



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

R28:1986

Akvifervärmelager för Färsinga- skolan i Sjöbo

Förstudie

Johan Landberg m fl

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	ser

K/A

Byggeforskningsrådet

R28:1986

AKVIFERVÄRMELAGER FÖR FÄRSINGASKOLAN I SJÖBO
Förstudie

Johan Landberg m fl

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
831140-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till Sjöbo kommun, Tekniska nämnden.

REFERAT

Projektet avsåg att klarlägga möjligheterna att lagra sommaruppvärmt ytvatten från en grund damm i ett avslutande grundvattenmagasin. Lagringsfunktionen uppnås i detta fall genom en kraftig rundpumpning av grundvatten sommartid från grundvattenmagasin ut i dammen. Härigenom induceras en infiltration av dammens vatten in i grundvattenmagasinet där temperaturen höjs några grader. Den tillförda energin kan sedan utnyttjas som värmekälla för en värmepump.

Projektet är att betrakta som en generell förstudie i vilken de teoretiska förutsättningarna studeras, bl a i matematiska modeller.

För att erhålla ett verklighetsknutet underlag för beräkningar och metodstudier har projektet knutits till ett praktiskt objekt, Färsingaskolan. Skolan, som är belägen i Sjöbo kommun i södra Skåne, har ett effektbehov på ca 900kW och en nuvarande oljeförbrukning på ca 200 m³/år.

Resultatet av undersökningarna visar att förutsättningarna för att praktiskt utnyttja den ovan redovisade lagringstekniken sannorlikt är goda. Pay-off-tiden för en värmepumpsanläggning utnyttjande lagret har beräknas till ca 4 år

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

R28:1986

ISBN 91-540-4521-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

INNEHÅLL

sid

FÖRORD

1.	BAKGRUND	1
2.	PROJEKTETS MÅLSÄTTNING OCH GENOMFÖRANDE	3
2.1	Målsättning	3
2.2	Utförda undersökningar	3
3.	FÄRSINGASKOLAN	5
3.1	Nuvarande uppvärmningssystem	5
3.2	Energi- och effektbehov	7
3.3	Förutsättningar för inkoppling av värmepump	8
3.4	Simulering av olika uppvärmningssystem	9
3.4.1	Befintligt system	9
3.4.2	Minskning av primärvattenflödet	9
3.4.3	Primärvattentemperaturen varierar under året	9
3.4.4	Minskning av luftflödena genom luftbatterierna	10
3.5	Sammanfattning och rekommendation	12
4.	GEOLOGISK ÖVERSIKT ÖVER CENTRALA SJÖBO	12
5.	GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN	14
5.1	Grundvattenmagasinet	14
5.2	Nederbörd och avdunstning	15
5.3	Grundvattennivåer	15
5.4	Möjligheter till grundvattenuttag	17
5.5	Grundvattenflöden	19

6.	MÖLLERS MOSSE	20
6.1	Bildningsbetingelser	20
6.2	Djupförhållanden	21
6.3	Till- och utflöden från dammen	23
6.4	Luft- och ytvattentemperatur	24
6.5	Sedimenttemperaturer	25
7.	TERMOHYDRAULISKA MODELLBERÄKNINGAR	27
7.1	Dammen	27
7.1.1	Sommarhalvåret	27
7.1.2	Vinterhalvåret	29
7.2	Grundvattenmagasinet	29
7.2.1	Underlag för modellen	30
7.2.2	Sammanfattning av modellstudier	30
8.	FÖRSLAG TILL SYSTEMLÖSNING	31
8.1	Värmekällan	31
8.2	Värmepumpsystemet	32
8.3	Energibetraktelse	33
9.	KOSTNADER FÖR VÄRMELAGRINGSSYSTEMET	35
9.1	Investeringar	36
9.2	Kostnader	36
9.2.1	Kapitalkostnader	36
9.2.2	Energikostnader	36
9.2.3	Drift- och underhållskostnader	37
9.2.4	Sammanlagd årskostnad	37
9.2.5	Pay-off tid	37
10.	SAMMANFATTNING	38
	REFERENSER	41

BILAGOR

A	Optimering av värmepump i Färsingaskolans uppvärmningssystem	42
B	Värmebalans i dammen under vintern	53
C	Termohydraulisk förstudie	58

FÖRORD

Föreliggande rapport avser att klarlägga möjligheterna att lagra sommaruppvärmt ytvatten från en grunddamm i ett anslutande grundvattenmagasin. Lagringsfunktionerna uppnås genom en kraftig rundpumpning av grundvatten sommartid från grundvattenmagasinet ut i dammen. Härigenom induceras en infiltration av dammens vatten in i grundvattenmagasinet där temperaturen höjs några grader. Den tillförda energin kan sedan utnyttjas som värmekälla för en värmepump.

Den i det följande redovisade förstudien har knutits till ett praktiskt fall, Färsingaskolan i Sjöbo kommun, men de i rapporten redovisade resultaten och slutsatserna är i många fall att betrakta som generella.

Huvudman för projektet har varit Sjöbo kommun, där Gatuchef Kjell Axelsson och tekniska nämndens ordförande Sjunne Björk varit projektets drivkrafter.

Rapporten har sammanställts av en projektgrupp vid VIAKs Malmökontor under ledning av fil dr Olof Andersson och tekn dr Johan Landberg. Fil kand Mats Hebrand har svarat för den geologiska beskrivningen av området, medan civ ing Ulf Linder har stått för de delar som handlar om Färsingaskolans uppvärmningssystem och förslaget till installation av värmepump. De hydrologiska fältstudierna har letts av fil kand Vladimir Vanek.

Beräkningarna avseende energibalansen i dammen har utförts av tekn dr Torbjörn Svensson vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola.

De termohydrauliska modellberäkningarna som beskriver
akviferlagrets uppträdande har utförts vid institu-
tionen för matematisk fysik vid Lunds universitet av
fil dr Johan Claesson och civ ing Johan Bennet.

Malmö i februari 1985

Johan Landberg

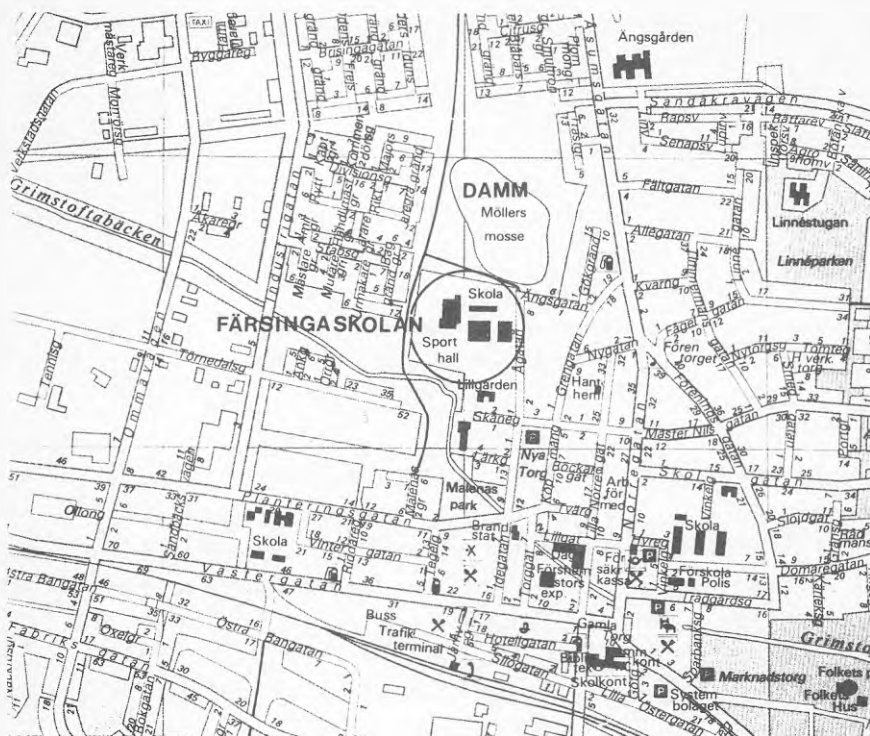
AKVIFERVÄRMELAGER FÖR FÄRSINGASKOLAN I SJÖBO - FÖRSTUDIE

1. BAKGRUND

Sjöbo tätort är belägen i den s k Vombsänkan i södra Skåne. Tätorten baserar sin vattenförsörjning på grundvatten och de hydrogeologiska förutsättningarna för grundvattenuttag ur jordlagren är flerstädes inom tätorten mycket goda.

Tätorten har för dagen inget centralt fjärrvärmenät men det har i olika sammanhang klart uttalats att man helst skulle se en utbyggnad med värmesystem i mindre skala, där energiförsörjningen baseras på lokala energikällor och där så är möjligt i kombination med värmepumpar.

Färsingaskolan är belägen centralt i tätorten i nära anslutning till en grund damm, Möllers mosse, med ett största djup av ca 1,8 m och en yta av ca 25 000 m², se figur 1.



Figur 1 De centrala delarna av Sjöbo tätort med Färsingaskolan - Översiktskarta

Skolans nuvarande energiförbrukning uppgår till i storleksordningen 200 m^3 olja per år, vilket motsvarar ca $1\,500 \text{ MWh/år}$. I avsikt att söka minska skolans oljeförbrukning har möjligheterna att utnyttja Möllers mosse och grundvattenmagasinet i anslutning till denna som värmekälla för en värmepumpsanläggning undersökts. Speciellt har möjligheterna att lagra uppvärmt vatten från dammen under sommarhalvåret i grundvattenmagasinet studerats.

Flera olika systemlösningar för lagring och utvinning av värme är i sammanhanget tänkbara. Således kan det uppvärmda

vattnet från dammen t ex föras in i grundvattenmagasinet direkt via infiltrationsbrunnar eller via en inducerad infiltration från dammen. För att klarlägga hur ett värme-lager lämpligast bör utformas och utnyttjas med hänsyn till de lokala förutsättningarna, har fältstudier utförts rörande bl a dammens hydrologi, dess hydrauliska samband med grundvattenmagasinet samt temperaturförhållandena i och omkring dammen.

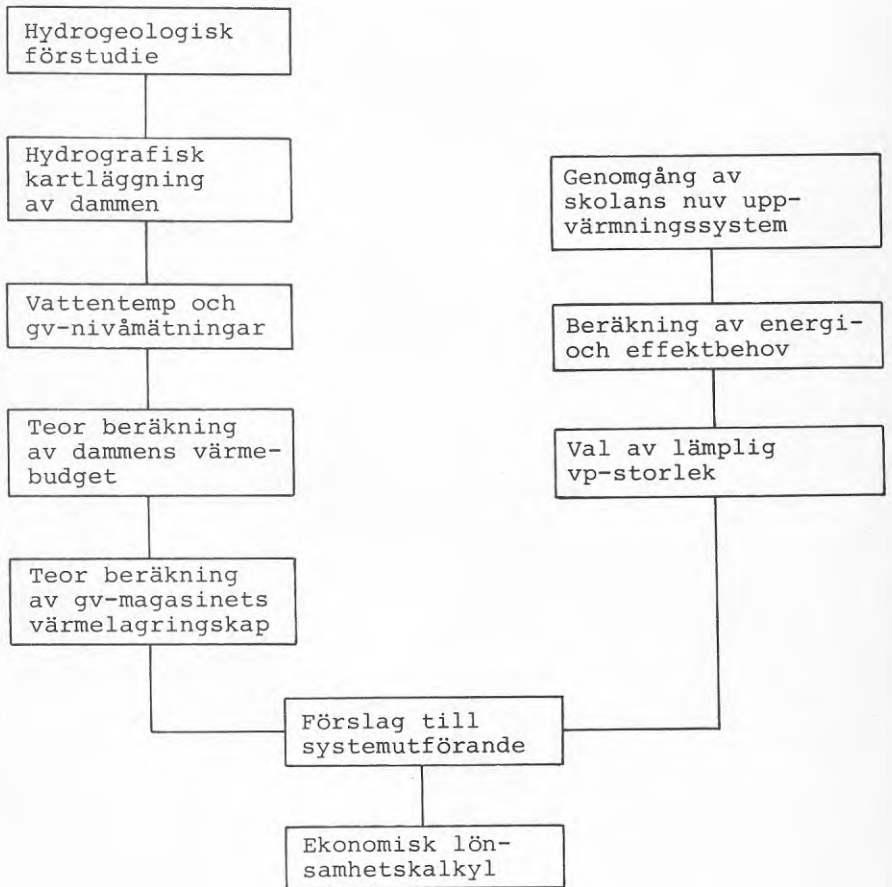
2. PROJEKTETS MÅLSÄTTNING OCH GENOMFÖRANDE

2.1 Målsättning

Föreliggande inledande studie har i främsta hand inriktats på att klarlägga de principiella förutsättningarna för ett utnyttjande av dammen i Möllers mosse i kombination med ett akvifervärmelager i det angränsande grundvattenmagasinet. Målet för undersökningarna har varit att kunna redovisa ett ur teknisk och ekonomisk synpunkt genomförbart principförslag till en anläggning för uppvärmning av i första hand Färsingaskolan. Anläggningen skall dock även i mån av behov kunna producera värme till ett lokalt värmenät i centrala Sjöbo.

2.2 Utförda undersökningar

För att så allsidigt som möjligt kunna studera förutsättningarna för projektet har de utförda undersökningarna omfattat såväl studier av de hydrogeologiska/hydrologiska förhållandena i området som de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för en installation av en värmepump i det befintliga uppvärmningssystemet. Omfattningen av undersökningarna redovisas översiktligt i nedanstående figur.



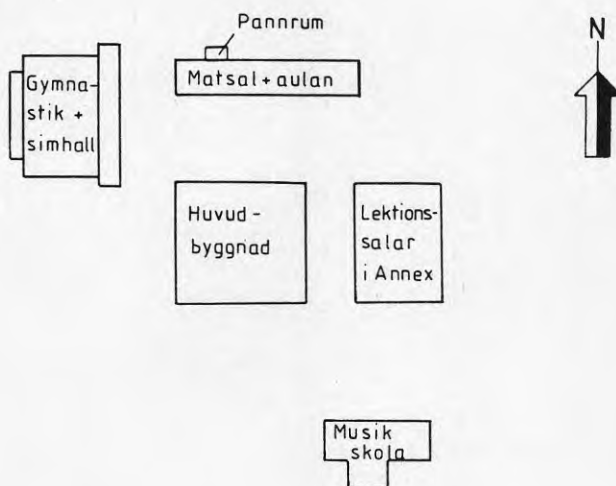
Figur 2

Sjöbo kommun - Värmelagringsprojekt Färsingaskolan - Projektöversikt

3. FÄRSINGASKOLAN

3.1 Nuvarande uppvärmningssystem

Uppvärmningen av såväl Färsingaskolan som huvudparten av flerfamiljshusen i området kring denna sker för närvarande med olja. Färsingaskolan byggdes år 1968 och dimensionerades härvid för ca 900 elever. Under 1970-talet har en simhall och en byggnad för musikskolan byggts till. Skolan omfattar idag fem byggnader med en sammanlagd uppvärmd yta på ca 10 500 m². Skolbyggnadens utseende framgår av planen i figur 3.

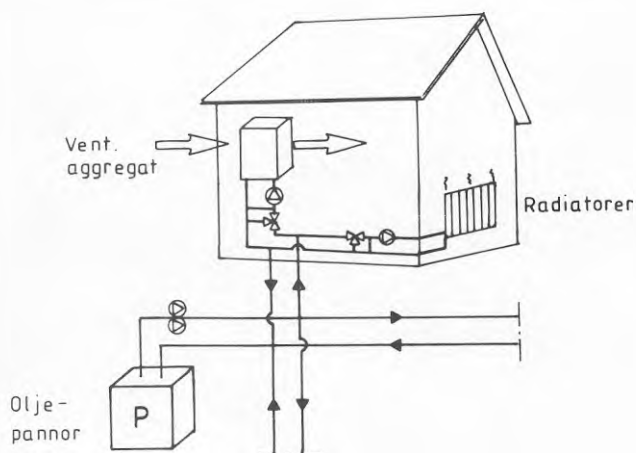


Figur 3 Färsingaskolan - Situationsplan

I de kommunala planerna har man emellertid för denna del av Sjöbo föreslagit ett lokalt fjärrvärmenät, som knyter ihop de olika lokala värmecentralerna. I skolan finns idag installerat två oljepannor med en sammanlagd effekt av ca 1,4 MW.

I stora drag består skolans uppvärmningssystem idag av ett distributionssystem för hetvatten. I de olika huskropparna shuntas detta till olika radiatorkretsar och ventilationsaggregat. Förutom konventionella luftbatterier finns även ett flertal fönsterapparater inkopplade.

