



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**

**R59 :1991**

**Kyla och värme för kontor  
med isakvifersystem**

**Förstudie**

**Sam Johansson  
Olof Melin**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135563

**Bygghforskningsrådet**

R59:1991

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD  
BIBLIOTEKET

KYLA OCH VÄRME FÖR KONTOR MED ISAKVIFERSYSTEM

Förstudie

Sam Johansson  
Olof Melin

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860609-3  
från Statens råd för byggnadsforskning till AIB Installa-  
tionskonsult AB, Solna.

## REFERAT

AIB Anläggningsteknik har i föreliggande studie undersökt förutsättningar för kyl- och värmeförsörjning av ett kontorshus i Sollentuna med hjälp av ett isakvifersystem.

Syftet med denna studie var att bestämma de tekniska och ekonomiska villkoren för ett isakvifersystem tillämpat på ett specifikt objekt.

Simulering av termiska förlopp kring ett rör visar att potentiellt kyluttag är ca 100 W/m rör i början av uttagsperioden och att det sedan successivt minskar till ca 30 W/m rör. Drifttekniskt sett ger isakvifersystemet ett kyltillskott främst under kylsäsongens första månader. Miljömässigt finns risk för läckage av köldbärarvätska i mark. Köldbärarvätskan bör därför väljas så att effekterna av ett eventuellt läckage blir små. Likaså bör systemet vidareutvecklas så att volymen köldbärarvätska kan minskas.

Ekonomiskt kan isakvifersystemet för närvarande inte konkurrera med konventionella lösningar. Konceptet har dock en viss generalitet varför det bör utvecklas vidare.

I Bygghälsorådet 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.

R59:1991

ISBN 91-540-5392-7  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

## INNEHÅLL

### FÖRORD

### SAMMANFATTNING

1	INLEDNING	Sid	1
1.1	Bakgrund		1
1.2	Syfte		2
2	SYSTEMLÖSNING		3
2.1	Utformning		3
2.2	Förutsättningar		4
2.3	Tekniska skillnader mellan fruset och ofruset lager		4
3	TERMISKA PROCESSER		8
3.1	Akviferens materialegenskaper		8
3.2	Frysning runt enstaka rör		9
3.3	Upptining runt enstaka rör		13
3.4	Inverkan av grundvattenströmning		16
3.5	Inverkan av röravstånd		18
3.6	Simulering av ett lagers funktion		20
4	INGENJÖRSCENTRUM ETAPP 1		23
4.1	Läge och utformning		23
4.2	Allmänna förutsättningar		23
4.3	Konkurrerande energilösningar		24
4.4	Energibalans och effektbehov		24
4.5	Markförhållanden		27
5	DIMENSIONERING AV ETT ISAKVIFERSYSTEM		31
5.1	Systemlösning markkolektor		32
5.2	Värme/kyldistributionssystem		33
5.3	Energicentralen		33
5.4	Driftstrategi		34
5.5	Markkolektorn		37
5.6	Uppbyggnad		40
5.7	Installation		41
6	EKONOMI		43
6.1	Förutsättningar		43
6.2	Anläggningskostnader		43
6.3	Energikostnader, isakvifersystemet		44
6.4	Energikostnader, konventionellt system		44
6.5	Kostnadsjämförelse		45
7	SLUTSATSER		46
8	REFERENSER		47

## FÖRORD

AIB Anläggningsteknik har i föreliggande studie undersökt tekniska och ekonomiska förutsättningar för kyl- och värmeförsörjning med hjälp av isakvifersystem, tillämpat på ett kontorshus ingående i projektet Ingenjörscentrum i Sollentuna norr om Stockholm.

Målsättningen var ursprungligen att beslut om byggnation av en pilotanläggning skulle kunna tas med denna studie som underlag.

Pilotanläggningen skulle då försörja den planerade utbyggnaden av Ingenjörscentrum. Beslut om utbyggnad har ännu ej fattats. Denna studie har dock färdigställt enligt de förutsättningar som gällde vid projektstarten 1987.

I projektet har förutom författarna även civ ing Maria Bartsch medverkat.

Sölva i augusti 1991

AIB Anläggningsteknik  
Vatten- och miljöteknik

Sam Johansson

## SAMMANFATTNING

Ett isakvifersystem består av ett vertikalt rörsystem i en grus- och sandavlagring. Vid värmeuttag med hjälp av värmepump fryses akvifermaterialen runt rören. Kyluttag sker genom direkt cirkulation av kyla från isakviferen. Värmepumpen används även för att höja kyleffekten.

Syftet med denna studie är att bestämma de tekniska och ekonomiska villkoren för ett isakvifersystem tillämpat på ett specifikt objekt. Objektet som har valts är ett kontorshus på 3400 m<sup>2</sup> i Sollentuna. Huset skall utrustas med en klimatanläggning för kyla och värme. I anslutning till huset ligger en grusås. Beräkningar visar att byggnadens värmebehov är ungefär dubbelt så stort som dess kylbehov (126/60 MWh), vilket är ett idealt förhållande för ett isakvifersystem. Kyleffektbehovet (100 kW) är däremot för stort för att kunna täckas direkt av markkollektorn, varför värmepumpen utnyttjas för spetskylning. Värmepumpen täcker 50 kW av värmeeffektbehovet (152 kW), medan en elpanna tillgodoser resterande behov.

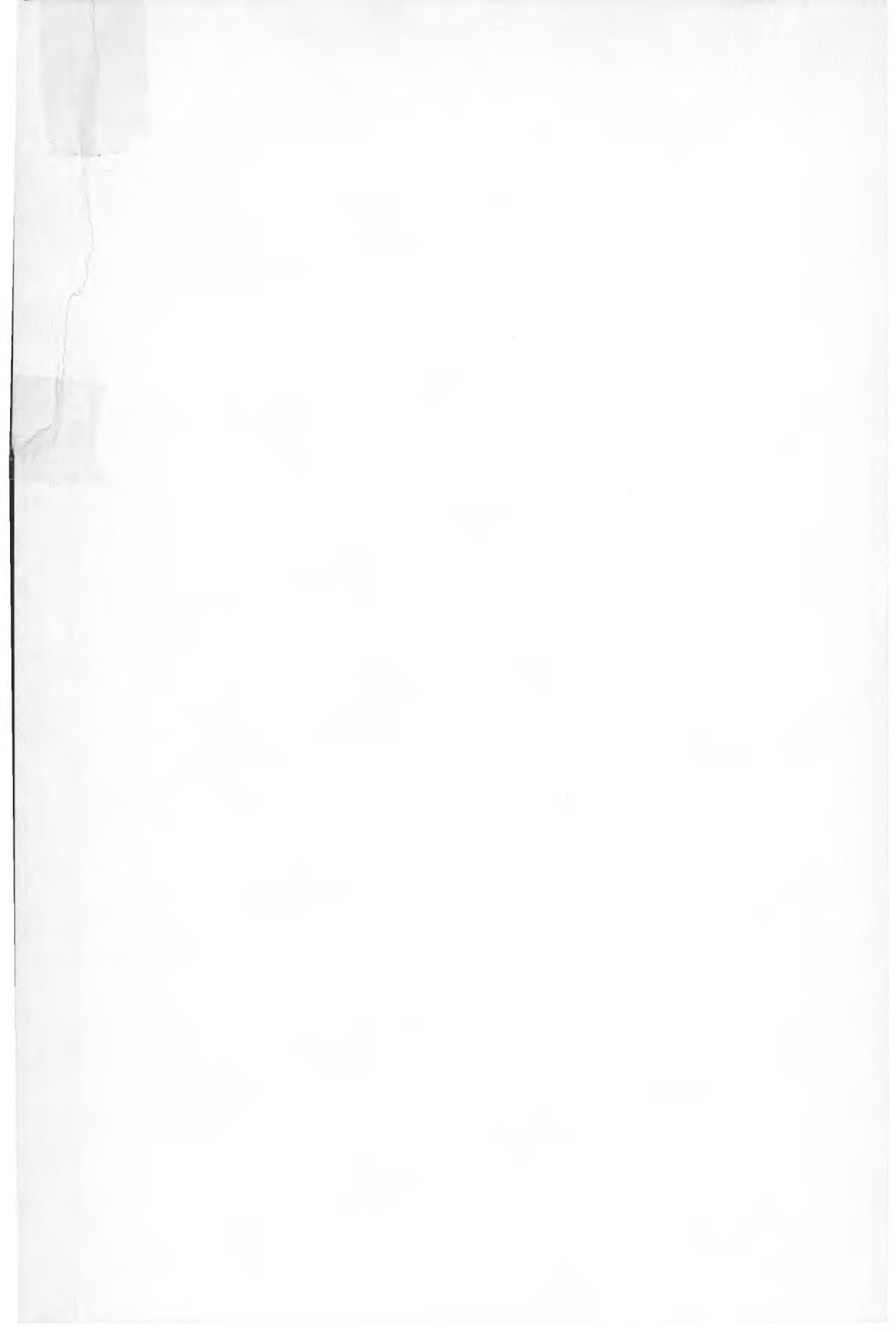
Simulering av termiska förlopp kring ett rör visar att potentiellt kyluttag är ca 100 W/m rör i början av uttagsperioden och att det sedan successivt minskar till ca 30 W/m rör. Genom att anpassa röravstånden till lagringsperiodens längd kan man tillse att hela lagret blir genomfrost.

Vid anläggande av ett isakvifersystem bör marken utgöras av en icke tjällyftande jordart. Detta för att vid frysning av marken undvika att rörelser uppstår, vilka kan påverka rörsystemet med risk för bristning och läckage som följd. Geotekniska undersökningar på det aktuella området visar att marken överst består av ett ca 10 m mäktigt lerlager. Detta kan således medföra problem, vilket måste beaktas vid en eventuell tillämpning.

Drifttekniskt sett ger isakvifersystemet ett kyltillskott främst under kylsäsongens första månader. På vintern utgör värmepumpen baslast.

Miljömässigt finns risk för läckage av köldbärarvätska i mark. Köldbärarvätskan bör därför väljas så att effekterna av ett eventuellt läckage blir små. Likaså bör systemet vidareutvecklas så att volymen köldbärarvätska kan minskas.

Ekonomiskt kan isakvifersystemet för närvarande inte konkurrera med konventionella lösningar. Konceptet har dock en viss generalitet varför det bör utvecklas vidare.





1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Dagens kontorsbyggnader har många gånger ett lika stort kyl- som värmebehov. Värmebehovet har minskat bl a beroende på bättre värmeisolering och ett allt vanligare utnyttjande av värmeåtervinningssystem. Samtidigt har kylbehovet blivit större i takt med den ökade koncentrationen av värmealstrande datorer och apparater. Dessutom ställer hyresgäster idag högre krav än tidigare på inomhusklimatet sommartid. Kostnaderna för kyla är emellertid höga, och behovet av att utveckla nya kostnadseffektiva och miljövänliga kylmetoder ökar.

I en värmepumpprocess produceras kyla samtidigt som värme. Energi upptas vid en låg temperatur och avges vid en högre. För att detta skall kunna ske måste en viss mängd högvärdig energi alltid tillföras. Denna högvärdiga drivenergi avges sedan tillsammans med den lågvärdiga värmen vid den högre temperaturen. På så sätt produceras kyla i värmepumpens värmesänka samtidigt som byggnaden värms. Värmesänkan kan vara t ex frånluft, uteluft, sjövattnen eller mark.

I denna rapport utreds möjligheterna att med hjälp av ett isakvifersystem lagra kyla från vinter till sommar genom frysning av ett naturligt grundvattenmagasin (en akvifer) i en grusås. Grundvattenmagasinet utnyttjas på så vis både som värmesänka och lagringsmedium. När kyla uttas från akviferen på sommaren lagras samtidigt värme i marken. Denna värme utnyttjas vintertid för värmeuttag genom värmepumpen. På så sätt säsongslagras omväxlande kyla och värme.

Värme- och kylagring i grusåsar är en metod som tillämpats vid SAS Frösundavik i Solna. Där lagras kyla och värme på motsvarande sätt i en grundvattenakvifer. Dock är temperaturerna konstant över frys punkten, vilket i jämförelse med ett isakviferlager leder till att större lagringsvolym måste utnyttjas. Generellt är dock tillgången på stora naturliga sand- och grusavlagringar begränsad och förutsättningarna är inte alltid lika gynnsamma som vid SAS Frösundavik.

AIB Anläggningsteknik AB har därför utvecklat ett lagringskoncept där frysning av akvifer materialet tillämpas, varvid större energitäthet uppnås och således en mindre akvifer volym erfordras. Studien bygger på en tidigare undersökning gjord med stöd av Byggeforskningsrådet med titeln "Kyl- och värmeför-sörjning med hjälp av isakvifersystem", projektnummer 860609-3.

## 1.2 Syfte

I den tidigare studien penetrerades de allmänna teoretiska förutsättningarna för ett isakvifersystem. Syftet med denna studie är att bestämma de tekniska och ekonomiska villkoren tillämpat på ett specifikt objekt. De tekniska förutsättningarna inbegriper såväl energitekniska som geotekniska studier.

I projektet har en förenklad ramhandling utarbetats för ett kontorshus i Stockholmstrakten med syfte att utgöra underlag för eventuellt beslut om byggnation av en pilotanläggning.

## 2 SYSTEMLÖSNING

### 2.1 Utformning

Ett isakvifersystem består av tre huvudkomponenter, markkollector, energicentral och distributionscentral.

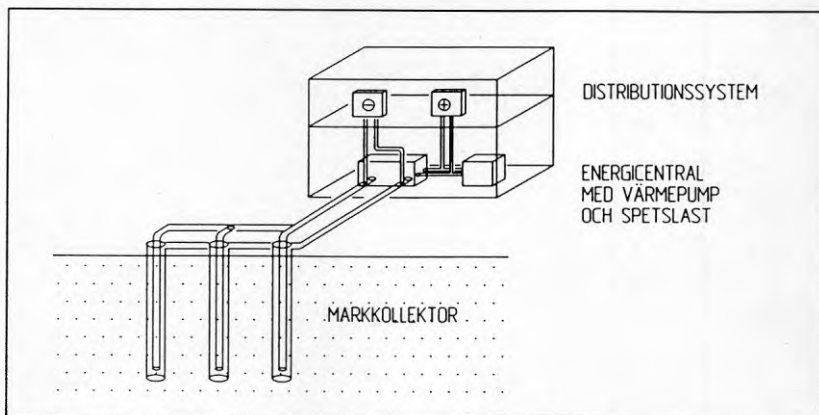


Fig 2.1 Isakviferens huvudkomponenter

Systemutformningen liknar en värmepumpinstallation med ytjord- eller bergkollector. Skillnader finns dock i markkollectorns utformning, och för att undvika islins- och tjällyftningsproblem bör den installeras i ett icke tjälskjutande jordmaterial. Driftstrategin är dessutom olik den hos en vanlig värmepumpinstallation då man i ett isakvifersystem i första hand eftersträvar att frysa marken. För att maximera markens frysandel arbetar man med en låg köldbärartemperatur och därmed låg förångningstemperatur.

