



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

R88:1990

Grundvatten för värmepumpsystem

**Utvärdering av överutnyttjande
Malmö och Ystad**

**Hans Jeppsson
Johan Landberg**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135493

Bygghforskningsrådet

R88:1990

GRUNDVATTEN FÖR VÄRMEPUMPSYSTEM

Utvärdering av överutnyttjande
Malmö och Ystad

Hans Jeppsson
Johan Landberg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860227-5
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,
Malmö.

REFERAT

Värmebehovet för flerfamiljshus och liknande större byggnader är normalt så stort att energiuttaget från markvärmesystem påverkar omkringliggande fastigheter. I tätorter med flera närläggna grundvattenvärmepumpsystem kan dessa på sikt förväntas påverka varandra termiskt. Detta medför i sin tur försämrade drift- och lönsamhetsförhållanden. För att undvika en överetablering har myndigheterna bl a efterlyst ett underlag för rekommendation till maximala effekttuttag per ytenhet, samt förslag till enkla åtgärder för att förbättra situationen för anläggningar där nedkylningen av det omgivande grundvattenmagasinet blivit ett problem.

Inom ramen för föreliggande projekt har grundvattentemperaturerna vid ett antal grundvattenvärmeanläggningar i Malmö och Ystad följts upp av personal från Ystad och Malmö energiverk under uppvärmningssäsongerna 1987-88 samt 88-89 för att klarlägga problemets omfattning. Vidare har en termohydraulisk studie genomförts för att ge ett underlag till rekommendationer rörande etableringstäthet.

Resultatet av den teoretiska studien har lett fram till följande rekommendation rörande effekttuttag vid anläggningen utan återladdning av energi inom tätbebyggelse:

- 750 kw/km² för djupa grundvattenmagasin med en mäktighet > 30 m
- 300 kw/km² för yttigare belägna grundvattenmagasin med en mäktighet runt 10-20 m

Resultaten från fältundersökningarna visar på smärre nedkylningseffekter hos enstaka anläggningar i Malmö, medan förhållandena i Ystad visar på större bekymmer. Sammantaget visar dock undersökningen på att andra problem på värmepumpens kalla sida av typ igensättning, korrosion och förångarhaverier spelat en betydligt större roll för avställning av värmepumpsanläggningar i Malmö och Ystad.

I rapportens sista del diskuteras konsekvenser av nedkylningseffekter samt lämnas förslag till tekniska åtgärder för att åtgärda nedkylningsproblem.

Här föreslås två principiellt skilda lösningar:

- I Fördjupning av antingen både uttags- och returbrunnar alternativt enbart returbrunnen för att relativt billigt, kortvarigt, komma ur en akut situation.
- II Återladdning av solenergi till systemet via solfångare, uteluftvärmväxlare eller kylsystem. Denna lösning medför en högre investeringskostnad men utgör en mera varaktig lösning på ett nedkylningsproblem.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R88:1990

ISBN 91-540-5260-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

gotab Stockholm 1990

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sid
FÖRORD	
SAMMANFATTNING	
1. BAKGRUND	1
2. GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	2
2.1 Översikt	2
2.2 Berggrund	2
2.3 Jordlager	3
2.4 Grundvattenmagasin	4
3. TERMOHYDRAULISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	4
3.1 Inledning	4
3.2 Nedkylning kring ett brunnspår	5
3.2.1 Processbeskrivning	5
3.2.2 Nedkylningshastighet och termisk radie	6
3.2.3 Beräkningsmodell	8
3.3 Nedkylningsförlopp kring flera brunnar	9
3.3.1 Påverkande faktorer	9
3.3.2 Beräkningsmodell	10
4. BERÄKNING AV TEORETISK EXPLOATERINGSGRAD	12
4.1 Allmänt	12
4.2 Beräkning grundad på energibalans	13
4.3 Beräkning grundad på nerkylning kring brunnspår	16
4.3.1 Djupt liggande akvifer	16
4.3.2 Ytligt liggande akvifer	20
4.4 Superponeringseffekter	26
4.5 Sammanfattning	26
5. ERFARENHETER FRÅN VÄRMEPUMPSANLÄGG- NINGAR I MALMÖ OCH YSTAD	27
5.1 Allmänt	27
5.2 Anläggningar i Malmö	27
5.3 Anläggningar i Ystad	29
5.4 Sammanfattande synpunkter	32
6. KONSEKVENSER AV NEDSATT DRIFTFUNKTION	33
6.1 Tekniska problem	33
6.2 Juridiska problem	34
6.3 Ekonomiska problem	34
6.4 Sammanfattande synpunkter	35

7.	ÅTGÄRDER MOT NEDKYLNING - TEKNISKA FÖRSLAG	36
7.1	Tekniska lösningar	36
7.2	Synpunkter på genomförande	39
	BETECKNINGAR	40
	LITTERATURREFERENSER	41

Bilaga 1 Värmepumpar - Grundvatten S Sofielund

Bilaga 2 Värmepumpar - Grundvatten Ystad

FÖRORD

Under första hälften av 1980-talet utfördes i Skåne ett stort antal grundvattenvärmepumpsanläggningar. Framför allt i sydvästra Skåne, i Malmö, Trelleborg och Ystad, kom många anläggningar till stånd i hyreshus i den centrala stadskärnan. Den snabba expansionen ledde fram till farhågor för en överexploatering. Önskemål om riktlinjer för hur många - alternativt hur stora - anläggningar som kunde utföras inom ett begränsat område framfördes från olika myndigheter.

Denna rapport söker besvara några av de frågor som ställts i skilda sammanhang. Underlaget utgörs dels av en teoretisk del utförd av civ ing Hans Jeppson vid VIAKs Malmökontor, dels av fältundersökningar utförda av personal vid Malmö Energiverk och Ystads fastighetskontor.

Malmö 1990-08-09
VIAK AB
Johan Landberg
Projektledare

SAMMANFATTNING

Värmebehovet för flerfamiljshus och liknande större byggnader är normalt så stort att energiuttaget från markvärmesystem påverkar omkringliggande fastigheter. I tätorter med flera närbelägna grundvattenvärmepumpsystem kan dessa på sikt förväntas påverka varandra termiskt. Detta medför i sin tur försämrade drift- och lönsamhetsförhållanden. För att undvika en överetablering har myndigheterna bl a efterlyst ett underlag för rekommendation till maximala effektuttag per ytenhet, samt förslag till enkla åtgärder för att förbättra situationen för anläggningar där nedkylningen av det omgivande grundvattenmagasinet blivit ett problem.

Inom ramen för föreliggande projekt har grundvattentemperaturerna vid ett antal grundvattenvärmeanläggningar i Malmö och Ystad följts upp av personal från Ystad och Malmö energiverk under uppvärmningssäsongerna 1987-88 samt 88-89 för att klarlägga problemets omfattning. Vidare har en termohydraulisk studie genomförts för att ge ett underlag till rekommendationer rörande etableringstäthet.

Resultatet av den teoretiska studien har lett fram till följande rekommendation rörande effektuttag vid anläggningen utan återladdning av energi inom tätbebyggelse:

- 750 kw/km² för djupa grundvattenmagasin med en mäktighet > 30 m
- 300 kw/km² för ytligare belägna grundvattenmagasin med en mäktighet runt 10-20 m

Resultaten från fältundersökningarna visar på smärre nedkylningseffekter hos enstaka anläggningar i Malmö, medan förhållandena i Ystad visar på större bekymmer. Sammantaget visar dock undersökningen på att andra problem på värmepumpens kalla sida av typ igensättning, korrosion och förångarhaverier spelat en betydligt större roll för avställning av värmepumpsanläggningar i Malmö och Ystad.

I rapportens sista del diskuteras konsekvenser av nedkylningseffekter samt lämnas förslag till tekniska åtgärder för att åtgärda nedkylningsproblemet.

Här föreslås två principiellt skilda lösningar:

- I Fördjupning av antingen både uttags- och returbrunnar alternativt enbart returbrunnen för att relativt billigt, kortvarigt, komma ur en akut situation.
- II Återladdning av solenergi till systemet via solfångare, uteluftvärmväxlare eller kylsystem. Denna lösning medför en högre investeringskostnad men utgör en mera varaktig lösning på ett nedkylningsproblem.

ÖVERETABLERING AV GRUNDVATTENVÄRMEPUMPS-ANLÄGGNINGAR I TÄTBEBYGGELSE - RESULTAT AV STUDIER FRÅN MALMÖ OCH YSTAD

1. BAKGRUND

Den ökade mängden värmepumpsanläggningar med grundvatten som värmekälla i tätbebyggelse medför risk för en överetablering i områden av typ stadskärnor och andra centrumbildningar.

Så länge fastighetsägarens energiuttag endast påverkar den egna fastigheten kan energiuttaget genomföras problemfritt under förutsättning att en tekniskt väl fungerande lösning valts. Vid flerfamiljshus och andra större byggnader är emellertid värmebehovet normalt så stort att energiuttaget från marken eller grundvattenmagasinet kommer att påverka även omkringliggande fastigheter. I de fall även dessa utnyttjar likartade värmepumpssystem uppstår snart en konkurrenssituation och en överetablering i förhållande till värmekällans potential.

Ett alltför stort värmeuttag från ett område visar sig på sikt genom en successivt sjunkande temperatur hos värmekällan, t ex hos grundvattnet i ett grundvattenmagasin. Detta leder så småningom till driftstörningar i systemet. I första hand minskar utrymmet för temperatursänkning (ΔT) i förångaren och på sikt uppstår risk för isbildning i denna. Andra konsekvenser är en försämrad värmefaktor, en minskande driftstid och sammantaget erhålls en successivt sjunkande lönsamhet för värmepumpsanläggningen.

På motsvarande sätt minskar också värmepumpens andel av energiproduktionen i systemet, och denna andel måste täckas av spetsvärmen, vilken så småningom kan förväntas att svara för en dominerande andel av uppvärmningsbehovet.

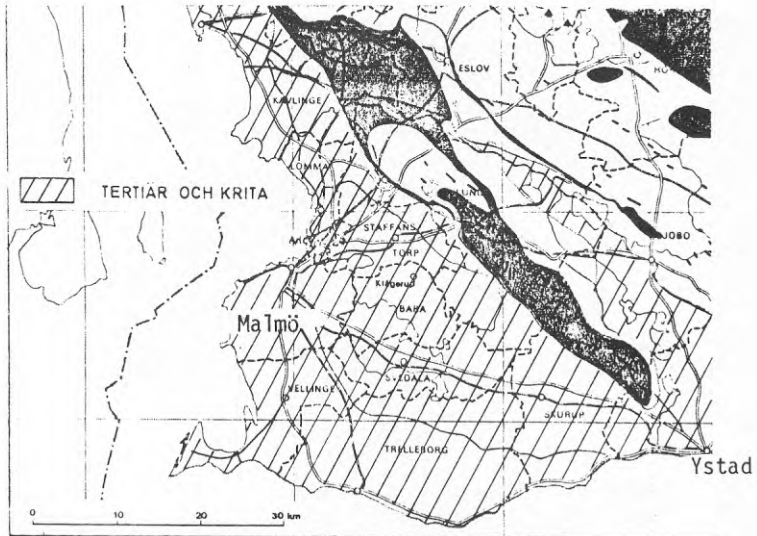
Sammantaget leder utvecklingen fram till en komplicerad situation, där nytillkommande värmepumpar successivt försämrar driftsförhållandena och -ekonomin för redan utförda anläggningar. De juridiska och planmässiga konsekvenserna är ännu för tidigt att uttala sig om, men på sikt torde någon form av etableringskontroll och exploateringsstäthet bli aktuell.

I avsikt att närmare belysa dessa problem har en uppföljning gjorts av ett antal grundvattenvärmeanläggningar i Ystad och Malmö, under åren 1987-1989. Erfarenheterna från dessa studier har tillsammans legat till grund för denna rapport med teoretiska beräkningar.

2. GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

2.1 Översikt

Såväl Ystad som Malmö är belägna inom områden med sedimentär berggrund, se figur 2.1. De lokala geologiska förutsättningarna medför normalt goda möjligheter till grundvattenuttag, varför värmepumpsanläggningar baserade på uttag och återföring av grundvatten blivit ett populärt uppvärmningsalternativ.