Reglermässigt styrs temperaturen i radiatorkretsarna av utomhustemperaturen och i ventilationsaggregaten av lufttemperaturen efter dessa.



Figur 4 Befintligt uppvärmningssystem

Hetvattnet håller en temperatur mellan $+75$ och $+85^{\circ}\text{C}$ under hela året. Enligt uppgift från personalen i skolan har man emellertid mycket sällan uppmätt högre framledningstemperaturer än ca $+50^{\circ}\text{C}$ i radiatorkretsarna. Utförda mätningar under vintern 1983-1984 talar också för detta. Under mätperioden 1983-1984 har utomhustemperaturen som lägst varit ca -3°C , varvid radiatorvattnet hållit en temperatur kring $40-45^{\circ}\text{C}$ i framledningen.

3.2 Energi- och effektbehov

En mängd energisparåtgärder har gjorts under senare år, vilket reducerat oljeförbrukningen med ca 30 % till nuvarande ca 215 m³ Eo 1/år. De stora energivinsterna har till största del orsakats genom att stänga ett flertal av ventilationsaggregaten.

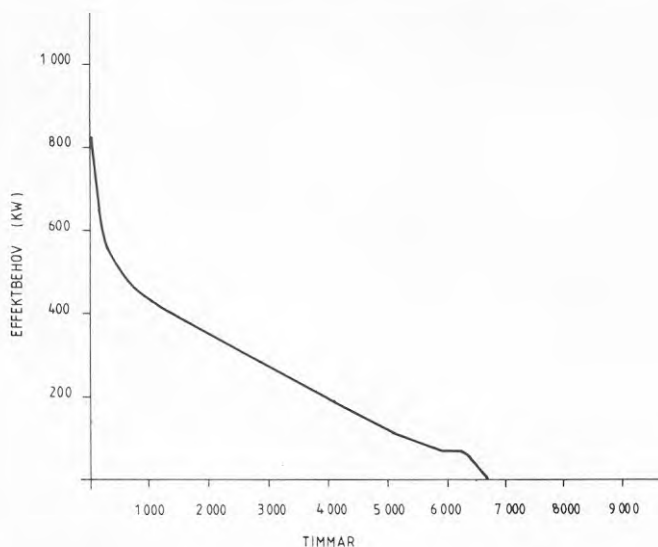
För att närmare undersöka energi- och effektbehovens fördelning över året har mätningar i skolans uppvärmningssystem genomförts under perioden 1983-1984.

Målsättningen för mätprogrammet har varit att få fram ett underlag för dimensionering av ett värmepumpssystem samt studera vilka förändringar som krävs i skolan för att uppnå ett optimalt utnyttjande av värmeanläggningen.

De mätningar som utförts har omfattat:

- Temperatur- och flödesmätningar i de olika shuntgrupperna
- Temperaturmätning i hetvattnet
- Oljeförbrukning
- Pannverkningsgrad
- Väderdata

Sammanställningen av mätresultatet kan ske i form av en varaktighetskurva för skolan, se figur 5.



Figur 5 Varaktighetsdiagram avseende Färsingaskolans energibehov

Utifrån varaktighetsdiagrammet kan skolans nuvarande energi- och effektbehov beräknas till 1800 MWh/år respektive ca 900 kW.

3.3 Förutsättningar för inkoppling av värmepump

De värmepumpssystem som idag finns och kan komma ifråga vid Färsingaskolan kan leverera maximalt ca 70^o-igt hetvatten. I sådana fall då temperaturkraven i en anläggning överstiger denna nivå måste man alltid spetsa med tillsatsvärme. I det fall framledningstemperaturen alltid skulle ligga mellan +75 och +80^oC, som för närvarande är fallet i Färsingaskolan, innebär detta en risk för att returtemperaturen med nuvarande system under stor del av året kommer upp i en nivå kring 70-75^oC. Under sådana perioder kommer värmepumpen ej att kunna vara i drift, utan anordningar för att sänka returtemperaturen måste vidtas.

3.4 Simulering av olika uppvärmningssystem

Med hjälp av en matematisk modell kan olika driftsituationer av skolans uppvärmningssystem simuleras. Effekter av olika förändringar i syfte att anpassa systemet till värmepumpsdrift kan härvid undersökas. Som ingångsdata till simuleringarna har i nedanstående fall använts mätresultat som kommit fram under mätperioden vintern 1983-84. Resultaten av modellsimuleringarna beskrivs kortfattat nedan medan beräkningsförutsättningar och -resultat mera i detalj redovisas i bilaga A.

3.4.1 Befintligt system

De temperatur- och flödesdata som idag gäller har lagts in i modellen. Den höga returtemperaturen innebär i detta fall att endast ca 10 % av värmebehovet täcks av en värmepump med ca 270 kW uteffekt. Beräkningsresultat, se bilaga A:1.

3.4.2 Minskning av primärvattenflödet

Systemet är utlagt att arbeta som 80/60°C system vid dimensionerande förhållanden. De senaste årens energibesparing i skolan som åstadkommit genom att stänga av ett flertal av ventilationsaggregaten med bibehållet primärflöde har inneburit att primärvatten blandas in i returledningen med förhöjd temperatur som följd. En reducering av primärvattenflödet till det dimensionerande och en injustering av systemet innebär att 25 % av värmebehovet täcks av en värmepump med ca 270 kW uteffekt. Beräkningsresultat, se bilaga A:2.

3.4.3 Primärvattentemperaturen varierar under året

Genom att införa en förshunt i panncentralen kan temperaturen på det distribuerade vattnet styras av utomhustemperaturen. Detta har en mycket stor betydelse för värmepumpsdriften vad avser värmeproduktionen, men får också betydelse för värmefaktorn. Av värmebehovet producerar nu värmepumpen ca 80 % med 270 kW uteffekt installerad. Beräkningsresultatet, se bilaga A:3.

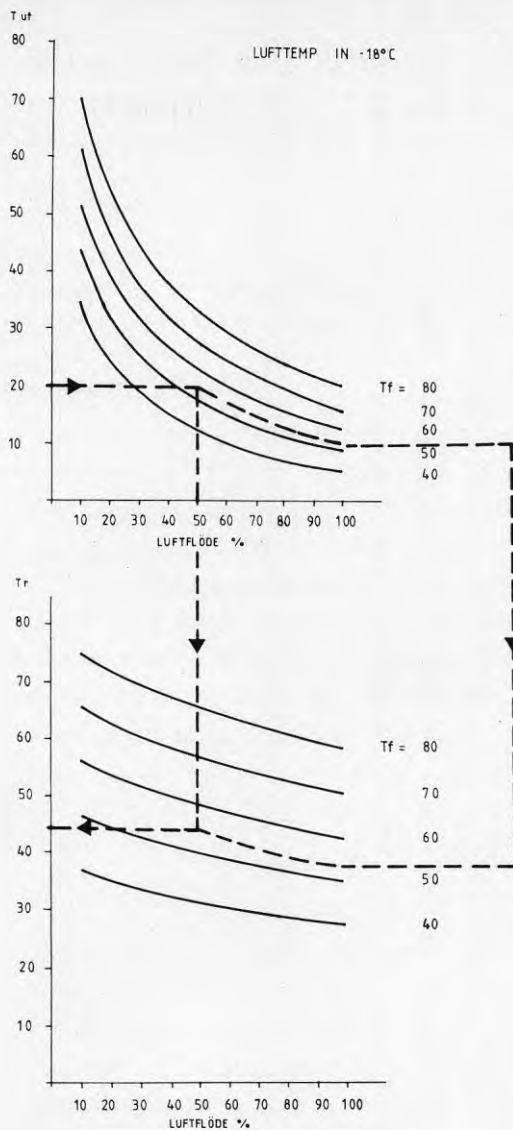
3.4.4 Minskning av luftflödena genom luftbatterierna

Det som idag är dimensionerande för temperaturnivån i systemet är tilluftsaggregaten. Dessa är utlagda för 80/60°C och belastas med det dimensionerande tilluftsflödet. Flera ventilationsaggregat används ej vilket kraftigt reducerat oljeförbrukningen. Emellertid innebär detta förfarande att framledningstemperaturen på primärvattnet måste hålla 80°C vid dimensionerande utetemperatur. Ett bättre sätt att minska tilluftsmängden är att minska mängden per aggregat och istället låta fler aggregat vara i drift så att den totala luftmängden bibehålles. En analys av hur mycket framledningstemperaturen kan sänkas som funktion av tillförd mängd luft har gjorts. Denna sammanfattas i tabell 1 och i figur 6, där T_{ut} är temperatur på tilluft efter batteriet, T_f och T_r är fram- och returtemperatur.

Tabell 1 Temperaturnivå som funktion av luftflöde

$$T_{ut} = 20^{\circ}\text{C}$$

Luftmängd %	T_f °C	T_r °C
100	80	60
75	65	50
50	55	45



Figur 6 Nomogram för beräkning av tilluftstemperatur i ventilationssystemet (T_{ut}) utgående från värmekällans framlednings- (T_f) resp returtemperatur (T_r)

En sänkning under 50 % är inte motiverad eftersom temperaturen i radiatorkretsen då blir dimensionerande.

Med en halvering av luftflödena kan man köra skolan som ett lågtemperatursystem med ett annat köldmedium i värmepumpen. Den sänkta temperaturen innebär en bättre värmefaktor samt en mindre kompressorstorlek.

Med samma kompressorstorlek som i de tidigare fallen täcker värmepumpen ca 90 % av energibehovet och den avgivna effekten stiger till ca 370 kW (bilaga A:4).

Som jämförelse simulerades även ett system med 75 %-igt luftflöde, vilket temperaturmässigt motsvarar ett 65/50-system. Värmepumpen levererar nu 80 % av energimängden och avgiven effekt blir ca 300 kW (bilaga A:5).

3.5 Sammanfattning och rekommendation

Ovanstående beräkningsresultat visar att det är möjligt att med relativt små ingrepp och förändringar i det befintliga systemet åstadkomma en god anpassning till värmepumpsdrift. Med hänsyn till det praktiska utförandet torde det vara lämpligt att välja en värmepump med maximal uteffekt på ca 300 kW vilken, efter en minskning av tilluftsflödet till ca 75 % av nuvarande värde, kan förväntas ge en energitäckningsgrad på ca 80 %.

4. GEOLOGISK ÖVERSIKT ÖVER CENTRALA SJÖBO

De geologiska förhållandena i området kring Möllers mosse har närmare undersökts genom bl a fältstudier, rekognoseringsborrningar och georadarsonderingar. Resultaten av dessa undersökningar har närmare redovisats i en rapport av fil kand M Hebrand (1984). Beträffande områdets geologiska uppbyggnad i stort kan följande noteras:

- Det undersökta området är beläget i norra delen av Sjöbo tätort inom ett vidsträckt område med grovsediment, vilket bildar en övergång mellan högre belägna områden mot nordost och Vombsänkan mot sydost.

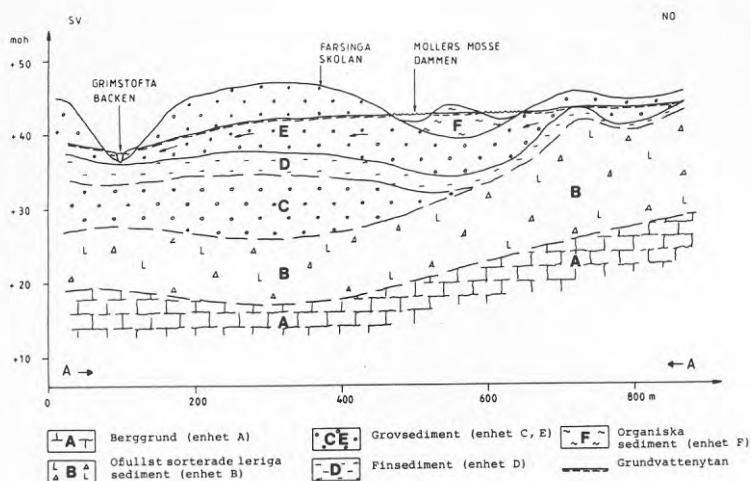
- Markytan i området är belägen på en nivå mellan +40 och +47 möh.

- Berggrunden utgörs av dåligt konsoliderade kalkstenar och/eller kalkhaltiga sandstenar, vilka i närheten av skolan påträffas på ca 25 m djup.

- Jordlagerföljden från bergets överyta och upp till markytan utgörs i princip av fyra lagerenheter, B-E, se figur 7. Längst ner återfinns en lerig morän alternativt en moränlera (enhet B), vilken normalt vilar direkt på berggrunden. Ovanpå denna förekommer en sandig lagerenhet (C) med inslag av silt. Denna överlagras av siltiga och leriga sediment (enhet D), vilka i sin tur överlagras av grovkornigare sediment (enhet E).

Den sistnämnda lagerenheten är ca 10 m mäktig och återfinns närmast markytan. Enheten utgör även botten i dammen, längs dennas kanter, där det huvudsakliga vattenutbytet mellan denna och grundvattenmagasinet äger rum.

- Organiska sediment förekommer på dammens botten. Dessa har normalt en mäktighet av ca 2 m.



Figur 7 Geologisk principprofil genom området vid Möllers mosse

5. GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN

5.1 Grundvattenmagasinet

De geologiska undersökningarna av området visar att området innehåller tre sannolikt skilda grundvattenmagasin (lagerenheter A, C och E i figur 7). Av dessa står enbart det övre i direkt hydraulisk kontakt med ytvattnet i dammen. Den rumsliga fördelningen av enheterna D och E antyder ett flöde av grundvatten i det övre öppna magasinet från områdena NO om dammen, genom dammen och ut mot Grimstoftabäcken i SV. Samma slutsats kan även dras utifrån utförda grundvattennivå- och piezometermätningar längs dammens västra strand och från temperaturobservationer (kapitel 6).

5.2 Nederbörd och avdunstning

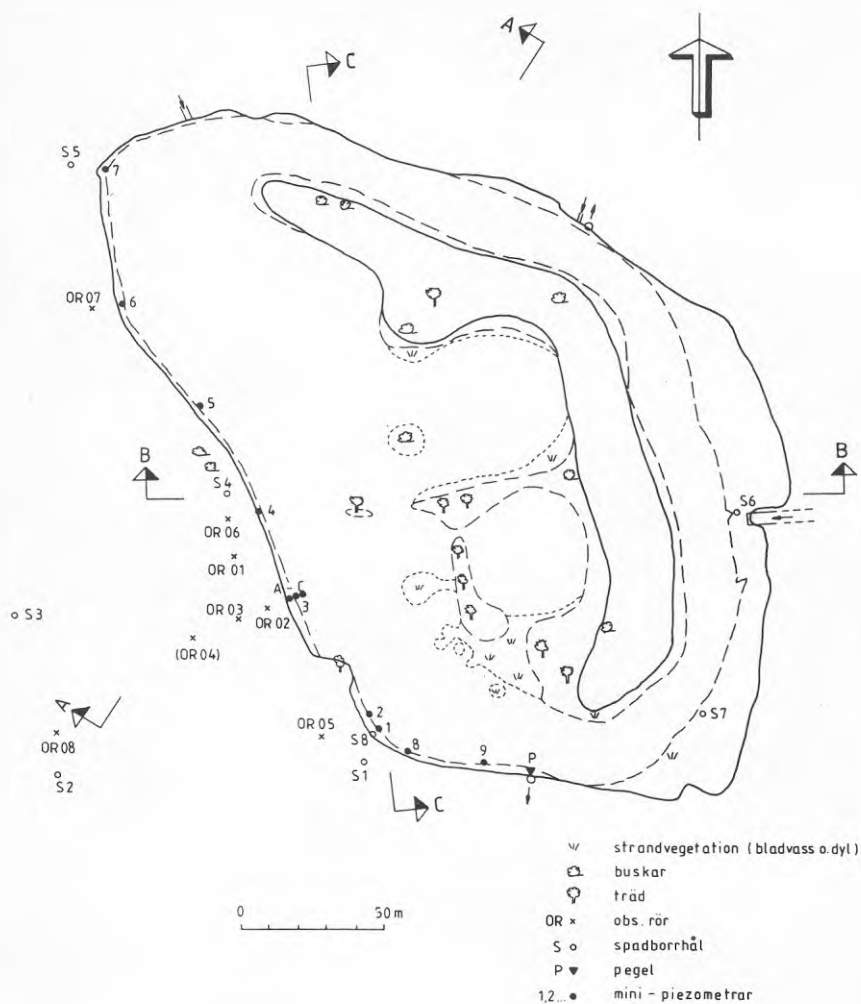
Nederbörds­mätningar har utförts vid Sjöbo avloppsreningsverk (ca 1 km V om dammen) sedan 1969. Medelvärde­et avseende åren 1969-1979 var 650 mm/år, dvs ca 10 % högre än nederbördsdata från Vomb (10 km NV), där uppgifterna finns sedan 1931. År 1983 var något nederbördsrikare än normalt (720 mm/år) med en våt vår, särskilt mars, och ganska torr sommar och höst (särskilt juli och augusti).