**Kollektorsystem:** Kollektorn består av flera vertikalt stående stålrör, förbundna med plaströr vid markytan. Köldbärarvätskan cirkulerar i ett slutet system mellan kollectorn och värmepumpen utan kontakt med grundvattnet.

**Värme/kylcentral:** En värmepump svarar i kombination med en spetsvärmekälla för värmeproduktionen. På sommaren uttas den lagrade kylan ur markkollectorn genom direkt cirkulation. Värmepumpen utnyttjas som kylmaskin för att höja kyleffekten då stora kylbehov föreligger.

**Distributionssystem:** På värmesidan används ett 50/30°C-system med radiatorer och luftvärmebatteri. För kyla används kylbatteri och kylbafflar.

## 2.2 Förutsättningar

Följande grundförutsättningar gäller för anläggning av ett isakviferlager.

- \* Det bör finnas ett kombinerat kyl- och värmebehov i en fastighet eller process.
- \* Det skall finnas en sand- eller grusavlagring i omedelbar närhet av fastigheten eller processen. Akviferen skall dessutom ha ett tillräckligt djup under grundvattenytan (5-10 m)

Alternativ till ett isakvifersystem är, fränsett en rent konventionell lösning som t ex elpanna i kombination med kylaggregat, ett akviferlager som inte nyttjar frysning. Exempel på detta är SAS Frösundavik, Solna. Tekniska omständigheter som inverkar till att man vill frysa akviferen kan bl a vara att:

- \* akviferens volym är begränsad
- \* påverkan på grundvattennivån är olämplig, t ex i ett område med sättningskänsliga hus
- \* risk för igensättning av brunnarna föreligger, exempelvis på grund av järnutfällningar
- \* risk för frysning föreligger vid värmewäxling nära 0°C
- \* lättvindigare procedur kring tillståndsfrågor erhålles.

En nackdel gentemot ett kvifersystem utan frysning är den högre totalkostnaden. Orsaken till detta är det högre priset för markkollektorn. En kalkyljämförelse dem emellan är dock mindre intressant på grund av ovanstående tekniska omständigheter. Har dessa ingen betydelse bör man av kostnadsskäl anlägga ett akviferlager utan frysning. Kostnadsjämförelsen av isakvifersystemet bör därför i första hand ställas mot ett konventionellt system.

## 2.3 Tekniska skillnader mellan fruset och ofruset lager

Följande beskrivning belyser de tekniska omständigheter vilka inverkar till att man fryser akviferen.

### 2.3.1 Volymskillnader

Möjligheten att hitta stora sand- och grusförekomster i naturen är ofta begränsade. Dessutom är endast volymen under grundvattenytan av intresse. Eftersom en isakvifer fordrar mindre volym grus än en ofrusen akvifer för att klara ett visst värme- och kylbehov kan detta vara en lösning av problemet. För att belysa vilka akvifervolymer som erfordras kan SAS-projektet utnyttjas som referens.

**Ofrusen akvifer:** I detta fall utnyttjas en akvifer på ca 1 milj m<sup>3</sup> ur vilken 2.4 GWh kyla uttages genom variation av temperaturen mellan +2 och +12°C => ΔT 10°C. (Uttag av 2.6 GWh värme sker mellan +8 och +15°C => ΔT 7°C).

Skall 2.4 GWh kylenergi uttagas i en akvifer fordras en akvifervolym av minst 323 000 m<sup>3</sup> enligt nedanstående formel. I verkligheten fordras en större volym eftersom värmeupptagningen i lagret gör att inlagringen av kyla måste överstiga 2.4 GWh. Härav förklaras en del av volymdifferensen ovan, en annan kan vara att SAS-volymen inte utnyttjas till fullo.

$$V = Q / [\Delta T [p \cdot C_{pv} + (1-p) \cdot C_{ps}]]$$

V	m <sup>3</sup>	sökt volym
Q	= 2.4 GWh	energimängd
ΔT	= 10 °C	akviferens temperatursänkning
p	= 0.3	porositet
C <sub>pv</sub>	= 1.17 kWh/m <sup>3</sup> ·°C	värmekapacitet-vatten
C <sub>ps</sub>	= 0.56 kWh/m <sup>3</sup> ·°C	värmekapacitet-sten

**Isakvifer:** Vid frysning av 2.4 GWh i en akvifer från +7°C till -3°C, dvs samma temperaturdifferens som ovan, blir den erforderliga volymen 82 000 m<sup>3</sup> enligt följande uttryck.

$$V = Q / [p \cdot a [L_f + (\Delta T_i \cdot C_{pi})] + (p \cdot C_{pv} \cdot \Delta T_v) + (1-p) \cdot C_{ps} \cdot \Delta T]$$

a	= 0.8	frysandel
L <sub>f</sub>	= 92.8 kWh/m <sup>3</sup> ·°C	isbildningsvärmets
ΔT <sub>i</sub>	= 3 °C	isens undertemperatur
C <sub>pi</sub>	= 0.58 kWh/m <sup>3</sup> ·°C	värmekapacitet-is
ΔT <sub>v</sub>	= 7 °C	vattnets temperatursänkning

Övriga parametrar som ovan.

Frysandelen är den volymandel av akviferen som är helt fryst. Denna varierar bl a med köldbärartemperaturen, frystiden och c/c-avståndet mellan brunnarna enligt kapitel 3.5. För en frysandel av 0.8 fordras exempelvis en köldbärartemperatur av  $-10^{\circ}\text{C}$  under 6 månader och ett c/c-avstånd mellan brunnarna på ca 2 m. Frysandelen kan bara ökas med mindre c/c-avstånd eller en lägre köldbärartemperatur eftersom frystiden är bestämd av uppvärmningssäsongen. Denna varierar mellan 7 och 10 månader i Sverige beroende på byggnadstyp och klimatförhållanden.

För samma energimängd fordrar därmed isakviferen ca 1/4 av den ofrusna akviferens volym. Detta gäller bara under ovanstående omständigheter. Med en ökad frysandel och porositet gynnas isakviferen ytterligare. Eftersom grusmaterialets porositet är bestämd kan en minskad erforderlig volym bara erhållas genom att frysandelen ökas, dvs främst genom att c/c-avståndet minskas.

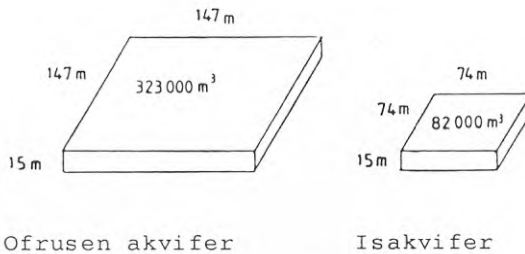


Fig 2.2 Jämförelse mellan erforderliga volymer för 2.4 GWh kyla; 15 m grundvattendjup

### 2.3.2 Grundvattenpåverkan

Eftersom energiutbytet sker mellan ett slutet system och akviferen, påverkas inte grundvattennivån. Den volymutvidgning som sker vid porvattnets frysning till is migrerar ut i omgivande material utan negativa inverknings. Ett isakviferlager orsakar därför inte några markrörelser.

Utför man ett rörlager i finkornig jord erhålles islinser kring rören vilket leder till markhöjning vid frysning (tjälning) och marksättningar vid upptining.

### 2.3.3 Igensättning

Ett akviferlager typ SAS är beroende av att vattenkvaliteten ej leder till igensättning av uttags- och infiltrationsbrunnar. Främst är det utfällning av  $\text{CaCO}_3$  vid avgasning av vattnet och utfällning av järn och mangan vid oxidation av vattnet som utgör de stora riskerna. I ett lager som arbetar med frysnings finns ej dessa risker eftersom man arbetar med ett slutet system med en köldbärarvätska.

### 2.3.4 Frysrisk

Vid värmepumpdrift med vatten av låg temperatur finns alltid frysrisk. Eftersom isakviferens köldbärare är frysskyddad finns ej någon risk för skador på installationen.

### 2.3.5 Tillståndsfrågor

För SAS-lagret (ofruset akviferlager) har erhållits vattendom. Förundersökningar, teknisk beskrivning och juridisk medverkan har kostat ca 200 000:-. Anmälan har även skett till länsstyrelsen.

För ett fruset akviferlager erfordras förundersökningar för ca 60 000:- och anmälan till länsstyrelsen enligt miljöskyddskungörelsen.

### 3. TERMISKA PROCESSER

#### 3.1 Akviferens materialegenskaper

En akvifer består av sand- och grusmaterial med vattenfyllda porer.

När vatten fryser sker en volymutvidgning. Då akviferen fryses kommer därför en mindre mängd vatten att undanträngas från det område som är under frysning. Om akviferen innehåller t ex silt är porerna små och en tjällins kan bildas. I nedanstående resonemang har förutsatts att materialet ej är så finkornigt att tjällinsler kan bildas.

Porvattnets fryspunkt beror på porernas storlek. För material med små porer som lera och silt gäller generellt att porvattnet börjar frysa då temperaturen understiger ca  $-0.25^{\circ}\text{C}$ . Frysningen pågår sedan ner till ca  $-1.0^{\circ}\text{C}$  då huvuddelen av vattnet har frusit. Inom temperaturintervallet  $-0.25 - -1.0^{\circ}\text{C}$  kommer porerna därför att vara fyllda både med is och med vatten. En zon av både is och vatten mellan den frusna respektive ofrusna delen av akviferen kommer därvid att bildas. I högpermeabla akviferer fryser porvattnet troligtvis fullständigt redan vid  $0^{\circ}\text{C}$ . Grundvattnet i svenska isälvsavlagringar har som regel låg salthalt. Totalsalthalten ligger vanligen under  $500 \text{ mg/l}$  /  $2/$ . Fryspunktsnedsättningen blir då ca  $0.03^{\circ}\text{C}$ .

Akviferens termiska egenskaper bestäms av vattnets och det fasta materialets egenskaper. Då vattnets termiska egenskaper är temperaturberoende kommer även akviferens egenskaper att variera med temperaturen. I tabell 3.1 visas värmeledningsförmågan och värmekapaciteten då akvifermaterialet är ofruset respektive helt fruset vid olika porositet. Som framgår av tabellen har en frusen akvifer högre värmeledningsförmåga men lägre värmekapacitet än en ofrusen akvifer.

Tabell 3.1 Värmeledningsförmåga och värmekapacitet för olika material vid ofruset resp fruset tillstånd.

	Värmeledningsförmåga ( $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ )		Värmekapacitet ( $\text{MJ}/\text{m}^3\text{C}$ )	
	ofruset	fruset	ofruset	fruset
Vatten	0.57	2.1	4.2	1.9
Mineral	3.5		2.0	
<b>Akvifer</b>				
porositet 20 %	2.91	3.22	2.44	1.98
porositet 30 %	2.62	3.08	2.66	1.97
porositet 40 %	2.33	2.94	2.88	1.96



### 3.2 Frysning runt enstaka rör

Frysförloppet runt ett enstaka stålrör i en akvifer har simulerats med ett dataprogram utvecklat av Göran Hellström, LTH. Programmet beaktar radiell värmeledning med frysning. Yttre resp inre randvillkor kan vara given temperatur eller effekt eller isolerad rand.

I de beräkningar som redovisas nedan har temperaturen varit konstant vid stålrörets innersida (motvarande köldbärartemperaturen). Den yttre randen har antagits vara isolerad, dvs ingen värmetransport sker genom denna. Akviferens begynnelsestemperatur har antagits till 7°C.

Beräkningar har utförts för olika avstånd till den yttre isolerade randen  $R = 1.0$  m,  $R = 2.0$  m,  $R = 3.0$  m resp  $R = 16$  m. Det största värdet  $R = 16$  m ger mycket små förändringar av temperaturen i den yttre cellen. Beräkningsresultaten för  $R = 16$  m kan därför anses vara representativa då avståndet till den isolerade randen är stort, dvs ett ensamt rör i ett oändligt område.

Värmemotståndet mellan stålröret och akvifermaterialiet är ca  $0.01$  °C/(W/m). Motståndet kan variera något beroende på hur god kontakt som fås mellan gruskornen och stålröret. Då akviferen är frusen minskar motståndet något på grund av isens något större värmeledningsförmåga.

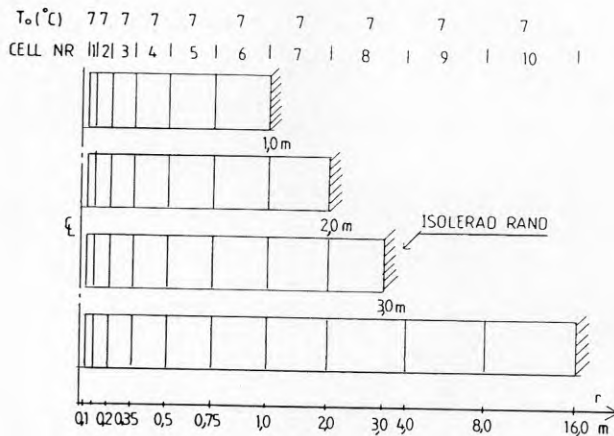


Fig 3.1 Geometri, cellindelning, rand- och begynnelsevillkor till beräkningsprogrammet

Beräkningar har gjorts för ett ensamt rör genom vilket en köldbärare med temperaturen  $-5$ ,  $-10$  respektive  $-15^{\circ}\text{C}$  har strömmat under en tid av ett år. För akviferen har antagits en porositet av 30 %. Värmeledningsförmåga och värmekapacitet för frusen respektive ofrusen akvifer framgår av tabell 3.1.

Beräkningsresultatet omfattar bl a medeltemperatur och frysandel för varje cell, total inmatad energimängd och kyleffekt. I fig 3.2 visas uppnådd frusen radie som funktion av tiden vid olika köldbärartemperaturer.

