



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

R133:1982

**Grundvatten som värmekälla
och lager för fjärrvärmenät
i Tranås**

Förstudie

Hans Hydén mfl

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *ser*

*V
AN/r*

Byggforskningsrådet

R133:1982

GRUNDVATTEN SOM VÄRMEKÄLLA
OCH LAGER FÖR FJÄRRVÄRMENÄT
I TRANÅS

Förstudie

Hans Hydén
Ann Emmelin
Christer Gedda
Hans Grafström
Ragnar Jonsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
801483-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till VBB, AB, Stockholm.

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

R133:1982

ISBN 91-540-3832-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1982

INNEHÅLL

FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	6
1. BAKGRUND OCH SYFTE	7
2. GEOHYDROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	8
2.1 Allmänt	8
2.2 Utförda undersökningar	8
2.3 Grundvattenförhållanden	15
2.4 Lagerkapacitet	15
2.5 Förutsättningar för passivt uttag ..	16
2.6 Grundvattenkvalitet	16
2.7 Svartån	17
3. FJÄRRVÄRMENÄTET	18
3.1 Befintlig och planerad anläggning ..	18
3.2 Temperaturområde	19
3.3 Flödesvariationer	20
4. SYSTEMUTFORMNING	21
4.1 Lagring och direkt ytvattenvärme ...	21
4.1.1 Anläggningens storlek och drifts- princip	21
4.1.2 Alternativ 1	23
4.1.3 Alternativ 2	25
4.1.4 Alternativ 3	25
4.2 Passivt grundvattenutnyttjande	29
4.2.1 Anläggningens storlek och drifts- princip	29
4.2.2 Föreslagen anläggning	29
5. ANLÄGGNING	30
5.1 Akviferlager	30
5.1.1 Magasinutformning	30
5.1.2 Brunnar	31
5.2 Pumpanläggning	32
5.2.1 Rörledningar	32
5.2.2 Grundvattnet	32
5.2.3 Ytvattnet	32
5.2.4 El- och signalkablar	33
5.3 Värmepumpanläggning	34
5.3.1 Kompressorer	34
5.3.2 Köldmedier	35

5.3.3	Förångarkonstruktioner	36
5.3.4	Förslag till värmepumpanläggning ...	37
5.4	Värmeväxlarcentral	41
6.	ENERGI- OCH EFFEKTBERÄKNING	43
6.1	Värmekällan	43
6.2	Värmepumpanläggningen	44
6.3	Beräkningsresultat	45
7.	EKONOMISK UTVÄRDERING	47
7.1	Förutsättningar för kostnads-beräkningar	47
7.1.1	Anläggningskostnader	47
7.1.2	Driftskostnader	47
7.1.3	Årskostnader	47
7.2	Kostnadssammanställning	48
7.3	Utvärdering	49
8.	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	51
8.1	Utvärdering	51
8.2	Fortsatta handläggning	51
8.2.1	Tidplan	51
8.2.2	Juridiska förhållanden	52
	LITTERATUR	55
	BILAGOR:	57
BILAGA 2.1	Analys av grundvatten	
BILAGA 2.2	Analys av Svartåvatten	
BILAGA 3.1	Värmelast vid verk som funktion av utetemperaturen	
BILAGA 3.2	Varaktighet för värmelast vid verk	
BILAGA 3.3	Fram- och returvattentemperaturer i fjärrvärmenätet som funktion av utetemperaturen	
BILAGA 3.4	Fjärrvärmevattenflödet vid hetvattencentralen som funktion av utetemperaturen, prognos 1985	
BILAGA 6.1	Samkörning av akviferlager och ytvatten till värmepumpanläggning, schematisk beskrivning	
BILAGA 6.2	Värmelast - täckning, passivt grundvattenutnyttjande	
BILAGA 6.3	Värmelast - täckning, stort lager (alt 3)	
BILAGA 6.4	Värmelast - täckning, passivt grundvattenutnyttjande	

FÖRORD

Föreliggande projekt avser en förstudie av möjligheterna att utnyttja grundvattenvärme och säsongslager för värme i grundvatten som värmekälla via värmepump för ett konventionellt fjärrvärmesystem. Som speciellt tillämpningsexempel har studerats Tranås tätort men de framkomna slutsatserna bedöms i stor utsträckning vara generella.

För projektets genomförande har främst svarat Hans Hydén, Ann Emmelin och Hans Grafström, VBB. För de hydrogeologiska undersökningarna och bedömningarna har svarat Ragnar Jonsson och Christer Gedda, Kjessler & Mannerstråle. Ett betydande arbete har genomförts i form av ett examensarbete vid KTH av Jan Jivmark och Göran Lejemark. Ett värdefullt aktivt stöd har erhållits från kommunens gatukontor vid genomförandet av fältundersökningarna och från energiverket vid framtagandet av data om fjärrvärm nätet samt vid genomförandet av de ekonomiska analyserna av fjärrvärmesystemet.

Föreliggande rapport avses utgöra underlag för ansökan om experimentbyggnadslån.

Stockholm i juni 1982

Hans Hydén

SAMMANFATTNING

Ett kombinerat utnyttjande av ytvattenvärme och akviferlagring kan bidra till värmeförsörjningen på plats-er med lämpliga förutsättningar. De förutsättningar som krävs är bl a en stor grundvattenförande formation, som kan tas i anspråk för ändamålet, närhet till ytvatten, samt ett befintligt distributionsnät för varmet (fjärrvärmenät) eller möjlighet att anlägga ett sådant.

Principen är att på sommaren värmväxla ytvatten mot grundvatten varefter det temperaturhöjda grundvattnet återförs till akviferen där det värmer upp marklagren. På vintern tas den inlagrade energin ut med hjälp av grundvattnet som leds till en värmepump, där energin koncentreras för att sedan tillföras fjärrvärmenätet. Sommartid utgör ytvattnet en direkt värmekälla för värmepumpen utan föregående lagring. Genom att utforma lagret som ett sk pulserande system, kan grundvattenytan hållas på en i det närmaste konstant nivå.

De geohydrologiska, tekniska och ekonomiska förutsättningarna i Tranås för ett värmeproduktionssystem enligt den beskrivna principen studeras. Utgående från den geohydrologiska undersökning som genomförts och prognoser för värmelast på fjärrvärmenätet, skisseras tre alternativa lager.

Förslag till värmepumpcentral redovisas. Olika aggregattyper och köldmedier diskuteras. Anläggningen föreslås byggas upp av tre seriekopplade skruvkompressoraggregat med köldmediet R12. Värmepumparna dimensioneras att gå som basproduktionsanläggning med en värmeeffekt på 5 MW, vilket motsvarar det prognostiserade sommareffektbehovet år 1985.

De olika alternativens driftssätt bestäms och möjligt energibidrag bedöms uppgå till 36-42 GWh. Den totala anläggningskostnaden beräknas till 16-18 miljoner kronor. Av detta utgör ca 1/3 kostnad för värmepumpen, resten hänförs till brunnar, överföringsledningar, pumpstation, värmväxlarcentral och anslutning till fjärrvärmenätet. Med 6 % realränta blir kostnaden per levererad energienhet ca 12 öre/kWh.

Den framräknade energipriskostnaden och systemets miljövänlighet kan göra akviferlagring till ett attraktivt energitillförselsätt för många kommuner. Dess lönsamhet bör därför snarast praktiskt beläggas genom en demonstrationsanläggning.

Med hjälp av värmepump kan den värme som finns i grundvatten tillgodogöras och utnyttjas för bostadsuppvärmning. I värmepumpen koncentreras värmeenergin och kan sedan tillföras returledningen i ett konventionellt fjärrvärmesystem, alternativt ledas direkt till konsumenten.

För att ett stort effektbehov ska kunna tillgodoses på detta sätt krävs mycket mäktiga vattenförande formationer. Dessutom fordras en grundvattenbildning av samma storleksordning som uttaget för att hydraulisk balans ska kunna upprätthållas. Möjligheten att utnyttja stora grundvattenmagasin begränsas ofta starkt av andra anspråk, främst för vattenförsörjning. Om återinfiltration av det temperatursänkta vattnet sker kommer det fasta materialet i magasinet att kylas ned och nya uttagsbrunnar kan bli nödvändiga.

Genom ett kombinerat utnyttjande av yt- och grundvatten som värmekälla erhålls förutsättningar för värmeförsörjning i större skala (Lemmeke 1981). Principen är att ta till vara den energi som under sommaren ackumuleras i ytvattnet genom solinstrålningen, föra över energin via en värmväxlare till grundvattnet, och sedan under vinterhalvåret ta ut den inlagrade värmen med en värmepump. På sommaren utnyttjas ytvattnet direkt som värmekälla. Eftersom grundvattnet cirkulerar i ett system där uttag och infiltration är lika stora, hålls grundvattenytan hela tiden på en relativt jämn nivå.

Värmeförsörjningsmetoden är inte generellt tillämpbar utan kräver vissa geologiska och hydrologiska förhållanden. Tranås har genom sitt läge på sand- och grusakviferer med stor mäktighet och utbredning samt sin närhet till Svartån förutsättningar för både yt- och grundvattenvärme. Fjärrvärmenätet som är under utbyggnad utgör en förutsättning för distribution av värmets.

Denna studie syftar till att närmare klargöra de geohydrologiska, tekniska och ekonomiska förutsättningarna för och konsekvenserna av olika lagrings- och uttagsalternativ, liksom anslutningen till fjärrvärmenätet. Avsikten är att resultaten av studien skall kunna nyttjas för generella slutsatser för andra kommuner som vill bedöma möjligheten att låta värmeförsörjningen baseras på eller kompletteras av grund- och ytvattenvärme.

2.1 Allmänt

Förutsättningarna för energiutvinning och energilagring är helt beroende av de lokala hydrogeologiska förhållandena. I de centrala och västra delarna av Tranås återfinns bl a sand- och grusavlagringar tillhörande en större isälvsbildning som sträcker sig genom staden. Det är känt att denna bildning har god grundvattenförande förmåga. Således var bl a tätortens gamla grundvattentäkt samt minst två större privata produktionsbrunnar lokaliserade till denna avlagring, se figur 2.1.

2.2 Utförda undersökningar

Studier av tidigare inom kommunen utförda geologiska och geotekniska undersökningar som geologisk flygbildstolkning, sonderingar och provtagningar har gett ovannämnda geologiska och hydrogeologiska bild. Med hjälp av dessa undersökningars resultat har de kompletterande undersökningarna kunnat koncentreras till vissa delar av nämnda isälvsavlagringar.

För att närmare bestämma den grundvattenförande avlagringens storlek och uppbyggnad har bl a ett antal undersökningsborrningar utförts. Undersökningarna har i detta första skede koncentrerats till området väster om Svartån och merparten av borrningarna har utförts vid industriområdet nordväst om järnvägsstationen i närheten av fjärrvärmeverket.

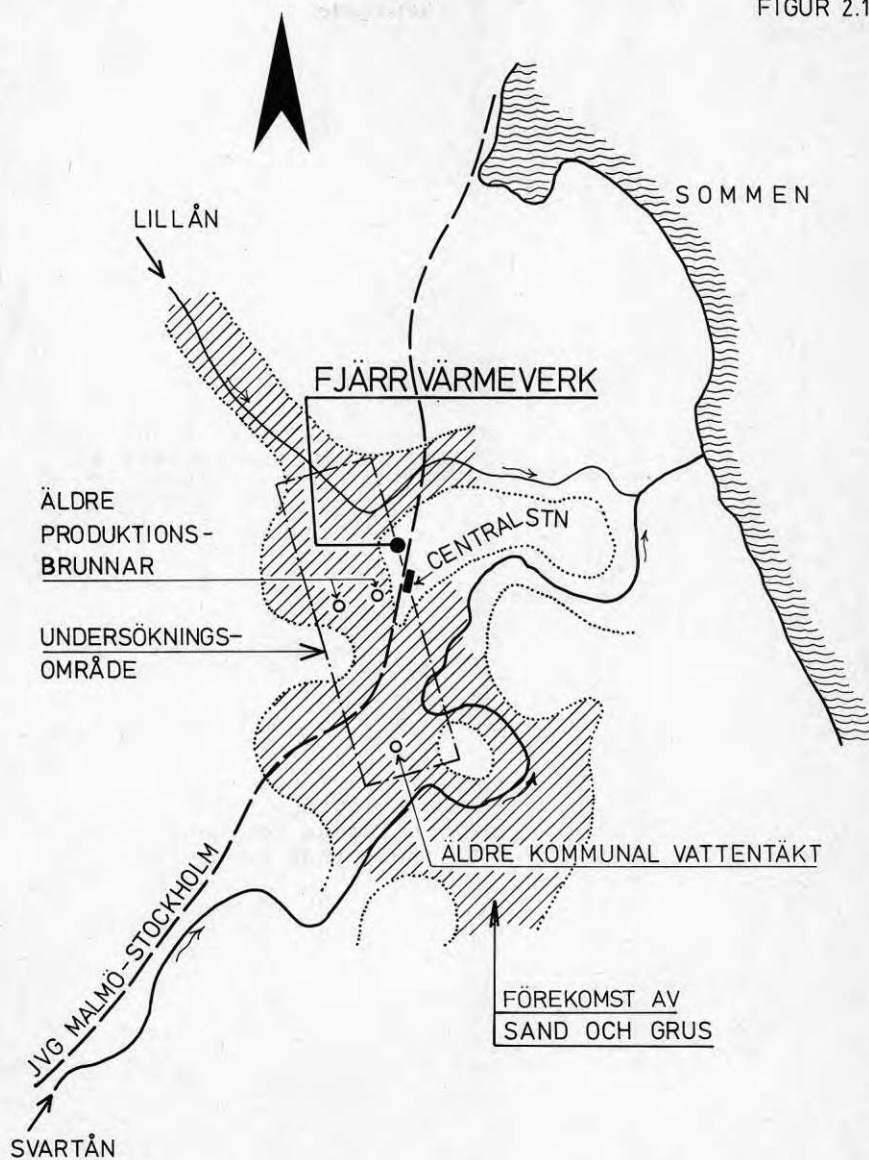
I 13 punkter har sonderingsborrning (ø 25 mm) utförts till så stort djup som möjligt. Vid sonderingarna har bl a jordprov uttagits från vissa nivåer med en ø 30 mm provtagare. Borrningarna utfördes under januari - februari 1982 och lägena för dessa framgår av planen figur 2.2. Här redovisas även vissa äldre undersökningsborrningar utförda av SGI, vilka använts vid tolkningen av områdets geologiska uppbyggnad.

Borrningsresultaten redovisas i en längdprofil och två tvärprofiler, se figur 2.3 och 2.4. För att närmare belysa de hydrogeologiska förhållandena redovisas även i profilerna en schematisk bild av jordlagrens uppbyggnad och berggrundsyntans ungefärliga läge.

Eftersom merparten av undersökningsborrningarna ej nått ned till fast berg utan måst avslutas i grovt friktionsmaterial (sten eller block) kan mäktigheten av de vattenförande jordlagren vara större än vad som här redovisas.

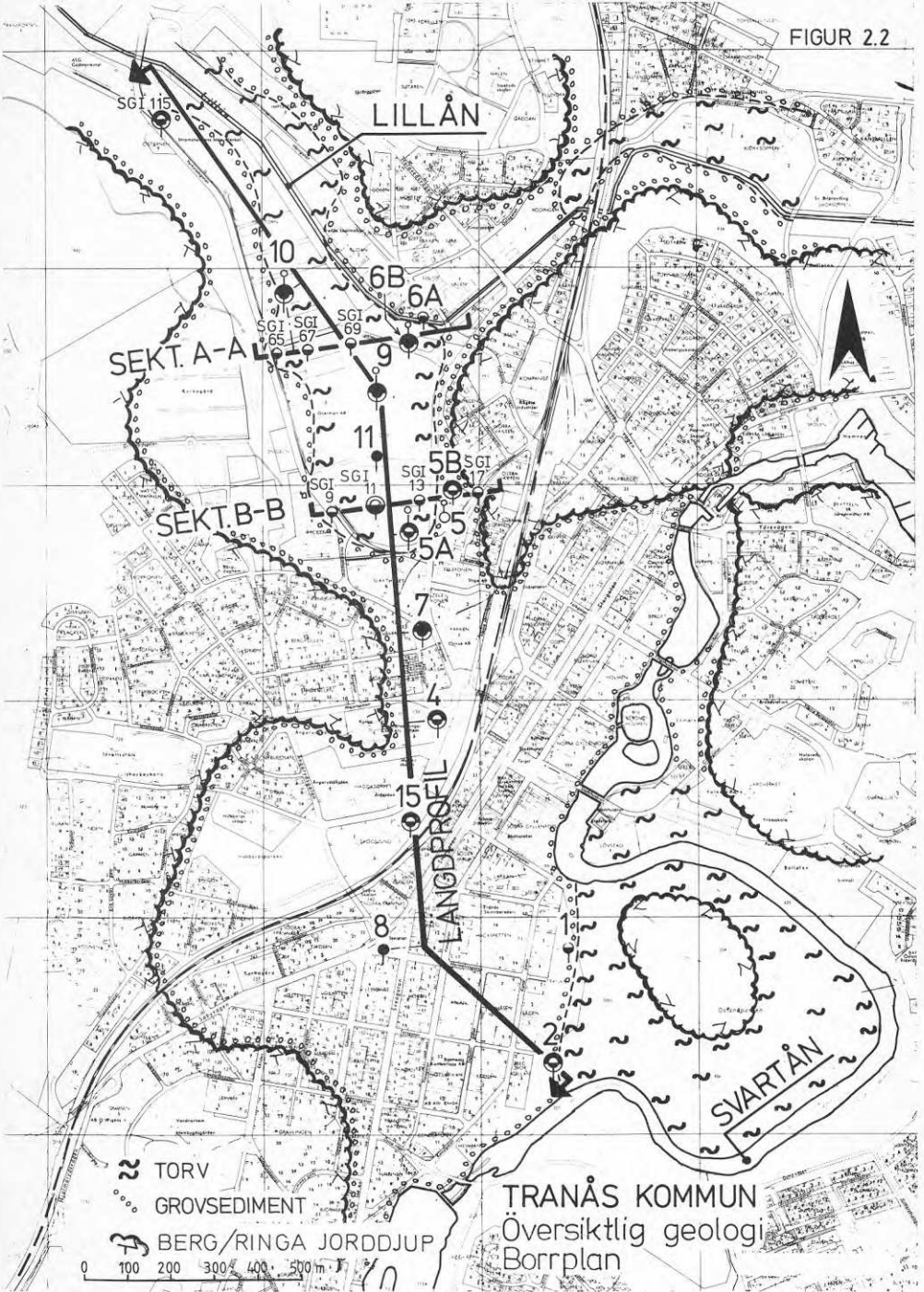
På figur 2.5 redovisas en principiell bild av bergsyntans nivåförhållanden. Härav framgår att isälvsavlagringen har avsatts i en markant sprickdal som sträcker sig i ungefär nord-sydlig riktning genom

