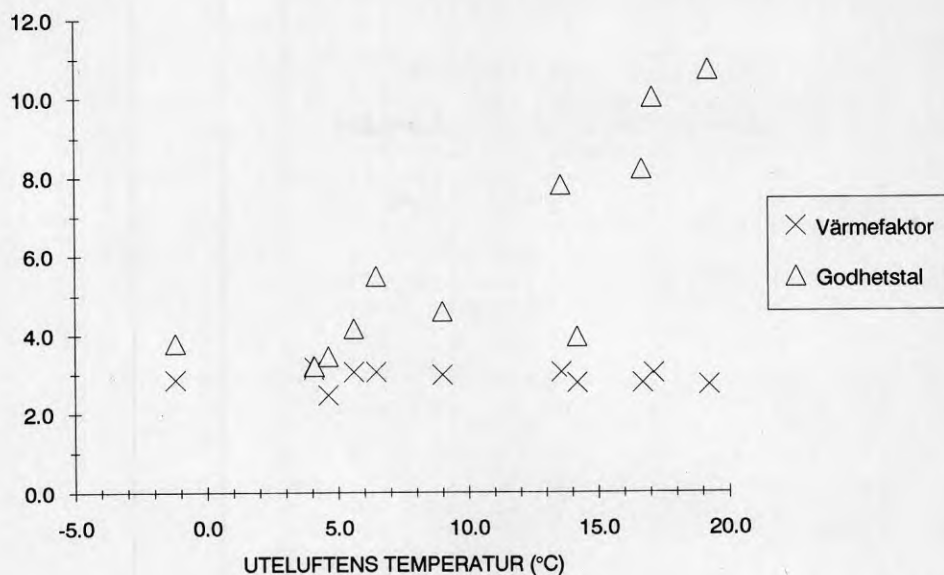


Figur 8.2 Månadsvisa medelvärmefaktorer utan hänsyn till cirkulationspumpar o dyl

SAS AKVIFERLAGER 1988-1989
Godhetstal



Figur 8.3 Månadsmedelvärden av godhetstalet (producerad kyla och värme dividerat med tillförd el)



Figur 8.4 Utetemperaturberoendet för värmefaktor och godhetstal

8.5 Elmätningar

Den totala elförbrukningen under 1989 uppgick till 9.0 GWh, vilket skall jämföras med projekterade data, 11.5 GWh enligt kap 6. Att elförbrukningen är lägre än beräknat kan delvis förklaras av två milda vintrar. Någon specificerad mätning av elförbrukningen inom byggnaden har ej utförts.

9. PROVISORISK DRIFT UNDER BYGGTIDEN

Allteftersom de enskilda husdelarna blev täta mot omgivningen utnyttjades kylbafflarna i kontorstaken för att värma lokalerna med värme från grundvattnet/ /värmepumparna. På så sätt kunde man från senvintern 1987 successivt minska den kostsamma och hälsovådliga direktförbränningen av gasol som användes under bygg-tiden. Värmen distribuerades från energicentralen via kylbafflarnas ordinarie rörsystem, kylsystemet. Kylsystemet förbands med värmepumparna. I källarplanen installerades ca 15 st fläktbatterier via provisoriskt inkopplade gummislangar. Ackumulatorerna utnyttjades inte.

Apparater, rör och elkraftmatning i energicentralen och markanläggningarna var vid denna tidpunkt i stort sett färdigställda. Dock saknades el- och styrinstallationer. En provisorisk inkoppling av de aktuella enheterna hade genomförts. Utöver värmepumparnas inbyggda reglerutrustning saknades reglering av anläggningen.

Vid driften noterades vissa svårigheter att starta grundvattencirkulationen beroende på otillräcklig evakueringsutrustning. Systemet kompletterades våren 1987 med ytterligare evakueringsutrustning. Avsaknaden av reglerutrustning utgjorde inget hinder eftersom all effekt som producerades gick åt ända fram till den 22 juni då värmeproduktionen stoppades. Drivmotorn till värmepump 1 havererade den 1 juni.

Driftperioden februari-juni 1987 hade en god tillgänglighet som inte skulle komma att överträffas förrän i mars 1989. Som framgår av kap 14 ägde en utfällning av järn och kalk rum vilket successivt satte igen brunn 34 (infiltrationsbrunnen).

Hösten 1987 var värmeproduktionen i gång från den 16 augusti till årets slut. Allteftersom byggnationen fortskred togs flera system i drift. Detta hade en negativ påverkan på tillgängligheten som var avsevärt sämre än under våren. Dock kunde ett bra "byggklimat" upprätthållas i byggnaden under perioden.

För att tidigt testa markanläggningarna utnyttjades de två brunnarna med lägst kapacitet. Brunn 34 som rensats mekaniskt efter vårens igensättning hade trots detta inte alltid erforderlig kapacitet.

Drivmotorn till värmepump 2 havererade den 17/8 och reparationen var slutförd den 18/9.

Att anläggningen skulle utnyttjas under byggtiden innebar att rörinstallationer och elinstallationer för energicentralen forcerades vilket innebar vissa

mindre merkostnader och kvalitetsförluster. Rören förtillverkades i stor utsträckning på verkstad under tiden som betongarbetena slutfördes. Detta medförde en del problem eftersom byggnaden förändrats något under byggtiden. En vägg i energicentralen försågs med pilastrar, två extra pelare tillkom, ljudisolering i värmepumprummet fanns ej med på ritningarna etc. Konsekvenserna blev att placeringen av värmepumparna och några ventilställdon blev mindre bra. På grund av forceringen utfördes rörisoleringsarbetet vintertid i den öppna lokalen vilket medförde att limfogar senare fick göras om.

En konsekvens av den provisoriska driften var att en korrosionsinhibitor tillsattes i byggnadens cirkulationssystem. En syresättning av vattnet förutsågs dels vid inkopplingsarbeten och dels genom de gummislangar som ingick i det provisoriska systemet. Inhibitorn fylldes emellertid inte på förrän i december 1987 varför dess inverkan kom att drabba det efterföljande idrifttagningsskedet, se kap 11.

De samlade kostnaderna för den provisoriska driften kan uppskattas till 600-800 kkr. Kostnader för inhibitorn och dess skadeverkningar utgör merparten.

Produktionen var under perioden 18/2-6/11 1987:

Värmeproduktion	ca 1900 MWh
Elförbrukning	ca 600 MWh

Dessa uppgifter baseras på värmepumparnas drifttidsmätare och leverantörens datablad.

Gasolförbrukningen i Frösundavik var enligt leverantören:

	<u>ton</u>	<u>Mkr</u>
1986/87	300	1.8
1987/88	72	0.43

En översiktlig kalkyl för byggdriften kan se ut som följer:

<u>Intäkter</u>	<u>kr</u>
Ersatt gasol	
1900 MWh à 500 kr	950
Minskat arbete med värmare	30
Värde av ren inomhusmiljö	100 ?
Minskade explosions- och brandrisker	100 ?
Värde av provkörning	<u>100 ?</u>
Summa:	1000-1300 kkr

<u>Kostnader</u>	<u>kr</u>
Elförbrukning	
600 MWh à 350 kr	210
Extra kostnader	<u>600- 800</u>
Summa:	800-1000 kkr

Nettointäkt i 1987 års penningvärde: 0- 500 kkr

Slutsatsen blir att det var rätt att utnyttja energi-
anläggningen under byggtiden trots att flera oförut-
sedda negativa händelser inträffade, se avsnitt 10.1.

10. IDRIFFTAGNING AV BYGGNADERNAS TILLFÖRSEL-SYSTEM

De system som beskrivs i detta kapitel var ursprungligen av mer perifer intresse för projektet, som främst avsåg att dokumentera hur det akviferbaserade energisystemet via energicentralen kunde leverera värme och kyla till dessa system. Idrifttagningsperioden har emellertid givit omfattande erfarenheter och resultat som påverkat drift, styrning och initierat vissa kompletterande installationer i energicentralen. Resultaten ger också upphov till slutsatser och frågeställningar som är överförbara på andra liknande byggnader och framtida lagringssystem.

Med idrifttagningstiden avses perioden 1987-11-06 till 1989-03-31. Som framgår nedan återstod vissa anläggningsarbeten när SAS personal flyttade in vid årsskiftet 1987/88. Anläggningsarbetena i byggnaden slutfördes våren 1989.

10.1 Värmesystemet

Distributionen av värme har under idrifttagningsperioden varit otillfredsställande. Uppkomna problem beskrivs utförligt nedan och omfattar bl a effekt- och flödesbrist, behov av högre framledningstemperatur än projekterat samt utfällningar och korrosion. Dessa problem berör indirekt även värmeproduktionsanläggningen, vars funktion dock varit god, jfr kapitel 11.

En stor del av idrifttagningsarbetet har kretsat kring dessa brister. Några av bristerna är av en art som man alltid kan misstänka vid idrifttagning av nya anläggningar. Andra, såsom korrosion och utfällningar, är mycket osannolika.

Vid sökandet efter primära felen upptäckts även sekundära fel. Ofta är det de sekundära felen som uppmärksammas. Det är därför angeläget att försöka avgöra om felet är av primär eller sekundär art så att resurserna koncentreras mot att försöka åtgärda de primära felen. När flera entreprenörer fortfarande arbetar i systemet blir detta särskilt viktigt.

Injustering av manuella reglerventiler och intrimning av automatiska reglerfunktioner bör inte utföras när det inte föreligger några förutsättningar för sådana finjusteringar. I sådana situationer har projektsamordnaren en nyckelroll eftersom han avgör vad som skall göras och vem som ansvarar för situationen.

10.1.1 Värmeeffektbrist

Systemet var specificerat till 870 kW men kräver enligt den 1988 reviderade specifikationen 1500 kW. Som framgår av kap 4.4 är effektbehovet som främst används för eftervärmning av ventilationsluften relativt konstant under uppvärmningsperioden. Behovet översteg således mestadels produktionskapaciteten om 2 x 330 kW. Orsaken till avvikelserna har inte klarlagts men kan bero på under projekttiden ökande behov av ventilationsluft.

10.1.2 Flödesbrist

På samma sätt som för effekten var flödet underspecificerat. Detta åtgärdades snabbt genom byte av en pumpinsats i huvudcirkulationspumparna. Senare kunde hela systemet justeras in med rätt flöden. Se dock 10.1.4 angående utfällningar.

10.1.3 Behov av hög framledningstemperatur

Eftervärmarna i de 10 tilluftaggregaten krävde höga temperaturer på värmevattnet för att tilluften skulle få rätt temperaturhöjning. Orsakerna härtill var:

- Värmebatterierna var specificerade för 60/30°C på värmevattnet och 5/17°C på luftsidan.

Belastningen på eftervärmningsbatterierna är inte linjär. Vid en utetemperatur av t ex 11°C är förvärmningsbatteriernas effekt 0 medan eftervärmning fortfarande skall ske med 6°C, dvs 50 % av full last. Vid kombination av en linjär framledningsskurva och denna olinjära behovskurva kommer den dimensionerande punkten för eftervärmningsbatterierna inte att bli vid låga utetemperaturer utan vid +11°C.

Glykolsystemets förvärmningsbatterier skall värma luften från utetemperaturen till +5°C, dvs ca 25°C och eftervärmarna skall värma luften 12°C. Varje störning i förvärmningen leder till en kraftig påverkan på det mindre eftervärmningsbatteriet. Marginaler härför sänkades i dimensioneringen.

- Inblåsningstemperaturen var för låg under idrifttagningsperioden.

En tillufttemperatur av 17-18°C kan tolereras i ett rum med värmeöverskott men knappast i ett svalt rum. SAS önskemål blev därför att tilluft-

temperaturen vintertid skulle höjas till 22°C tills dess att de direktverkande elradiatorerna uppnått erforderlig funktion.

- I några aggregat kunde inte eftervärmarna uppnå de projekterade värdena.

Aggregaten nr 1, 6 och 10 kompletterades med ytterligare eftervärmningsbatterier 1988. Låg kapacitet återstår 1989 i nr 7 och nr 9. Efter komplettering har aggregat nr 1 och nr 6 erhållit erforderlig kapacitet också enligt punkt 1 ovan. Det kan tilläggas att dessa batteriytor vid nyinstallation är relativt billiga varför det inte finns ekonomiska motiv för en snål dimensionering.

Andra felkällor som försvårade kartläggningen och bevisningen av den bristande värmeöverföringskapaciteten i eftervärmningsbatterierna var:

- De injusterade vätskeflödena var inte bestående p g a utfällning i vattnet, se 10.1.4.
- Akviferlagret, som ej hade "laddats" av en föregående sommarsäsong, kunde vintern 1988 givetvis inte leverera den dimensionerande förvärmningstemperaturen (11°C).

10.1.4 Utfällningar och korrosion

När byggvärmedriften avslutats och ordinarie drift påbörjades i nov/dec 1987 fylldes den inhibitorlösning som tidigare levererats för att skydda systemen mot korrosion under byggtiden. När ca hälften av lösningen fyllts avbröts påfyllningen eftersom man visste att ytterligare tappningar och inkopplingar skulle äga rum.

I januari 1988 konstaterades utfällningar i systemet. Analys visade att fällningarna bestod av kalciumkarbonat, kalciumfosfat och järnoxid. Leverantören av inhibitorlösningen ställde sig vintern 1988 oförstående till utfällningarna, men ansåg att den halverade dosen möjligen gjorde att halten dispergeringsmedel inte var tillräcklig.

Utfällningarna fastnade i ventiler och silar som tidvis sattes igen på några dagar. Det bildades också beläggningar på rörledningarnas innerväggar. På en demonterad rördel kunde det konstateras att det under varje belägningsfläck fanns en början till skorpfrätning som är en elakartad form av korrosion.

Att korrosion blir ett problem efter tillsats av korrosionsinhibitor kan vara förvånande. Den inhibitor som utnyttjades var emellertid av en s k "farlig typ". Detta innebär att den verksamma kemikalien, i detta fall nitrit, skyddar metallytorna genom att ett tunt skikt adsorberas på ytorna. Om kemikalie-mängden är för liten skyddas större delen av ytan medan mindre delar utsätts för hela systemets korrosionspotential. Härigenom kan genomfrätning uppstå efter relativt kort tid utan att stora mängder metall korroderats bort.

En åtgärd hade varit att tömma och rengöra systemet. På grund av att viss gropfrätning konstaterats bedömdes detta som riskfyllt. I stället höjdes på inhibitorleverantörens inrådan inhibitorhalten till föreskriven nivå. Dessutom tillsattes ett särskilt passiveringsmedel. Detta resulterade i att utfällningen och korrosionen avstannade. Därefter injusterades flödena i systemet till angivna värden.

Innan man kom så långt hade injusteringar och rensningar utförts. De flesta kapacitetsprovningar under denna tid kan därför ej betraktas som tillförlitliga. Inhibitorn är ett exempel på en tillsats som inte behövdes när den sattes in och som kom att medföra oväntade konsekvenser för idrifttagningsarbetet.

I januari 1989 fanns åter vissa utfällningar i systemet. Inhibitorhalten hade sjunkit under angiven halt. Leverantören bedömde att utfällningarna utgjordes av rester från 1988 års utfällningar. För att hindra korrosion föreskrev denne förnyad tillsättning av inhibitor. Analyser av vattnet och utfällningarna 1988 och 1989 visade att fosforhalten var kraftigt förhöjd och att detta var den troliga orsaken till att denna väl beprövade inhibitorlösning gav utfällningar.

Svårigheterna att få information om produktens innehåll försvårade bedömningarna av de handlingsalternativ som fanns.

Anläggningens besiktningsförrättare undersökte med hjälp av Korrosionsinstitutet situationen och rekommenderade att vattnet byts ut till stadsvatten utan tillsatser.

Det kan noteras att besiktningsförrättarnas uppgift inte har varit att granska huruvida leveransavtalet uppfyllts utan endast att föreslå åtgärder. Detta resulterar i att orsaken till problemen inte klaras ut och att samma misstag kan upprepas.

Två frågor som således återstår att besvara är hur den tillkommande mängden fosfor hamnat i systemet

och på vilket sätt entreprenören och brukaren vid köp och leverans informerats om vådan av för låg inhibitorhalt.

Inhibitorer, vanligen av denna typ, ingår i kommersiella glykollösningar och finns i en mängd system i byggnader och fordon. Ofta rapporteras om svårigheter med glykolsystem. Symtomen kan vara av de mest skilda slag och sällan finns någon tydlig orsak. Det är inte uteslutet att tillsatskemikalierna kan vara en av orsakerna.

Ansvarsfrågan är komplicerad med flera inblandade parter. Projektsamordnaren initierade beslutet om att avbryta inhibitorpåfyllningen. Detta beslut var endast felaktigt med den information som senare framkom. Kemikalien köptes via rörentreprenören. Det är rimligt att ansvar borde utkrävas av kemikalieleverantören. Denne säljer emellertid normalt sina produkter bl a med följande klausul: "Säljaren svarar inte för att varan är lämplig för något visst ändamål...."

Rörentreprenören har emellertid ett vidare ansvar i sitt kontrakt med beställaren. Slutsatsen blir att det är riskfyllt för alla parter att hantera produkter man inte känner till.

Den naturligaste "avstigningsstationen" från inhibitortillsatsen var när offerten kom projektsamordnaren tillhanda. Nyttan av tillsatsen om den fungerat och fyllts på vid rätt tillfälle kunde inte rimligen motsvara inköpskostnaden som översteg 100 000 kr. Den slutliga kostnaden för inhibitortillsatsen har uppskattats till ca 500 000 kr och belastat driften under byggtiden, se kap 9.

I september 1989 ersattes det inhibitorhaltiga värmevattnet med vatten utan tillsatser.

10.1.5 Tillfälliga åtgärder

De störningar som beskrivs i 10.1.1-10.1.4 resulterar alla i försämrad värmetillförsel till ventilationsluften. Ventilationsanläggningen kopplades därför om till s k "nattdrift" dvs luften återfördes från gatan till kontoren. Denna omkoppling sker automatiskt om rätt tillufttemperatur inte nås. På grund av denna automatik är det svårt att ange hur mycket nattdriften tillämpats. Åtminstone tidvis har alla tilluftaggregat arbetat på detta sätt. Teoretiskt innebär detta total återföring av luften. Emellertid startar garageventilation m m vid aktivitet i byggnaden vilket resulterar i en viss luftomsättning.

Det kan alltså konstateras att temperaturen på luften till rummen så gott som alltid varit nära den avsedda. Eftersom ett flertal rum var svala och eftervärmning med el förekom i flertalet rum höjdes inblåsningstemperaturen vintertid till 22°C.

En annan iakttagelse av intresse är att så gott som ingen klagat på dålig ventilation i byggnaden, varken vid cirkulation eller normal drift. Vidare borde cirkulation av luften resultera i att fukthalten i luften ökar så att kondens fälls ut på gatans enkelglasade kalla ytor. Detta har inte iakttagits.

För att höja batteriernas kapacitet ställdes värmesystemets framledningstemperatur till en fast temperatur av 60°C.

Utfällningarna i systemet avskildes genom installation av silar i alla system.

Sammanfattningsvis kan sägas att en byggnad tål förvånansvärt stora avvikelser i driften av installationerna utan alarmerande konsekvenser för inomhusmiljön.

Erfarenheter från andra byggnader där funktionen hos installationerna granskats, t ex i det s k Stockholmsprojektet /Wånggren/, visar att flertalet byggnader har betydande avvikelser vid jämförelse mellan planerad funktion och faktisk funktion. Man utnyttjar alltså ofta byggnadernas förmåga att dölja relativt grava brister genom att finna en driftform som svarar mot de möjligheter den faktiska installationen erbjuder.

10.1.6 Permanenta åtgärder i värmesystemet

Effektbristen fastslogs i mars 1988. I juni upphandlades en tredje värmepump som kom i drift i mars 1989, se avsnitt 11.2.

Under 1988 och 1989 kompletterades vissa batterier i tilluftaggregaten.

En värmeväxling från värmesystemet till förvärmarsystemet arrangerades. Denna avlastar eftervärmningsbatterierna så att den avsedda kurvan för framledningstemperaturen kan användas, se kap 4. Funktionen togs i drift i november 1988.

I juni 1989 hade besiktningsförrättarna inte fastlagt om tilluftaggregaten har rätt kapacitet eller ej. Samtliga entreprenader var godkända med anteckningen att funktionsprovning avseende kapacitet ej utförts.

Idrifttagningsskedet kan därför inte anses vara helt avslutat vad gäller värmesystemet.

10.2 Glykolsystemet

Den del av glykolsystemet som betjänar värmepumparna (se 4.3.3) har varit i drift sedan 1987-02-18. Inga störningar eller kapacitetsbegränsningar har noterats i systemet. Däremot har det konstaterats att termometrarna har en alltför stor felvisning. Detta gäller flertalet system men är särskilt besvärande för lågtemperatursystemen. Termometrarna är specificerade med ett största fel av 1 % av skalan. För att erhålla tillförlitliga mätförhållanden för lågtemperaturtermometrarna (0-40°C) har specificerats att termometrarna appliceras med kontaktpasta i dykrören. Flertalet av dessa termometrar har dock ett fel som överstiger 1-2°C trots att felet enligt specifikationen inte får överstiga 0.4°C.

Den del av systemet som betjänar tilluftaggregaten vid förvärmning (se 4.3.1) togs i drift i december 1987. Eftersom grundvattenmagasinet inte var uppvärmt vid idrifttagningen kunde inte avsedda temperaturer upprätthållas i förvärmningssystemet. Därför undantogs systemet från kapacitetsprovning vintern 1988. Däremot injusterades flöden till rätt nivåer.

Under senvintern 1989 återupptogs kapacitetsprovningen sedan en del av problemen i värmesystemet (se 10.1) klarats ut. Det visade sig då att de flöden som injusterats föregående år inte var bestående. De provningar som hann genomföras under vintern 88/89 indikerade att förvärmningskapaciteten i aggregaten nr 2, 6 och 7 inte var fullgod.

Kapaciteter i grundvattenvärmeväxlaren och annan central utrustning är således tillräcklig men fördelningen mellan tilluftaggregaten är ifrågasatt, liksom förvärmningsbatteriernas värmeväxlingskapacitet.

Funktionen att kyla inkommande ventilationsluft (se 4.3.2) har provats sommaren 1988 och 1989. Den dimensionerande kapaciteten 560 kW nås redan vid en utetemperatur av ca 25°C. Effekten, som självfallet är mycket beroende av utetemperaturen, förväntas därför stiga över detta värde vid högre utomhustemperaturer. Detta utgör inget problem eftersom samtliga komponenter automatiskt är överdimensionerade i detta driftfall. Fördelningen mellan aggregaten styrs i detta driftfall automatiskt med hjälp av reglerventiler vid aggregaten.

10.3 Kylsystemet

10.3.1 Kyla till takkonvektorer

Vid idrifttagningen av kylsystemet fanns farhågor om att kylvattnet skulle fördelas ojämnt i systemet och att det relativt höga differenstrycket över distributionssystemet skulle medföra tjuvströmning genom stängda ventiler etc. Konvektorerna styrs till/från av en rumstermostat som också styr elvärmeradiatorn i respektive rum. Ställdonen utgörs av en s k vaxmotor som långsamt påverkar ventilen för att undvika slag och knäppningar.

Kylkapaciteten är inte provad i något rum. Ett allmänt intryck är emellertid att rumskylan fungerar bra. Höga temperaturer uppstår endast i mycket solutsatta rum. Låga temperaturer i rummen har aldrig kunnat sättas i samband med oönskad kylning.

10.3.2 Processkyla

Som nämnts i kap 4.5 är systemet gemensamt för kylkonvektorerna och kylningen av olika apparater, s k processkyla. Hela systemet regleras så att kondens undviks. Detta innebär att kylvattentemperaturen överskrider de värden som normalt är dimensionerande.

Denna systemlösning kräver alltså att "process"-utrustningen dimensioneras för högre temperaturer än den normala, vilket dock inte alltid är fallet i Frösundavik.

Under sommaren 1988 uppstod kylproblem i viss utrustning med störningar varför kylvattnet ersattes med stadsvatten vilket finns som reservsystem.

Med de förändringar som beskrivs i kap 12.1.2 beräknas dessa problem minska avsevärt.

10.3.3 Cirkulation och tryckhållning

Anläggningen projekterades så att värmepumparna skulle kunna utnyttjas som kylmaskiner för den planerade databyggnaden. Kylsystemet skulle då tjäntgöra som kondensorkylare och leda ner värme i marken. Därför ingick kylsystemet och värmesystemet i samma tryckhållningssystem för att vid behov överföra värme gemensamt i systemen. Som en följd av detta var vattnet detsamma i systemen, dvs den i avsnitt 10.1.4 beskrivna inhibitortillsatsen kom att tillsättas kylsystemet. Skadeverkningarna i kylsystemet blev dock mer begränsade än i värmesystemet. Viss igensättning

noterades vid idriftsättningen våren 1988. Om denna berodde på korrosion eller "inhibitorutfällning" är oklart. Dessa svårigheter sammanföll med påstådda tryckhållnings- eller avluftningsproblem. Efter vissa rensningar cirkulerade systemet sommaren 1988. Inga enheter utan cirkulation påträffades därefter. I samband med kompletteringsarbeten hösten 1988 separerades systemen.

10.4 Varmvatten

Varmvattenberedningen var den funktion som först drabbades av den tidigare nämnda effektbristen i värmeproduktionen. Eftersom de primära problemen inte låg i varmvattenberedningen ägnades inte denna så stor uppmärksamhet. Under våren 1989 har varmvattensidan spolats och reglerventilerna justerats. Därefter fungerar beredningen bra förutom att temperaturen nattetid stiger över börvärdet. Orsaken är troligen läckage i reglerventilerna förorsakade av föroreningar från de tidigare utfällningarna.

10.5 Elvärme i kontorsrummen

De elektriska radiatorerna i kontorsrummen mot ytterfasad skulle värma rummen under icke kontorstid. Under kontorstid planerades inget värmetillskott till rummen. Erfarenheterna är emellertid att värme behövs hela dygnet under en stor del av året. De fullskaleprov som genomfördes under projekteringskedet visade att värmestrålningen från radiatorerna motverkade kallras från fönstren. Vid fönstren förekommer trots detta ett betydande kallras, vilket beror på att radiatorerna ej uppnår avsedd funktion.