Om vi antar att frysning runt ett enstaka rör pågår under sex månader kan vi av figuren se att den frusna cylinderns radie blir mellan 0.2 och 0.6 m beroende på köldbärartemperatur. Frusen volym blir vid dessa förhållanden liten på grund av värmeledning i akviferen som har en begynnelsestemperatur på  $+7^{\circ}\text{C}$ . Vid köldbärartemperaturen  $-5^{\circ}\text{C}$  uppnås stationära förhållanden efter ca fyra månader, fig 2.2. För att minska värmeförlusten från omgivningen måste rören placeras tätare, vilket innebär att värmeupptagningsarean minskar.

För t ex köldbärartemperaturen  $-10^{\circ}\text{C}$  blir, efter en tid av 6 månader, den frusna cylinderns radie mellan ca 0.6 och 0.9 m då  $R = 3$  m resp  $R = 1$  m. För köldbärartemperaturen  $-5$  resp  $-15^{\circ}\text{C}$  blir motsvarande radie på cylindern ca 0.3-0.7 m resp ca 0.7-1.0 m. Om frysning sker under ca sex månader kommer således cylinderns radie ej att överstiga 1 m.

Inverkan av olika frysintervall (p g a salt grundvatten) har konstaterats vara liten. Vid t ex köldbärartemperaturen  $-10^{\circ}\text{C}$  och  $R = 2$  m blir den frusna cylinderns radie 0.815 m efter 6 månader vid frysintervallet  $-0.25 - -1.0^{\circ}\text{C}$ . Om frysintervallet är mellan 0 och  $-0.01^{\circ}\text{C}$  blir cylinderns radie 0.837 m under samma förhållanden.

Påfrysningen sker snabbast i början då temperaturskillnaden mellan röret och akvifermaterialen strax utanför den frusna zonen är störst. Allteftersom istjockleken växer ökar dessutom temperaturfallet genom det frusna akvifermaterialen vilket innebär att fryseffekten minskar, fig 3.3.

Vid en köldbärartemperatur av  $-10^{\circ}\text{C}$  är effektuttaget 60-70 W/m efter två månader. Efter ytterligare fyra månader har effekten sjunkit 10-20 %. Den effektsänkning som på detta sätt erhålles måste beaktas vid dimensionering av ett lager.

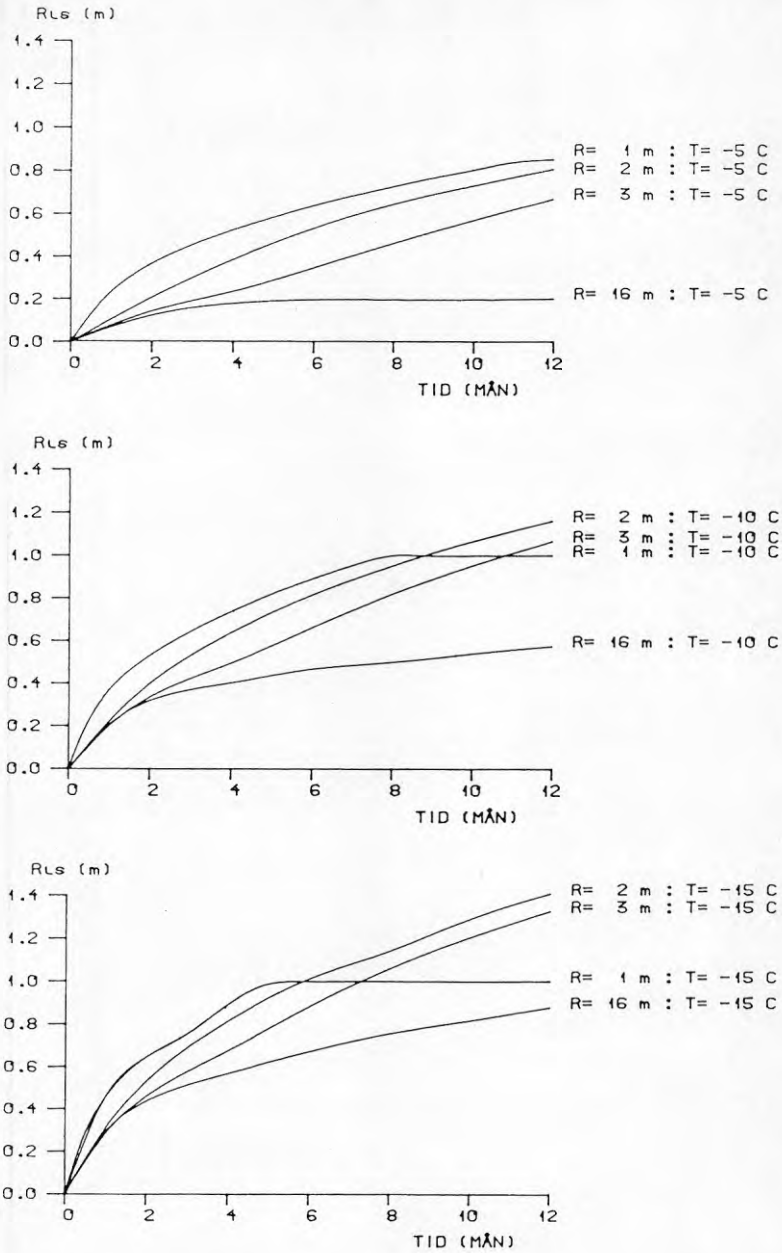


Fig 3.2 Tillväxt av fruset akvifermaterial  $R_{1s}$  i stillastående grundvatten (begynnelsetemperatur  $+7^{\circ}\text{C}$ ) vid frysning runt ett 50 mm stålrör vid olika köldbärartemperaturer  $T$ , och radie  $R$  till den yttre isole-rade randen

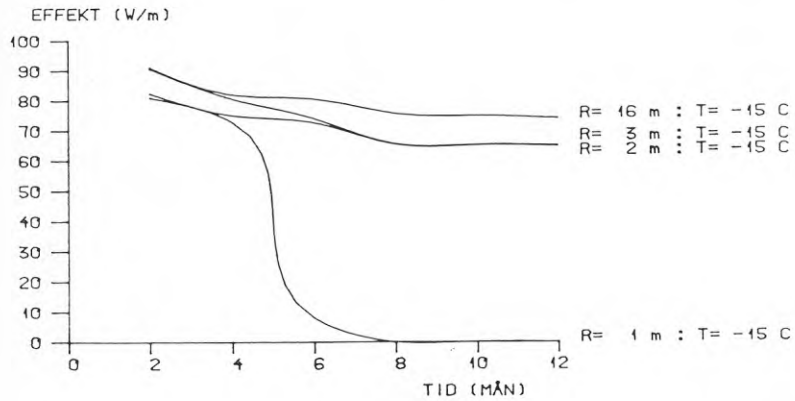
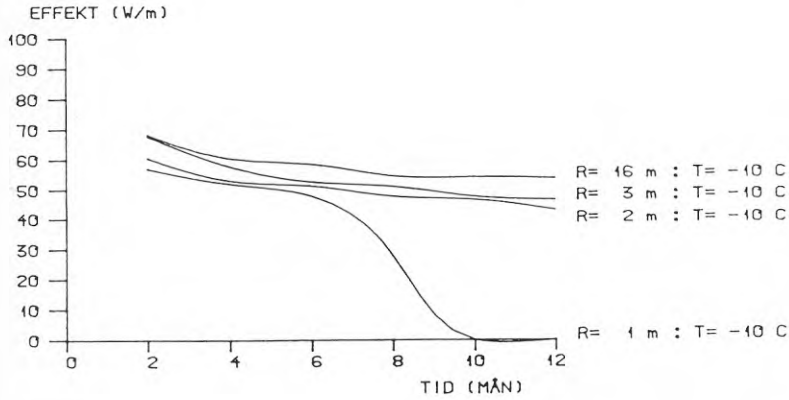
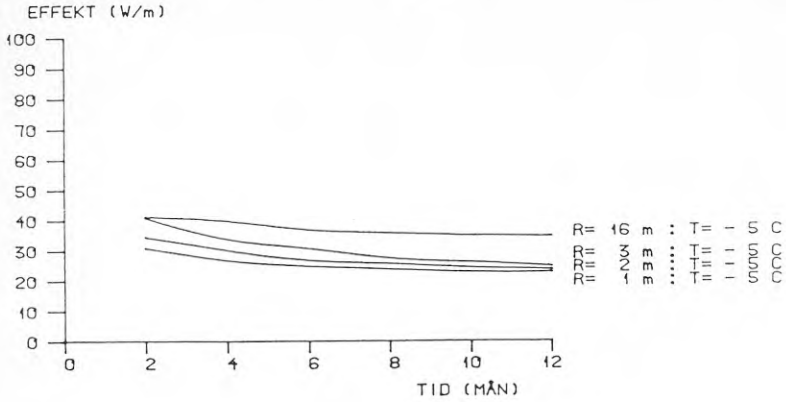


Fig 3.3 Effektuttag vid frysning av en akvifer med stillastående grundvatten (begränsningstemperatur +7°C) runt ett 50 mm stålrör vid olika köldbärartemperaturer och radier till den yttre isolerade randen

### 3.3 Uppötning av akvifermaterial runt enstaka rör

Då värme tillförs genom stålörret kommer den frusna cylindern att börja smälta inifrån. En zon med ofruset material bildas närmast örret varvid värmeledningsförmågan minskar. Allteftersom smältningförloppet fortskrider kommer den frusna fronten att förskjutas radiellt utåt. Genom värmeupptagning från omgivande mark kommer den yttre fronten att förskjutas in mot örret. Då allt fruset material tinat stiger temperaturen snabbt.

Beräkningar har gjorts för olika temperatur på köldbärandvätskan (+5, +10 och +15°C) och vid olika avstånd till den isolerade yttre randen. Samma geometri, cellindelning och termiska data som för beräkningarna i avsnitt 3.2 har använts. Som begynnelsevillkor har valts en frusen cylinder med 0.567 m radie och celltemperaturer enligt fig 3.4. Dessa temperaturer erhöles vid de tidigare beräkningarna för en köldbärandtemperatur av -5°C, R = 2.0 m efter tiden 6 månader. Simuleringar har i detta fall gjorts för en tid av 6 månader.

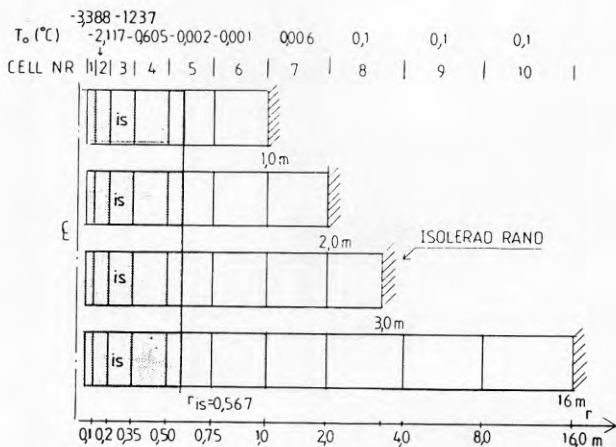


Fig 3.4 Geometri, cellindelning rand- och begynnelsevillkor till beräkningsprogrammet

Eftersom avsmältningen sker inifrån cylindern påverkas ej förloppet av olika värmeupptagningsområdens storlek intill dess att allt akvifermaterial tinat. Avsmältningförloppet visas i fig 3.5 där det framgår hur snabbt den frusna cylindern tinar. Då temperaturen utanför cell nr 6 är ca 0.1°C sker i detta fall ingen avsmältning vid den yttre frusna randen.

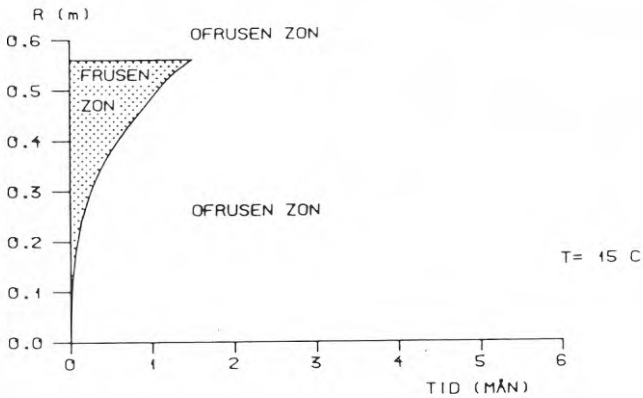
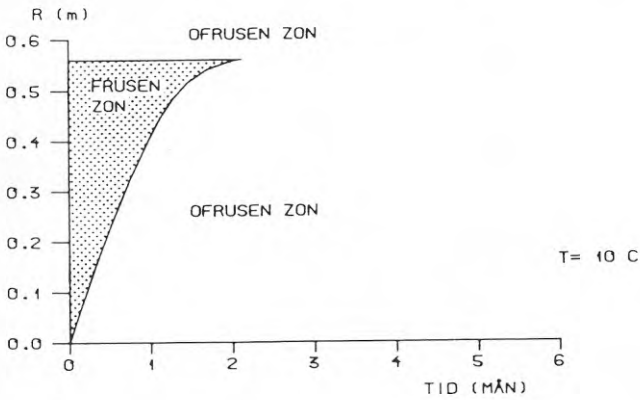
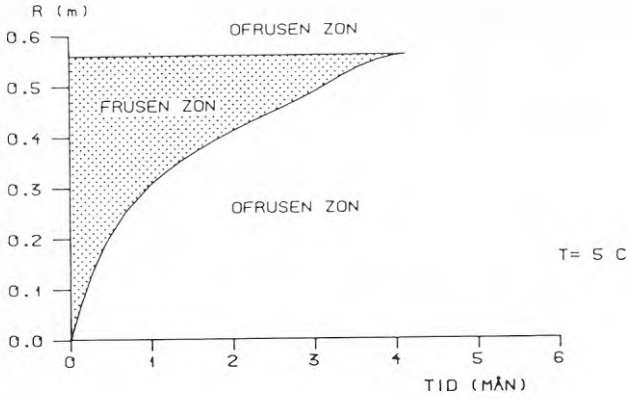


Fig 3.5 Den inre och yttre isfrontens läge som funktion av tiden vid smältning runt ett 50 mm stålrör vid köldbärartemperaturerna +5, +10 och +15°C