Avdunstningen från markytan har för Sjöbotrakten uppskattats utifrån Tamms formel (VIAK 1980) till ca 440 mm/år, utgående från en årsmedeltemperatur på 7,7°C. Skillnaden mellan nederbörd och avdunstning motsvarar en genomsnittlig grundvattenbildande nederbörd av ca 210 mm/år, motsvarande 6,5 l/s x km².

Avdunstning från en öppen vattenyta är betydligt större än från markytan och kan enligt Thornthwaites formel uppskattas till ca 500-600 mm/år (Vanek 1984). Med avseende på själva dammens yta blir nettonederbörden således ca 50-150 mm/år.

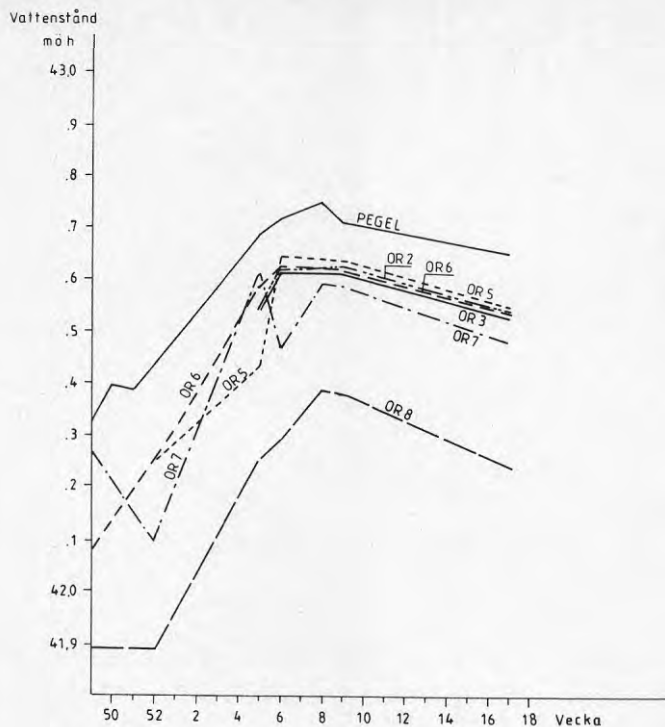
5.3 Grundvattennivåer

För att klarlägga dels grundvattennivåvariationerna under året, dels grundvattenflödesriktningen i området kring dammen utfördes nivå­mätningar under åren 1983-1984. Mätningarna utfördes dels i dammen, dels i ett antal grundvatten­observationsrör i anslutning till denna. Observationsrörens läge framgår av kartskissen i figur 8.



Figur 8 Möllers mosse - Grundvattenobservationspunkter

I figur 9 redovisas de uppmätta grundvattennivåerna under perioden 1983-1984.



Figur 9 Grundvattennivåer vintern 1983 - våren 1984

Som framgår av mätdata följer vattennivån i dammen nivåerna i det omgivande grundvattenmagasinet mycket väl. Detta visar på ett gott hydrauliskt samband mellan dammen och grundvattenmagasinet. Den totala fluktuationen under året uppgår till ca 0,5 m. De högsta vattennivåerna uppmättes under februari 1984 i samband med snösmältning.

5.4 Möjligheter till grundvattenuttag

För att undersöka jordlagerföljden i området väster om dammen utfördes bl a fyra rekognoseringsborrningar till djup mellan 16 och 6 m (OR 01-04).

Sammanfattningsvis kan konstateras att de genomborrade jordlagren ner till 8 m djup dominerades av mellansand/grovsand.

Under denna nivå ökade inslaget av finsand, silt och lera, vilket också var att förvänta utifrån den allmänna geologiska bilden av området. På 16 m djup påträffades en moränlera, vilken i detta sammanhang utgör en undre, tät begränsning av de grundvattenförande lagren.

För att bedöma jordlagrens genomsläpplighet (permeabilitet) siktades ett antal jordprover från borrhöjningarna OR 01 och OR 04. Utgående från de erhållna siktkurvorna kan permeabiliteten (k) beräknas med hjälp av Hazens formel

$$k = 0.01157 d_{10}^2 \text{ (m/s)}, \text{ där}$$

d_{10} utgör diametern hos 10 % av det passerande materialet.

Utifrån ovanstående formel samt siktkurvorna för de olika jordproverna har materialets permeabilitet (k) inom området i stort bedömts uppgå till ca 4×10^{-4} m/s. Förutsattes den grundvattenförande zonens mäktighet i genomsnitt uppgå till ca 7 m kan grundvattenmagasinets transmissivitet beräknas till $T = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Med hjälp av Thiems formel kan avsänkningen (s_w) invid en uttagsbrunn beräknas utifrån sambandet

$$s_w = \frac{Q}{2 \pi T} \times \ln (r_o/r_w) \text{ (m)}$$

där r_w = brunnsradie

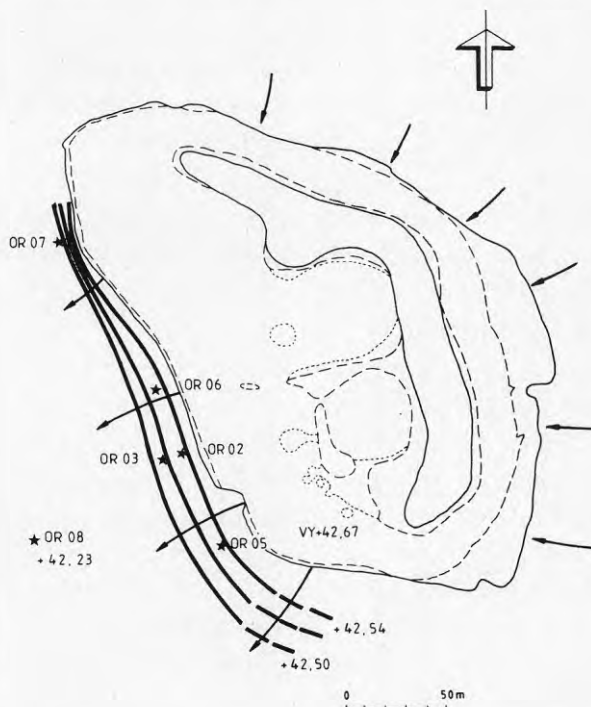
r_o = influensradie vid uttaget Q

Utgående från det ovan redovisade transmissivitetsvärdet kan avsänkningen i en brunn vid ett uttag (Q) av 10 l/s överlagsmässigt beräknas till ca 5 m, vilket i detta sammanhang synes tekniskt möjligt att åstadkomma.

Ovanstående beräkningar visar således att den förväntade kapaciteten per brunn i området torde ligga i storleksordningen 10 l/s.

5.5 Grundvattenflöden

Grundvattennivåmätningarna tillsammans med de geologiska uppgifterna från området visar på ett naturligt grundvattenflöde i de övre jordlagren från nordost, genom dammen och i sydvästlig riktning mot Grimstoftabäcken, se figur 10.



Figur 10 Grundvattennivåer och -flödesriktning i anslutning till dammen i Möllers mosse

Den naturliga grundvattenflödeshastigheten (v) i ett magasin kan för ett lokalt område överslagsmässigt beräknas utgående från Darcy's lag till:

$$v = k \times i$$

där

v = hastighet i m/s

k = jordlagrens permeabilitet i den betraktade punkten

i = den hydrauliska gradienten i den betraktade punkten

Utgående från de i figur 9 redovisade nivåmätningarna samt avståndet mellan observationsrören OR 3 och OR 8 kan den hydrauliska gradienten beräknas till $i = 3$ o/oo.

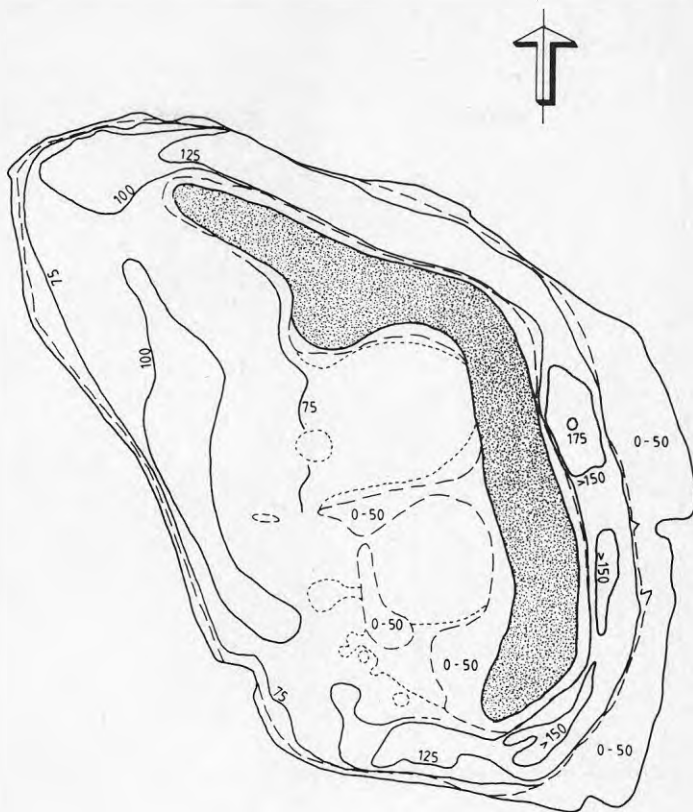
Tillsammans med ett genomsnittligt värde på permeabiliteten $k = 4 \times 10^{-4}$ m/s, se avsnitt 7.4, erhålls en naturlig flödes-hastighet i grundvattenmagasinet, $v = 1,2 \times 10^{-6}$ m/s, motsvarande ca 0,1 m/dygn.

6. MÖLLERS MOSSE

6.1 Bildningsbetingelser

Möllers mosse bildades ursprungligen i samband med landisens avsmältning och då till att börja med som en grund sjö. Sjöns maximala vattendjup torde ha uppgått till storleksordningen 4 m och sjöytan uppgick härvid till ca 4 ha. Under årtusendenas lopp växte den ursprungliga sjön successivt igen och Möllers mosse bildades. Resterna av den ursprungliga sjön återfanns då endast i form av en liten göl i mossens centrala del. Denna hade så sent som på 1930-talet ett naturligt ytvattenavlopp, vilket emellertid senare lades igen och ersattes med en ledning till den närbelägna Grims-toftabäcken.

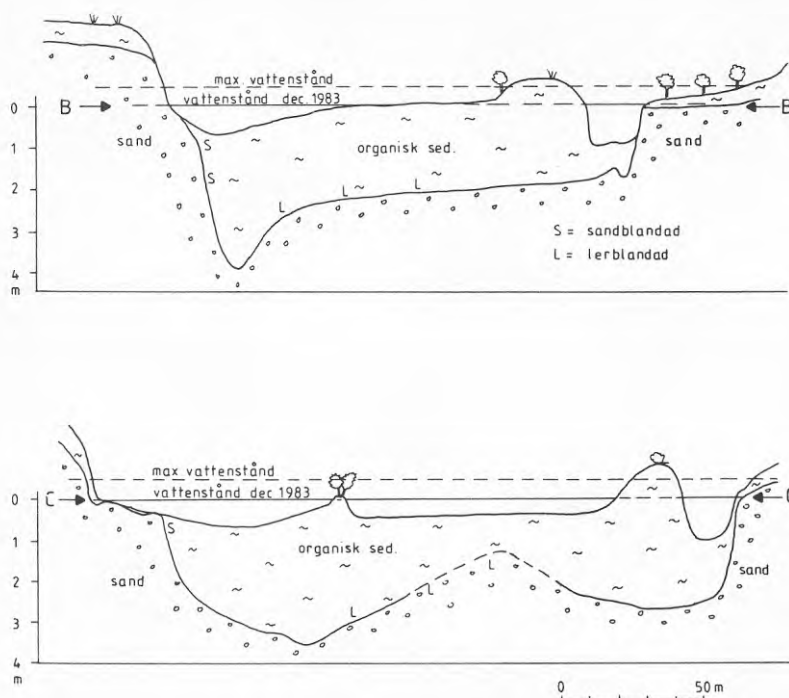
År 1967 schaktades de centrala delarna av mossen ur och år 1981 genomfördes nya schaktningsarbeten, vilka gav dammen i mossen sitt nuvarande utseende, se figur 11.



Figur 11 Dammen i Möllers mosse - Djupförhållanden
vid en vattennivå = överfallshöjden +42,82 möh

6.2 Djupförhållanden

I samband med urgrävningen transporterades en del av sedimenten bort från området, medan återstoden lades upp för att bilda en ö i dammen. Genom sättningar och skred i sedimenten har dammens utseende och djupförhållanden successivt förändrats under årens lopp. Dammens nuvarande djupförhållanden redovisas i figur 11 medan figur 12 visar två profiler genom denna. Dammens karakteristiska hydrografiska data framgår ytterligare av tabell 2.



Figur 12 Dammen i Möllers mosse - Profiler, lägen se fig 8

Tabell 2 Möllers mosse - morfometriska data
(min motsvarar vattenstånd 1983-12-07, dvs 42,32 möh, max motsvarar överfallshöjd, dvs 42,82 möh)

	Min	Max
Vattenyta (m ²)	23 360	31 140
total vattenvolym (m ³)	11 400	25 010
vattenvolym inom djup-intervallet		
0 -0,5 m		13 625
0,5 -0,75 m		5 120
0,75-1,00 m		3 400
1,00-1,25 m		1 902,5
1,25-1,50 m		832,5
1,50-1,75 m		130
Maxdjup (m)	1,26	1,76
Medeldjup (m)	0,45	0,80

6.3 Till- och utflöden från dammen

Dammen saknar ett naturligt tillflöde av ytvatten och dess enda tillskott av vatten förutom nederbörd och grundvatten erhålls via tre mindre dräneringsledningar som mynnar i de norra och östra delarna.

Avloppet från dammen regleras med hjälp av ett överfall via en dagvattenledning. För närvarande tillåts en högsta nivå i dammen på ca +42,8 m, vilket ger ett maximalt djup på ca 1,75 m, se tabell 2.

Som framgår av det ovanstående erhålls endast en tillrinning till, respektive ett flöde av ytvatten från dammen under perioder med relativt stor nederbörd. Under övriga tider däremot sker normalt endast en vattenomsättning genom grundvattenutbyte.

Storleken på grundvattenomsättningen i en damm (Q) av ovanstående utseende kan överslagsmässigt beräknas utifrån sambandet:

$$Q = \alpha \times B \times \beta (D/H) \times T \times i \text{ (m}^3/\text{s)} \text{ (Landberg 1982)}$$

där

- α, β = formfaktorer som bestäms av dammens längd, bredd och djup (dimensionslösa)
- B = dammens bredd vinkelrätt mot grundvattenflödesriktningen (m)
- D = dammens djup (m)
- H = den grundvattenförande sektionens mäktighet (m)
- T = grundvattenmagasinets transmissivitet (m²/s)
- i = den hydrauliska gradienten i magasinet omedelbart uppströms/alternativt nedströms dammen

För den aktuella dammen har faktorerna α och β bestämts till $\alpha = 1,7$ och $\beta = 3,5$.

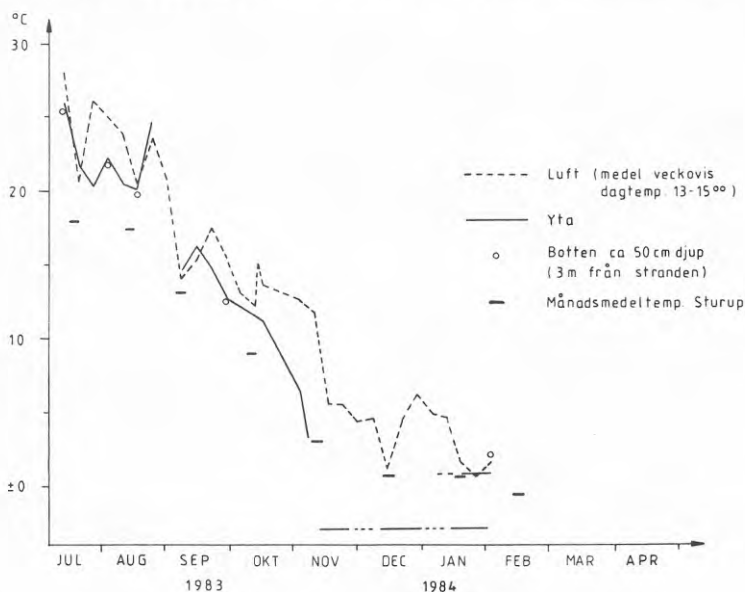
Utifrån ovanstående samband har grundvattenomsättningen i dammen beräknats till storleksordningen 3 l/s.