En stor del av elradiatorerna har alltsedan montaget varit trasiga trots omfattande reparationer och byten. Värmetillförsel till vissa är därför otillfredsställande eftersom tilluften normalt ej har någon värmande förmåga. För att i någon mån förbättra situationen drivs fr o m senhösten 1989 på samma sätt som tidigare år ventilationen hela dygnet med 100 % "återluft". Detta innebär att driften ännu inte kan anses vara normal.

I november 1989 beslutade SAS att installera standard elradiatorer under fönstren i flertalet rum.

11. VÄRMEPRODUKTION

I kapitel 9 beskrivs driften under byggtiden före 1987-11-06. Därefter kan den egentliga driften sägas ha påbörjats. Som framgår av kap 10 konstaterades stora avvikelser vid idrifttagning av byggnadens värmesystem. Detta har starkt påverkat driften och idrifttagningen av värmeproduktionsenheterna. För att tillgodose nya krav på effekt har produktionskapaciteten utökats och idrifttagningsskedet kan anses vara avslutat 1989-03-31.

11.1 Drift med 2 värmepumpar

Som framgår ovan dominerades driften under kalenderåret 1988 av effektbrist och därav följande lägre temperaturnivåer.

11.1.1 Köldbärare

Tillgången på värme från akviferlagret har hela tiden varit tillräcklig även om temperaturen under vintern 1987/88 var låg, 7-8°C. Under mars och april steg grundvattentemperaturen över 10°C. Eftersom värme från kylsystemet med en temperatur av ca 15°C blandas med det varma grundvattnet från akviferlagret pendlar temperaturen vintertid dygnsvis mellan dessa två temperaturer.

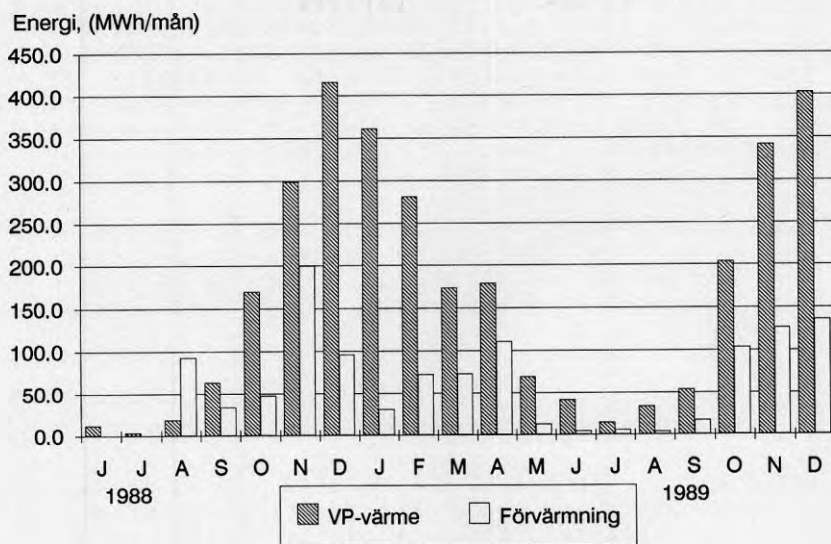
Köldbäraren antar en temperatur ca 1.5°C under inkommande grundvatten och kyla av värmepumparna lägst till 0°C. Köldbäraren som är en del av glykolsystemet har arbetat utan anmärkning.

11.1.2 Värmebärare

Driftsättet för värmesystemet under idrifttagningsperioden krävde hög temperatur på värmevattnet och en kontinuerlig värmetillförsel dygnet runt. Detta leder till en önskan att minska värmebärrarflödet för att öka temperaturhöjningen vid passage genom de två seriekopplade kondensatorerna. Värmepumparna var emellertid känsliga även för små minskningar av värmebärrarflödet. Aggregaten löste på högtrycksvakterna ibland redan under 60°C trots att den nominella högsta arbetstemperaturen är 70°C. Driften fick således ske med ungefär det nominella flödet, ca 15 l/s. Den planerade flödesmätaren färdigställdes efter periodens slut och var således inte till någon hjälp vid injusteringsarbetet.

Sammantaget resulterade detta i att den inställda framledningstemperaturen 60°C vanligen underskreds.

Den tillförda värmemängden visas i figur 11.1.



Figur 11.1 Producerad värme i de två värmesystemen under 1988 och 1989

11.1.3 Värmepumparna

Värmepumparnas tillgänglighet sjönk avsevärt under idrifttagningsperioden jämfört med driften under byggtiden. Aggregaten hade svårt att klara en start utan att någon vakt löste. Detta förklarar mycket av skillnaden eftersom start och stopp var sällsynt under byggtiden.

Leverantören modifierade oljesystemen på aggregaten under sommaren 1988. Därefter har dessa störningar i stort sett upphört.

En iakttagelse som inte givit upphov till störningar men ändå är oroande av miljöskäl är kontinuerliga små läckage av olja från aggregaten. Man kan anta att CFC läcker ut samtidigt. Uppgifter om CFC-läckage saknas.

Styr- och reglersystemet på aggregaten utnyttjas endast vid störningar i omgivande system. Vid dessa tillfällen har emellertid vissa olägenheter konstaterats. När inställd värmebärartemperatur nås reglerar aggregatet ned och stoppar slutligen. Omedelbart

efter stopp känner regulatorn för låg temperatur varför aggregatet startar så fort de inbyggda tidsfördröjningarna löpt ut. Dessa kan högst ställas på 10 minuter. Aggregatet med dess 120 kW-motor kommer alltså att starta med 15-20 minuters intervall. På grund av ackumuleringsfunktionen i detta projekt erfordras inga täta starter. Önskemål om förlängd fördröjning har framförts till leverantören, dock utan resultat. Vid kompletteringen med VP3 infördes 1 timmes fördröjning för alla VP i fastighetens övergripande styrsystem.

Man kan inte nog framhålla värdet av aggregatens drifttidsmätare. Trots att hela anläggningen specificerats med en omfattande mätutrustning är drifttidsmätarna de enda mätarna av integrerande typ som fungerat under perioden.

11.2 Drift med 3 värmepumpar

Effektbristen fastslogs i mars 1988. Olika värmeproduktionsalternativ studerades för tilläggs effekten. Eftersom vissa förberedelser gjorts för en tredje värmepump valdes detta alternativ. Andra alternativ krävde nyinstallation av tunga anläggningsdelar såsom ledningar (fjärrvärme), skorstenar och tankar (olja och gasol).

11.2.1 Installation av den tredje värmepumpen

Arbetsmediet i de 2 första värmepumparna är CFC 12. Detta arbetsmedium är bra vid värmepumpdrift bl a därför att det tillåter höga värmebärartemperaturer. Under projekttiden hade emellertid farorna med freoner uppmärksamats. CFC 12 i en ny maskin ansågs inte förenligt med målsättningen för projekt Frösundavik.

I stället valdes CFC 22 och samma typ av värmepumpaggregat. En fördel med detta är hög effekt, men anpassningen till värmebärartemperaturerna innebar vissa problem.

Samtidigt planerades en värmeväxling som sänker värmesystemets returtemperatur från 30°C mot 20°C. Detta var alltså två samverkande förbättringar. Den största förbättringen, förutom effekttillskottet, är emellertid att 3 värmepumpar ger en större temperaturhöjning. De 3 värmepumparna antogs därför fungera bättre med ackumulatorerna och värmesystemet än de 2 ursprungliga.

Värmepumpen VP3 installerades under oktober-december 1988. Viss provdrift ägde rum i december och januari men aggregatet stoppade vanligen efter kort tids

drift. Orsaken var troligen föroreningar i oljan från onormalt inkörningsslitage. I februari 1989 byttes skruvkompressorenheten. Därefter har aggregatet arbetat i serie med de två CFC 12-aggregaten. Värmebäraren passerar VP3 först och köldbäraren passerar VP3 sist.

Vid stigande inkommande värmebärartemperatur stoppas VP3 av den inbyggda kapacitetsregleringen. VP1 och VP2 fortsätter därefter laddningen av ackumulatorerna till högre temperaturnivå. När inkommande värmebärare som hela tiden passerar genom VP3 uppnår 55°C stoppas hela värmepumpdriften inklusive kringutrustning.

11. 2. 2 Drifterfarenheter

Samtidigt som de 3 värmepumparna kom i drift i mars 1989 kopplades ventilationsaggregaten om till normal drift. De avsedda temperaturkurvorna för systemen programmerades in. Värmeväxlingen mellan värme- och förvärmningssystemen var i funktion redan i december 1988.

Driften hade tidigare karakteriserats av att ett flertal regulatorer i hela byggnaden långa tider arbetade med 100 % utsignal, inställda temperaturer kunde ej uppnås etc. Genom inkopplingen av avsedda temperaturkurvor förändrades denna situation och så gott som allt fungerade enligt planerna. (Undantaget vissa värmebatterier.)

Utetemperaturen under den resterande delen av vintern utsatte inte anläggningen för full last. Upp till 1200 kW har dock registrerats. Ett allmänt intryck är att värmeproduktionssystemet inklusive värmepumpar, ackumulatorer, huvudshuntar, styr- och regleranläggning efter smärre justeringar kan tillgodose byggnadens behov på ett tillfredsställande sätt. Hösten 1989 inleddes med störningar i samband med byte av vatten i ackumulatorer och värmesystem. Därefter har produktionsanläggningen arbetat bra, dock med undantag av värmepump 2 vars kuggväxel skar i oktober samma år.

11. 2. 3 Värmepumparnas kapaciteter och elförbrukning

Kapacitetsprov har ännu ej genomförts. Allteftersom mätutrustningen kommit i funktion erhålls data på produktion och förbrukning. Hittills erhållna uppgifter antyder en total värmefaktor för alla aggregaten på ca 3.

11.2.4 Drift vid låg grundvattentemperatur

Vid drift med 3 värmepumpar och låg grundvattentemperatur ($<10^{\circ}\text{C}$) uppstod våren 1989 störningar från låg köldbärartemperatur. Genom att starta båda köldbärarpumparna undviks detta problem. Denna funktion kommer att läggas in i styrdatoren för automatisk drift.

11.3 Värmeackumulering

11.3.1 Ändrade driftförhållanden

Akkumulatorernas funktion i systemet har ändrats något i och med den förändrade behovsspecifikationen för värmesystemet. Tidigare planerades inget värmeuttag nattetid varvid ackumulering av värmepumparnas hela nattproduktion stod till förfogande. Driftsättet i ventilationsanläggningen under idrifttagningsperioden har medfört en mer konstant last under dygnet.

I framtiden kommer den maximala lasten att vara ca 500 kW nattetid och ca 1500 kW dagtid. Detta ger relativt värmepumparnas effekt på 1100 kW ett dygns-lagringsbehov av $(1500 - 1100) \cdot 12 \text{ h} = 4800 \text{ kWh}$. Tankarnas lagringkapacitet mellan 60 och 30 grader är 7000 kWh. Ett praktiskt utnyttjande av $4800/7000 \times 100 = 70 \%$ kan bedömas som rimligt. Tankarnas volym passar alltså trots stora förändringar ganska väl till behoven.

11.3.2 Erfarenheter

Akkumulatortankarnas stora platsbehov var styrande för energicentralens placering i byggnaden. Investeringskostnaderna för tankarna var relativt begränsade. Den byggnadsvolym som tas i anspråk svarar för en betydande del av investeringsbehovet för akkumulatoranläggningen.

Vätskevolymen är 200 m^3 i tankarna och ca 25 m^3 i värmesystemet. Beroende på den stora vätskevolymen blir behovet av expansionsvolym betydande vilket medför ytterligare kostnader och utrymmesbehov.

Systemet har endast fyra rörliga delar, dvs de styrventiler som fördelar värmepumparnas produktion till rätt tank. Styrdatorns växlingsprogram för dessa ventiler innehöll en kort period när samtliga ventiler var stängda. Ett ställdon till en ventil havererade vid ett tillfälle vilket också stoppade värmebärarflödet. Dessa stopp medförde att värmepumparnas högttrycksvakter löste.

Det tog åtskillig tid att lokalisera felen samt att fastställa vilken entreprenör som var ansvarig. Styrventiler utgör vanligen en entreprenadgräns mellan rör och styr. Styr har i sin tur en underentreprenör för starkström och elektromekanik. Så var det också i detta projekt och styrventiler har i olika skeden givit upphov till störningar.

De fyra seriekopplade tankarna ger en godtagbar separation av varmt och kallt vatten. Däremot erhålls normalt ingen skiktning i respektive tank. Tankarna har perforerade spridarrör längs diametern i tankens nedre och övre del. Spridarna är inte tillräckliga vid cirkulation av 10-15 l/s. En god skiktning in-ternt i tankarna uppnås endast sommartid vid varmvattenberedning.

Ett annat fenomen som kan vara värt att beakta är följande. Om tankarna laddas så mycket att relativt varmt vatten tas ut från den kallaste tanken till värmepumpens värmebärare och ett relativt stort värmeuttag samtidigt äger rum kan flödesvariationer hos förbrukarna medföra relativt stora temperatursvängningar på blandningstemperaturen. Värmepumparnas värmebärare utgörs då av en blandning av ett varmt vatten från tankarna och ett kallt från värmesystemet. Sådana svängningar är besvärande för VP3 som endast klarar att arbeta mot 48°C. Alla värmepumpar är känsliga för snabba sänkningar av värmebärartemperaturen eftersom CFC i smörjoljan förgasas vid den resulterande trycksänkningen.

11.4 Erfarenheter av elpannorna

Den rörmässiga inkopplingen av elpannorna saknade en aktiv avstängning av flödet när elpannorna inte var i drift. Detta resulterade i en kortslutningsström för returvattnet förbi ackumulatorerna och till värmeförbrukarna. Resultatet blev att framledningstemperaturen inte kunde regleras. Felet åtgärdades kort tid efter periodens början genom att en reglerventil installerades i kretsen.

En illustration av svårigheterna med felsökning i rörsystem med parallella sträckor är att detta mindre kortslutningsflöde "maskerade" de ventilstörningar vid ackumulatortankarna som beskrevs i 11.3.2. Dessa störningar uppmärksammades först sedan ovanstående fel åtgärdats.

I övrigt har elpannorna arbetat invändningsfritt. De har utnyttjats vid larm från värmepumpar och vid svårigheter att upprätthålla framledningstemperaturen före driftsättning av VP3.

11.5 Erfarenheter av varmvattenberedning

Funktionen är efter intrimning försommaren 1989 god.

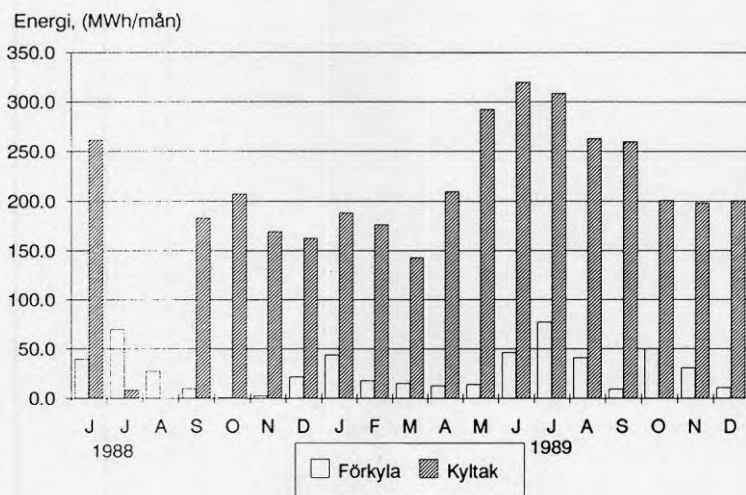
12. KYLPRODUKTION

Kyla distribueras kontinuerligt i kylsystemet till kontorsrummen och vid utetemperaturer över 16°C också för tilluftkyla i glykolsystemet. Båda systemen kan kylas med effekter som vida överstiger behoven. Tillgänglighet och reglering har alltsedan driftsättningen varit god.

12.1 Kylsystemet

12.1.1 Kapacitet

Grundvattensystemet som kyler kylvattensystemet har en uthållig kapacitet av ca 2500 kW. Hittills har som mest kylbehov i området 600-800 kW noterats. Kapaciteten är således mer än tillräcklig. Producerad kylmängd visas i figur 12.1.



Figur 12.1 Kylproduktion månadsvis

12.1.2 Styrning och reglering

Regleringen av grundvattenflödet och därmed kyleffekten sker med en regulator som reglerar en pump med variabelt varvtal.

Regleringen sker huvudsakligen så att en konstant framledningstemperatur upprätthålls. Den är projekterad till 13°C. Erfarenheter från kylesäsongen 1988 visade att detta var onödigt lågt, varför börvärdet numera är 14°C. Denna reglerfunktion har från driftsättningen fungerat mycket bra. Under vintern 88/89 noterades att temperaturen under vissa förhållanden

kan nå för låga värden genom en påtvingad strömning i grundvattenssystemet. Eftersom detta inträffar vintertid när kondens inte kan bildas är det svårt att se några nackdelar med detta.

Vid hög fukthalt utomhus höjs framledningstemperaturen så att kondens inte bildas på rör och kylbafflar. Denna funktion färdigställdes i juni 1988. Under perioden före inkopplingen droppade kondensat från kalla ytor på olika delar i byggnaderna. Begränsningsfunktionen var specificerad som ett justerbart antal grader över den våta temperaturen. Under sommaren noterades att regulatorn styrde upp temperaturen också när detta inte var motiverat. Funktionen har provats försommaren 1989 med 1 grads marginal. Detta har fungerat utan att kondensutfällning eller kapacitetsbrist uppstått någonstans i systemet. En ytterligare förbättring planeras genom övergång från våt temperatur till dagpunkt.

En andra begränsningsfunktion begränsar grundvattenflödet så att det inte överstiger kylvattenflödet. Motivet är att skydda värmelagret mot okontrollerad vattencirkulation vid störningar. Denna funktion har kopplats bort. Orsaken är att regleringen hänger sig i 0-läge.

12.1.3 Cirkulation och tryckhållning

Kylsystemet har 3 st alternativa cirkulationspumpar med de planerade kapaciteterna 20, 40 och 80 l/s. Tryckfallet i distributionssystemet är lägre än avsett varför kapaciteterna är 30, 60 och 110 l/s. Styrningen av pumparna sker beroende på utetemperaturen. Detta har fungerat väl. Eftersom kyleffektbehovet är lägre än planerat har temperaturgränserna höjts så att den stora pumpen endast är i drift vid utetemperaturer över 25°C. Den stora pumpen motionskördes inledningsvis automatiskt 1 gång/dygn enligt programmet. På grund av smällar i backventiler och andra ljud i rörsystemet ändrades perioden till 1 gång/månad.

12.2 Glykolsystemet, tilluftkyla

Glykolsystemets cirkulation startar för kyländamål vid utetemperaturer över 16°C. Större kyllost uppstår först när tilluftens temperatur åtskilligt överstiger börvärdet 18°C. Den årliga drifttiden för denna funktion blir därför kort. Den dimensionerande kapaciteten 560 kW överskrids vid utetemperaturer över 25°C. Hela systemet är emellertid riktigt dimensionerat varför några begränsningar i denna kylkapacitet inte föreligger vid aktuella klimatförhållanden.

13. UTFORMNING OCH BYGGANDE AV VÄRMELAGRET

13.1 Förstudier och vattendomsansökan

Innan det egentliga projekteringsarbetet började utfördes förstudier och vattendomsansökan inlämnades. Dessa arbeten kan indelas i fyra steg.

Som första steg erhöles ett mindre uppdrag för att utveckla den av AIB föreslagna akviferlagringsidén. Denna pekade på goda möjligheter att försörja det planerade kontoret och dataanläggningen med billig kyla och även värme. Idéstudierna ledde till att steg 2 startades.

Som andra steg erhöles medel för en hydrogeologisk undersökning vars huvudsakliga syfte var att fastställa att akvifervolymen var tillräckligt stor. Denna utredning, som redovisades i maj 1985, behandlar även systemutformning, miljöeffekter och fortsätta erforderliga undersökningar för vattendomsansökan.

Eftersom resultatet av undersökningen i steg 2 var positivt erhöles uppdrag att genomföra kompletterande rördrivningar och provpumpning för vattendomsansökan. Det kan noteras att utredningarna av steg 2 inte efterfrågades av beställaren utan AIB var pådrivande.

Detta är ett exempel på att konsultens roll i FoU-projekt är annorlunda jämfört med projekt med konventionell teknik. Vid konventionella anläggningar finns ett sug hos beställaren av att få utredningar så snabbt som möjligt. Detta är inte självklart i FoU-projekt eftersom för beställaren ny teknik skall tillämpas.

Steg 3 innebar val av system samt ansökan om vattendom. Val av system och placering av brunnar innebar mycket diskuterande på AIB om för- och nackdelar med olika brunnsplaceringar. De krav som förelåg var att

- tillräcklig akvifervolym mellan brunnar skulle finnas
- närområdet till Brunnsviken skulle undvikas för att minska risken för saltvatteninträngning.

Eftersom behandling i Vattendomstolen tar viss tid inlämnades en ansökan som mer tog hänsyn till ovan nämnda principer än till geologin i området. Vattendomsförhandlingar kunde dock genomföras utan problem.

I vattendomen är ej brunnslägena direkt preciserade utan de allmänna principerna för placeringen. Detta

kunde ske bl a av den orsaken att det fanns få motstående intressen och att det gällde en "rundpumpning" av grundvatten med små effekter på grundvattennivån.

Under tiden ansökan låg i Vattendomstolen startades steg 4 som innebar kontroll av de föreslagna brunnslägena. Det visade sig då nödvändigt att gå tillbaka till det ursprungliga konceptet. Detta utökades med en varm pol i söder som låg utanför SAS-fastigheten. Detta innebar också att ett nytt brunnsläge skulle lokaliseras. Detta skulle ske med hänsyn till framtida byggnation och planerade skidåkningsaktiviteter på Storkullens nordsluttning. Ett område skulle inmarkeras på en karta där tillstånd till rörborrning och brunnsbyggande skulle erhållas av Solna kommun.

Efter en tid erhöles tillstånd. Jordlagerföljden på platsen var dock ej idealisk men eftersom brunnen betraktades som en reservbrunn valdes ändå att utföra en brunn på den undersökta platsen.

Efter erhållandet av vattendom kom projekteringen igång på allvar.

13.2 Projektering

Ett system utan pumpar i brunnsarna men med pumpar i energicentralen valdes. Systemet har stora fördelar när det gäller växlingar mellan uttag och infiltration. Nackdelen är dock att utgående ledning från brunnen till energicentralen ej får ligga högre än ca +6. Detta innebär begränsningar vid val av brunnsplatserna. Om marken höjer sig mer än 4-5 m över nivå +6 blir schaktdjupen för stora för ledningar och brunnar.

Efter det att rödrivningar utförts på de 5 planerade brunnsplatserna utarbetades ett förfrågningsunderlag med angivande av silllängd, silnivå och slitsvidd.

Slitsvidden valdes till 2 mm för alla brunnar utom den norra där slitsvidden 3.7 mm valdes på grund av extremt grovt åsmaterial. Med kännedom om det grova isälvmaterial som konstaterades vid brunnsbyggandet hade slitsvidden kunnat ökas till 3 mm i de södra och 4.5 mm i den norra brunnen. De valda slitsvidderna och silllängderna gav dock mycket god kapacitet på brunnsarna, se tabell 13.1.

Tabell 13.1 Avsänkning vid uttag ur olika brunnar

<u>Brunn</u>	<u>Uttag l/s</u>	<u>Avsänkning i brunnen</u>	<u>Avsänkning utanför brunnen</u>
55 (N varma)	100	3 cm	1 cm
34 (S varma)	70	340 cm	200 cm
51 (Ö kalla)	72	190 cm	45 cm
52 (M kalla)	89	52 cm	20 cm
53 (V kalla)	85	76 cm	21 cm

När det gällde akviferlagerssystemets utformning gjordes en modellstudie för BFR-medel med olika brunnsplaceringar och olika antagna hydrogeologiska förutsättningar för att utröna vilket som skulle vara bästa brunnsystem. Utredningen, som har som förutsättning det totala projektet (SAS-kontoret inklusive dataanläggningen), behandlar en rad faktorer av betydelse för grundvattencirkulationen.

Frågor som behandlas är bl a skillnader i permeabilitet mellan horisontell och vertikal led i åsen, dvs akviferens hydrauliska egenskaper, åsmaterialets porositet och termiska egenskaper, temperaturnivån i akviferen och värme- och kylnivå, värmekapacitivitet, värmeledningsförmåga samt inverkan av brunnsavstånd, karakteristisk kantringstid, up- och downconing och olika typer av värmeförluster.

Det är dock svårt att enbart genom en modellstudie få några hållbara riktlinjer för brunnsplacering. En studie av denna typ blir därför endast en illustration till olika effekter som kan uppträda om man gör vissa antaganden, t ex tät rand eller öppen rand mot Brunnsviken. En fördel med det utnyttjade dataprogrammet SUTRA är att det även kan behandla tidsberoende randvillkor som t ex Brunnsvikens vattenståndsvariation.

Lämpliga brunnslägen fastställdes genom kombination av erhållna resultat av modellstudien och en allmängeologisk bedömning av hur en ås av denna typ brukar fungera hydrauliskt samt med ledning av gjorda rörborrningar.

En fråga som uppmärksammades starkt vid olika datakörningar av modellen var den stora risken för saltvatteninträngning. Detta ledde som ovan nämnts till ett tillbakadragande av brunnarna från Brunnsvikens strandområde, men senare skedde en återgång till området vid dammen. Det bör anmärkas att modellen som nämnts ovan hade som ingångsdata de stora kylvattenflöden som det fullständiga förslaget med datahallar

krävde. Kylbehovet har, dels beroende på att datahallarna ej utbyggs, dels beroende på att det verkliga kylbehovet i kontoret är mindre än beräknat, lett till mindre kylvattenflöde och att risken för saltvatteninträngning minskar. Någon saltvatteninträngning har ej heller konstaterats. Kylvattenbrunnarna ligger också långt från stranden i södra delen av kontoret. I stället är det saltvatteninträngningsrisken vintertid som bör uppmärksammas när norra varma brunnen användes, dvs när varmvattenuttag göres för värmepumpning och för förvärmning av inkommande kallluft.