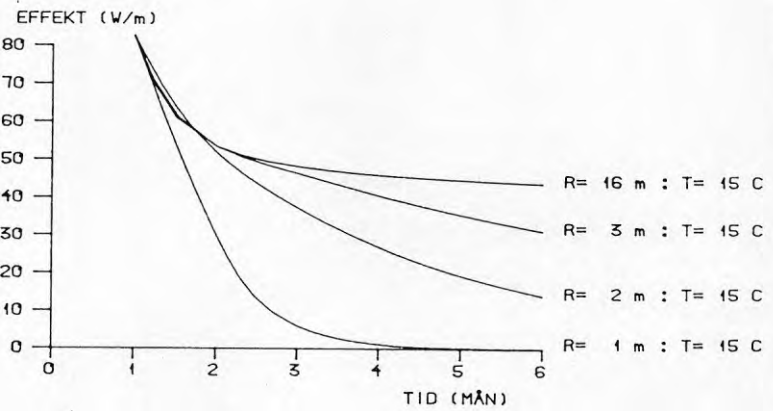
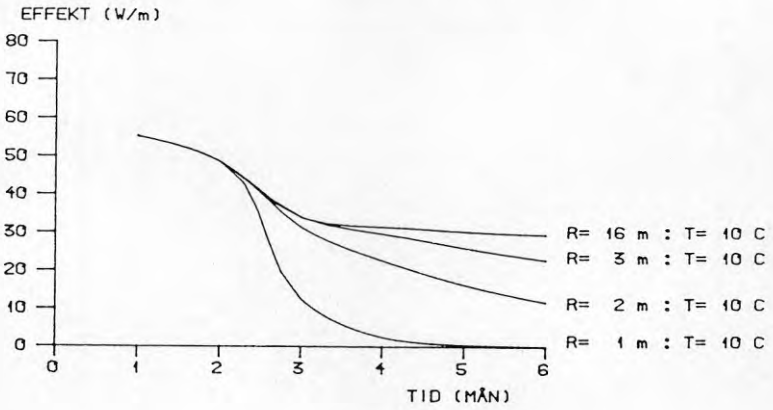
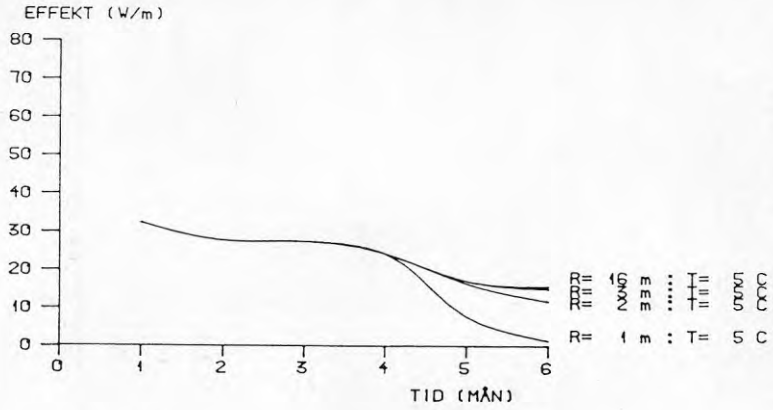


Fig 3.6 Effektuttag vid smältning runt ett 50 mm stål rör som funktion av tiden vid köldbärartemperaturerna +5, +10 och +15°C

I början av uttagsperioden kan en stor effekt uttagas. Allteftersom den frusna delens avstånd till röret ökas minskar uttagseffekten snabbt, se fig 3.6. Jämfört med frysning är effektvariationen större vilket innebär att behovet av att ta ut kyla från ett lager måste studeras noggrant då erforderlig rörlängd för ett lager skall bestämmas.

### 3.4 Inverkan av grundvattenströmning

Från den frusna cylindern kommer kyla att bortföras dels med grundvattnet p g a grundvattnets rörelse och dels genom värmeledning. Hur mycket kyla som totalt bortförs från ett enstaka rör kan beräknas enligt Markvärmehandboken /1/, sid 10.37 ff.

Vi antar att en enstaka frusen cylinder placerats i en akvifer som genomströmmas av ett horisontellt grundvattenflöde,  $q_w$ . För stationära förhållanden kan följande samband mellan värmeupptagningen,  $Q$ , och temperaturerna vid den frusna cylinderns yttre rand,  $T_R$ , och omgivningningen,  $T_{Om}$ , tecknas:

$$T_{Om} - T_R = \frac{Q}{2\pi\lambda H} \left[ \ln\left(\frac{H}{2R_{is}}\right) - P_w\left(\frac{H}{l}\right) \right] \quad (l \gg R_{is})$$

där

- H = den frusna cylinderns höjd
- l =  $2\lambda / (C_w q_w)$
- $R_{is}$  = den frusna cylinderns radie

Funktionen  $P_w$  beskriver grundvattenströmmens inverkan och finns uppritad i fig 10.21 i Markvärmehandboken.

Beräkningar har gjorts för olika radier på den frusna cylindern,  $R_{is}$ , och vattenflöden,  $q_w$ , för en cylinder med höjden 20 m. Resultaten visar att för ett enstaka rör kan påverkan bli betydande av det förbi-passerande grundvattnet.

Om den frusna cylinderns diameter är 0.5 m tillförs genom värmeledning och via passerande grundvatten ca 40 W/m då grundvattenströmmens hastighet är  $10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}, \text{m}^2$  och temperaturen  $7^\circ\text{C}$ , se fig 2.7. Den energiförlust som orsakas av grundvattnet motsvarar därvid ca 10 % av den totala förlusten orsakad av värmeledning. Om grundvattnets hastighet  $q_w$  är mindre än  $10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}, \text{m}^2$  blir grundvattenströmmens bidrag till värmeupptaget litet. Är  $q_w$  större än  $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}, \text{m}^2$  blir det värmeupptag som orsakas av grundvattnet lika stort eller större än energiförluster



via värmeledning. Det innebär att frysning ej kan ske ut till någon radie av betydelse vid de köldbärartemperaturer som diskuteras.

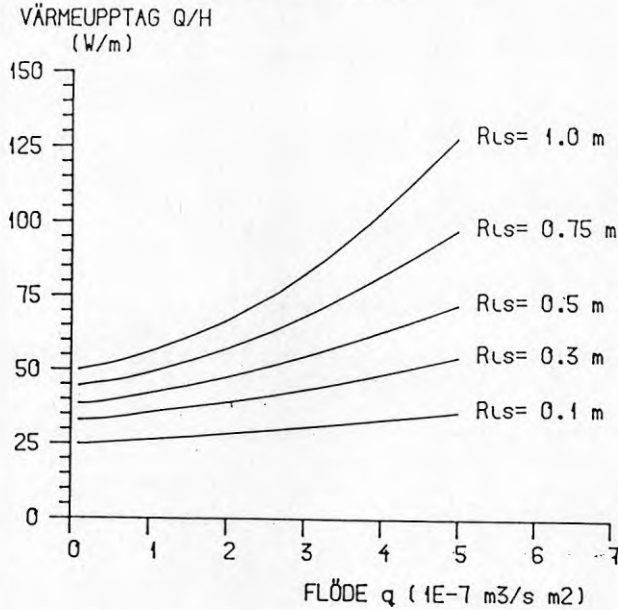


Fig 3.7 Värmeupptagning i en ensam iscyllinder med radien  $R_{1s}$  och höjden 20 m vid olika grundvattenflöden  $q_w$

Grundvattenflödet  $q_w$  kan beräknas genom Darcy's lag:

$$q_w = -K \cdot I$$

där

$K$  = hydraulisk konduktivitet ( $(m^3/s)/m^2 = m/s$ )

$I$  = hydraulisk gradient (m/m)

Den hydrauliska konduktiviteten för svenska grusåsar varierar mellan  $10^{-1}$  och  $10^{-4}$  m/s. Den hydrauliska gradienten bestäms av infiltrationen och den vattenförande formationens mäktighet och genomsläpplighet. Gradienten är därför svår att bestämma generellt men bedöms ligga mellan  $10^{-1}$  och  $10^{-4}$  beroende på akvifermaterialiet.

I ref /2/ har följande riktvärden angivits för grundvattenflödet i sand- och grusåsar:

grus och grovsand:	20 à $100 \cdot 10^{-7}$ m/s
mellansand:	1 à $7 \cdot 10^{-7}$ m/s
grovmö	0.02 à $0.1 \cdot 10^{-7}$ m/s

För att grundvattenströmmens inverkan på värmeförlusten skall bli liten bör, som tidigare nämnts,  $q_w$  vara mindre än ca  $2 \cdot 10^{-7}$  vilket ungefär motsvarar flödet i en ås bestående av mellansand.

I ett lager bestående av flera frusna cylindrar blir den av grundvattenströmmen bortförda energin (räknat per cylinder) betydligt mindre än den som ovan har beräknats för en ensam cylinder. Påverkan blir störst på den del av lagret som ligger uppströms och minskar i takt med att grundvattnet avkyls vid grundvattnets passage genom lagret. När lagret delvis har frusit minskar genomströmningsarean för vattnet. Detta orsakar ett större tryckfall för grundvattnet som passerar genom lagret vilket innebär att en del av grundvattnet istället tar vägen förbi lagret. De frusna cylindrar som är placerade i lagrets centrum kommer därför att påverkas i mindre utsträckning av ett naturligt grundvattenflöde än rör i periferin.

För ett lager bedöms därför att grundvattenströmmens påverkan blir liten och att den ej bör utgöra något allvarligt problem om grundvattenflödet är mindre än ca  $10^{-6}$  m/s. Grundvattenströmningen är som synes en mycket viktig parameter och kan ha en avgörande inverkan på lagrets funktion. Lagrets geometri och placering i förhållande till grundvattnets strömningens riktning styrs delvis av lagrets energibalans. Det är ur t ex kylagringssynpunkt positivt om lagret ges en så liten yta som möjligt mot grundvattenströmningens riktning.

### 3.5 Inverkan av röravstånd

I ett lager kommer rören att influera varandra termiskt. Frys- och i vissa fall även smältförloppen kommer därvid att ske snabbare i ett lager än för ett enstaka rör. I de föregående avsnitten redovisas beräkningar för olika radier  $R$  på energiuptagningsområdet. För en viss radie  $R$  kan man beräkna motsvarande avstånd  $c$  mellan rören genom att sätta energiuptagningsareorna lika.

Energiupptagningsarean  $A_c$  för ett enstaka rör är:

$$A_c = \pi \cdot R^2$$

I ett lager där rören har placerats i ett kvadratisk mönster med avståndet  $c$  mellan rören blir, för ett rör som är placerat i lagrets inre zon, värmeupptagningsarean  $A_k$

$$A_k = c^2$$

Genom att sätta värmeupptagningsareorna lika, dvs  $A_c = A_k$ , kan sambandet mellan radien  $R$  och avståndet  $c$  tecknas som

$$c^2 = \pi \cdot R^2$$

I simuleringarna i avsnitt 3.2 och 3.3 har en isole-rad rand ansatts vid  $R = 1.0$  m,  $R = 2.0$  m,  $R = 3.0$  m och  $R = 16$  m. Detta motsvarar  $c = 1.77$ ,  $c = 3.54$  m,  $c = 5.32$  m respektive ett ensamt opåverkat rör, jfr avsnitt 3.2. Om rören placeras i andra mönster kan man på motsvarande sätt räkna ut avståndet  $c$  mellan rören.

Avståndet mellan rören bör vara så att de frusna cylindrarna möts då lagret är fulladdat. Detta innebär att rören i lagrets periferi bör placeras närmare varandra. Om avståndet mellan rören är för stort kommer endast området närmast röret att vara fruset vilket leder till ett sämre utnyttjande av lagervoly-men. Vid för små röravstånd kommer lagret att bli nedfruset snabbt. Detta leder till att lagerkapaciteten blir mindre.

Av fig 3.3 framgår att vid de studerade köldbärar-temperaturerna  $-5$ ,  $-10$  och  $-15^\circ\text{C}$  kan en tjocklek på det frusna lagret kring rören av ca 1 m erhållas efter ca 1 års konstant nedfrysning. Detta indikerar att rören bör placeras på ca 2 m avstånd för att er-hålla ett effektivt utnyttjande av lagret. Det opti-mala röravståndet kan bestämmas med utgångspunkt från aktuella driftsförhållanden i lagret, främst då köld-bärartemperatur och laddnings/uttagstid.

I nedanstående exempel som har hämtats från avsnitt 3.3 belyses detta närmare. Efter 8 månaders nedfrys-ning vid en köldbärartemperatur av  $-10^\circ\text{C}$  har den frusna cylindern erhållit en tjocklek av 0.7 m vid  $R = 3.0$  m respektive 0.8 vid  $R = 2.0$  m, jfr fig 3.3. Frysandelen blir  $\pi \cdot 0.7^2 / \pi \cdot 3^2 = 0.054$  resp  $\pi \cdot 0.8^2 / \pi \cdot 2^2 = 0.16$ . Den största delen av akviferen inom lager-området är alltså ofrusen.

Genom att rören placeras tätare kan lagervoly-men ut-nyttjas bättre. De beräkningar som gjorts för  $R = 1.0$  m, vilket motsvarar ett  $c/c$ -avstånd av 1.77 m om rören placeras i ett kvadratisk rutnät, visar att hela akvifervoly-men blir fryst efter ca 5 månader vid en köldbärartemperatur av  $-15^\circ\text{C}$ , resp efter ca 8 månader vid en köldbärartemperatur av  $-10^\circ\text{C}$ , jfr fig 3.8.

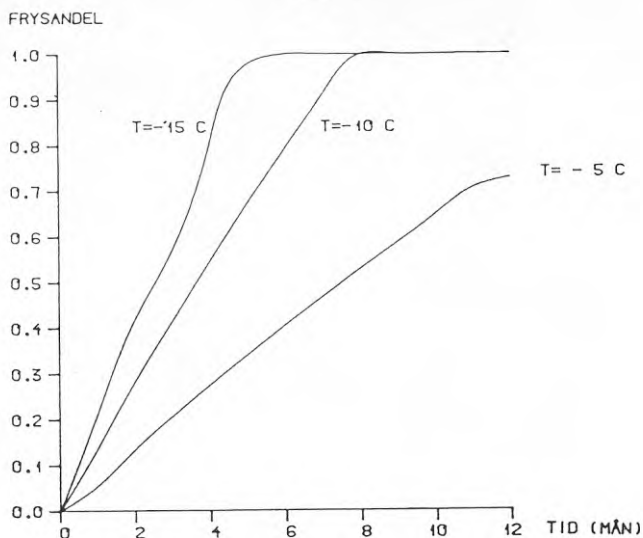


Fig 3.8 Andel nedfryst volym av total akvifervolym för  $R = 1$ , (motsvarar  $c/c = 1.77$  m) vid stillastående grundvatten och en begynnelsestemperatur av  $+8^{\circ}\text{C}$

Som visats är lagrets laddningstid av stor vikt då avståndet mellan rören bestäms. Beräkningarna indikerar preliminärt att röravståndet bör vara ca 2 å 3 m beroende på lagrets driftsförhållanden. Noteras bör dock att dessa beräkningar ej tar hänsyn till en eventuell grundvattenström, vilken kan ha stort inflytande på lagrets energibalans, jfr avsnitt 3.4.