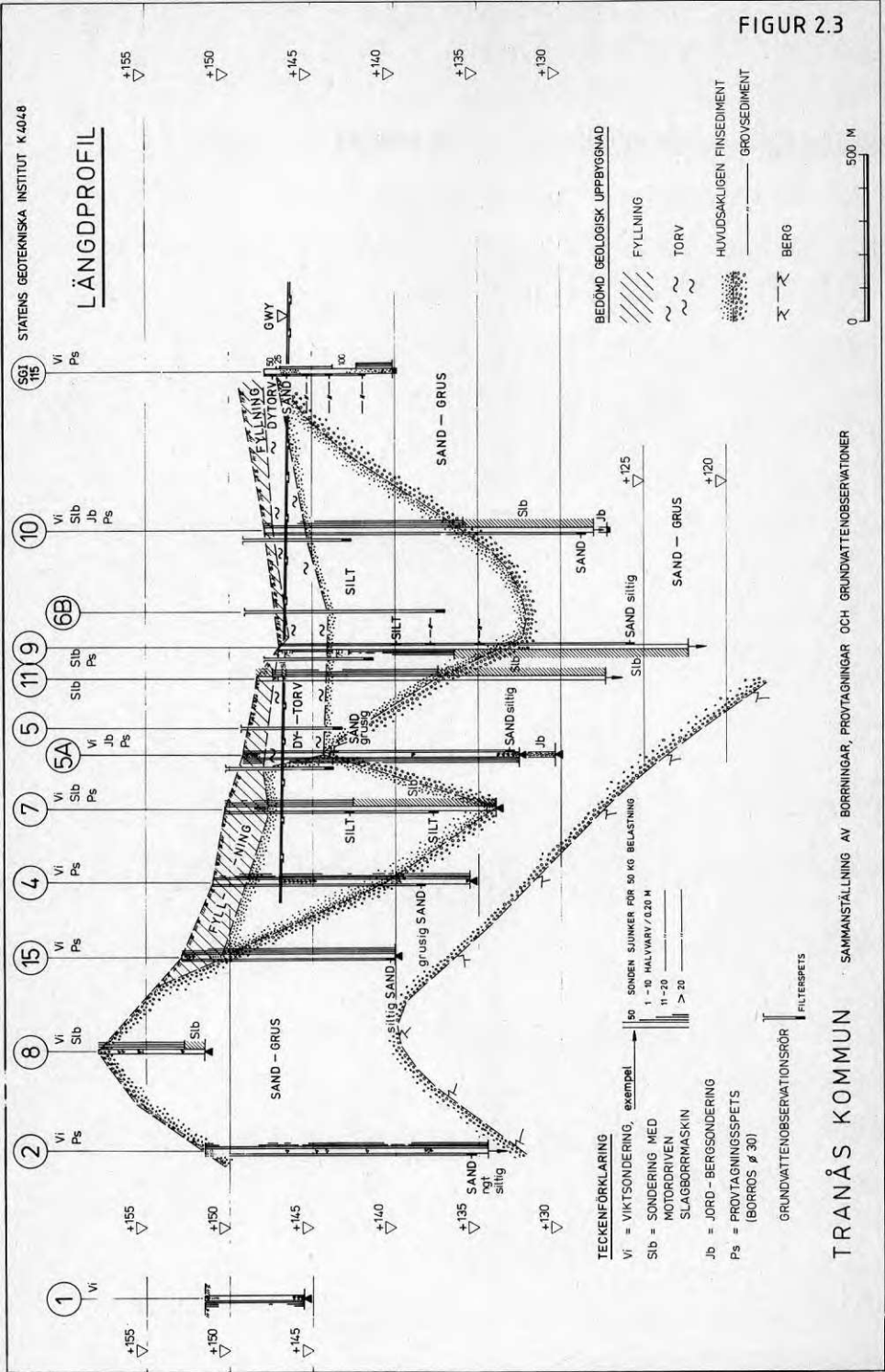
FIGUR 2.1



TRANÅS KOMMUN
Översiktsplan

FIGUR 2.2

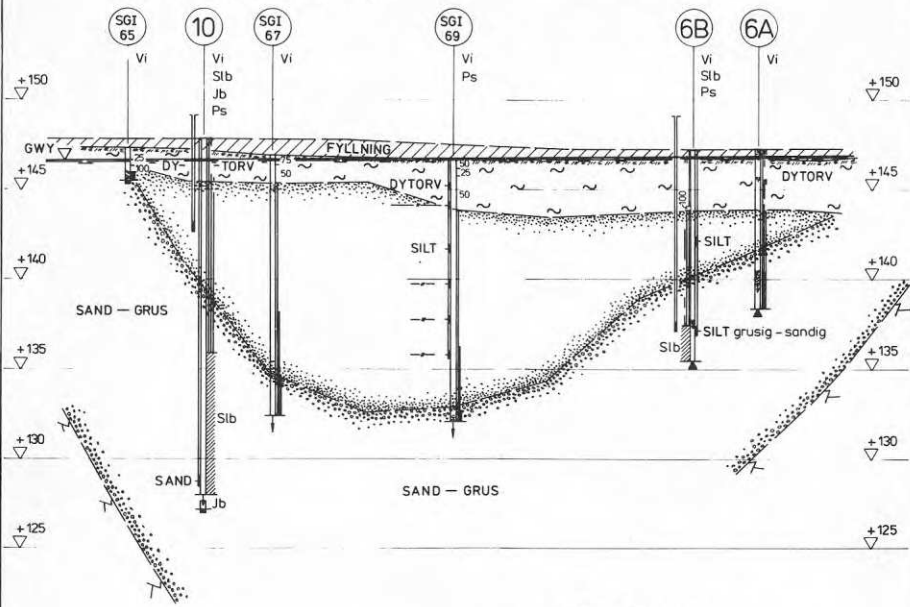




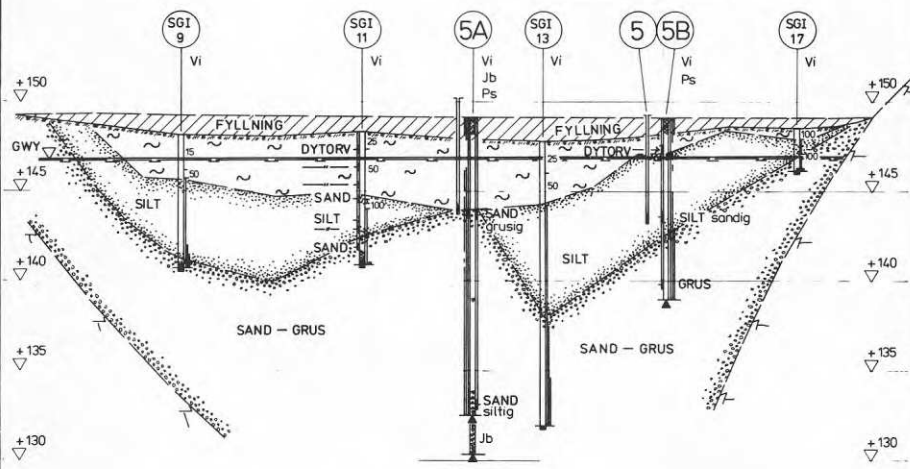
FIGUR 2.4

SEKTION A-A

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT K 4048



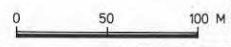
SEKTION B-B

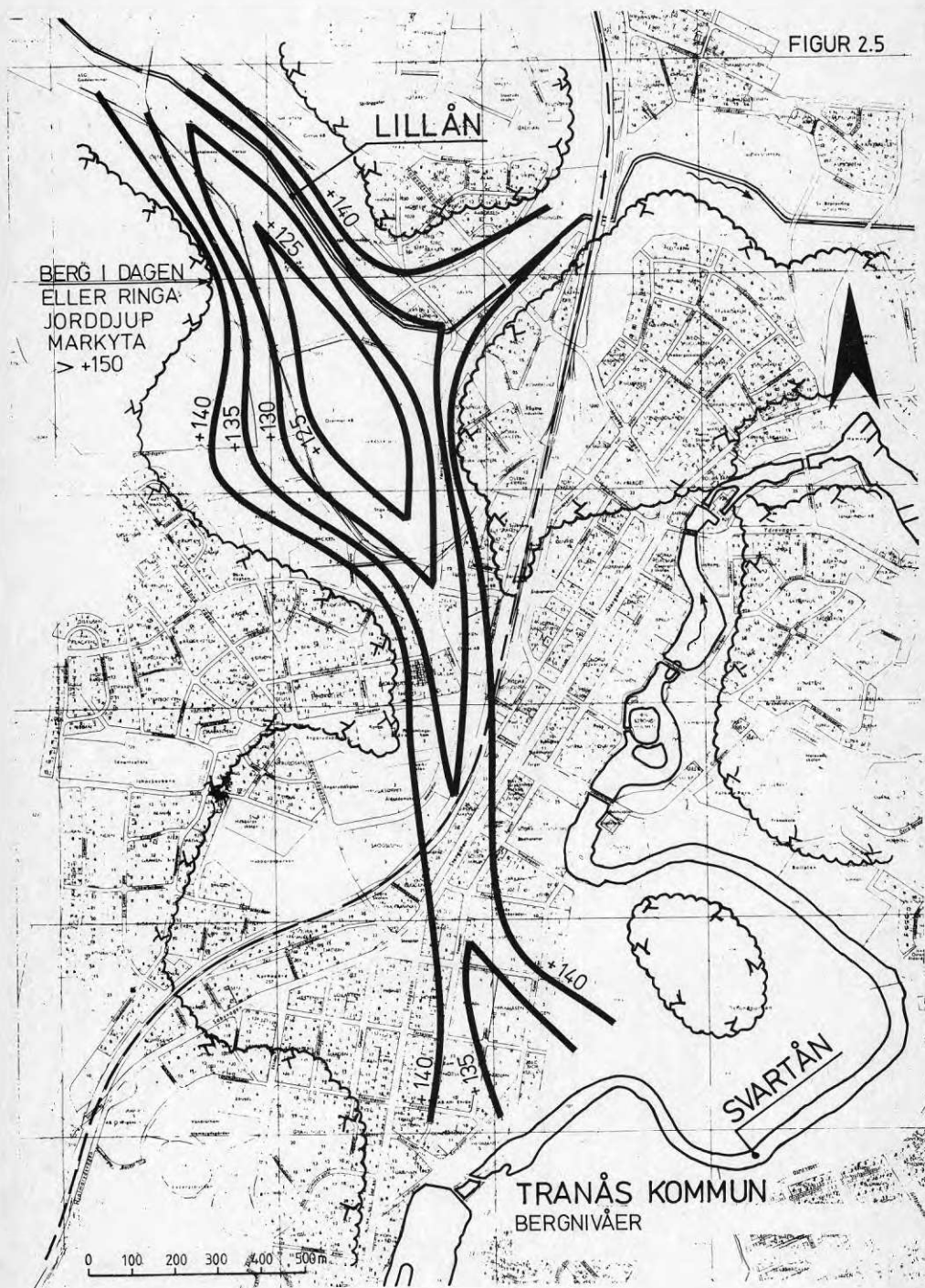


TECKENFÖRKLARING } SE LÄNGDPROFIL
 BEDÖMD GEOLOGISK UPPBYGGNAD }

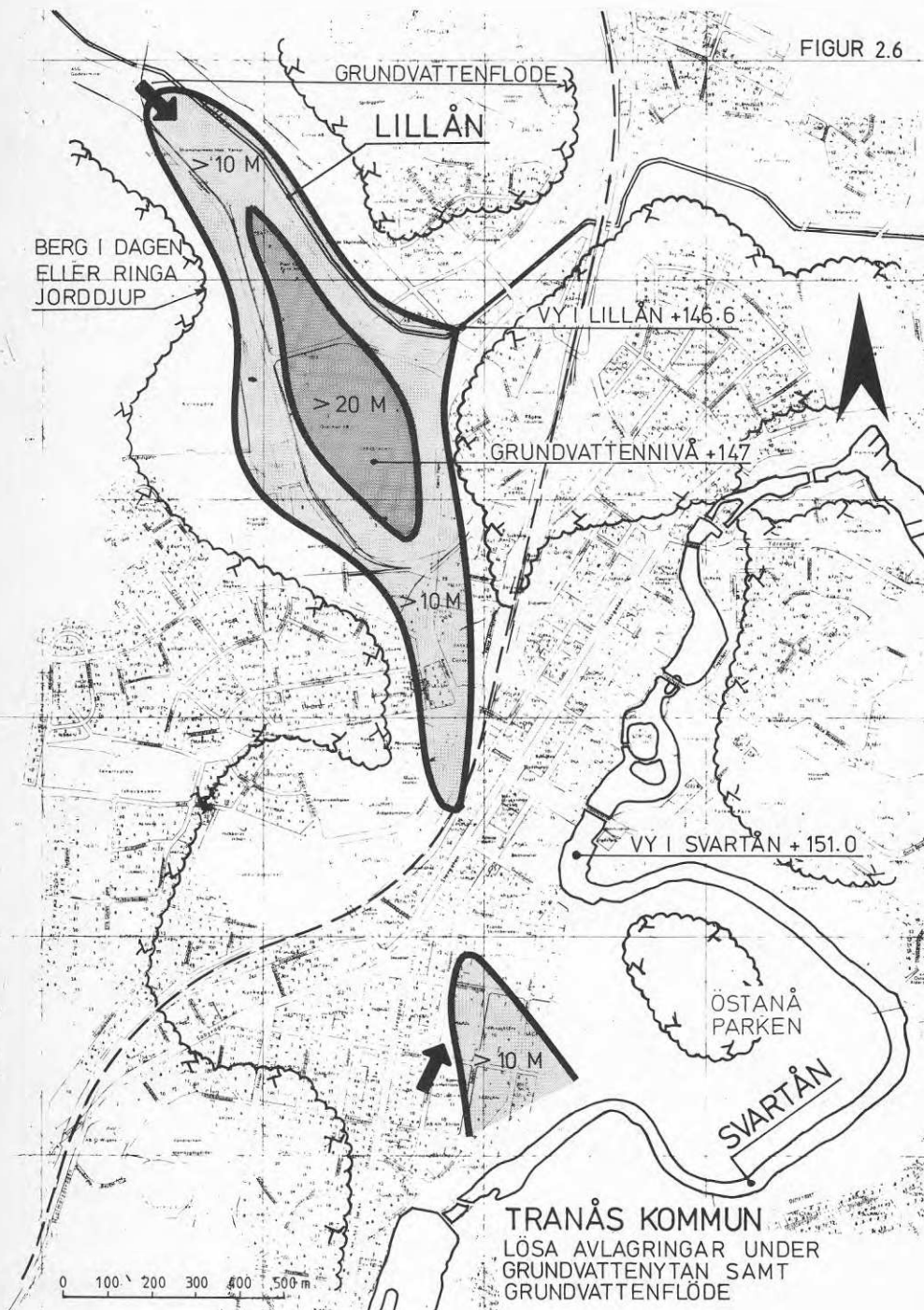
TRANÅS KOMMUN

SAMMANSTÄLLNING AV BORRNINGAR, PROVTAGNINGAR OCH GRUNDVATTENOBSEKATIONER





FIGUR 2.6



Tranås. De lägsta berggrundsnivåerna finns vid industriområdet nedanför fjärrvärmeverket.

2.3 Grundvattenförhållanden

Grundvattennivån har uppmätts i ett 10-tal punkter inom det aktuella området, dels grundvattenrör dels privata brunnar, se figur 2.6. Resultaten visar att huvudflödet sker i sprickdalens längdriktning med ett sannolikt utflöde i Lillåns sidodalgång mot nordost. I områdets lågpartier påträffas grundvattenytan ca 1-2 m under markytan. Grundvattengradienten är förhållandevis liten, vilket tyder på ett stort grundvattenmagasin med låg flödes hastighet.

Specifika avrinningen uppgår i Tranås till ca 6 l/s och km² vilket motsvarar en nettonederbörd på 200 mm. Känt uttag vid den gamla grundvattentäkten uppgick till 725 000 m³/år motsvarande 23 l/s. Om det förutsätts att hälften av nettonederbörden infiltrerar krävs således ett ca 8 km² stort avrinningsområde för en naturlig grundvattenutbildning motsvarande uttaget. Det aktuella avrinningsområdet är ej av denna storlek, och det är därför troligt att en stor del av uttaget bestod av från ån infiltrerat vatten, något som också antyds av grundvattenkvaliteten (jämför kapitel 2.6).

Avlagringens norra del är troligen helt eller delvis avskild från den södra av en bergtröskel. I norra delen finns två gamla industribrunnar där samtidiga uttag på 3 resp 7 l/s gjorts. Detta stämmer väl med grundvattenbildningen som kan uppskattas till 10-20 l/s.

2.4 Lagerkapacitet

På figur 2.6 redovisas en tolkning av jordlagrens utbredning och mäktighet under grundvattenytan. Härav framgår att det väster om fjärrvärmeverket finns lösa avlagringar med en mäktighet på mer än 20 m. En stor del av dessa avlagringar utgörs dock av silt som också kan innehålla vissa lerinslag och därför ej kan påräknas som lagervolym. I det följande antas en genomsnittlig mäktighet hos friktionsmaterialet på 10 m. Lagervolymen innanför 10-meters linjen kan då uppskattas till ungefär 4 miljoner m³. Hela denna volym kan dock inte praktiskt utnyttjas, bl a beroende på volymens form. Ett lager bör istället koncentreras till formationens centrala del.

Väster om Östanåparken finns ett annat område med mäktiga sand- och grusavlagringar. Det maximala djupet hos avlagringarna, som helt utgörs av friktionsmaterial, torde uppgå till drygt 15 m. Utsträckningen i ytan av avlagringar med djup större än 10 m är ungefär 10⁵ m², och volymen således drygt 1 miljon m³. Genom att även utnyttja de grundare avlagringarna kan en större lagervolym erhållas.

Hur mycket energi som kan lagras i de angivna volymerna beror på det fasta materialets porositet och värmekapacitivet. Vid laddning av lagret överförs laddningsvattnets värmeenergi till sanden som kommer att binda en större del av den inlagrade energin. Se avsnitt 5.1.1 och Leijermark, Jivmark (1981).

Vid beräkningen av möjlig inlagringsbar energimängd har porositeten 15 % förutsatts. Vidare har antagits att värmekapaciteten hos en volymsenhet vatten är dubbelt så stor som det fasta materialets. Med vattnets värmekapacitivet 4,18 kJ/kg°C ger detta energiinnehållet 0,67 kWh/m³ vattenmättat material och °C.

2.5 Förutsättningar för passivt uttag

Ett uttag av grundvatten för värmeförsörjningsändamål bör, liksom vid uttag för konventionell vattenförsörjning, ej överstiga grundvattenbildningen. Möjligheten till ett större passivt uttag i avlagringens norra del bedöms som osäker med hänsyn till grundvattenbildningen och utflödet i nordost. Vid den gamla grundvattentäkten bör däremot ett uttag på ca 20 l/s kunna göras.

En del av uttaget kommer att bestå av infiltrerat ytvatten. Ytvattnet kommer troligen ej att nämnvärt påverka temperaturen hos det uppfordrade vattnet då dess temperatur vid passagen genom marken kommer att utjämnas över året. Antas en tempertur hos det uppfordrade vattnet på 6°C, blir den tillgängliga temperatursänkningen 4° och den uttagbara energimängden 4,7 kWh/m³.

2.6 Grundvattenkvalitet

Tranås tar idag sitt vatten för vattenförsörjningen ur sjön Sommen. Den gamla grundvattentäkten vid Oxtorget (se figur 2.1) övergavs i slutet av 50-talet då dess kapacitet ej var tillräcklig för det ökande vattenbehovet. Vidare var vattenbeskaffenheten otillfredsställande med mycket höga halter mangan och järn. Analysresultat (se bilaga 2.1) visar också på ett hårt vatten. Permanganatförbrukningen ligger högt i jämförelse med färgvärdet. Det höga permanganatvärdet tyder förmodligen på organiskt material, vilket indikerar ytvattenpåverkan.

De ovan beskrivna kemiska egenskaperna kan vid värmelagring medföra vissa problem och bör därför beaktas. Højningen av temperaturen eller trycksänkningen vid en uttagsbrunn kan medföra kalciumkarbonatutfällning och igensättning. Igensättningsproblem kan även uppstå om grundvattnet vid cirkulationen syrsätts. Löst järn och mangan fälls då ut som svårslösliga oxider eller hydroxider.

2.7 Svartån

Svartån har sitt tillflöde i Säbysjön och rinner genom Tranås centralort mot utflödet i Sommen i nordost. Ån utgör den enda stora potentiella värmekällan för värmelagring i tätorten.

Vid ett utnyttjande enligt den i kapitel 4 beskrivna modellen leds ytvatten till värmeväxlaren. Vattenföring, temperatur och beskaffenhet är därför av betydelse för inlagringsbar energimängd, rensningsbehov och materialkrav på värmeväxlare.

Svartåns karakteristiska flöden är LLQ = 0,5 m³/s och HHQ = 40 m³/s. Månadsmedelvattenföringar och temperaturer redovisas i tabell 2.1. Analysresultat från provtagningar av vattenkvalitet finns i bilaga 2.2. Proven är tagna vid Vriggebovägen i tätortens södra del. De eventuella intagen är belägna nedströms provtagningsplatsen. Mellan provtagningspunkten och intagen sker inga kända utsläpp, förutom från kommunens dagvattennät. Tranås Skinnberederier tar ut ca 700-900 m³/d varav en del används som sköljvatten, detta bortförs dock med det kommunala avloppsvattennätet.

Månad	Svartån		Uteluften
	Flöde m ³ /s	Temperatur °C	Temperatur °C
Januari	17,0	+ 0,5	- 4,1
Februari	8,0	+ 0,6	- 4,1
Mars	9,0	+ 1,5	- 1,2
April	14,0	+ 6,2	+ 3,9
Maj	8,0	+ 9,7	+ 9,6
Juni	4,0	+16,4	+13,7
Juli	3,1	+19,1	+16,1
Augusti	1,5	+17,7	+14,8
September	0,8	+14,1	+10,7
Oktober	0,7	+ 9,2	+ 5,7
November	10,2	+ 4,6	+ 1,5
December	18,9	+ 1,9	- 1,3

Tabell 2.1 Svartåns flöde och månadsmedeltemperatur
Uteluftens månadsmedeltemperatur

3 FJÄRRVÄRMENÄTET

3.1 Befintlig och planerad anläggning

Det värme som utvinns ur grundvattnet eller ur Svartån avses att med hjälp av en värmepumpcentral, direkt eller via ett akviferlager, matas in på retur- sidan i fjärrvärmennätet för Tranås tätort.

Fjärrvärmennätet hade 1980 en maximal ansluten värmeeffekt av 51,5 MW. Maximal utmatad effekt från verk uppgick vid DUT (Dimensionerande Ute-Temperatur = -22°C) till ca 34 MW. Detta ger en sammanlagringsfaktor av 0,66.

Under antagandet av bibehållen sammanlagringsfaktor och med uppgifter om av Tranås Energiverk prognostiserad ökad anslutning, har maximalt värmeeffektbehov vid verk framräknats enligt tabell 3.1.

År	Anslutnings- effekt		Maxeffekt vid verk	
1980	51,5	MW	34,0	MW
1981	55,0	MW	36,3	MW
1982	57,1	MW	37,7	MW
1983	65,3	MW	43,1	MW
1984	74,2	MW	49,0	MW
1985	77,1	MW	50,9	MW
1986	78,9*	MW	52,1	MW
1990	90,0*	MW	59,4	MW

* enl "Projekt Ersättningsbränsle Tranås, VBB, Feb 1981"

Tabell 3.1 Värmeeffektbehov vid verk

I den översiktliga tidplanen som skisserats i kapitel 8 har idrifttagandet av värmepumpcentralen beräknats kunna ske tidigast 1985. Nätstorleken detta år har därför utnyttjats som underlag för beräkning av möjligt värmetillskott från värmepumpcentralen.

I bilaga 3.1 och bilaga 3.2 visas antaget värmeeffektbehov vid verk år 1985 som funktion av utetemperatur- en samt varaktighet för värmelast vid verk.

Hetvattencentralen i kv N Vakten, som togs i drift 1978, omfattar två oljeeldade pannor om vardera 25 MW, med plats för en tredje panna av samma storlek. Dessutom finns ett flertal transportabla panncentraler ute på nätet för reserv- och topplastproduktion. Dessa har under tidigare år även använts för värmeproduktion sommartid.