En geologisk faktor av viss betydelse som konstaterades efter det att studien över alternativa system färdigställdes var att vid rörborrning Rb 8704 och Rb 8707 det bergparti som ligger öster om kontoret fortsätter som en underjordisk rygg en bit norr om kontoret. Vid Rb 8704 påträffades block eller berg på -3.2 och i Rb 8707 på nivån -9.4, dessutom hade jordmaterialet obetydlig vattenföring från nivån -8.1 i Rb 8707. Om man betänker att bergnivån väster om dammen (under Annelund) troligen ligger kring -20 förstår man att risken för saltvatteninträngning blir mindre. Rb 8607 som ligger i detta område går ner i mycket genomsläppligt material till nivån -19.9.

Förutom frågan om saltvatteninträngning var det frågan om de konvektiva krafterna vid inlagring av värme som var föremål för omfattande överväganden och beräkningar under projekteringstiden. Den bedömning som gjordes var dock att den massiva värmeinlagring som skulle ske genom kylningen av kontoret (kylbehovet var större än värmebehovet) skulle ge tillräckligt med värme i akviferen för vinterbehovet.

Vid bestämning av silnivå av de varma brunnen var det därför mer brunnens funktion rent hydrauliskt som beaktades än att ekonomisera med den inlagrade värmen i akviferen. Det kan nu konstateras att silarna ligger för djupt i de varma brunnen, åtminstone i norra delen där åsmaterialet är extremt permeabelt. Detta gör att det inlagrade varma vattnet flyter upp vid ytan och är svårt att få tag i under vinterperioden. En silplacering där silen börjar vid 0.5 (medelvattenstånd i Brunnsviken -0.33) i stället för projekterat -1.9 hade därför varit önskvärd. Även sugrörets intagsnivå, som projekterades till -3.0, skulle kunna höjas till 0.1 m under lägsta grundvattenyta, dvs ca -1.1 (lågsta lågvattenstånd i Saltsjön -1.0 möh).

En omprojektering och ombyggnad av främst den norra varma brunnen planeras därför utföras inom ramen för ett utökat experimentbyggnadslån.

Samtidigt med energibrunnsprojekteringen pågick dagvattenprojektering. Senare genomfördes projektering av damm och en grundvattenbrunn för dammens vattenförsörjning utan närmare samordning med energisystemet.

En dagvatteninfiltrationsbrunn placerades därvid ganska nära den norra varma brunnen. Eftersom nederbördsområdet är mycket begränsat betyder denna infiltration energimässigt mindre men den åstadkommer en avkylning av ca 1 grad under hela vintern under varma vintrar och något mera under snösmältningsperioden under kalla vintrar.

En faktor av större betydelse var den stora grundvattenbrunn som projekterades och byggdes för dammens vattenförsörjning och den cirkulationspumpning som kom att ske vintertid 88/89 för att skydda vissa konstruktioner mot isskador.

En annan faktor av betydelse är att när ett projekt kommer in i ett detaljprojekteringsstadium kommer en annan yrkeskategori in än de som varit med om uppstartningen. Det gäller både projektsamordnaren och projektören. Från idégivare går arbetet över till upphandlare av vissa speciella arbeten och projekterande ingenjörer där alla inbrott från idégivare med förslag till ändringar och alternativa utformningar uppfattas besvärande med en tätt tidplan.

Eftersom akviferlagret finns under byggnaden och i dess närhet kan övriga installationer i marken komma att inverka på lagrets funktion. Samordning måste därför ske med alla inblandade projektörer. Detta gäller t ex dagvatteninfiltration, dammutformning eller markfrågor kring dammen, placering av bensinstation samt granskning av förfrågningshandlingar för t ex brunnsoverbyggnader för energibrunnar, vilka kom att ingå i markentreprenaden.

Genom att intresse fanns att följa arbetena gjordes ett flertal platsbesök. Därvid iaktogs bl a att det vid två brunnplatser fanns en övre grundvattenvåning. Detta påtalades för projektsamordnaren och förslag framfördes på att dränera brunnsoverbyggnaderna så att inte vatten från den övre grundvattenvåningen skulle rinna in i grundvattenbrunnarna och infiltrera i den undre grundvattenvåningen.

Detta arbete ingick ej i entreprenadbeskrivningen och det motiverades vara för komplicerat att ansöka om en ny anslutningspunkt till kommunens ledningssystem. Vidare ansågs att vattnet i den övre grundvattenvåningen skulle försvinna när man byggt ut parkeringsplatsen och utfört beläggningsarbetena.

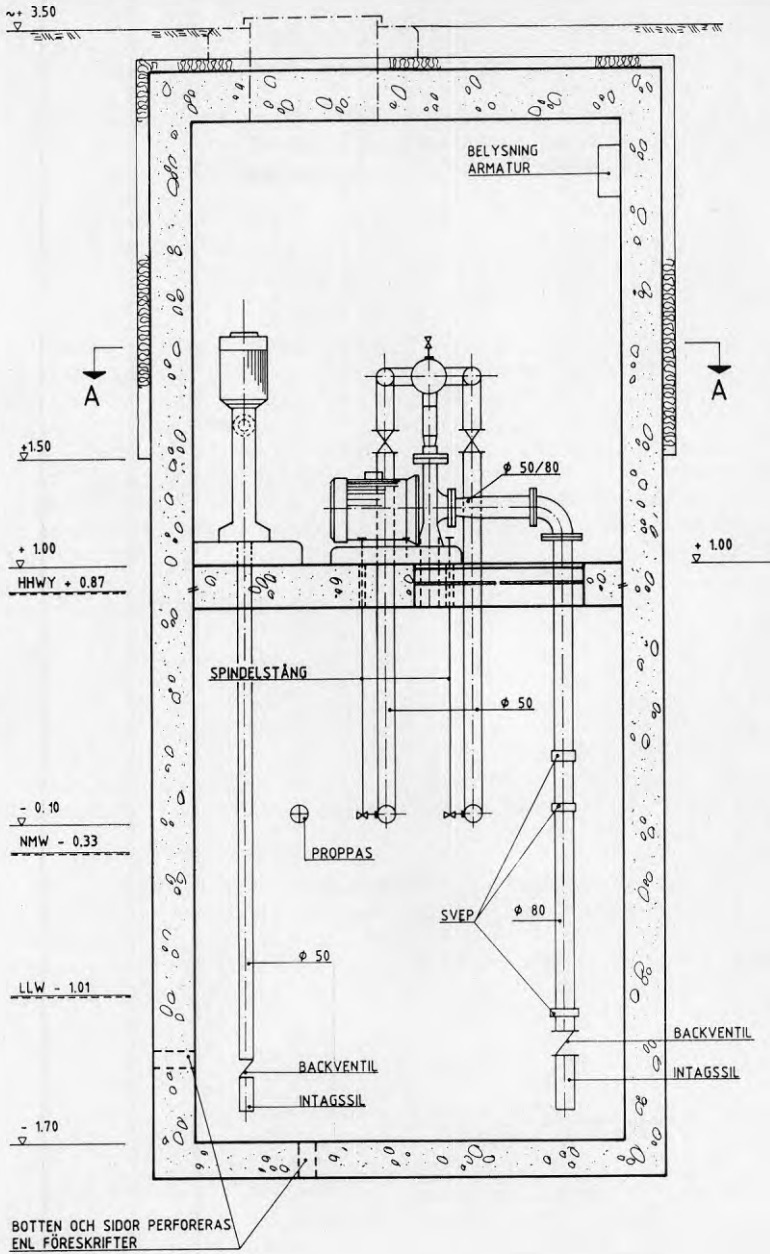
Någon dränering av brunnsöverbyggnaderna har därför ej utförts och ytvatten rinner fortfarande in i rörunnen och infiltreras i den undre grundvattenvåningen. Brunnarna avses att byggas om under 1990 så att denna infiltration förhindras.

Vid utbyggnaden av brunnarna var det svårt att få något kontrolluppdrag. Eftersom det är praxis att följa upp och dokumentera jordlagerföljd, brunns-egenskaper m m gjordes detta utan att något formellt uppdrag erhöles. Kontrolluppdrag erhöles dock och detta redovisas i en särskild rapport /Eriksson, Johansson, 1986/.

Sammanfattningsvis bedöms att energibrunnarnas betydelse i ett system av denna typ ej till fullo har insetts. Den enkla utformning brunnarna har kan ha bidragit till detta. Brunnarna uppfyller dock väl de primära funktionskraven.

För kommande anläggningar bör energibrunnar om möjligt förses med en platsgjuten brunnskammare med belysning, värme, ventilation, avlopp och fasta stegar eller trappor.

På nedanstående figur visas utformningen av pumpstationen för dammvattnet, jämför figur 5.3 där energibrunnarnas utformning visas.



Figur 13.1 Utformning av brunn och pumpstation (enligt arbetsritning) för uttag av vatten för bevattning och för cirkulationspumpning i dammen. Brunnens botten har perforerats med ca 140 st hål \varnothing 80 (c/c 300) och brunnens sidor har perforerats mellan nivån -1.7 m och -0.5 m med fyra rader hål \varnothing 80 (c/c 300)

En annan faktor av betydelse kommer dock in och det är kostnaden för brunnarna. För att få ett akviferlagringssystem attraktivt är det viktigt att kostnaderna ej blir för höga. I denna typ av system bör dock ekonomin vara så god att brunnarna ej behöver utrustas så sparsamt att funktionen hotas.

Pumpstationen vid dammen konkurrerar med kommunalt vatten och det blir snabbt ekonomiskt att bygga en pumpstation om man räknar med att cirkulera några liter per sekund genom en damm.

En kostsam funktion som diskuterades under projekteringen var renspumpningsmöjlighet till Brunnsviken av energibrunnarna. Tanken var att efter det att vatten under viss tid infiltrerats i en brunn skulle rens-pumpning (utpumpning av avsättningar i brunnen) kunna ske speciellt när man skulle övergå från infiltration till uttag ur en brunn. För denna funktion erfordras stora pumpar (ca 50 l/s) i brunnarna med elmatning och anslutning till dagvattenledning till Brunnsviken.

Nu finns endast möjlighet att rensa brunnarna genom bortmontering av sugrör och nedsänkning av pump eller rensdon från markytan. Avledning av uppumpat vatten får ske till närmaste dag- eller regnvattenbrunn eller till markytan. Så rensades t ex den södra brunnen efter första vinterns (1987/88) värmepumpning. Vatten uttogs under denna vinter från en av de djupa kalla brunnarna och infiltrerades i den södra brunnen, vilket ledde till järnutfällningar med viss kalkmedfällning i den varma södra brunnen.

Med tanke på hur sällan brunnarna synes behöva rensas är en mer påkostad renspumpningsfunktion ej motiverad vid SAS-kontoret. Det är dock svårt att i förväg bedöma renspumpningsbehovet. Vid andra planerade akviferlagringsprojekt bör därför en sådan funktion finnas som extra säkerhet.

13.3 Relationsritningar

När det gäller ett projekt av denna typ är relationsritningar av stor betydelse, dvs det är av intresse att t ex veta var energiledningarna ligger i plan och profil och att veta hjassa på sugrör samt exakt nivå (på dm) där sugröret slutar.

De inmätningar som genomförts av entreprenören är i vissa fall ej av den omfattning som är önskvärd och som angavs i anbudsunderlaget.

14. BRUNNARNAS FUNKTION OCH GRUNDVATTNETS KEMI

14.1 Driftsförhållanden

Eftersom brunnarna används både för infiltration och uttag ställs höga krav på tillgänglighet och funktion. Brunnarnas funktion och kapacitet bestäms av eventuella utfällningar i vattnet, av brunnens utförande och av den omkringliggande grusformationen. Varje brunn får därmed individuella egenskaper.

Erfarenheter av liknande grundvattenvärmesystem visar att igensättning p g a exempelvis järn och mangan förekom i ca hälften av de studerade anläggningarna, jfr /Lindblad-Pässe, 1986/. Dessa anläggningar var dock små och för flertalet hade ej någon vattenkemisk analys utförts innan anläggningen togs i drift. Vattenkemiska förhållanden hade därför ej kunnat beaktas vid dimensionering av anläggningarna. En annan faktor av betydelse är att vattencirkulation oftast endast skett i en riktning i dessa system.

Faktorer som kan påverka igensättningen av brunnar är bl a geologiska förhållanden, vattnets beskaffenhet, vattenomsättningen, järnbakterier, syresättning och korrosion.

Energianläggningen vid SAS Huvudkontor, Frösundavik, har byggts så att risken för igensättning av brunnarna minskas, jfr avsnitt 5.1 och 5.2. Det finns därför goda förutsättningar för att erhålla en god funktion av anläggningens brunnar. Genom att mäta avsänkning och överhöjning i brunnarna har deras "kondition" kunnat följas. Regelbundna mätningar har genomförts i alla brunnarna.

Energianläggningen togs i drift i februari 1987. Under detta år levererades byggvärme. Under sommaren -87 utfördes också en begränsad test av kylsystemet.

I januari 1988 skedde inflyttning till kontorsbyggnaden och energianläggningen togs i drift. Anläggningens mät- och reglersystem var dock ej färdigt. Mätningar gjordes manuellt på de mätare som kunde avläsas. Inga fullständiga mätdata finns därför tillgängliga från anläggningens första år.

Under den tid då akviferlagret har varit i drift har olika brunnkombinationer använts, både för kylning och värmning, jfr tabell 14.1.

Tabell 14.1 Utnyttjade brunnar för energianläggningen

Datum	Kalla brunnar			Varma brunnar	
	51	52 ¹⁾	53	55	34
87-02-18	öppen	stängd	stängd	stängd	öppen
87-09-25	öppen	stängd	öppen	öppen	stängd
88-03-19	öppen	stängd	stängd	öppen	stängd
88-04-27	stängd	öppen	öppen	öppen	stängd
88-05-17	stängd	stängd	öppen	öppen	stängd
88-06-14	stängd	öppen	stängd	stängd	öppen
88-09-10	stängd	stängd	öppen	öppen	stängd
88-10-27	öppen	stängd	stängd	öppen	öppen
88-11-10	öppen	stängd	öppen	öppen	öppen
88-11-16	öppen	stängd	öppen	öppen	stängd
89-03-03	öppen	stängd	stängd	stängd	öppen

Anm: 1) Under hösten -89 framkom att avstängningsventilen var trasig varför en viss volym kan ha uttagits/inlagrats i brunn 52.

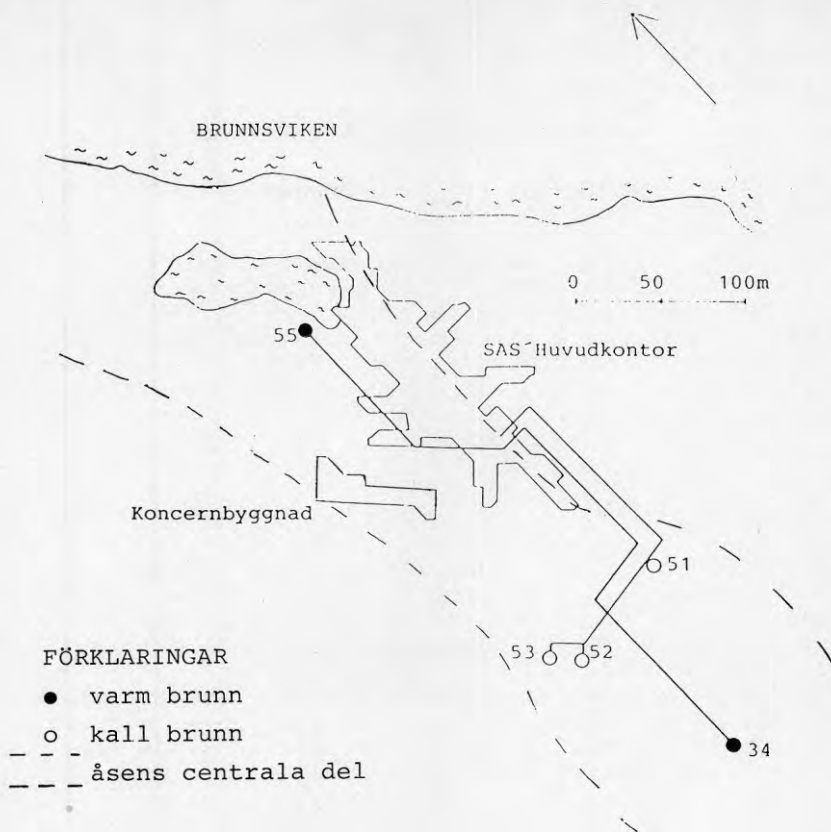


Fig 14.1 Placering av varma och kalla brunnar för energianläggningen vid SAS Huvudkontor, Frösundavik

14.2 Mätmetodik

Vid stegprovpumpningen som utfördes i samband med brunnsborrningen 1986 konstaterades att stationära förhållanden uppnåddes inom 1 timme, under förutsättning att vattenståndet i Brunnsviken var konstant. Vid mätningarna av brunnsfunktionen har därför ett konstant flöde uttagits från en brunn och infiltrerats i en annan brunn. Avsänkning respektive överhöjning mäts efter ca 1 timme i brunnarna. Därefter sker mätningar i nya brunnskombinationer tills mätresultat har erhållits från alla brunnar. Referensnivå på grundvattenytan tas då vattenytan ej är påverkad av intilliggande pumpning. Beroende på årstid mäts i de varma brunnarna avsänkning vintertid och överhöjning sommartid. I de kalla brunnarna mäts det motsatta förhållandet.

Beroende på värme- respektive kylbehovet i byggnaden kan flödet variera vid olika mätningar. Vid enstaka tillfällen har stegprovpumpningar gjorts för att få en noggrannare mätning av brunnsfunktionen.

Mätningar har utförts med ca 3-4 månaders intervall. Den första mätningen skedde i april 1988.

Eftersom temperaturen påverkar vattnets viskositet varierar avsänkning/överböring med temperaturen. För att erhålla jämförbara värden har därför alla värden omräknats till en och samma temperatur, 10°C, för vilken viskositeten är $1519 \cdot 10^{-6}$ kg/ms och densiteten 999.8 kg/m^3 . Hur denna omräkning går till visas i Bilaga 14.1.

14.3 Brunn 51

Brunn 51 är en kall brunn med silröret beläget mellan nivåerna -15.2 och -19.2. Brunnen är belägen i den östra delen av åsen där materialet består av sand och grus. Vid stegprovpumpningen som utfördes vid brunnsborrningen var avsänkning i brunn 51 större än i de andra kalla brunnarna. Detta beror på att åsmaterialet är något mer finkornigt och att brunnen är belägen i den yttersta delen av akviferen vilken gränsar till berg.

Brunn 51 har använts både för infiltration och uttag. Inga driftsproblem har uppkommit under perioden. Vattenkvaliteten vid uttag har ej förändrats under perioden med undantag av att viss järnhalt som erhöles vid uttag första vintern försvunnit. Erforderliga kapaciteter vid uttag respektive infiltration har erhållits. Någon igensättning har ej konstaterats vilket framgår av figur 14.2.

BRUNN 51
AVSÄNKNING / ÖVERHÖJNING

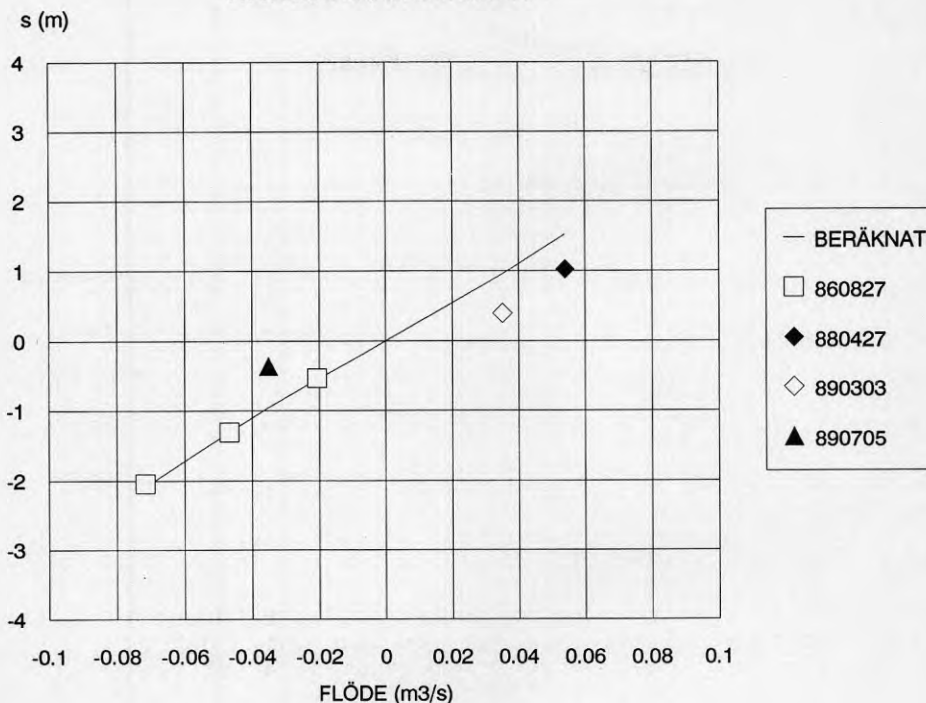


Fig 14.2 Uppmätt avsänkning för brunn 51 vid olika tidpunkter. De beräknade värdena baseras på stegprov pumpningen augusti -86.

14.4 Brunn 52

Brunn 52 är en kall brunn placerad mellan de övriga kalla brunnarna. Brunnsfiltret är beläget mellan nivåerna -11.0 m och -16.0 m. Brunnen är placerad i grovt åsmaterial och avsänkningen/överhöjningen är liten.

Brunnen har använts endast under kortare perioder varför någon igensättning ej är att förvänta, jfr figur 14.3.

Brunnen har utsatts för inläckande ytvatten genom att vatten från den övre grundvattenvåningen rinner ner i brunnen.

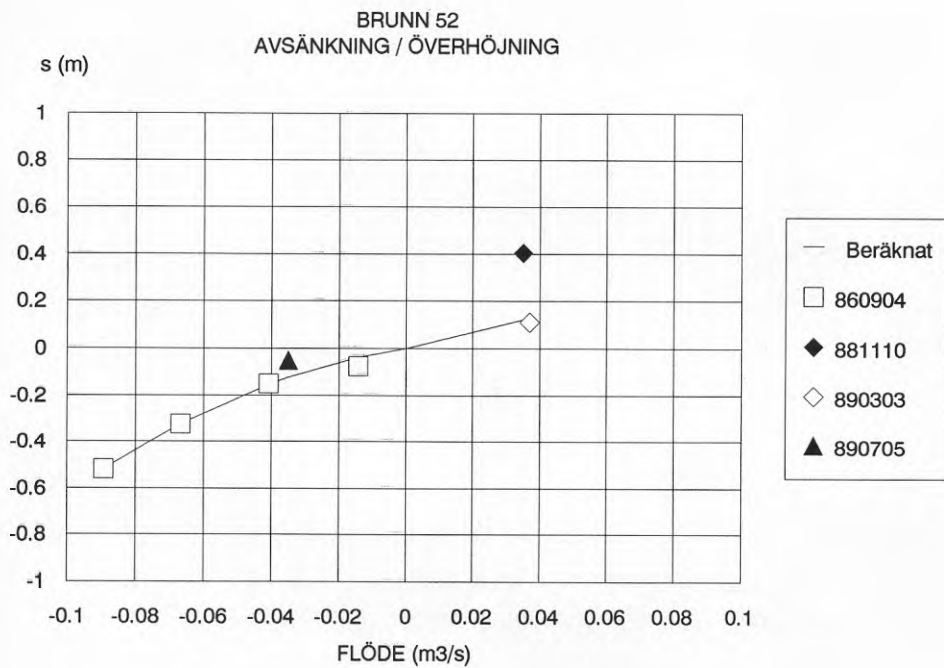


Fig 14.3 Uppmätt avsänkning, s , för brunn 52 vid olika tidpunkter. De beräknade värdena baseras på stegprovpumpningen augusti -86.

14.5 Brunn 53

Brunn 53 är också en kall brunn belägen i grovt ås-material. Brunnsfiltret är placerat mellan nivåerna -12.3 m och -17.3 m.

Brunnen har använts under flera driftsfall. Sedan stegprovpumpningen har endast en mätning med rimligt resultat erhållits. Denna antyder en viss igensättningstendens. Det är dock för tidigt att dra några definitiva slutsatser. Brunns funktion är fortfarande mycket bra med liten avsänkning.

Brunnen har utsatts för inläckande ytvatten genom att vatten från den övre grundvattenvåningen rinner ner i brunnen.

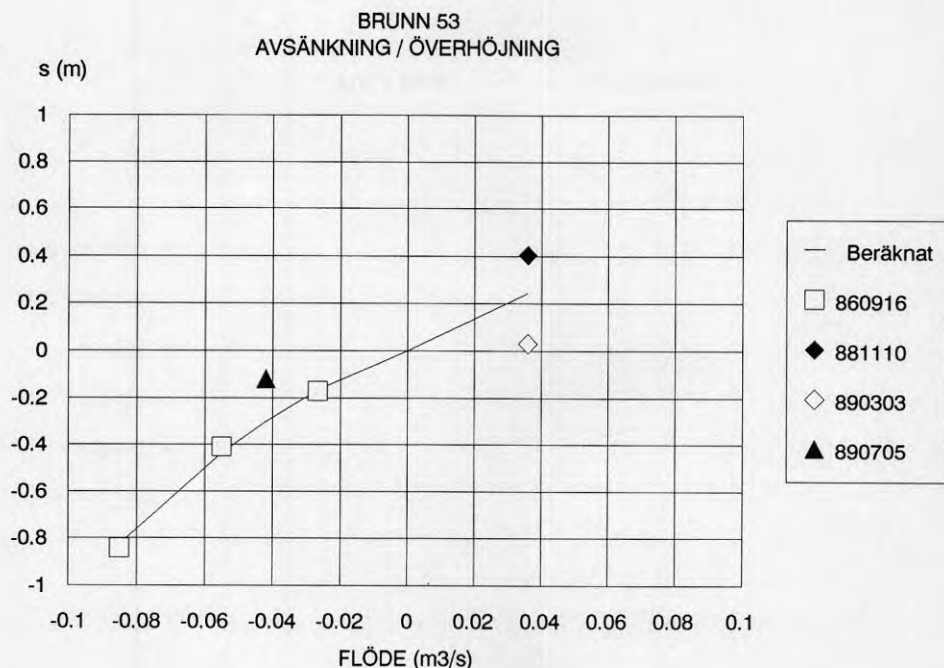


Fig 14.4 Uppmätt avsänkning, s , för brunn 53 vid olika tidpunkter. De beräknade värdena baseras på stegprovpumpningen augusti -86.