### 3.6 Simulering av ett lagers funktion

Ett lager kan uppdelas i en inre zon och en yttre zon, se fig 3.9. Värmeupptagningsområdet för rören i den inre zonen bestäms av avståndet mellan rören.

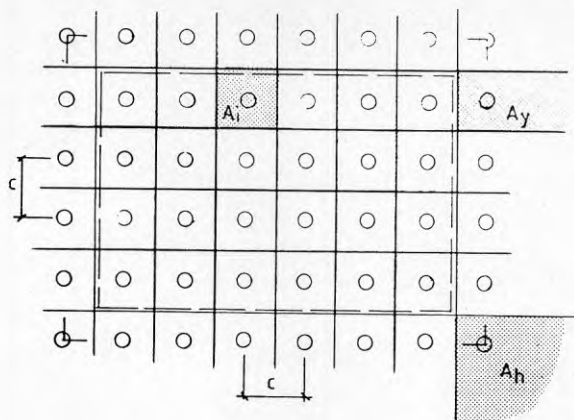


Fig 3.9 Värmeupptagningsområde för rör i lagrets yttre resp inre zon

Bredden på värmeupptagningsområdet för rören i den yttre zonen bestäms av avståndet mellan rören medan områdets längd är obegränsad. Då de olika värmeupptagningsareorna har beräknats kan respektive avstånd  $R$  till den yttre randen beräknas enligt avsnitt 3.5.

Lagerfunktionen kan approximativt simuleras genom summering av bidragen från alla rör i den inre resp yttre zonen i lagret samt från de 4 rör som finns i lagrets hörn, se fig 3.9. För ett lager kan då den inlagrade energin  $E_L$  tecknas som

$$E_L = E_{\text{inre rör}} + E_{\text{yttre rör}} + E_{\text{rör i hörnen}}$$

Antag att röravståndet är  $c$ . Låt  $e_c$  beteckna energibidraget från ett enstaka rör med värmeupptagningsradien  $c$  och  $e_\infty$  beteckna energibidraget från ett enstaka opåverkat rör. Följande uttryck kan då approximativt skrivas för hela lagret

$$E_{\text{inre}} \approx (m-2) * (n-2) * e_c$$

$$E_{\text{yttre}} \approx 2(m-2) + (n-2) \left( \frac{e_c}{2} + \frac{e_\infty}{2} \right) = m+n-4 (e_c + e_\infty)$$

$$E_{\text{hörn}} \approx 4 \left( \frac{e_c}{4} + \frac{3}{4} e_\infty \right) = e_c + 3 e_\infty$$

$E_L$  kan då skrivas som

$$E_L \approx (m*n-m-n+1)e_c + (m+n-1) e_\infty$$

Tre olika lager (lager 1, 2 och 3) har simulerats under två årscyklar. Under uppvärmningssäsongen, som i detta fall är 6 månader har köldbärartemperaturen

varit  $-10^{\circ}\text{C}$ . Under kylsäsongen, dvs under de resterande sex månaderna, har köldbärartemperaturen varit  $+10^{\circ}\text{C}$ . De uttagna kyl- och värmeenergimängderna blir vid dessa driftsförhållanden ej lika stora varför lagret successivt kyls ned, se tabell 3.2.

Tabell 3.2 Uttagna energimängder (MWh) från olika lager under två årscykler

	Lager 1		Lager 2		Lager 3	
	Kyla	Värme	Kyla	Värme	Kyla	Värme
År 1	66	116	121	210	191	331
År 2	64	110	117	199	185	31

De studerade lagren är kvadratiska och består av  $15 \times 15$ ,  $20 \times 20$  respektive  $25 \times 25$  rör av 20 m längd placerade med ett inbördes avstånd av 1.77 m. Lager-volymer för respektive lager blir då ca  $14\,000\text{ m}^3$ ,  $25\,000\text{ m}^3$  samt  $36\,000\text{ m}^3$ .

De uttagna kyl- och värmeeffekterna är högst i början av respektive uttagsperiod och minskar sedan successivt, jfr fig 3.10. Minskningen från månad 2 till månad 6 under respektive period är dock liten.

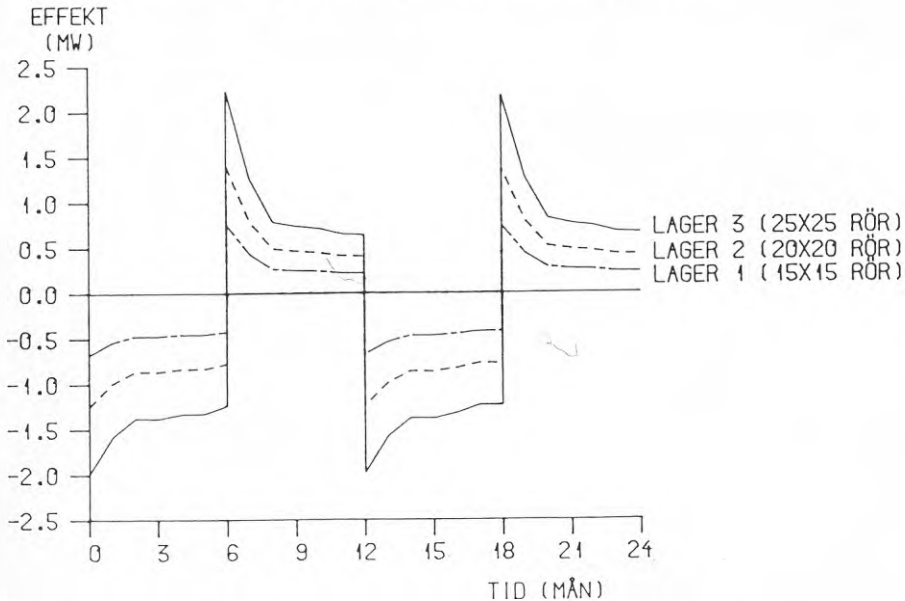


Fig 3.10 Kyl- och värmeeffekt för tre olika lager under två årscykler

## 4 INGENJÖRSCENTRUM ETAPP I

### 4.1 Läge och utformning

Byggnaden som har studerats är ett planerat kontorshus i Sollentuna norr om Stockholm. Huset ingår som en första etapp i ett större byggnadsprojekt under namnet Ingenjörscentrum. Hela projektet omfattar en utbyggnad av flera kontors- och hantverkshus på en total yta av ca 40 000 m<sup>2</sup>. Området ligger vid sjön Norrviken utmed väg E4 mellan Stockholm och Uppsala. Byggherre och förvaltare är Credoland AB.

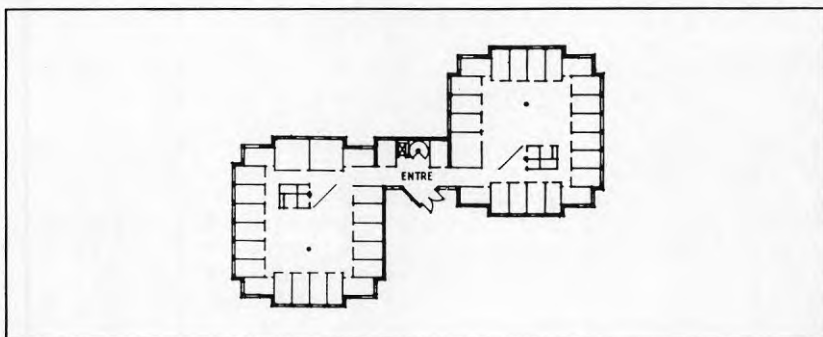


Fig 4.1 Byggnadens planlösning (förslag)

Den aktuella byggnaden utgör en första etapp i projektet och omfattar en total yta av 3400 m<sup>2</sup> varav ca 2000 m<sup>2</sup> kontorsyta. Byggnaden är utformad som ett ihopkopplat tvillinghus i fyra plan. Tänkta användare är kontors- och hantverksföretag. Tanken är att hyresgästen själv skall kunna styra planlösningen efter egna behov. Byggstart var ursprungligen tänkt till 1985 men förändrade förhållanden för kontorsbyggen i Stockholmsregionen har fördröjt igångsättningen.

### 4.2 Allmänna förutsättningar

Fastigheten skall utrustas med en klimatanläggning för kyla och värme.

I anslutning till det skisserade huset utbreder sig en grusås, Stockholmsåsen, som löper genom Stockholmsområdet i nord-sydlig riktning. Det är samma grusås som utnyttjas för det tidigare beskrivna akviferlagret vid SAS Frösundavik. Avståndet mellan det aktuella huset och grusåsen är ca 200 m. Byggherren äger ett outnyttjat markområde inom grusåsens förmodade utbredningsområde.

Kombinationen av ett kyl/värmebehov och närheten till ett lämpligt markområde gjorde objektet intressant för denna studie.

#### 4.3 Konkurrerande energilösningar

Förutom att isakvifersystemet måste vara tekniskt genomförbart skall det även ekonomiskt kunna konkurrera med andra uppvärmnings- och kylsystem. Dessutom skall det vara tillförlitligt och ej heller medföra allvarliga miljömässiga nackdelar eller risker.

Följande exempel på uppvärmningsalternativ för det aktuella huset är möjliga. Någon detaljerad analys eller jämförelse av de olika alternativens miljö- eller kostnadsmässiga för- och nackdelar är här ej möjlig.

**Fjärrvärme:** Fjärrvärmeledningar finns framdragna till Rotebro centrum 500 m från byggnaden. Preliminära planer finns att förlägga ledningar till utbyggnadsområdet. Det bör påpekas att energiverket kan tvinga fram ett utnyttjande av fjärrvärme för att byggnadslov skall beviljas. Något sådant beslut finns ännu inte för området. Fjärrvärme är det alternativ som bedöms vara mest realistiskt för området.

**Värmepanna:** För värmeproduktion med värmepanna är kanske gasol eller i framtiden naturgas den lämpligaste energikällan. Energiverket kan tvinga fram ett utnyttjande av gas. Olja kan användas som energikälla men är ur miljöhänseende och eventuellt kostnadsmässigt inte lika attraktivt. En elpanna som baslast är med hänsyn till dagens debatt om elutnyttjandet inte intressant.

**Värmepump:** En värmepump skulle t ex kunna utnyttja vatten och bottensedimentvärme från sjön Norrviken som värmekälla.

För kylförsörjningen krävs en kylmaskin för samtliga alternativ ovan, värmepumpsalternativet undantaget.

#### 4.4 Energibalans och effektbehov

I ett isakviferlager lagras omväxlande kyla och värme. Vid dimensionering av isakvifersystem är en studie av byggnadens energibalans och effektbehov nödvändig.

Då en värmepump med värmefaktor kring 2 utnyttjas fås det bästa förhållandet när byggnadens värmebehov är minst dubbelt så stort som kylbehovet.



För nedanstående beräkningar har dataprogrammet ENORM använts. Transmissionsberäkningarna baseras på ett tidigt arkitektunderlag varför en viss osäkerhet finns angående husets k-värden.

#### 4.4.1 Värme

Till byggnaden tillförd värmeenergi skall tillsammans med "gratisenergi" täcka värmeförluster från transmission, luftbehandling och varmvattenberedning. "Gratisenergin" fås genom förluster från processenergi, dvs belysning, maskiner, fläktar m m. Dessutom ger personer och solinstrålning ett värmetillskott. Värmeenergibehovet, varmvattenbehovet undantaget, uppträder huvudsakligen från oktober till april.

Tillförd värmeenergi	Transmission	168 MWh
	Ventilation	137 MWh
	Återvunnet	-87 MWh
	Varmvattenberedning	10 MWh
"Gratisenergi"	Processenergi	-48 MWh
	Solvärme	-32 MWh
	Personvärme	-12 MWh

Summeras detta blir det årliga värmebehovet 126 MWh (37 kWh/m<sup>2</sup>), vilket är ett normalt värde för ett nybyggt kontorshus.

För att dimensionera värmepump och topeffektkälla måste värmeeffektbehovet bestämmas.

Transmission	80 kW
Luftvärmebatteri	70 kW
Varmvattenberedning	2 kW

Värmeeffektbehovet är maximalt 152 kW, vilket uppträder vid lägsta vintertemperatur (-20°C). Under normal drift dras nytta av de effektförluster som sker från "gratisenergin". Exempelvis är effektbehovet ca 50 kW dagtid vid en utetemperatur på 0°C. Nattetid fås motsvarande effektbehov vid en temperatur på -5°C, vilket beror på att ventilationen då är avstängd. Dock måste 152 kW installeras fullt ut så att huset kan värmas under exempelvis en vintermorgon då ventilationen startar och inget gratistillskott fås.

Följande förutsättningar ligger till grund för beräkningen.

- Processenergi 20 W/m<sup>2</sup> på ytan 2000 m<sup>2</sup> under 1200 timmar/år.
- Närvaro av 100 personer à 100 W under 1200 timmar/år.
- Luftflöde 1.5 l/s m<sup>2</sup> under 1200 timmar per år.
- Luftbehandlingsystem utrustat med roterande värmeväxlare med 70 % energiåtervinning.

#### 4.4.2 Kyla

Kylenergin skall kompensera värmestillskottet från "gratisenergin" under kylsäsongen. Denna uppträder huvudsakligen under perioden maj till och med september. Under vissa tider av året kan ett kylbehov föreligga i en viss del av huset samtidigt som det finns ett värmebehov i andra delar av det.

Dimensionerande är att under normal drift skall temperaturen i lokalerna vara +22°C. Rumstemperaturer på upp till +25°C kan dock accepteras under extrema förhållanden. Med detta som utgångspunkt måste följande värmeöverskott kylas bort:

Processenergi	24 MWh
Solvärme	30 MWh
Personvärme	6 MWh

Det totala kylenergiebehovet är alltså 60 MWh (18 kWh/m<sup>2</sup>), eller ungefär lika med halva värmebehovet.

Kyleffektbehovet är maximalt 100 kW fördelat enligt:

Luftkylbatteri	80 kW
Kyltak, kylbafflar	20 kW

Det bör påpekas att det maximala behovet endast uppträder under perioder då utomhustemperaturen överstiger +27°C, vilket i själva verket är mycket korta tider. Med nattkyla, vilket bör utnyttjas, blir det maximala behovet lägre. Vid exempelvis en solig dag med utomhustemperaturer kring +20°C är effektbehovet ca 50 kW. Dock måste hela effektbehovet installeras eftersom det givetvis kan uppträda under speciella förhållanden.