6.4 Luft- och ytvattentemperatur

Ytvatten- och lufttemperaturer i området har regelbundet mätts sedan sommaren 1983 genom kommunens försorg.

Luftens årsmedeltemperatur i området uppgår till ca $+7,5^{\circ}\text{C}$ ($+7,6^{\circ}\text{C}$ uppmätt vid SMHIs mätstation i Sturup ca 20 km från Sjöbo). Under perioden juni-september uppgår medeltemperaturen till $+15,4^{\circ}\text{C}$.

Ytvattnets medeltemperatur under året är något högre, ca $+8,9^{\circ}\text{C}$. Detta främst beroende på en relativt stor inlagring av värme i dammens botten sediment under sommarhalvåret. Under vinterhalvåret däremot avges denna värme från botten-sedimenten till vattnet i dammen genom konvektion.



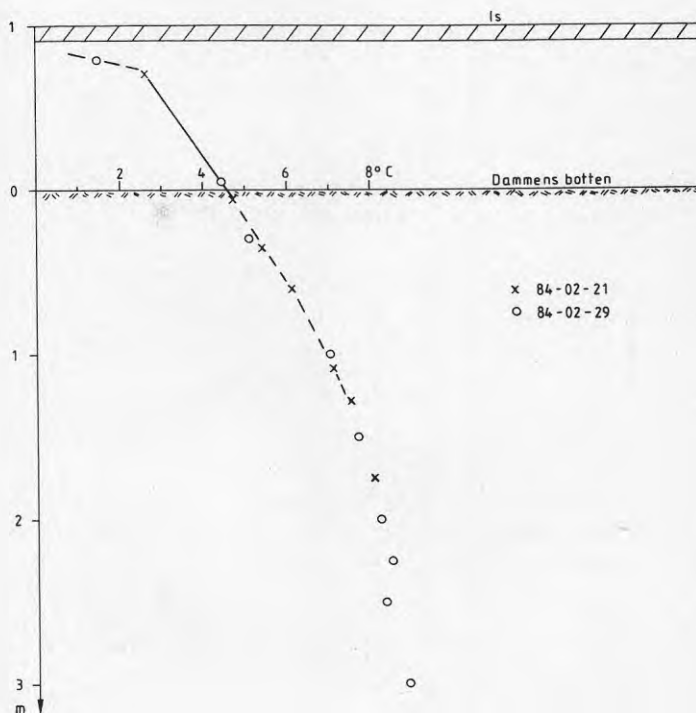
Figur 13 Lufttemperatur och ytvattentemperatur

De i figur 13 redovisade mätningarna understryker det från andra undersökningar väl kända förhållandet att vattentemperaturen i en grund damm som denna relativt snabbt anpassar sig till lufttemperaturen.

Någon mera uttalad temperaturskiktning förekommer inte under sommarperioden. Under isbelagda perioder vintertid kan dock en omvänd termisk skiktning uppträda som en följd av avkylningen från isens underyta samtidigt som vattnet underifrån värms upp av bottensedimenten.

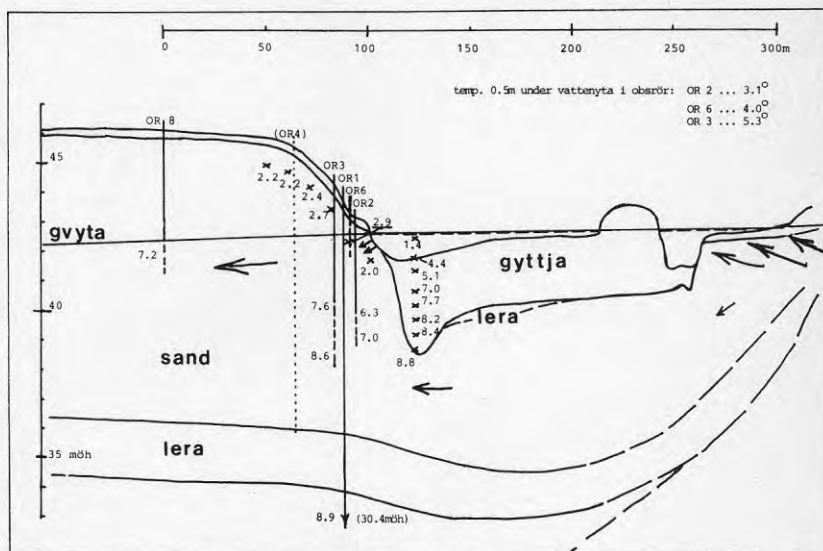
6.5 Sedimenttemperaturer

I februari 1984 mättes temperaturprofiler till ca 3 m djup i de organiska bottensedimenten i dammen. Dessa temperaturprofiler redovisas i figur 14.



Figur 14 Temperaturer i sediment och ytvatten (februari 1984)

magasinet. Kompletterande temperaturmätningar i grundvattenmagasinet i anslutning till dammen stöder även denna uppfattning, se figur 16.



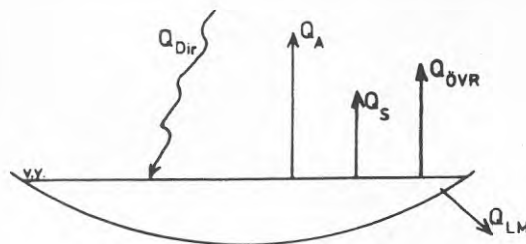
Figur 16 Temperaturprofiler i det sydvästra hörnet av dammen samt i det angränsande grundvattenmagasinet

7. TERMOHYDRAULISKA MODELLBERÄKNINGAR

7.1 Dammen

7.1.1 Sommarhalvåret

Dammen i Möllers mosse utgör den egentliga värmekollektorn i ett eventuellt framtida akviferlagarsystem. Denna fångar under sommarhalvåret upp en mycket stor energimängd som dock till största delen går förlorad genom utstrålning och avdunstning, se figur 17.



Figur 17 Principiell energibalans för dammen vid Färsingaskolan

Energiflödena till och från dammen kan principiellt beskrivas enligt

där

$$Q_{dir} = Q_A + Q_S + Q_{LM} + Q_{OVR}$$

- Q_{dir} = Energibidraget från solinstrålning direkt på vattenytan
- Q_A = Avdunstning från sjöytan och konvektionsförluster vid ytan
- Q_S = Strålningsförluster från sjöytan
- Q_{LM} = Ledningsförluster genom marken
- Q_{OVR} = Energiflöden på grund av vattenflöden, regn m m

Den energi som är tillgänglig och då utan att i allt för hög grad rubba dammens värmebalans är den del som annars utgör strålningsförluster (Q_S) och i viss mån avdunstningsenergi (Q_A).

Den utvinningsbara värmen under sommarperioden kan bedömas uppgå till storleksordningen $50 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$. Utgående från en area på dammen på ca $25\,000 \text{ m}^2$ erhålls således en potentiell kyleffekt för en värmepumpsanläggning motsvarande ca 1250 kW för varje grads temperatursänkning av vattentemperaturen i dammen.

7.1.2 Vinterhalvåret

I ett konventionellt värmepumpsystem utgör normalt energitillgången i värmekällan under senvintern den begränsande delen hos värmekällan. För att bedöma möjligheterna till ett värmeuttag från dammen även under denna tid har en värmebalans avseende vinterperioden upprättats, se bilaga B.

Utifrån mätdata avseende februari 1984 och de i bilaga B redovisade värmebalansberäkningarna kan följande slutsatser dras.

- Bottensedimenten i dammen ger ett sammanlagt värmetillskott motsvarande ca 27 kW under isbelagda förhållanden. Detta tillskott är något lägre än vad som kunde förväntas utifrån dammens rent geometriska utseende och bottensedimentens mäktighet. En anledning härtill kan vara en viss nerkyllning av bottensedimenten orsakad av ett grundvatteninflöde.
- Den totala energiförlusten från dammen till omgivningen motsvarar ca 200 kW. Denna energitillgång är flera gånger större än energitillskottet från bottensedimenten och har med största sannolikhet sitt upphov i ett grundvattentillskott. Storleken hos detta har utifrån energibalansen beräknats till ca 6 l/s.

7.2 Grundvattenmagasinet

Möjligheterna att överföra dammens värmeinnehåll under sommarhalvåret till ett värmelager i det angränsande grundvattenmagasinet har studerats i en matematisk modell vid institutionen för matematisk fysik vid Lunds tekniska högskola.

Modellberäkningarna och -resultaten redovisas närmare i bilaga C.

7.2.1 Underlag för modellen

Som tidigare nämnts är hydrauliska sambandet mellan dammen och det angränsande grundvattenmagasinet mycket gott. Detta gör att mycket talar för ett akviferlager där dammens varmare vatten under sommaren, genom inducerad infiltration, dras in i grundvattenmagasinet. Denna effekt åstadkoms genom ett kraftigt grundvattenuttag sommartid från ett antal brunnar belägna på något avstånd från stranden. Systemets närmare funktion och utseende redovisas i kapitel 8.

7.2.2 Sammanfattning av modellstudier

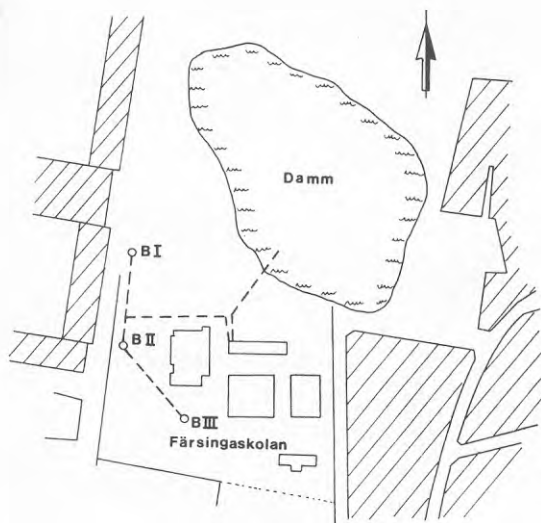
Grundläggande problemställningar:

Karakteristiskt för denna typ av system är en driftcykel där en pumpning med hög kapacitet påbörjas under våren och får fortsätta fram över sommaren till tidig höst. Under denna period dras varmt ytvatten in i magasinet. Detta varma vatten utnyttjas under vintern efter en lagringsperiod under hösten. Under vinterperioden dras emellertid kallt ytvatten in i magasinet i samband med grundvattenuttaget, varför det för systemets drift blir väsentligt att optimera lagrets storlek samt pumpkapacitet under sommar- respektive vinterperiod.

De väsentliga frågeställningar som måste klargöras i samband med planeringen av denna typ av akviferlager blir således:

- på vilket avstånd från ytvattenförekomsten skall produktionsbrunnarna placeras?
- vilka kapaciteter bör väljas under inlagringsfasen (sommaren) och produktionsfasen (vintern) för att bästa resultat skall erhållas?

Ett sådant system består i princip av ett antal brunnar på en linje parallell med strandlinjen och på ca 160 m avstånd från dammen, se figur 19.

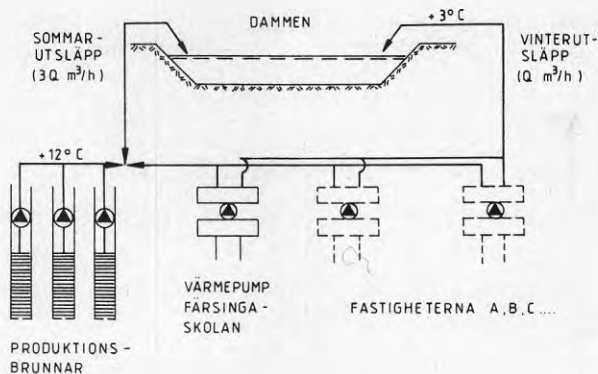


Figur 19 Möllers mosse - Läge för uttagsbrunnar

Från dessa brunnar pumpas sommartid vatten med en kapacitet som är ca tre gånger så stor som uttaget under vinterperioden. Det uttagna vattnet passerar genom en värmeväxlare där det kyls, varefter det återförs via en returledning till dammen.

8.2 Värmepumpsystemet

Värmepumpsdelen i systemet utförs på samma sätt som i ett konventionellt grundvattenvärmesystem, se figur 20. I detta fall leds dock grundvattnet via en värmeväxlarenhet, vilken medger stora variationer i flöde mellan sommar och vinter. Sommartid kommer således värmepumpen att kunna arbeta med ett större flöde på grundvattensidan, men med mindre temperatursänkingsmöjlighet (ΔT). Under vinterperioden kommer däremot ΔT att bli något högre medan å andra sidan flödet på grundvattensidan minskas till ca 1/3 av sommaruttaget.



Figur 20 Systemutformning värmepumpsanläggning för Färsingaskolan. Principförslag

8.3 Energibetraktelse

Såsom systemet simulerats i den teoretiska modellen, se bilaga C har det förutsatts en årlig driftstrategi motsvarande:

- 4 månaders inlagring (juni-september)
- 2 månaders lagring (oktober-november)
- 4 månaders uttag (december-mars)
- 2 månaders vila (april-maj)

Luftmedeltemperaturen, vilken nära nog kan sägas motsvara sjöns medeltemperatur under perioden juni-september ligger kring ca +15,5°C. Denna torde ge en temperaturnivå i grundvattenmagasinet på ca +12°C under uttagsfasen, vilket ger en praktisk kyleffekt (ΔT) motsvarande ca 9°C.

Förutsättes ett grundvattenuttag av ca $36 \text{ m}^3/\text{h}$ (10 l/s) vintertid erhålls följande energibalans avseende vinterperioden (15 september-15 maj):

+ kyleffekt från grundvattnet	
($\Delta T = 9^\circ\text{C}$, $Q = 36 \text{ m}^3/\text{h}$)	377 kW
+ inmatad kompressoreffekt värmepump	
(värmefaktor = 3)	188 kW
+ totalt producerad effekt från vp	565 kW
- avgår effekt till grundvattenpump	
(1 st Δh ca 30 m)	6 kW

Förutsättes vidare värmesystemet i skolan och omkringliggande fastigheter utbyggt så att den producerade effekten kan utnyttjas under ca 4000 timmar erhålls en producerad energimängd på 2260 MWh.

Med en pannverkningsgrad på ca 75 % kan detta överslagsmässigt beräknas ersätta en oljemängd på ca $300 \text{ m}^3 \text{ Eol}$.

På motsvarande sätt kan för sommarperioden ett teoretiskt maximalt effektuttag beräknas enligt:

+ kyleffekt från grundvattnet	
($\Delta T = 5^\circ\text{C}$, $Q = 108 \text{ m}^3/\text{h}$)	630 kW
+ inmatad kompressoreffekt vp	365 kW
(vid en värmefaktor = 3)	
+ totalt producerad effekt från vp	945 kW
- avgår effekt till grundvattenpumpar	
(3 st)	18 kW

Av ovanstående framgår som väntat att den tillgängliga effektpotentialen för systemet blir betydligt större sommartid än vintertid. Det blir dock med största sannolikhet olönsamt att söka utnyttja denna effektpotential sommartid, varför en realistisk utbyggnad av den maximala sammanlagda värmepumpseffekten i systemet torde vara i storleksordningen 500 kW.

Det för systemet nödvändiga grundvattenuttaget under sommarperioden kräver en energimängd av ca 65 000 kWh, motsvarande en panneldning av ca 9 m³ Eo 1.

Förutsättes ett utnyttjande av en 500 kW anläggning till endast 10 % under sommarperioden erhålls dock ett energitillskott på ca 145 000 kWh vilket ger en motsvarande oljebesparing på ca 20 m³ Eo 1.

Med hänsyn till Färsingaskolans befintliga uppvärmningssystem kan dock storleken för en värmepump till denna begränsas till ca 270 kW, se kap 3.5. Denna värmepump kan för skolans del beräknas ge en energitäckning om ca 80 % motsvarande ca 1450 MWh/år eller en oljebesparing av ca 180 m³/år.