14.6 Brunn 34

Brunn 34 är en varm brunn vilken är belägen i akviferens södra del. Brunnen är nedförd i något mindre genomsläppligt material än de närliggande kalla brunna. Filterlängden är därför 5 m och filtret är beläget mellan nivåerna -2.6 m och -7.6 m.

Brunnen har använts vid flera olika driftsfall. Under våren 1987 användes den för infiltration av avkyllt vatten. Detta vatten upptogs från den djupare delen av akviferen via brunn 51.

Brunnen har rensats i två omgångar. I oktober 1987 rensades brunnen mekaniskt och i juni 1988 utfördes kemisk rensning. De mätningar som gjorts efter dessa rensningar visar att brunn 34 har uppnått och t o m erhållit förbättrade prestanda efter rensningarna, jfr figur 14.5.

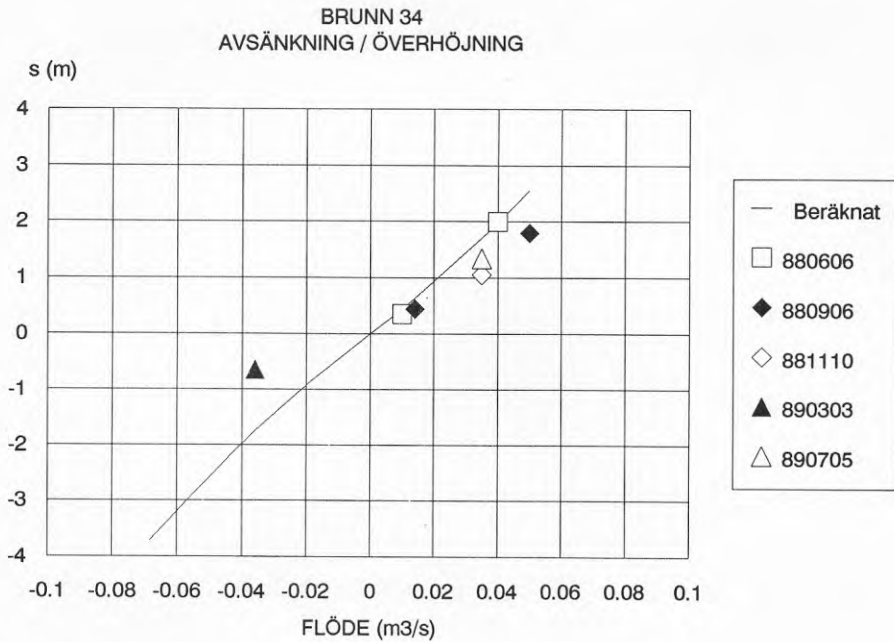


Fig 14.5 Uppmätt avsänkning, s , för brunn 34 vid olika tidpunkter. De beräknade värdena baseras på stegprovpumpningen augusti -86.

14.7 Brunn 55

Brunn 55 är en varm brunn belägen i områdets norra del. Akviferen består av grovt grus och sten varför genomsläpligheten är mycket hög. Brunnsfiltret är 4 m långt och beläget mellan nivåerna -1.9 m och -5.9 m. Avsänkningen i brunnen är endast några cm vid uttag av uppemot 100 l/s. Brunns prestanda är därför mycket hög. De små avsänkningarna innebär svårigheter att observera eventuella igensättnings-tendenser, jfr fig 14.6.

Mätningarna visar generellt en något större avsänkning respektive överhöjning, 0.5-1 cm. Med hänsyn till mätnoggrannheten är det tveksamt om mätresultatet är signifikant.

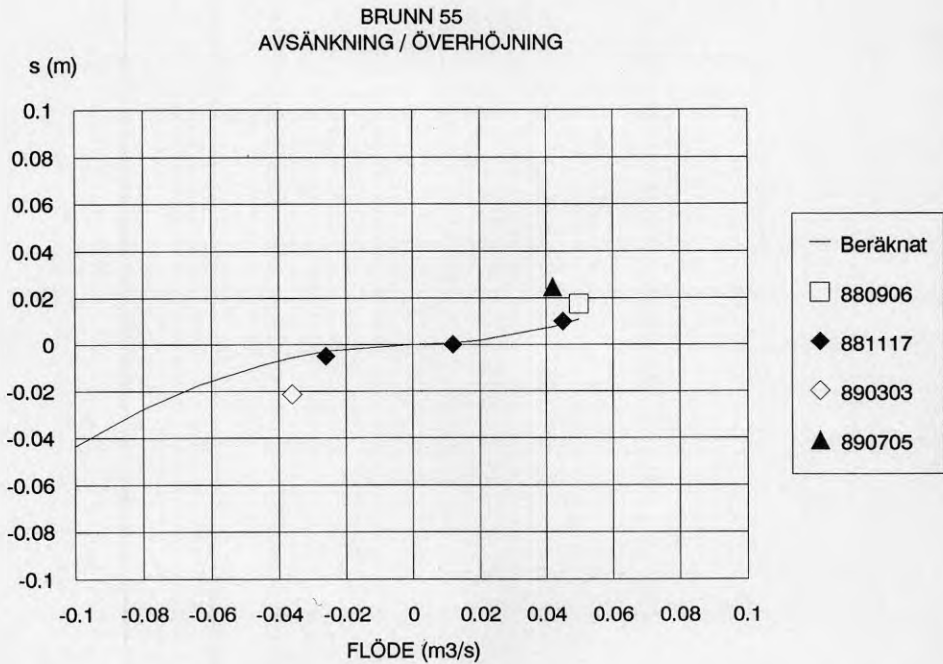


Fig 14.6 Uppmätt avsänkning, s, för brunn 55 vid olika tidpunkter. De beräknade värdena baseras på stegprovpumpningen augusti -86.

14.8 Grundvattnets cirkulation och kemi

Under normala förhållanden i en grusåskvifer minskar omsättningshastigheten på grundvattnet med djupet under grundvattenytan. Detta framgår bl a av den ökande salthalten med djupet i de flesta åskviferer (se även kap 2).

Det utbyggda brunnssystemet och vald driftstrategi, dvs uttag av ytligt vatten och infiltration i djupa brunnar vintertid och tvärtom sommartid ger en omblandning av grundvattnet i akviferen. Omblandningen har enligt vad som hittills konstaterats enbart haft positiva effekter på vattenkvaliteten vilket framgår nedan i avsnitt 17.6.

En sammanställning av vattenkemidata från perioden framgår av Bilaga 14.2.

Variationsområdet för olika fysikalisk-kemiska parametrar i hela akviferen vid SAS-kontoret och antalet bestämningar framgår av kolumn 1 i nedanstående tabell 14.2.

Efter det att akviferlagret togs i drift har ett antal vattenprover tagits. Analyserna visar ett betydligt snävare variationsområde än analyserna på prover tagna innan akviferen utnyttjats som lager, kolumn 2 i tabell 14.2. Detta beror delvis på att dessa vattenprover tagits ur väl rensade brunnar till skillnad från vattenprover redovisade i kolumn 1 vilka tagits i 2"-rör i samband med rörborringar. Proverna i kolumn 2 har även tagits från ett geografiskt mer begränsat område än det område där rörborringar utförts. Den främsta orsaken till det snäva variationsområdet i kolumn 2 är emellertid att grundvattnet homogeniserats inom akviferlagret.

Tabell 14.2 Variationsområde för några fysikaliska och kemiska parametrar i tagna grundvattenprover. N anger antal analyser.

		Kolumn 1		Kolumn 2		
		Hela akviferen		Del av akviferen		N
			N			
Konduktivitet	mS/m	36 - 245	63	113 - 144		17
pH-värde		7.1 - 7.8	35	6.9 - 7.3		19
Totalhårdhet	Ca/dH°	83 - 240	28	184 - 227		15
Järn	Fe mg/l	<0.05 - 3.4	50	<0.005 - 0.334		18
Mangan	Mn mg/l	<0.05 - 0.48	52	<0.005 - 0.073		18
Alkalinitet	HCO ₃ mg/l	111 - 450	54	303 - 356		18
Klorid	Cl ⁻ mg/l	15 - 580	63	117 - 155		17
Kolsyra	CO ₂ mg/l	0 - 18	40	0 - 26		14

15. AKVIFERVÄRMELAGRETS FUNKTION OCH EGENSKAPER

15.1 Allmänt

Akvifervärmelagret har uppvisat goda driftsegenskaper. Alla brunnar har varit tillgängliga under hela perioden med undantag av brunn 34 som har rensats vid två tillfällen. Den sammanlagda tiden för rensning uppgår till ca 1 vecka.

Eftersom energicentralen togs i drift innan ledningarna till brunn 55 var klara har akviferlagret i det första driftsfallet använts på icke avsett sätt. Det har medfört att endast en fullständig lagringscykel har erhållits, nämligen i akviferlagrets norra del. Eftersom fullständiga mätdata saknas är det dock inte möjligt att dra några definitiva slutsatser i detta skede.

Det akviferlagerbaserade energisystemet har uppvisat önskad flexibilitet med avseende på temperaturnivåer och energibalans.

Någon termisk påverkan vid markytan har ej konstaterats. Detta är ej heller att förvänta eftersom täckande jordlager har en mäktighet av ca 6-10 m i lagrets södra och mellersta del. I norra delen är det täckande jordlagrets mäktighet ca 2 m men inte heller där har någon termisk påverkan kunnat konstateras.

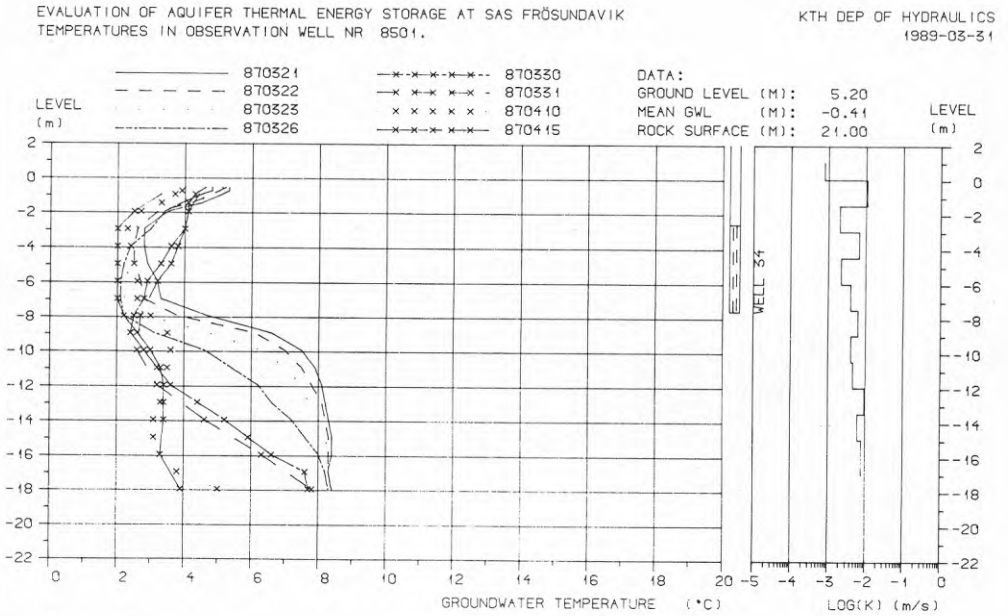
15.2 Södra polen

Den södra polen omfattar området mellan brunn 34 och brunnarna 51, 52 och 53. Brunn 34 har använts för laddning både av kallt och varmt vatten. Uttag av vatten ur brunn 34 har endast skett på korttidsbasis.

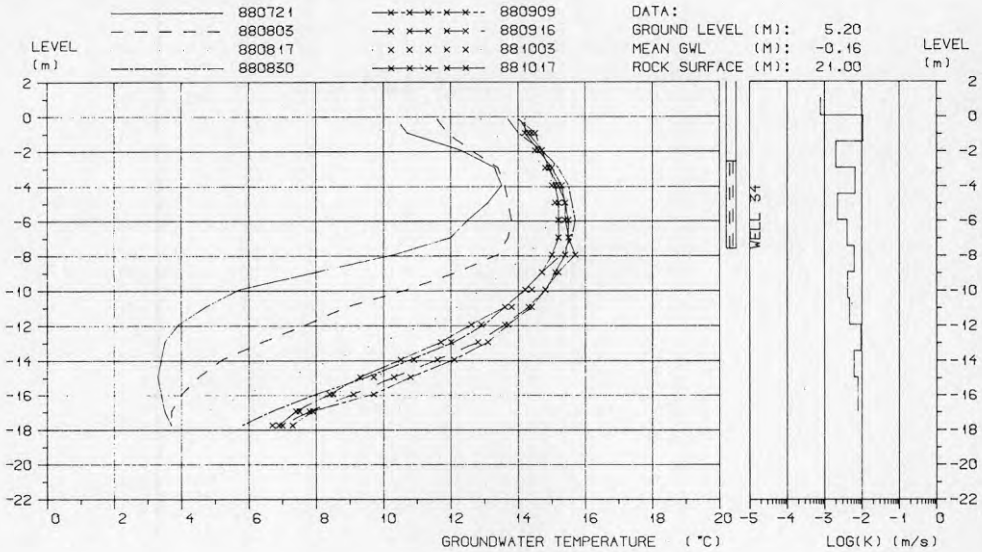
Den brunnskombination som har använts mest är brunn 34 och brunn 51. Dessa brunnar möjliggör att en stor volym kan utnyttjas innan termiskt genomslag fås. Den södra delen av akviferen är uppbyggd av lager med stor permeabilitetsskillnad. Detta förhållande styr temperaturförloppet mer än vad som orsakas av temperaturdifferenserna.

I fig 15.1 och 15.2 visas temperaturförloppet i observationsrör 8501 vid infiltration av kallt respektive varmt vatten i brunn 34. Observationsröret är beläget 34 m från brunnen. Efter ca 1 månads infiltration visar temperaturkurvorna att det kalla vattnet har lagrats in bättre över hela akviferens mäktighet än vad som är fallet vid infiltration av det

varma vattnet, vilket tenderar att söka sig till akviferens övre delar. Den infiltrerade vattenmängden har bedömts vara ungefär lika stor vid båda laddningstillfällena. Värt att notera är att temperaturskillnaden mellan det infiltrerade vattnet och omgivande vatten är 5°C under den första laddningsperioden resp 10°C under den andra laddningsperioden.



Figur 15.1 Temperaturmätningar i observationsrör 8501 vid infiltration av kallt vatten våren 1987



Figur 15.2 Temperaturmätningar i observationsrör 8501 vid infiltration av varmt vatten sommaren 1988

Den inlagrade energin synes ha små förluster till omgivningen. Kylan respektive värmen tycks vara ganska orörlig i området. En viss temperaturutjämnning i vertikalled har dock konstaterats. Eftersom det täckande jordlagret är 6-10 m och eftersom grundvattenströmningen är liten förväntas värmeförlusterna bli små. Energilagrets verkningsgrad bestäms då huvudsakligen av möjligheterna att få tillbaka det inlagrade vattnet med önskad temperatur. Eftersom endast intermittenta uttag har skett från brunn 34 kan dock inget bestämt sägas om uttagsmöjligheterna.

Akviferen i den södra polen har fungerat på ett tillfredsställande sätt med avseende på volym för inlagring av värme och kyla. Uttagsfunktionen har ännu ej testats i större omfattning. Polparet, dvs akviferen mellan polerna, har visat sig ha hög värme- och kylkapacitet. Trots att brunnarna 51 och 34 endast ligger 120 m från varandra har någon direkt temperaturpåverkan ej kunna konstateras. Vidare har i brunn 34 inlagrad kyla med en volym av 180 000 m³ vatten konstaterats ligga kvar under 1 år vid en temperatur av mellan 2 och 5°C med endast en uppvärmning av ca 1°C och i samma brunn inlagrad värme med en volym av ca 100 000 m³ vatten (osäker uppgift) av ca 15°C visat sig ligga kvar i ca 7 månader, september-mars 1988, med en temperatursänkning av ca 2°C.

Den goda lagerfunktionen kan således främst förklaras av liten regional grundvattenströmning och 6-10 m täckande jordlager över grundvattenytan. Det kan också vara så att åsens huvudriktning ligger nära vinkelrätt mot sammanbindningslinjen mellan brunnarna, dvs att brunnarna ligger på var sin sida av åsens mest permeabla del. Detta skulle minska risken för termisk kontakt mellan brunnarna och kunna liknas vid att brunnarna låg på var sin sida om en kanal. Den förhållandevis låga permeabiliteten vid brunn 34 indikerar att denna brunn ligger på åsens västra sida. Närheten till en fastmarksskulle i öster visar att brunn 51 ligger så långt mot öster som möjligt. Vid brunn 51 är dock jordlagrens permeabilitet hög.

De två övriga brunnarna i den mellersta (kalla) delen, brunn 52 och 53, har endast utnyttjats sporadiskt men ligger även de i likhet med brunn 51 i starkt permeabelt material och skulle enligt ovan nämnda teori kunna ligga i "kanalen" och därför eventuellt ha sämre värmekapacitet än brunn 51, dvs tidigare få termiskt genomslag från brunn 34. Eventuellt kan pågående temperaturmätningar verifiera denna teori genom att brunnarna 52 och 53 eller dessas närområde påverkas tidigare av inlagring i brunn 34 än brunn 51 gör trots att det ej sker någon pumpning i dessa brunnar. Genom att öppna ventilen i brunn 52 och 53 och utnyttja dessa under kommande driftperioder kan hållbarheten i denna teori testas.

En faktor som troligen också har betydelse är att vatten uttages och infiltreras på olika djup. Någon stark temperaturskiktning vid den kalla brunnen har dock ej iakttagits varför direkta bevis för att varmt vatten flyter ut i ytan och kallt vatten lägger sig i botten på akviferen saknas. Den något högre densiteten på det djupare vattnet kan om temperaturhöjningen inte är tillräcklig eller ligger i ett område där densiteten ändras litet leda till att det varma vattnet ej flyter ut vid ytan.

15.3 Norra polen

Den norra polen, mellan de kalla brunnarna (brunn 51, 52 samt 53) och den varma brunnen 55, användes under hösten/vintern 87/88 för uttag av grundvatten med ursprunglig temperatur. Vattnet nedkyldes via värmepumparna och infiltrerades huvudsakligen i brunn 51. Ingen temperatursänkning av vattnet i brunn 55 kunde därvid konstateras.

Under våren -88 kunde en temperaturhöjning i akviferens norra del konstateras. Orsaken till denna uppvärmning kan bero på vattencirkulationen i dammen

samt på att lagret tillförs överskottsvärme. Denna värme uttogs under hösten/vintern 88/89. Eftersom några tillförlitliga data ej finns tillgängliga kan tyvärr inte någon verkningsgrad uppskattas.

Den norra polen är betydligt svårare att utvärdera än den södra beroende på bl a följande orsaker:

- extremt permeabelt isälvsmaterial
- inflytandet från cirkulationspumpningen i dammen
- endast 2-4 m mäktigt jordlager över grundvattenytan
- närheten till Brunnsviken
- viss infiltration av dagvatten

Dessa förhållanden indikerar att värmeförlusterna kan antas vara större i den norra än i den södra polen.

Brunn 55 är belägen i en mäktig och högpermeabel åsdel varför brunnens kapacitet blir hög. Stora flöden kan uttagas med liten avsänkning som följd. Som visats ovan blir temperaturfronten mellan varmt och kallt vatten närmast horisontell med ibland en tydlig front. Den uppvärmda delen av akviferen blir därmed utsträckt med en relativt liten höjd, ca 2-5 m. Detta leder till ökande värmeförluster. Cirkulationspumpningen i dammen har medfört att nedkyllt vatten, ca 3-4°C vintertid, tillförs akviferen och inlagras i dess undre del. Genom den ökade temperaturskillnaden mellan det varma och kalla vattnet ökar värmeförlusten från det inlagrade varma vattnet. Ytterligare en faktor som bidrar till att värmeförlusterna blir betydande är att täckande marklagers mäktighet endast uppgår till ca 2-4 m i området öster om brunnen. Mot väster ökar dock mäktigheten snabbt till över 10 m.

Brunnsvikens vattenståndsvariationer har studerats av /Berglund och Gudmundsen, 1989/. Av deras arbete framgår att vattenståndsvariationernas inverkan på värmeförlusterna är av underordnad betydelse eftersom vattenståndsvariationerna inte leder till någon successiv förflyttning av det uppvärmda området utan endast orsakar en fram- och återgående rörelse.

Mellan observationsrör 8705 och 8706 finns ett perkolationsmagasin för infiltration av dagvatten. De vattenmängder som infiltreras kan orsaka en temperaturpåverkan i lagret. Förmodligen är denna påverkan också av mindre betydelse jämfört med ovan gångna faktorer.

Den norra polen synes vara mindre lämpad för säsongs-lagring än den södra polen p g a att värmeförlusterna är högre.

16. KOSTNADER

16.1 Investeringskostnader

Nedan redovisas de investeringskostnader som beräknats i olika skeden av projektet. Prisnivån är löpande. Kalkylerna 85-12-12 och 86-04-11 är rena prognoser medan kalkylen 86-11-03 är upprättad när huvudentreprenaden upphandlats. Den sista kalkylen 89-06-30 är en sammanställning av främst kända kostnader, dock är fortfarande vissa delar författarens uppskattningar.

Att klargöra de verkliga kostnaderna försvåras av att delar som upphandlats både omfattat delar av energisystemet och andra anläggningsdelar. En annan svårighet är var följdkostnader för VVS-systemens brister skall bokföras. Här har alla kostnader som behandlat kedjan marken, lagret och energicentralen inkluderats oavsett åtgärdernas orsak.

Det skall också framhållas att de olika kalkylerna har olika omfattning. Detta gäller både produktionskapaciteter som anges nedan och de olika moment som omfattas, vilket också anges i tabellen.

FÖRUTSÄTTNINGAR

	851212	860411	861103	890630
Värme				

Effektbehov (inkl vv), kW:	1740	2670	2670	3700
Energibehov, MWh:	1740	3335	3335	4850
Kyla				

Effektbehov (inkl vv), kW:	1370	1910	1910	1910
Energibehov, MWh:	1370	2400	2400	2400

KOSTNADER

1. Yttre markanläggningar				
	851212	860411	861103	890630
	(kr)	(kr)	(kr)	(kr)
Djupa brunnar	180	280	370	370
Grunda brunnar	100	100		
Förundersökn. och provpumpn.			100	100
Brunnsöverbyggnader	40	50		
Pumpar för grundvatten	100	-		
Rörledn. ø 400 250 m 150 m	325	270	1110	1400
Rörledn. ø 300 200 m 550 m	320	805		
Tomrör och dragbrunnar		100		
Installationer i brunnar och pumphus	100	50		
Återstående inst. i norr			150	
Delsumma	1165	1165	1730	1870
Oförutsett	<u>115</u>	<u>170</u>	<u>50</u>	<u>80</u>
Summa	1280	1825	1780	1950
Förstudier, hydrogeologi, VA-dom 1985			500	500
Hydrogeologi 1986			200	200
Projektering och kontroll			<u>300</u>	<u>300</u>
Summa			2780	2950

2. Energicentral

	851212 (kkkr)	860411 (kkkr)	861103 (kkkr)	890630 (kkkr)
Apparater enligt 2a	3000	3070	1600	2200
Rörinstallationer	2000	2200	1900	2500
Styr- o regler	450	500	800	1200
Elinstallationer	400	450		
Mätning	200	200	50	-
Elkraftmatning	-	-	300	500
Extern signalöverföring	X	X	-	-
Byggnadsvolym	X	X	X	X
Byggekostnader i lokaler	230	230	230	230
Vattenbehandling	<u>70</u>	<u>70</u>		<u>500</u>
Delsumma	6550	6720	4880	7130
Oförutsett	1300	1345	100	220
Proj, kontroll och idrift- tagning			700	2000
Summa	<u>7650</u>	<u>8065</u>	<u>5680</u>	<u>9350</u>

2a. Apparater i energicentral

	851212 (kkkr)	860411 (kkkr)	861103 (kkkr)	890630 (kkkr)
Värmeväxlare	300	440	304	350
Värmepumpar	1300	870	698	1100
Elpannor 2 x 200 kW	60	60	rör	50
Värmeackumulatorer 70/200 m ³	280	600	398	398
Grundvatten- o cirk. pumpar	200	225	rör	rör
Expansionskärl	90	90	rör	20
Styr- och reglerventiler	210	230	styr	styr
Tryckluftförsörjning	<u>20</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>
Delsumma	2460	2515	1400	1910
Montage	740	755	200	290
Summa	3200	3270		
Avgår data	<u>-200</u>	<u>-200</u>		
Summa	<u>3000</u>	<u>3070</u>	<u>1600</u>	<u>2200</u>

3. Beräknad anläggningskostnad för energiproduktionsanläggningar

	851212	860411	861103	890630
	(kkr)	(kkr)	(kkr)	(kkr)
Summa 1 + 2	9000	9900	8500	12300

4. Projektsamordnar- och byggherrepålägg m m 3300

Totalkostnad 890630: 15600
=====

Om man tar hänsyn till att kolumn 861103 och 890630 omfattar fler moment och att kapaciteten är lägst i kolumn 1 och högst i kolumn 4 ser man att kolumn 3 visar på en väsentligt lägre kostnadsnivå än övriga alternativ. En orsak till den högre kostnadsnivån i kolumn 4 är att anläggningen byggts i 2 etapper och belastats med betydande idrifttagningskostnader. Slutsatsen blir då att kostnadsnivån i kolumn 3 bör vara målet för framtida anläggningar medan kolumn 4 representerar den högsta kostnadsnivå man har anledning att räkna med.

16.2 Driftkostnader

Årskostnadsjämförelse upprättad 1988-02-10 presenteras nedan. Hittills insamlade data ger ej anledning att revidera denna kalkyl.