Följande förutsättningar ligger till grund för beräkningen av kylan.

- Processenergi 20 W/m<sup>2</sup> på ytan 2000 m<sup>2</sup> under 600 timmar/år.
- Närvaro av 100 personer à 100 W under 600 timmar/år.
- Solinstrålning genom fönster med persienner.

- Luftflöde 1.5 l/s m<sup>2</sup> under 600 timmar.

Maximalt kan 1.5 l/s m<sup>2</sup> luft kylas från 27°C 50 % RF till +15°C. Dessutom förbereds för 5 kW kyla per plan för kyltak eller kylbafflar.

#### 4.5 Markförhållanden

##### 4.5.1 Allmänna förutsättningar

Den lämpligaste marktypen för anläggning av ett is-akvifersystem är en icke tjälskjutande jordart. I annat fall finns risk att vid frysning rörelser i marken kan påverka rörsystemet, med bristning och läckage som följd. Icke tjällyftande jordarter innehåller uteslutande sand, grus eller grövre material till skillnad från tjällyftande jordarter som främst består av silt eller lera. Detta är orsaken till att markkollektorn i detta fall förläggs i en grusås, som oftast i sina centrala delar uteslutande innehåller sand eller grövre material. Dessvärre är dock förekomsten av sand- och grusåsar begränsad.

Kan man visa att rörelse i marken inte har någon inverkan på rörsystemets täthet eller funktion finns även möjligheten att använda tjällyftande jordarter. Dessa marktyper är betydligt vanligare i samband med tätbebyggelse. Tillämpbarheten för isakviferkonceptet blir i så fall mycket större.

##### 4.5.2 Specifika förutsättningar

Markkollektorns tänkta placering ligger ca 150 m från huset. Området ligger alldeles vid E4:an och är idag sank ängsmark delvis täckt av buskage. En stor del av området mellan huset och E4:an utnyttjas idag för parkeringsändamål. Huset ligger något högre och är inpassat på en moränsluttning. En kulvertledning måste förläggas mellan markkollektorn och byggnaden. Kulvertledningen kommer att korsa två mindre tillfartsvägar.

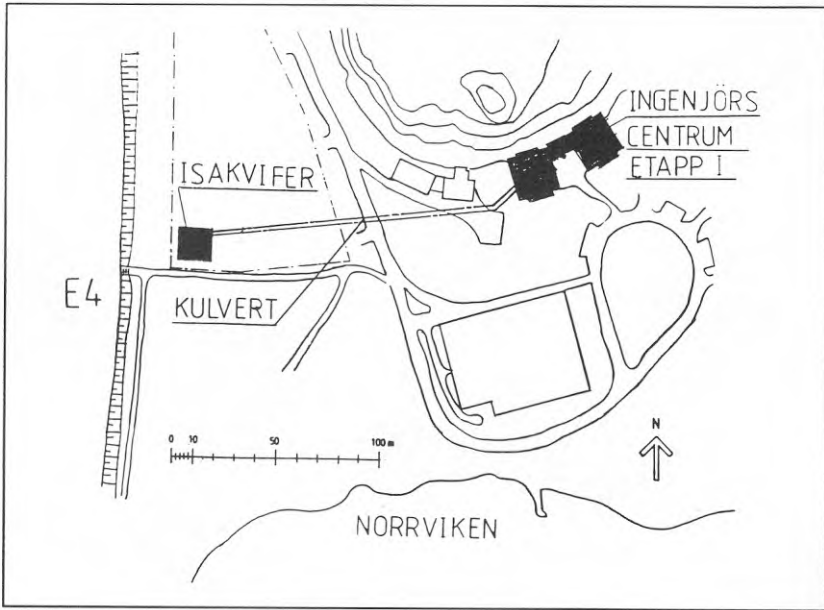


Fig 4.2 Översiktsbild

Tidigare geotekniska undersökningar har genomförts i närheten av den tänkta platsen för markkolektorn, några i samband med motorvägsbygget, andra i samband med förläggning av en större spillvattenledning. Undersökningarna uppvisar sand- och grusavlagringar i anslutning till motorvägen. Dessa prov visar dessutom ytliga lager av silt och lera. En tänkbar placering av isakviferlagret var ca 30 m från motorvägen eftersom det kunde antagas att grusmaterialet utsträckte sig mot detta område. För att verifiera detta utfördes en geoteknisk undersökning i form av viktsonderingar.

Totalt sonderades marken i tre punkter. De två sydliga sonderingarna visade 8 m lera på 7-7.5 m grovsilt och finsand, vilande på block eller berg. I leran finns stenblock som vid två tillfällen störde rördrivningen så att denna fick avbrytas. På ytan är leran av typ torrskorpelera.

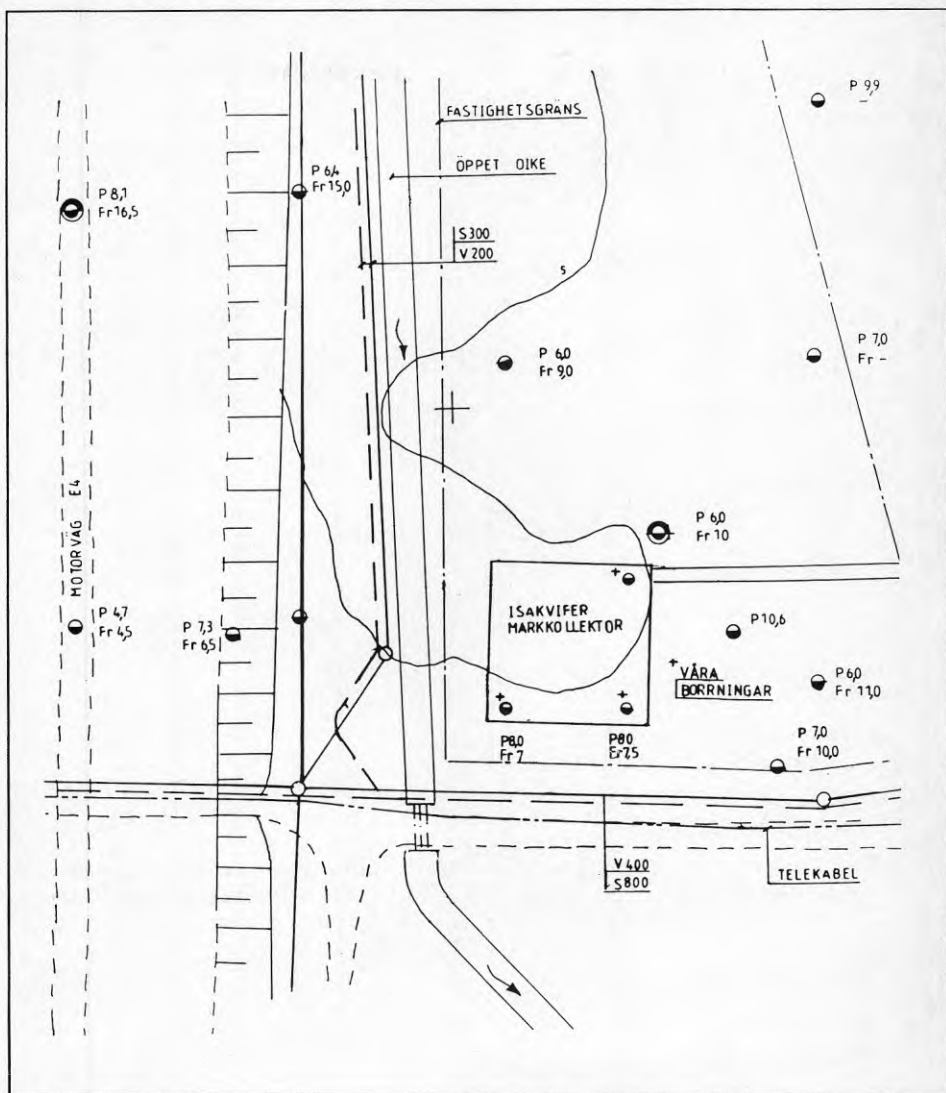


Fig 4.3 Geoteknisk översiktsbild

Grundvattenytan låg vid undersökningen 2-3 m under markytan. Vattnet steg mycket långsamt efter urblåsning av rören. Grundvattenytan styrs i huvudsak av nivåförändringar i sjön Norrviken, som ligger 130 m söder om undersökningsområdet.

Undersökningen visar att ett isakviferlager enligt tänkt placering medför problem i de översta 10 m av markvolymen på grund av tjälfarligt material. Om ett

isakviferlager utföres måste därför först utredas närmare hur stort område som påverkas av markrörelser och konsekvenserna därav. Markytan över markkollektorn bör också inhägnas eller byggas in.

Vid upptining av tjällinser i lerlagret kan vattenfyllda gropar bildas kring rören. Djupet på dessa gropar uppskattas kunna bli 0.5-1.0 m. Det kan antagas att gropbildning kring rören minskar efter ett antal fryscyklar på grund av att det vatten som fryses ut ur leran ej åter kan sugas upp av denna. På så vis erhåller leran en viss konsolidering genom frysen. Markuppfyllning kring rören för att kompensera den vattenvolym som tagits ut ur leran kan bli nödvändig.

## 5 DIMENSIONERING AV ISAKVIFERSYSTEMET

### 5.1 Systemlösning markkollector

Isakviferkonceptet består av ett distributionssystem, en energicentral och ett kollektorsystem. Kollektorsystemet utgör utgångspunkten för dimensioneringen av energicentralen och i viss mån även distributionssystemet.

#### 5.1.1 Avståndet mellan kollektorrören

I föregående studie simulerades ett antal förlopp där centrumavståndet mellan de vertikala kollektorrören och den utgående köldbärartemperaturen varierades, jfr kapitel 3. På så sätt kunde kyluttaget och ispåväxten runt rören studeras.

Målsättningen vid datasimuleringarna var att optimera avståndet mellan stålrören vid en bestämd köldbärartemperatur. Villkoret var att hela markkollectorn skulle vara genomfrusen efter en uppvärmningssäsong. Temperaturen på köldbärarvätskan har i detta fall bestämts till  $-10^{\circ}\text{C}$ . Vid ett centrumavstånd på 2 m blir markkollectorn helt genomfrusen efter 7 månaders drift. Detta förutsätter en akvifer med en porositet av 30 % och stålrör DN 50. Porositeten i åsmaterialet vid Ingenjörscentrum uppskattas till ca 30 %.

På motsvarande sätt har smältningsförloppet studerats. Vid en utgående köldbärartemperatur av  $+10^{\circ}\text{C}$  och ett centrumavstånd på 2 m sker upptining av markkollectorn helt på 3 månader, dvs under en normal kyla-säsong.

#### 5.1.2 Markkollectorns längd

Kollectorns längd dimensioneras utifrån storleken på husets värmeeffektbehov, vilket enligt tidigare är 152 kW.

För isakviferkonceptet utnyttjas en värmepump med en möjlig kompressoreffekt av 25 kW. Vid värmefaktor 2 blir levererad värmeeffekt 50 kW, eller 33% av behovet, varav 25 kW skall tas från markkollectorn. Värmepumpen kan kapacitetsregleras steglöst ner till 20% av sin topp-effekt. Den bedöms kunna leverera 100 MWh värme, varvid 50 MWh från markkollectorn vid en värmefaktor 2.

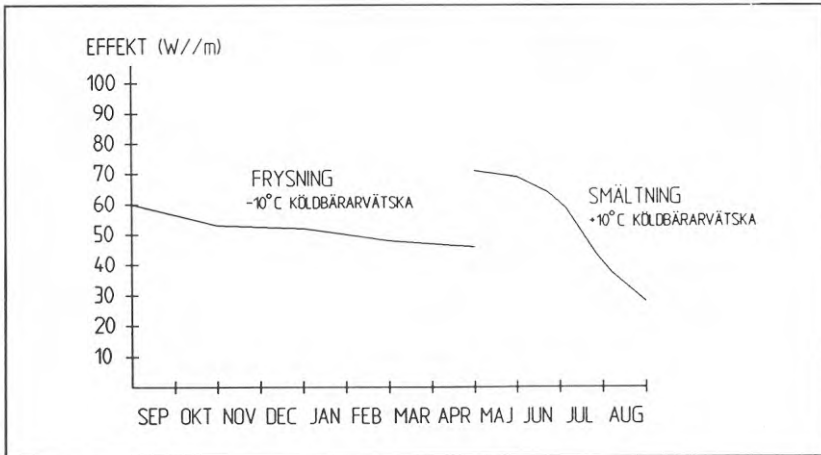


Fig 5.1 Effektuttagets variation vid centrumavståndet 2 m

Figuren ovan visar värmeeffektuttagets variation vid ovan beskrivna förhållanden. I början av uppvärmningsperioden är uttaget 60 W/m. Efter en drifttid av 6 månader har det sjunkit till 50 W/m. Som synes minskar inte effektuttaget nämnvärt med tiden. För att 25 kW skall kunna tas från lagret krävs en rör-längd av  $25000/50 = 500$  m.

Byggnaden har ett maximalt kyleffektbehov av 100 kW. Av figuren framgår att uttagseffekten är som störst under inledningen av uttagsperioden. Vid en köldbärartemperatur av +10°C är uttagseffekten efter 1 månad 65 W/m medan den efter 4 månader avtagit till 30 W/m. Anledningen till denna minskning är att det smälta vattnet som bildas runt rören försämrar kyluttaget.

Med 500 m kollektorlängd kan vi således i början av kylsäsongen ta ut 32 kW och i slutet 15 kW kyla direkt ur lagret, vilket motsvarar en täckningsgrad på 15-30% av kyleffektbehovet.

Minst 70 kW kyleffekt saknas således, varför värmepumpen också måste utnyttjas som kylmaskin när stora kylbehov föreligger.



## 5.2 Värme-/kyldistributionssystem

För byggnadens uppvärmning installeras ett vattenburet radiatorssystem, dimensionerat för maximal fram/returtemperatur +45/30°C. Värme distribueras även till luftvärmebatteriet med temperaturkravet +45/30°C. Varmvattenförbrukningen är liten i kontorshuset, temperaturkravet är +50°C. Systemet kan således karakteriseras som ett lågtemperatursystem med en relativt hög temperaturdifferens. Orsaken till denna strategi är att returtemperaturen och därmed värmepumpens kondenseringstemperatur blir lägre, vilket ger en bättre värmefaktor.