9. KOSTNADER FÖR VÄRMELAGRINGSSYSTEMET

Det i kapitel 8.2 föreslagna systemet kan sammanfattas i tre huvuddelar:

- ett system för utvinning och transport av grundvatten (brunnar, pumpar och ledningar)
- värmelagret som sådant
- värmepumpen/-arna med tillhörande styr- och regler-system

Till den sistnämnda delen måste eventuellt också, för det enskilda uppvärmningsobjektet, fogas system för anpassning av värmepumpen till det befintliga uppvärmningssystemet.

I det följande redovisas en överslagsmässig uppskattning av den totala investeringen samt kostnaderna för ett system där grundvattendelen och värmelagret byggs ut för en omsättning av 36 m³/h vintertid och 108 m³/h sommartid, medan värmepumpsystemet förutsättes baseras på en värmepump med effekten 270 kW.

9.1 Investeringar

<u>Brunnar</u> , 3 st inkl överbyggnad, pumpar och anslutningar	300 000:-
<u>Ledningar</u> (ca 350 m) à 400:- (från brunnar till värmepump samt utlopp till dammen)	150 000:-
<u>Värmepump</u> , uteffekt 270 kW	450 000:-
<u>El- och VVS-installationer</u>	125 000:-
Anpassning till Färsingaskolans befintliga värmesystem	<u>150 000:-</u>
	1 150 000:-
Projektering, kontroll m m	150 000:-
Oförutsett 20 %	<u>225 000:-</u>
Summa	1 585 000:-

9.2 Kostnader9.2.1 Kapitalkostnader

För att kunna beräkna kapitalkostnaden har det förutsatts att investeringen finansieras med ett annuitetslån på 15 år med räntan 12 %. Inflationen under denna period har förutsatts bli 6 %, vilket ger en realränta på 6 %.

Med ovanstående underlag erhålls en kapitalkostnad under 1:a året på 163 000:-

9.2.2 Energikostnader

Energikostnaden för värmepumpen och värmelagret utgörs i huvudsak av el-energi för drift av värmepump och grundvattenpumpar. Som ett överslagsmässigt elpris har i kalkylen ansatts 0,27 kr/kWh.

Elkostnad, värmepump
1450 MWh x 1/3 x 270 kr/MWh = 130 500:-

Elkostnad, grundvattenpumpar

95 MWh x 270 kr/MWh = 25 500:-

Summa energikostnader 156 000:-

9.2.3 Drift- och underhållskostnader

Som ett överslag har dessa kostnader satts till 2 % av investeringskostnaden 1,585 Mkr.

Arligt drift och underhåll

1,585 Mkr x 2 % = 82 000:-

9.2.4 Sammanlagd årskostnad

Den sammanlagda årskostnaden under projektets första år kan således summeras till

351 000:-

9.2.5 Pay-off tid

En energiproduktion av 1450 MWh motsvaras av en oljeförbrukning av ca 193 m³ Eo 1. Med ett oljepris på ca 3000 kr/m³ erhålls en för detta alternativ en energiproduktionskostnad på

579 000:-

Besparingen i energikostnad vid ett värmepumpsalternativ jämfört med oljeeldningsalternativet uppgår enligt ovanstående till

228 000:-

Med denna besparing erhålls en rak pay-off tid för projektet på ca 3,6 år.

10. SAMMANFATTNING

Möjligheterna att utnyttja naturvärme från en grund damm vid Möllers mosse invid Färsingaskolan i Sjöbo kommun har undersökts under åren 1983-1984 i en förstudie som bekostats av Byggforskningsrådet (BFR). Sjöbo kommun har stått som huvudman för förstudien medan VIAKs Malmökontor svarat för utredningsarbetet. Förstudien kan i korthet sammanfattas enligt följande:

- Färsingaskolan byggdes år 1970 och dimensionerades för 900 elever. Efter om- och tillbyggnader omfattar skolan för närvarande en yta av $10\,500\text{ m}^2$, vari det bl a inryms en simhall.

Oljeförbrukningen uppgår för närvarande årligen till ca 215 m^3 Eo 1. Skolans effekt- respektive energibehov har beräknats till ca 900 kW respektive 1800 MWh/år.

- Dammen i Möllers mosse har en yta på ca $25\,000\text{ m}^2$, med ett största vattendjup på ca 1,8 m. Energiproduktionen i själva dammen uppgår vintertid kontinuerligt till ca 200 kW, men kortvarigt kan betydligt större effekt tas ut från denna.

Sommartid finns en energipotential i dammen motsvarande ca 1250 kW för varje grads sänkning av vattentemperaturen.

- Vattentemperaturen i dammen följer luftmedeltemperaturen under icke isbelagd period. Under sommarperioden juni-september är medeltemperaturen normalt ca $+15,5^{\circ}\text{C}$.
- En termohydraulisk modellstudie kombinerad med en studie av de hydrogeologiska förutsättningarna visar att grundvattenmagasinet i anslutning till dammen på

ett enkelt sätt kan utnyttjas för att säsongslagra sommaruppvärmt vatten, till vinterhalvåret.

- Ett förslag till en anläggning för ett utnyttjande av energiproduktionen i dammen i kombination med en säsongslagring i det angränsande grundvattenmagasinet har upprättats. Förslaget bygger på att den producerade energin i första hand skall utnyttjas för uppvärmning av Färsingaskolan, men även andra objekt kan anslutas till ett lokalt uppvärmnings-system.

Den föreslagna anläggningen är baserad på ett antal brunnar sydväst och väster om dammen samt i första hand en värmepump i Färsingaskolan. I andra hand kan en inkoppling av ytterligare värmepumpar i närbelägna fastigheter vara aktuell.

- Anläggningen förutsättes utnyttja ett grundvattenflöde på $36 \text{ m}^3/\text{tim}$ under vinterperioden. Detta medger en effektpotential för värmepumpsinstallation av 565 kW. Kyleffekten från grundvattnet är då 380 kW och eleffektbehovet till kompressorer och pumpar uppgår till 185 kW.
- Med en beräknad energitäckning på ca 80 % krävs för skolans del en värmepump om 270 kW, vilket ger en oljebesparing av i storleksordningen 180 m^3 olja per år.
- Tillgänglig kvarvarande effekt för närliggande fastigheter är således 285 kW med en potentiell oljebesparing om ytterligare ca 180 m^3 olja per år.
- Under sommarperioden krävs för laddning av magasinet ett grundvattenuttag som är 3 gånger större än

vinteruttaget. Pumpningsenergin för inlagringsfasen har beräknats till ca 65 000 kWh.

- Investeringen för en utbyggnad av värmelagret samt en installation av en värmepump om 270 kW i Färsingaskolan har beräknats ligga runt 1,6 Mkr.

REFERENSER

Hebrand M, 1984: Geologiska förhållanden vid Färsingaskolan, Sjöbo, - Opubl rapport VIAK, Malmö 1984

Landberg J, 1982: Hydrogeological consequences of excavating gravel pits below the water table in glaciofluvial deposits - Publ A39 Geol Inst, CTH, Göteborg 1982

Vanek, V, 1984: Groundwater lake interaction in a south Swedish lake, Limnol Inst, Lunds Universitet, Lund 1984

VIAK AB 1980: Sjöbo kommun, Redogörelse för provpumpning av brunn Br 4 vid Grimstofa vattentäkt, Malmö 1980-03-26

AKVIFERVÄRMELAGER FÖR FÄRSINGASKOLAN I SJÖBO
FÖRSTUDIE

Bilaga A

OPTIMERING AV VÄRMEPUMP I FÄRSINGASKOLANS UPPVÄRMNINGSSYSTEM

Civ ing Ulf Linder, VIAK AB, Malmö

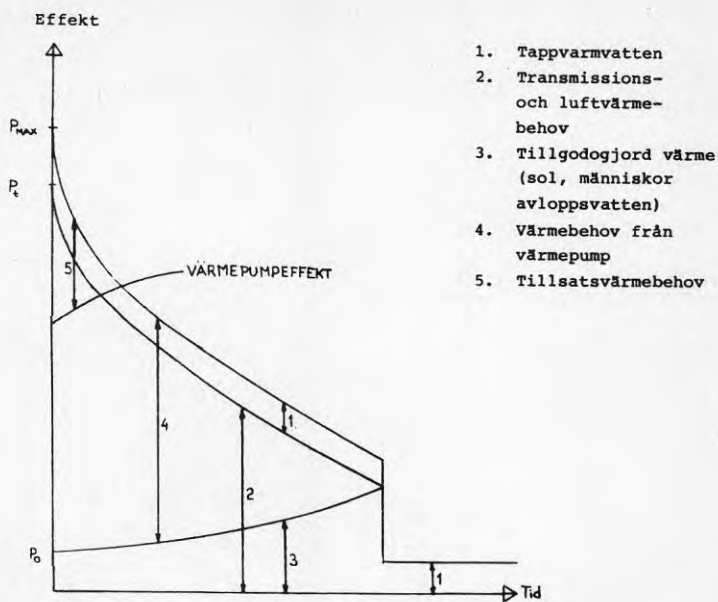
ORIENTERING

Genom simulering av ett uppvärmningssystems funktion vid olika yttre förutsättningar kan en lämplig storlek på en eventuell värmepump i systemet beräknas. Beräkningarna som redovisas i det följande har gjorts med hjälp av en bordsdator (ABC 80) och ett program utvecklat speciellt för bostäder, där en övergång till uppvärmning med värmepump planeras. Programmet har utvecklats vid VIAKs Malmökontor under 1984.

TEORETISK BAKGRUND

Förutsättningarna för programmet är att man i en byggnad känner årsenergibehovet för uppvärmning och tappvarmvatten. Av byggnadens geografiska läge kan anläggningens driftstid och det maximala effektbehovet bestämmas.

Effektfördelningen i byggnaden kan beskrivas i enlighet med diagrammet i figur 1.



Figur 1 Effektfördelning vid uppvärmningsanläggning för bostadsändamål

Med hjälp av programmet beräknas antalet gradtimmar för den aktuella orten. Vidare beräknas effektbehovet (P_2) för transmissions- och luftvärmebehov:

$$P_2 = k (T_{inne} - T_{ute})$$

där

T_{inne} = innetemp i $^{\circ}C$

T_{ute} = utetemp i $^{\circ}C$

Vid den dimensionerande ute-temperaturen (DUT) erhålls:

$$P_2 = k (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}})$$

vid DUT:

$$P_t = k (T_{\text{inne}} - \text{Dut})$$

$$P_t = P_{\text{max}} - P_{\text{VV}}$$

$$P_{\text{max}} = E_1/T_1$$

$$P_{\text{VV}} = E_{\text{VV}}/T_{\text{VV}}$$

P_{VV} effektbehov, varmvatten

E_1, T_1 årsenergibehov för uppvärmning, relativ driftstid

$E_{\text{VV}}, T_{\text{VV}}$ årsenergibehov av tappvarmvattenberedning, relativ driftstid VVB.

$$k = \frac{E_1/T_1 - E_{\text{VV}}/T_{\text{VV}}}{T_{\text{inne}} - \text{DUT}}$$

P_2 kan nu bestämmas som funktion av utomhustemperaturen. Integrering av denna ger årsenergibehovet utan hänsyn till tillgodogjord värme.

Den tillgodogjorda värmemängden ansättes:

$$P_3 = P_0 + k_3 \times t^2$$

$$E_3 = \int P_3 dt$$

$$E_3 = \int P_2 dt - (E_1 - E_{\text{VV}})$$

P_0 effekttillskott vid DUT

k_3 konstant

t tid

E_3 tillgodogjord energimängd

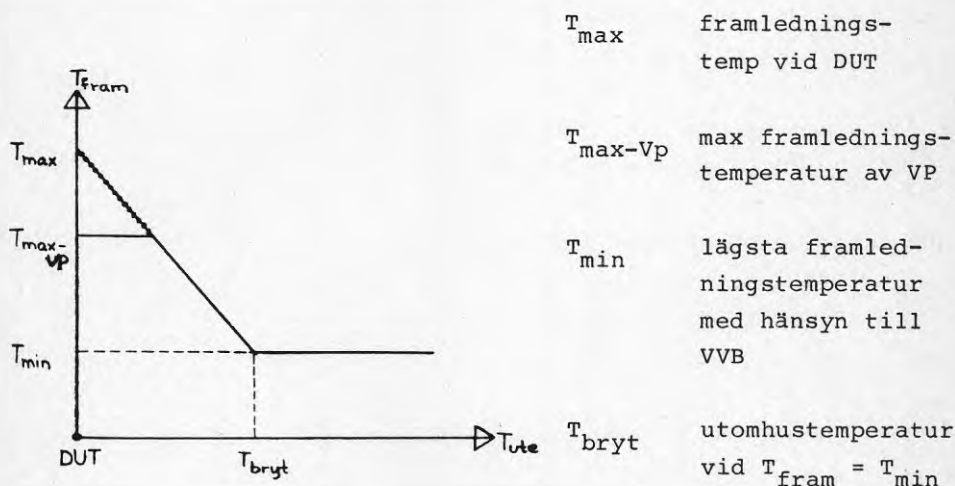
Ur detta kan konstanterna P_0 och k_3 bestämas. Nu är alltså effektbehovet som funktion av utomhustemperaturen bestämd av

$$P_4 = P_2 + P_1 - P_3$$

$$E_1 = \int P_4 dt$$

För att optimera värmepumpen måste vi även känna till framledningstemperaturen i radiatorkretsen som funktion av utomhustemperaturen. Denna framgår av figur 2.

Vid låga utomhustemperaturer är returtemperaturen i radiatorkretsen ibland så hög att man ej kan få in all effekt som V_p kan leverera. Man måste i dessa fall reducera kompressor-effekten. För att beräkna detta måste man känna till returtemperaturen vid DUT.



Figur 2 Framledningstemperatur T_{fram} som funktion av utomhustemperatur T_{ute}

Med den givna framledningstemperaturen och en antagen verkningsgrad i värmepumpen, kan man beräkna värmefaktorn som funktion av utomhustemperaturen.

$$\phi = \eta \times \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

$T_1 = f$ (utomhustemperatur)

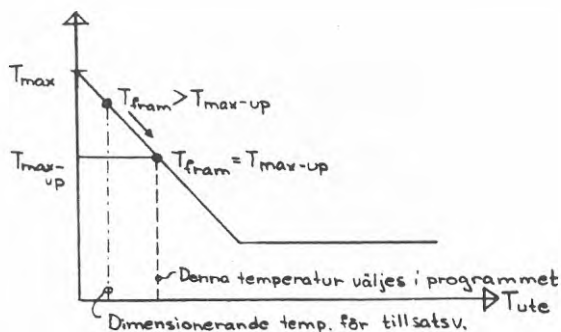
T_1 kondenseringstemperatur

T_2 förångningstemperatur

η verkningsgrad

En optimering av värmepumpsstorleken kan nu göras. Detta sker genom att bestäma vid vilka utomhustemperatur årskostnaden för en värmepump med en kW större effekt är lika med motsvarande kostnader för tillsatsvärme.

Den dimensionerade temperaturen för tillsatsvärme som beräknats är ibland (beroende på ingångsdata) högre än den maximala framledningstemperaturen ur värmepumpen. I dessa fall väljer programmet att lägga ut värmepumpen så att maximal framledningstemperatur ur denna, sammanfaller med framledningstemperaturbehovet i radiatorkretsen, (figur 3).



Figur 3 Utomhustemperaturens påverkan på värmepumpens framledningstemperatur

Då värmepumpen är dimensionerad beräknas energitäckningen med hänsyn av denna samt årsmedelvärde på värmefaktorn och årskostnaden för anläggningen.

Beräkningsexempel

Med hjälp av den ovan redovisade datamodellen har fem driftsfall simulerats:

1. Det befintliga systemet i Färsingaskolan.
2. En minskning av primärvattenflödet i befintligt system.
3. En varierad framledningstemperatur hos primärvattenflödet, där variationen styrs av uteluft-temperaturen.
4. En halvering av luftflödet genom ventilationsaggregaten i skolan.
5. En minskning av luftflödet till 75 % av det nuvarande genom ventilationsaggregaten.

Beräkningsförutsättningar och -resultat i övrigt redovisas nedan.