Figur 2:1 Kritberggrundens utbredning i Sydvästra Skåne

2.2 Berggrund

De övre delarna av berggrunden i sydvästra Skåne utgörs av i kritkalksten tillhörande Danienperioden. Karakteristiskt för denna är att den normalt är uppbyggd av såväl hårda som mjukare skikt med talrika bankar av flinta eller förkislad kalksten. I anslutning till flintbankarna är kalkstenen vanligtvis uppsprucken och vattenförande, vilket medför att brunnar nedförda till dessa partier i lagerföljden normalt får en god kapacitet.

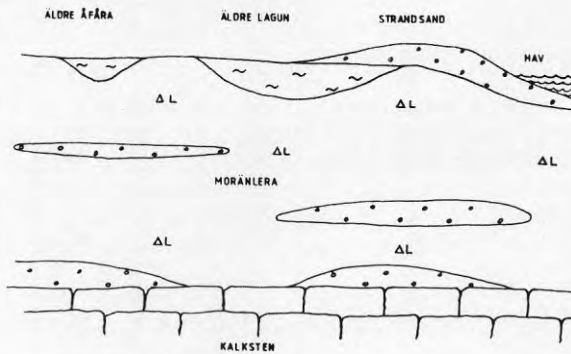
De uppspruckna delarna av berggrunden erbjuder mycket goda uttagsmöjligheter för grundvatten via bergborrade brunnar. På motsvarande sätt är möjligheterna att återföra grundvatten till berggrunden normalt goda.

2.3 Jordlager

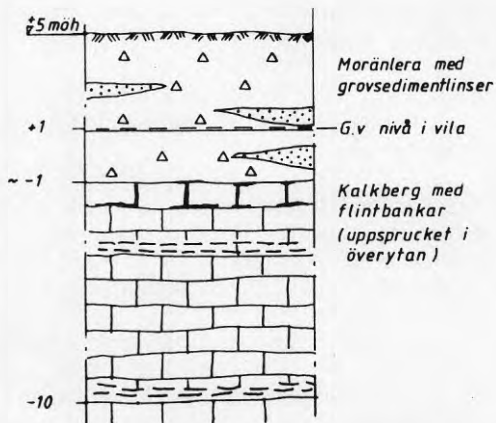
I såväl Malmö- som Ystadområdet täcks kritberggrunden normalt av moränlera, vanligtvis med mäktigheten varierande mellan 5-25 m. Moränleran är ur grundvattensynpunkt att betrakta som relativt tät och erbjuder ej några större möjligheter till grundvattenuttag.

Lokalt förekommer dock lager och/eller linser av grovsediment (sand och grus), både under och i moränleran. Dessa skikt har i många fall goda grundvattenutförande egenskaper.

Principiella geologiska lagerföljder för Ystad respektive Malmöområdena redovisas i figur 2:2.



Figur 2:2a Berggrund och jordlager i Ystadområdet



Figur 2:2b Berggrund och jordlager i Malmöområdet

2.4 Grundvattenmagasin

Betraktas en principsektion genom jordlagren och berggrunden i likhet med den i figur 2:2 kan ett flertal grundvattenvåningar förväntas förekomma.

I de övre lagren, som domineras av lera/moränlera, kan lokala grundvattenmagasin av begränsad omfattning påträffas dels i anslutning till de övre 2 à 3 metrarna, dels i anslutning till inslag av grövre, grusigare material i moränleran. Längre ner i jordlagren förekommer mera utbredda grundvattenvåningar i de grov- och finsediment som vanligtvis påträffas strax ovan bergets överyta. Vidare förekommer minst en grundvattenvåning i kalkberggrunden.

De olika grundvattenvåningarna kan ställvis sinsemellan stå i hydraulisk kontakt med varandra på så sätt att tryckskillnader mellan olika våningar ger upphov till en vertikal transport av vatten, s k läckage, mellan angränsande våningar.

De mäktiga, täta lagren av moränlera medför dock flerstades att vattenhanteringen i uttags- och återföringsbrunnar i huvudsak berör grundvattenmagasinet i kritberggrunden. Detta grundvattenmagasin är slutet, dvs en fri grundvattenyta saknas. Vid grundvattenuttag respektive återföring av vatten till magasinet erhålls därför endast en sänkning respektive förhöjning av trycknivån i detta magasin i förhållande till angränsande grundvattenvåningar.

3. TERMOHYDRAULISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

3.1 Inledning

En grundvattenvärmeanläggning där returvattnet återföres till grundvattenmagasinet innebär en nedkylning av den utnyttjade akvifären. Nedkylningens omfattning och intensitet beror till stor del på anläggningens utformning såsom brunnsdjup, antal återföringsbrunnar, återförd vattenmängd, temperatur på det återförda vattnet osv.

Om antalet anläggningar och/eller uttagen värmemängd per ytenhet närmar sig en viss nivå kan nedkylningen bli så omfattande att problem uppstår. Man talar då om överetablering.

Nedkylningen innebär att uttagstemperaturen på sikt sjunker, vilket i sin tur innebär att det ekonomiska utbytet av anläggningen minskar eller uteblir helt. Den sjunkande uttagstemperaturen kan också leda till rent tekniska problem t ex i form av isbildning i värmepumpens förångardel.

Det finns idag goda möjligheter att beräkna nedkylningsförloppet med hjälp av termohydrauliska modeller (Claesson, J m fl 1985). Dessa modeller kan ligga till grund för att beräkna bl a den maximala teoretiska exploateringsgraden, dvs maximala antalet kW installerad grundvattenvärme, som kan accepteras per ytenhet.

De termohydrauliska modellerna kan vidare användas för att göra prognoser för nedkylningen inom ett område samt för att utforma anläggningar så att problem och konfliktsituationer minimeras.

I de följande avsnitten diskuteras hur dessa termohydrauliska modeller kan användas i praktiken. Ett par metoder för att beräkna den maximala teoretiska exploateringsgraden visas. Till sist visas några exempel på förebyggande åtgärder.

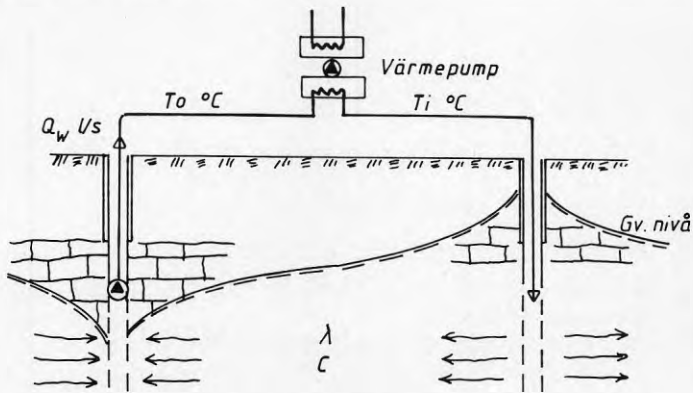
Under punkt 3.2 redogöres kort för nedkylningsförloppet kring en grundvattenvärmeanläggning bestående av en uttagsbrunn och en återföringsbrunn. Detta tas till utgångspunkt för en diskussion av nedkylningsförloppet kring ett godtyckligt antal godtyckligt placerade brunnar (punkt 3.3). I avsnitt 4 utnyttjas dessa resultat för en bedömning av maximal teoretisk exploateringsgrad för ett område.

Den teoretiska bakgrunden för diskussionen i kapitel 3 och 4 är hämtad från Claesson et al 1985.

3.2 Nedkylning kring ett brunnspår

3.2.1 Processbeskrivning

Grundvatten med temperaturen T_0 pumpas upp ur en akvifär via en uttagsbrunn och leds genom förångaren i en värmepump. Temperaturen sänks därvid till T_i och det nedkylda vattnet leds till en returbrunn varifrån det återföres till akvifären.



Figur 3:1 Grundvattenvärmeanläggning med återföring av grundvatten

I akvifären sker ett värmeutbyte mellan det kalla vattnet och det varmare jord- eller berggrundsmaterialet i akvifären, varvid detta kyls ned och returvattnet värms.

Nedkylningsförloppet styrs dels av akvifärens termiska egenskaper, dvs dess värmeledningsförmåga (λ) och dess värmekapacitet (C), dels av den konvektiva värmetransporten som sker genom grundvattnets strömning.

Under den första tiden dominerar konvektionsprocessen över värmeledningsprocessen och det existerar en tydlig nedkylningsfront kring returbrunnen. Under förutsättning att avståndet till uttagsbrunnen är stort kan antagas att fronten under den första tiden rör sig radiellt ut från brunnen med en hastighet som bestäms av flödet i returbrunnen och akvifärens egenskaper. Frontens utbredningshastighet är störst de första åren och avtar sedan med tiden.

3.2.2 Nedkylningshastighet och termisk radie

Den hastighet varmed nedkylningsfronten brer ut sig kan beräknas enligt

$$\bar{v}_T = \frac{C_w}{C} \cdot \bar{q}_w \quad (1)$$

v_T = termiska hastigheten, m/s

C_w = vattnets värmekapacitet = 4.2 MJ/m³°K

C = akvifärens värmekapacitet, ca 2 MJ/m³°K

q_w = grundvattenflödet, m³/m² s

Den termiska radien, dvs avståndet från returbrunnen till nedkylningsfronten kan beräknas enligt

$$R_T(t) = \sqrt{\frac{V_w(t) \cdot C_w}{\pi \cdot H \cdot C}} \quad (2)$$

$R_T(t)$ = termisk radie vid tiden t, m

$V_w(t)$ = återförd vattenvolym vid tiden t, m³

H = akvifärens höjd, m

Efter en viss tid börjar inverkan från uttagsbrunnen göra sig gällande. Grundvattenflödet kan efter denna tidpunkt inte längre betraktas som radiellt utan som bipolärt. Det nedkylda området börjar töjas ut i riktning mot uttagsbrunnen. Efter en viss tid, genombrottstiden (t_{bt}), når det nedkylda området fram till uttagsbrunnen och temperaturen i uttagsbrunnen börjar sjunka. Genombrottstiden kan beräknas enligt

$$t_{bt} = \frac{\pi \cdot H \cdot C \cdot L^2}{3 \cdot Q_w \cdot C_w} \quad (3)$$

Q_w = returflödet, m³/s

L = avstånd mellan uttags- och returbrunn, m

En viss del vatten med högre temperatur kommer alltid att strömma mot uttagsbrunnen. Det fortsatta nedkylda området får därför ett "hjärtformat" utseende (se figur 3:2 nedan).

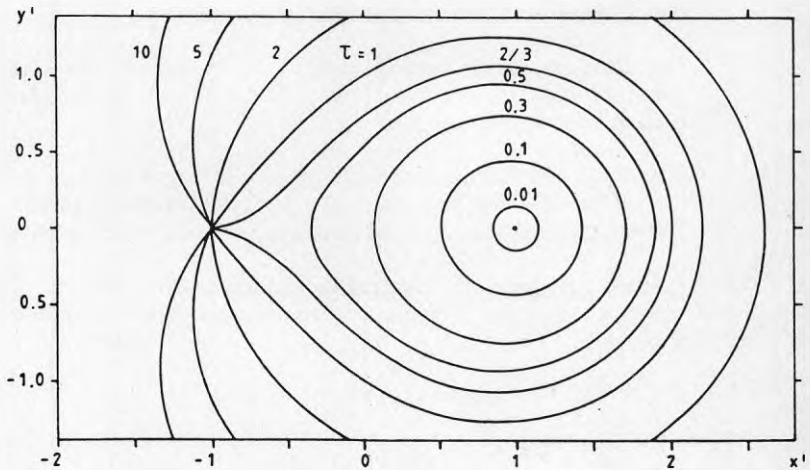
Denna rent konvektiva nedkylningsprocess kan illustreras genom att införa begreppet termisk flödestid. Detta är den tid det tar för nedkylningsfronten att förflytta sig en viss sträcka med den termiska hastigheten v_T . Den termiska flödestiden uttrycks med fördel som dimensionslös termisk flödestid, τ , där τ definieras som

$$d\tau = h^2 du = \frac{du}{(\cosh(u) - \cos(v))^2}$$

där h är en skalfaktor och u och v är koordinater i ett komplext plan.

Termiskt genombrott erhålles vid $\tau = 2/3$.

I figur 3:2 illustreras nedkylningsförloppet som dimensionslös termisk flödestid.



Figur 3:2 Dimensionslös termisk flödestid för ett brunnspar (Claesson J. & Bennet J. 1987)

Samtidigt med den konvektiva värmetransporten sker en överlagrad värmeledningsprocess. Värme leds från lager över och under akvifären samt från området utanför nedkylningsområdet in i nedkylningsområdet. Detta leder till att nedkylningsfronten blir mer diffus.