Den konventionella metoden att kyla en byggnad är att tillföra nedkyld luft via ventilationssystemet. Denna metod utnyttjas även för det aktuella huset. Som lägst tillförs +17°C luft till lokalerna. Kravet på köldbäraren till luftkylbatteriet är +7°C.

Som komplement, i lokaler med extra kylbehov, kan kyltak eller kylbafflar installeras. Extrakylan distribueras till de olika användarna i ett rörsystem med temperaturkravet +13°C.

## 5.3 Energicentralen

Energicentralens uppgift är att förse byggnaden med värme och kyla vid de ovan beskrivna temperatur- och effektkraven. Det dimensionerande värmeeffektbehovet är följaktligen 152 kW/+45°C och värmeenergibehovet 126 MWh. Kyleffektkravet är 100 kW/+7°C och kylenergibehovet är 60 MWh.

Tidigare resonemang redovisar att värmepumpen skall ge 50 kW/100 MWh värme. En toppeffektvärmekälla i form av en elpanna tillgodoser resterande behov. Naturligtvis kan även andra typer av spetsvärmekällor komma ifråga, exempelvis fjärrvärme. Vi har dock valt en elpanna eftersom installationskostnaderna för denna är lägre.

På sommaren levererar markkollektorn 32-15 kW kyla. Kylmaskinen bidrar med resten. Kylmaskinen styrs så att det alltid är möjligt att upprätthålla en utgående temperatur av +7°C.

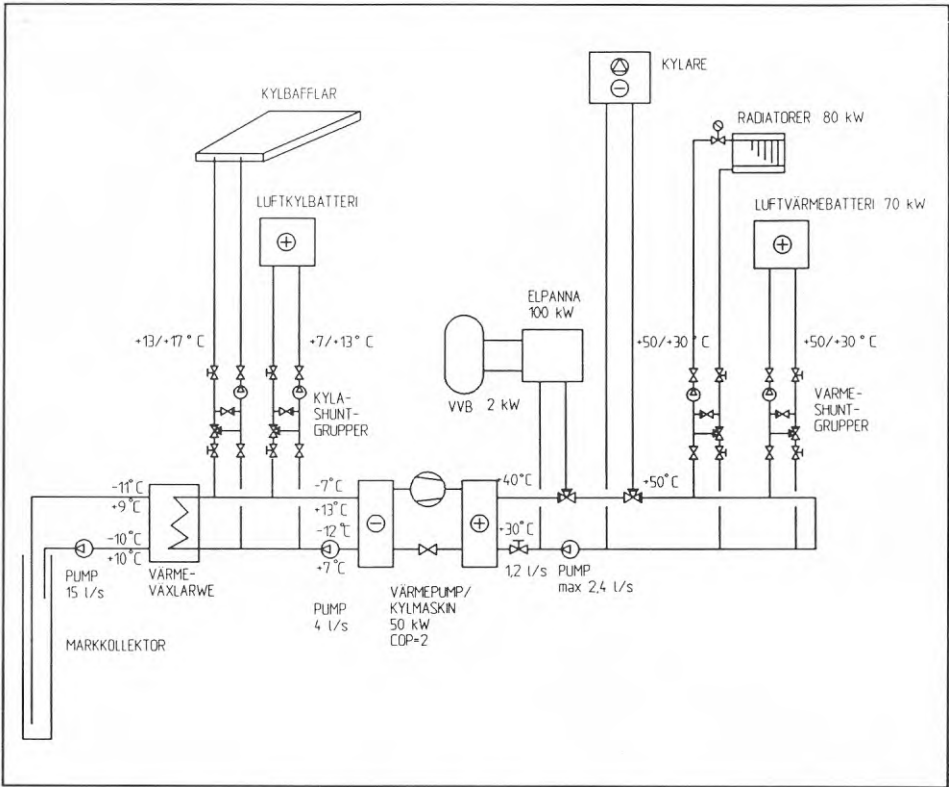


Fig 5.2 Energicentralen vinterdrift

#### 5.4 Driftstrategi

##### Vinter

Värmepumpens framlednings/returtemperatur är +40/30°C och kondenseringstemperaturen är ca +45°C. Värmevattenflödet injusteras så att halva mängden, 1,2 l/s, går igenom värmepumpen och resterande mängd genom spetslasten. När effektbehovet är över 50 kW späder elpannan in varmvatten på framledningen så att +45°C vatten kan fås. Utgående temperatur från elpannan är maximalt 50°C. Spetspannan kommer att vara i drift främst under de kallaste perioderna av året och levererad energimängd från elpannan uppskattas till 26 MWh. Dess topp effekt är 100 kW. Elpannan kommer även att tillgodose varmvattenbehovet.

En utgående köldbärartemperatur av -12°C lämnar värmepumpen och transporteras via värmväxlaren ut i kollektorsystemet. I värmväxlaren är temperatur-

fallet  $5^{\circ}\text{C}$  vid flödet  $1.2\text{ l/s}$  och uttagseffekten  $25\text{ kW}$ . Returtemperaturen tillbaka till värmepumpen blir således  $-7^{\circ}\text{C}$ . Normalt sett finns inget kylbehov i byggnaden på vintern och kylshuntgrupperna är stängda. Förångningstemperaturen är ca  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Vid en kondenseringstemperatur av  $+45^{\circ}\text{C}$  och förångningstemperatur av  $-15^{\circ}\text{C}$  får de flesta värmepumpar en värmefaktor av ca 2.

Flödet i markkollektorsystemet är  $3\text{ l/s}$  och temperaturfallet  $2^{\circ}\text{C}$  vid  $25\text{ kW}$  värmeuttag. Eftersom ledningen till markkollektorn är isolerad sker det största temperaturfallet i de i marken nedslagna rören. Det nedfrysta området i marken växer och efter ca 6 mån är området mellan rören helt nedfryst.

Ett alternativ till kylförsöjning från värmepumpen är kylning via ett lufbatteri placerat i tilluftsintaget. Förutsättningen för detta uttag är att uteluftstemperaturen understiger  $-15^{\circ}\text{C}$ . Drifttiden på denna installation blir relativt kort eftersom tider med utomhustemperaturer under  $-15^{\circ}\text{C}$  är relativt sällsynta.

### Sommar

I början av kyla-säsongen, när kylbehovet är mycket litet eller inget alls, recirkulerar köldbärarvätska med en temperatur av ca  $-5^{\circ}\text{C}$  i det sekundära och primära köldbärarsystemet. Så fort det föreligger ett behov i anläggningen uppstår en differens-temperatur över kylshuntarna och kyluttag sker i markkollektorn.

Upp till  $30\text{ kW}$  är temperaturfallet i primärkretsen max  $6^{\circ}\text{C}$  vid  $1.2\text{ l/s}$  flöde. Returtemperaturen från kylshuntarna blir då  $+13^{\circ}\text{C}$ . Så fort denna returtemperatur överskrids måste kylmaskinen gå in och spetskyla. Skall temperaturfallet  $6^{\circ}\text{C}$  bibehållas i primärkretsen vid en ökad effekt måste flödet ökas. Primärpumpen kan således steglöst uppvarvas till maximalt  $4\text{ l/s}$ .

Vid kyl-drift ändras värmepumpens förångningstemperatur från  $-15^{\circ}\text{C}$  till  $+2^{\circ}\text{C}$ . Kondenseringstemperaturen är fortfarande  $+45^{\circ}\text{C}$ . Värmefaktorn eller köldfaktorn uppnår värdet 3 och ur maskinen kan fås maximalt  $75\text{ kW}$  kyla.

En fläktkylare placerad på taket kyler bort den värmemängd som utvecklas på kylmaskinens kondensorsida. Den utvecklade värmeeffekten är  $130\text{ kW}$ .

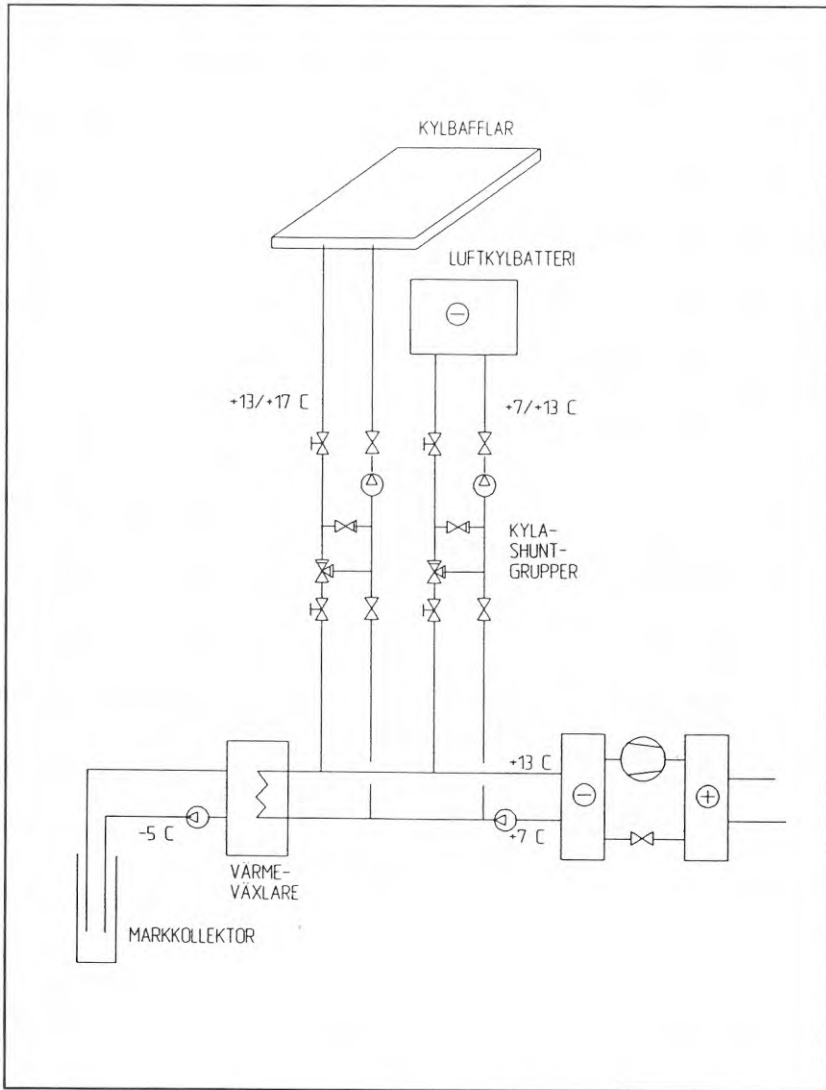


Fig 5.3 Energicentralen sommart drift

## 5.5 Markkolektorn

### 5.5.1 Generella krav

Följande krav ställs på markkolektorsystemet. Det måste vara tätt så att ingen köldbärarvätska kan läcka ut. Dessutom måste det vara enkelt och billigt att installera. Vidare får energi/temperaturförlusterna inte bli för stora, dvs markkolektorn måste ha goda värmeöverföringsegenskaper.

### 5.5.2 Täthet

Läckage av köldbärarvätska till omgivande mark och grundvatten måste undvikas. Alla köldbärarvätskor är mer eller mindre miljöfarliga. Speciellt måste detta beaktas i närheten av dricksvattentäkter. En reservvattentäkt för Sollentuna kommun finns inom samma akvifer på ett avstånd av 300 m. Det hydrauliska sambandet mellan dessa två volymer bedöms vara gott.

Köldbärarvätskevolymen i detta system är ca 6 m<sup>3</sup>. Den största risken för läckage är i skarvar och kopplingsdelar, som därför måste vara täta. Risk för korrosion måste förebyggas genom t ex katodiskt skydd och lämpligt materialval.

Rören som slås ner i marken är av stål medan övriga delar är av plast. Förutom att utläckage av köldbärarvätska måste förebyggas skall även syre förhindras från att tränga in i rörsystemet, då det medför en ökad risk för korrosion av stålroren. Korrosionsförhindrande vätska, s k inhibitorer, skall tillsätas köldbärarvätskan.

Täthetskravet måste uppfyllas under hela installationens kalkylerade brukstid, dvs ca 15 år.

Anläggningen skall vara försedd med en lågtryckspresostat kopplad till köldbärarpumpen, så att denna stannar vid läckage. Ett larm skall dessutom kopplas till pumpen. Vid larm skall hela köldbärarsystemet enkelt kunna tömmas på köldbärarvätska, ned i en tank. Anläggningen måste dessutom innehålla erforderliga avluftningsanordningar.

Innan anläggningen tas i bruk skall slangar inklusive kopplingar täthetsprovats. Täthetsprovning sker med rent vatten vid ett tryck av 400 kPa. Systemet pumpas därvid upp till aktuellt provtryck. Efter 15 min kontrolleras om trycket har sjunkit. Om så är fallet pumpas trycket åter upp till aktuellt provtryck. Detta förfarande upprepas tills trycket hålls konstant under 15 min. Det sista provtrycket skall hålla en timme utan att sjunka.

### 5.5.3 Köldbärrätskan

Vid val av köldbärrätska bör hänsyn i första hand tas till miljön. Fysikaliska egenskaper och ekonomiska aspekter har lägre prioritet. Den köldbärrätska som bedömts vara miljövänligast består av en blandning av etanol (30 %) och vatten (70 %). Fryspunkten för denna blandning är  $-20^{\circ}\text{C}$ . Med avseende på övriga fysikaliska egenskaper är blandningen likvärdig med de mer använda propylenglykol och etylenglykol. För att motverka korrosion görs en tillsats av 0.4 % natriumnitrit. Kostnaden för koncentrerad etanol är ca 5 kr/l (1988). I systemet behöver vi totalt  $2\text{ m}^3$  till en kostnad av 10 000 kr.

### 5.5.4 Isolering

På vintern eftersträvas frysning av marken, koncentrerat till markkolektorn. Detta för att erhålla en så stor kyleffekt som möjligt på sommaren. Temperaturförlusterna i rörledningarna mellan värmepump och markkolektor måste därför minimeras. Dessa ledningar isoleras med ett 60 mm tjockt polyuretanlager. Temperaturförlusterna från rören blir  $1.2^{\circ}\text{C}$  på en sträcka av 300 m vid temperaturdifferensen  $20^{\circ}\text{C}$ . PUR-isoleringen är inte vattenupptagande. Ett mantelrör i PEH skyddar isoleringen.

För att minska markkolektorns temperaturförluster isoleras denna med ett 1 m tjockt lager Lecaklinker, som läggs på markytan.