Under 1982 kommer en flispanna om 18 MW samt en elpanna om 8 MW att tas i drift. Flispannan kommer huvudsakligen att utnyttjas höst, vinter och vår men ställas av sommartid då värmelasten är låg och varierar under dygnet. Under denna period har man

planerat att låta elpannan tillgodose hela värmebehovet.

För att ytterligare reducera oljeberoendet har man diskuterat och förberett för ytterligare en fliseldad panna på 12 MW, som skulle placeras invid de två oljepannorna i hetvattencentralen. Flispannan beräknas tas i drift 1986. Utnyttningstiden för en sådan installation kommer att bli kort under de första åren, ca 1 500-2 000 h/år, men kan motiveras av den relativt låga anläggningskostnaden, då stora delar av bränslehanteringen och övrig kringutrustning redan finns anlagd.

Om värmepumpcentralen kommer till uppförande bör den gå som basproduktionsanläggning, eftersom den i dagens prisnivå har den lägsta driftkostnaden.

En förutsättning för att anläggningen skall vara konkurrenskraftig är att lång utnyttningstid erhålls för den installerade effekten. Detta krav tillgodoses om värmepumpcentralen uppförs vid den befintliga hetvattencentralen varvid hela fjärrvärmenätets flöde kan disponeras.

3.2 Temperaturområde

Konventionella fjärrvärmesystem dimensioneras för en maximal framledningstemperatur av 120°C. Värmesystemen ute hos de enskilda abonnenterna är vanligen dimensionerade för 80/60°C. Beroende på hur värmeväxlaren i abonnentcentralen dimensioneras blir returvattentemperaturen i fjärrvärmenätet därmed ca 70°C eller lägre. Beredning av tappvarmvatten utnyttjas för att ytterligare sänka returvattentemperaturen.

Vid lägre värmebelastning än dimensioneringspunkten är kravet på framledningstemperatur i abonnentens värmesystem lägre. Om flödet i fjärrvärmesystemet hölls konstant skulle regleringen därmed kunna ske med framledningstemperaturen. Kravet på tappvarmvattentemperatur omöjliggör dock en sådan reglering. För att klara önskvärda 55°C bryts normalt reglerförloppet vid framledningstemperaturen 80-85°C. Härigenom erhålls ett reglerförlopp som i bilaga 3.3, där fram- och returvattentemperaturen för fjärrvärmenätet i Tranås tätort framgår som funktion av utomhustemperaturen. Diagrammet visar nu rådande samt förväntade framtida fram- och returledningstemperaturer. Orsaken till det trappstegsliknande reglerförloppet idag är att ett flertal abonnenter debiteras förbrukningsavgift för värme enbart efter utnyttjat flöde och garanteras därvid en viss minimitemperatur på fjärrvärmevättnet. Efter 1984 kommer emellertid samtliga abonnenter att ha installerat värmemängdsmätare och Energiverkets förhoppning är då att kunna sänka framledningstemperaturen till lägst 75°C, från +6°C utetemperatur och uppåt.

Den stegrande returvattentemperaturen, som erhålls vid låg belastning, orsakas av otillfredsställande tappvarmvattenreglering. Genom bättre tillsyn av reglerutrustning, komponentutveckling samt lägre krav på tappvarmvattentemperatur kan man även förutse lägre nivå på returvattentemperaturen. Anslutning av nybyggnadsområden med värmesystem av lågtemperatortyp medverkar även till en sänkning av returvattentemperaturen i fjärrvärmenätet.

En sänkning av fram- och returvattentemperaturerna påverkar ej i nämnvärd grad storleken på det energibidrag som värmepumpanläggningen kan tillföra fjärrvärmenätet. En lägre temperaturnivå på fjärrvärmevattnet förbättrar emellertid värmefaktorn, speciellt sommartid då värmepumpanläggningen kan klara i stort sett hela nätets effektbehov.

Den allmänna slutsatsen av redovisade temperaturförhållanden i ett konventionellt fjärrvärmenät är, att det är möjligt att via värmepump tillföra värmeenergi i den utsträckning som normalt kan vara intressant utan att speciella åtgärder vidtages. I föreliggande rapport har därför ej vidare studerats åtgärder av typ lokal sänkning av fjärrvärmemetemperaturen etc.

3.3 Flödesvariationer

Fjärrvärmenätets värmebelastning kan antas variera med utomhustemperaturen som tidigare redovisats i bilaga 3.1. Vid dygnsmedeltemperaturer över ca +12°C består värmebehovet uteslutande av värme för tappvarmvattenberedning som utgör ca 10 % av maximalt värmeeffektbehov.

Behovet av tappvarmvatten varierar emellertid kraftigt under dygnet. Det lägre behovet uppträder huvudsakligen nattetid. Eftersom flödet i nätet styrs mot differensstrycket vid verket kommer således flödet i nätet att variera kraftigt under dygnet sommartid. (Ett ökat värmeuttag ökar flödet). Dessa svängningar dämpas till viss del då medeltemperaturen utomhus sjunker, varvid värmebehovet för tappvarmvatten kommer att utgöra en allt mindre del av den totala värmelasten. Beroende på att utomhustemperaturen dessutom ofta är lägre nattetid dämpas dessa variationer ytterligare.

Det faktum att fjärrvärmenätets flöde varierar kraftigt under sommarhalvåret kan vålla vissa problem med effektregleringen av värmepumpanläggningen. Hur man kan lösa detta problem redovisas senare i avsnitt 5.3.

I bilaga 3.4 redovisas fjärrvärmevattenflödet som funktion av utomhustemperaturen.

4 SYSTEMUTFORMNING

4.1 Lagring och direkt ytvattenvärme

4.1.1 Anläggningens storlek och driftsprincip

I figur 4.1 visas ett principschema för hur ett värmeförsörjningssystem baserat på yt- och grundvattenvärme kan se ut. Anläggningen består av värmeväxlare, värmepump och värmelager med ett antal brunnar. Systemet har ytvatten som värmekälla och fjärrvärmenätet som värmesänka.

Under sommaren nyttjas ytvattnet för både uppladdning av värmelagret och som värmekälla till värmepumpen. Ytvattnet pumpas till värmeväxlaren där dess energi överförs dels till grundvatten direkt uppfördat ur akviferen, dels till ett cirkulationsflöde av grundvatten som enbart fungerar som köldbärare mellan värmeväxlare och värmepump. Sedan grundvattnet temperaturhöjts återförs till akviferen samma mängd som togs ut. Resten går till värmepumpen där energin koncentreras och förs över till fjärrvärmenätets returledning, spetsas i fjärrvärmeverkets pannanläggning och leds till konsumenten.

På vintern används den inlagrade energin. Uppvämt grundvatten leds härvid till värmepumpen, avger sitt värme och förs sedan tillbaka till akviferen.

Under våren sjunker temperaturen i lagret. För att kompensera för temperaturfallet kopplas ytvattenkretsen in så snart den på akviferlagersidan ger högre temperatur än +2°C. När lagret är helt urladdat följer en period då lagret står orört och värmepumpen får sin energi enbart från ytvattnet. Motsvarande samkörning av akviferlager och ytvatten sker en period under hösten.

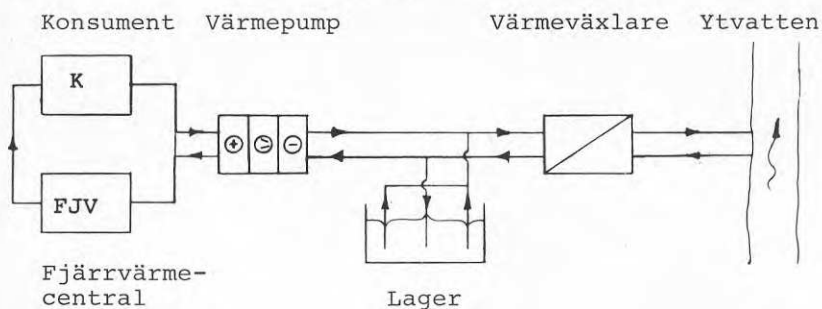
I den beskrivna modellen utnyttjas värmepumpen året om, medan akviferlagret en kortare tid står orört. Det är givetvis möjligt att utnyttja systemet på annat sätt genom att t ex förkorta urladdningsperioden och låta hela anläggningen stå vissa perioder. Driftsättet får i varje enskilt fall avgöras främst med hänsyn till hur systemet bäst kombineras med befintligt uppvärmningssystem.

I den fortsatta studien görs en beskrivning och översiktlig dimensionering samt kostnadsuppskattning av tre alternativa värmelager. Vid samtliga alternativ sker inkoppling av värmen från värmepumpen vid fjärrvärmecentralen, eftersom analysen av fjärrvärmenätet visar att flödena vid andra punkter är för små för att möjliggöra ekonomiskt intressanta anläggningar.

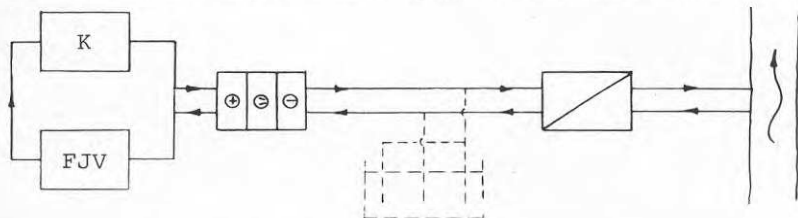
Den inlagrade värmemängden bestäms av magasinsstorlek och laddningsperiod. Lagren enligt alternativ 1

SOMMAR

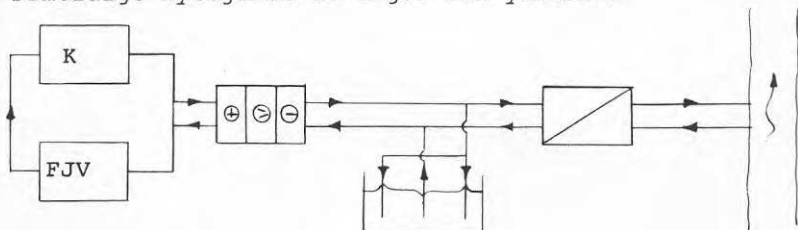
Uppladdning av lagret, ytvattenvärme till värmepumpen

VÅR OCH HÖST

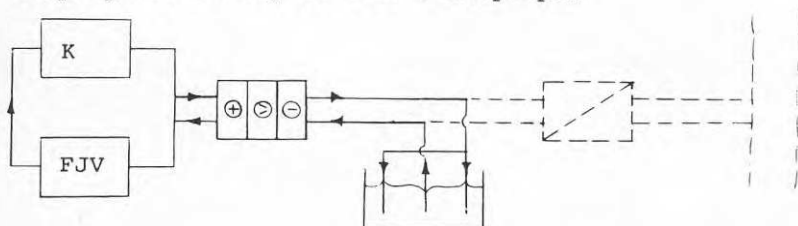
Ytvattenvärme till värmepumpen, lagret står orört



Samtidigt nyttjande av lager och ytvatten

VINTER

Utnyttjande av lagret till värmepumpen



Figur 4.1
Driftschema

och 2 ges vardera volymen $1,6 \times 10^6 \text{ m}^3$. Alternativ 1 är beläget strax väster om fjärrvärmeverket i sand- och grusavlagringens norra del. Alternativ 2 utnyttjar den tillgängliga volymen för lagring i södra delen, ca 1 500 m söder om fjärrvärmeverket. Alternativ 3 är placerat som alternativ 1, men utnyttjar en lagervolym på $2,0 \times 10^6 \text{ m}^3$. Med dessa alternativ kan en jämförelse göras av inverkan på kostnader både avseende värmelagrets storlek och avstånd till inkopplingspunkt på fjärrvärmenätet.

Laddningsperioden har valts att omfatta tiden 1 maj - 31 okt, dvs de 6 månader då ytvattentemperaturen överstiger grundvattnets temperatur. De faktorer som påverkar valet av laddningsperiod är bl a, förutom laddningstemperaturen, även möjlig infiltrationskapacitet och erforderlig storlek på värmeväxlarytan. Önskvärt vore naturligtvis att ladda hela lagret i juli då Svartåns vatten är som varmest, men det är ej möjligt att ladda lagret med så stora flöden som då skulle krävas. Avgörande för detta är främst infiltrationsmöjligheterna.

Vid utnyttjandet av den inlagrade värmemängden bör eftersträvas att få så lång driftstid som möjligt för att nå bästa ekonomi. Här måste dock en anpassning göras till befintlig pannanläggning. Det har bedömts lämpligt att, vid alternativen med den mindre lagervolymen, tömma lagret under de drygt fyra vintermånader då effektbehovet är störst. Vid alternativ 3 som har en större lagerkapacitet görs uttaget under en något längre tidsperiod. Uttagsflödena varieras så att värmepumpenläggningen täcker en konstant andel av baslasten.

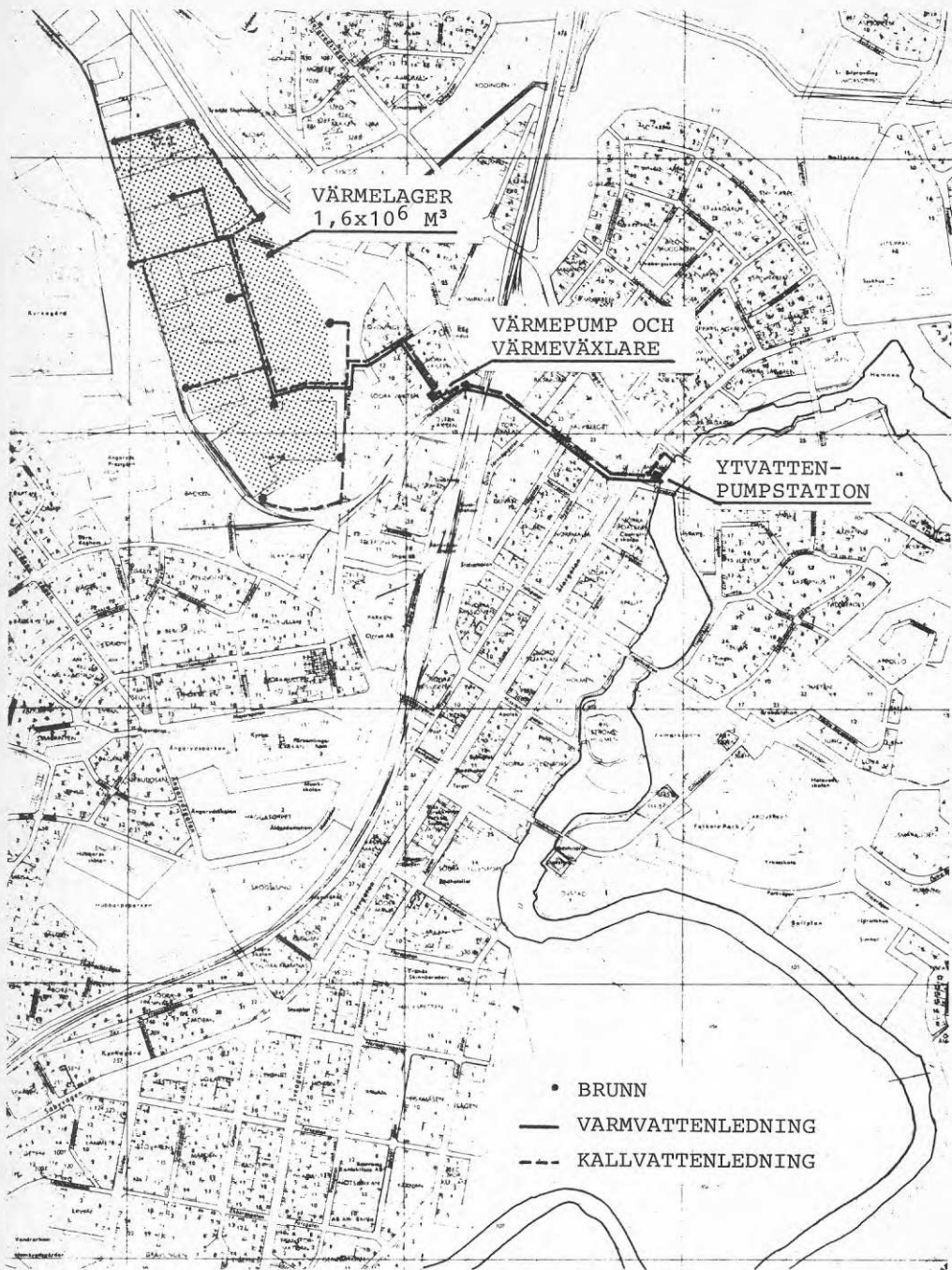
Värmepumparna dimensioneras att lämna totalt 5 MW nominell värmeeffekt. Anläggningen klarar då hela sommarbehovet i fjärrvärmenätet förutom det tillskott som fordras för att klara 75° framledningstemperatur. Dessutom erhålls lång utnyttjandetid då anläggningen går med akviferlagret som värmekälla. Ytvattnet värmeväxlas mot grundvattnet av konstruktions- och materialskäl innan den överförda värmeenergin når värmepumpens förångare, jämför kapitel 5.3.

Vad gäller dimensionering av de i systemet ingående enskilda komponenterna hänvisas till kapitel 5, Anläggning.

4.1.2 Alternativ 1

Lagret ligger i industriområdet strax nordväst om fjärrvärmecentralen i den djupare delen av den långsmala bassäng som bildas av berget, se figur 4.2. Värmeväxlaren är placerad invid värmepumparna vid fjärrvärmecentralen. Närheten till anslutningspunkten vid fjärrvärmecentralen gör att långa och kostsamma överföringsledningar från lagret kan undvikas.

Intag och utsläpp av ytvatten anordnas vid Ydrebron ca 450 m sydöst om fjärrvärmeverket. Ledningsdrag-



Figur 4.2
Alternativ 1

ningen längs Tranåskvarnsgatan upp till värmväxlaren sker mestadels i berg och blir därför relativt dyr. Berg under järnvägen omöjliggör tryckning under denna. Passagen förutsätts därför kunna ske i en "bro" över järnvägen liknande den värmebro som redan finns för fjärrvärmenätet.

Data för lagret

Magasinsvolym: $1,6 \times 10^6 \text{ m}^3$

Brunnar: 3 centrumbrunnar + 8 periferibrunnar

Laddning: 60 l/s, maj-okt

Urladdning: max 90 l/s, nov-mars

4.1.3 Alternativ 2

Alternativ 2 är placerat i södra delen av tätorten väster om Östanåparken, se figur 4.3. Bebyggelsen inom lagerområdet utgörs främst av småindustri men även av bostäder.

Den genomsnittliga mäktigheten hos vattenförande lager bedöms som något mindre än vid placering enligt alternativ 1, varför lagret får större areell utbredning. Grundvattenmagasinet är inte heller lika väl avgränsat, och man kan förvänta sig en viss genomströmning från Svartån som tangerar lagret både i söder och norr. Förslagets 13 brunnar kan därför behöva utökas dels för att klara erforderliga kapaciteter (jfr även 5.1.2), dels för att erhålla en avskärmning mot Svartån.

Intag av ytvatten sker i direkt anslutning till lagret strax nedströms bron vid Östra vägen där även värmväxlarna placeras. Ledningarna från lagret till fjärrvärmecentralen förläggs till Mossigatan - Västra Vägen efter passagen under järnvägen vid Ängarydsgatans vägport.

Data för lagret

Magasinsvolym: $1,6 \times 10^6 \text{ m}^3$

Brunnar: 4 centrumbrunnar + 9 periferibrunnar

Laddning: 60 l/s, maj-okt

Urladdning: max 90 l/s, nov-mars

4.1.4 Alternativ 3

Lagret utnyttjar större delen av lagerkapaciteten inom industriområdet väster om fjärrvärmeverket, se figur 4.4. Ytvattenintag, ledningar och värmväxlare placeras som i alternativ 1.