Efterhand som det nerkylda området brer ut sig ökar värmeflödet in i området genom nybildning av grundvatten, solinstrålning och regionalt grundvattenflöde. Efter en viss tid blir detta värmeflöde lika stort som det

bortförda värmeflödet genom grundvattenvärmeanläggningen. Nedkylningsområdet slutar då att tillväxa och stationära förhållanden inträder. Detta sker uppskattningsvis efter ca 25-30 år.

3.2.3 Beräkningsmodell

Beräkning av nedkylningen med hänsyn taget till såväl konvektion som värmeledning kan göras efter flera olika modeller, som var för sig förutsätter olika förenklingar och antaganden.

Den redovisade modellen nedan bygger på en energibalans. De grundläggande antagandena är att temperaturvariationer över akvifärhöjden kan försummas och att radiell värmeledning i akvifärens plan kan försummas. Bipolär strömning förutsättes. Nedkylningen kring returbrunnen balanseras då helt av vertikal värmeledning från över- och underliggande lager samt av konvektiv värmetransport i akvifärplanet.

Temperaturstörningen vid uttagsbrunnen blir en funktion av den dimensionslösa tiden

$$\tau_b = \frac{t}{t_{bt}}$$

där t_{bt} utgör genombrottstiden enligt formel (3).

Det första nedkylda vattnet, med u större är noll, når uttagsbrunnen vid genombrottstiden, dvs vid $\tau_b = 1$. Detta vatten har strömmat raka vägen mellan brunnarna.

Efterhand kommer nedkylt vatten med allt längre termiska genomloppstider att nå fram till uttagsbrunnen. Det nedkylda vattnet som når uttagsbrunnen har värmts på sin väg mellan brunnarna genom den vertikala värmeledningen.

Genom att integrera temperaturstörningen över alla strömlinjer som når uttagsbrunnen kan temperaturstörningen i uttagsbrunnen beräknas för varje tidpunkt

$$u_{\text{out}}(\tau_b) = \frac{1}{\pi} \int_0^{f_0^{-1}(\tau_b)} M(f_0(s)) \cdot \operatorname{erfc} \left\{ \frac{f_0(s)}{\sqrt{\tau - f_0(s)}} \right\} ds \quad (4)$$

$$f_0(s) = 3 \frac{\sin(s) - s \cdot \cos(s)}{\sin^3(s)} \quad (5)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{t_{bt}}{t_m}} \quad (6)$$

$$t_m = H^2 \left(\frac{2C}{\sqrt{\lambda C_c} + \sqrt{\lambda_b C_b}} \right)^2 \quad (7)$$

Funktionen $f_0(s)$ anger genomloppstiden mellan brunnarna för olika strömlinjer.

$M(f_0(s))$ är en funktion som tar hänsyn till markytans inverkan. För djupt liggande akvifärer är $M(f_0(s)) = 1$. För ytligt liggande akvifärer ges M av

$$M = e^{-\gamma_1 \cdot f_0(s)} \quad (8)$$

$$\gamma_1 = \frac{\lambda_c t_{bt}}{C H (D+H/4)} \quad (9)$$

Kriteriet för en ytligt liggande akvifär är att för den tid under vilken anläggningen studeras skall gälla

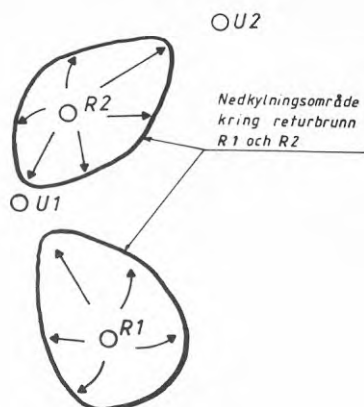
$$t > t_{bp} = \frac{(2D+H)^2}{\pi \cdot a_c} \quad (10)$$

$$a_c = \lambda/C \quad (11)$$

3.3 Nedkylningsförlopp kring flera brunnar

3.3.1 Påverkande faktorer

Vid drift av flera grundvattenvärmeanläggningar inom ett begränsat område finns risk att nedkylningen kring en anläggning kan påverka närliggande anläggningar. Ett exempel visas i figur 3.3.



Figur 3:3 Exempel på inbördes påverkan mellan närliggande anläggningar. Nedkylningen kring R2 sänker uttagstemperaturen i U1

Risken för påverkan mellan närliggande anläggningar kan bedömas utifrån modellerna för nedkylning genom konvektiv värmetransport. Från ekvationerna (2) och (3) kan man enkelt få en uppfattning om vilka parametrar som spelar störst roll.

- L = Avståndet mellan returbrunn och uttagsbrunn i studerad anläggning. Ett större L minskar risken (se(3))
- H = Akvifärhöjden. Ett större H minskar risken (se (2) och (3))
- Q = Uttags- respektive returflödet. Ett mindre Q minskar risken (se(2) och (3)).

Temperaturen på återfört vatten T_i påverkar alltså inte risken för påverkan enligt denna modell. Om påverkan uppstår beror emellertid storleken på denna av bl a T_i .

3.3.2 Beräkningsmodell

En mer detaljerad bedömning av risken för påverkan mellan anläggningar kan göras om grundvattnets strömning inom området är känd. Den resulterande strömningen är sammansatt dels av det regionala grundvattenflödet, dels av strömningskomponenter från alla uttags resp returbrunnar.

Den resulterande strömningen kan beräknas enligt följande:

$$\bar{q}_w = q_{wn} \hat{x} + \sum_{n=1}^N \frac{Q_{wn}}{2\pi H} \frac{1}{r_n} \hat{r}_n \quad (12)$$

q_w = resulterande grundvattenflöde, m^3/m^2s

q_{wr} = regionalt grundvattenflöde, m^3/m^2s
antages parallellt med x-axeln.

N = antalet brunnar

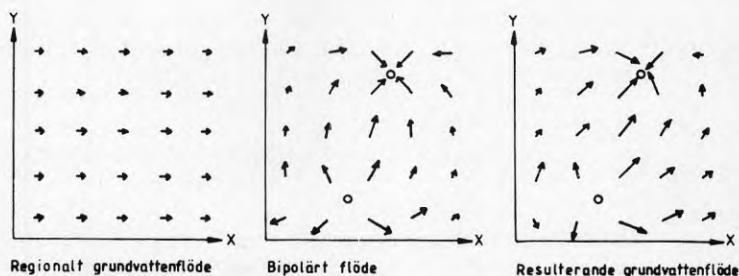
Q_{wn} = uttaget (negativt) eller återfört (positivt) flöde för brunn n , m^3/s

H = akvifärhöjden, m

r_n = avstånd från brunn n , m

\hat{r}_n, \hat{x} = enhetsvektorer, radiell resp i x-led

Den resulterande strömbilden erhålles alltså genom att superponera regionalt grundvattenflöde och flödena från respektive brunn i varje punkt, se figur 3:4.



Figur 3:4 Resulterande grundvattenflöde

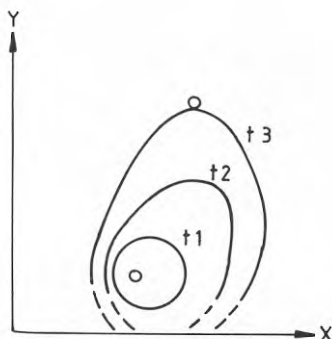
Då det resulterande grundvattenflödet, q_w , är känt kan den termiska hastigheten i varje punkt beräknas

$$\bar{v}_T = \frac{C}{C_w} \bar{q}_w \quad (13)$$

Med hjälp av \bar{v}_T kan sedan nerkylningsfrontens läge kring varje returbrunn beräknas vid önskad tidpunkt enligt

$$\overline{S}(t) = \bar{v}_T \cdot t \quad (14)$$

Se figur 3:5.



Figur 3:5 Nedkylningsfrontens läge för olika tidpunkter

Med denna metod kan grundvattenflödet och riskerna för påverkan mellan anläggningar studeras för såväl befintliga som planerade anläggningar. Metoden kan också användas för att ge generella anvisningar om vilka kombinationer av brunnar som är fördelaktigast.

4. BERÄKNING AV TEORETISK EXPLOATERINGSGRAD

4.1 Allmänt

För att kunna beräkna den högsta teoretiska exploateringsgraden måste man på något sätt ställa upp ett kriterium för högsta acceptabla energiuttag. Detta kriterium kan formuleras utifrån två olika synsätt.

Det första synsättet innebär att man upprättar en energibalans över ett större område och får fram ett maximalt energiuttag för området.

Det andra synsättet innebär att man betraktar ett enskilt brunnspår och beräknar nerkylningen kring detta. Därefter beräknas vilken area som anläggningen tar i anspråk, varefter antalet anläggningar per km² kan beräknas och därmed också det totala energiuttaget. Det stora problemet med detta tillvägagångssättet är att översätta resultatet från en anläggning till flera angränsande anläggningar. Man ställs då inför problemet att anläggningarna kan påverka varandra på ett sådant sätt att den totala nerkylningen blir större än summan av nedkylningen från respektive anläggning.

Ett kriterium formulerat utifrån det första synsättet kan vara att energiinflödet från sol, geotermiskt flöde m m ska balansera det årliga energiuttaga-

get. En variant är att acceptera ett visst underskott i balansen, vilket medför en långsiktig nerkyllning. En beräkningsmodell baserad på detta synsätt redovisas under avsnitt 4.2.

Ett kriterium baserat på det andra synsättet kan formuleras så att temperaturen i uttagsbrunnen efter ett visst antal driftsår inte får sjunka under en viss temperatur. Denna minimitemperatur kan väljas av värmepumpstekniska skäl, t ex avsikt att förhindra isbildning, eller utifrån ekonomiska. Två olika beräkningsmetoder härför redovisas under avsnitt 4.3.

4.2 Beräkning grundad på energibalans

En energibalans kan formuleras så här för en given volym

$$E_{ut} = E_{in} + E$$

Uttagen energi från den studerade volymen är lika med ingående energi plus energi uttagen genom en minskning av lagrad energi, dvs genom en temperatursänkning.

Den ingående energin utgöres av solinstrålning, regionalt grundvattenflöde och geotermiskt flöde. Den utgående energin utgöres av uttagen via grundvattenvärmeanläggningar.

Lämpligen upprättas en energibalans över ett år. De olika komponenterna i balansen formuleras nedan.

Energibalansen formuleras enligt ovan

$$E_{ut} = E_{in} + \Delta E \quad (J) \quad (15)$$

De ingående komponenterna kan uttryckas som energiflöde under en viss tid, t ex 1 år (t = 1 år uttryckt i sek)

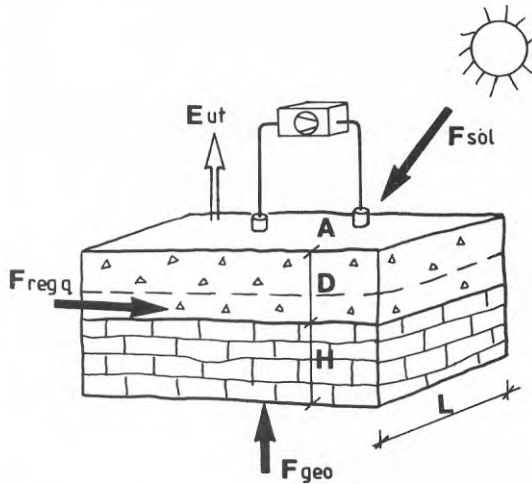
$$E_{in} = F_{sol} \times t + F_{regq} \times t + F_{geo} \times t \quad (16)$$

$$F_{sol} = \frac{(T_m - T_i)}{D} \times \lambda \quad (J/sx m^2) \quad (17)$$

$$F_{regq_{wr}} = \frac{(q_{wl} \times L)}{A} \times H \times (T_m - T_i) C_w \quad (J/sx m^2) \quad (18)$$

$$F_{geo} = 0.06 \quad (J/sx m^2) \quad (19)$$

Beteckningarna framgår av figur 4:1 nedan



Figur 4:1 Energibalans med beteckningar

Energiuttaget via grundvattenvärmeanläggningarna kan uttryckas som uttagen effekt gånger drifttid per år. Driftstiden kan antagas till ca 6000 tim/år.

$$E_{ut} = P_{grvv} \times 2.16 \times 10^7 \quad (J) \quad (2)$$

Komponenten ΔE , som uttrycker förändringar i lagrad energi inom volymen, dvs temperaturförändringar, kan uttryckas

$$\Delta E = T \times V \times C \quad (J) \quad (2)$$

Beräkningsexempel 1

Vi önskar beräkna den maximala exploateringsgraden uttryckt i kW/km². Energiuttaget skall på sikt balanseras av inflödet så att vi inte får någon temperatursänkning, $\Delta E = 0$.