### 5.5.5 Kollektorutformning

Den dimensionerade kollektorlängden är 500 m. Eftersom jorddjupet på platsen är 15 m erfordras minst  $500/15 = 33$  st rör. Genom att välja 36 rör kan dessa placeras i ett kvadratisk rutmönster med  $6 \times 6$ , i princip enligt figur 5.3. Med centrumavståndet 2 m mellan brunnarna blir den totala markkolektorvolymen  $2100\text{ m}^3$  ( $12 \times 12 \times 15\text{m}$ ).

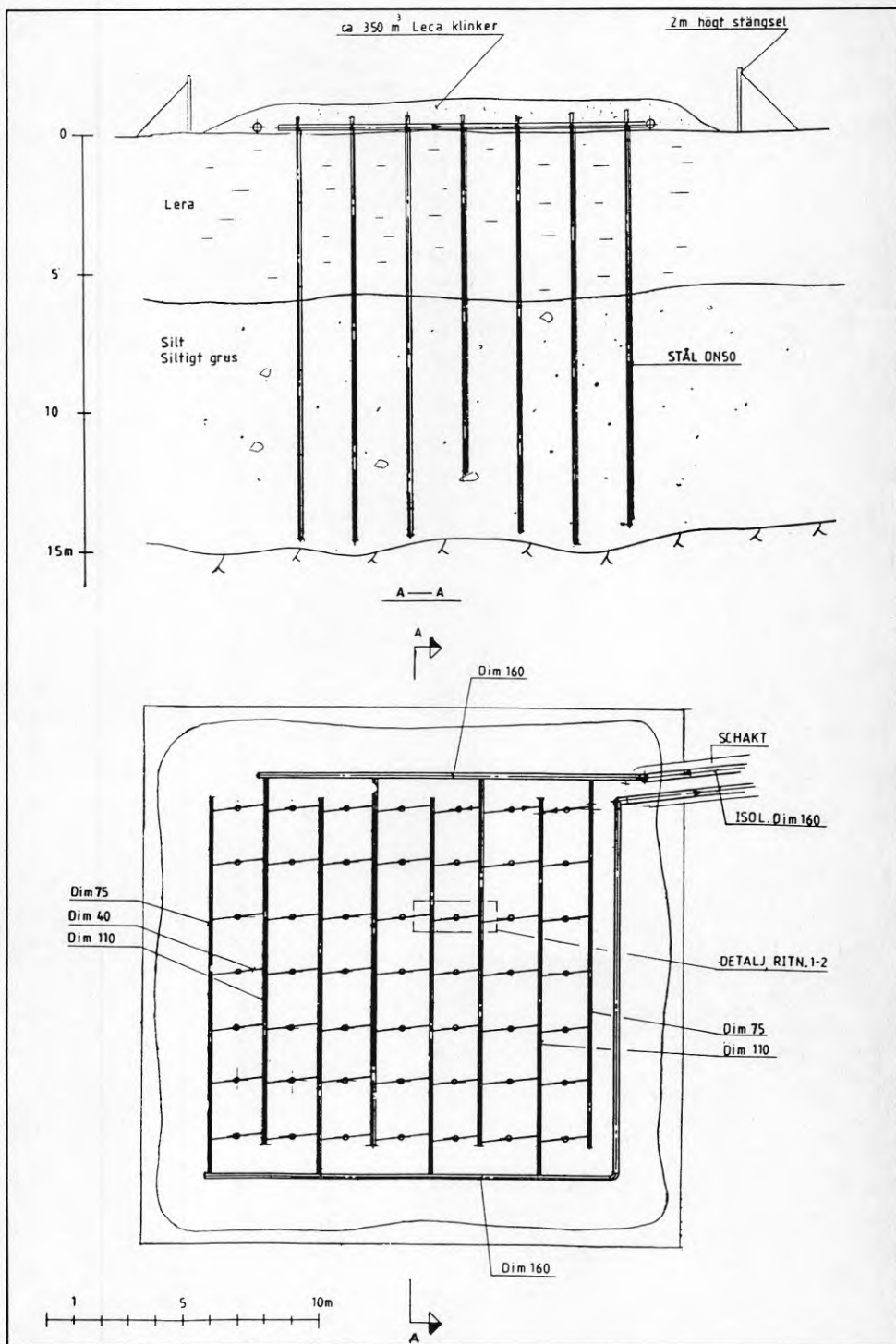


Fig 5.3 Principutförning av markkolektorn

## 5.6 Uppbyggnad

Som tidigare beskrivits består systemet av en stamledning, fördelningsledningar och kollektorrör.

Stamledningen består av PEH-rör PN6, dimension 160, med isolerande PUR-skikt. Fördelningsledningarna är av samma rörmaterial och har dimension 110, förutom de två yttersta som har dimension 75.

Kollektorrören består av stålrör DN 50 enl SMS 327. Inne i varje stålrör löper ett PEM-rör med dimension 40. Köldbärarvätskan transporteras ned i PEM-slangen och stiger upp i utrymmet mellan slang och stålrör. Toppdelen består av på marknaden befintliga delar, vilket bidrar till att hålla kostnaderna nere.



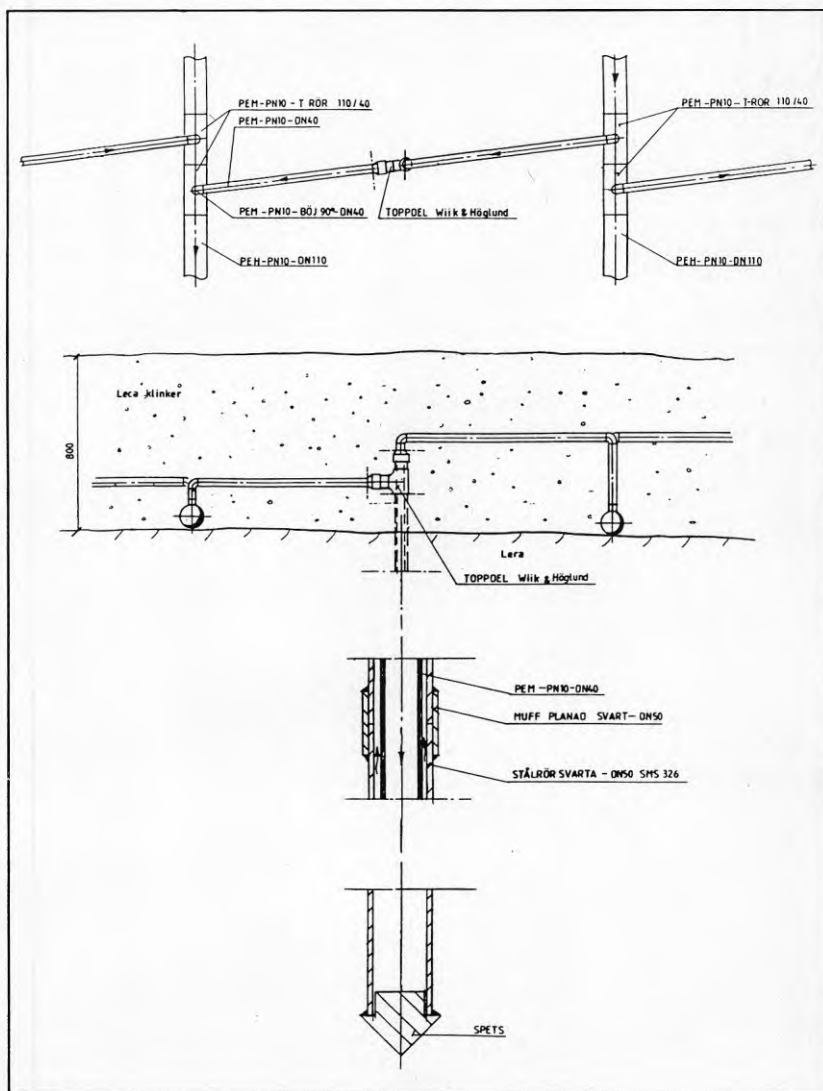


Fig 5.4 Markkolektorns utformning, detaljer

## 5.7 Installation

Ett 150 m långt och 1.5 m djupt schakt grävs till markkolektorområdet. I schaktet placeras stamledningen på en grusbädd och övertäcks med sand. Schaktning utförs mestadels i lera. Där ledningarna passerar tillfartsvägar tilläggsisoleras rören under vägen.

Elementlängder för stam och fördelningsledning är 12 eller 6 m. Ledningar i dimension 160, 110 och 75 skarvas med stumsvetsning. Dimension 40 skarvas med elsvetsmuffar.

Till största möjliga del kommer plaströren att vara färdigtillverkade i fabrik. Härmed förbättras mon-  
taget och kostnaderna hålls nere.

I högpunkter förses rördelarna med avluftningsanord-  
ningar.

Stålrörens skarvar svetsas och bottendelen förses med  
en spetsdel.

Konventionell rörborrningsutrustning används vid ned-  
drivning av stålrören. Mellan varje 6 m längd muffas  
rören.

## 6. EKONOMI

### 6.1 Förutsättningar

För energiberäkningarna har följande förutsättningar antagits:

Energibehov:	
Värme	126 MWh
Kyla	60 MWh

Energipriser inkl. abonnemangsavgift:	
El, sommar	0.40 kr/kWh
El, vinter	0.50 kr/kWh
Fjärrvärme	0.30 kr/kWh

### 6.2 Anläggningskostnader

Anläggningskostnaderna för **isakvifersystemet** består huvudsakligen av kostnader för markkollektorn inklusive ledningar, teknisk utrustning och installationer.

Kostnaden fördelas enligt följande. Priserna har angivits i 1988 års prisnivå.

Markkollektor:			
Toppdel	36 st	à 265 kr	10 kkr
Komplett fördelningsledning			50 kkr
Montage plaströr			100 kkr
Stålrör mtrl+arb	500 m	à 165 kr/m	80 kkr
Köldbärarvätska	2 m <sup>3</sup>	à 5000 kr/m <sup>3</sup>	10 kkr
Leca	230 m <sup>3</sup>	à 270 kr	45 kkr
Stängsel 40 m			15 kkr

Anslutningsledningar:			
Komplett stamledning	300 m		100 kkr
Schaktgrav	150 m	à 800 kr	120 kkr

Installationer:			
Installationer i undercentral			25 kkr
Kylmaskin/värmepump			150 kkr
Elpanna			40 kkr

**Summa: 745 kkr**

Ovan framgår att kostnaden för ledningen till markkollektorn (100+120 kkr) utgör nästan en tredjedel av totalkostnaden.

Anläggningskostnaderna för ett **konventionellt system** med fjärrvärme och kylmaskiner är följande:

Anslutningsavgift fjärrvärme	50 kkr
Installationer i undercentral	25 kkr
Kylmaskin med fläktkylare	200 kkr
<b>Summa:</b>	<b>275 kkr</b>

### 6.3 Energikostnader, isakvifersystemet

Med isakvifersystemet kan 100 MWh värme produceras med en värmepump med värmefaktor 2. Resterande 26 MWh måste tillföras via elpannan under vintern.

Genom direkt kyluttag från lagret (tillsats av el fordras endast till cirkulationspumparna) kan 35 MWh kyla erhållas. Resterande kylmängd, 25 MWh, produceras med kylmaskinen vid kylfaktor 3.

Energikostnaderna har beräknats nedan.

Värme:		
Värmepump	$100/2 \cdot 0.4 =$	20 kkr
Elpanna	$26 \cdot 0.5 =$	13 kkr
Kyla:		
Direktuttag		0 kkr
Kylmaskin	$25/3 \cdot 0.4 =$	3 kkr
<b>Summa:</b>		<b>36 kkr</b>

### 6.4 Energikostnader etc, konventionellt system

Med ett konventionellt system köps all värme från fjärrvärmenätet medan kylbehovet täcks av eldrivna kylmaskiner med fläktkylare, vilka kan antagas ha en kylfaktor 3. Energikostnaden, inklusive abonnemangsavgiften för fjärrvärme, för ett sådant system har beräknats nedan.

Värme:		
	$126 \cdot 0.30 =$	38 kkr
Kyla:		
vinter (20%)	$60 \cdot 0.20 / 3 \cdot 0.50 =$	2 kkr
sommar (80%)	$60 \cdot 0.80 / 3 \cdot 0.40 =$	6 kkr
<b>Summa:</b>		<b>46 kkr</b>

## 6.5 Kostnadsjämförelse

Isakvifersystemet ger en årlig besparing av energikostnaderna med  $46-36=10$  kkr. Denna besparing skall vägas mot den ökade investeringen, 470 kkr. Resultatet blir att lönsamhet inte kan uppnås ens på lång sikt.

Ungefär en tredjedel av den totala investeringskostnaden för isakvifersystemet utgörs av stamledningen mellan markkolektorn och energicentralen. Lönsamhetsbilden skulle kunna förbättras avsevärt om markkolektorn kunde förläggas närmare energicentralen eftersom kostnaden för stamledningen är proportionell mot ledningslängden.

Ledningskostnaderna beror mer av ledningslängden än av ledningsdimensionen, vilket medför att ett större system blir förhållandevis billigare att anlägga, samtidigt som energibesparingarna blir större. Detta talar för att en viss minsta storlek på systemet krävs för att en rimlig pay-off tid skall kunna uppnås.

## 7. SLUTSATSER

Isakvifersystemet är idag inte ekonomiskt konkurrenskraftigt jämfört med konventionella system. Konceptet är dock tekniskt möjligt och eftersom det har en viss generalitet bör det utvecklas vidare.

I ett längre perspektiv med ökade energipriser kan den nuvarande kostnadsbilden ändras till förmån för mer investeringsintensiva energilösningar. Med detta i åtanke kan isakvifersystemet bli intressant på sikt. Genom reduktion av stamledningens längd samt billigare utformning av markkollektorn skulle investeringskostnaderna dessutom kunna hållas nere.

Miljömässigt innebär system med köldbärarvätska i mark alltid risker, jämför t ex ytjordvärme- och bergvärmeanläggningar. Köldbärarvätskan bör därför väljas då att effekterna vid ett eventuellt läckage blir små. Systemet bör även vidareutvecklas så att volymen köldbärarvätska kan minimeras.

8 REFERENSER

- 1 Claesson J et al  
Markvärme, en handbok om termiska analyser;  
BFR T16:1985
- 2 Möller Å et al  
Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet  
Örebro 80;  
SGU ser Ag nr 5, s 32









R59 : 1991

ISBN 91-540-5392-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6811059

Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirkapris: 48 kr exkl moms