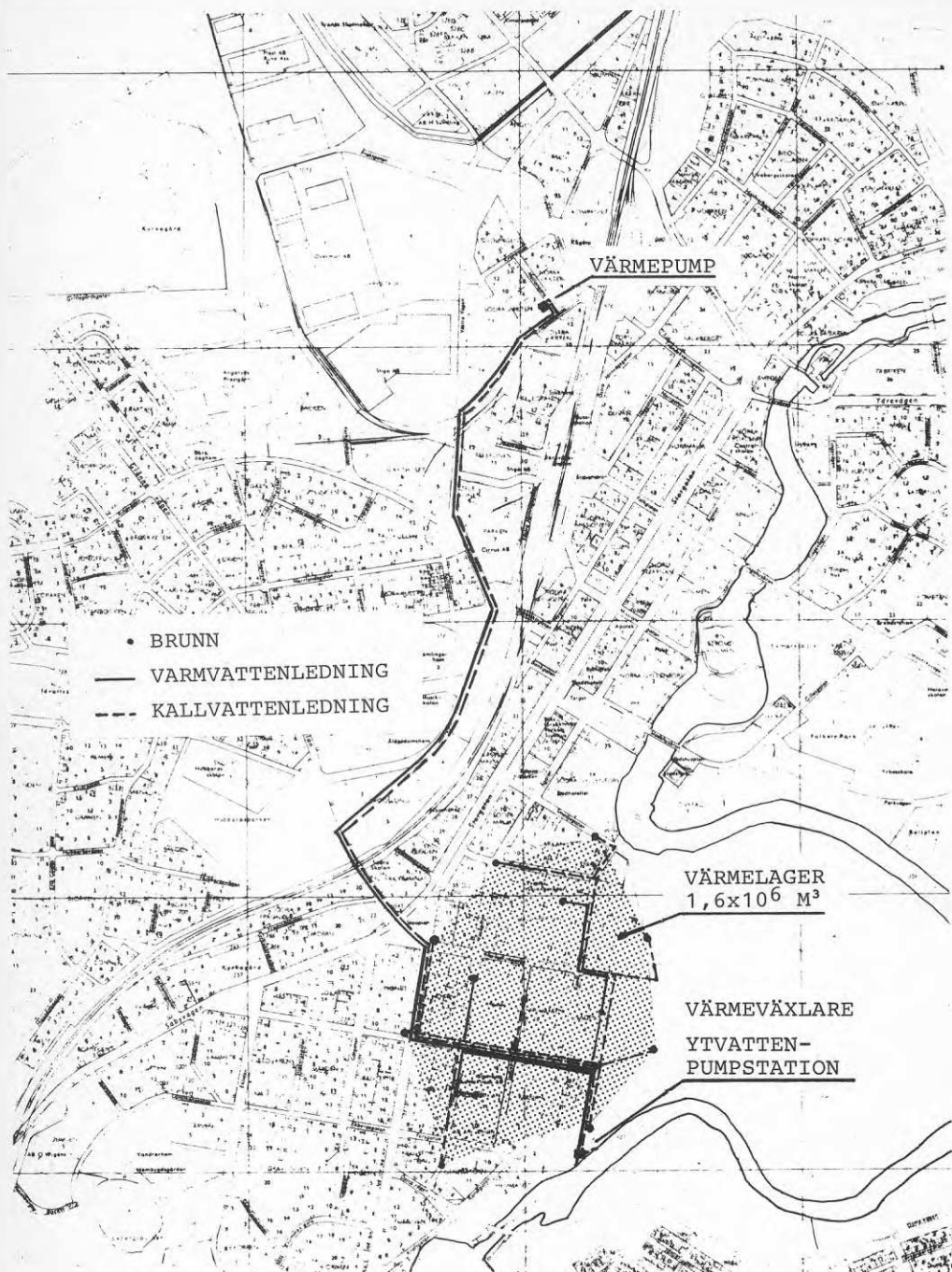
Data för lagret

Magasinsvolym: $2,0 \times 10^6 \text{ m}^3$

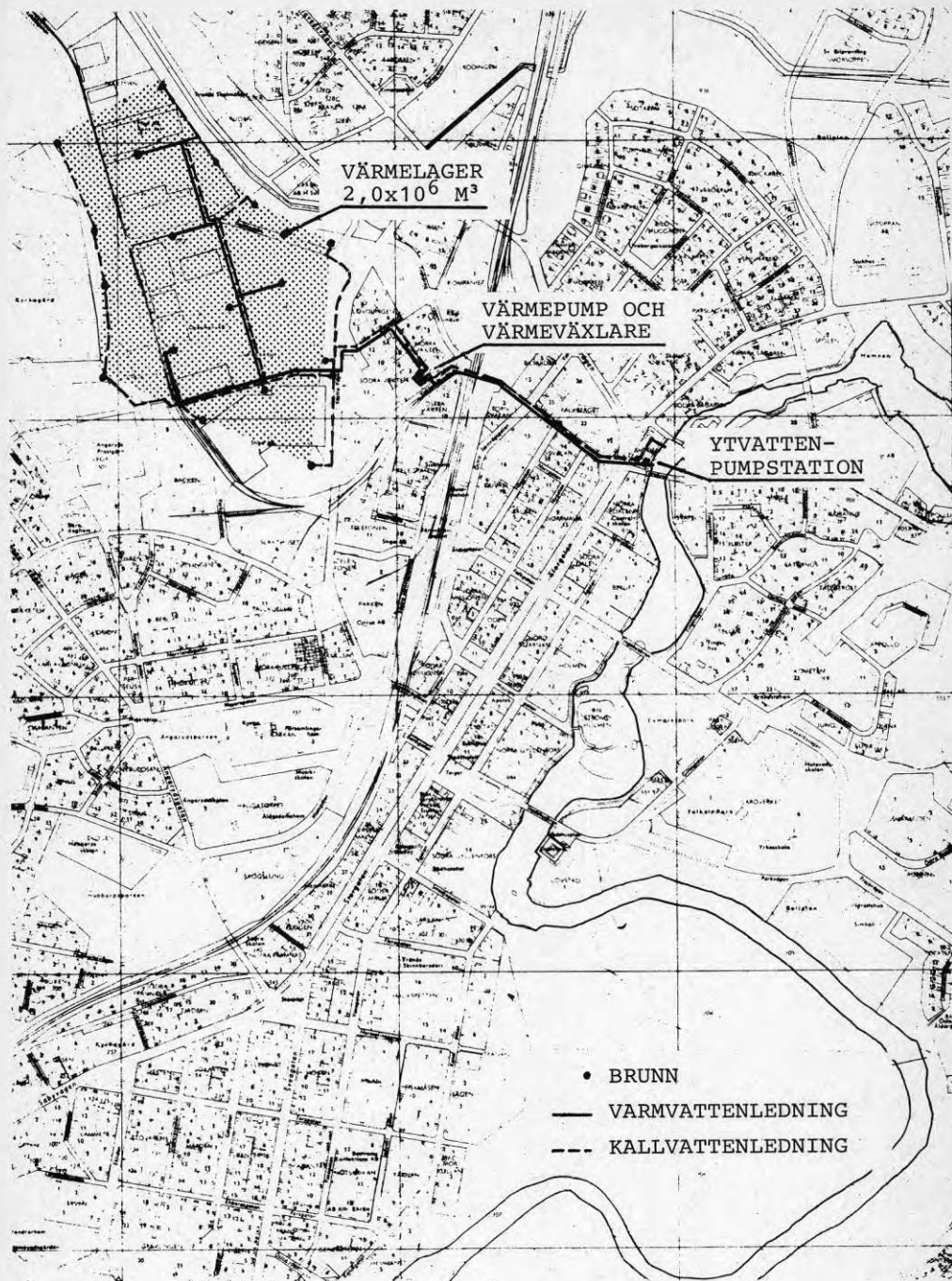
Brunnar: 5 centrumbrunnar + 11 periferibrunnar

Laddning: 75 l/s, maj-okt

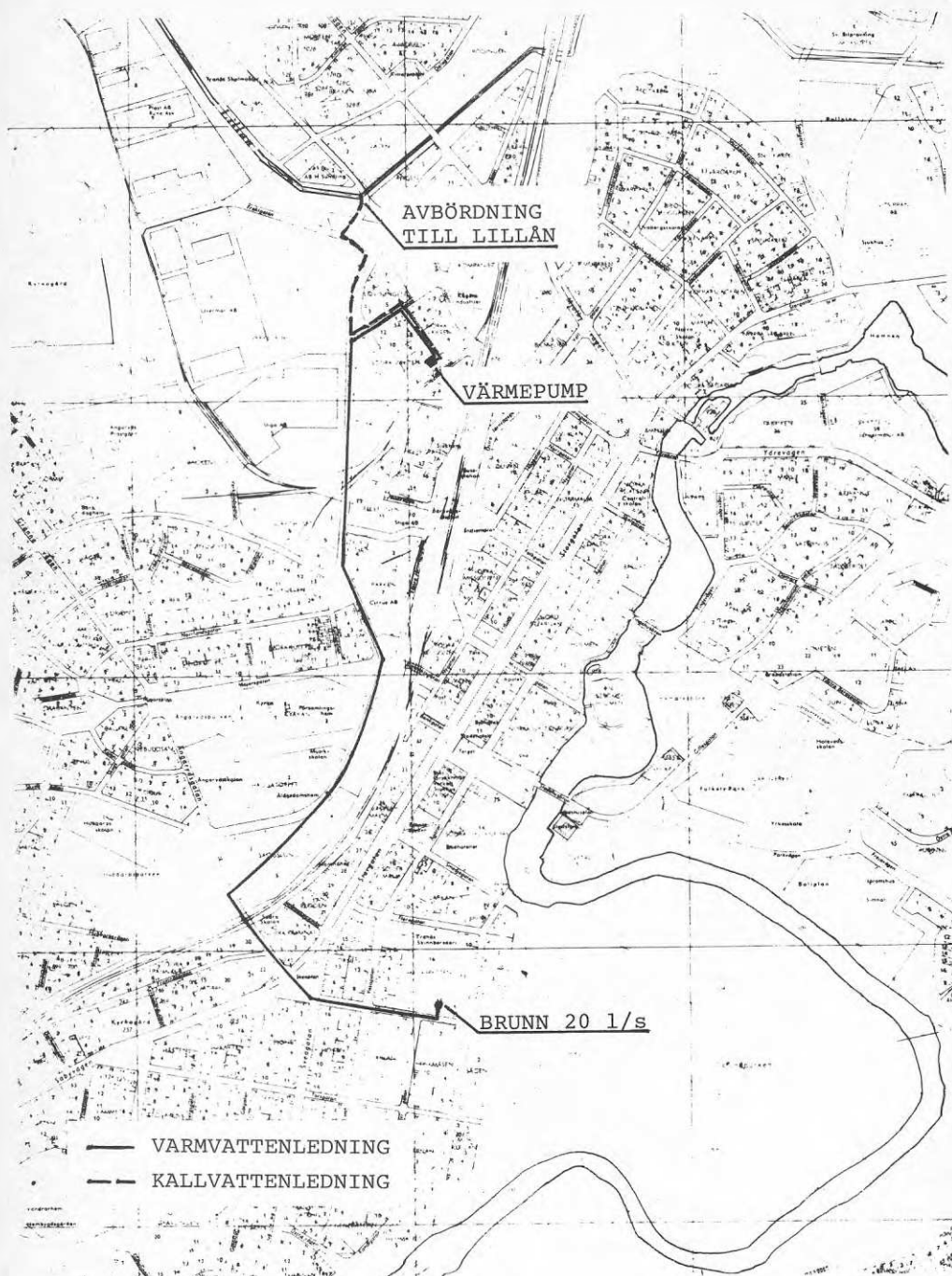
Urladdning: max 150 l/s, nov-mars



Figur 4.3
Alternativ 2



Figur 4.4
Alternativ 3



Figur 4.5
Passivt grundvattenutnyttjande

4.2 Passivt grundvattenuttag

4.2.1 Anläggningens storlek och driftsprincip

En anläggning som utnyttjar grundvattenvärme som värmekälla består av en eller flera uttagsbrunnar samt en värmepump. Dessutom krävs en avbördningsmöjlighet för det temperatursänkta vattnet, antingen till ett närbeläget ytvattendrag, eller också i form av en återinfiltrationsanordning.

Anläggningen körs året om och avger konstant effekt, eftersom grundvattentemperaturen är konstant. Den möjliga uttagbara energimängden begränsas av grundvattentillgången och temperaturen.

I avsnittet nedan beskrivs en grundvattenvärmeanläggning i Tranås. Kostnaderna jämförs med kostnaderna för lagringsalternativen. Av kapitel 5 gäller tillämpliga delar.

4.2.2 Föreslagen anläggning

Uttaget av grundvatten uppgår till 20 l/s och är lokaliserat till avlagringens södra del, se figur 4.5. Eventuellt kan den gamla vattentäktens brunnar utnyttjas. Anslutning till fjärrvärmenätet sker vid fjärrvärmecentralen, vilket kräver en ca 2 km lång överföringsledning förlagd på frostfritt djup med sträckning som i lageralternativ 2. Sedan grundvattnet passerat värmepumpens förångare rinner det med självfall ca 500 m norrut till Lillån där det avbördas.

5.1 Akviferlager

5.1.1 Magasinsutformning

Möjliga utformningar av akviferlager har studerats av bl a VBB i samband med ett värmelagringsprojekt i Stidsvig (Hydén, Lemmeke 1980). För olika geologiska formationer och varierande inlagringstemperaturer belystes för- och nackdelar med olika system. Ett lagers termiska och hydrauliska verkningssätt simulerades med hjälp av en matematisk modell (Voss m fl 1980).

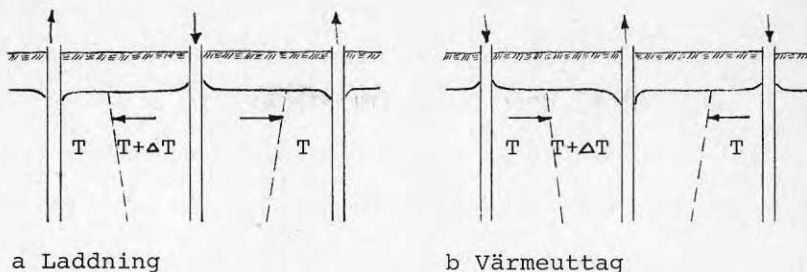
I Tranås föreslås att ett s k utskiftningslager anordnas. I ett utskiftningslager kompenseras hela tiden vattenuttaget av en infiltration som är lika stor som uttaget. På så vis upprätthålls hydraulisk balans. Vid laddning förträngs det kalla vattnet av det varmare, och vid urladdning det varma av det kallare vattnet. Det varma vattnet kan härvid antingen vila ovanpå det kalla med en horisontell temperaturfront däremellan, eller lagras jämte det kalla. I det andra fallet fås en temperaturfront som är mer eller mindre vertikal, beroende på materialets permeabilitet och den av temperaturskillnaden betingade densitetsskillnaden mellan varmt och kallt vatten. Vid stora temperaturskillnader och hög permeabilitet uppstår lätt termiska stabilitetsproblem och värmefronten tenderar att tippa.

Den relativt låga temperaturen hos det temperaturhöjda grundvattnet i Tranås möjliggör dock inlagring med vertikal temperaturfront. Vertikal front ger jämfört med horisontell front en mindre yta mot marken och därmed mindre värmeförluster. Styrningen blir också enklare.

Akviferlagret ordnas som ett pulserande system. Detta består i princip av en centrumbrunn och ett antal perifera brunnar. Vid laddning av magasinet infiltreras det värmda vattnet i centrumbrunnen samtidigt som motsvarande vattenmängd tas ut ur periferibrunnarna. Vid uttag av den inlagrade energin tas det värmda vattnet från centrumbrunnen, avkyls i värmepumpen och återförs till akviferen via periferibrunnarna, se figur 5.1.

En större del av energin kommer att lagras i det fasta materialet. Laddningsvattnet får cirkulera genom lagret till värmeväxlarna och åter tills dess att lagret är fulladdat, dvs sanden har uppnått samma temperatur som laddningsvattnet. Leijermark, Jivmark (1981) visar att laddningsvattnet måste pumpas runt ungefär fyra gånger innan magasinet är fulladdat (med antaganden om porositet och värmekapacitet som i avsnitt 2.4). Värmespridningen förutsätts ske enbart genom ledning från laddningsvattnet till sanden.

Denna ledning sker momentant, och temperaturfronten kommer därför att röra sig med en hastighet som är fjärdedelen av vattnets.



Figur 5.1a,b

Vid laddning rör sig värmefronten ut mot periferibrunnarna, vid värmeuttag in mot centrumbrunnen.

Varje brunn fungerar således som både uttags- och infiltrationsbrunn. Brunnarna används också för att hålla kvar det varma vattnet. Genom att variera tillförseln och uttaget i de olika brunnarna kompenseras för den naturliga grundvattenströmningen och en hydraulisk avskärmning åstadkomes.

Allt efter akviferens geometri och hydrauliska egenskaper kan ett system av flera centrumbrunnar med tillhörande periferibrunnar anordnas.

5.1.2 Brunnar

Uttag av grundvatten är känd teknik från konventionell vattenförsörjning. Vid värmelagring kompliceras dock fordringarna på brunnarna eftersom dessa även ska utnyttjas för återinfiltrering av vatten. För att dimensionera ett cirkulationssystem krävs en noggrann kartläggning och hydraulisk analys av grundvattenmagasinet liksom kännedom om olika brunnstypers uppbyggnad och effektivitet. En hydraulisk analys fordrar provpumpning och en mer omfattande provtagning än som ryms inom denna förstudie. Beträffande brunnutformning och igensättningsproblematik samt dimensionering hänvisas till två studier av Gustafsson (1982).

Vid skissningen av de olika alternativen har förutsatts att ett uttag på 30 l/s per brunn är möjligt. Antalet brunnar och brunnformering har sedan bestämts av lämplig lagergeometri med hänsyn till den geologiska formationen. Störst flöde uppträder i centrumbrunnarna vid urladdning av magasinet. Infiltrationsflödena kommer att understiga maximalt uttagsflöde eftersom vid urladdning infiltrationsflödet är fördelat på fler brunnar än uttaget, och laddningsperioden med infiltration i centrumbrunnarna är längre än urladdningsperioden.

5.2 Pumpanläggning

5.2.1 Rörledningar

Till vattenledningarna väljs PVC-rör PN6 med ekvivalent sandråhet $k = 0,02$ mm. Den glatta insidan gör att friktionsförluster och dimensioner kan hållas ner. Förluster på max 10 o/oo ger dimensioner $\phi 110$ - $\phi 400$ mm vid de aktuella flödena. Ledningarna läggs på frostfritt djup, vilket i Tranås betyder ca 2 m. Ledningar i berg värmeisoleras. För ytvattenledningarna räcker dock 1 m övertäckning, eftersom ledningarna vintertid töms och ligger outnyttjade.

5.2.2 Grundvattnet

I varje brunn finns en pump. Vid laddning utnyttjas pumparna i periferibrunnarna som ombesörjer uttag, pumpning till värmeväxlaren och passage av denna samt återledning och infiltration av vattnet i centrumbrunnarna. Vid urladdning används på motsvarande sätt pumparna i centrumbrunnarna. Vid värmepumpanläggningen sker en lokal tryckhöjning där separata pumpar styr in och fördelar flödet på värmepumparna.

Erforderliga lyfthöjder för brunnspumparna går ej att bestämma förrän magasinets hydrauliska egenskaper är kända så att "sänk- och höjningstrattar" kan beräknas. En mycket grov uppskattning av den maximala totala lyfthöjden (inkl friktionsförluster) ger runt 30 m. Man bör vid dimensioneringen tillse att undertryck ej råder vid höjdpunkten vid fjärrvärmeverket. Stora undertryck kan medföra kollaps av systemet vid pumpfrånslag.

I alternativ 2 (södra lagret) läggs två separata och delvis parallella ledningssystem mellan värmeväxlare och lager resp värmeväxlare och värmepump. Avståndet till värmepumpen från värmeväxlaren är drygt 2 km och ledningen dimensioneras för maxflödet 150 l/s som vid direkt utnyttjande av ytvattenvärme cirkulerar i systemet och enbart fungerar som köldbärare mellan värmeväxlare och värmepump. Detta flöde drivs av en pump placerad i värmeväxlarcentralen.

Vid urladdningen kopplas värmelagret till överföringsledningen. Eftersom ledningen är överdimensionerad för urladdningsflödet blir friktionsförlusterna små och centrumbrunnarnas pumpar klarar även i detta alternativ hela rundpumpningen av vattnet (med lokal tryckhöjning över värmepumpen).

5.2.3 Ytvattnet

För ytvattnet kan erforderliga pumpkapaciteter bestämmas för de valda flödena sedan friktionsförlusterna beräknats. I alternativ 2 (södra lagret) befinner sig värmeväxlaren intill Svartån, och tryckhöjden

blir lika med nivåskillnaden mellan ån och värmeväxlaren plus förlusten över värmeväxlaren, vilken uppskattningsvis uppgår till 5 m. Vid både uppladdning och direkt utnyttjande av ytvattenenergin krävs flödet 210 l/s. Detta flöde behålls även under de perioder då lagret är laddat och värmeväxlaren utnyttjas enbart för att föra över värmen från ytvattnet till cirkulationsflödet mellan värmepump och värmeväxlare. Genom att låta cirkulationsflödet på 150 l/s möta ett större flöde i värmeväxlaren erhålls en högre utgående temperatur på grundvattnet än vad som vore fallet med lika stora flöden. 3 dränkbara pumpar på vardera 105 l/s föreslås, där en av pumparna utgör reserv.

I alternativ 1 och 3 (norra lagret) skall ytvattnet transporteras i en ca 450 m lång ledning innan det når värmeväxlaren. Förutom friktionsförlusterna i ledning och värmeväxlare skall även nivåskillnaden på ca 10 m övervinnas. Från värmeväxlaren går vattnet sedan med självfall tillbaka till Svartån.

Liksom i alternativ 2 föreslås 2 + 1 pumpar. Även här utnyttjas den installerade pumpkapaciteten och värmeväxlarytan så att ytvattenflödet hålls konstant 210 l/s (alt 1) resp 225 l/s (alt 3).

5.2.4 El- och signalkablar

Till varje pump dras en kabel för elförsörjningen samt en signalkabel som möjliggör start och stopp samt ger larm vid ett eventuellt pumphaveri. Signalkablarna sammanförs till matarkablar som förbinder lager resp ytvattenpumpstation med en central vid fjärrvärmeverket. Kablarna läggs i direkt anslutning till rörgravarna, dock i egen grav.

Anslutning av lagerområde och ytvattenpumpstation till elnätet förutsätts ske i samråd med kommunens elverk. Den maximala samtidiga belastningen från djupbrunnspumparna i ett lager uppgår till ungefär 75 kW (alt 3). Ytvattenpumpstationens effektbehov beräknas till ungefär 100 kW (alt 3).

5.3 Värmepumpanläggning

5.3.1 Kompressorer

I större kyl- och värmepumpanläggningar är skruv- eller turbokompressorer de som ger bäst totalekonomi.