Vi upprättar en energibalans för en volym, $V = A \times H$, där $A = 1 \text{ km}^2$ och H akvifärhöjden.

$$\text{Antag } T_m = T_o = 9^\circ\text{C} \quad T_i = 5^\circ\text{C}$$

$$H = 30 \text{ m} \quad D = 10 \text{ m}$$

$$= 2 \text{ W/mK}$$

$$q_{wr} = K \times I = 1 \times 10^{-6} \times 0.01 = 1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$$

$$L = 1000 \text{ m}$$

Vi erhåller då

$$F_{sol} = \frac{9 - 5}{10} \times 2 = 0.8 \text{ J/s} \times \text{m}^2$$

$$F_{regq_r} = \frac{1 \times 10^{-8} \times 1000 \times 30 \times (9-5) \times 4.2 \cdot 10^6}{10^6}$$

$$= 5 \times 10^{-3} \text{ J/s} \times \text{m}^2$$

$$F_{geo} = 0.06 \text{ J/s} \times \text{m}^2$$

Under ett år får vi följande energiinflöde på 1 km²

$$\begin{aligned} E_{in} &= 8.65 \times 1 \times 10^6 \times 3600 \times 24 \times 365 = \\ &= 2.73 \times 10^{13} \text{ J/år} \times \text{km}^2 \end{aligned}$$

Då vi antagit $\Delta E = 0$, erhålles

$$E_{ut} = E_{in} = 2.73 \times 10^{13} \text{ J/år} \times \text{km}^2$$

Den uttagbara effekten blir då

$$P = \frac{E_{ut}}{2,16 \times 10^7} = 1264 \text{ kW/km}^2$$

Beräkningsexempel 2

Vi önskar beräkna nerkylningen om exploateringsgraden för området studerat i exempel 1 uppgår till 2000 kW/km² dvs då vi har en överexploatering.

Från exempel 1 får vi

$$E_{in} = 20 \times 2,73 \times 10^{13} = 5,46 \times 10^{14} \text{ J/20 år} \times \text{km}^2$$

$$E_{ut} = 2000 \times 10^3 \times 20 \times 2,16 \times 10^7 = 8,64 \times 10^{14} \text{ J/20 år} \times \text{km}^2$$

Detta sättes in i energibalansen (15) varpå vi får

$$E = E_{ut} - E_{in} = -3,18 \times 10^{14}$$

Med hjälp av (21) får vi temperaturförändringen

$$\Delta T = \frac{\Delta E}{VC} = \frac{-3,18 \times 10^{14}}{35 \times 10^6 \times 4,2 \times 10^6} = -2,16^\circ\text{C}$$

4.3 Beräkning grundad på nerkylning kring brunnspår

Nerkylningen i en uttagsbrunn kan enligt (4) beräknas för godtycklig tidpunkt t .

Beräkningarna förutsätter att tekniska data för grundvattenvärmeanläggningen (Q , L , T_o , T_i) samt data om akvifären (H , C , λ_b , λ_c) är kända.

Detta förhållande kan användas omvänt. Om nedkylningen i uttagsbrunnen vid tiden t är given kan vissa acceptabla avstånd L mellan uttags- och återföringsbrunn beräknas.

Om avståndet L är känt för en representativ anläggning med givet Q , T_o och T_i kan anläggningens termiska influensområde beräknas. Därefter kan antalet representativa anläggningar per ytenhet beräknas och slutligen den uttagbara effekten per ytenhet. Beräkningsgången redovisas i detalj nedan.

Beräkningarna grundar sig på en termohydraulisk modell där bipolar strömning förutsättes, se avsnitt 3.2. Vidare förutsättes att temperaturvariationer över akvifärhöjden försummas liksom radiell värmeledning i akvifärens plan och regional grundvattenströmning.

Modellen medger analys av såväl djupt liggande (4.3.1) som ytliga (4.3.2) akvifärer.

4.3.1 Djupt liggande akvifär

Akvifären anses djupt liggande om den tidsrymd under vilken anläggningen studeras uppfyller tidskravet

$$t < t_{bp} = \frac{(2D+H)^2}{\pi \alpha_c}$$

Beräkningarna utföres enligt följande:

1. Definiera lägsta acceptabla uttagstemperatur T_o , min efter N år
 Beräkna den dimensionslösa temperatursänkningen

$$u_{\max} = \frac{T_{o,\min} - T_o}{T_i - T_o}$$
2. Antag Q och H för en representativ anläggning.
3. Beräkna $t_m = H^2 \left(\frac{2C}{\sqrt{\lambda_c C_c} + \sqrt{\lambda_b C_b}} \right)^2$
4. Antag ett värde på L .
5. Beräkna genombrottstiden $t_{bt} = \frac{\pi H C L^2}{3 Q_w C_w}$
6. Beräkna $\gamma = \sqrt{\frac{t_{bt}}{t_m}}$
7. Gå in i diagrammet i figur 4:2 nedan på $u = u_{\max}$ till beräknad γ -kurva. Avläs $\tau_b = t/t_{bt}$ på horisontella axeln.
8. Beräkna $t = \tau_b \times t_{bt}$
 Är tiden t mindre än N , öka L och gå tillbaka till punkt 5. Är t större än N är L tillräckligt.
9. Bedöm anläggningens influensområde R_o med hjälp av L och figur 3.5.
10. Beräkna minsta acceptabla avstånd mellan två anläggningar

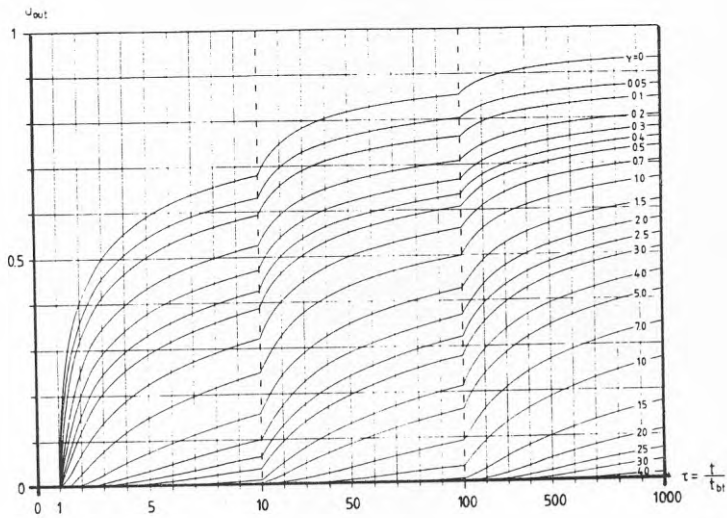
$$L_{\text{anl}} = a \cdot 2 R_o \quad a \geq 1$$

a är en koefficient som tar hänsyn till superponeringseffekter mellan anläggningar. Storleken på a beror på hur anläggningarna placeras relativt varandra. Detta diskuteras närmare i kapitel 3.2.3.
11. Beräkna anläggningens arealbehov. Vid maximal täthet är denna ca $0,7 \times L^2_{\text{anl}}$.
12. Beräkna antalet anläggningar per km^2

13. Beräkna effektuttaget

$$P = \frac{\eta_{anl} \times Q}{g} (T_o - T_i) C_w \quad [\text{W}/\text{km}^2]$$

g = utnyttjandegraden = driftstimmar per år/8760



Figur 4:2 Temperaturstörning vid uttagsbrunnen för akvifär på stort djup (Claesson m fl 1985)

Beräkningsexempel 3

Vi önskar beräkna den maximala exploateringsgraden uttryckt i kW/km²

Som kriterium på acceptabel nerkylning väljer vi att uttagstemperaturen efter 20 års drift inte får sjunka mer än 2°C.

För en representativ anläggning och akvifären antar vi att följande data gäller

$$T_m = T_o = 9^\circ\text{C} \quad T_i = 5^\circ\text{C}$$

$$H = 30 \text{ m} \quad D = 10 \text{ m}$$

$$\lambda_c = 2 \text{ W/mK} \quad C_c = 2 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \text{ K}$$

t_{bp} beräknas till ca 25 år varför akvifären kan betraktas som djupt liggande.

Beräkningarna blir då steg för steg:

$$\begin{aligned} 1. \quad T_o, \text{ min} &= 7^\circ\text{C} \\ N &= 20 \text{ år} \\ u_{\text{max}} &= \frac{7-9}{4-9} = 0,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad Q &= 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \\ H &= 30 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \quad t_m &= H^2 \left(\frac{2C}{\sqrt{\lambda_c C_c} + \sqrt{\lambda_p C_b}} \right) = 30^2 \left(\frac{2 \times 2 \times 10^6}{\sqrt{2 \times 2 \times 10^6} + \sqrt{2 \times 2 \times 10^6}} \right) \\ &= 9 \times 10^8 \text{ s} = 28,5 \text{ år} \end{aligned}$$

$$4. \quad L \text{ antages } 50 \text{ m}$$

$$5. \quad t_{bt} = \frac{\pi H C L^2}{3 Q_w C_w} = \frac{\pi 30 \times 2 \cdot 10^6 \times 50^2}{3 \times 1 \times 10^{-3} \times 4.2 \times 10^6}$$

$$6. \quad \gamma = \frac{\sqrt{1,2}}{28,5} = 0,2$$

$$7. \quad \text{Diagrammet i figur 4:2 ger } \tau_b = 8$$

$$8. \quad t = 8 \times 1,2 = 9,6 \text{ år}$$

$t < N$ varför vi ökar L till 70 m och går tillbaka till punkt 5

$$5. \quad t_{bt} = 2,3 \text{ år}$$

$$6. \quad \gamma = \frac{\sqrt{2,3}}{28,5} = 0,28$$

$$7. \quad \tau_b = 10 \text{ år}$$

8. $t = 10 \times 2,3 = 23$ år
 $t > N$ vilket innebär att L är tillräckligt stort
9. Dimensionslös termisk flödestid för $t = t_{bt}$ är enligt figur 3.2 $\tau = 2/3$. Detta motsvarar $t_{bt} = 2,3$ år då $L = 70$ m
 Efter 20 år har vi den dimensionslösa teoretiska flödestiden $\tau_b = 5,8$.
 Av figur 3.5 framgår att det nedkylda området vid $\tau_b = 5,8$ kan uppskattas med en cirkel med radien $R_0 = 1,3 L = 91$ m
10. α antages 1,2
 $L_{anl} = 1 \times 2 \times 2 \times 91 = 218$ m
11. Arealbehovet blir 33300 m²/anl
12. Antalet anläggningar per km²
 $n_{anl} = 30$
13. Effektuttaget beräknas
 $g = 0,68$
 $P = \frac{30}{0,68} \times 110^{-3} \times 4 \times 4,2 \times 10^6 = 743$ kW/km²

4.3.2 Ytligt liggande akvifär

Akvifären anses ytligt liggande om den tidsrymd under vilken anläggningen studeras uppfyller tidskravet

$$t > t_{bp} = \frac{(2D+H)^2}{\pi\alpha_c}$$

Beräkningarna utföres enligt följande:

- Definiera lägsta acceptabla uttagstemperatur T_o , min vid N år.
 Beräkna den dimensionslösa temperatursänkningen

$$u_{max} = \frac{T_o, \text{ min} - T_o}{T_i - T_o}$$
- Antag Q och H för en representativ anläggning.