<u>Värme</u>	<u>Enhet</u>	<u>Frösundavik</u>		<u>Referens</u>	
		<u>Akvifersystem</u>		<u>Fjärrvärme och</u>	<u>kylmaskiner</u>
		<u>Mängd</u>	<u>kr</u>	<u>Mängd</u>	<u>kr</u>
Värmepump	MWh	3750			
Verkningsgrad inkl pumpar		2.7			
Köpt el	MWh	1390			
Kostnad effekt 500 kW			110		
Sommar 0.1 x 1390 x 212			29		
Vinter 0.9 x 1390 x 257			322		
Förvärmning	kW	1600			
	MWh	1100			
Köpt energi		-			
Återvinning kyla	MWh			750	
Köpt energi				-	
Fjärrvärme	kW			ca 1700	
	MWh			3000	
Kostnad effekt 23885 + 47 x 1700					104
Energi sommar 0.1 x 3000 x 150					45
Energi vinter 0.9 x 3000 x 200					540
Vattenavgift 20 x 3000 x 1.19					71
Summa köpt energi	MWh	1390		3000	
Specifik förbrukning	kWh/m ²	22	_____	47	_____
Summa kostnad värme			460		760

<u>Kyla</u>	<u>Enhet</u>	<u>Frösundavik</u>		<u>Referens</u>	
		<u>Akvifersystem</u>		<u>Fjärrvärme och</u>	<u>kylmaskiner</u>
		<u>Mängd</u>	<u>kr</u>	<u>Mängd</u>	<u>kr</u>
Kyleffekt	kW	2400		2400	
Kylenergi	MWh	2650		2650	
Verkningsgrad				3	
Köpt el	MWh	-		880	
Kostnad 200 kW			-		44
Sommar 0.7 x 880 x 212					131
Vinter 0.3 x 880 x 257					<u>68</u>
Summa kostnad kyla			0		240

<u>Sammanställning</u>	<u>Enhet</u>	<u>Frösundavik</u>		<u>Referens</u>	
		<u>Akvifersystem</u>		<u>Fjärrvärme och</u>	<u>kylmaskiner</u>
Summa årlig energikostn	kr	460		1000	
Summa köpt energi	MWh	1390		3880	
Specifik förbrukning	kWh/m ² , år	22		61	
Summa nyttiggjord värme och kyla 3750 + 2650	MWh	6400		6400	
Specifik kostnad	kr/MWh	72		156	
	öre/kWh	7.2		15.6	

Inklusive underhållskostnader blir specifika kostnaderna:

Underhåll	kr	250	150
Summa årlig driftskostn	kr	710	1150
Specifik kostnad	kr/MWh	110	180
	öre/kWh	11	18
	kr/m ²	11	18

Kapitalkostnader, anslutningsavgifter och fast avgift för el har ej inkluderats i kalkylen. I fjärrvärmealternativet har förutsatts att värmeväxling sker mellan till- och frånluft. De då aktuella energi- och effektbehoven har uppskattats. De energitaxor som legat till grund för kalkylen är Solna kommuns fjärrvärmetaxa och högspänningstaxan för 20 kV, tariff H 20. Specifika ytkostnader har baserats på 63 400 m², vilket var den yta som gällde 88-02-10. Observera att endast värme och kyla från energicentralen omfattas av kalkylen, dvs direktverkande el ingår ej.

C. SLUTSATSER

17. HYDROGEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR

De hydrogeologiska undersökningarna före utbyggnad av brunnar m m har bestått av

- seismisk undersökning för bestämning av åsens/
/gruslagrens mäktighet
- rörborrningar typ översiktliga rekognoserings-
borrningar för bestämning av jordlagerföljd,
jordlagrens genomsläpplighet och grundvatten-
kvalitetsförhållandena i akviferen
- provpumpning i tänkta uttags- och infiltrations-
lägen för kontroll av avsänkning och förhöjning
av grundvattenytan som underlag till ansökan om
vattendom
- långtidsobservation av grundvattenytan i grus-
åsen och i Brunnsviken för kontroll av det
hydrauliska sambandet mellan åsen och sjön
- rörborrningar i tänkta brunnslägen för upprät-
tande av förfrågningsunderlag för brunnar med
bestämning av filterlängd och slitsvidd för
respektive brunn.

17.1 Seismisk undersökning

Den seismiska undersökningen (som utfördes till en kostnad av ca 32 500 kr med tillägg för utsättning och avvägning 15 000 kr) omfattade en 885 m lång profil längs åsens centrum och fem kortare sektioner mellan 50 och 150 m eller totalt 1400 m profil. Genom att åsen utgjordes av grustagsbotten var det möjligt att lägga profilen på tämligen plan mark. Resultatet gav en grov bild av akviferdjupsförhållandena. I de delar där fyllning förekom (ca 100 m i södra delen av längdprofilen och i vissa av sektionerna) förmådde ej sprängningarna ge tillräcklig energi för att ge en tryckvåg ner till berg beroende på de löst packade fyllningsmassorna. Någon bergnivåindikation erhöles därför ej på dessa sträckor.

17.2 Rörborrningar

De fyra första rörborrningarna Rb 8501 - Rb 8504 gav i stort sett motsvarande information om djupförhållandena i akviferen som den seismiska undersökningen

och till ett pris av 15 000 kr. Med rörborrningarna erhöles även säkra uppgifter om de vattenförande lagrens mäktighet och genomsläpplighet. En "lagerföljd" på grundvattnet i åsen erhöles genom uttag av vattenprov på ca var 3:dje meter vid rörborrningen. Med inmätning och avvägning av rör samt vattenanalyser blev den totala kostnaden med rörborrningar ca 45 000 kr.

17.3 Provpumpning

För att närmare kartlägga akviferens utbredning, främst åsens bredd, och för observation av grundvattenytan vid provpumpning utplacerades i två omgångar ytterligare 7 + 7 rör (Rb 8510 - Rb 8516 och Rb 8604 - Rb 8610). Till detta kom utförande av två rörbrunnar av plast med 2.5 m långt silrör mellan nivåerna -2.5 till 5.0 och -5.5 till -8.0 i södra delen av grustaget. Provpumpningen skedde med två torrställda pumpar. Vatten avleddes via en PVC-ledning på grustagsbotten och en uppschaktad infiltrationsbassäng 4 x 7 m i norra delen av grustaget.

Provpumpningen utfördes med 50 l/s 1985-08-09 till 1985-08-20 utan avbrott.

Utförande av kompletterande rörborrningar och provpumpning utfördes till en kostnad av ca 150 000 kr inklusive avvägning av rör och vattenstånds- och temperaturmätningar.

17.4 Långtidsobservationer

Långtidsobservationer av grundvattenytan och Brunnsvikens vattenyta utfördes under maj-sept 1985. Kostnaden för dessa mätningar inklusive inlagring och uppritning på data kan uppskattas till 30 000 kr. Dessa mätningar visade sig vara av stort värde vid bedömning av det föreslagna akviferlagringssystemets inverkan genom att en jämförelse mellan pumpningens inverkan och de naturliga vattenståndsobservationerna kunde göras. Observationsmaterialet finns redovisat i ansökan om vattendom.

17.5 Rörborrningar i brunnslägen

Dessa borringar utfördes med s k krysspets, dvs ett 50 mm-rör som är öppet i själva spetsen där ett kryss sitter för att förhindra att stenar fastnar. I röret intränger upp till 2 cm stora gruskorn. Ett mer representativt prov erhålles på detta sätt jämfört med uppspolning av prov i rör med perforerad spets där hålen endast är 8 mm i diameter. Vid för silplacering

aktuellt djup i lagerföljden sker jordprovtagning på varje meter. Detta sker genom uppblåsning av jordproven med tryckluft.

Genom att vissa brunnar kom att placeras där en tjock armerad betongplatta täckte marken fick förborrning genom plattan ske. Åtta stycken borrningar, Rb 8611 till Rb 8618, utfördes. Rörborrningarna ledde till smärre flyttningar av vissa brunnslägen. Dessa tämligen kostsamma kontroller, ca 85 000 kr, är nödvändiga när det gäller upphandling av större rörbrunnar. I detta fall där lagerföljden var mycket fördelaktig för utförande av brunnar skulle det dock varit tillräckligt med borrning av typ rekognoseringsborrning med perforerad spets. Merkostnaden för provtagning enligt den noggrannare metoden på ca 10 m rörlängd rör sig om ca 5000 kr/rör om man även inkluderar det merarbete ytterligare siktningar och jordprovshantering innebär.

Sammanfattningsvis kan sägas att så gott som samtliga rörborrningar gått att genomföra utan större borraringsproblem. Av bifogat protokoll, Bilaga 17.1, framgår att få rör stoppat på block vid neddrivningen. Detta indikerar att isälvmaterialet huvudsakligen består av sandigt grus och grusig sand med trolig stenhalt som ej registreras vid borrningen. Vid flera rör var fortsatt borrning möjlig.

Vid de hydrogeologiska undersökningarna har även temperaturen i grundvattenmagasinet uppmätts på olika nivåer. Dessa mätningar har främst utförts för att ge bakgrundsvärden till de temperaturförändringar som sker vid inlagring av värme och kyla i grusåsen. Mätningarna är lätta att utföra och kan ske med stor precision vilket framgår i den av KTH gjorda termohydrauliska uppföljningen /Johansson S, 1989/.

17.6 Vattenkemi

Som ovan nämnts har grundvattenprov uttagits vid nästan alla rörborrningar. Provtagning har skett genom vakuumpumpning eller, där grundvattenytan legat djupt, med tryckluftblåsning. På detta sätt har en ganska bra bild av grundvattenkemin i akviferen erhållits. Genom numera tillgängliga elpumpar med diameter mindre än 50 mm finns möjlighet till mer rättvisande vattenprovtagning där vattnet ej utsätts för avgasning (undertryck) eller oxidation (tryckluft).

Tidigt kontaterades att i norra delen av akviferen fanns ett syrefattigt grundvatten med järn och mangan i lösning, medan i södra och mellersta delen ett oxiderat vatten förelåg utom på djupet. I de djupare delarna var också kloridhalten högre, dock som regel under 200 mg/l.

De konstaterade vattenkemiska förhållandena ledde till diskussioner om brunnsplacering och utformning av cirkulationssystem.

För att minska risken att få in saltyatten valdes att lägga brunnarna så långt från Brunnsviken som möjligt. Detta ledde till att även den södra delen av akviferen där SAS ej var markägare önskade utnyttjas. En varm pol placerades därför även söder om SAS-området. I ett tidigt skede fanns ej denna varma pol utan endast den norra varma polen där en massiv inlagring av varmvatten tänktes ske. Nedan under rubriken Projektering redovisas närmare erfarenheterna av att gå utanför det markområde man ej behärskar.

För att undvika oxidation och järn-manganutfällningar utformades grundvattencirkulationssystemet slutet. Genom att pumpningen skedde i energicentralen fanns ett krav även av denna anledning på helt slutet system. Intags- och utsläppsledningar i brunnar, vilka är desamma, drogs ner så långt under grundvattenytan i brunnen att någon risk ej skulle finnas för insugning av luft.

Erfarenheterna från driften av systemet är att man ej kan undvika att järn- och mangan oxideras när man cirkulerar vatten mellan ytligare och djupare delar av akviferen.

För att undvika utfällningar bör man börja med att uttaga syrehaltigt grundvatten i grunda brunnar och infiltrera detta vatten i djupa brunnar. Härigenom syresätts grundvattnet kring djupa brunnar. I SAS-lagret uttogs vatten under första vintern från den djupare delen beroende bl a på att systemet med vakuumledningar för avsugning av luft och eventuella gaser ej var utbyggt och svårighet förelåg att pumpa vatten från den södra varma brunnen. Uttaget av det djupa vattnet ledde till en oxidation av järn och igensättning av den grunda södra brunnen som utnyttjades för infiltration. Järnutfällningarna synes ha medfört visst kalkutfällning (medfällning) enligt utförd analys på fällningar. Södra brunnen fick därför senare rensas med saltsyra till en kostnad av 25 000 kr.

Sedan väl uttag från djupa och grunda brunnar kommit igång har järn- och mangan i lösning ej förekommit annat än i mycket låga halter, järn (Fe) mindre än 0.02 mg/l och mangan (Mn) mindre än 0.02 mg/l. Dessa halter har ej lett till några hittills iakttagbara igensättningstendenser. I stället synes brunnskapaciteterna ha ökat enligt utförda jämförelser mellan stegprovpumpningar vid brunnsbyggandet och under sommaren 1989.

Av värde för hur förhållandena i akviferen förändrats hade varit att utföra redoxpotentialmätningar. Dessa mätningar skulle kunnat ske i perforerade plaströr intill brunnarna och på några punkter ute i akviferen. Några sådana mätningar har dock ej utförts. Endast enstaka syrehaltsmätningar på det cirkulerande grundvattnet har skett vid några enstaka tillfällen vilka visar att syre finns i grundvattnet men att halten är låg.

Av ovanstående framgår att ett akviferbaserat energisystem är känsligt för vattenföroreningar som förbrukar den lilla syremängd som finns i grundvatten, t ex spillvatten, glykolläckage, petroleumprodukter m m. En energianläggning av denna typ bör därför bevaka tillrinningsområdet och lägga vissa allmänna skydds-krav på kringliggande fastigheter på samma sätt som sker vid grundvattentäkter för vattenförsörjningsändamål.

17.7 Allmänna slutsatser

När det gäller att draga någon mer allmän slutsats av de hydrogeologiska undersökningarna kan sägas att någon bättre metod att klarlägga akviferförhållandena än med rörborrningar ej synes finnas.

I åsakviferen vid SAS-kontoret har rörborrningar kunnat utföras utan några större rördrivningsproblem. Utbyggnaden av produktionsbrunnarna (rörbrunnarna) gick också att genomföra utan problem.

Trots att ganska många rör drivits (26 rör före upphandlingen av produktionsbrunnarna och till juni 1989 ca 40 rör) har vissa viktiga delar av akviferen ännu ej undersökts. Vilken akvifervolym som finns söder om den södra varma brunnen är ej närmare bestämt, vilket är av intresse att veta eftersom denna del av akviferen visat sig mest lämpad för inlagring av värme. Även norr om norra brunnen saknas rör för att kunna utvärdera hur inlagrad värme sprids i åsakviferen i denna del.

När det gäller de utförda undersökningarna skulle den seismiska undersökningen kunnat avvaras. Vidare skulle vissa vattenprovtagningar kunnat ersättas av redoxpotential- och konduktivitetsloggningar i perforerade plaströr. Perforerade plaströr kan sättas, antingen genom att slå ner vanliga 50 mm stålrör och slå ut en lös spets, sätta ner plaströret och draga upp stålröret, eller genom att använda tung foder-rörborrning.

18. PROJEKTERING

Värmelagret har planerats från idé till bygghandlingar helt inom det ordinarie byggprojektet för Frösundavik. Upphandlingsunderlagen för markanläggningar togs fram samtidigt med VA-anläggningarna. Energicentralens installationer projekterades samtidigt som VVS-anläggningen men upphandlades tidigare än denna.

18.1 Markanläggningarna

Projekteringsarbetet för markanläggningarna karakteriserades av att många företag och lika många handläggare ansvarade för relativt små delar. Alla var mycket intresserade av lagerfrågorna och diskuterade gärna allmänna frågor kring dessa medan det var ett mindre intresse för mer specifika frågeställningar som t ex krav på utformning och kvalitet.

När brunnar och ledningar var placerade avtog kontakterna mellan den för lagret ansvarige hydrogeologen och övriga. Eftersom lagret inte begränsas till de anläggningar som syns på ritningar utan upptar nästan hela tomten fanns beröringspunkter i det fortsatta projekteringsarbetet som inte kom att behandlas tillräckligt utförligt. Exempelvis kom spegeldammen att ha stor inverkan på den norra delen av värmelagret.

18.2 Energicentralen

Underlaget för dimensionering av byggnadens tillförselsystem avvek från det verkliga utfallet. Det hade förmodligen varit möjligt att bestämma värmeeffektbehovet med bättre precision. Kylbehovet är däremot svårare att ange i ett förprojekteringsskede, vilket framgår av att de mätdata som hittills insamlats fortfarande inte ger underlag för några nya prognosmetoder.

Energiplanering vid projektering av kontorsbyggnader måste vara en samverkan mellan Bygg, VVS, El och nyttjaren. Ofta anser man att det är svårt att beskriva hur byggnaden skall nyttjas men generellt gäller att kontorsarbete är kontorsarbete oavsett vad företaget heter. Ett viktigt förhållande som inte får förbigås är att arbetstiden är ca 1800 h/år av årets 8760 h. Av dessa 1800 h tillbringas en avsevärd del på annan plats än i kontorsrummet p g a sammanträden, konferenser m m. Om man baserar kontorsrummets uppvärmning på den verksamhet som bedrivs där har man alltså bara löst en del av problemet.

I Frösundavikprojektet antogs att rummen skulle komma att kräva minimal värmestillförsel och att kylbehovet endast svårligen kunde tillgodoses. Detta antagande låg till grund för beslutet att inte distribuera värme från energianläggningen till kontorsrummen som i stället blev elvärmda. Byggnadens klimatskal gavs stora fönsterytor med 2-glasfönster. Som en följd härav består de återstående väggytorna till stor del av balkar. Ytbeklädnaden av glas och plåt omöjliggör kontroll med värmekamera.

Ovanstående förhållanden påverkar inte direkt värmelagringsanläggningen utan innebär främst att byggnadens elförbrukning blir högre än beräknat. Klimatfrågorna orsakade dock en stor del av idrifttagningssvårigheterna samt bidrog till att anläggningarna måste kompletteras under det första driftåret.

Projekteringen internt i energicentralen dominerades av systemlösningssfrågor. Exempelvis växlar flera av energiflödena riktning under året. Cirkulations-, värmeväxlar- och styrsystem kan därigenom utformas på ett stort antal sätt. De sätt som valts kan karakteriseras av att utföranden med minsta antal komponenter valts till priset av relativt komplicerade styr- och reglerfunktioner. Att några funktioner inte kommit till användning kan betraktas som normalt. Inbyggda funktioner som inte utnyttjas är t ex materialval och spolfunktioner till skydd mot höga kloridhalter i grundvatten och skydd mot okontrollerad cirkulation av för varmt grundvatten. Mellan grundvattnet och värmepumparna arrangerades en separat värmeväxlare. Nu när driftresultaten visat att utfällningar inte förekommer i grundvattenkretsen kan man dra slutsatsen att värmeväxlingen inte var nödvändig.

19. PROJEKTORGANISATION OCH GENOMFÖRANDE

19.1 Projekteringskedde

Det projektsamordnande företaget ledde via projekteringsledaren och hans stab projekteringsarbetet. Ansvariga för de olika fackområdena kallades till regelbundna möten.

Arbetet kan beskrivas som välorganiserat. Diskussionerna vid mötena fördes på stor bredd, möjligen med alltför många personer och fackområden närvarande.

Projekteringsledaren samordnade önskemål, krav och synpunkter från alla dessa på ett mycket skickligt sätt. Frågor som omfattade flera fackområden krävde ibland mera samordning, vilket fordrar god samarbetsvilja hos projektörerna och ett kraftfullt agerande av projekteringsledaren.

Ett intryck är att relativt få misstag gjordes därför att frågor försumrats. Däremot är klimatfrågorna och spegeldammen exempel på frågor som diskuterats av många, under lång tid och på åtskilliga sammanträden men där besluten fattades sent och dessutom i efterhand befanns vara mindre lämpliga. Detta beror i första hand på ett allmänt intresse och engagemang. I andra hand uppstår till följd av detta breda engagemang en suddighet beträffande ansvaret för beslutsunderlaget och besluten. En tredje effekt kan vara att när en fråga diskuterats tillräckligt mycket utbildas en tes om vad som är rätt. Risk finns då att nya uppgifter inte tillåts hota denna tes och att denna kommer att utgöra projekteringsunderlag.

Att det uppstår planeringsmissar och att vissa beslut är mindre bra är naturligt i ett projekt av denna storlek. Ett sätt att minska konsekvenserna kan vara att omedelbart efter projekteringskedet gå igenom projektet ytterligare en gång.

En trolig orsak till att en sådan genomgång normalt inte kommer till stånd är nedanstående förhållanden.

Efter projekterings slutförande är projektörerna mer direkt ansvariga för sina handlingar. En entreprenör är upphandlad, varför varje ändring direkt får en prislapp. Vidare är projektledningen obenägen att lägga ut pengar på arbete som formellt redan skall vara utfört. Det är emellertid troligt att åtskilliga frågor löses bättre och billigare i detta skede än några månader senare mitt i det hektiska byggskedet eller som ombyggnadsarbeten efter inflyttningen.

I projekt Frösundavik minskades organisationen när projekteringsskedet formellt var slut, vilket minskade möjligheterna att lösa återstående problem under projekteringsskedet.

19.2 Genomförande

Byggandet åtföljdes av regelbundna byggmöten för respektive fackområde. Här medverkade entreprenörer, beställare, projektsamordnare, installationssamordnare och projektör m fl.

I genomförandeorganisationen fanns inga kontrollanter. Avsikten var att installations- och byggsamordnarna skulle utöva kontroll av arbetena. Här likaväl som i andra byggprojekt blir dessa personer överhoppade av andra arbetsuppgifter. Någon egentlig kontroll under byggtiden fanns således inte annat än när speciellt behov påkallade detta. Man kan förmoda att idrifttagningstiden kunnat förkortas om kontrollanter i gängse mening förekommit. För vissa anläggningsdelar såsom ledningar i mark saknas erforderliga uppgifter om utförandet trots att denna dokumentation ingick i de upphandlade entreprenaderna.

Oförutsedda problem eller mer komplexa frågeställningar under genomförandeskedet kunde i några fall inte handläggas alls eftersom projekteringsorganisationen reducerats. Exempelvis påträffades dubbla grundvattenvåningar vid anläggandet av två grundvattenbrunnar. Dessas brunnsöverbyggnader borde utförts med ett annat dräneringssystem än det planerade. Detta blev dock ej utfört under byggnadstiden.

19.3 Idrifttagning

Idrifttagningens omfattning har beskrivits i tidigare kapitel. Att ett idrifttagningsskede bör förekomma i moderna kontorsbyggnadsprojekt framgår bl a av det s k Stockholmsprojektet /Wånggren B, 1987/. I detta projekt har fem byggnader med olika energilösningar studerats med avseende på dimensionering, byggande och idrifttagning etc. Här framgår också att något idrifttagningsskede normalt ej ingår i planeringen ens vid experimentbyggande. Man ser i stället till att installationerna fungerar hjälpligt och åtgärdar endast uppenbara brister.

Vid inflyttningen i januari 1988 blev behovet av ett idrifttagningsskede uppenbart eftersom styrentreprenaderna bara var delvis genomförd och värmeinstallationerna ej var anpassade till byggnadens verkliga behov. Avsaknaden av en konsekvent organisation för

idrifttagningen medförde att de åtgärder som vidtogs genomfördes långsamt och ofta var riktade mot sekundära fel och akuta problem.

De organisatoriska svårigheterna kan ha sin grund i någon eller några av följande generella faktorer:

1. Projektsamordnaren har lovat att projektet skall vara klart vid en bestämd tidpunkt.
2. Byggherren vill visa upp ett väl genomfört projekt för omvärlden.
3. Driftorganisationen förväntar sig en färdig anläggning och skall inte engagera sig i tidskrävande projektarbete.
4. Projektörerna har förbrukat sin budget och kan göras ansvariga för fel som uppdrags.
5. Entreprenörerna drabbas av kostnader för varje eget initiativ de tar.
6. Särskilt för installationer gäller att komplexiteten är stor och därmed är ansvarsförhållandena svåra att klara ut.

Det sätt som respektive aktör är upphandlad på blir avgörande för hur han agerar i detta skede. De vanligaste upphandlingsformerna med ett fast pris medför att de flesta aktörers intresse för projektet försvagas när han anser att hans arbeten är slutförda.

Förutom att idrifttagningen skall erkännas som ett naturligt moment i byggandet bör man redan vid upphandlingen av samordnare, projektörer och entreprenörer så långt möjligt klargöra åtaganden och ersättningar också för detta skede.

Man kan förmoda att flera problem i Frösundavik-projektets slutskede hade varit möjliga att undvika. Det är dock klart att det kan vara ekonomiskt att lösa vissa mindre frågor sent i ett projekt liksom att misstag alltid kan ske.

19.4 Upphandling och besiktning

De entreprenader som berörde energianläggningen var: Grundvattenbrunnar, Bygg, Ventilation, VA, Rör, Elkraftförsörjning och Styr. Av dessa är Rör och Styr av störst omfattning och betydelse. Flertalet entreprenader upphandlades enligt standardavtalet AB 72, dvs det var s k "entreprenader på färdiga handlingar".

Detta är ett gängse sätt att upphandla delentreprenaderna. Det är dock möjligt att styrentreprenaden bör vara en funktionsupphandling, en s k "totalentreprenad", t ex enligt standardavtalet ABT 74. Eftersom varje anbudsgivare har sitt eget system och sina egna komponenter kan underlaget aldrig motsvara kraven för färdiga handlingar om flera anbudsgivare skall inbjudas. Detta medför att handlingarna blir inhomogena och att de uppsatta kvalitetskraven inte alltid uppnås. I Frösundavik-projektet uppstod sådana problem vad avsåg styrventiler, vissa larmsignaler samt behandling av signaler från komponenter i sidoentreprenader.

Det övergripande ansvaret för delentreprenader sammanförs normalt till en generalentreprenör. I det fall denna entreprenör också svarar för projekteringsarbetet och alltså ansvarar både för konstruktion och utförande kallas han totalentreprenör. Frösundavik-projektet genomfördes så att den av SAS anlitate projektsamordnaren upphandlade projektering och byggande i en mängd olika uppdrag och entreprenader. Projektsamordnaren har emellertid inte som general- eller totalentreprenören ett direkt ansvar för delentreprenaderna. Detta medförde att ansvars- och rollfördelningen vid idrifttagning och besiktning blev diffus.

Vissa besiktningsarbeten inleddes utan att respektive entreprenör anmält att entreprenaden färdigställd. Detta kan synas lovvärt i syftet att spara tid, men har tyvärr motsatt effekt eftersom entreprenören inte får ett mål i sin tidplanering. Vid en besiktning spelar det stor roll om entreprenören anser att arbetena är färdigställda eller inte.