Skruvkompressorn är ofta att föredra i värmepumpsammanhang, där kravet på god reglerbarhet med bibehållna temperaturer på värmebärare och värmekälla är accentuerat. Denna kompressortyp kan regleras inom ett stort område med bibehållen stabil gång. För att reducera läckage av gas under kompressionen sprutar man in olja mellan rotorerna. Oljeinsprutning-

en har även en kylande effekt, vilket medför lägre hetgastemperatur och ökad driftsäkerhet. Vid hög kondenseringstemperatur och därmed hög hetgastemperatur, påverkas emellertid stabiliteten hos oljan, vilket bl a är en av anledningarna till att skruvkompressoraggregat ofta har en lägre tillåten kondenseringstemperatur än oljefria turbokompressoraggregat. En vanlig gräns är maximalt 75°C kondenseringstemperatur med köldmediet R12, vilket ger en utgående värmebärartemperatur av 70-72°C. Med ett turbokompressoraggregat kan man uppnå utgående värmebärartemperaturer på 80-85°C.

Turbokompressorn kan hantera betydligt större volymflöden än skruvkompressorn och är därmed lämpad för större effekter. Volymflödena genom kompressorn är emellertid starkt beroende av tryckförhållandet, vilket är en av turbokompressorns karakteristiska egenskaper. Detta får till följd att en liten ändring av arbetstrycket medför en stor ändring av kapaciteten. Om ett alltför stort tryckförhållande "påtvings" kompressorn, uppträder avlösningssfenomen i kompressorhjulet. Vid stora tryckskillnader bör kompressionen därför delas upp i flera steg för att upprätthålla stabil gång. För att erhålla en acceptabel kapacitetsreglering och samtidigt även undvika s k "pumpningsfenomen" använder man ställbara ledskovlar varigenom gasen ges en lämplig riktning vid inloppen till kompressorhjulen. Eftersom turbokompressorn erfordrar ett visst minimivolymflöde för att uppnå god verkningsgrad vid konstant tryckskillnad mellan hög och lågtryckssida är det vanligt att ett ökat flöde komprimerad gas leds tillbaka till lågtryckssidan vid låglast. Denna hetgasöverblåsning försämrar emellertid värmefaktorn väsentligt.

Värmesänkans (fjärrvärmenätets) effektbehov varierar kraftigt under dygnet sommartid och värmekällans (akviferlagrets) tillgängliga värmeeffekt varierar under vinterhalvåret. Detta faktum ställer stora krav på anläggningens reglerbarhet. Dessutom krävs, om värmepumpanläggningen skall klara hela sommarbehovet, att den kan utföras med 75°C utgående värmebärartemperatur enligt avsnitt 3.2. Dessa krav kan förslagsvis tillgodoses med nedanstående uppbyggnad av centralen.

- o Turbokompressoraggregat med 75°C utgående värmebärartemperatur. Köldmedium R12.
- o Två eller tre kaskadkopplade skruvkompressoraggregat med R22 i lågtemperatursteget och R114 i högtemperatursteget.
- o Två eller tre seriekopplade skruvkompressoraggregat med max utgående värmebärartemperatur av 70-72°C, köldmedium R12. Resterande temperaturhöjning sommartid åstadkomms med den befintliga elpannan.

För den mindre anläggningen, med passivt grundvattenutnyttjande, utnyttjas förslagsvis två kolvkompressor- alternativt ett skruvkompressoraggregat.

I denna utredning har det ej funnits utrymme för att optimera anläggningarna och utreda vilken typ av koppling och reglering som ger den bästa totalekonomin. I de efterföljande kostnads- och energiberäkningarna har förutsättningslöst antagits att de sistnämnda uppbyggnaderna kommer till utförande.

5.3.2 Köldmedier

Vanligen förekommande arbetstryck i konventionella kylanläggningar ligger i intervallet 1-25 bar. Underskrids den nedre gränsen ökar bl a kravet på alla tätningar medan ett tryck över 25 bar innebär andra konstruktiva svårigheter. Båda dessa problem medför naturligtvis ökade kostnader för anläggningen.

De köldmedier som vanligen kommer till användning i värmepumpanläggningar är organiska föreningar av typen halogensubstituerade kolväten. För att förenkla beteckningarna har man infört kodbeteckningar som består av en bokstav R (Refrigerant) samt en siffergrupp. De vanligaste köldmedierna är R12, R22, R114 samt R500.

De temperaturer på grundvattnet och fjärrvärmvattnet som blir styrande för valet av köldmedium ger en förångningstemperatur (t_2) av ca -5°C och en maximal kondenseringstemperatur (t_1) av ca +80°C. Dessa temperaturer medför nedanstående ungefärliga tryck i systemet.

Ångtryck i bar vid:	$t_1 = +80^\circ\text{C}$	$t_2 = -5^\circ\text{C}$
R12	23,1	2,6
R22	36,6	4,2
R114	9,4	0,7
R500	ca 27,5	ca 3,5

Med ovanstående resonemang som grund ligger R12 närmast till hands. R114 ger visserligen ett lägre kondensortryck men kräver å andra sidan ett större volymflöde än R12 på grund av lägre volymetrisk köldalstring.

Detta medför att bl a kompressorn får göras större än för R12. Dessutom medför undertryck i förångaren vissa konstruktiva svårigheter.

Av reglertekniska skäl kan det, vid akviferlager-systemet, vara intressant att använda sig av kaskad-kopplade aggregat. I en sådan applikation kommer troligtvis R22 till användning i lågtemperatursteget och R114 i högtemperatursteget. R22 ger större volymetrisk köldalstring än R12 varför storleken på aggregatet kan reduceras. R22 har dessutom något bättre värmeöverföringsegenskaper än R12.

I denna utredning har det inte funnits utrymme för en optimering av anläggningarna. I de energi-och kostnadsberäkningar som genomförts i senare kapitel har förutsättningslöst antagits att köldmedium R12 kommer till användning, d v s att kaskadkoppling ej förekommer för akviferlagersystemet.

För värmepumpen med passivt grundvattenutnyttjande kan köldmediet R 500 vara intressant, eftersom anläggningen endast tar en mindre del av värmelasten och kravet på hög utgående värmebärartemperatur därmed ej är nödvändigt. Dock får man räkna med att aggregatet får reducerad uteffekt under de kallaste dagarna av året då returvattentemperaturen överstiger 60°C. Varaktigheten för dessa höga returvattentemperaturer är låg och inverkan på det ekonomiska utfallet torde vara försumbar.

Köldmediet R12 och R500 tillhör den lägsta riskklassen, grupp 1. Säkerhetsutrustningen finns specificerad i Svensk Kylvnorm, tryckkärl skall uppfylla Tryckkärls-normer osv. Anläggningen skall dessutom besiktigas av Statens Anläggningsprovning.

5.3.3 Förångarkonstruktioner

Många olika förångartyper är tänkbara för värmepumpar med grundvatten/åvatten som värmekälla. De krav som förångarkonstruktionen bör kunna uppfylla är bl a följande.

- o Den skall kunna tillverkas i ett material som tål den aktuella vattenkvaliteten.
- o Den skall kunna klara låg utgående temperatur på köldbäraren (i första hand grundvattnet) så att akviferlagrets lagringskapacitet utnyttjas maximalt.
- o Den skall kunna arbeta med åvatten sommartid utan problem med igensättning och påväxt.

En konventionell tubpanneförångare med köldbäraren utanpå tuberna och köldmediet inuti, klarar de två första kraven men är ej lämpad för mekanisk rengöring, varför man kan befara problem med åvattnet sommartid. Om förångaren placeras på akviferlagersidan och den

värmeväxlare som utnyttjas för laddning av lagret dimensioneras för både laddning av akviferlagret och sommarlast för värmepumpanläggningen får man ett betydligt bättre vatten att arbeta med. Nackdelen med denna koppling är att man genom värmeväxlingen "tappar" ett par grader, vilket ger sämre värmefaktor och därmed även något högre driftkostnader sommartid. Dessutom innebär den utökade värmeväxlarytan högre anläggningskostnad.

En horisontell tubpanneförångare med grundvatten/åvattnet inuti tuberna och köldmediet utanpå, kan levereras i ett flertal olika materialkvaliteter och kan förses med löstagbara gavlar för inspektion och manuell rengöring. Denna förångarkonstruktion ger emellertid ett sämre utnyttjande av akviferlagret då begränsningen på utgående köldbärartemperatur ligger på +3,5 till +4,0°C mot ca +2°C för den tidigare nämnda konstruktionen.

Flera olika typer av lågtemperaturförångare förekommer på marknaden. Strilförångare, vertikal tubpanneförångare och plattförångare är exempel på några. Gemensamt för alla är att de klarar stora vattenflöden och att en eventuell ispåfrysning inte skadar konstruktionen. Dessa förångare ställer sig emellertid betydligt dyrare än en konventionell tubpanneförångare, är mer utrymmeskrävande och ställer större krav på värmepumpens reglersystem.

För de fortsatta energi- och kostnadsberäkningarna har för bägge systemen antagits att värmepumpens förångare utgörs av en konventionell tubpanneförångare med köldbäraren utanpå och köldmediet inuti tuberna. För akviferlagersystemet föreslås dessutom att anslutning sker på akviferlagersidan så att värmepumparna arbetar med grundvatten året runt. Vid vinterdriftfallet, d v s med akviferlagret som värme-källa, kan returvattnet till akviferlagret därmed hållas konstant vid +2°C så att lagervolymen kan utnyttjas maximalt.

5.3.4 Förslag till värmepumpanläggning

Akviferlagersystem

Som framgått av avsnitten ovan föreslås anläggningen uppbyggd av två eller tre skruvkompressoraggregat med köldmediet R12 och standard tubpanneförångare med köldbäraren utanpå och köldmediet inuti tuberna. För att klara erforderlig framledningstemperatur sommartid föreslås att anläggningen arbetar i serie med den befintliga elpannan på 8 MW. Elpannan kan därvid även svara för effektreglering och värmepumparna får gå med konstant effekt.

Om värmepumparna dimensioneras för att lämna totalt 5 MW nominell värmeeffekt, d v s ca 3x1,7 MW, kan

anläggningen i stort sett klara hela sommareffektbehovet i fjärrvärmenätet, förutom det tillskott som

erfordras från elpannan för att klara 75°C framledningstemperatur. Storleken på värmepumparna ger därmed även ett maximalt utnyttjande av akviferlagret.

En effektmässigt mindre anläggning ger visserligen längre utnyttjningstid, men den ökade besparingen sommartid har bedömts motivera merinvestering i något större aggregat.

Om man ej lyckas uppnå målet med max 75°C framledningstemperatur sommartid begränsas utmatad effekt från värmepumparna, varför anläggningens storlek och eventuella uppbyggnad bör omprövas.

Systemets totala värmefaktor blir större om aggregaten kopplas i serie på såväl köldbärar- som värmebärarsida. Av praktiska skäl kan emellertid inte hur stora vattenflöden som helst passera förångare och kondensor. Om man kalkylerar med måttliga tryckfall och utnyttjar standardkomponenter ger maxflödet genom kondensor och förångare ca 3°C temperaturhöjning respektive sänkning av flödet. Då flödet är lägre i fjärrvärmesystemet eller i akviferlagersystemet erhålls en viss kortslutningseffekt i förångare och kondensorkrets hos varje aggregat.

Figur 5.2 visar ett principiellt flödesschema för anläggningen.

För värmepumpanläggningen uppförs en ny byggnad i kv Södra Vakten strax SV om den befintliga hetvattencentralen. Byggnaden sektioneras med ett aggregat per utrymme. Anslutning till fjärrvärmensätets returledning görs vid hetvattencentralen så att så gott som hela fjärrvärmevattenflödet kan disponeras. Anslutande kulvertdimension DN 300. Principlayout framgår av figur 5.3.

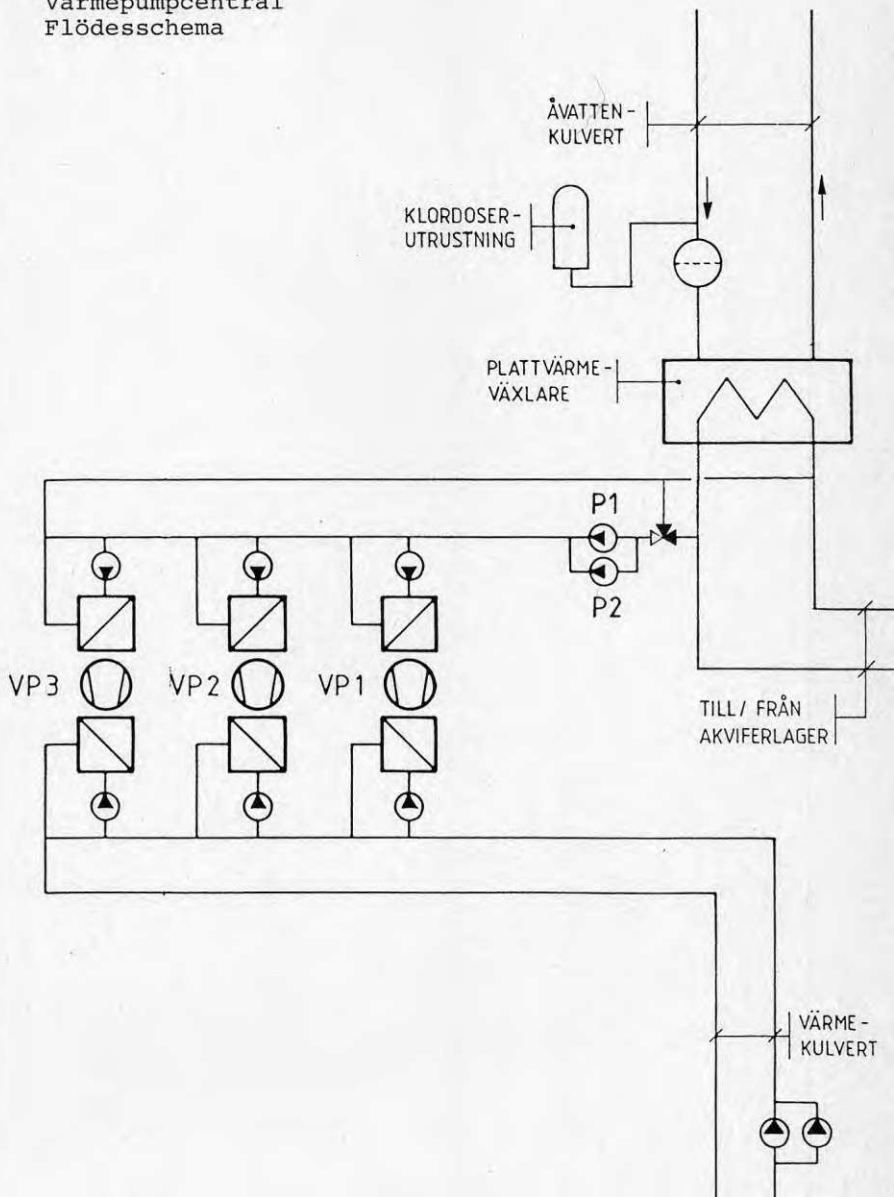
Vidare förutsätts att anslutning kan ske i ställverksfack vid elpannan. Eventuellt erfordras transformering till 0,4 kV innan anslutning kan ske i värmepumpaggregatens motorskåp.

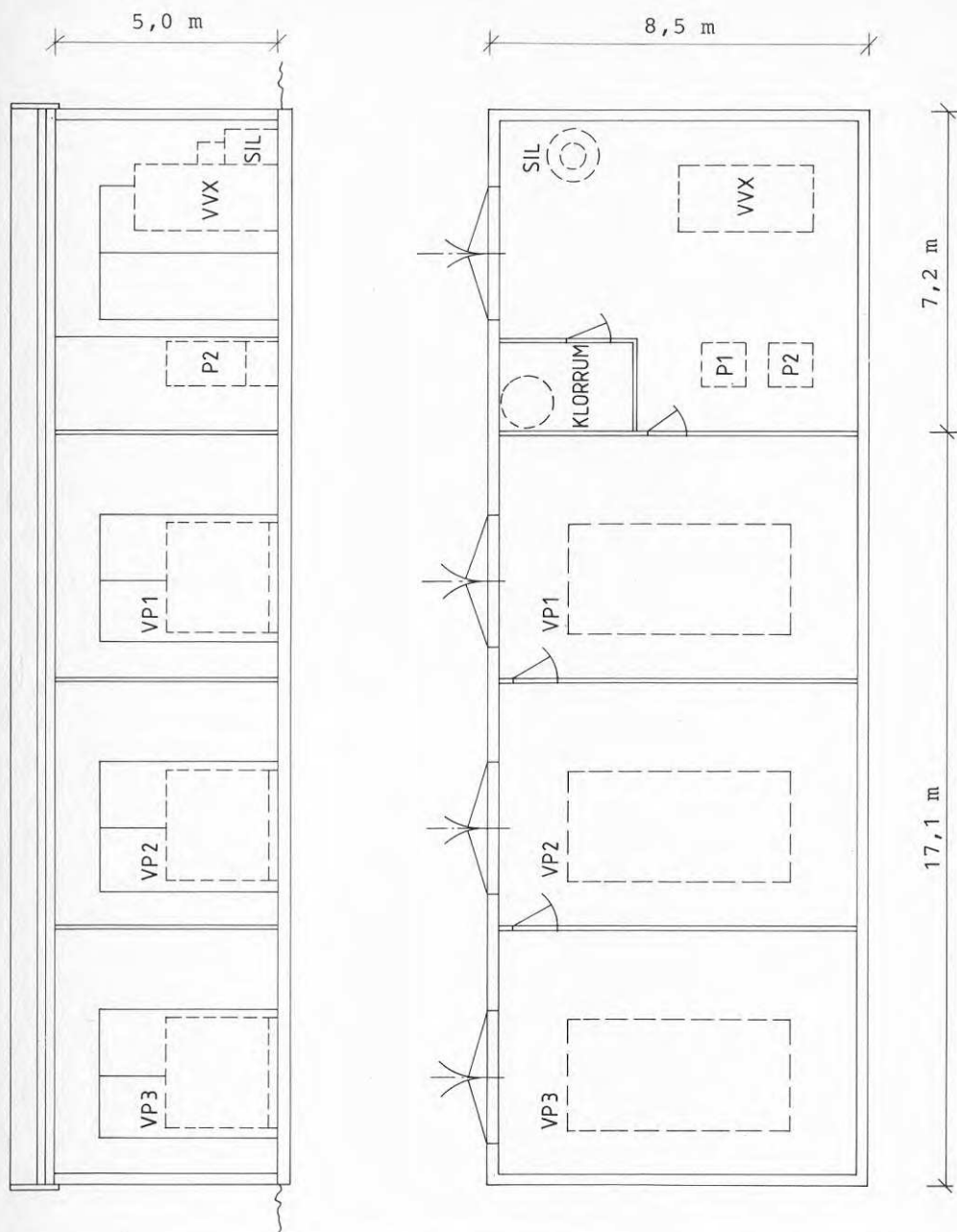
Värmeförluster från värmepumparnas elmotorer, oljesystem o d kan kylas internt i aggregaten genom direktexpansion av ett delflöde från kondensatorerna.

Aggregaten är relativt ljudliga och man bör räkna med ca 95-100 dB(A) per aggregat. Ljudet är mätt i fritt fält. Ljuddämpning utförs med ljudisoleringskåpa över hela aggregatet med inspektionslucka för övervakning eller enbart över delar av aggregatet. Eftersom aggregaten föreslås placeras i egen byggnad, utförs denna så att normer enligt Statens Naturvårdsverk, "Riktlinjer för externt industribuller" uppfylls.

Anläggningen kommer att innehålla totalt ca 2 ton köldmedium R12, d v s ca 700 kg per aggregat. Enligt Kylvnormen skall därvid aggregaten uppställas i brandsäkert och brandhärdigt maskinrum, som skall vara

Figur 5.2

Värmepumpcentral
Flödesschema



Figur 5.3
Värmepumpcentral
Plan och sektion

utrustat med anordning för katastrofventilation (fläkt eller dörrar som lätt kan öppnas till det fria).

Passivt grundvattenutnyttjande

Som framgått ovan föreslås värmepumpanläggningen för passivt grundvattenutnyttjande uppbyggas av ett skruvkompressoraggregat eller två kolvkompressoraggregat med köldmediet R12 eller R500 och konventionella tubpanneförångare med kölbäraren utanpå tuberna. Med hänsyn till tillgängligt uttagsflöde från grundvattentäkten, ca 20 l/s, bedöms ett aggregat med knappt 480 kW nominell värmeeffekt vara en lämplig storlek.

Värmepumpanläggningen uppförs i anslutning till värmeverket i en ny byggnad i kv Södra Vakten. Anslutning till fjärrvärmenätet görs vid hetvattentralen så att stora delar av fjärrvärmevattenflödet kan disponeras. Anslutande kulverdimension DN 150.

Elanslutning förutsätts kunna ske till ställverk för elpanna men transformering till 0,4 kV kan vara nödvändig.

I övrigt gäller vad som är sagt ovan för akviferlagarsystem.

5.4 Värmeväxlarcentral

För värmeväxling av Svartåvatten och grundvatten uppförs en värmeväxlarcentral i anslutning till värmepumpcentralen eller pumpstationen beroende på lokalisering av akviferlagret.

Värmeväxlarcentralen föreslås uppbyggd av en plattvärmeväxlare i rostfritt stål som är lättillgänglig för inspektion och manuell rengöring. Värmeväxlaren skall dimensioneras för att klara hela värmepumpens kyleffekt samt laddeffekt för akviferlagret. Vid dimensioneringen bör hänsyn tas till försmutsning av värmeväxlarytorna, vilket avsevärt kan reducera värmeövergångstalen.

För att förhindra att värmeväxlaren sätter igen med föroreningar som passerat grovsilningen vid pumpstationen anläggs en trycksil innan ytvattnet når plattvärmeväxlaren. Trycksilen föreslås självrensande för att reducera underhållet av centralen.