3. Antag ett värde på L .

4. Beräkna genombrottstiden

$$t_{bt} = \frac{\pi H C L^2}{3Q C_w}$$

5. Beräkna

$$\gamma = \frac{\sqrt{t_{bt}}}{t_b} \quad t_b = H^2 \frac{4 C^2}{\lambda_b C_b}$$

6. Välj det diagram i figur 4.3a-e som svarar mot beräknat γ

7. Beräkna

$$\gamma_1 = \frac{c t_{bt}}{CH(D+H/4)} = \frac{\pi \lambda C L^2}{3Q_w C_w (D+H/4)}$$

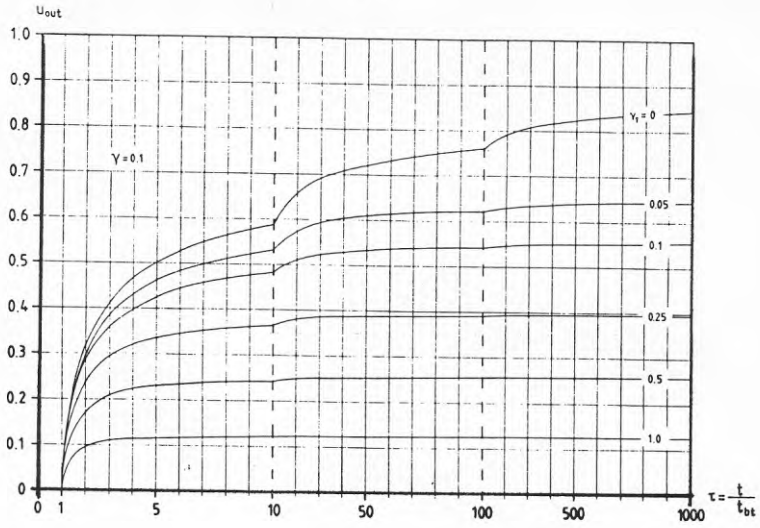
8. Gå in i valt diagram på $u = u_{max}$ till beräknad γ -kurva. Avläs $\tau_b = t/t_{bt}$ på horisontella axeln.

9. Beräkna

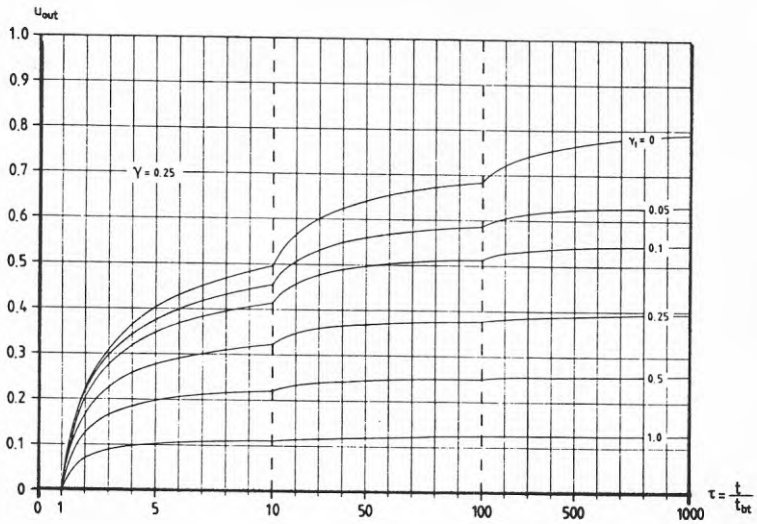
$$t = \tau_b \times t_{bt}$$

Är tiden t mindre än N , öka L och gå tillbaka till punkt 4. Är t större än N är L tillräckligt.

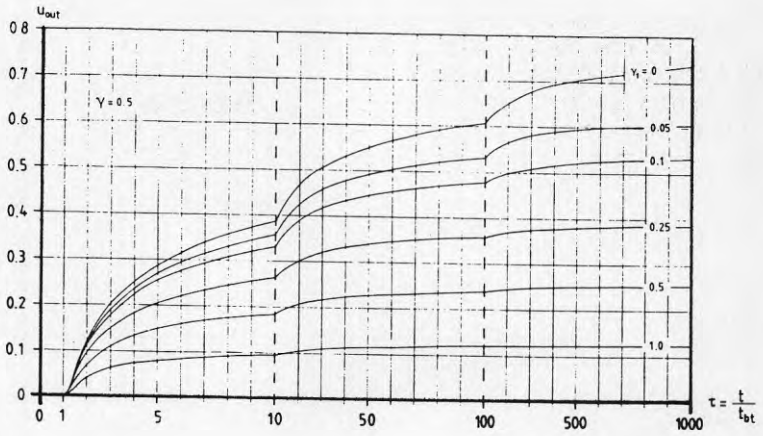
10. Beräkning av uttagbar effekt göres enligt punkterna 9-13 för ytligt liggande akvifär.



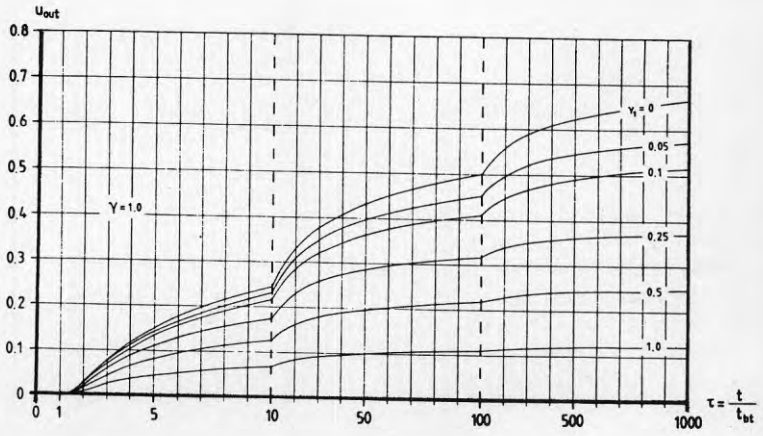
Figur 4:3a Temperaturstörning vid uttagsbrunnen för akvifer på litet djup (Claesson m fl 1985)



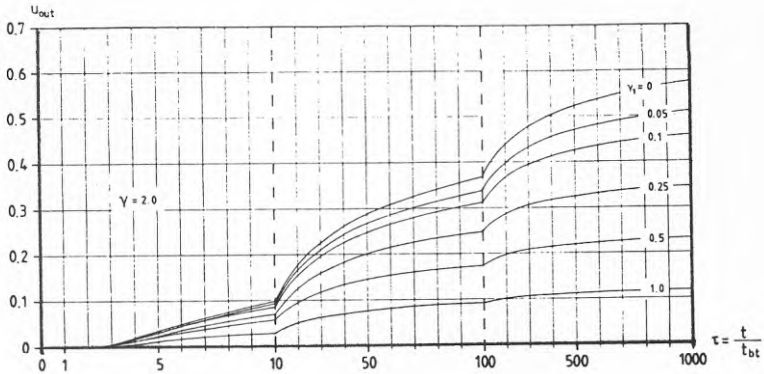
Figur 4:3b



Figur 4:3c



Figur 4:3d



Figur 4:3e

Beräkningsexempel 4

Vi önskar beräkna den maximala exploateringsgraden uttryckt i kW/km². Som kriterium på acceptabel nerkyllning väljer vi att uttagstemperaturen efter 20 års drift inte får sjunka mer än 2°C.

För en representativ anläggning och akvifären antar vi att följande data gäller:

$$T_m = T_o = 9^\circ\text{C}$$

$$T_i = 5^\circ\text{C}$$

$$H = 15 \text{ m}$$

$$D = 2 \text{ m}$$

$$\lambda c = 2 \text{ W/mK}$$

$$C_c = 2 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \text{ K}$$

t_{bp} beräknas till ca 3,6 år varför akvifären kan betraktas som ytlig.

1. $T_o, \text{ min} = 7^\circ\text{C}$

$$N = 20 \text{ år}$$

$$u_{\text{max}} = \frac{7-9}{4-9} = 0,5$$

2. $Q = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

$$H = 15 \text{ m}$$

3. Antag $L = 30 \text{ m}$

4. $t_{bt} = 0,21 \text{ år}$

5. $t_b = 28,5 \text{ år}$
 $= 0,09$
6. Diagram i figur 4.3a väljes
7. $\gamma_1 = 0,08$
8. $\tau_b = 9 \text{ år}$
9. $t = 9 \times 0,21 = 1,9 \text{ år}$
 $t < N$ varför L ökas till 40 m
4. $t_{bt} = 0,4 \text{ år}$
5. $t_b = 28,5 \text{ år}$
 $\gamma = 0,11$
6. Diagram i figur 4.3a väljes
7. $\gamma_1 = 0,14$
8. $\tau = 100$
9. $t = 100 \times 0,4 = 40 \text{ år}$
 $t > N$ varför L är tillräckligt
10. $t_{bt} = 0,4 \text{ år}$ motsvara en dimensionslös termisk flödestid på $\tau = 2/3$ (se figur 3:2)

Efter 40 år har vi den dimensionslösa flödestiden $\tau_b = 67$

Av figur 3.5 framgår att det nedkylda området vid $\tau_b = 67$ kan uppskattas med en cirkel med radien $R_o = 3,5 L = 140 \text{ m}$

α antages 1,2

$$L_{\text{anl}} = 1,2 \times 2 \times 140 = 336 \text{ m}$$

$$\text{Arealbehovet blir } 0,7 \times L_{\text{anl}}^2 = 79000 \text{ m}^2/\text{anl}$$

Antalet anläggningar/km² blir

$$n_{\text{anl}} = 12,6$$

Effektuttaget blir

$$P = \frac{12 \times 6}{0,68} 1 \times 10^{-3} \times 4 \times 4 \times 2 \times 10^6 = 311 \text{ kW/km}^2$$

4.4 Superponeringseffekter

I föregående kapitel har visats hur ett termiskt influensområde R_0 kring en återföringsbrunn kan beräknas. Beräkningarna har förutsatt bipolär strömning. Detta innebär att eventuella andra anläggningar i närheten är belägna på sådant avstånd att dessa inte påverkar varandra.

Vid maximal täthet kan avståndet mellan anläggningarna bli så litet att dessa påverkar varandra.

Förutsättningen om bipolär strömning behöver då inte gälla utan en mer komplicerad strömningsbild kan föreligga.

Påverkan mellan anläggningarna kan leda till en ökad nerkylning, vilket i sin tur skulle motivera ett större avstånd mellan anläggningarna än vad anläggningarnas termiska influensområde ger var för sig, dvs $L_{anl} = \alpha R_0$, $\alpha \geq 1$

Storleken på L beror på anläggningarnas geometriska placering.

4.5 Sammanfattning

En nedkylningsberäkning grundad på energibalans (se kap 4.2) ger, enligt förutsättningarna i Ex1 vilka antas gälla för SV Skånes kritberggrund, ett maximalt effektuttag på ca 1260 kW/km². Denna beräkningsmetod förutsätter emellertid ett fullständigt utnyttjande av tillgänglig energi och att nedkylningen är jämnt fördelad inom det studerade området. Metoden beaktar inte heller den konvektiva värmetransport som orsakas av att nedkylt vatten injekteras i akvifären och som så småningom påverkar uttagsbrunnen. Påverkan mellan näraliggande anläggningar beaktas inte heller.

En beräkning grundad på nerkylning kring brunnspar (se kap 4.3) bygger på bipolär strömning och tar hänsyn till den konvektiva värmetransporten. Metoden kan även vidareutvecklas (se kap 4.3) så att påverkan mellan näraliggande anläggningar kan beaktas.

För en djupt liggande akvifär ger en beräkning enligt denna metod, se exempel 3, en uttagbar effekt av ca 740 kW/km².

För en ytligt liggande akvifär blir den maximalt uttagbara effekten lägre, ca 310 kW/km². Den lägre uttagbara effekten beror på att akvifärhöjden ofta är mindre i ytliga akvifärer.

En generell rekommendation för maximalt uttagbar effekt inom SV Skånes kritområden blir då, enligt exemplen ovan:

- Djupt liggande akvifär, max 750 kW/km²
- Ytligt liggande akvifär, max 300 kw/km²

5. ERFARENHETER FRÅN VÄRMEPUMPSANLÄGGNINGAR I MALMÖ OCH YSTAD

5.1 Allmänt

De lokala geohydrologiska förutsättningarna i sydvästra Skåne medförde att värmepumpsanläggningar baserade på uttag/återföring av grundvatten under början av 1980-talet blev ett uppskattat alternativ. I kommuner som Malmö, Ystad och Trelleborg kom många hyreshus i tätorterna att värmas av denna typ av anläggningar. Översiktligt har denna situation beskrivits i tidigare rapporter som t ex "Värmeutvinning ur grundvatten från Alnarpsströmmen" BFR R167:1984, "Utnyttjande av grundvattenvärme i Ystad - Förutsättningar och konsekvenser" VIAK 1985.

Det faktum att värmepumpssystemet med uttags- och returbrunnar i sig tekniskt utgör ett betydligt mer komplicerat uppvärmningssystem än oljepannan har dock medfört att problem uppstått i många av dessa anläggningar.

Det låga oljepriset under mitten och slutet av 1980-talet har även medfört att flera anläggningar ställts av, istället för att åtgärdas då problemen tyckts alltför besvärande för husägaren.

För att klarlägga i vilken omfattning problem med överexploatering och nedkylning påverkat installationerna har åtta anläggningar i Malmö och nitton i Ystad följts upp under uppvärmningssäsongerna 1987-1989. Uppföljningen har skett genom respektive energiverks försorg med bl a besök vid anläggningarna och kontakter med fastighetsägaren.