Besiktningsförrättarna var aktiva under idrifttagningsperioden. Eftersom viktiga delar inte var färdiga och vissa handlingar var felaktiga blev deras arbete besvärligt.

Stora svårigheter förelåg t ex vid provning av distributionssystemen. De planerade provningsmöjligheterna var otillräckliga och de centrala mätarna var ännu inte i funktion. Besiktningsförrättarna godkände dock vissa entreprenader där åtskilligt återstod.

En möjlighet som utnyttjades mycket litet vid besiktningen var att notera s k B-anmärkningar, dvs brister som entreprenören inte är ansvarig för. Det är naturligt att sådana brister förekommer vid delade entreprenader. Det är därför viktigt att de bokföres så att de kan åtgärdas.

19.5 Dokumentation

Lagringsanläggningen som stötts med experimentbyggnadslån har dokumenterats relativt väl. En uppdatering av driftinstruktionen för installationerna planeras ske efter det första normala driftåret. Driftinstruktion för markanläggningarna saknas ännu men skall upprättas när en normal lagringscykel genomförs. Särskild vikt har lagts vid att hålla beskrivningen av styr- och reglersystemen aktuell under hela projekttiden.

Dokumentationen av byggnadens konventionella VVS- och VA-system är bristfällig och omfattar i bästa fall katalogblad för komponenter. Det upphandlade datorbaserade underhållsprogrammet har inte heller kommit till utförande.

Att anläggningar dokumenteras väl bör vara ett primärt kvalitetskrav. Om möjligt skall det gå att revidera dokumentationen på ett enkelt sätt.

20. DRIFT OCH UNDERHÅLL

20.1 Driftstrategi för akviferen

I akviferens norra del, där den hydrauliska konduktiviteten är mycket hög (10^{-1} m/s), arbetar energilagret med horisontell termisk skiktning så snart temperaturen överstiger ca 10°C . Denna funktion var förutsedd och brunnsfiltret placerades i akviferens övre del. Skiktningen ansågs vid planeringen möjliggöra bättre kontroll och utnyttjande av värmelagret. Erfarenheterna är emellertid de motsatta. Värmen flyter ut mer än väntat vilket innebär att energi- och temperaturverkningsgraden blir låg. Detta förstärks av cirkulationspumpningen genom dammen, varvid grundvatten cirkuleras och uppvärms/avkyls beroende på årstid innan allt återinfiltreras i akviferen. Utflytningen av det varma vattnet innebär att det är svårt att selektivt ta ut det varma grundvattnet eftersom brunnsfiltret går ned till -5 m, vilket är onödigt djupt med tanke på de små (ca 2 cm) avsänkningar som fås vid uttag.

I akviferens södra och mellersta delar, där den hydrauliska konduktiviteten är 10^{-3} till 10^{-1} m/s, erhålles obetydlig termisk skiktning. Detta var endast delvis förutsett. Inte heller skillnader i hydraulisk konduktivitet mellan olika horisontella markskikt leder till den termiska dispersion som kunde befaras. Eftersom täckande marklager uppgår till ca 8 m och grundvattenrörelsen är liten blir värmeförlusterna små. Sammantaget ger detta ett gott utnyttjande av magasinsvolymen.

De hittillsvarande erfarenheterna tyder på att de södra och mellersta akviferdelarna väl kan tillgodose byggnadens behov av effekt och energi. Akviferen bedöms också kunna arbeta utan besvärande fysikaliska eller kemiska störningar. Den avsedda funktionen kan uppnås genom att brunn 34 och brunn 51 hela tiden utnyttjas. Övriga brunnar och akviferdelar utgör då reserv. Denna strategi är fördelaktig ur driftsynpunkt eftersom omkopplingar av brunnar, bedömning av markens värmeinnehåll etc kan minimeras.

Den närmare energibalansen i marken är ännu obekant. Hittillsvarande mätningar tyder dock på att marken kan "buffra" de aktuella avvikelserna.

20.2 Drift och underhåll av brunnar

Genom regelbunden analys av grundvattnet kan konstateras om syrebrist föreligger. Syrebrist ökar riskerna för utfällning av järn- och manganoxider vid

infiltration. Vid eventuella större läckage till marken av oljeprodukter eller avloppsvatten kan syrebrist uppstå i grundvattenmagasinet med utlösning av järn och mangan ur jordmaterialet som följd. Det är därför angeläget att skydda akviferen mot sådana utsläpp.

Det hydrauliska motståndet i brunnarna bör mätas regelbundet också i fortsättningen.

Nuvarande inläckning av ytvatten och grundvatten från den övre grundvattenvåningen vid brunn 52 och brunn 53 bör åtgärdas.

20.3 Drift och underhåll av övriga installationer

Grundvattenkretsen med värmeväxlare, styrventiler och avluftare kräver regelbunden kontroll. Hittills har endast styrventilerna krävt underhåll. Den största risken utgör beläggningar i värmeväxlarna. Kontrollen av detta sker som hittills genom att temperaturdifferensen mellan medierna avläses. Om en stigande temperaturdifferens konstateras bör växlarna rengöras genom cirkulation av surgjord vattenlösning.

Värmepumparna kräver regelbunden service. Denna är emellertid helt enligt tillverkarens anvisningar och är därmed ej specifik för akviferlagringstekniken.

En anläggningsspecifik kontroll och service krävs för styr- och regleranläggningarna. Funktionerna vid värmepumpar, ackumulatorer och grundvattenkretsen bör provas vid tecken på störning eller efter större ingrepp i systemen. Denna kontrolluppgift är komplex och kräver en god kännedom om systemen.

Övriga delar kan drivas och underhållas på konventionellt sätt.

D. REFERENSER

Berglund S och Gudmundsen B:
Studium av grundvattenytans variationer i
Stockholmsåsen vid Frösundavik, Solna
KTH, Vattenbyggnad, Stockholm 1989

Boysen A, m fl:
Energilagring, underlag för BFR's treårsplan
1987/88 - 1989/90, G26:1986
Stockholm 1986

Elmroth A:
VVS och Energi, nr 11, sid 27
Stockholm 1989

Elmroth A m fl:
Sex unika hus...
Byggforskningsrådet, G2:1988
Stockholm 1988

Eriksson A, Johansson S:
SAS Frösundavik. Kontroll av utförda brunnar för
energianläggningens grusfilterbrunnentreprenad
AIB Anläggningsteknik AB, Solna 1986-10-28

Johansson S:
Termohydraulisk uppföljning av akvifervärmelagret
vid SAS, Frösundavik
KTH, Vattenbyggnad, Report No. 43, Stockholm 1989

Lidström K:
Stockholmsåsen vid Frösundavik, Hydrogeologisk
studie med avseende på energilagring
Stockholms universitet, Stockholm 1989

Lindblad-Påsse A:
Järnutfällningsproblem i grundvattenvärmesystem
BFR R109:1986, Stockholm 1986

Wångren B:
VVS och Energi nr 6, sid 61
Stockholm 1987

E. BILAGOR

- Bilaga 8.1 Redovisning av driften vid energi-
anläggningen, 1987-11-09
- Bilaga 8.2 Redovisning av driften vid energi-
anläggningen, 1988-05-08
- Bilaga 8.3 Redovisning av driften vid energi-
anläggningen, 1988-11-22
- Bilaga 8.4 Uppmätta energimängder,
april-dec 1989
- Bilaga 14.1 Vattentemperaturens inverkan på
brunnens funktion
- Bilaga 14.2 Vattenkemiska analyser
- Bilaga 17.1 Rördrivningsprotokoll

1987-11-09

BFR-UTVÄRDERING
SAS FRÖSUNDAVIK

REDOVISNING AV DRIFTEN VID ENERGIANLÄGGNINGEN

Bakgrund

Anläggningen byggdes under hösten 1986 och vintern 1987. Mekaniska installationer och elkraftinstallationer var i huvudsak färdiga i februari 1987. En provisorisk drift inleddes 1987-02-18. Denna drift syftade till att försörja husen med byggvärme för att ersätta så många gasolvärmare som möjligt. Driften karakteriserades av att distributionssystemet för kyla utnyttjades för värmedistribution efterhand som det färdigställdes. Vidare saknades helt styr-, regler- och mätanläggning med undantag av skyddsutrustning vid de två värmepumparna. För att tillföra akviferen viss mängd värme så att högre grundvattentemperaturer än de naturliga kunde utnyttjas under kommande vinter planerades en kyl drift under sommaren 1987.

Drift

Byggvärme våren 1987:

- Kalendertid 1987-02-18 till 1987-06-22

- Drifttider:

Värmepump 1: 2186 h

Värmepump 2: 2441 h

- Energimängder:

Värmepumparna bedöms ha arbetat på ca 95 % av full kapacitet. Utgående grundvattentemperatur 0-1°C. Utgående värmebärartemperatur 50-55°C.

Kylkapacitet vid ovanstående förhållanden är 220 kW och värmekapaciteten är 312 kW enligt leverantörens datablad.

Energimängd från akvifer:

$(2186 + 2441) \text{ h} \times 220 \text{ kW} \times 0,95 = 967\ 000 \text{ kWh}$

Energimängd till byggnaden:

$(2186 + 2441) \text{ h} \times 312 \text{ kW} \times 0,95 = 1\ 370\ 000 \text{ kWh}$

Den cirkulerade grundvattenmängden har uppmätts till 180 000 m³.

Grundvattnet togs ur brunn 51 och infiltrerades i brunn 34. En successiv ökning av infiltrationsmotståndet i brunn 34 noterades. Detta inverkar emellertid inte på driften i övrigt. Tillgängligheten under perioden måste med hänsyn till de provisoriska förhållandena beskrivas som god.

Kyl drift sommaren 1987:

Från 1987-07-02 till 1987-07-06 utnyttjades det ovan nämnda distributionssystemet för kyl drift. Eftersom utetemperaturen dagtid var ca 15 °C och alla hus inte var anslutna var kylbehovet litet. Drift utan reglering visade sig svår eftersom rörsystem och kyltor fick ytemperaturer under dagpunkten med kondens som följd. Driften avbröts sedan 2 200 m³ grundvatten cirkulerats med en obetydlig temperaturförhöjning. Eftersom sommaren 1987 inte innehöll några "värmeböljor" gjordes inga fler försök med denna driftform.

Byggvärme hösten 1987:

- Start 1987-08-17
- Drifttider 1987-11-06

Värmepump 1: 1084 h

Värmepump 2: 697 h (avställd t o m 1987-09-21
p g a utebliven service)

- Energimängder:

Värmepumparna bedöms ha arbetat på ca 90 % av full kapacitet. Utgående grundvattentemperatur 3-4 °C. Utgående värmebärartemperatur 50-60 °C.

Kylkapacitet vid ovanstående förhållanden
ca 225 kW, värmekapacitet 315 kW.

Energimängd från akvifer:

$(1084 + 697) \text{ h} \times 225 \text{ kW} \times 0,9 = 360\,000 \text{ kWh}$

Energimängd till byggnaden:

$(1084 + 697) \text{ h} \times 315 \text{ kW} \times 0,9 = 505\,000 \text{ kWh}$

Grundvattencirkulation:

Bedömd drifttid 1 400 h.

Allt grundvatten har infiltrerats i brunn 51. Från brunn 34 togs fram till 1987-09-25 ut ca: $0,020 \times 3600 \times 800 \text{ h} = 57\,600 \text{ m}^3$ (uppmätt 64 500).

Från brunn 55 har från ovanstående datum t o m 1987-11-06 tagits upp: $0,025 \times 3600 \times 600 \text{ h}$ motsvarande ca $50\,000 \text{ m}^3$.

Driften har under hösten störts av montage och provning av styranläggningen. Någon registrering av tiden för olika störningsorsaker har ej skett. En bedömning är dock att anläggningens tillgänglighet under perioden varit avsevärt sämre än under vårperioden. Orsakerna är främst:

- Svårigheter med grundvattencirkulationen från brunn 34
- Falska förväntningar om fungerande styranläggning
- Lång väntetid för service av värmepump

Färdigställande och idrifttagning

Som framgår i inledningen nyttjas anläggningen hittills provisoriskt. Under våren 1987 anlades ledningar till brunn 34. Under oktober 1987 installerades styranläggningen. Besiktning av samtliga anläggningsdelar pågår. Någon egentlig idrifttagning av anläggningarna har inte skett. Personal härför saknas under byggnadskedet varför egentlig idrifttagning enligt vår bedömning kommer att utföras av SAS-personal under första kvartalet 1988.

Slutsatser

Det provisoriska nyttjandet av anläggningen har medfört att färdigställandet dragit ut på tiden. Eftersom anläggningen varit "i drift" har åtgärder vid anläggningen givits låg prioritet.

Cirkulationen av grundvatten har inte den säkerhet som erfordras. En komplettering med en pump och kringutrustning i brunn 34 har aviserats. Vissa andra kompletteringar övervägs.

Vid grundvattenuttag från brunn 51 sker utfällning av järn. Detta avsätts där vattnet infiltreras, vilket leder till igensättning av brunnsfiltret.

Störningar i värmeväxlare och pumpar har ej påvisats.

Vattnet från brunn 34 och 55 (de varma brunnarna) har hittills inte givit upphov till störningar p g a utfällning. Vattenprov taget i energicentralen vid uttag ur resp brunn redovisas på sid 5 och 6.

Systemet med sugledning för grundvattencirkulationen har medfört svårigheter att lokalisera orsaker till störningar.

AIB Anläggningsteknik AB

Tomas Åbyhammar

Norrvatten
 Laboratoriet - Görvälnverket
 175 47 Järfälla Tel 0758/382 01

Analysnummer: 1172
 Datum 1987/10/16

PROTOKOLL

Över kemisk undersökning av Grundvatten
 Vattenanläggningens namn SAS, Brunn 34
 adress

Prov art: Grundvatten

Provtagare..... T Å Provt.temp.. -°C

Ankomsttemp... -°C

Provet taget..... 87-09-25 Kl.-

Inkom till lab.... 87-10-08 Kl.13.30

Provet märkt..... Brunn 34

Provtagningsplats..

RESULTAT

KEMISK UNDERSÖKNING

Färgstyrka, Pt (efter filtr.)	SIS 028124	8	mg/l
Grumlighet, FTU/okulärt	SS 028125	6.1	/ svag
Lukt, (60°C) styrka/art	enl. MS 122	svag/	obestämbart
Bottensats	enl. MS 122	liten,	ljusa part.
Konduktivitet, (25°C)	SIS 028123	98.0	mS/m
Permanganförbrukningen, KMnO ₄ /COD	SS 028118	7	/ 2 mg/l
Glödrest, beräknad ur analys Mn		536	mg/l
pH-värde	SS 028122	7.0	
Tot.hårdhet som Ca/dH°	SS 028121	160	mg/l / 22.4°dH
Kalcium, Ca	SIS 028119	132	mg/l
Magnesium, Mg beräknad	Std. Meth. 1985	17	mg/l
Järn, Fe	SIS 028129	0.76	mg/l
Mangan, Mn	SIS 028130	0.01	mg/l
Alkalinitet, Beräknad som HCO ₃	SS 028139	269	mg/l
Klorid, Cl	SS 028120	95	mg/l
Fluorid, F	SIS 028135	0.56	mg/l
Sulfat, SO ₄ Turbidimetrisk metod	Std. Meth. 1985	144	mg/l
Ammonium, NH ₄	SIS 028134	0.04	mg/l
Nitrit, NO ₂	SIS 028132	0.07	mg/l
Nitrat, NO ₃	SIS 028133	15	mg/l
Fosfat, PO ₄	SIS 028126	< 0.01	mg/l
Marmoraggressiv kolsyra, CO ₂	beräknad	20	mg/l
Syre, O ₂	SIS 028174	4	mg/l

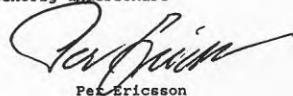
Anmärkingar och särskilda motiveringar:

Järn (efter luftning och filtrering) 0,09 mg/l Fe

Mangan (efter luftning och filtrering) 0,01 mg/l Mn

Provet var ca två veckor gammalt, då det inkom till laboratoriet, varför analysresultaten kan vara osäkra.

Behörig undersökare



Per Ericsson

Norrvatten
 Laboratoriet - Görvälverket
 175 47 Järfälla Tel 0758/382 01

Analysnummer: 1173
 Datum 1987/10/16

PROTOKOLL

Över kemisk undersökning av Grundvatten
 Vattenanläggningens namn SAS, brunn 55
 adress

Prov art: Grundvatten

Provtagare..... T Å Provt.temp.. -°C

Ankomsttemp... -°C

Provet taget..... 87-10-07 Kl.17.00

Inkom till lab.... 87-10-08 Kl.13.30

Provet märkt..... Brunn 55

Provtagningsplats..

RESULTAT

KEMISK UNDERSÖKNING

Färgstyrka, Pt (efter filtr.)	SIS 028124	< 5	mg/l
Grumlighet, FTU/okulärt	SS 028125	0.25	/ ingen
Lukt, (60°C) styrka/art	enl. MS 122	ingen	
Bottensats	enl. MS 122	ingen	
Konduktivitet, (25°C)	SIS 028123	83.7	mS/m
Permanganatförbrukningen, KMnO_4/COD	SS 028118	7	/ 2 mg/l
Glödrest, beräknad ur analys Mn		456	mg/l
pH-värde	SS 028122	7.0	
Tot.hårdhet som Ca/dH°	SS 028121	139	mg/l / 19.5°dH
Kalcium, Ca	SIS 028119	113	mg/l
Magnesium, Mg beräknad	Std. Meth. 1985	16	mg/l
Järn, Fe	SIS 028129	0.03	mg/l
Mangan, Mn	SIS 028130	0.01	mg/l
Alkalinitet, Beräknad som HCO_3	SS 028139	236	mg/l
Klorid, Cl	SS 028120	78	mg/l
Fluorid, F	SIS 028135	0.54	mg/l
Sulfat, SO_4 Turbidimetrisk metod	Std. Meth. 1985	116	mg/l
Ammonium, NH_4	SIS 028134	0.02	mg/l
Nitrit, NO_2	SIS 028132	0.03	mg/l
Nitrat, NO_3	SIS 028133	16	mg/l
Fosfat, PO_4	SIS 028126	0.01	mg/l
Marmoraggressiv kolsyra, CO_2	beräknad	23	mg/l
Syre, O_2	SIS 028174	2	mg/l

Anmärkningar och särskilda motiveringar:

Järn (efter luftning och filtrering) 0.02 mg Fe/l
 Mangan (efter luftning och filtrering) 0.01 mg Mn/l

Behörig undersökare


 Per Ericsson

1988-05-08

BFR-UTVÄRDERING
SAS FRÖSUNDAVIK

REDOVISNING AV DRIFTEN VID ENERGIANLÄGGNINGEN

1. Färdigställande

Läget är stort sett oförändrat sedan föregående rapport 1987-11-09. Man kan säga att ingenting är färdigt vad gäller måtanläggningen. Styr- och regleranläggningen är byggd och delvis provad. Justering och intrimning har inte genomförts. Mekanisk utrustning är i stort sett färdigställd och besiktigad.

2. Idrifttagning

Som framgått av tidigare redovisning har värmeproduktionsanläggningen varit i provisorisk drift sedan 1987-02-18. Under oktober 1987 anslöts styranläggningen. I samband med årsskiftet 1987/88 flyttade all personal (ca 1200 st) in i byggnaden. Då inleddes också drift av kylanläggningen.

Under december 1987 och januari 1988 noterades kapacitetsbrister i värmeanläggningarna. Efter omfattande undersökningar fastslogs att energiproduktionsanläggningen uppfyller de ställda kapacitetskraven men att behovet av värmeeffekt var ca 70 % större och energibehovet ca 100 % större än vad som tidigare var angivet. Till detta kom att akviferen detta första år inte hade tillförts värme från föregående säsong. Det låga laddningstillståndet påverkade främst förvärmningen av ventilationsluft som i år gav lägre effekt än ett normalår. Ytterligare en svårighet var att byggnadens klimatskärm ännu i januari inte var helt sluten.

Denna svåra situation klarades förvånansvärt bra genom reducerad uteluftventilation i byggnaden samt utnyttjande av elpannor och annan elvärme. Den milda vintern underlättade givetvis driften men man kan också säga att den försenade nödvändiga åtgärder.

Partsförhållandena mellan entreprenör, generalentreprenör och byggherre har försvårat genomförande av vissa delar. Förutom att måtanläggningen ännu inte är i drift har grundvattenbrunnarna under större delen av perioden inte varit tillgängliga för mätning och kontroll.

3. Systemfunktioner

De nya uppgifterna för värmebehovet innebar också att värmesystemets framledningstemperatur har höjts kraftigt och att förbrukningen nattetid ökat så att dygnslagringsbehovet minskat från ca 7 MWh till ca 4 MWh.

För att sänka framledningstemperaturen planeras en värmeöverföring mellan de två distributionssystemen. För att klar det ökade värmebehovet planeras installation av den tredje värmepump som tidigare fanns med i projektplanerna.

Driften har fram till april månad präglats av kapacitetsbrist och bristfälliga styrfunktioner. Dessutom har ansvaret för drift och färdigställande varit oklart. Betydande insatser har gjorts för att klarlägga brister och fel. Åtgärder mot dessa har emellertid släpat efter.

Värmepumparnas drift har varit orolig. Vardera drivmotorn har havererat p g a lagerfel. En kuggväxel mellan motor och kompressor på VP1 har renoverats p g a kraftigt missljud. En oljenivåvakt har stoppat ena värmepumpen (VO2) på felaktiga grunder. Det övergripande styrsystemet stoppade under mars månad i samband med ventilmställning värmebärande flödet. Härvid stoppades aggregaten vid flera tillfällen av högtryckspressostaten. Under februari och mars var den tillgängliga temperaturnivån på grundvattnet så låg att ett eller båda aggregaten nattetid reglerade ned kapaciteten. Styrsystemet har kompletterats med ett startvillkor på köldbärarens temperatur och ett stoppvillkor på värmebärarens returtemperatur.

Akkumulatorfunktionen var inledningsvis bristfällig. Ett vätskeflöde genom elpannorna "kortsöt" delvis ackumulatorerna. Detta åtgärdades genom installation av en reglerventil. Därefter fungerar ackumulatorerna bra men inte perfekt.

Cirkulation av kylvatten och glykol sker som planerat. Cirkulation av värmevattnet har däremot varit förenat med stora problem. En pump har bytts till

större kapacitet för att motsvara den nya kraven. I december 1987 tillsattes korrosionsinhibitor till värmesystemet. Svåra utfällningsproblem uppstod. Orsaken var att endast 40 % av avsedd mängd tillsattes. När rätt mängd tillsattes i april upphörde utfällningarna.

Grundvattencirkulationen har fungerat bättre under denna period än den föregående. Avbrott i cirkulationen för värmeproduktion har endast noterats när axelkopplingen till en pump gick sönder. Cirkulationen från brunn 55 är relativt olänslig för störningar. Brunn 34 är fortfarande inte rensad och klarar inte ensam att försörja anläggningen. Cirkulationen för kylning från brunnarna 51 och 53 har störts vid 4-5 tillfällen när vakuumpumparnas styrning inte fungerat. Styrventiler i grundvattenkretsen har speciellt under våren 1987 orsakat åtskilliga störningar.

Vattenmätaren VM 14 havererade 1987-10-04 när den igensatta brunnen 34 överbelastades. En blandning av luft och vatten passerade genom mätaren under flera dygn innan rotorinfästningen av plast lossnade. P g a "rollspelet" mellan olika parter installerades en ny mätare först 1988-02-26.

4. Grundvattnet och brunnarna

Trots att stora mängder vatten omsatts under vinterperioden har inga igensättningar av brunnarna konstaterats. Vattnet från den varma brunnen 55 bör heller inte ge upphov till utfällningar. Det är vidare vår förhoppning att cirkulation av detta syrehaltiga vatten skall förbättra vattenkvaliteten vid de kalla brunnarna vad avser risken för utfällning av järn.

De tidigare farhågorna om att kalk kan fällas ur vattnet från de kalla brunnarna 51, 52 och 53 vid kyl drift kvarstår. Det har konstaterats att vatten från brunn 55 redan efter kort uppehållstid i brunn 51-53 får en kalkhalt som når mättnad vid värmning till 10-15°C. Kapaciteten på kylsystemets värmväxlare bör påverkas starkt av eventuella utfällningar. Sådana tendenser har inte iakttagits.

5. Produktion

Kylproduktionen har fungerat bra med undantag för de avbrott som nämnts ovan. Energimängder och effekter kan endast uppskattas.

Värmeproduktionen kan som tidigare endast beräknas utifrån värmepumparnas drifttidsmätare. Drifttider från förra rapporten 1987-11-06 till 1988-05-05 (4320 h) är:

VP1 2351 (totalt 5671 h)
VP2 3341 (totalt 6528 h)

Värmeeffekten bedöms enligt prestandatabell till 330 kW och kyleffekten till 220 kW per aggregat. Aggregaten bedöms ha arbetat på 90 % kapacitet i genomsnitt.

Energimängd från akvifer:

(2351 + 3341) h x 220 kW x 0,9 = 1 100 000 kWh

Energimängd till byggnaden:

(2351 + 3341) h x 330 kW x 0,9 = 1 700 000 kWh

Summa värmeproduktion 87-02-18 -- 88-05-05:

1,37 + 0,51 + 1,7 = 3,6 GWh

Tidigare planerad årlig värmeproduktion:

2,1 GWh

Grundvattencirkulationen har mätts under perioden 88-02-26 -- 88-04-27: För uppvärmning har cirkulerats 160 000 m³ från brunn 55 till brunnarna 51 och 53. I motsatt riktning har 60 000 m³ cirkulerats för kylning. Nettoflödet genom akviferen var 100 000 m³ eller ca 19 l/s. Under perioden november-januari cirkulerades ca 50 l/s.

6. Sammanfattning

Ovanstående sammanställning av fel och brister kan ge en negativ bild av anläggningen. Helhetsintrycket är emellertid positivt. Tillgängligheten under idrifttagningsskedet har varit acceptabel. Energiproduktionen har överstigit den planerade. Orsaker till störningar har identifierats. I jämförelse med de konventionella delarna i byggnadens VVS-system befinner sig energicentralen närmare normal drift och färre frågor återstår att klara ut.