För att motverka problem med avlagringar och mikrobiologisk påväxt på de värmeöverförande ytorna bör man överväga att genomföra en intermittert dosering av exempelvis kloreringsmedel.

Förutom ovanstående komponenter inrymmer värmeväxlarcentralen två huvudcirkulationspumpar för värmepumpkretsen. En av dessa är kontinuerligt i drift medan den andra går in automatiskt vid ett eventuellt pump haveri.

Värmeväxlarcentralen och dess ingående delar finns tidigare redovisade i principiayout figur 5.3 och i flödesschema figur 5.2.

6.1 Värmekällan

Värmekälla till värmepumpen kommer att utgöras av Svartån, antingen direkt eller via lagret. Temperaturen kommer därför att variera med Svartåtemperaturen, redovisad i avsnitt 2.7. Eftersom värmeövergången vid värmeväxlingen ej är fullständig kommer man här att "tappa" ett par grader.

Vid värmelagring måste dessutom alltid en viss energiförlust påräknas. Denna beror på värmeläckage till omgivande kallare jord och till markytan. Skillnaden mellan den ostörda temperaturen före lagring och den temperatur som uppnås i marken vid värmelagring överstiger i detta fall sällan ca 10°. Ledningsförlusterna blir därför också relativt små. Förlust genom utströmning av vatten ur lagret förhindras, som tidigare nämnts, genom pumpning.

Under den första tiden efter det att värmelagringen påbörjats fås extra värmeförluster, insvängningsförluster innan omgivande jordlager värmts upp. Efterhand byggs en värmekudde upp, på vilken lagret vilar. Förlusterna nedåt efter insvängning blir därför försumbara. Leijermark, Jivmark (1981) visar att värmelidningsförlusterna åt sidorna efter insvängningsförluster också är försumbara. Vidare beräknar de överlagsmässigt den årliga energiförlusten från magasinets ovanyta till 7 %. De har då förutsatt en lagermäktighet på 10 m och ett isolerande siltskikt på 5 m.

Lagrets utformning gör att det vatten som lagrades in sist, vid urladdningen kommer att tas ut först. Temperaturen på det vatten som tas ut kommer likaså att motsvara den temperatur med vilket lagret laddades de sista dagarna. I slutet på uttagsperioden fås den temperatur tillbaka (minus förluster) med vilken lagret laddades våren innan. Lagringstiden kommer alltså att variera från någon vecka till nästan ett år. Förlusterna kommer således att variera beroende på inlagringstemperatur, lagringstid och utetemperatur under lagringsperioden.

För att kompensera för värmekällans varierande temperatur varierar uttagsflödet. På så sätt hålls avgiven effekt konstant under i stort sett hela uttagsperioden. För att detta ej ska äventyra flödesfördelningen i värmepumparnas förångare måste ett delflöde av utgående grundvatten återcirkuleras vissa delar av året. Denna återcirkulation av nedkyllt vatten (+2°C) innebär att temperaturen på inkommande grundvatten kommer att vara relativt konstant, så länge som lager-temperaturen överstiger +7,5°C. Under den period av året då värmepumpen utnyttjar Svartån som direkt värmekälla kommer emellertid temperaturerna att variera. Den totala uttagna energin beräknas med den ovan angivna energiförlusten på 7 %.

6.2 Värmepumpanläggningen

Nedan redovisas den beräkningsmetodik som använts för att göra en bedömning av det energibidrag som de olika anläggningarna skulle kunna lämna till fjärrvärmenätet.

Värmepumparnas avgivna värmeeffekt varierar med såväl förångnings- som kondenseringstemperaturen om kompressorvarvtalet förutsätts konstant. Kapaciteten hos en värmepump ökar således med höjd förångningstemperatur eller sänkt kondenseringstemperatur. Storleken på kapacitetsförändringen beror bl a på faktorer som köldmediets köldalstring vid det aktuella driftfallet, kompressorns tryck-volympkaraktistik samt köld- och värmebärrarflödet genom förångare och kondensor. Skruvkompressorer är till skillnad från turbokompressorer relativt okänsliga för förändringar i arbetstryck, varför vi här har bortsett från dess inverkan och endast genom att studera förändringar av köldmediets köldalstring uppskattat anläggningens prestanda för andra driftfall än det dimensionerande.

Vid beräkningarna har värmefaktorns variation beräknats som 60 % av Carnotvärmefaktorn för de aktuella driftfallen.

Som dimensionerande förutsättningar har nedanstående data antagits:

Akviferlagarsystem

- o Temperaturen på köldbäraren, d v s grundvattnet, sänks från 7,5°C till 2°C i tre steg. Varje förångarkrets har då tillgång till ett flöde av 90 l/s. Det totala cirkulerande köldbärrarflödet är 150 l/s.
- o Temperaturen på värmebäraren, d v s fjärrvärmewattnet, höjs i tre steg från 49°C till 57°C. Varje kondensorkrets har då tillgång till ett flöde av 130 l/s och det totala fjärrvärmewattenflödet är 145 l/s (1985).

Dimensionen på anslutande värmekulvert har genom en översiktlig optimering beräknats till DN 300. Hela fjärrvärmewattenflödet kan då disponeras ned till ca -8°C utetemperatur eller under ca 8 000 h per år. Under vissa tider på året (sommartid) är det totala fjärrvärmewattenflödet mindre än vad som cirkuleras genom värmepumparnas kondensorer. Detta förhållande höjer kondenseringstemperaturen och innebär därför en förlust som måste accepteras, eftersom ett alltför lågt flöde i kondensorererna skulle äventyra flödesfördelningen och drastiskt försämma värmeöverföringstalen.

På grundvattensidan förutsätts att ett flöde av 150 l/s disponeras under hela sommarhalvåret då värmepumpanläggningen arbetar med direkt värmeväxling mot

Svartån. Vid drift mot akviferlagret har som tidigare nämnts två olika lagerstorlekar studerats. För det större lagret (alt 3) har maximalt uttagsflöde bestämts till 150 l/s, för de mindre (alt 1, 2) 90 l/s. Dessa flödesbegränsningar medför att uttagbar effekt ur akviferlagret begränsas under höst och vår då temperaturen på det uppfordrade grundvattnet är låg. I bilaga 6.1 visas en schematisk bild av hur avgiven värmeeffekt från värmepumpanläggningen kan förutses variera över året för den mindre lagervolymen. För det större lagret kommer anläggningen att gå med konstant effekt hela året.

Värmepumpanläggningen förutsätts gå som baslastanläggning, eftersom den sannolikt har de lägsta rörliga driftkostnaderna.

Passivt grundvattenutnyttjande

- o Temperaturen på köldbäraren, d v s grundvattnet, sänks från +6°C till +2°C. Flödet uppgår till 20 l/s.
- o Temperaturen på värmebäraren, d v s fjärrvärmevattnet, höjs från 49°C till 52°C. Flödet uppgår till 38 l/s.

Dimensionen på anslutande värmekulvert har beräknats till DN 150. Flödet genom värmepumpens kondensator är därmed lägre än det totala fjärrvärmevattenflödet under hela året. På grundvattensidan har antagits att ett konstant flöde av 20 l/s med +6°C temperatur kan utnyttjas kontinuerligt.

6.3 Beräkningsresultat

Prestandaberäkningar har med ovanstående förutsättningar genomförts vid olika utetemperaturer och vid olika tidpunkter under ett normalår. Beräkningarna omfattar såväl kyl- som värmeeffekt, värmefaktor samt temperaturförändring hos grundvatten och fjärrvärmevatten. Genom att integrera värmepumpens avgivna effekt och elkraftbehov över aktuella drifttider erhålls avgiven värmeenergi och elenergibehov. Resultaten har därefter lagts in i ett varaktighetsdiagram för värmelasten.

Naturligtvis kan man inte räkna med 100 %-ig tillgänglighet för anläggningen utan vissa avbrott av "inre anledningar" såsom service och översyn, rengöring av plattvärmväxlare och silustrustning etc samt av "yttre anledningar" som elbrist, extremt låga ytvattentemperaturer, driftstörningar i fjärrvärmenätet etc måste räknas in. Antas energitillgängligheten för akviferlagersystemet till 95 % av teoretiskt möjligt energibidrag till fjärrvärmesystemet erhålls nedanstående sammanställning för de bägge akviferlagerstorlekarna.

Akviferlagerstorlek	"Liten"	"Stor"
Levererad värmeenergi, GWh	36,2	41,6
Drivenergi till värmepumpar, GWh	11,7	13,4
Övrig el, GWh	1,3	1,4
Total årsmedelvärmefaktor	2,78	2,81

För det passiva grundvattenutnyttjandet har kalkylerats med 90 % energitillgänglighet vid ett värmepumpaggregat.

Passivt grundvattenutnyttjande

Levererad värmeenergi, GWh	3,80
Drivenergi till värmepumpar, GWh	1,17
Övrig el, GWh	0,12
Total årsmedelvärmefaktor	2,95

Resultaten finns även redovisade i varaktighetsdiagram för värmelasten, i bilaga 6.2 och bilaga 6.3 för akviferlagerssystemet och i bilaga 6.4 för passivt grundvattenutnyttjande, där värmepump, flispanna samt el- och oljepannornas täckningsgrad framgår.

Ovanstående sammanställningar redovisar generellt hur stor del av fjärrvärmenätets totala värmebehov som skulle kunna täckas. För de speciella förhållanden som föreligger i Tranås med en befintlig flispanna och planer på ytterligare en, är följande kombinationer av produktionsanläggningar tänkbara.

Alternativ	Oljepannor	Flispannor	Elpanna	Värmepump
A	2x25 MW	18+12 MW	8 MW	-
B	3x25 MW	18 MW	8 MW	5 MW
C	3x25 MW	18 MW	8 MW	-

Flispannorna kan vid reservdrift med olja leverera 24 respektive 20 MW värme.

Ur varaktighetsdiagrammen för värmelasten i bilagorna 6.2 och 6.3 och antagen tillgänglighet för de olika produktionsenheterna erhålls följande produktion:

Produktionsenhet	Produktion i GWh/år			
	A	B (litet lager)	B (stort lager)	C
Oljepannor	12	9	18	32
Flispannor	100	66	62	80
Elpannor	13	4	3	13
Värmepump	-	36	42	-
Summa	125	125	125	125

Samtliga alternativ visar tydligt att oljeanvändningen kommer att reduceras om ytterligare en flispanna eller värmepumpanläggningen kommer till uppförande.

7 EKONOMISK UTVÄRDERING

7.1 Förutsättningar för kostnadsberäkningar

7.1.1 Anläggningskostnader

Kostnaderna är angivna i 1982 års kostnadsläge och utan moms och ränta under byggtiden.

Kostnaden för anläggandet av lagret är approximativ och kan anges bättre först då en noggrann hydraulisk analys av magasinet gjorts. Ökat antal erforderliga brunnar exempelvis, betyder längre ledningsdragning och högre kostnader. Rörgravarna är beräknade för teoretisk och därmed gynnsammaste sektion. För elanslutningen av brunnspumparna har antagits ett schablonbelopp.

Byggnadskostnaderna för värmepumpcentral och värmväxlarcentral förutsätter att en ny byggnad uppförs i kvarteret Södra Vakten. Inkluderat är samtlig utrustning i centralerna som rördragning, ventilation, interna cirkulationspumpar, el- och fjärrvärmeanslutning. I värmväxlarcentralen ingår även trycksil och utrustning för klordosering.

I kostnaden för värmepumpaggregatet ingår styr- och reglerutrustning, montage och intrimning samt elkraftförsörjning med transformering 10/0,4 kV.

På samtliga kostnader har gjorts ett påslag med 20 % för projektering, upphandling, administration och byggledning. Därefter har lagts ytterligare ett 20-procentigt påslag för oförutsett. För värmepumpen, som levereras komplett med montage och intrimning, är dock påslagen 5 resp 10 %.

7.1.2 Driftskostnader

Den årliga underhållskostnaden har beräknats som 0,5 % av totala anläggningskostnaden för rörledningar i mark samt byggnader. För övriga poster har antagits 2 %, dock ej för värmepumpen där underhållet beräknats som 10 kr/kW + 0,5 öre/kWh levererad värme. Anläggningen väntas kräva en halvtidssysselsatt maskinist, vilket ger en kostnad på 60 kkr/år.

Kostnaderna för el hänför sig främst till värmepumpens förbrukning, medan en mindre del är drivenergi för pumpar och allmän el. Elenergikostnaden har satts till ca 18 öre/kWh, vilket inkluderar fast och rörlig del samt nuvarande energiskatt.

7.1.3 Årskostnader

Årskostnaden består av driftskostnad och kapitalkostnad. Kapitalkostnaden har beräknats för en realränta på 6 %. Avskrivningstiden har valts med hänsyn till

utrustningens livslängd. Byggnader, el och signalkablar samt rörledningar i mark har avskrivits på 33 år, maskinell utrustning och övriga poster på 15 år. Med 33 års avskrivningstid blir annuiteten 7,0 %, med 15 år 10,3 %.

7.2 Kostnadssammanställning

I sammanställningen nedan redovisas den totala anläggningens kostnaden (kk) fördelad på olika poster.

	Passivt	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Ytvattenpumpstation				
Byggnad	-	400	400	400
Pumpar	-	70	70	80
Lager/uttag				
Brunnar	90	950	730	1380
Pumpar	20	110	130	170
Elanslutning	20	200	200	200
Signalkablar	300	400	520	470
Rörledningar	200	630	1700	780
Läggning av rör	620	1030	1660	1200
Järnvägsövergång	-	600	-	600
Värmeväxlarcentral				
Byggnad	-	*	240	*
Värmeväxlare och övr utrustning	-	1180	1180	1180
Värmepumpcentral				
Byggnad	150	680*	500	680*
Värmepump	550	4750	4750	4750
Övr utrustning, anslutn fjärrv	370	1180	1180	1180
	<u>2320</u>	<u>12180</u>	<u>13260</u>	<u>13070</u>
Projektering, upphandling, adm, byggledning	380	1720	1940	1900
Oförutsett	480	2280	2540	2500
TOTAL ANLÄGGNINGSKOSTNAD (kk)	<u><u>3200</u></u>	<u><u>16200</u></u>	<u><u>17800</u></u>	<u><u>17500</u></u>

*Värmeväxlaren inryms i samma byggnad som värmepumpen

Årskostnaden beräknas till (kkkr):

	Passivt	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Kapitalkostnad	270	1480	1580	1600
Drift o underhåll	120	430	440	480
El	<u>240</u>	<u>2340</u>	<u>2340</u>	<u>2660</u>
TOTAL ÅRSKOSTNAD	630	4250	4360	4740

Den totala årskostnaden ovan förutsätter nedan angivna värmeproduktion (GWh).

	Passivt	Alt 1	Alt 2	Alt 3
ENERGIBIDRAG	3,8	36,2	36,2	41,6

Den totala energiproduktionskostnaden blir då (öre/kWh):

	Passivt	Alt 1	Alt 2	Alt 3
ENERGIKOSTNAD (öre/kWh)	<u>16,6</u>	<u>11,7</u>	<u>12,0</u>	<u>11,4</u>

7.3 Utvärdering

En jämförelse mellan de olika lageralternativen visar att alternativ 3 som har störst lagervolym ger lägst energikostnad. Alternativ 3 har jämfört med alternativ 1 ett större antal brunnar per volymsenhet lager, vilket möjliggör en större relativ ändring av uttagsflödet. Merkostnaden för anläggandet av dessa brunnar vägs mer än upp av att värmepumpen året om ger maximal effekt.

Betydelsen av avståndet mellan lager och inkopplingspunkt på fjärrvärmenätet framgår om alternativ 1 och 2, som är lika stora, jämförs. Om överföringsledningen mellan lager och inkopplingspunkt ökar med 1 km blir merkostnaden drygt 1 miljon kr eller ungefär 0,3 öre/kWh. I Tranåsexemplet blir skillnaden ej så markant beroende på den extrakostnad järnvägspassagen medför i alternativ 1.

Ett passivt värmeuttag ger i Tranås ett betydligt högre energipris än lageralternativen. Avståndet är här helt avgörande för lönsamheten, rörledningar och signalkabel står för hälften av den totala anläggningskostnaden.

Kostnaden för 1 kWh från värmepumpen är lägre än den rörliga kostnaden för 1 kWh producerad i flispanna. För att bedöma värmepumpen - akviferlagrets lönsamhet måste dock hela värmeproduktionssystemet studeras.

En jämförelse mellan de olika utbyggnadsalternativ som presenterats i avsnitt 6.3 visar att alternativet med en ny flispanna (alt A) resp med ett värmelager (alt B) ger samma kostnad per levererad energienhet, 17,3 öre/kWh med i Tranås idag rådande bränslekostnader. Med rådande bränslekostnader avses även de elavgifter som för närvarande tillämpas för avkopplingsbara elpannor. En olje- och elprishöjning med 100 %, vilket ger en höjning av flispriset med ca 50 %, gör värmepumpsalternativet ca 2 % dyrare än alternativet med en ny flispanna. Alternativ C, med enbart en ny oljepanna, är vid bägge prislägena markant dyrare.

Vid en ren kostnadsjämförelse framstår flispannan och värmelagret som likvärdiga alternativ, trots värmelagrets betydligt lägre kostnad per levererad energienhet. En anledning till detta är att alternativet med en ytterligare flispanna ger en större oljeersättning än värmepumpalternativet. Flisens konkurrensmässighet måste också hänföras till den redan befintliga fliselldningsanläggningen. Investeringskosten för ytterligare en flispanna blir förhållandevis låg, eftersom till viss del befintlig lager- och hanteringsutrustning kan utnyttjas.

8.1 Utvärdering

Den i Tranås utförda geohydrologiska undersökningen tyder på att kommunen har goda förutsättningar att anlägga ett akvifervärmelager i Västra industriområdet. Lagret lämpar sig mycket väl som basproduktionsanläggning vid den förestående utbyggnaden av fjärrvärmenätet. Alternativet till ett värmelager, dvs ytterligare en flispanna, ger enligt de ekonomiska kalkylerna samma totala produktionskostnad.

De beräknade kostnaderna gäller specifikt Tranås, men ger även en god anvisning om det energipris som kan förväntas vid tillämpning av kombinerat grundytvattenutnyttjande på andra orter. Den rörliga kostnaden är förhållandevis låg, och lägsta pris för värmepumpens energiproduktion fås därför om värmepumpen går som basproduktionsanläggning med konstant, maximal effekt. Det framräknade energipriset visar dock att ekonomiskt utrymme finns att låta en större andel av ett fjärrvärmenäts totala effektbehov täckas av ett värmeförsörjningssystem av den beskrivna typen.

8.2 Fortsatt handläggning

8.2.1 Tidplan

Föreliggande studie tyder på att akvifervärmelagring kombinerat med direkt utnyttjande av ytvattenvärme är ett ekonomiskt mycket intressant energitillförselsätt. Ett värmelager med inlagringstemperaturer på under 20°C, bedöms ge marginell, om någon, inverkan på miljön och är således att betrakta som en mycket ren energikälla. Metoden skulle kunna få tillämpning i ett flertal orter. Det är därför angeläget att snarast belägga lönsamheten praktiskt så att denna energikälla beaktas vid utarbetandet av kommunala värmeplaner.

För att möjliggöra ett genomförande av projektet bör en ansökan om experimentbyggnadslån inlämnas till BFR. Första etappen i det fortsatta arbetet blir därefter en noggrannare hydraulisk analys av grundvattenmagasinet.

För att närmare kunna bestämma grundvattenmagasinets verkliga uppbyggnad och sammansättning samt dess hydrauliska egenskaper erfordras dels rörborrning med kontinuerlig provtagning av jordlagren i ett flertal punkter, dels provpumpning med magasinanalys. Undersökningsborrningarna bör placeras vid de planerade lägena för brunnarna, varvid underlag även erhålls för dimensionering av filterbrunnarna.

I ett första skede utförs undersökningsborrningar och en första uttagsbrunn som efter färdigställande

kan användas som provpumpningsbrunn vid bestämningen av grundvattenmagasinets hydrauliska egenskaper.

Efter en matematisk - hydraulisk utvärdering av provpumpningsresultaten erhålls slutgiltigt underlag för projektering och placering av erforderligt antal infiltrations- respektive uttagsbrunnar.

Sedan de geohydrologiska förutsättningarna helt klarlagts kan rörledningar och ytvattenpumpstation projekteras och anläggas, värmepump och värmeväxlare dimensioneras och installeras.

På ett tidigt stadium bör markägarförhållanden undersökas och den juridiska tillståndsprövningen förberedas.

En preliminär tidplan redovisas i figur 8.1. Om beslutet att fortsätta projektet tas under hösten 1982, kan anläggningen stå färdig för provdrift och intrimning 1984, för att med full effekt bidra till värmeförsörjningen 1985.