5.2 Anläggningar i Malmö

I avsikt att närmare studera vattenuttagets respektive återföringens inverkan på grundvattentemperaturen valdes ett begränsat område i Malmö för en mera detaljerad undersökning. Området Sofielund, är beläget vid Nobeltorget i centrala Malmö och omfattar en areal av ca 0,3 km², se figur 5:1.



Figur 5:1 Undersökta grundvattenvärmeanläggningar i Malmö

Inom detta område fanns 1987 åtta stycken grundvattenvärmeanläggningar i drift, se tabell 5.1, med en samlad angiven kyleffekt på 570 kW. Under 1988 togs emellertid två av anläggningarna ur drift på grund av förångarhaverier, vilket reducerade kyleffekten till ca 320 kW.

Mera detaljerade data rörande anläggningarna redovisas i bilaga 1.

Tabell 5.1 Undersökta värmepumpsanläggningar i Malmö

Nr	Beteckning	Värme/kyl-effekt (kW)	Dim gv-flöde (m ³ /h)	Anläggningsår
1	Vakten 4	70/46	4,7	1985
2	Fyndet 7	55/37	8	1985
3	Aftonen 4	105/69	8,5	1983
4	Skräret 2	70/46	7,2	1984
5	Öknen	220/148	16	1986
6	Drivan	145/97	10,5	1987
7	Åkern	130/88	16,8	1987
8	Lyktan 2	55/37	8	1985

Mätresultat - Malmö

Den ostörda grundvattentemperaturen inom Malmös centrala stadskärna ligger normalt inom intervallet +11 - +12°C. I tabell 5.2 redovisas uppmätta grundvattentemperaturer från perioden mars 1988-april 1989.

Tabell 5.2 Grundvattentemperaturmätningar vid undersökta värmepumpsanläggningar i Malmö

Anläggning	Beteckning	Grundvattentemp in/ut (°C)		
		8803	8812	8904
1	Vakten 4	11/2,5	11,7/1,8	11,9/1,5
2	Fyndet 7	11/7	12,5/*	12,3/*
3	Aftonen 4	11/4	7,5/2,0	7,4/2,5
4	Skräret 2	10,5/5	10,7/5,7	11,5/6,6
5	Öknen	10/2	**	**
6	Drivan	10/2	**	**
7	Åkern	10,5/6	9,1/2,7	9,5/3,8
8	Lyktan 2	11/7	11,9/8,4	12,4/9,4

* Värmepumpen ej i drift vid mättillfället

** Värmepumpen tagen ur drift pga förångarhaveri

Från de uppmätta värdena kan noteras att två av anläggningarna, nr 3 och 7, visar på sänkta grundvattentemperaturer orsakade av värmeuttaget. Övriga anläggningar verkar ej ha påverkats av något termiskt genombrott på grundvattensidan.

5.3 Anläggningar i Ystad

I Ystad utvaldes 15 anläggningar av totalt ca 75 anläggningar i drift år 1985. De undersökta anläggningarnas lägen framgår av karta i figur 5:2.

En översikt över anläggningarna redovisas i tabell 5.3, medan mera detaljerade uppgifter redovisas i bilaga 2.

Den samlade maximala kyleffekten hos de undersökta anläggningarna har beräknats till ca 350 kW, vilket skall jämföras med den samlade installerade kyleffekten hos värmepumparna i Ystad, 1985 beräknad till 2,3 MW.



Figur 5:2 Undersökta grundvattenvärmeanläggningar i Ystad

Tabell 5.3 Undersökta värmepumpsanläggningar i Ystad

Nr	Fastighetsbeteckning	Värme-/kyleffekt kW	Dim gv-flöde m ³ /h	Anläggningsår
1	Apollo 4	30/20		1983
2	Thora 21	96/64		
3	Christina 6	60/40		1985
4	Yngve 5-6	64/42		1983
5	Erik 29	32/21		1985
6	Domar 24	42/28		1984
7	Ågir 6	64/42		1983
8	Östen 2	13/9	6	1984
9	Östen 4	13/9	6	1984
10	Ö Förstaden 2:33	15,5/10		
11	Hildetorp 18	13/9	6	
12	Schultz 4-5	44/30		
13	Helan 8	13/9	6	
14	Tuvegap 10	15/10		1983
15	Boken 1	16/11		1984

Mätresultat - Ystad

Den ostörda grundvattentemperaturen inom Ystads stadskärna ligger enligt utförda mätningar vanligtvis kring +11°C. I mera perifera områden av staden ligger dock temperaturen 1-2°C lägre, sannolikt beroende på en minskad inverkan av stadens lokalklimat.

I tabell 5.4 redovisas mätningar av grundvattentemperaturer från de undersökta anläggningarna. Eftersom flertalet av anläggningarna är utförda 1983 och senare kan uppgifterna från vintern 1983 tolkas som ostörda grundvattentemperaturer.

Av mätdata framgår att grundvattentemperaturen vid flertalet anläggningar sjunkit mellan 1 och 3°C från idrifttagandet till hösten 1986. Detta gäller främst de anläggningar, belägna i innerstaden, där ursprungstemperaturen uppgått till ca +11°C. En anpassning har här i flertalet fall erhållits till den regionala grundvattentemperaturen, ca +9°C, sannolikt genom en ökad omsättning av grundvatten i akviferen.

I några fall (3, 7, 19) syns dock en tydlig sänkning av temperaturen hos det inkommande vattnet, vilket klart indikerar ett termiskt genombrott hos anläggningen.

Tabell 5.4 Grundvattentemperaturer från undersökta värmepumpsanläggningar i Ystad

Nr	Beteckning	Grundvattentemperatur in/ut (°C)				
		vinter 1983	vinter 1985	8610	8709	8905
1	Apollo 4	9/	—	9,3/7,8		8/6,5
2	Thora 21	9/7	—	9/7		**
3	Christina 6	—	9,5/6,5	4,5/2		
4	Yngve 5-6	9,5/6,5		8/5		8/7
5	Erik 29	12/	8,6/6,6	8,8/5,3	5,3/2,7	**
6	Domar 24	9,5/7,5	—	—	9,5/7,5	
7	Ägir 6	9/8	—	8/7		
8	Östen 2	11,2/	—	9/6		8/6,5
9	Östen 4	11,2/	—	9/6		8/6,5
10	Ö Förstaden 2:23	11,0	—	8,5/6,5		
11	Hildetorp 18	11,2/	—	10/7		
12	Schultz 4-5	11/	—	8/5		
13	Helan 8	10,5/		9/6		8/6,5
14	Tuvegap 10	—	8,5/	8/5,5		
15	Boken 1	9/-	—	—	7,0/4,5	

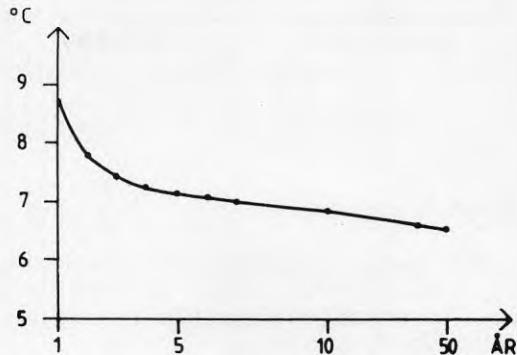
5.4 Sammanfattande synpunkter

Från de undersökta anläggningarna kan noteras följande:

- Anläggningarna i Malmö verkar ha påverkats av nedkylningseffekter i betydligt mindre grad än ystadanläggningarna.

Ett skäl till detta är sannolikt att uttags- och returbrunnarna i Malmö genomgående är betydligt djupare och penetrerar en större del av kalkberggrunden än i Ystad. Härigenom aktiveras en större del av berggrundsakviferen som värmemagasin.

- Samtliga ystadsanläggningar har inom de tre första åren erhållit en grundvattentemperatursänkning på ca 2-3°C, vilket motsvarar ca 20 % av det tillgängliga temperaturutrymmet. En jämförelse med ett teoretiskt beräknat samband för en enskild uttagsbrunn, se figur 5:3, visar dock att huvuddelen av temperatursänkningen erhålls under de fem första åren anläggningen är i drift, varefter sänkningstakten relativt kraftigt planar ut.



Figur 5:3 Beräknad temperatursänkning i uttagsbrunn $t_{bt} = 1$ år, $H = 20$ m, $D = 20$ m, $\Delta T = 4^\circ\text{C}$

6. KONSEKVENSER AV NEDSATT DRIFTFUNKTION

6.1 Tekniska problem

Erfarenheterna från undersökningarna i Malmö och Ystad visar att driftstörningar uppstått vid ett flertal anläggningar, under den relativt begränsade undersökningsperioden. I en del fall har fastighetsägaren bedömt dessa så allvarliga att anläggningen helt tagits ur bruk. I ett par fall har problemen klart kunnat definieras, typ förångarhaverier, medan man i flera fall endast noterat att värmepumpen slutat fungera på avsett vis och därför helt kopplat bort denna. I Ystad har detta vanligtvis varit kombinerat med en installation av fjärrvärme i samband med utbyggnaden av detta nät.

Genomgående kan konstateras att frånvaron av temperatur och flödesmätare vid huvuddelen av de utförda anläggningarna i praktiken gjort det omöjligt för en fastighetsägare att klarlägga orsaken till ett driftavbrott hos värmepumpen. Problem med närservice för anläggningen har även medverkat till beslut att ställa av anläggningen.

Sammantaget kan konstateras att antalet anläggningar i bruk i de undersökta områdena klart minskat samtidigt, som den sammanlagda drifttiden hos de kvarvarande anläggningarna minskat. Orsakerna till detta är tekniska problem med värmepumpen, vanligtvis på något sätt knutna till anläggningens kalla sida.

De samlade erfarenheterna visar dock att det endast i ett mindre antal fall är en nedkylning av grundvattnet som orsakat problemen. Vanliga orsaker är annars:

- Minskat grundvattenflöde, orsakat av igensättning av uttagsbrunnen
- Minskat grundvattenflöde, orsakat av igensättning av returbrunnen
- Korrosionssangrepp på ledningar och i förångare
- Igensättning genom kemiska utfällningar av grundvatten i ledningar och förångare

6.2 Juridiska problem

De juridiska frågorna rörande denna typ av anläggningar har bl a behandlats i rapporter BFR R74:1983 och BFR 167:1984. Kontentan av dessa rapporter visar att juridisk praxis vid denna tidpunkt saknades för problem knutna till grundvattenvärmeanläggningar.

Den nya vattenlagen, gällande från 1984-01-01, definierar bortledande av grundvatten som ett vattenföretag. Detta är med vissa undantag tillståndspliktigt, vilket även medför att konsekvenser av grundvattenuttag rättsligen kan behandlas inom ramen för denna lagstiftning. Vad gäller återföring av grundvatten från en värmepumpsanläggning är lagstiftningen ej lika tydlig utan här preciseras som vattenföretag endast:

"- tillförsel för att öka grundvattenmängden samt utförande av anläggningar och åtgärder härför."

Eftersom återföringen av grundvatten via en returbrunn ej är avsedd att öka grundvattenmängden är det därför tveksamt om denna anläggningsdel är prövningspliktig och vattenlagen är tillämplig på nedkylningseffekter kring en returbrunn.

Återföringsdelar av anläggningar har dock prövats av vattendomstol i ett antal mål efter 1984 varvid det bl a hävdats att "rationella skäl talar för att nedkylt vatten från värmeutvinningsanläggningar borde hänföras till det i vattenlagen och miljöskyddslagen definierade begreppet avloppsvatten".

Erfarenheter från Malmö-Ystadområdet har, i motsats till vad som kunde förväntas, visat att några allvarigare juridiska problem ej uppträtt i samband med konkurrens om grundvatten- och energitillgången vid denna typ av anläggningar. Några tvister som förts fram till process är ej kända, vilket får tolkas som att parterna antingen gjort upp i godo alternativt ej lyckats reda ut skadeförhållandena så långt att man funnit det motiverat att driva saken vidare.

6.3 Ekonomiska problem

Ett sätt att beräkna lönsamheten för en värmepumpsanläggning är att betrakta pay-off tiden för denna.