Beräkningsresultat

Färsingaskolan, befintligt system

Arligt energibehov	1800 MWh _V
Varmvattenförbrukning	450 MWh _V
Relativ driftstid	1600 h
Rumstemperatur	20°C
Uppvärmningen avbryts vid	12°C
Armedelstemperatur	7°C
Dimensionerande utetemperatur	-18°C
Antal gradtimmar	106900
Värmevällans temperatur	8°C
Framledningstemperatur vid DUT	80°C
Returtemperatur vid DUT	65°C
Brytpunkt	5°C
Framledningstemp vid brytpunkt	75°C
Maximal temperatur ur värmepump	70°C
Carnelverkningsgrad	0,6
Kompressoreffekt	100
Armedelvärmefaktor	2,7
Värmetäckning, värmepump	10 %
Värmeteckning, tillsatsvärme	90 %

Beräkningsresultat

Färsingaskolan, minskning av primärvattenflödet

Arligt energibehov	1800 MWh _v
Varmvattenförbrukning	450 MWh _v
Relativ driftstid	1600 h
Rumstemperatur	20°C
Uppvärmningen avbryts vid	12°C
Årsmedeltemperatur	7°C
Dimensionerande utetemperatur	-18°C
Antal gradtimmar	106900
Värmekällans temperatur	8°C
Framledningstemperatur vid DUT	80°C
Returtemperatur vid DUT	60°C
Brytpunkt	5°C
Framledningstemp vid brytpunkt	75°C
Maximal temperatur ur värmepump	70°C
Carnelverkningsgrad	.6
Kompressoreffekt	100
Årsmedelvärmefaktor	2,7
Värmetäckning, värmepump	25 %
Värmeteckning, tillsatsvärme	75 %

BeräkningsresultatBilaga A:3

Färsingaskolan, varierad framledningstemperatur

Arligt energibehov	1800 MWh _v
Varmvattenförbrukning	450 MWh _v
Relativ driftstid	1600 h
Rumstemperatur	20°C
Uppvärmningen avbryts vid	12°C
Armedelstemperatur	7°C
Dimensionerande utetemperatur	-18°C
Antal gradtimmar	106900
Värmekällans temperatur	8°C
Framledningstemperatur vid DUT	80°C
Returtemperatur vid DUT	60°C
Brytpunkt	5°C
Framledningstemp vid brytpunkt	60°C
Maximal temperatur ur värmepump	70°C
Carnelverkningsgrad	.6
Kompressoreffekt	100
Armedelvärmefaktor	2,9
Värmetäckning, värmepump	78 %
Värmeteckning, tillsatsvärme	22 %

Beräkningsresultat

Bilaga A:4

Färsingaskolan, halvering av luftflödena/aggregat

Arligt energibehov	1800 MWh _v
Varmvattenförbrukning	450 MWh _v
Relativ driftstid	1600 h
Rumstemperatur	20°C
Uppvärmningen avbryts vid	12°C
Årsmedeltemperatur	7°C
Dimensionerande utetemperatur	-18°C
Antal gradtimmar	106900
Värmekällans temperatur	8°C
Framledningstemperatur vid DUT	55°C
Returtemperatur vid DUT	45°C
Brytpunkt	5°C
Framledningstemp vid brytpunkt	55°C
Maximal temperatur ur värmepump	55°C
Carnelverkningsgrad	.65
Kompressoreffekt	100
Årsmedelvärmefaktor	3,5
Värmetäckning, värmepump	87 %
Värmeteckning, tillsatsvärme	13 %

BeräkningsresultatBilaga A:5

Färsingaskolan, 75 % av luftflödet/aggreat

Arligt energibehov	1800 MWh _v
Varmvattenförbrukning	450 MWh _v
Relativ driftstid	1600 h
Rumstemperatur	20°C
Uppvärmningen avbryts vid	12°C
Årsmedeltemperatur	7°C
Dimensionerande utetemperatur	-18°C
Antal gradtimmar	106900
Värmekällans temperatur	8°C
Framledningstemperatur vid DUT	65°C
Returtemperatur vid DUT	55°C
Brytpunkt	5°C
Framledningstemp vid brytpunkt	55°C
Maximal temperatur ur värmepump	70°C
Carnelverkningsgrad	.6
Kompressoreffekt	100
Årsmedelvärmefaktor	3,1
Värmetäckning, värmepump	81 %
Värmeteckning, tillsatsvärme	19 %

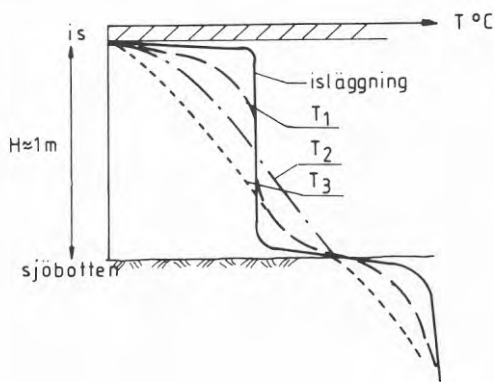
VÄRMEBALANS I DAMMEN UNDER VINTERN

Tekn dr Torbjörn Svensson, Inst för vattenbyggnad,
Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Under isfria perioder på senhösten och vintern bestäms temperatur och värmeinnehållet i dammen i första hand av värmeutbytet med atmosfären. Man kan utgå ifrån att vinden åstadkommer omblandning av vattnet från ytan till botten och därigenom en homogen temperatur. Isläggning inträffar vid lugnt och klart väder och kraftig utstrålning från vattenytan som kyls i ett tunt skikt till noll grader. Resten av vattenmassan har då en temperatur mellan 0 och 4°C beroende på väderförhållandena strax före isläggningen. Uppgifter om vattentemperaturen vid isläggningen, vilken är svår att mäta manuellt av praktiska skäl, saknas här liksom i de flesta andra mätprogram.

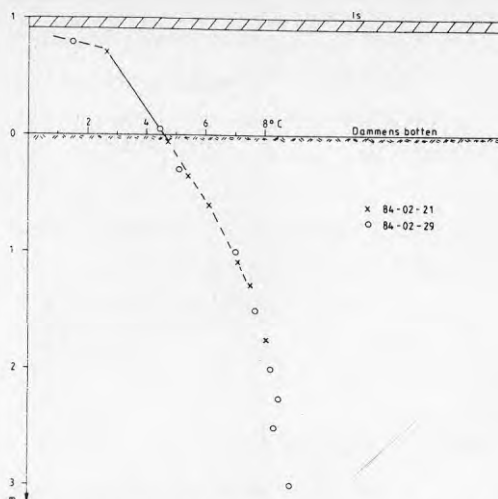
Efter isläggningen isolerar isen effektivt mot värmeutbyte med atmosfären och omblandningen minskar radikalt. I en liten och grund damm av denna typ är det troligt att vattenrörelserna är laminära och att värmetransporter sker genom molekylär värmeledning samt advektivt genom grundvattengenomströmningen och konvektivt genom densitetsskillnader (temperaturskillnader) mellan olika delar av dammen. Det ringa vattendjupet gör att den vertikala temperaturgradienten i vattnet blir kraftig vilket innebär att man kan förvänta sig att den vertikala värmeledningen mellan den varma botten och den nollgradiga isen bör ha ett dominerande inflytande på värmebalansen.

Efter isläggningen, då temperaturen kan förväntas vara i det närmaste konstant i större delen av vattenvolymen, kyls den övre delen av vattenpelaren mot isen, medan den undre värms från botten. Om inte genomströmningen stör förloppet utbildas successivt en linjär gradient från ytan till botten enligt vad som framgår av figur 1.



Figur 1 Principiell temperaturfördelning i en sjö under tiden efter isläggning

Tiden T_3 , då ett jämviktstillstånd uppnåtts, är proportionell mot H^2/α , där α = vattnets temperaturledningstal ($= 1,33 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$). För ett djup av 1 m blir T_3 1-2 veckor och för medeldjupet, ca 0,5 m under vintern, blir T_3 mindre än en vecka.



Figur 2 Temperatur i sediment och sjövattnet, vintern 1984

Temperaturmätning i vatten och bottensediment utfördes i en profil i dammens centrala del, se figur 2, den 21 och 29 februari 1984. Resultaten skiljer sig inte nämnvärt från varandra och sammanfattas i figur 2. Av denna kan följande slutsatser dras:

- Värmeflödet från sedimenten till vattnet uppgår till ca $1,3 \text{ W/m}^2$, vilket för hela dammen ger ett värmetillskott av 27 kW.

Det uppmätta värmeflödet är något mindre än vad som kunde förväntas. Ett typiskt värmeflöde borde vara omkring 5 W/m^2 i mitten på december och sjunkande till $2-3 \text{ W/m}^2$ i slutet av februari. Möjligen borde det vara ännu högre med hänsyn till det ringa vattendjupet, vilket ger en hög temperatur i vattnet sommartid.

Orsaken till det låga värmeflödet är dels den höga temperaturen vid botten, $+4,5^\circ\text{C}$, dels den

förhållandevis låga temperaturen på stort djup i sedimenten. Temperaturen på 3 m djup i sedimenten bör tillnärmelsevis ansluta till vattentemperaturens årsmedeltemperatur vid botten som borde vara minst $+10^{\circ}\text{C}$. Detta tyder på att det finns en grundvattenströmning i sandlagret under sjösedimenten som kyler dessa underifrån. Det krävs dock en längre tids temperaturmätningar i sjövattnet och sedimenten för att fastställa om så verkligen är fallet.

- Närmast isen är temperaturgradienten betydligt brantare än i vattnet i övrigt. Värmeförlusten genom ledning till isen uppgår till minst $9,5 \text{ W/m}^2$ eller 200 kW för sjön som helhet. Detta är $7\frac{1}{2}$ gånger så mycket som värmetillskottet från botten och tyder antingen på att temperaturförhållandena inte är stationära eller på ett kraftigt värmetillskott från annat håll än från sedimenten.

Isläggning av sjön inträffade i mitten av januari efter en tids öppet vatten. Från isläggningen till mättillfället har en period av 6 veckor gått, vilket enligt tidigare resonemang mycket väl bör ha räckt till för att utjämna temperaturgradienten. Det är därför troligt att den uppmätta temperaturprofilen representerar ett relativt stationärt tillstånd med avseende på den vertikala värmetransporten.

Övriga värmetillskott till sjön kan ske genom solinstrålning genom isen och/eller genom ett grundvattentillskott alternativt ett grundvattenflöde genom sjön. Meteorologiska data från Sturup visar emellertid att de 10 dagarna närmast före mätningen varit helt mulna och för

övrigt hela februari varit påfallande solfattig. Solinstrålning kan därför uteslutas som källa till den höga temperaturen i vattnet. Grundvattentillskott synes därför ge det dominerande värmertilskottet under vintern.

Enligt tidigare ger grundvattnet ett nettotillskott av omkring 1 l/s till sjön. Detta vatten kan antas ha en temperatur av högst $+7,5^{\circ}\text{C}$ vid inströmningszonen och blandar sig snabbt med sjövattnet tills temperaturen $+3-4^{\circ}\text{C}$ uppnås. Nettotillskottet bidrar att öka sjöns värmeinhåll och skall således inte balanseras av värmeförlusten till isen. Det totala värmeinnehållet relativt $\pm 0^{\circ}\text{C}$ var vid mättillfället ca 34 000 kWh.

För att balansera nettovärmeförlusten från sjön krävs ett värmertilskott med genomströmmande grundvatten som uppgår till minst 173 kW. Om inströmande grundvatten har en temperatur av $+7,5^{\circ}\text{C}$ och det utströmande $+1^{\circ}\text{C}$, kan grundvattenflödet beräknas enligt följande:

$$Q_{\text{grv}} = \frac{173\ 000}{4,2 \times 10^{-6} (T_{\text{in}} - T_{\text{ut}})} = 0,0063 \text{ m}^3/\text{s} = 6 \text{ l/s}$$

Detta flöde är väsentligt större än vad som uppskattats från hydrogeologiska data. I själva verket torde flödet vara ännu större genom att inströmningstemperaturen sannolikt är överskattad och värmeförlusterna underskattade. Vid inströmningszonen torde värmeförlusten till isen vara avsevärt större än vad som uppmätts i sjöns huvuddel.

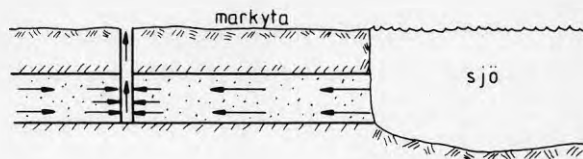
TERMOHYDRAULISK FÖRSTUDIE

Civ ing Johan Bennet och Fil dr Johan Claesson, Avd
för matematisk fysik, LTH

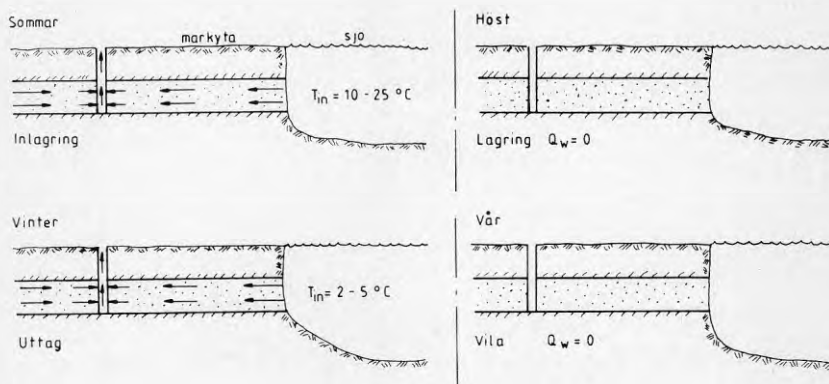
1. GRUNDVATTENVÄRME MED INFILTRATION FRÅN SJÖ
Givet: ett grundvattenmagasin som har direkt kontakt
med en sjö. På ett visst avstånd från sjön borrar en
brunn ned till akviferen. Ur denna skall grundvatten,
som skall användas till energiutvinning, pumpas upp.
Under pumpningen kommer vatten att infiltreras från
sjön in i akviferen. Figur 1 visar ett sådant system.
Genom att påbörja pumpningen på våren och fortsätta
under sommaren kommer varmt vatten att infiltrera
akviferen. Detta varma infiltrerande vatten kommer
efter en lagringsperiod under hösten att utnyttjas
under vintern.

Under denna vinterperiod får man vid pumpningen
infiltration av kallt sjövattnet. Detta kalla sjö-
vattnet tas efter en viloperiod upp under sommaren och
ersätts med varmt infiltrerande sjövattnet. Det varma
sjövattnet, som har infiltrerats under sommaren, kan
sedan utnyttjas under nästa vinterperiod osv.

Figur 2 visar de fyra olika stadierna under en års-
cykel.



Figur 1 Grundvattensystem med infiltration från en sjö



Figur 2 Fyra stadier under en årscykel

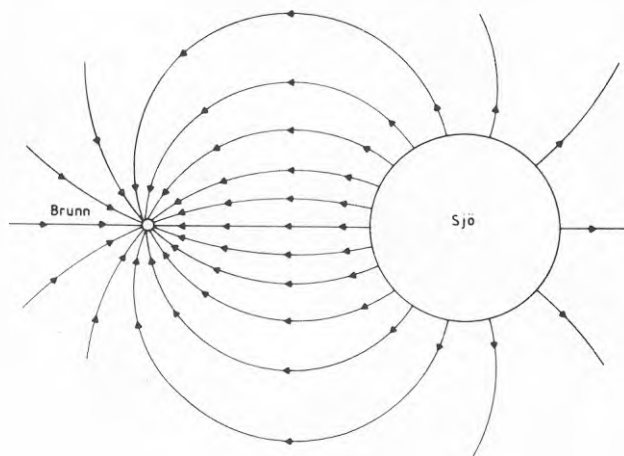
De ur termisk synpunkt viktigaste frågorna för denna typ av grundvattensystem är:

- 1) På vilket avstånd från sjön bör brunnen placeras?
- 2) Hur bör pumpflödena väljas sommar och vinter för att bästa resultat skall nås?

I denna rapport redogörs för resultaten av datorkörningar där avståndet mellan brunn och sjö samt flödesstrategin har varierats. Indata för ett studerat system vid Färsingaskolan i Sjöbo har använts.

2. TERMOHYDRAULISK MODELL

För att beräkna temperaturförloppet måste man känna grundvattenströmbilden. Den strömbild som uppkommer i akviferen på grund av pumpningen kan liknas vid den strömbild som uppkommer när man har en uttagsbrunn och en injektionsbrunn. Figur 3 visar strömbilden.



Figur 3 Grundvattenströmbild för systemet

Förutsättningarna för att grundvattenströmningen i akviferen skall ske som i figur 3 är följande:

- akviferen begränsas i horisontalled endast utav sjön
- transmissiviteten är konstant i hela akviferplanet
- sjön har cirkulär form
- strömningsövergångsmotståndet mellan sjö och akvifer är försumbart. (Detta innebär att infiltrationen in i akviferen överallt sker i rät vinkel mot sjön).