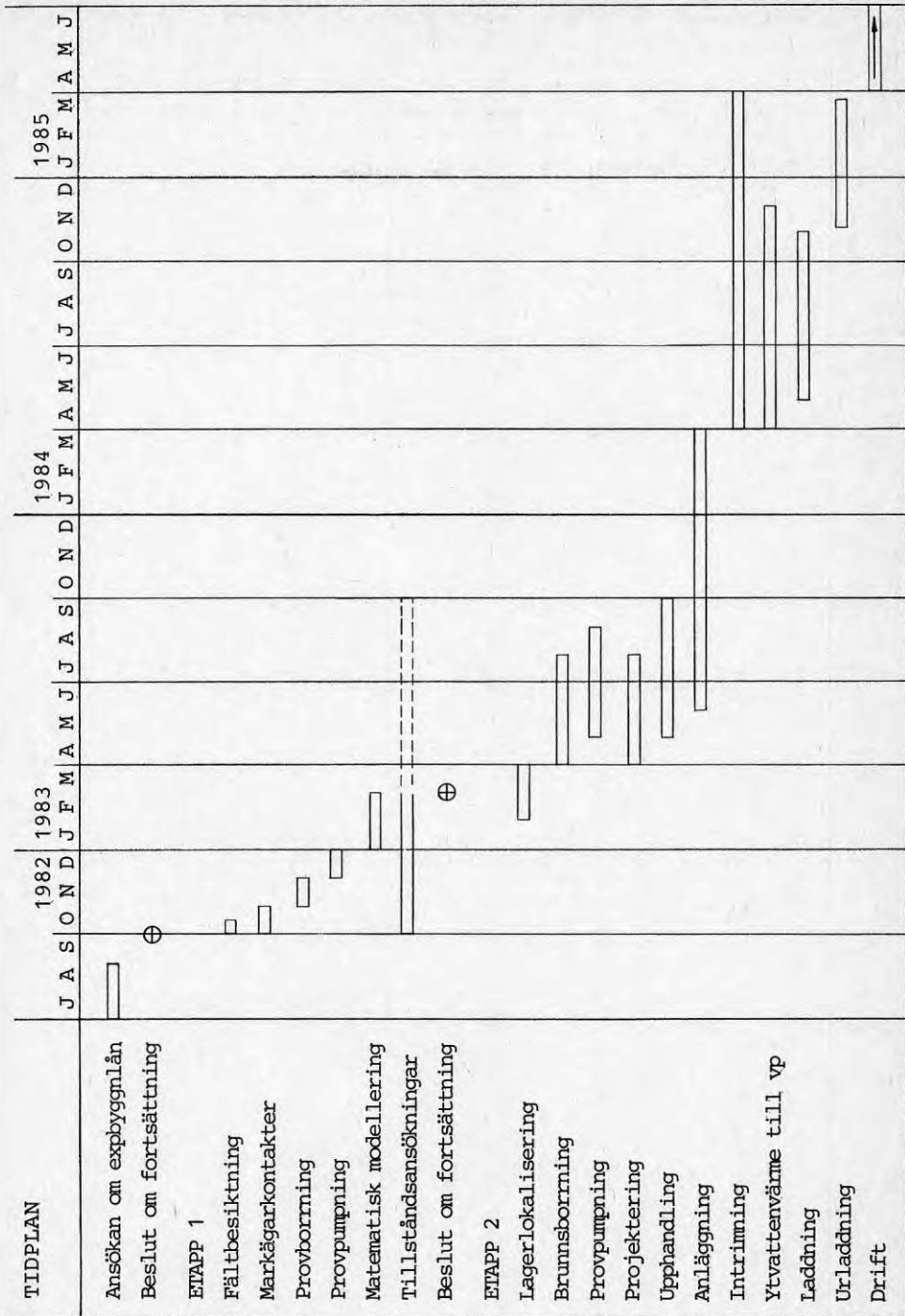
8.2.2 Juridiska förhållanden

Lagstiftning och tillståndsfrågor finns tidigare belysta av Lemmeke (1981). Eftersom anläggande av värmelager är en helt ny typ av verksamhet finns ingen erfarenhet från tillämpningen av gällande lagar. Den nya vattenlag som är på väg väntas avseende värmelagring ej medföra några ändringar jämfört med tidigare lag.

Ett värmelager medför infiltration och uttag av grundvatten samt byggande av intags- och utsläppsanordningar för ytvatten. Det klassas därför som ett vattenföretag för vilket tillstånd måste sökas enligt vattenlagen. Ett villkor för prövningen är att sökanden disponerar rätten till den mark där brunnarna skall anläggas.

Verksamheten, som innebär användning av mark på ett sätt som kan medföra störning på omgivningen, omfattas även av miljöskyddslagen. För värmelager större än 3 000 MWh gäller att anmälan ska ske till länsstyrelsen, men prövningsplikt föreligger ej. Tillstånd bör emellertid sökas så att villkoren för verksamheten fastställs, eftersom prövning annars kan begäras av annan part än huvudmannen.

För verksamhet som i väsentlig omfattning bedöms beröra hushållningen med energi eller landets samlade mark- och vattentillgångar gäller, enligt § 136a byggnadslagen, att regeringen ska pröva tillkomst och lokalisering. Huruvida värmelagring faller under denna paragraf bör klarläggas genom kontakt med bostadsdepartementet. Mot ett lokaliseringsbeslut av regeringen kan kommunen inlägga veto, medan Koncessionsnämnden för miljöskydd inte kan avstyra verksam-



Figur 8.1

Tidplan

heten utan enbart ställa villkor för densamma. Oberoende av eventuell regeringsprövning måste byggnadslov för tilltänkta anläggningar sökas.

För att underlätta prövningsförfarandet och vinna tid bör prövning enligt vattenlagen, byggnadslagen och, i det fall regeringen ej prövar ärendet, miljöskyddslagen ske parallellt.

LITTERATUR

Gustafson, Gunnar, 1982*. Energilagring i mark. Kemisk samverkan mellan lagringsmedium och grus. (Statens råd för byggnadsforskning.)

Gustafson, Gunnar, 1982*. Dimensionering och drift av cirkulationssystem med brunnar vid akviferlagring. (Statens råd för byggnadsforskning.)

Hydén, Hans, Lemmeke, Leif, 1980. Värmelagring i grundvatten, NE-projekt 2060591, (VBB.) Stockholm och Malmö.

Livmark, Jan, Lejermark, Göran, 1982. Värmelager i grundvatten för fjärrvärmenät i Tranås. Examensarbete, Institutionen för Jord- och Bergmekanik, KTH. (VBB.) Stockholm.

Lemmeke, Leif, 1981. Storskalig värmeförsörjning med värmepump, R126:1981. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm.

*rapporterna föreligger vid denna rapport's färdigställande ej i färdigt skick

Analys av grundvatten från kommunens vattentäkt vid
Oxtorget 1954-08-30

Färg, mg Pt/	123*/9**
Grumlighet	150*/20**
Luktstyrka (60 gr)	ingen
Bottensats efter 2 tim	ingen
Permanganatförbr mg/l KMnO_4	15,04
pH	7,2
Ammonium NH_4 mg/l	0,20
Hårdhet mg/l Ca	77,60
Hårdhet mg/l Mg	5,28
Total hårdhet, ber tyska grader	12,0
Järn, Fe mg/l	0,43
Mangan, Mn mg/l	0,85
Bikarbonat, HCO_3 mg/l	224,48
Klorid, Cl mg/l	23,76
Sulfat, SO_4 mg/l	26,40
Nitrat, NO_3 mg/l	2,48
Nitrit, NO_2 mg/l	0,02
Fosfat, PO_4 mg/l	0,70
Marmoraggressiv kolsyra, CO_2	13,20

* avser prov före luftning och filtrering

** avser prov efter luftning och filtrering

Källa: Förslag till vattenverk för Tranås stad,
VBB 1959.

Tranås kommuns VA-verk
 Box 4
 573 01 Tranås
 Tel. 0140-10612

PROTOKOLL RECIPIENTVATTENUNDERSÖKNING

Provets art: Recipientvatten
 Provtagningsplats: Svartån uppstr. Tranås tätort
 Provet märkt: 33
 Provet taget den: 1980.08.19 kl. 09.45
 Provtagare ; L.Å. Ogsäter

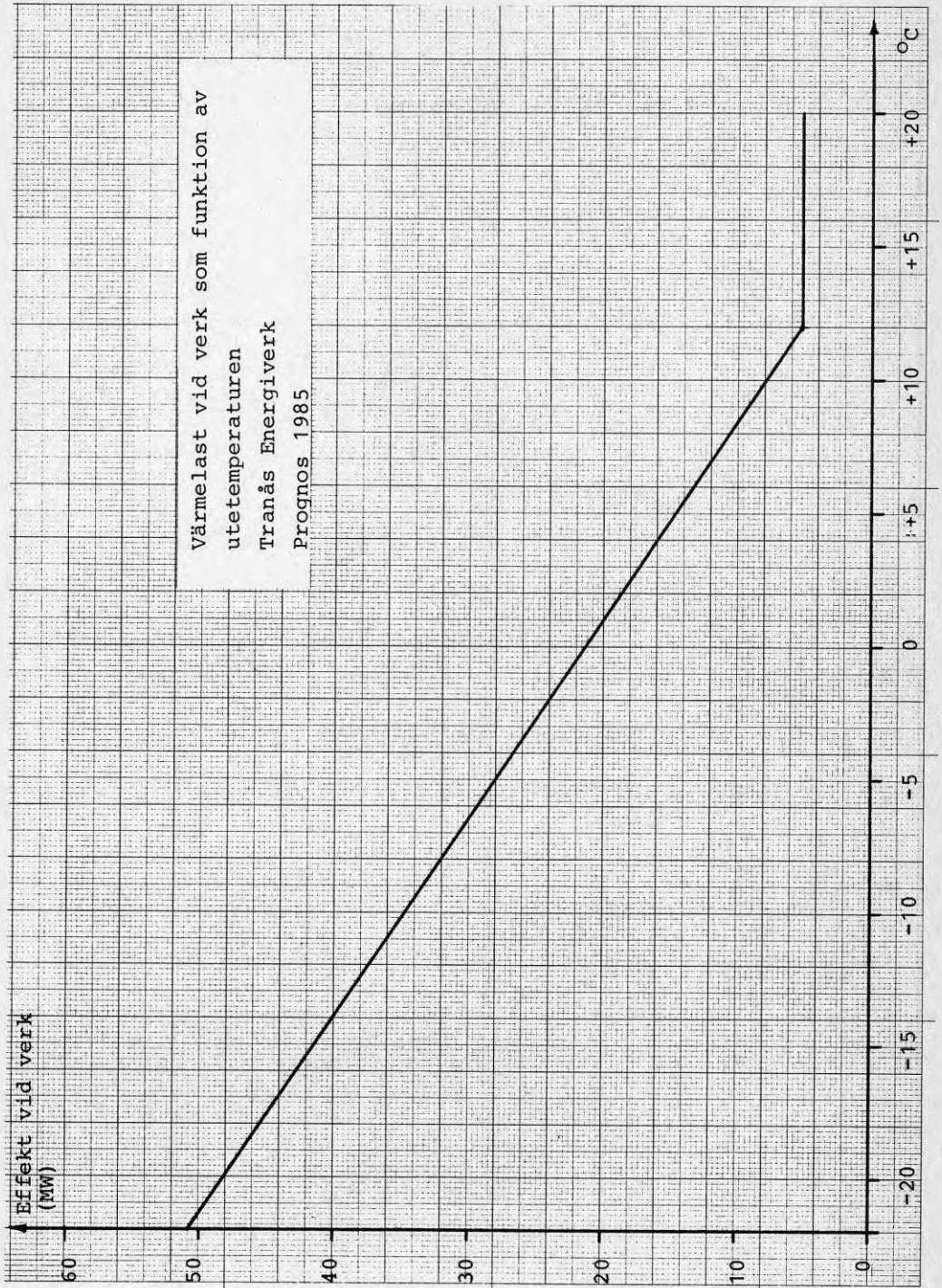
Fysikalisk - kemisk undersökning

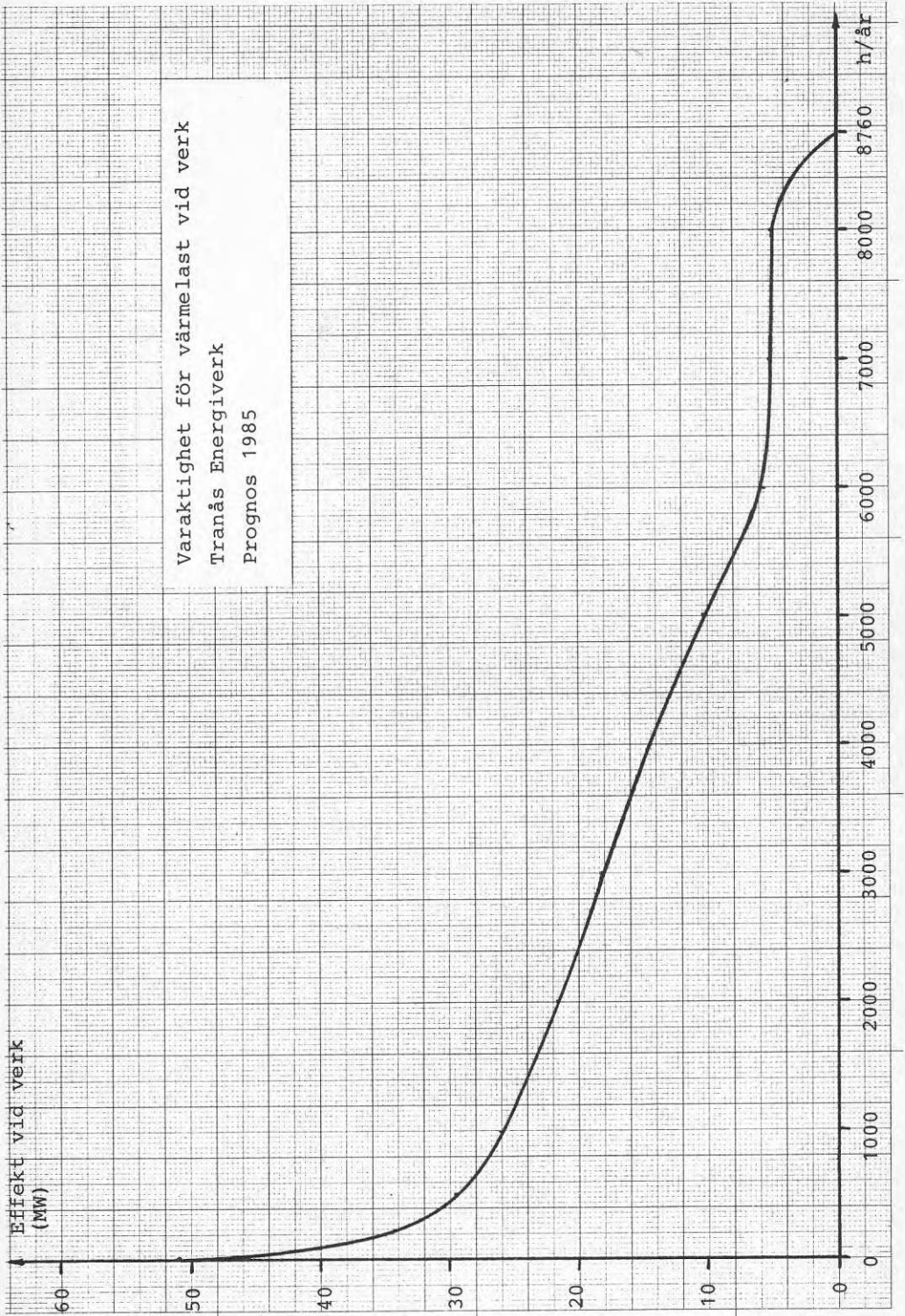
Temperatur vid provtagningen	C	18,5
Vattenföring	m ³ /sek	-
Siktdjup	m	-
Färg	mg/l Pt	70
Grumlighet	JTU	6,0
Konduktivitet	µS/cm	193
Suspenderande ämnen	mg/l	-
pH, pot		7,4
Syrgasmättnad	%	78,4
Syre	O ₂ mg/l	7,4
Alkalitet	HCO ₃ "	61
Permanganatförbrukning	KMnO ₄ "	35
Biokemisk syreförbrukning	BS ₇ "	2,7
Kemisk syreförbrukning.....	COO "	-
Totalfosfor	P "	0,051
Totalkväve	N "	0,57
Krom i sexvärdform	Cr "	-
Krom totalt	Cr "	-
Nickel	Ni "	-
Bly	Pb "	-
Zink	Zn "	-
Koppar	Cu "	-

Bakteriologisk undersökning

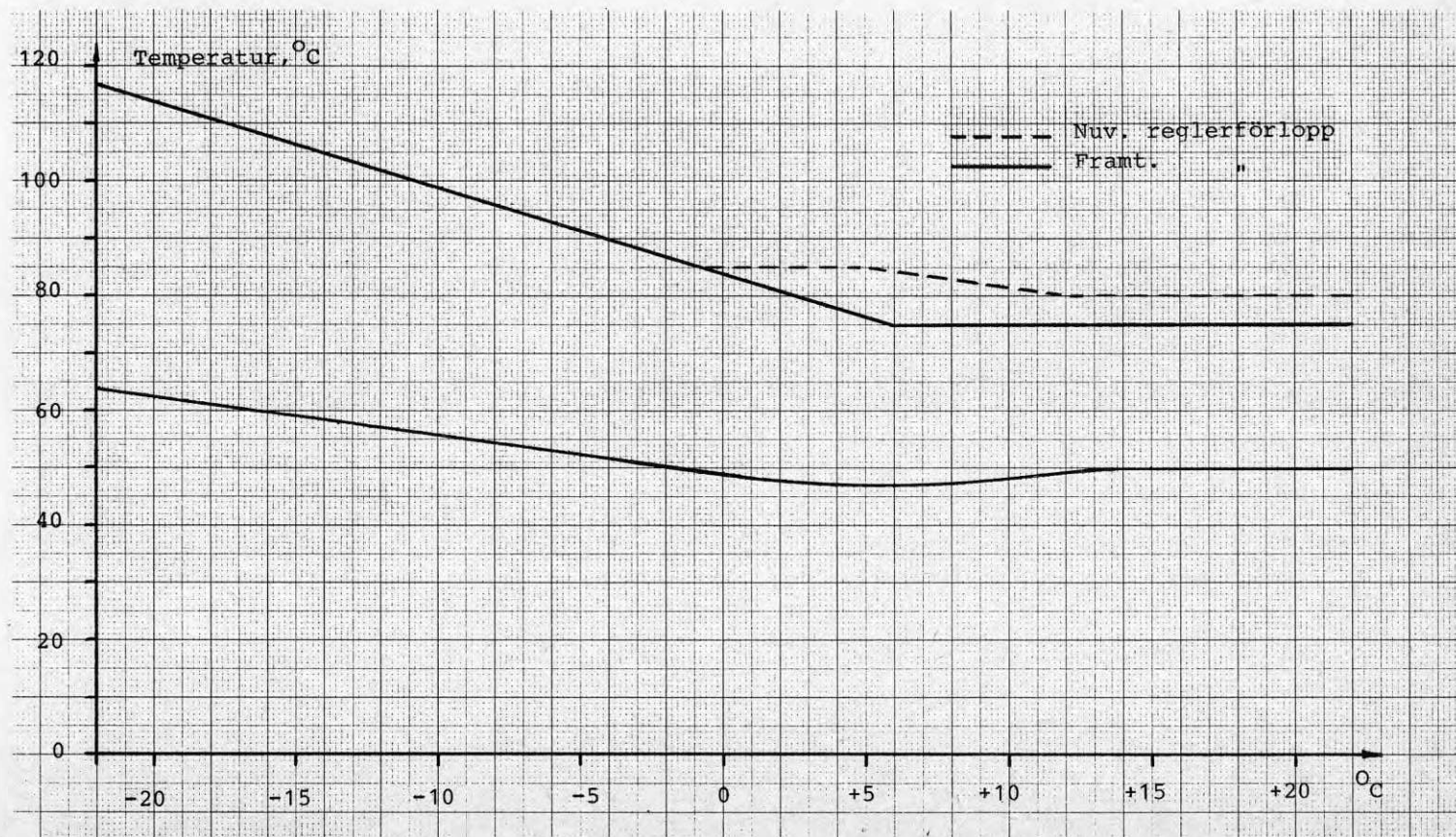
Totala antalet bakterier (22°C)	per ml.	1600
Totala antalet coliforma bakt. (35°C)	per 100 ml.	79
Antalet termosta. coliforma bakt. (44°C) ..	per 100 ml.	34

L.Å. Ogsäter



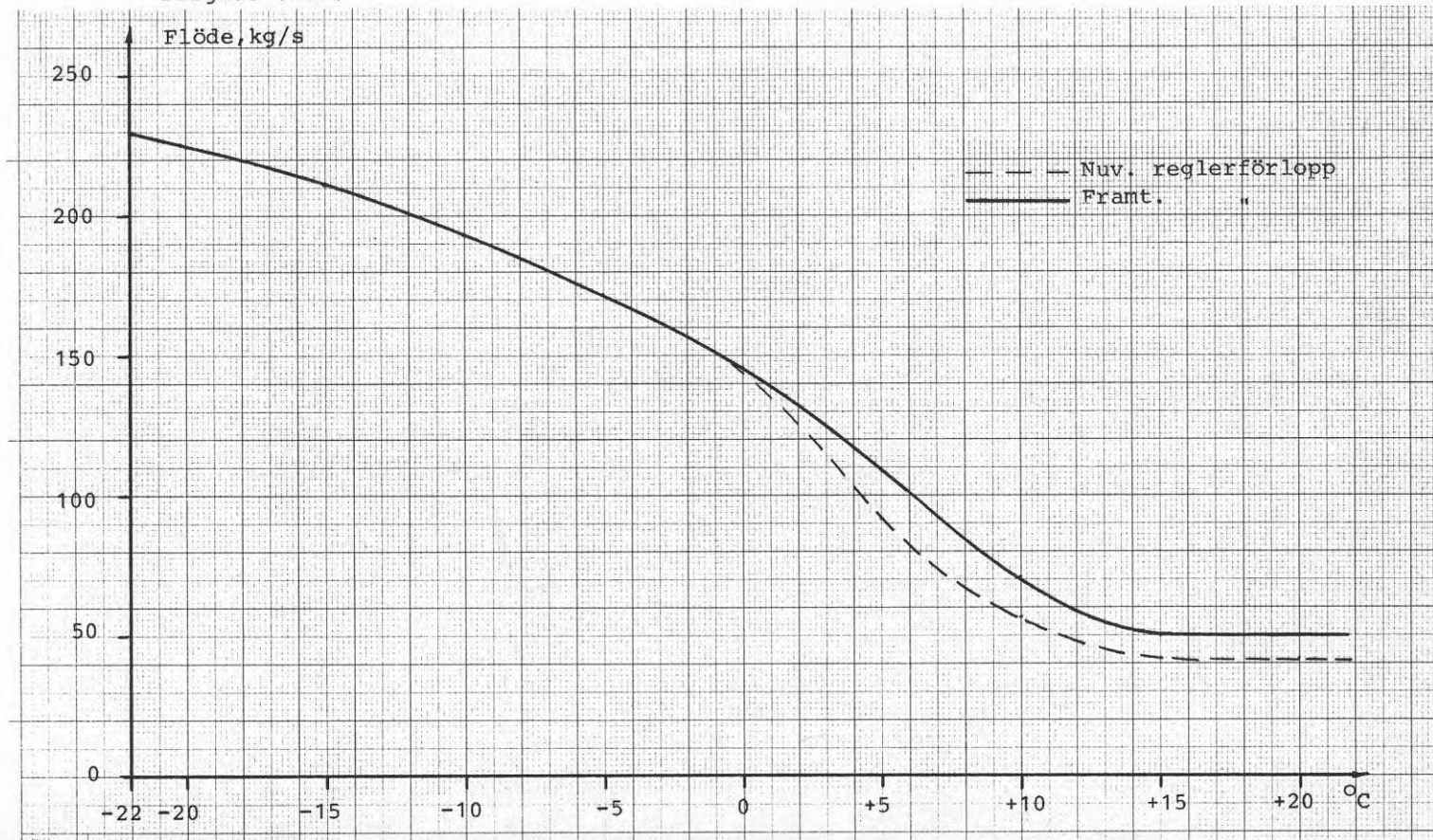


Fram- och returvattentemperaturer i fjärrvärmenätet
som funktion av utetemperaturen.