En formel för pay-off tid har föreslagits av Jacobsen (1981).

$$N = \frac{I}{Q_1} \times (1+K) \times \frac{1}{h} \times \frac{1}{(O/\eta_p - E/\phi)}$$

där

N = pay-off tid (år)

I = investeringskostnad för värmepump (kr)

Q_1 = värmepumpens värmeeffekt (kW)

K = investeringskostnad för övriga kringkostnader för systemet i procent av värmepumpskostnad (kr)

h = ekvivalent fullasttid för värmepumpen (tim/år)

O = energipris för olja (kr/kWh)

E = energipris för el (kr/kWh)

η_p = pannverkningsgrad för oljepanna

Φ = värmefaktor

Med utgångspunkt från ovanstående formel kan lönsamheten för olika typer av värmepumpsanläggningar studeras. En enkel analys visar att drifttiden för anläggningen kraftigt påverkar anläggningens lönsamhet.

Erfarenheterna från Malmö och Ystad indikerar att problem i första hand ger sig till känna i form av driftavbrott vid anläggningarna. Detta är i sig allvarligt eftersom lönsamheten så kraftigt är beroende av en lång sammanhängande drifttid, vilket gör driftavbrotten kostsamma. Den praktiska konsekvensen av detta har sannolikt i realiteten styrt den relativt stora andelen beslut att helt avveckla anläggningarna.

6.4 Sammanfattande synpunkter

Problem på värmepumparnas kalla sida har i många fall visat sig svåra för fastighetsägarna att bemästra. Orsakerna till dessa problem kan vanligtvis hänföras till någon av nedanstående grupper

1. Igensättning av uttagsbrunn eller returbrunn
2. Korrosionsangrepp på eller igensättning av förångaren
3. För låg inkommande grundvattentemperatur till värmepumpen

Av dessa tre grupperna är det dock endast den sistnämnda som kan hänföras till en överetablering av värmepumpsanläggningar.

Ovanstående problem leder vanligtvis till längre driftavbrott för anläggningen, vilket i sin tur medför att dennas lönsamhet drastiskt sjunker. Konsekvenserna av detta har i flera fall medfört att anläggningar helt tas ur bruk och ersätts med andra uppvärmningsformer. Detta förhållande har, något förvånande, ej visat sig leda till något märkbart antal juridiska processer, utan kostnaderna för avvecklingen av anläggningarna verkar normalt ha tagits av fastighetsägaren.

7. ÅTGÄRDER MOT NEDKYLNING - TEKNISKA FÖRSLAG

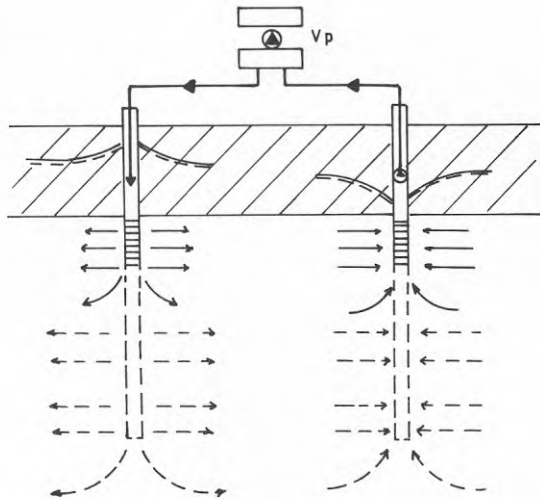
Värmebehovet för större byggnader är normalt så stort att det möjliga energiuttaget från den enskilda fastigheten ej räcker till för att täcka detta. I de fall ett överuttag av energi äger rum, kommer således en nedkylning av den utnyttjade akviferdelen att erhållas. Åtgärdas ej denna process - antingen genom ett minskat energiuttag eller genom någon teknisk åtgärd - kommer på sikt förutsättningarna för energiuttag på fastigheten att försämrats. I det enskilda fallet kan detta leda till att lönsamheten försämrats så långt att anläggningen tas ur bruk.

För att söka förbättra förhållandena vid anläggningar, där nedkylning av grundvattnet utgör problem, kan någon av nedan redovisade tekniska lösningar vara en möjlighet till förbättrad driftekonomi.

7.1 Tekniska lösningar

A. Fördjupning av uttags- och återföringsbrunnar

En fördjupning av såväl uttags- som återföringsbrunnar i berggrunden medför att möjlighet finns att aktivera en större bergvolym för överföring av energi från bergmassan till grundvattnet.



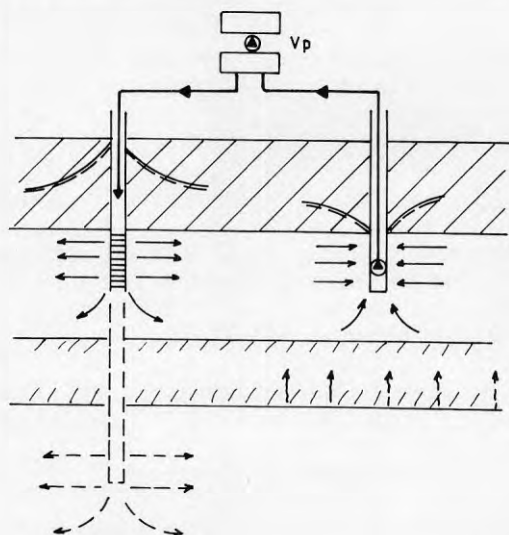
Figur 7:1 Effekt av fördjupning av brunnar

Denna metod fungerar på kort sikt väl i fall där grundvattnet följer en uttalad horisontell skiktning i berggrunden. Väsentligt är dock att fördjupningen sker till så stort djup att nya vattenförande delar av akviferen tas i anspråk. På längre sikt kommer dock nedkylningsproblemen att återkomma, då dessa vanligtvis är knutna till ett för stort energiuttag ur den enskilda anläggningen.

För att ytterligare förbättra effekten av åtgärden kan en avstängning av de tidigare vattenförande skikten i uttags-/ alternativt återföringsbrunnen göras genom nedsättning av en manschett i brunnen.

B. Fördjupning av enbart återföringsbrunn

Denna åtgärd bör utnyttjas mera i förebyggande syfte, eftersom någon direkt inverkan på förhållandena i uttagsbrunnen ej erhålls. Metoden medför dock att returvattnet från återföringsbrunnen får passera genom en större bergvolym på väg till uttagsbrunnen.

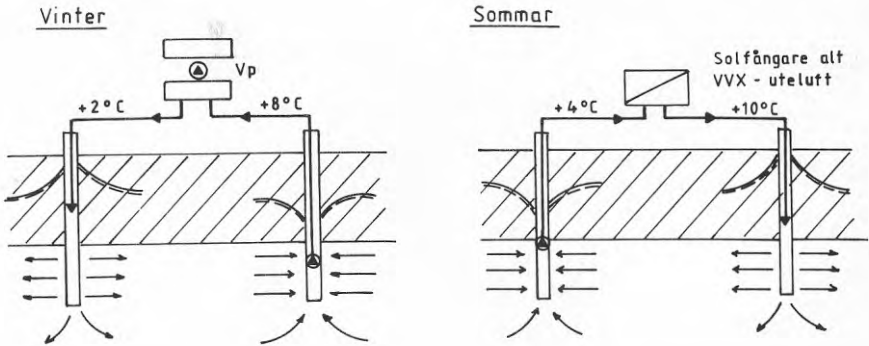


Figur 7:2 Effekt av fördjupning av återföringsbrunn

Även här kan den tekniska funktionen sannolikt förbättras genom installation av en manschett i den fördjupade returbrunnen, för att förhindra en termisk kortslutning längs någon horisontell sprickzon.

C. Återladdning med solenergi

I de fall en så kraftig nedkylning erhållits att anläggningens funktion hotas, måste en tillförsel av energi skapas. I detta fall utgör solenergi i någon form under sommarhalvåret ett lämpligt energitillskott. Principen bygger på att vattenflödet genom brunnssystemet under sommarhalvåret reverseras, samtidigt som energi matas in i systemet via den normala uttagsbrunnen.



Figur 7:3 Återladdning med solenergi - principlösning

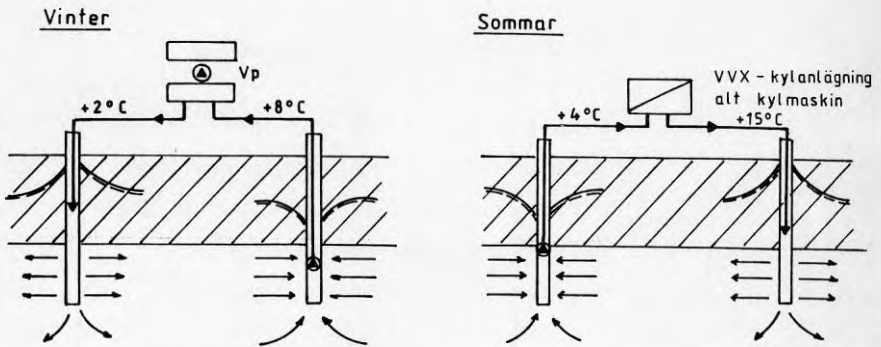
Tillskottsenergin hämtas härvid från ett solfångarbatteri, alternativt en värmeväxlare för uteluft/grundvatten. Det grundläggande kravet för denna lösning är i princip endast att det återförda, uppvärmda vattnet håller en temperatur högre än ca +10°C.

Denna typ av system har med framgång testats i Frankrike, bl a vid en större anläggning i Aulnay-sous-Bois utanför Paris (Iris & Viennot, 1985).

D. Återladdning med kylenergi

På senare tid har kraven på komfortkyla under sommarhalvåret blivit alltmer framträdande, främst vad gäller kontorsmiljöer. I nya anläggningar projekteras därför normalt även kylmaskiner in i ventilationssystemen. Kylenergin från dessa anläggningar har visat sig utgöra en god energikälla för återladdning till grundvattenmagasinet under sommarhalvåret.

Systemet bygger på att överskottsenergin från kylanläggningen växlas över till grundvattensystemet, vilket reverseras så att energitillskottet tillförs värmepumpsanläggningens uttagsbrunn.



Figur 7:4 Lagring av kylenergi för senare uppvärmningsändamål

Denna princip finns för närvarande prövad i bl a två av BFR's större experimentbyggnadsanläggningar, en i SAS huvudkontor vid Frösundavik i Stockholm samt en i Triangelns affärscentrum vid Triangeln i Malmö.

7.2 Synpunkter på genomförande

Valet av lösning kommer i det enskilda fallet att styras av de lokala förutsättningarna och behoven. Generellt kan dock konstateras att alternativen A och B, innebärande en fördjupning av brunnarna, vanligtvis torde vara mindre kostsamma än alternativen C och D, vilka innebär en ombyggnad av det befintliga systemet. Den största ändringskostnaden ligger i alternativ D, men denna kan i det enskilda fallet även ge den största lönsamheten och snabbaste pay-off tiden, om kylan värderas som resurs.

Vidare kan noteras att alternativen A och B endast kan ge temporära lösningar i en nedkylningssituation orsakad av ett för stort energiuttag. I fall C och D införs däremot en lagringsfunktion i systemet, vilket på sikt kommer att ge energivinst för brukaren.