För den aktuella typen av tvåbrunnssystem har en datormodell utvecklats vid avdelningen för matematisk fysik, LTH. Denna modell finns beskriven i "Model of Aquifer storage system, Manual for Computer Code", från december 1983 och i "Manual till datorprogram för värmelagring i akvifer med en uttagsbrunn och en återinjekteringsbrunn" från januari 1984.

Efter vissa modifieringar av denna datormodell kan ett grundvattenvärmsystem med en brunn, som ligger nära infiltrerande sjö, simuleras. Dessa modifieringar kommer att redogöras för i en bilaga till de refererade manualerna.

3. INDATA

Följande data har använts för grundvattenprojektet Färsingaskolan, Sjöbo.

Lagerföljd:

Täckande skikt	3 m
Akviferhöjd	6 m

Värmeledningstal:

Täckande skikt	1,0 W/mK
Akvifer	1,5 W/mK
Underliggande lager	2,0 W/mK

Värmekapaciteter:

Täckande skikt	$2,0 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$
Akvifer	$2,2 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$
Underliggande lager	$2,0 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$
Vattnets värmekapacitet	$4,2 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$
Sjöns radie	mycket stor ($R = \infty$)

Infiltrationstemperaturer:

Sommar	13°C
Vinter	2°C
Begynnelsestemperatur i marken	8°C
Temperatur vid markytan	10°C

Simuleringstid: 5 år (dvs 5 cykler)

Beräkningarna har gjorts för fyra olika avstånd mellan sjön och brunnen: 40, 80, 120 och 160 meter.

För de två mellersta avstånden, 80 och 120 m, har tre olika flödesstrategier simulerats.

GRUNDFALL

Sommar: 4 månaders inlagring. Varmt sjövattnet infiltreras.

Flöde $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$

Höst: 2 månaders lagring. Ingen pumpning

Vinter: 4 månaders uttag. Kallt sjövattnet infiltreras.

Flöde $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$

Vår: 2 månaders vila. Ingen pumpning

De båda andra flödesstrategierna skiljer sig ifrån grundfallet endast genom att flödet under inlagringsperioden fördubblas respektive tredubblas.

För det minsta avståndet (40 m) har endast grundfallet simulerats.

För det största avståndet (160 m) har förutom de tre nämnda flödesstrategierna även femdubbel och tiodubbel inlagring simulerats.

4. RESULTAT

Den avgörande storleken för systemets effektivitet är den temperatur man får på det uttagna vattnet. I diagrammen 1-12 visas uttagstemperaturen för de olika fallen.

För grundvattenströmmen från sjön till brunnen blir den teoretiska termiska genomslagstiden

$$t_{bt} = \frac{2\pi}{3} \times \frac{L^2 W C}{Q_w C_w}$$

där L är avståndet mellan brunn och sjö (m)

H är akviferhöjden (m)

C är akviferens värmekapacitet (J/m^3K)

Q_w är vattenflödet (m^3/s)

C_w är vattnets värmekapacitet (J/m^3K)

Följande värden har använts för beräkning av t_{bt}

L = 40, 80, 120 och 160 m

H = 6 m

C = $2,2 \times 10^6 J/m^3K$

$Q_w = 0,01 m^3/s$

$C_w = 4,2 \times 10^6 J/m^3K$

Insatta värden ger:

L = 40 m	t_{bt} = 12 dygn
L = 80 m	t_{bt} = 1 månad 20 dygn
L = 120 m	t_{bt} = 3 månader 20 dygn
L = 160 m	t_{bt} = 6 månader 15 dygn

På grund av värmeledningen uppträder temperaturpåverkan vid brunnen något tidigare än vad dessa teoretiska värden förutsäger.

5. SLUTSATSER

Ur beräkningarna kan för det aktuella fallet följande slutsatser dras:

L = 40 meter

Avståndet är alldeles för litet. Temperaturen i det uttaga vattnet börjar påverkas ifrån sjön redan efter någon vecka.

L = 80 meter

Avståndet är fortfarande för litet. Temperaturen i det uttagna vattnet börjar påverkas efter någon månad.

L = 120 meter

För detta avstånd uppträder temperaturpåverkan ifrån sjön vid uttagsbrunnen under den sista månaden av produktionsperioden. Under denna tid sjunker temperaturen med ca 1°C. Det torde dock vara eftersträvänsvärt att uppnå en konstant uttagstemperatur, varför ytterligare ökning av avståndet är att rekommendera.

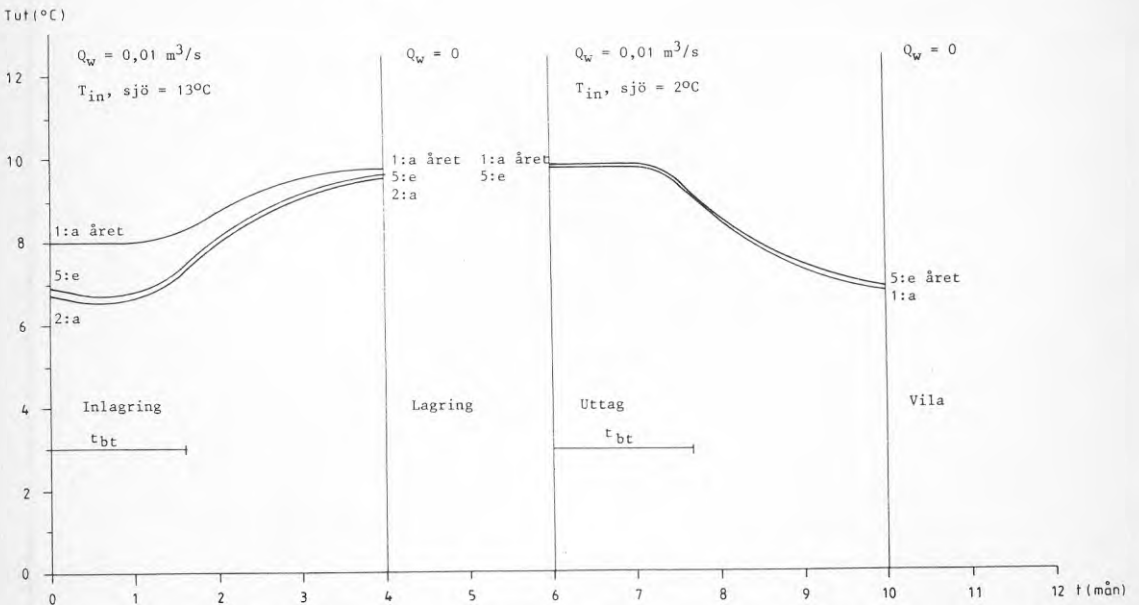
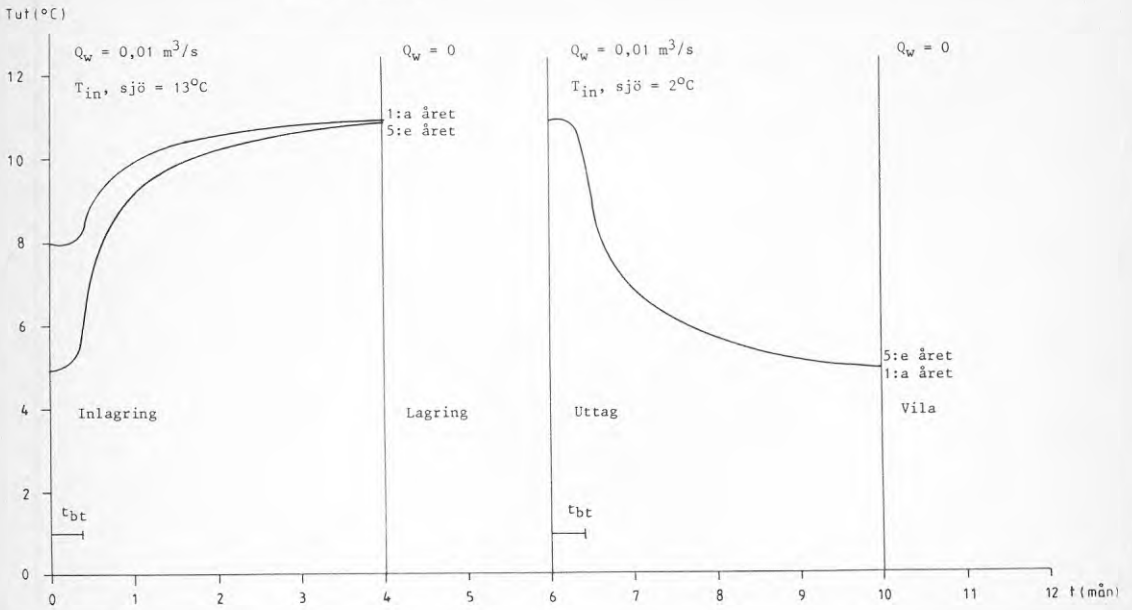
L = 160 meter

För detta avstånd hinner inte det kalla sjövattnet att nämnvärt påverka uttagstemperaturen under uttagsperioden. Däremot gäller det att under inlagringsperioden höja temperaturen så mycket som möjligt.

Genom att öka inlagringsmängden kan man öka medeluttagstemperaturen under produktionsperioden.

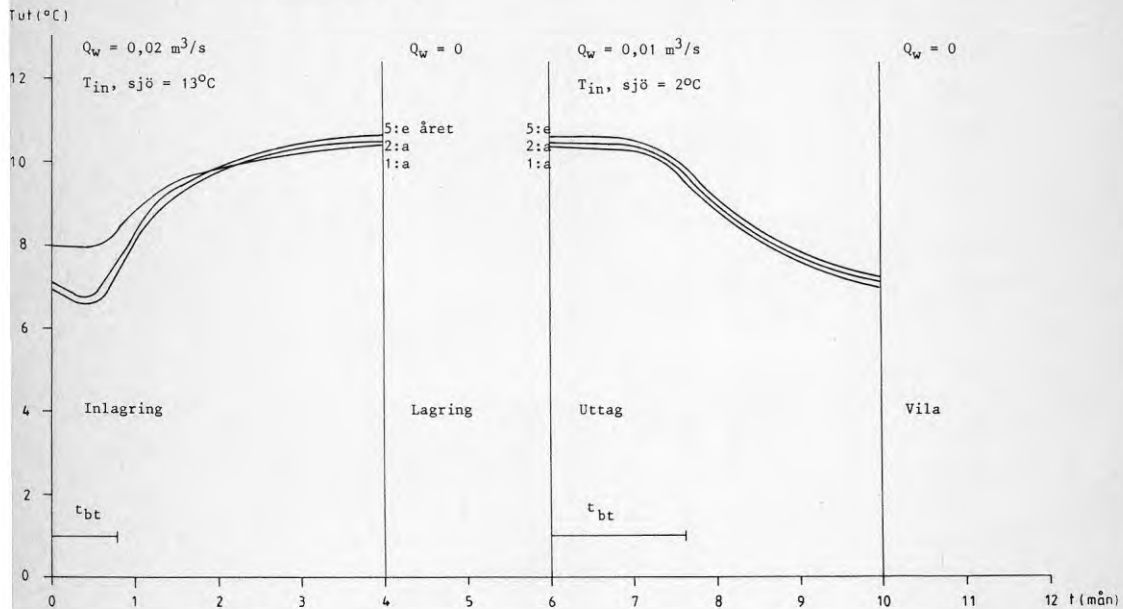
Skillnaden i medeluttagstemperatur mellan enkel och dubbel inlagring blir ca $0,7^{\circ}\text{C}$. Om man ökar inlagringstakten från dubbel till tredubbel inlagring fås ytterligare en temperaturhöjning på ca $0,5^{\circ}\text{C}$. Vid tredubbel inlagring håller sig uttagstemperaturen tämligen konstant under uttagsperioden. Ytterligare ökning av inlagringsmängden medför inte särskilt stora höjningar av medeluttagstemperaturen. Däremot sjunker uttagstemperaturen med ca $0,5^{\circ}\text{C}$ under uttagsperioden.

Av denna anledning synes tredubbel inlagring vara det termiskt optimala systemet.



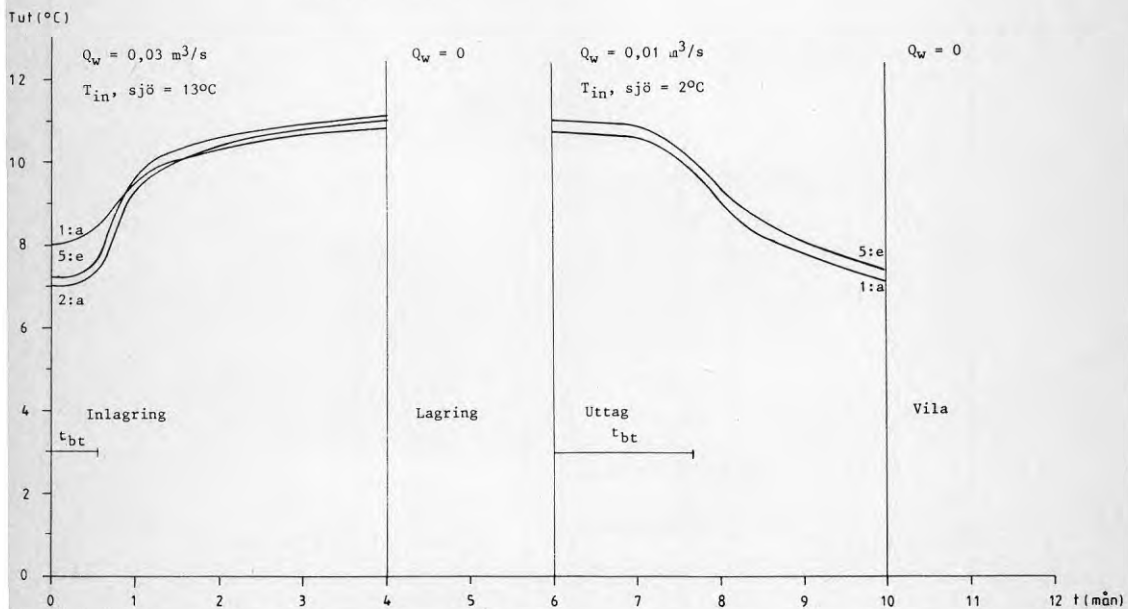
Avstånd mellan brunn och sjö: 80 m
Dubbel inlagring

Diagram nr 3



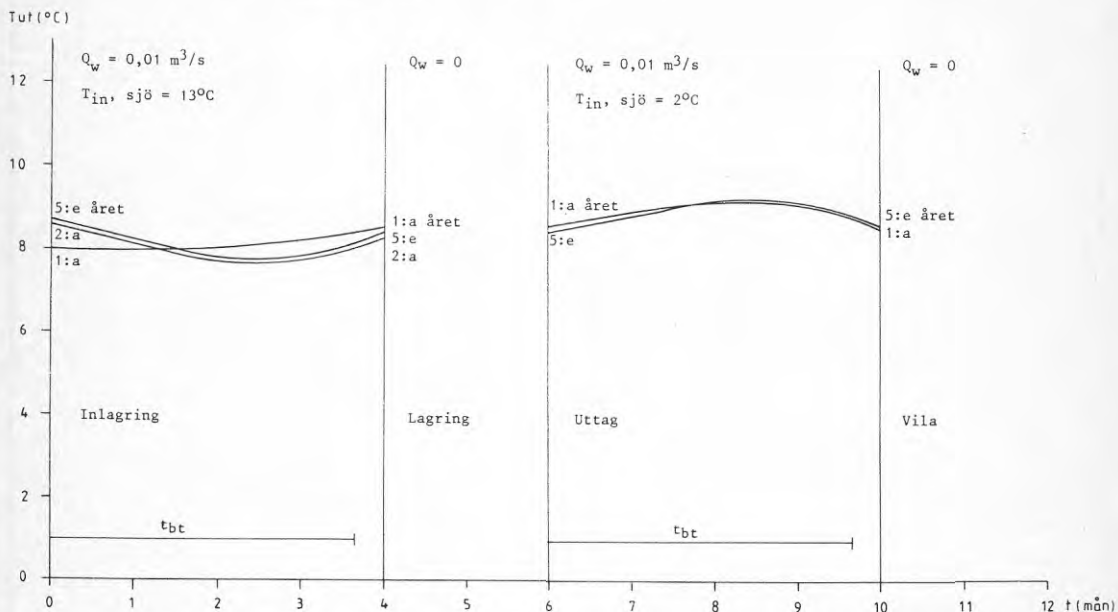
Avstånd mellan brunn och sjö: 80 m
Tredubbel inlagring