BFR-UTVÄRDERING
SAS FRÖSUNDAVIK

REDOVISNING AV DRIFTEN VID ENERGIANLÄGGNINGEN

1. Färdigställande

Grundentreprenaden:

Styr- och regleranläggningen är byggd, provad och slutbesiktigad. Justering och intrimning pågår. Ingen del av måtanläggningen är provad. Flertalet mätare snurrar dock.

Komplettering av effektproduktion m m:

Mekaniska installationer är genomförda. El- och styrarbeten pågår. Driftstart av VP3 planeras till vecka 849.

2. Systemfunktioner

Värmepumparnas drift har efter modifiering av aggregaten på försommaren varit godtagbar. Problemen med effektbrist består till dess VP3 kommer i drift.

Akkumulatorfunktionen är bättre än tidigare. Ventilationen körs nu dygnet runt och någon egentlig dygnsrytm finns inte varför styrsystemet för värmepumparna tenderar att komma ur fas.

Cirkulation av värmevatten, kylvatten och glykol sker som planerat.

Grundvattencirkulationen har fungerat utan störningar. Brunn 34 är rensad och klarar normalt att ensam försörja anläggningen. Mätningar av brunnskapacitet genomfördes i september och november. Inga igensättningar har uppmätts.

Vattenmätaren VM 13 blockerades av plastbitar och stod stilla från 88-04-27 till 88-10-26.

3. Produktion

Kylproduktionen har fungerat bra. Kylkapaciteten från akviferen är mycket hög och har haft mycket god tillgänglighet. Distributionen av kyla har emellertid vållat vissa problem. Kylvattentemperaturen höjs vid hög våttemperatur utomhus för att undvika kondens. En övergång till dagpunkt istället för våttemperatur planeras. Kylsystemet för lokaler och maskiner är gemensamt vilket ger för hög temperatur för maskinerna vid hög fukthalt utomhus. Energimängder och effekter kan endast uppskattas.

Värmeproduktionen kan som tidigare endast beräknas utifrån värmepumparnas drifttidsmätare. Drifttider från förra rapporten 1988-05-05 till 1988-11-16 (4580 h) är:

VP1 1375 (totalt 7791 h)
VP2 1125 (totalt 6908 h)

Värmeeffekten bedöms enligt prestandatabell till 330 kW och kyleffekten till 220 kW per aggregat. Aggregaten bedöms ha arbetat på 90 % kapacitet i genomsnitt.

Energimängd från akvifer:

$$(1375 + 1125) \text{ h} \times 220 \text{ kW} \times 0,9 = 495\ 000 \text{ kWh}$$

Energimängd till byggnaden:

$$(1375 + 1125) \text{ h} \times 330 \text{ kW} \times 0,9 = 743\ 000 \text{ kWh}$$

Summa värmeproduktion 87-02-18 -- 88-11-16:

$$1,37 + 0,51 + 1,7 + 0,74 = 4,3 \text{ GWh}$$

Tidigare planerad årlig värmeproduktion:

$$2,1 \text{ GWh}$$

Tomas Åbyhammar

större kapacitet för att motsvara den nya kraven. I december 1987 tillsattes korrosionsinhibitor till värmesystemet. Svåra utfällningsproblem uppstod. Orsaken var att endast 40 % av avsedd mängd tillsatts. När rätt mängd tillsattes i april upphörde utfällningarna.

Grundvattencirkulationen har fungerat bättre under denna period än den föregående. Avbrott i cirkulationen för värmeproduktion har endast noterats när axelkopplingen till en pump gick sönder. Cirkulationen från brunn 55 är relativt olänslig för störningar. Brunn 34 är fortfarande inte rensad och klarar inte ensam att försörja anläggningen. Cirkulationen för kylning från brunnarna 51 och 53 har störts vid 4-5 tillfällen när vakuumpumparnas styrning inte fungerat. Styrventiler i grundvattenkretsen har speciellt under våren 1987 orsakat åtskilliga störningar.

Vattenmätaren VM 14 havererade 1987-10-04 när den igensatta brunnen 34 överbelastades. En blandning av luft och vatten passerade genom mätaren under flera dygn innan rotorinfästningen av plast lossnade. P g a "rollspelet" mellan olika parter installerades en ny mätare först 1988-02-26.

4. Grundvattnet och brunnarna

Trots att stora mängder vatten omsatts under vinterperioden har inga igensättningar av brunnarna konstaterats. Vattnet från den varma brunnen 55 bör heller inte ge upphov till utfällningar. Det är vidare vår förhoppning att cirkulation av detta syrehaltiga vatten skall förbättra vattenkvaliteten vid de kalla brunnarna vad avser risken för utfällning av järn.

De tidigare farhågorna om att kalk kan fällas ur vattnet från de kalla brunnarna 51, 52 och 53 vid kyl drift kvarstår. Det har konstaterats att vatten från brunn 55 redan efter kort uppehållstid i brunn 51-53 får en kalkhalt som når mättnad vid värmning till 10-15°C. Kapaciteten på kylsystemets värmväxlare bör påverkas starkt av eventuella utfällningar. Sådana tendenser har inte iakttagits.

5. Produktion

Kylproduktionen har fungerat bra med undantag för de avbrott som nämnts ovan. Energimängder och effekter kan endast uppskattas.

Värmeproduktionen kan som tidigare endast beräknas utifrån värmepumparnas drifttidsmätare. Drifttider från förra rapporten 1987-11-06 till 1988-05-05 (4320 h) är:

VP1 2351 (totalt 5671 h)
VP2 3341 (totalt 6528 h)

Värmeeffekten bedöms enligt prestandatabell till 330 kW och kyleffekten till 220 kW per aggregat. Aggregaten bedöms ha arbetat på 90 % kapacitet i genomsnitt.

Energimängd från akvifer:

$(2351 + 3341) \text{ h} \times 220 \text{ kW} \times 0,9 = 1\ 100\ 000 \text{ kWh}$

Energimängd till byggnaden:

$(2351 + 3341) \text{ h} \times 330 \text{ kW} \times 0,9 = 1\ 700\ 000 \text{ kWh}$

Summa värmeproduktion 87-02-18 -- 88-05-05:

$1,37 + 0,51 + 1,7 = 3,6 \text{ GWh}$

Tidigare planerad årlig värmeproduktion:

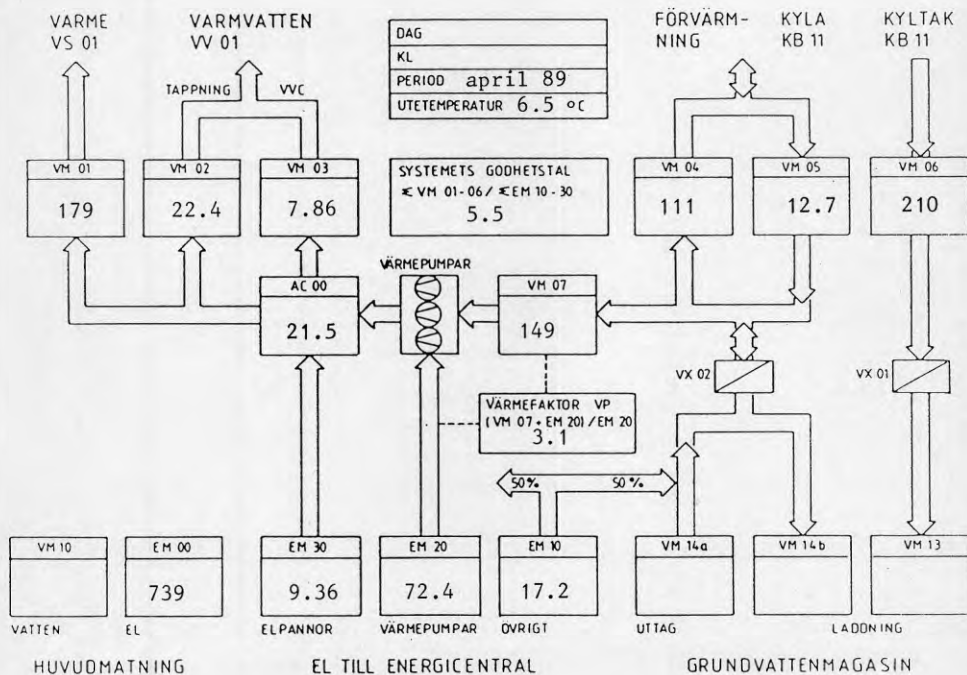
2,1 GWh

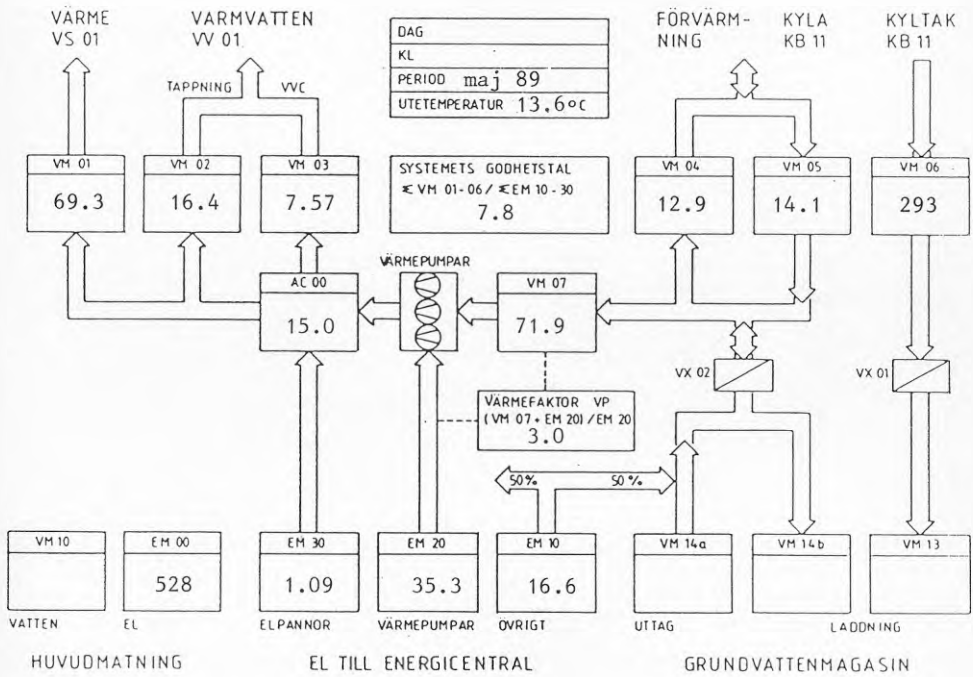
Grundvattencirkulationen har mätts under perioden 88-02-26 -- 88-04-27: För uppvärmning har cirkulerats 160 000 m³ från brunn 55 till brunnarna 51 och 53. I motsatt riktning har 60 000 m³ cirkulerats för kylning. Nettoflödet genom akviferen var 100 000 m³ eller ca 19 l/s. Under perioden november-januari cirkulerades ca 50 l/s.

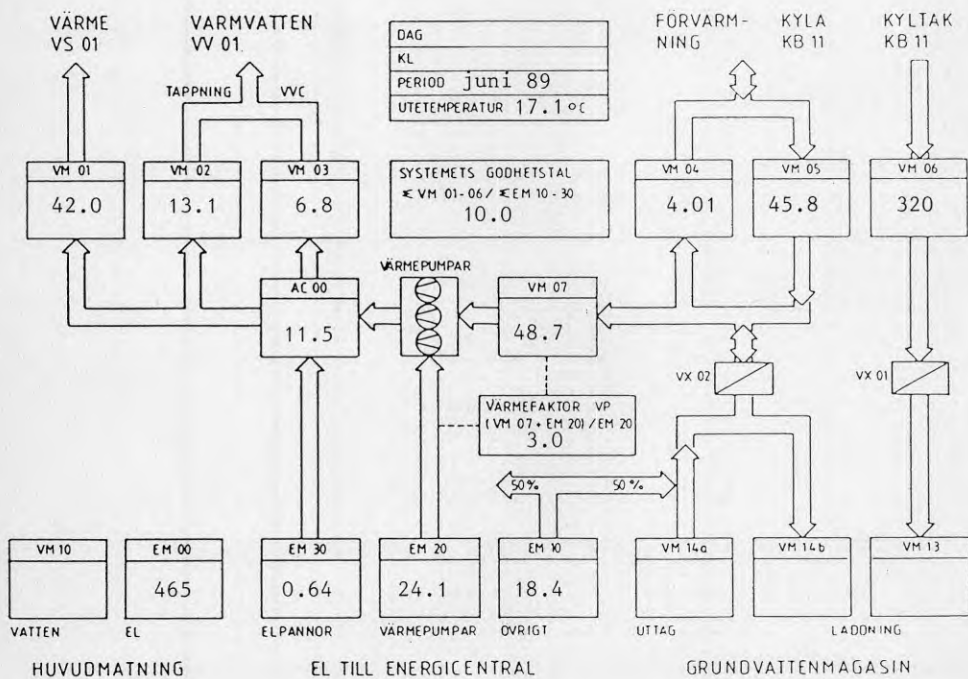
6. SAMMANFATTNING

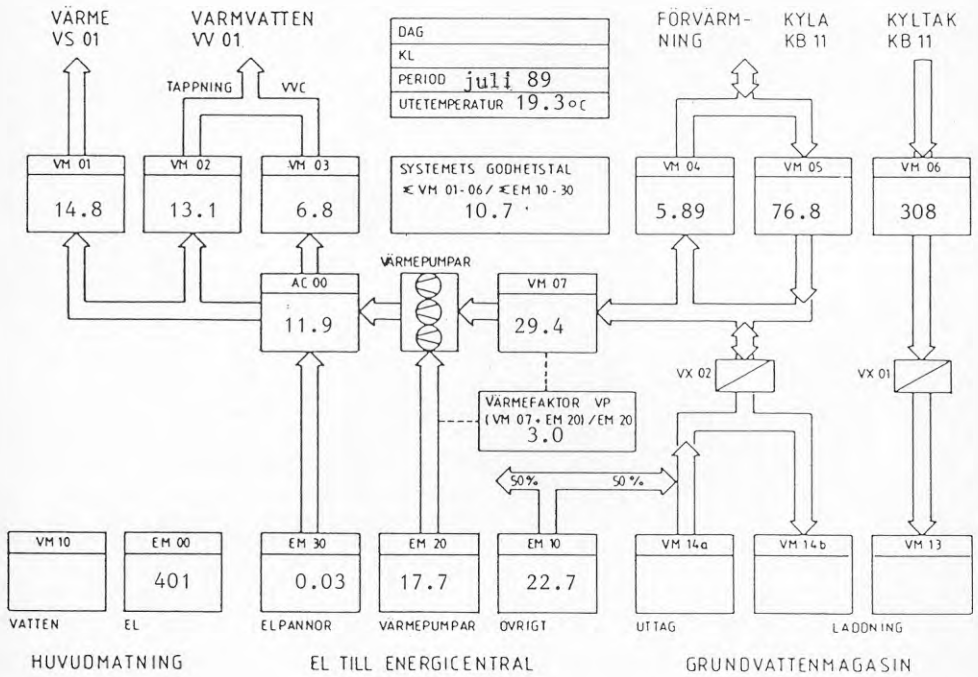
Ovanstående sammanställning av fel och brister kan ge en negativ bild av anläggningen. Helhetsintrycket är emellertid positivt. Tillgängligheten under idrifttagningsskedet har varit acceptabel. Energiproduktionen har överstigit den planerade. Orsaker till störningar har identifierats. I jämförelse med de konventionella delarna i byggnadens VVS-system befinner sig energicentralen närmare normal drift och färre frågor återstår att klara ut.

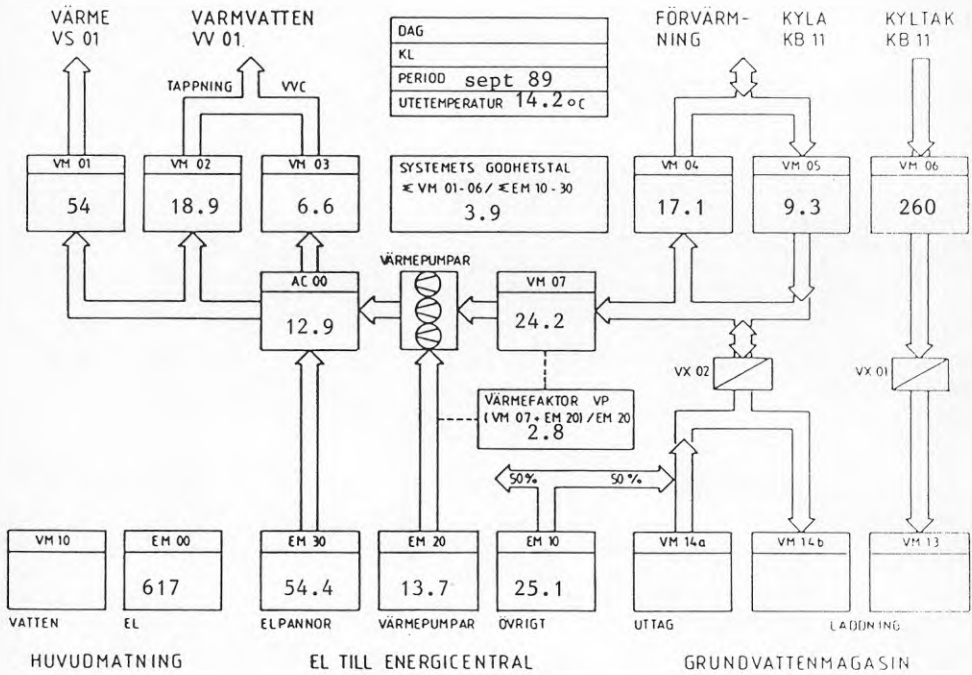
UPPMÄTTA ENERGI MÄNGDER APRIL-DEC 1989

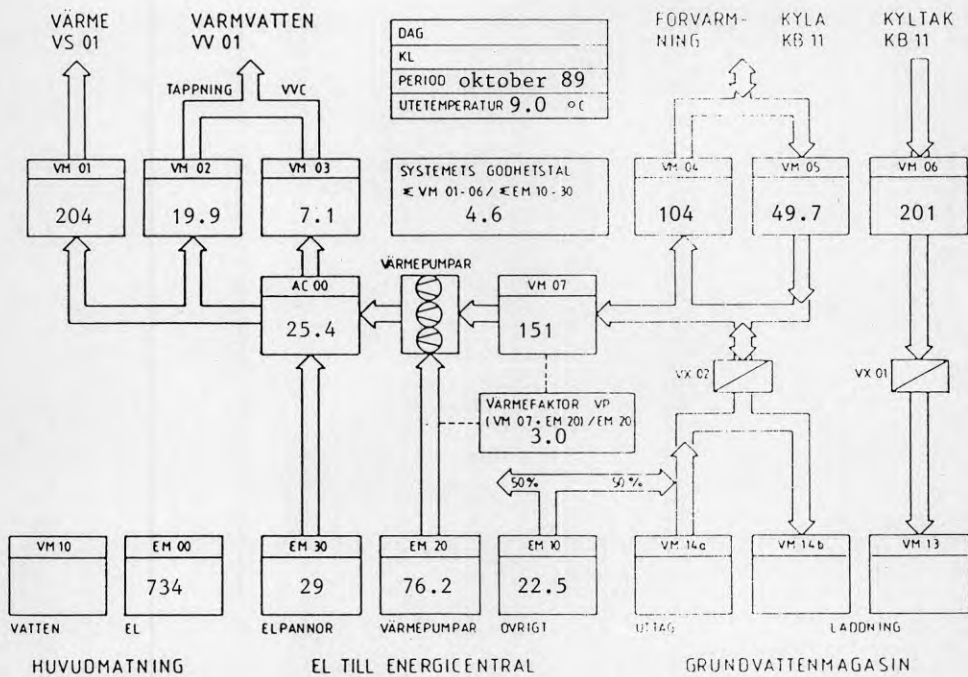


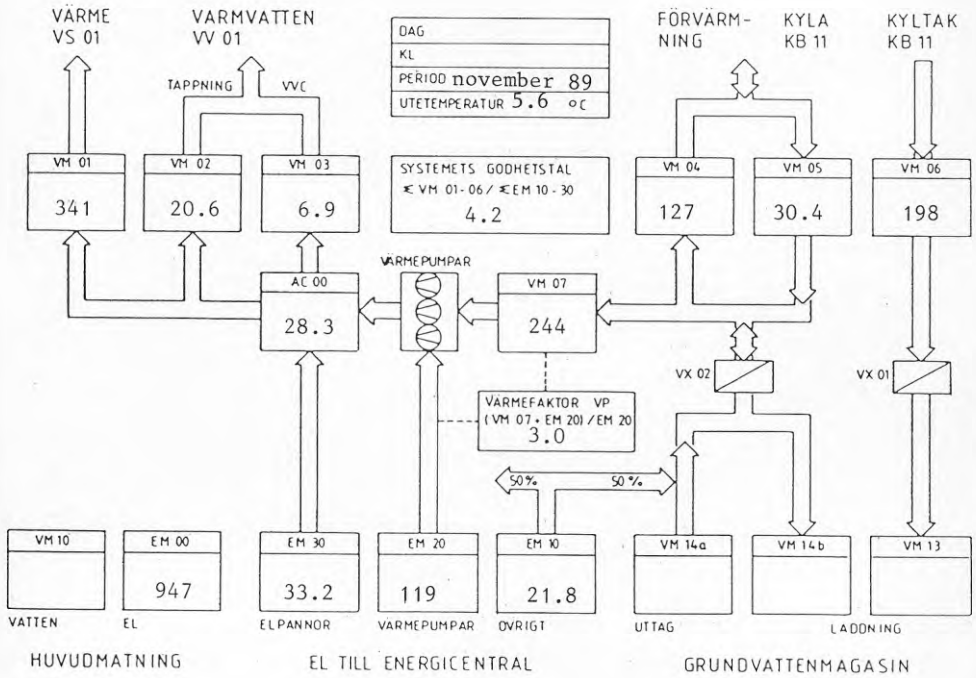


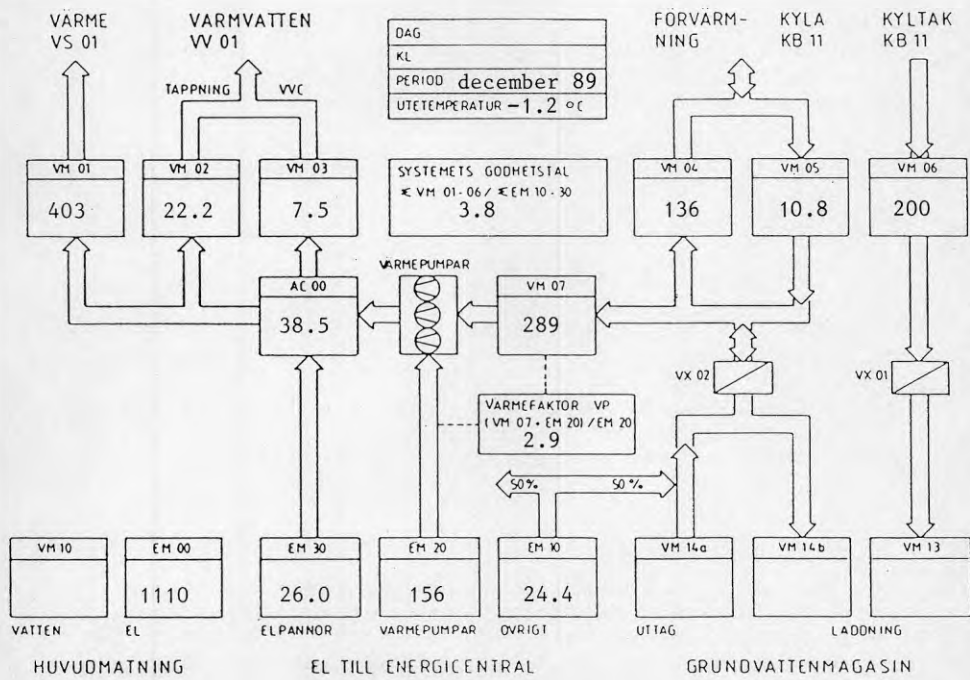












Vattentemperaturens inverkan på brunnens funktion

Beräkning av avsänkning och överhöjning i brunnar brukar vanligtvis behandlas enligt samma teori. Eftersom laminär strömning antas råda i brunnens närhet och omgivning har inte strömningsriktningen så stor betydelse. Därför antas att avsänkning och överhöjning blir lika stora vid samma flöde för uttag respektive infiltration.

Antag att ett visst uttagsflöde, q , ger en avsänkning, s_w , i brunnen. Enligt /Bear/ kan avsänkningen för en bunden akvifer tecknas som:

$$s_w = \frac{q}{2\pi KH} \ln \frac{R}{r_w} \quad (1)$$

där

R = brunnens influensradie
 r_w = brunnens radie
 K = hydraulisk konduktivitet
 H = akviferens höjd

För andra typer av akviferer erhålls andra lösningar. Generellt gäller att avsänkningen, s , är omvänt proportionell mot den hydrauliska konduktiviteten, dvs:

$$s \sim \frac{1}{K} \quad (2)$$

Den hydrauliska konduktiviteten, K , beskriver egenskaperna både hos det fasta materialet (permeabiliteten k) och hos det strömmande mediet (densiteten och dynamisk viskositet μ). Den hydrauliska konduktiviteten definieras som:

$$K = \frac{k \rho g}{\mu} \quad (3)$$

De temperaturberoende variablerna är densitet, (T) , och dynamisk viskositet, (T) . Avsänkningen/överhöjningens beroende av temperaturen kan då tecknas:

$$s(T) \sim \frac{\mu(T)}{\rho(T)} \quad (4)$$

I intervallet 0-20°C minskar den dynamiska viskositeten med ca hälften medan densiteten endast varierar med ca 2 % inom temperaturintervallet, jfr tabell 1. För att erhålla korrekta värden på brunnsfunktionen måste temperaturen anges, alternativt måste avsänkningen omräknas till en referenstemperatur. Detta kan ske enligt följande.

Som referenstemperatur väljes 10°C. Ekv (4) kan då tecknas:

$$s(10) \sim \frac{\mu(10)}{\rho(10)} \quad (5)$$

Ekv (4) och (5) ger då:

$$s(10) = s(T) \cdot C_{10} \quad (6)$$

där

$$C_{10} = \frac{\rho(T) \mu(10)}{\mu(T) \rho(10)}$$

Faktorn C_{10} har beräknats vid olika temperatur, jfr tabell 1.