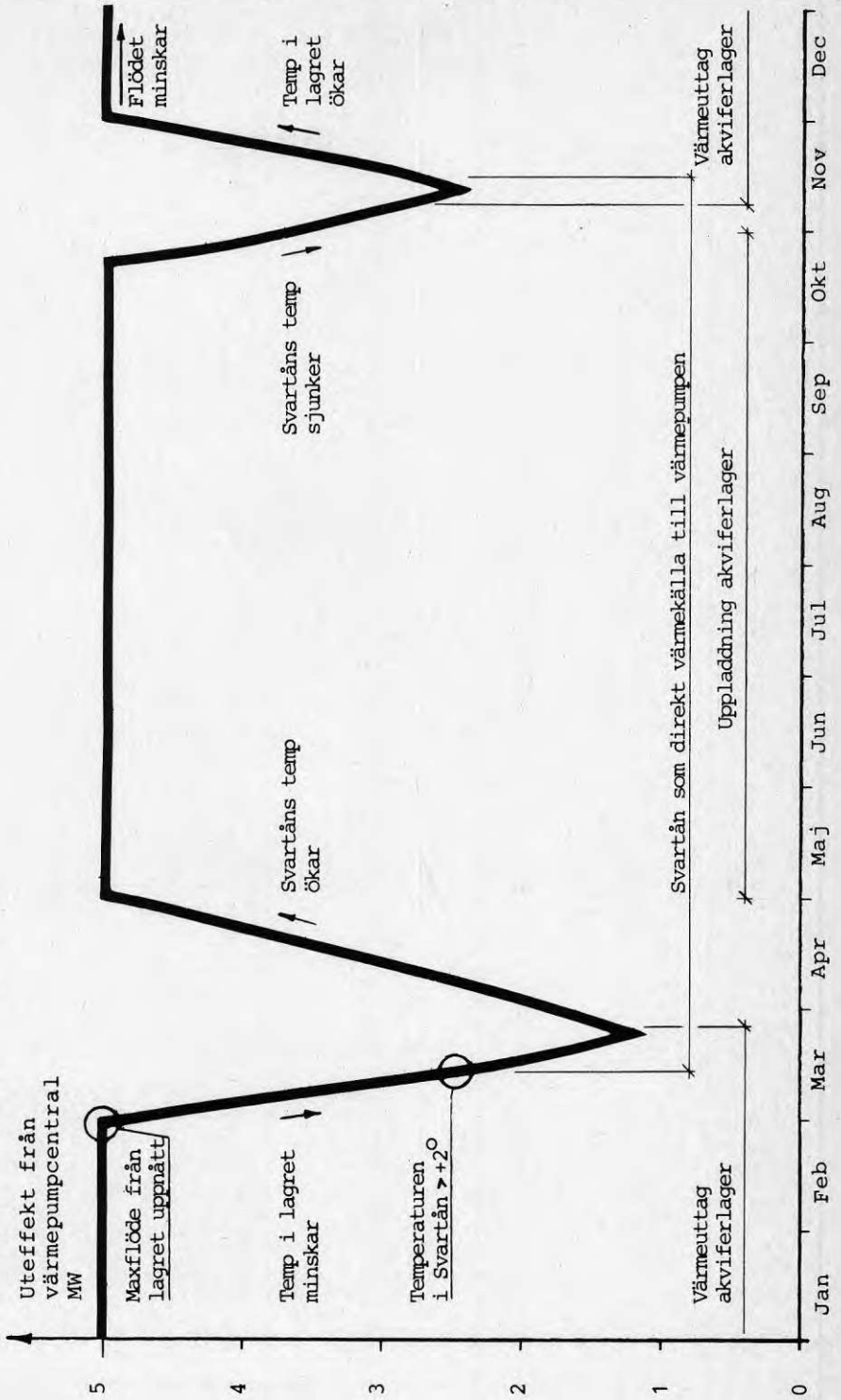
Fjärrvärmevattenflödet vid hetvattencentralen
som funktion av utetemperaturen.

Prognos 1985.



Samkörning av akviferlager och ytvatten till värmepumpanläggning

Schematisk beskrivning
Liten lagervolym



Effekt vid verk
(MW)

Värmelast - täckning
Litet lager (alternativ 1,2)

Förutsättningar

Energitillgänglighet

utom revisionstid:

-Flispannor 85%

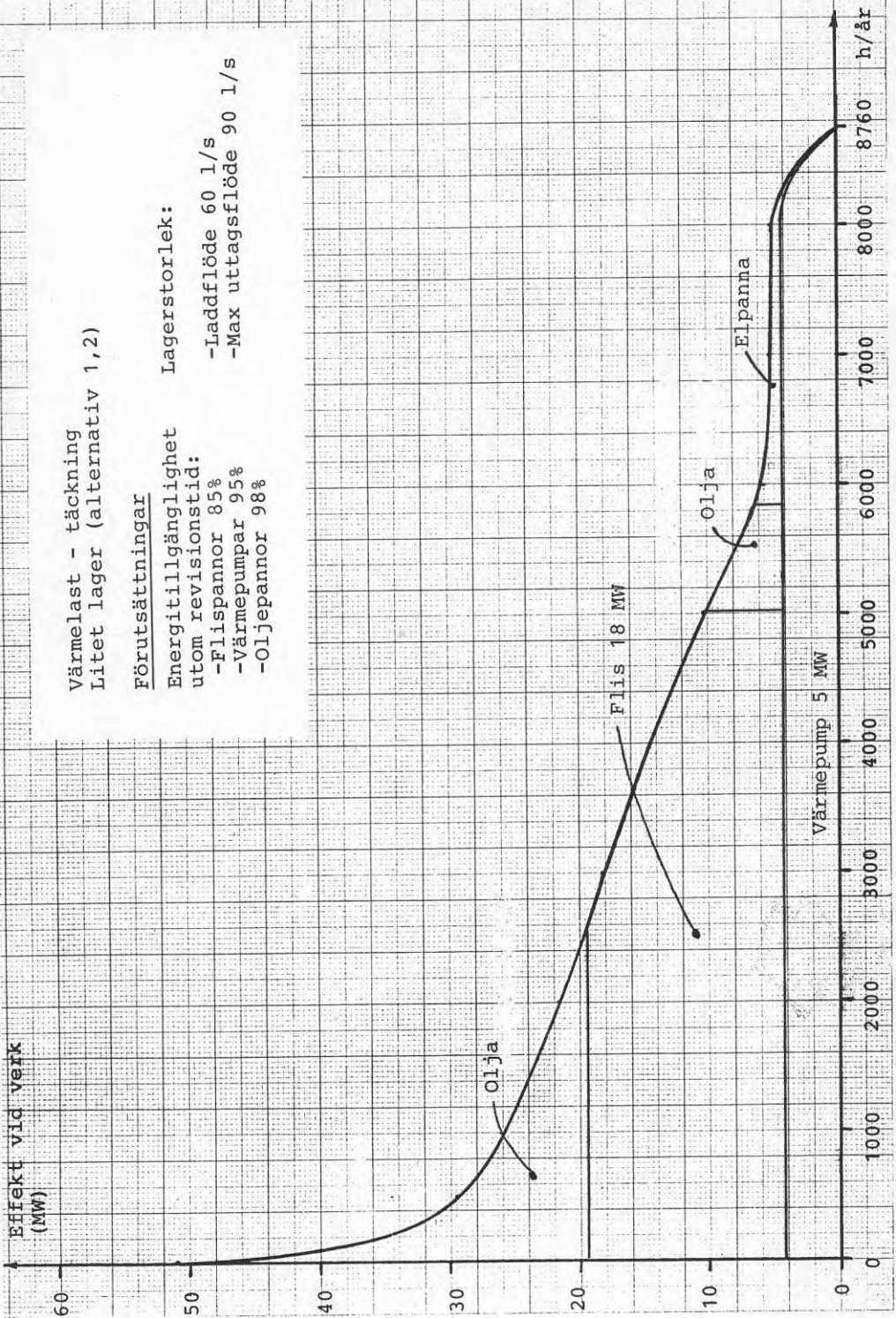
-Värmepumpar 95%

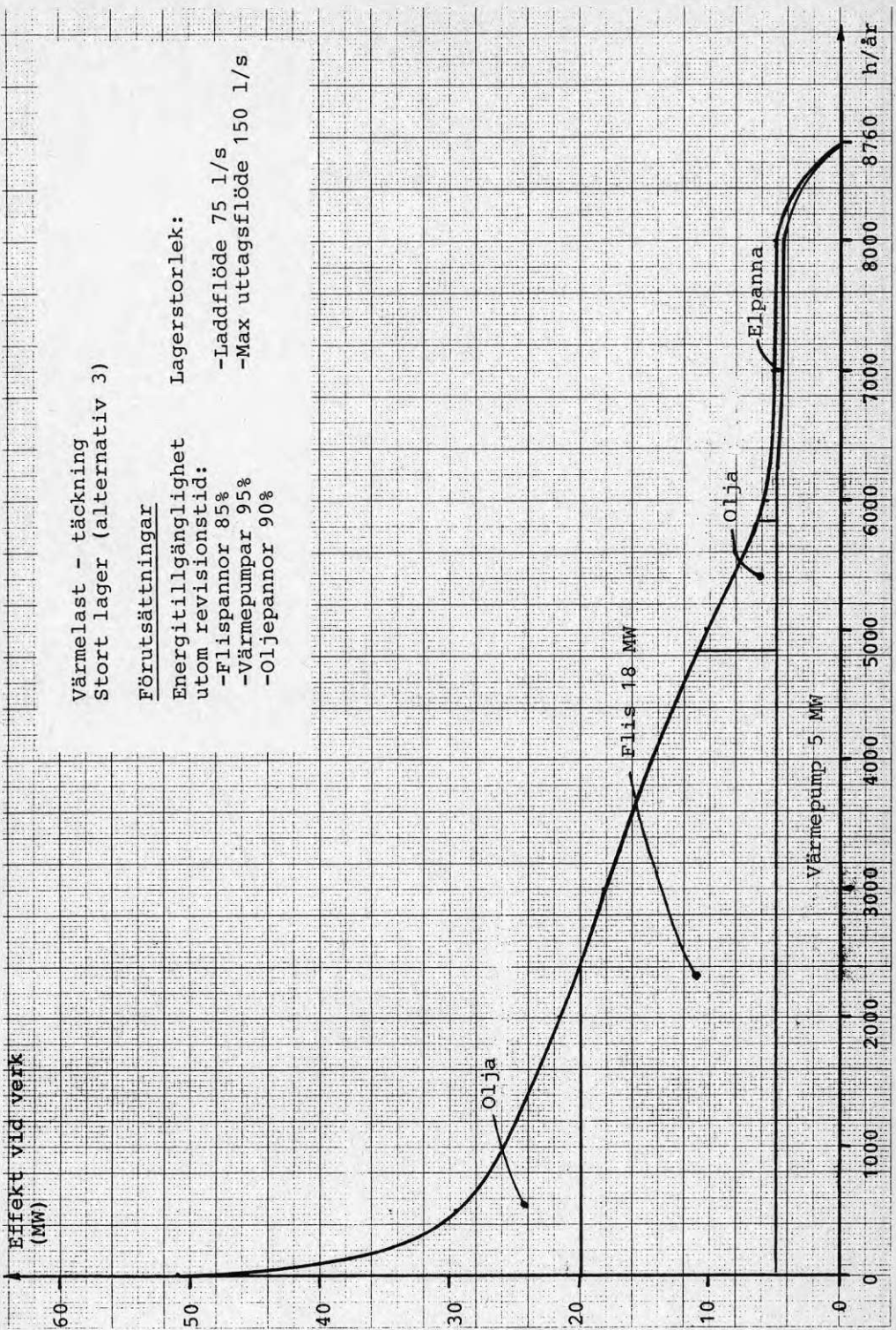
-Oljepannor 98%

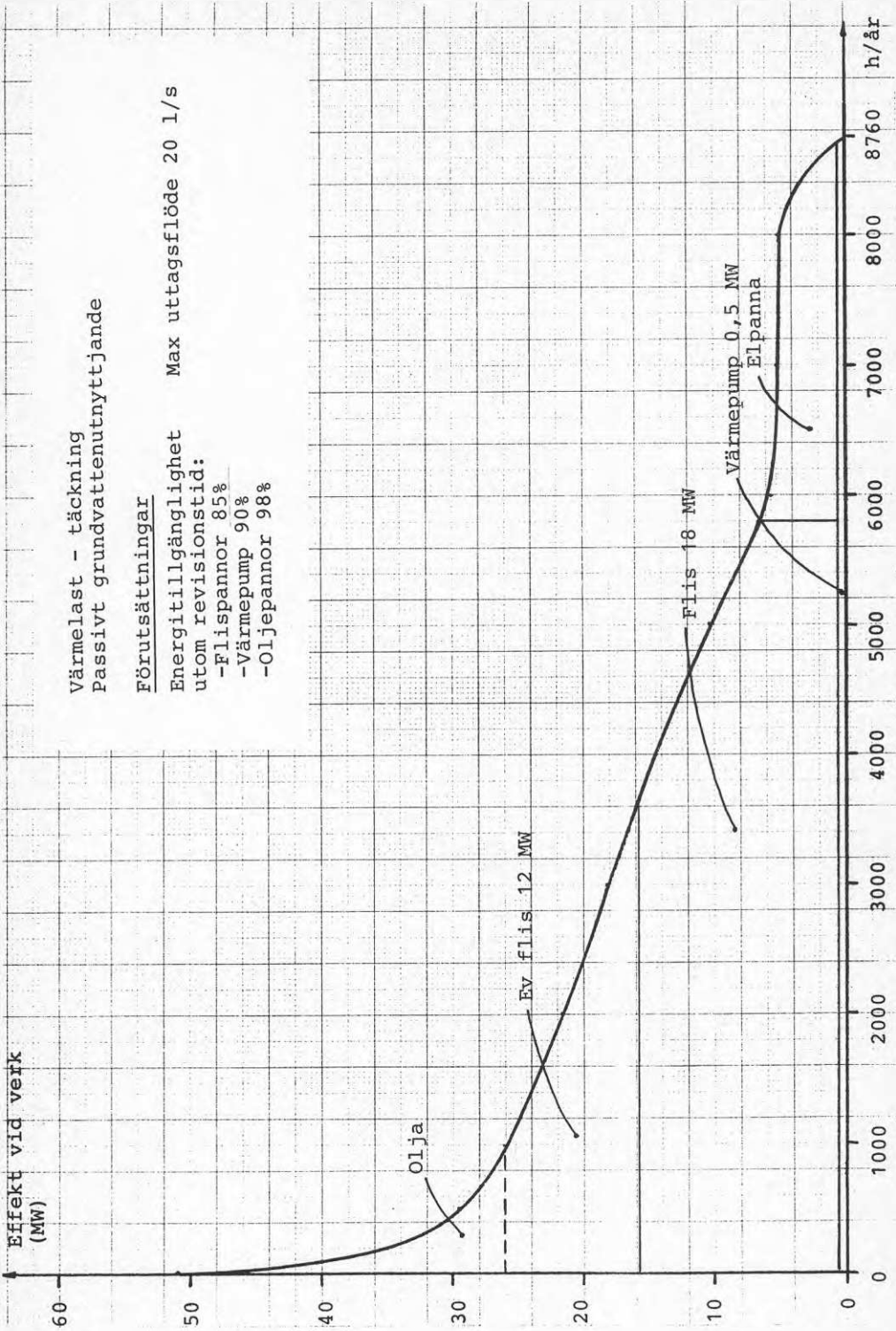
Lagerstorlek:

-Laddflöde 60 l/s

-Max uttagsflöde 90 l/s

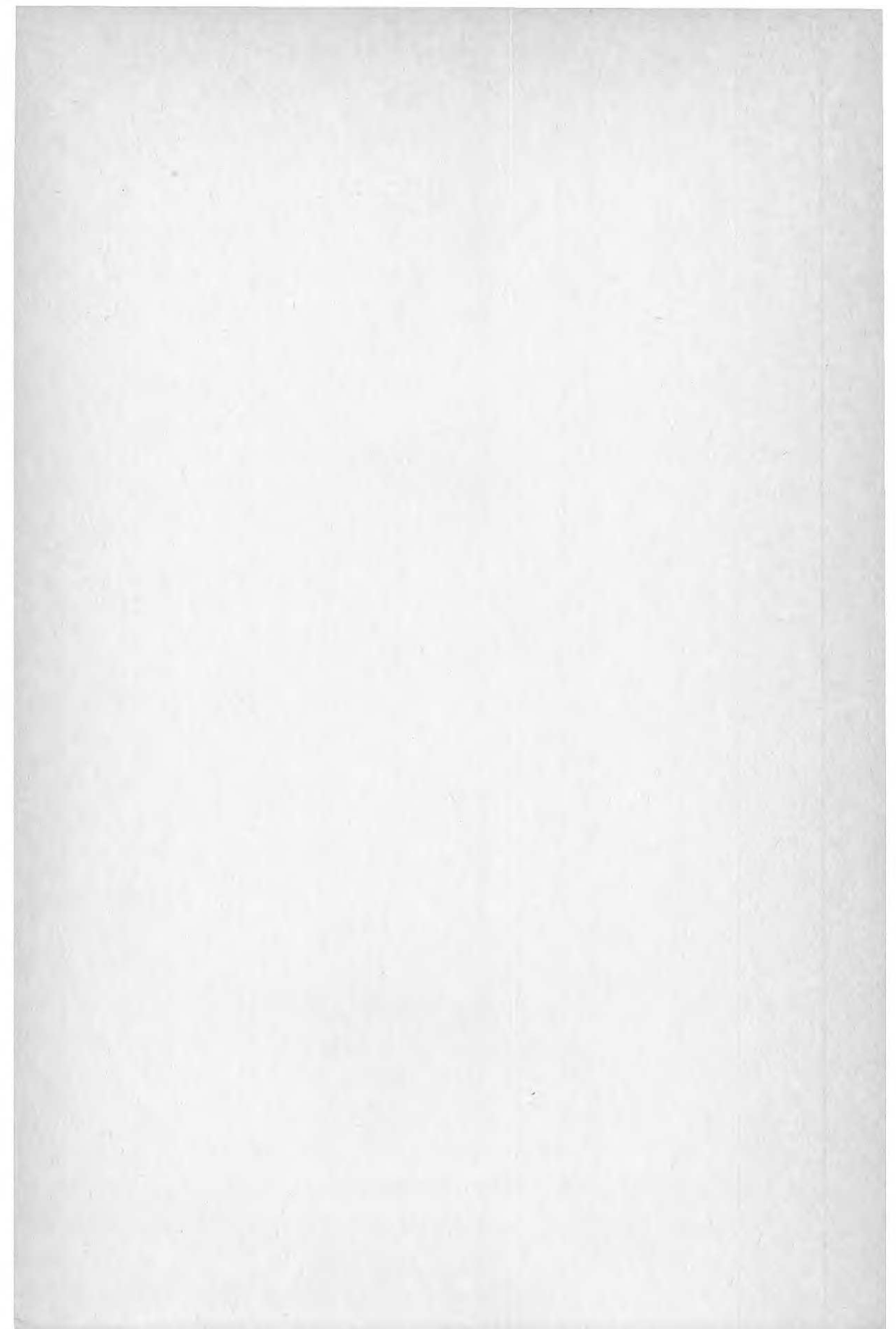












**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
801483-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till VBB, AB, Stockholm.**

R133: 1982

ISBN 91-540-3832-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700633

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 30 kr exkl moms