Diagram nr 4



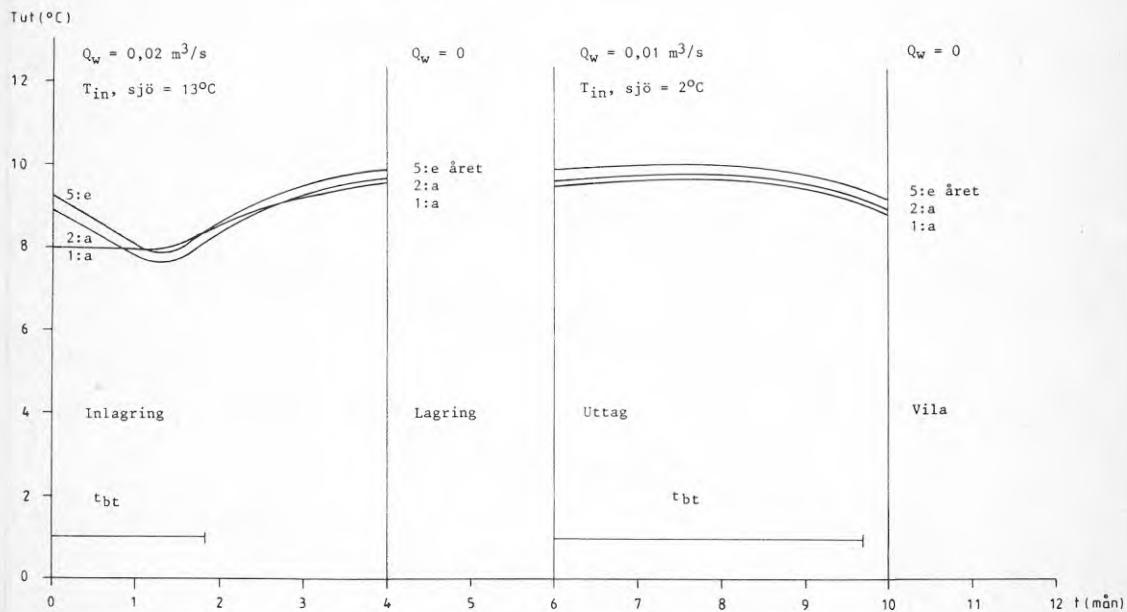
Avstånd mellan brunn och sjö: 120 m
Enkel inlagring

Diagram nr 5



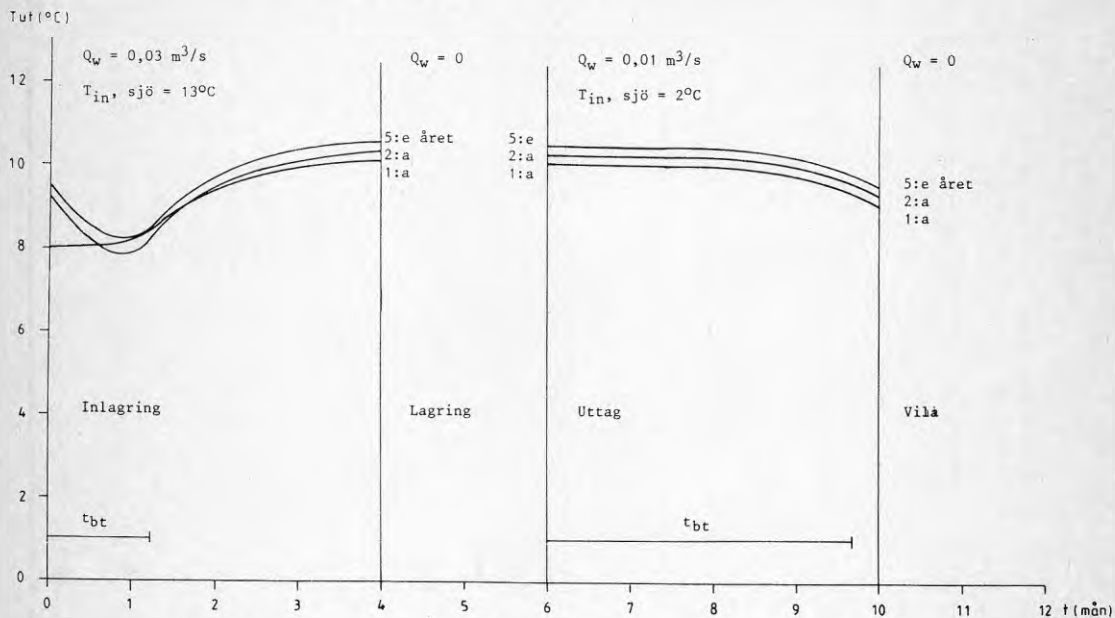
Avstånd mellan brunn och sjö: 120 m
Dubbel inlagring

Diagram nr 6



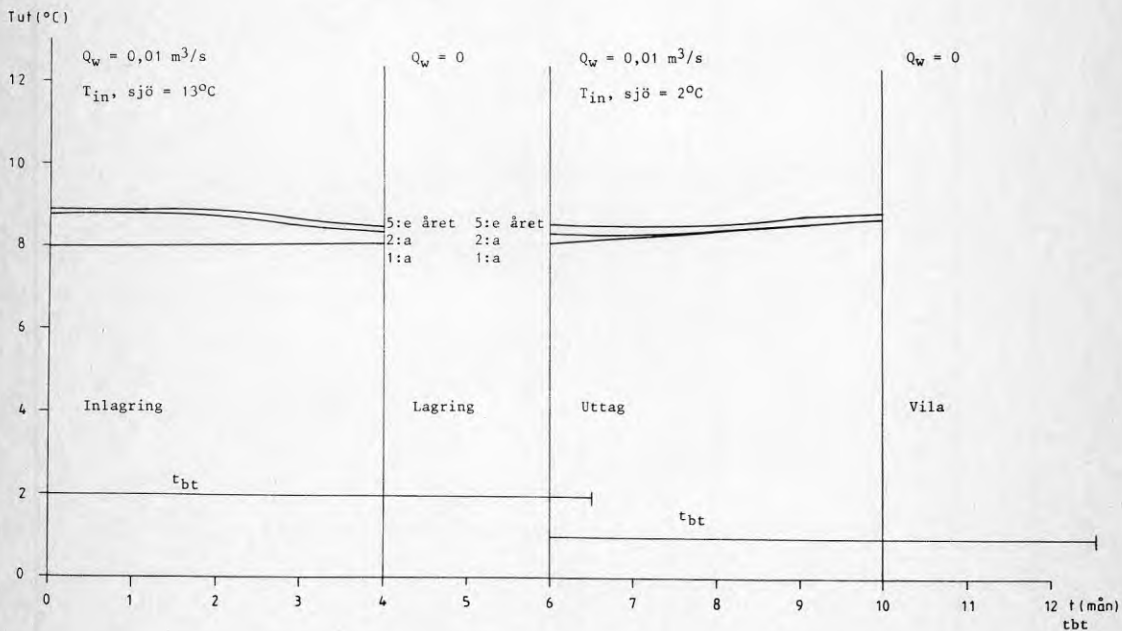
Avstånd mellan brunn och sjö: 120 m
Tredubbel inlagring

Diagram nr 7



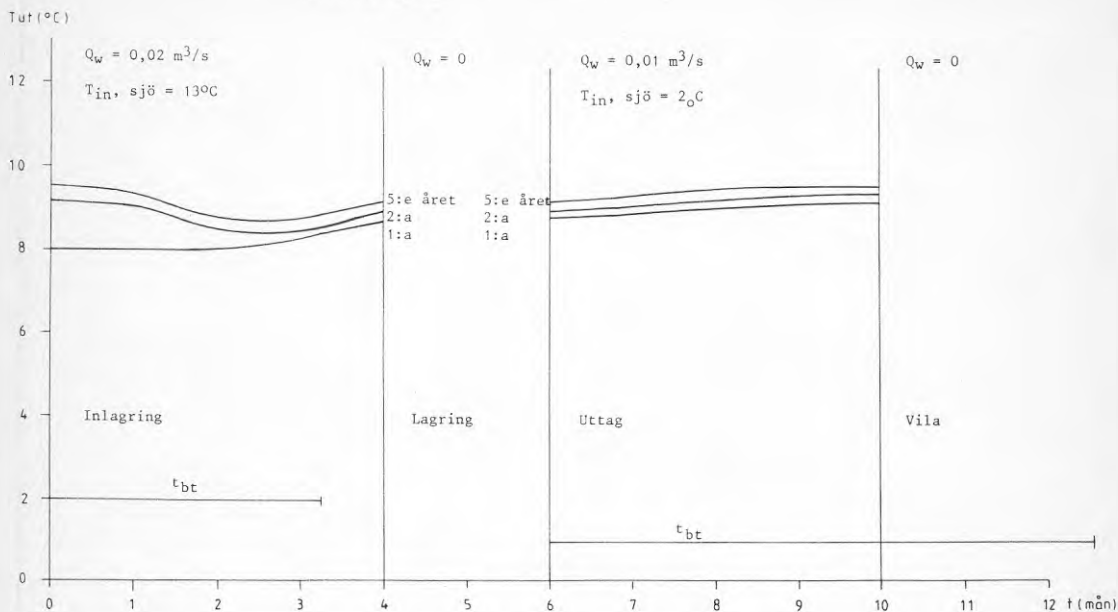
Avstånd mellan brunn och sjö: 160 m
Enkel inlagring

Diagram nr 8



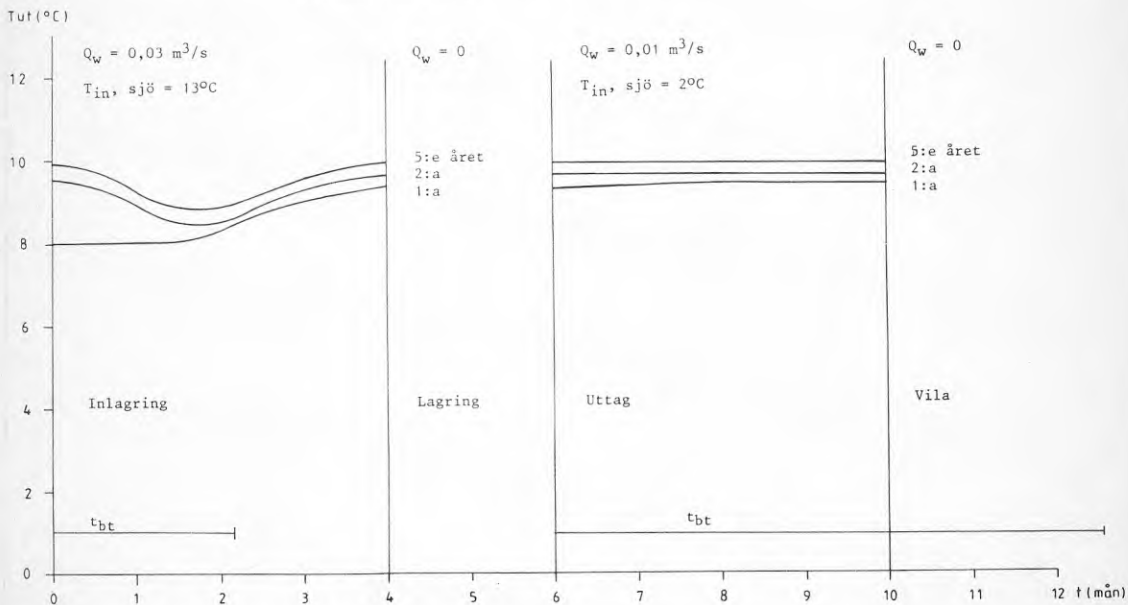
Avstånd mellan brunn och sjö: 160 m
Dubbel inlagring

Diagram nr 9



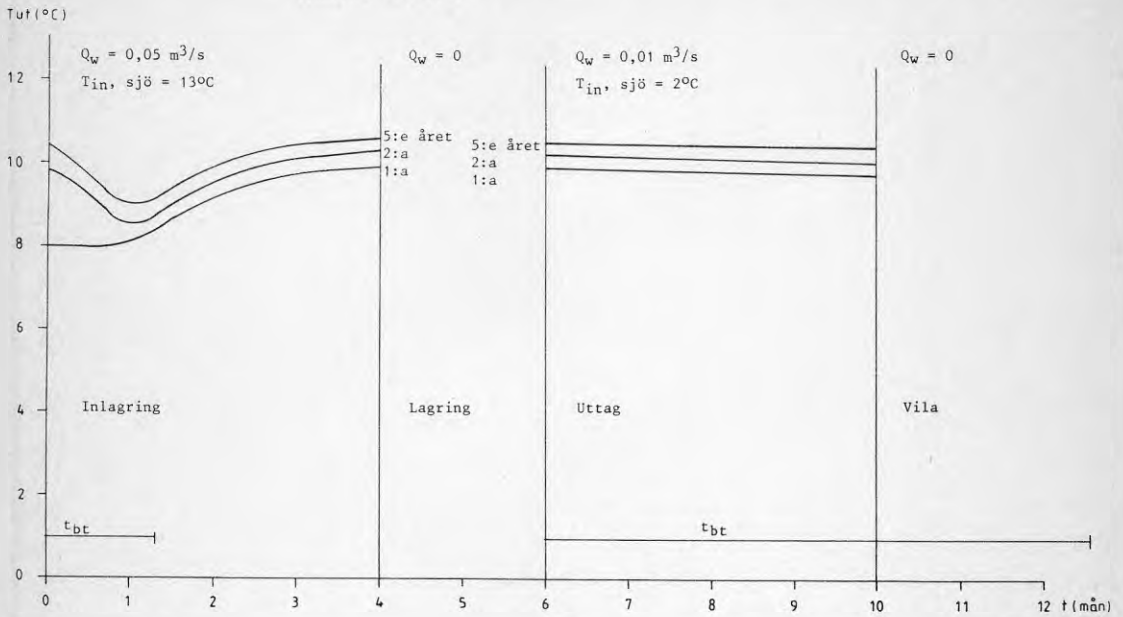
Avstånd mellan brunn och sjö: 160 m
Tredubbel inlagring

Diagram nr 10



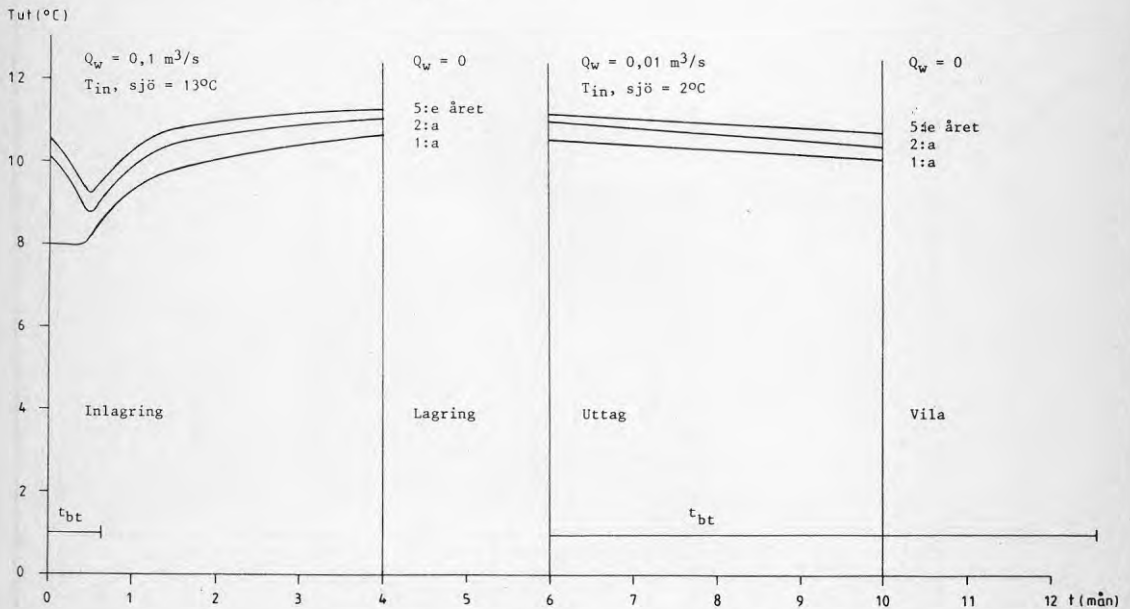
Avstånd mellan brunn och sjö: 160 m
Femdubbel inlagring

Diagram nr 11



Avstånd mellan brunn och sjö: 160 m
Tiodubbel inlagring

Diagram nr 12



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831140-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Sjöbo kommun,
Tekniska nämnden.**

R28: 1986

ISBN 91-540-4521-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706028

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirka pris: 35 kr exkl moms