Tabell 1 Vattnets densitet och viskositet vid olika temperaturer samt omräkningsfaktor C_{10} vid olika temperaturer

Temp (°C)	Dyn.visk. (kg/ms)	Densitet (kg/m ³)	C_{10}
0	1787	998.2	0.73
5	1519	1000.0	0.86
10	1307	999.8	1.00
15	1139	999.2	1.15
20	1002	998.3	1.30

Analys nr	Provet taget	Brunn	mS/m	pH	Ca/dH°	Ca	Mg	Fe	Mn	HCO ₃	Cl	CO ₂ ¹⁾	O ₂
96	88-01-12	E1	119	7.1	196	152	21				118		
94	88-01-27	55	121	7.0	186	129	35 ¹⁾	0.01	0.02	316	123	16	
208	88-02-22	51	117	7.2	184	151	20	<0.005	0.012	307	117	5	
235	88-02-29	51	113	7.2	185	149	22	0.015	<0.005	312	120	5	3.0
253	88-03-02	51	121	7.1	196	160	22	<0.005	<0.005	308	135	11	
336	88-04-05	E	118	7.2	193	146	28	<0.005	0.005	303	120	6	
681	88-06-15	52	134	6.9	190	177	8	0.015	0.050	330			
933	88-08-09	52	125	6.9	205	164	25	0.007	0.007	328	130	26	
1367	88-11-10	34	123	7.3		174	23	0.339	0.018	323	126	0	
1368	88-11-10	55	123	7.3		173	23	0.112	<0.005	324	126	0	
186	89-02-20	55		7.1	209	176	20	0.02	<0.005	331	137		2
486	89-05-11	34		7.0	209	171	23	0.007	<0.005	349	140		3
802	89-07-05	51	137	7.0	227	166	37	0.030	<0.005	352	140	14	0.5
803	89-07-05	52	134	7.0	211	168	26	0.110	<0.005	354	142	13	
804	89-07-05	53	136	7.0	216	170	28	0.050	<0.005	356	141	13	
695	89-06	51	135	6.9	210	179	19	0.008	0.011	340	138		0.2
908	89-07	51	138	7.0	214	175	24	0.044	0.033	351	120	8	1.8
1070	89-08-22	E	140	6.9		168		0.007	0.019	349	145	20	<0.1
1247	89-09-27	E	144	6.9		176		0.009	0.073	348	155	26	0.1

1) Beräknad E = Brunnsnummer ej antecknat E1 = Avluftningsledning på grundvattenledning

Norrvatten
Laboratoriet - Görvålnverket
175 47 Järfälla Tel 0758/382 01

Analysnummer: 235
Datum 1988/03/15

PROTOKOLL

Över kemisk undersökning av Grundvatten

Vattenanläggningens namn

adress

Prov art: Grundvatten

Provtagare..... T Åbyhammar Provt.temp.. 15°C Ankomsttemp... -°C

Provet taget..... 88-02-29 Kl.9.30 Inkom till lab.... 88-03-01 Kl.

Provet märkt..... Brunn 51, AIB

Provtagningsplats.. SAS Energicentral

RESULTAT

KEMISK UNDERSÖKNING

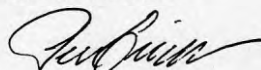
Färgstyrka, Pt (efter filtr.)	SIS 028124	5	mg/l
Grumlighet, FTU/okulärt	SS 028125	0.25	/ ingen
Lukt, (60°C) styrka/art	enl. MS 122		svag/ obestämbar
Bottensats	enl. MS 122		ingen
Konduktivitet, (25°C)	SIS 028123	113	mS/m
Perngatangförbrukningen, KMnO ₄ /COD Mn	SS 028118	7	/ 2 mg/l
Glöddrest, beräknad ur analys		726	mg/l
pH-värde	SS 028122	7.2	
Tot.hårdhet som Ca/dH°	SS 028121	185	mg/l / 25.9°dH
Kalcium, Ca	SIS 028119	149	mg/l
Magnesium, Mg	SS 028161	22	mg/l
Järn, Fe	SIS 028129	0.015	mg/l
Mangan, Mn	SIS 028130	< 0.005	mg/l
Alkalinitet, Beräknad som HCO ₃	SS 028139	312	mg/l
Klorid, Cl	SS 028120	120	mg/l
Fluorid, F	SIS 028135	0.63	mg/l
Sulfat, SO ₄ Turbidimetrisk metod	Std. Meth. 1985	169	mg/l
Ammonium, NH ₄	SIS 028134	< 0.002	mg/l
Nitrit, NO ₂	SIS 028132	< 0.004	mg/l
Nitrat, NO ₃	SIS 028133	13	mg/l
Fosfat, PO ₄	SIS 028126	< 0.01	mg/l
Marmoraggressiv kolsyra, CO ₂	beräknad	5	mg/l
Natrium, Na	SS 028160	62	mg/l
Kalium, K	SS 028160	16	mg/l
Syre, O ₂	SIS 028174	3.0	mg/l

Anmärkningar och särskilda motiveringar:

Temp. (°C)	Kalkmättn. pH
0	7.21
4	7.15
8	7.09
12	7.03
16	6.97
20	6.91
25	6.85

Till vänster finns en beräknad tabell (Standard Methods 1985 s. 64) över kalkmättnads pH som funktion av temperaturen. Vid sådana beräkningar finns dock normalt en viss osäkerhet om ca ±0.1 pH-enheter.

Behörig undersökare



Per Ericsson

Beräkning av jonbalans för analys nr: 235

Provet Märkt: Brunn 51, AIB
Provtagare: T Åbyhammar

Katjoner(+)	Mg/l	Mek/l	%
Järn, Tot	0.01	0.00	0.00
Mangan	0.00	0.00	0.00
Ammonium	0.00	0.00	0.00
Kalcium	149.00	7.45	60.13
Magnesium	22.00	1.83	14.80
Natrium	62.00	2.70	21.76
Kalium	16.00	0.41	3.31
Summa Katjoner		12.39	
Anjoner (-)			
Nitrat	13.00	0.21	1.71
Sulfat	169.00	3.52	28.72
Bikarbonat	312.00	5.11	41.72
Klorid	120.00	3.38	27.57
Fluorid	0.63	0.03	0.27
Summa anjoner		12.26	
Skillnaden		0.13	
Beräknad Glödrest	705.14		
Beräknad ledningsförmåga	118.87	mS/m	

RÖRDRIVNINGSPROTOKOLL Sid 1-11

KARTA ÖVER RÖRDRIVNINGAR Sid 12

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
-------------	----------------------	-----------	-----------------------------

Rb 8501

rök +6,06	0,0 - 6,0	grusig sand	mycket god
ruk -17,84	6,0 - 10,5	sandigt grus	" "
my +5,16	10,5 - 12,0	grusig sand	" "
gvv -0,25	12,0 - 21,0	sandigt grus	" "
85-05-03	21,0 - 23,0	grusig sand	" "
	23,0	fortsatt borrn möjlig	

Rb 8502

rök +1,58	0,0 - 9,0	sandigt grus	mycket god
ruk -13,32	9,0 - 11,0	siltig grusig sand	god
my +0,68	11,0 - 12,0	siltigt sandigt grus	mycket god
gvv -0,26	12,0 - 13,0	siltig grusig sand	god
85-05-03	13,0 - 14,0	ngt grus. silt. sand	(mindre god)

Rb 8503

rök +3,09	0,0 - 13,0	sandigt grus	mycket god
ruk -23,81	13,0 - 18,0	grusig sand	" "
my +2,19	18,0 - 22,0	sandigt grus	" "
gvv -0,28	22,0 - 26,0	ngt sandigt grus	" "
85-05-03	26,0	fortsatt borrn. möjlig	

Rb 8504

rök +1,85	0,0 - 4,0	grusig sand	Fyllning vid vägbank?
ruk -22,05	4,0 - 8,0	lera	
my +0,95	8,0 - 9,0	sandig silt	mindre god
gvv -0,29	9,0 - 19,0	grusig sand	(mycket) god*
85-05-03	19,0 - 22,0	ngt grusig sand	
	22,0 - 23,0	ngt grusig sandig silt (Mn?)	
	23,0	block el berg	

* svårt att få rent

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
-------------	----------------------	-----------	-----------------------------

Rb 8510

rök +4,23	0,0 - 4,0	grusig sand	
ruk -17,87	4,0 - 6,2	ngt grusig sand	god
my +3,43	6,2 - 12,0	sandigt grus (st o bl)	mycket god
gvy -0,17	12,0 - 14,0	sandigt grus	" "
85-08-27	14,0 - 17,0	sandigt grus	" "
(efter av- slagning	17,0 - 21,3	ngt grusig sand	god
ruk -14,17)	21,3	block el berg	

Röret ngt krokigt från 2 m u my. Röret avslaget vid uppdragning 17,6 m u my. Fungerar bra som observationsrör. 2 st försök. Stopp 1,3 m NO om 8510 på 6,3 m djup.
Bl 8,9 och 12,5 m u my. Vattenprov taget.

Rb 8511

rök +2,31	0,0 - 3,0	ngt sandigt grus	mycket god
ruk -14,29	3,0 - 11,0	grusig sten	" " *
my +1,21	11,0 - 15,0	grusig sand	god
gvy -0,19	15,0 - 15,5	Mn	obetydlig
85-08-27	15,5	block el berg	
(efter uppdragning ruk -13,19)			

* lite mtrl vid blåsn - för grovt

Röret uppdraget till 14,4 m u my.
Vattenprov 6,0 och 14,5 m u my.

Rb 8512

rök +1,72	0,0 - 3,5	grusig sand	god
ruk -16,28	3,5 - 4,0	sand	mindre god
my +0,72	4,0 - 6,0	siltig sand	obet
gvy -0,18	6,0 - 9,0	sandigt grus	mycket god
85-08-27	9,0 - 16,5	" "	" "
(efter upp- dragning	16,5 - 17,0	sandig siltig Mn	obetydlig
ruk -15,68)	17,0	fortsatt borrhning möjlig - tungdrivet	

Röret uppdraget till 16,4 m u my. Vattenprov taget.
Jordprov 11,0 - 12,0 ej repr.

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
<u>Rb 8513</u>			
rök +4,11	0,0 - 10,5	ngt stenigt grus	mycket god*
ruk -22,09	10,5 - 12,0	sandigt grus	" "
my +3,11	12,0 - 17,0	ngt stenigt grus	" "
gvy -0,09	17,0 - 18,0	sandigt grus	" "
85-08-27	18,0 - 19,0	grusig sand	god
	19,0 - 22,0	sand	mindre god
	22,0 - 23,0	ngt grusig sand	god**
	23,0 - 24,0	grusig sand	god**
	24,0 - 25,2	sandigt grus	god**
	25,2	block el berg	

* Starkt mörkgråfärgat. Unken oangenäm lukt. Svavelväte?
Tätt skikt mellan 10,5 - 11,0 ?

** Kantigt moränartat material

Rb 8514

rök +4,00	0,0 - 1,5	ngt stenig grusig sand	
ruk -4,30	1,5 - 5,0	sand	mindre god
my +3,00	5,0 - 7,3	siltig sand	" "
gvy -0,20	7,3	block el berg	
85-08-27			

Rb 8515

rök +3,67	0,0 - 2,0	ngt grusig sand	
ruk -5,33	2,0 - 4,0	grusig sand	
my +2,67	4,0 - 6,5	siltig sand	obetydlig
gvy -0,13	6,5 - 8,0	sandigt grus	mycket god
85-08-27	8,0	fortsatt borrn möjlig	

Rb 8516

rök +1,80	0,0 - 5,0	stenigt sandigt grus	mycket god
ruk -4,00	5,0	fortsatt borrn möjlig	
my +1,00			
gvy -0,20			
85-08-27			

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
<u>Rb 8601</u>			
	0,0 - 5,7	siltig sand	
my ca +8,0	5,7	block el berg	
	4 st försök	rören uppdragna	
<u>Rb 8602</u>			
	0,0 - 3,0	grusig sand	
my ca +7,5	3,0	block el berg	
	flera försök	rören uppdragna	
<u>Rb 8603</u>			
	0,0 - 2,0	sand	
my ca +7,0	2,0	block el berg	
	flera försök	rören uppdragna	
<u>Rb 8604</u>			
rök +7,72	0,0 - 6,0	lera	
ruk -24,2	6,0 - 11,0	siltigt grus	
my +6,80	11,0 - 13,5	siltig grusig sand	god
gvy -0,54	13,5 - 18,0	sandigt grus	(mycket) god
86-03-07	18,0 - 22,0	grusig sand	" "
	22,0 - 27,0	grovsandig mellansand, något grusig	" "
	27,0 - 31,0	grusig siltig sand	" "
	31,0	fortsatt borrn. möjlig	
<u>Rb 8605</u>			
rök +9,16	0,0 - 6,0	finsandig grovsilt	
ruk -7,74	6,0 - 9,0	fin sand	
my +8,26	9,0 - 12,0	grovsandig mellansand	
gvy -0,51	12,0 - 16,0	siltig sand något grusig)	mindre god
86-03-07	16,0	block el berg	

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
<u>Rb 8606</u>			
rök +9,05	0,0 - 3,0	grusig siltig sand	
ruk -6,56	3,0 - 12,0	grusig sand	god
my +8,44	12,0 - 14,0	mellansandig grovsand	god
gvy -0,60			
86-03-07	14,0 - 15,0	grusig siltig morän	

Rb 8607

rök +12,31	0,0 - 1,0	grusig sand	
ruk -19,86	1,0 - 4,0	lera	
my +11,34	4,0 - 15,0	siltig grusig sand	
gvy -0,55	15,0 - 17,0	siltigt grus	(mycket) god
86-03-07	17,0 - 18,0	grusig sand	" "
	18,0 - 21,0	sandigt grus	" "
	21,0 - 31,2	siltig grusig sand	" "
	31,2	fortsatt borring möjlig	

Temperatur på uppblåst vatten 86-02-13

17 m	-7,1°C
20 m	-7,1°C
23 m	-7,1°C
26 m	-7,1°C
29 m	-7,3°C

Rb 8608

rök +8,07	0,0 - 7,0	lera	
ruk -23,5	7,0 - 12,0	sandigt grus	god
my +6,90	12,0 - 28,0	grusig sand	(mycket) god
gvy -0,52	28,0 - 30,4	grusig morän	
86-03-07	30,4	block el berg	

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
-------------	----------------------	-----------	-----------------------------

Rb 8609

rök +10,74	0,0 - 3,0	silt, tunna lerskikt	
ruk -11,21	3,0 - 10,0	finsand	
my +9,79	10,0 - 21,0	sandigt grus	(mycket) god
gvy -0,54	21,0	fortsatt borrh möjlig	

86-

(efter avslagning
ruk -10,21)

Röret avslaget 20 m under my. Fungerar bra som observationsrör

Rb 8610

rök +4,36	0,0 - 3,0	siltig sand	
ruk -18,13	3,0 - 6,0	gyttjig lera	
my +4,37	6,0 - 9,0	moig lera	
gvy -0,43	9,0 - 12,0	lerig sand	
86-02-14	12,0 - 15,0	lera	
	15,0 - 18,0	mellansand	god
	18,0 - 21,0	sand	(mycket) god
	21,0 - 22,5	grovsand	" "

Rb 8611 (krysspets)

rök +7,79	0,0 - 2,5	siltig grusig sand	mindre god
ruk -21,78	2,5 - 7,0	lera	
my +6,82	7,0 - 18,0	sandigt grus	(mycket) god
gvy -0,61	18,0 - 22,5	sandigt grus	mycket god
86-06-02	22,5 - 24,0	ngt grusig mellan- sandig grovsand	god
	24,0 - 25,5	mellansandig grovsand	"
(efter av- slagning	25,5 - 26,5	finsandig mellansand	(mindre) god
ruk -4,18)	26,5 - 28,0	silt	obetydlig
	28,0 - 28,6	grusig morän	"
	28,6	forts borrh möjlig - tungt	

Röret avslaget i en skarv 11,0 m under my. Fungerar bra som observationsrör.

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
<u>Rb 8612</u> (krysspets)			
ruk -16,7	0,0 - 1,5	sandigt grus	
röret upp-	1,5 - 3,0	grusig sand	
draget	3,0 - 13,5	sandigt grus	mycket god
my +6,8	13,5 - 16,5	grovsand	god
gvy -0,5	16,5 - 19,0	mellansand	"
86-06-26	19,0 - 23,0	siltig grusig sand	(mindre) god
	23,0 - 23,5	grusig morän	obetydlig
	23,5	röret går med svårighet att driva vidare	" "

Rb 8613 (krysspets)

ruk -20,0	0,0 - 14,0	sandigt grus	(mycket) god
röret upp-	14,0 - 18,0	grusig sand	- " -
draget	18,0 - 19,0	ngt mellansandig	god
my +6,8		grovsand	
gvy -0,5	19,0 - 20,0	grovsandig mellansand	"
86-06-26	20,0 - 22,0	ngt mellansandig grovsand	"
	22,0 - 25,0	finsandig mellansand	(mindre) god
	25,0 - 26,0	mellansandig finsand	mindre god
	26,0 - 26,8	grusig morän	obetydlig
	26,8	fortsatt borrn möjlig	

Rb 8614 (krysspets)

rök +3,58	0,0 - 3,0	sandigt grus	
ruk -9,5	3,0 - 12,0	ngt sandigt grus	mycket god
my +2,50	12,0	fortsatt borrn möjlig	
gvy -0,42			
86-06-26			

Röret uppdraget till 11,0 m under my

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
-------------	----------------------	-----------	-----------------------------

Rb 8615 (krysspets)

rök ej avvägd	0,0 - 1,5	sand med tunna lerskikt	
my	1,5 - 4,5	finsandig mellansand	
gvy	4,5 - 6,0	mellansand	
86-06-26	6,0 - 8,6	grusig morän	obetydlig
	8,6	block eller berg	

Rb 8616 (krysspets)

ruk -20,1	0,0 - 4,0	sandigt grus	
röret upp-	4,0 - 5,0	lera	
draget	5,0 - 21,0	sandigt grus	(mycket) god
my +6,9	21,0 - 26,0	grusig sand	- " -
gvy -0,5	26,0 - 27,0	siltig grusig sand, morän	obetydlig
86-06-02	27,0	fortsatt borrn möjlig	

Röret slaget 1,9 m från 8608. Riktning mot garagets SÖ hörn.

Rb 8617 (krysspets)

ruk -23,2	0,0 - 3,0	sandigt grus (Bl. St)	
röret upp-	3,0 - 7,0	lera	
draget	7,0 - 15,0	sandigt grus	god
my +6,8	15,0 - 18,0	sandigt grus	mycket god
gvy -0,6	18,0 - 21,0	sandigt grus	(mycket) god
86-06-02	21,0 - 23,0	grusig sand	- " -
	23,0 - 24,0	ngt grusig grovsand	- " -
	24,0 - 25,0	mellansandig grovsand	god
	25,0 - 28,0	finsandig mellansand	(mindre) god
	28,0 - 30,0	mellansandig finsand	mindre god
	30,0	forts. borrn. möjlig	

Röret slaget 2,0 m från 8604. Riktning mot vaktkojans NÖ hörn.

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
<u>Rb 8618</u>			
rök +7,12	0,0 - 10,0	grusig sand	(mindre) god
ruk -12,01			
my +5,99	10,0 - 11,0	grusig siltig sand	god
gvv -0,38	11,0 - 15,0	grusig sand	(mycket) god
86-06-02	15,0 - 16,5	siltig sand	obetydlig
	16,5 - 18,0	grusig siltig sand, morän	"
	18,0	fortsatt borrn möjlig	

Röret uppdraget och ersatt med spets med perforering
ø 8 mm x 1,0 m.

Rb 8701

rök +7,45	0,0 - 12,0	ngt siltig grusig sand
ruk ca -19	12,0 - 15,0	sandigt grus
my	15,0 - 18,0	grusig sand
gvv	18,0 - 21,0	sandigt grus
	21,0 - 24,0	grusig sand
	24,0 - 26,0	ngt grusig sand

Plastslang, ø 42 mm, perf. ø 6 mm. Slangen rensplad med vatten.

Rb 8702

Ersätter förstört rör 8503

rök +4,29

Rb 8703

Slaget intill 8607

rök

Plastslang, ø 42 mm, perf. ø 6 mm. Slangen rensplad med vatten.

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
-------------	----------------------	-----------	-----------------------------

Rb 8704

rök	+2,26	0,0 - 4,5		
ruk	-3,24	4,5	block eller berg	
my	+1,26			
gvy	ca -1,2?			

87-11-30

Röret slaget med tät spets.

Plastslang, ø 42 mm, perf. ø 6 mm. Slangen rensplad med vatten.

Rb 8705

rök	+5,91	0,0 - 6,0	grusig sand	
ruk	-10,09	6,0 - 10,0	sandigt grus	(mycket) god
my	+4,91	10,0 - 15,0	grusig sand	god
gvy	-0,19	15,0	block eller berg	

87-11-30

Rb 8706

rök	+3,30	0,0 - 6,0	sandigt grus	mycket god
ruk	-13,70	6,0 - 15,0	grus	mycket god
my	+2,30	15,0 - 16,0	grusig mellansandig grovsand	(mycket) god
gvy	-0,2	16,0	block eller berg	

87-11-30

Anm. Spets försedd med 6 st hål ø 20 mm på ca 300 mm längd.

Rb 8707

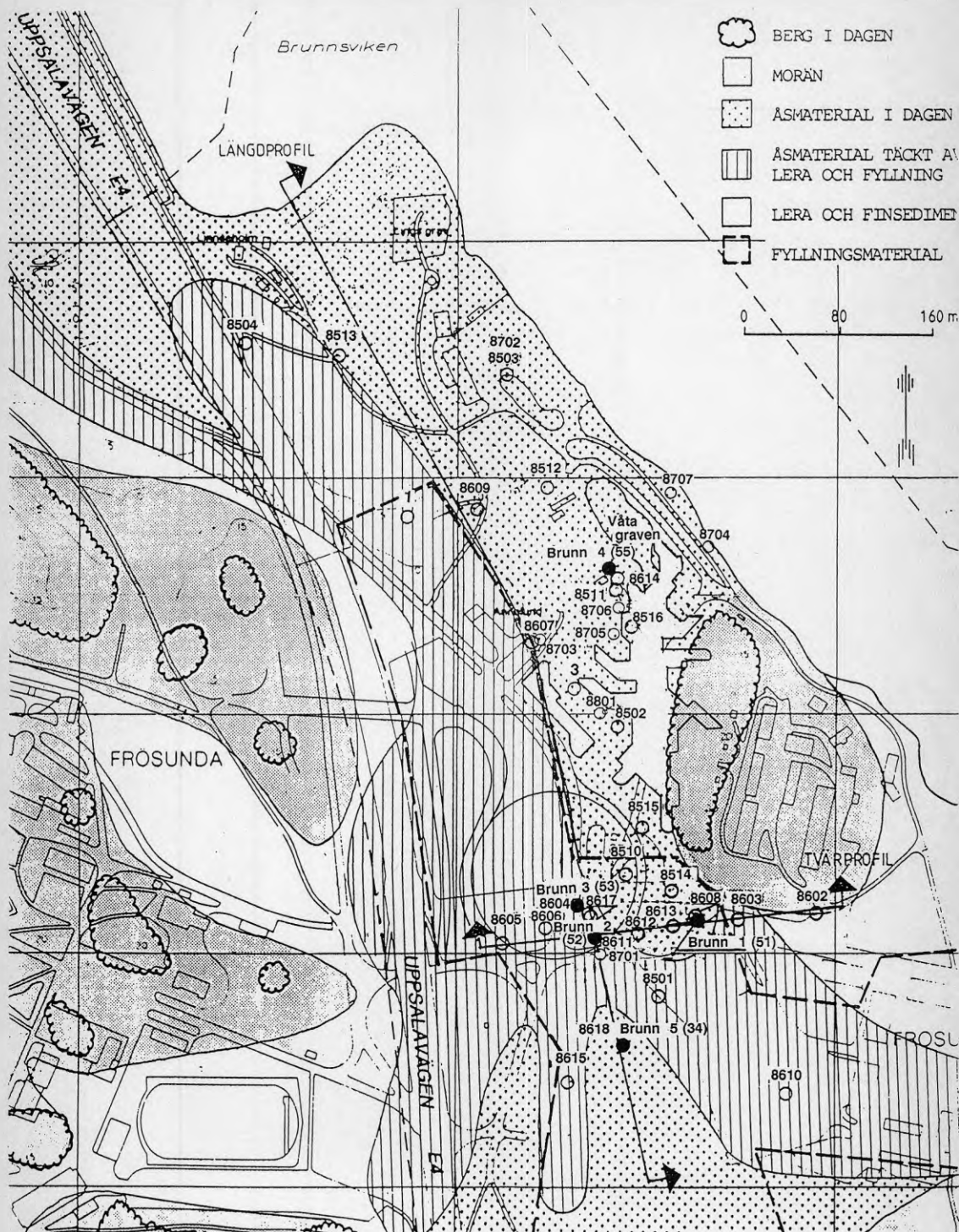
rök	+4,94	0,0 - 6,0	finsandig grov- sandig mellansand	god
ruk	-9,36			
my	+3,94	6,0 - 12,0	finsandig mellansand	(mindre) god
gvy	-0,16	12,0 - 13,0	grov silt	obetydlig
87-11-30		13,0 - 13,3	grusig morän	god
		13,3	block eller berg	

Grått vatten vid 13,0 - 13,3 m djup

Rördrivning	Djup i m under my	Jordlager	Vattengenom- släpplighet
-------------	----------------------	-----------	-----------------------------

Rb 8708

rök +10,28	0,0 - 2,0	sandigt grus (fyllning)	
ruk -8,72	2,0 - 7,0	lera	
my +9,08	7,0 - 13,0	finsilt	
gvy -0,12	13,0 - 17,8	sandigt grus	god
87-11-30	17,8	Röret avslaget 15 m u my. Fungerar bra som observa- tionsrör.	



Karta över rödrivningar

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 861047-4
från Statens råd för byggnadsforskning till AIB
Anläggningsteknik AB, Solna.

R13: 1991

ISBN 91-540-5302-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6811013

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirkapris: 77 kr exkl moms