BETECKNINGAR

T_o	Ostörd temperatur i marken, uttagstemperatur	(°C)
T_i	Återföringstemperatur	(°C)
T_m	Årsmedeltemperatur	(°C)
λ	Värmeledningsförmåga i akvifär	(W/m x °K)
λ_c	Värmeledningsförmåga i överlagrande lager	(W/m x °K)
λ_b	Värmeledningsförmåga i underlagrande lager	(W/m x °K)
C	Akvifärens volymetriska värmekapacitet	(J/m ³ x °K)
C_w	Vattnets volymetriska värmekapacitet	(J/m ³ x °K)
$\alpha_c = x/C$	Temperaturledningstal	(m ² /s)
Q_w	Utagsflöde, återföringsflöde	(m ³ /s)
V_w	Återförd vattenvolym	(m ³)
H	Akvifärhöjd	(m)
D	Avstånd från markyta till akvifärens överyta	(m)
q_{wr}	Regionalt grundvattenflöde	(m/s eller m ³ /m ² s)
q_w	Grundvattenflöde	(m/s eller m ³ /m ² s)
R_T	Termisk radie	(m)
v_T	Termisk hastighet	(m/s)
t_{bt}	Genombrotts tid	(s)
L	Avstånd uttagsbrunn-returbrunn	(m)
u	Dimensionslös temperatursänkning	(-)
τ	Dimensionslös termisk flödestid	(-)
τ_{bt}	Dimensionslös tid	(-)
R_o	Termisk influensradie	(n)
L_{ani}	Avstånd mellan två anläggningar	(m)
E	Energi	(J)
P	Effekt	(J/s)
F	Energiflöde	(J/m ² x s)
C_c	Överlagrande lagers volymetriska värmekapacitet	(J/m ³ x °K)
C_b	Underlagrande lagers volymetriska värmekapacitet	(J/m ³ x °K)
K	Hydraulisk konduktivitet	(m/s)
I	Hydraulisk gradient	(-)

LITTERATURREFERENSER

- Claesson, I. m fl Markvärme. En handbok om termiska analyser, del III
BFR T 18:1985, Stockholm 1985
- Claesson, I. & Bennet, I. Thermohydraulics of conformal groundwater flow, preliminary versions of chapters 1-6
Lund Institute of Technology, Lund 1987
- Iris, P. & Viennot, R. Heat pumps on an aquifer and heliogeothermal energy for collective dwellings at Aulnay-sous-Bois (France)
JIGA 85, Bordeaux 1985
- Jacobsen, C. Så kan man beräkna värmepumpens lönsamhet
Energimagasinet 1/81
- Landberg, J. Ystads Energiverk - Utnyttjande av grundvattenvärme i Ystad - Förutsättningar och konsekvenser, VIAK
Rapport 1985-07-24, Malmö 1985
- Leander, B. & de Maré, L. Värmeutvinning ur grundvatten från Alnarpsströmmen
BFR R 167:1984, Stockholm 1984
- Åberg, N. Juridiska frågor vid utvinning av värme ur mark och vatten
BFR R 74:1983, Stockholm 1983

VÄRMEPUMPAR-GRUNDVATTEN S.SOFIELUND

Anläggning .1. Kv. VAKTEN 4 Västodsgatan 39

1. FORMALIA

- 1.1 Ägare .. Yngve Andersson
- 1.2 Adress .. Regementsgat. 68 B 040 - 748 55
- 1.3 Kontaktperson .. Lars Persson F.S.T.
- 1.4 Telefon .. 040-121510
- 1.5 I drifttagen år-mån-dag 1985

2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA

- 2.1 Värmeeffekt (VP- kW) .. 70 (2 x 35)
- 2.2 Kyleffekt (VP-kW) 46
- 2.3 Värmepump, fabrikat/typ .. F.S.T.
- 2.4 Köldmedium typ .. R.22
- 2.5 Spetslast typ / effekt ... OJA / 30 kW

3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA

- 3.1 Uttagsbrunn - djup/ foderrör ... 76/12
- 3.2 Returbrunn - djup/ foderrör .. 79/12
- 3.2 Avstånd mellan brunnar
- 3.3 Vattenflöde-grundvatten ... 450 .. 4/h
- 3.4 Grundvattentemp. år - mån - dag .. 1988-03-29
- In .. 11°C
- Ut .. 2,5°C
- 3.5 Grundvattentemp. år - mån - dag
- In
- Ut

VÄRMEPUMPAR-GRUNDVATTEN S.SOFIELUND

Anläggning 2..Kv..FYNDET...7....."Sølvesborgsgat" 6.....

1. FORMALIA

- 1.1 Ägare .. Yngve Andersson.....
- 1.2 Adress .. Regementsgat .. 68 B..... 040-748 55.....
- 1.3 Kontaktperson Lars Persson.....
- 1.4 Telefon ... 040-121510.....
- 1.5 I drifttagen år-mån-dag 1985.....

2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA

- 2.1 Värmeeffekt (VP- kW)... 55.....
- 2.2 Kyleffekt (VP-kW)..... 37.....
- 2.3 Värmepump, fabrikat/typ .E.S.T.....
- 2.4 Köldmedium typ .. R 22.....
- 2.5 Spetslast typ / effekt... FJÄRRVÄRME (Reserv).....

3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA

- 3.1 Uttagsbrunn - djup/ foderrör.. 64/12.....
- 3.2 Returbrunn - djup/ foderrör 19/12.....
- 3.2 Avstånd mellan brunnar
- 3.3 Vattenflöde-grundvatten 7940 l/h.....
- 3.4 Grundvattentemp. år - mån - dag 1988-03-29.....
- In .. 11°C.....
- Ut .. 7°C.....
- 3.5 Grundvattentemp. år - mån - dag
- In
- Ut

VÄRMEPUMPAR-GRUNDVATTEN S.SOFIELUND

Anläggning 3. kv. AFTONEN 4 Hörbygatan 6

1. FORMALIA

- 1.1 Ägare .Yngve Andersson.....
 1.2 Adress .Regementsgat. 68 B. 040-748 55.....
 1.3 Kontaktperson .Lars Persson.....
 1.4 Telefon ..040-121510.....
 1.5 I drifttagen år-mån-dag .1983.....

2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA

- 2.1 Värmeeffekt (VP- kW). 105.. (3 x 35).....
 2.2 Kyleffekt (VP-kW).... 69.....
 2.3 Värmepump, fabrikat/typ .E.S.T.....
 2.4 Köldmedium typ ..P.22.....
 2.5 Spetslast typ / effekt..OLIA (Reserv).....

3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA

- 3.1 Uttagsbrunn - djup/ foderrör. 70/12.....
 3.2 Returbrunn - djup/ foderrör 82/13,5.....
 3.2 Avstånd mellan brunnar
 3.3 Vattenflöde-grundvatten ... 8480 L/h.....
 3.4 Grundvattentemp. år - mån - dag 1983.....
 In ..17°C.....
 Ut ..8,3°C.....
 3.5 Grundvattentemp. år - mån - dag 1988-03-30.....
 In ..11°C.....
 Ut ..4°C.....

VÄRMEPUMPAR-GRUNDVATTEN S.SOFIELUND

Anläggning 4....kv...SKRAET 2.....Ystadsgat: 29.....

1. FORMALIA

- 1.1 Ägare ..Tommy...Assarsson.....
- 1.2 Adress ..P.A. Hanssons väg..56.A.....040-191333..
- 1.3 Kontaktperson ..Lars..Persson..T..Assarsson.....
- 1.4 Telefon
- 1.5 I drifttagen år-mån-dag ..1984-09.....

2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA

- 2.1 Värmeeffekt (VP- kW)..70..(2x35).....
- 2.2 Kyleffekt (VP-kW)....46.....
- 2.3 Värmepump, fabrikat/typ ..E.S.T.....
- 2.4 Köldmedium typ ..R.22.....
- 2.5 Spetslast typ / effekt...0,4A (Reserv).....

3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA

- 3.1 Uttagsbrunn - djup/ foderrör..67/12.....
- 3.2 Returbrunn - djup/ foderrör ..74/12... resp: 94/12.....
- 3.2 Avstånd mellan brunnar 28-30 m
- 3.3 Vattenflöde-grundvatten ..7190..4/h.....
- 3.4 Grundvattentemp. år - mån - dag ..1988-03-15.....
- In ..10,5°C.....
- Ut ...5,0°C.....
- 3.5 Grundvattentemp. år - mån - dag
- In
- Ut

VÄRMEPUMPAR-GRUNDVATTEN S.SOFIELUND

Anläggning .5. . . Ky. ⁴ÖKNEN Lantmannagat. - Vstadsgat. .

1. FORMALIA

- 1.1 Ägare .. Magne Hårstedt
- 1.2 Adress . Lantmannagat. 2A 040-965312
- 1.3 Kontaktperson . Lars Persson
- 1.4 Telefon . 040-121510
- 1.5 I drifttagen år-mån-dag . 1986-11

2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA

- 2.1 Värmeeffekt (VP- kW) . 220 2x(55+35+20)
- 2.2 Kyleffekt (VP-kW) 148
- 2.3 Värmepump, fabrikat/typ . F.S.T.
- 2.4 Köldmedium typ . R. 22
- 2.5 Spetslast typ / effekt. FJÄRRVÄRME / 200 kW

3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA

- 3.1 Uttagsbrunn - djup/ foderrör . 73/12 . resp. . 74/12
- 3.2 Returbrunn - djup/ foderrör . 2x 73/12
- 3.2 Avstånd mellan brunnar ~ 60 m
- 3.3 Vattenflöde-grundvatten ... 159 l/s . 4/b
- 3.4 Grundvattentemp. år - mån - dag . 1986-11
- In .. 10°C
- Ut .. 2°C
- 3.5 Grundvattentemp. år - mån - dag
- In
- Ut

VÄRMEPUMPAR-GRUNDVATTEN S.SOFIELUND

Anläggning .6... Kv... DRIVAN... Nobelvägen 36.....

1. FORMALIA

- 1.1 Ägare ..Hagne...^uHarstedt.....
- 1.2 Adress .Lagmansgata... 2 A..... 040-94 53 12.....
- 1.3 Kontaktperson: Lars Pettersson.....
- 1.4 Telefon ... 040-12 15 10.....
- 1.5 I drifttagen år-mån-dag 1987.....

2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA

- 2.1 Värmeeffekt (VP- kW) .145.....
- 2.2 Kyleffekt (VP-kW)....97.....
- 2.3 Värmepump, fabrikat/typ .E.S.T.....
- 2.4 Köldmedium typ ..P.22.....
- 2.5 Spetslast typ / effekt.. FJÄRRVÄRME / 150kW.....

3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA

- 3.1 Uttagsbrunn - djup/ foderrör .73/12.....
- 3.2 Returbrunn - djup/ foderrör 76/9.....
- 3.2 Avstånd mellan brunnar ~ 50m
- 3.3 Vattenflöde-grundvatten ..10430 l/h.....
- 3.4 Grundvattentemp. år - mån - dag .1987.....
 In ..10°C.....
 Ut ..2°C.....
- 3.5 Grundvattentemp. år - mån - dag
 In
 Ut

VÄRMEPUMPAR-GRUNDVATTEN S.SOFIELUND

Anläggning 7... kv. ÅKERH Nobelvägen 73

1. FORMALIA

- 1.1 Ägare F.S.T. - SKÅNSK ROENTREPPENAD
- 1.2 Adress
- 1.3 Kontaktperson Lars PERSSON
- 1.4 Telefon 040-121510
- 1.5 I drifttagen år-mån-dag 1987

2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA

- 2.1 Värmeeffekt (VP- kW) 130
- 2.2 Kyleffekt (VP-kW) 88
- 2.3 Värmepump, fabrikat/typ F.S.T.
- 2.4 Köldmedium typ P. 22
- 2.5 Spetslast typ / effekt FIAPPVÄRME (Pescu)

3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA

- 3.1 Uttagsbrunn - djup/ foderrör 45/12
- 3.2 Returbrunn - djup/ foderrör 76/15
- 3.2 Avstånd mellan brunnar ~20 m
- 3.3 Vattenflöde-grundvatten 16.820 l/h
- 3.4 Grundvattentemp. år - mån - dag 1988-03-30
- In 10.5°C
- Ut 6°C
- 3.5 Grundvattentemp. år - mån - dag
- In
- Ut

VÄRMEPUMPAR-GRUNDVATTEN S.SOFIELUND

Anläggning .8... Kv... LYKTAN 2... Bonnebygatan 13.....

1. FORMALIA

1.1 Ägare ..Sven Gustavsson.....
 1.2 Adress ..Vinstorpsväg..29..Lomma.....
 1.3 Kontaktperson ..Lars Persson.....
 1.4 Telefon040-121510.....

1.5 I drifttagen år-mån-dag ..1985.....

2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA

2.1 Värmeeffekt (VP- kW)..55.....
 2.2 Kyleffekt (VP-kW)....37.....
 2.3 Värmepump, fabrikat/typ ..F.S.T.....
 2.4 Köldmedium typ ..P.22.....
 2.5 Spetslast typ / effekt.....

3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA

3.1 Uttagsbrunn - djup/ foderrör...25/10.5.....
 3.2 Returbrunn - djup/ foderrör ..67/12.....
 3.2 Avstånd mellan brunnar
 3.3 Vattenflöde-grundvatten7960..l/h.....
 3.4 Grundvattentemp. år - mån - dag ..88-03-28.....
 In ..11°C.....
 Ut ..7°C.....
 3.5 Grundvattentemp. år - mån - dag
 In
 Ut

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD**Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor**

Anläggning:	Apollo 4
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Knut Jönsson
1.2 Adress	St Västerg 30
1.3 I drifttagen år	1983
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	30 (2 x 15)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	20
2.3 Värmepump - fabrikat	HS-Therm 15 k
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja/?
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	31 21
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	31 21
3.3 Avstånd mellan brunnar	20
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Thora 21
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	R Nilsson
1.2 Adress	Skepparg 11
1.3 I drifttagen år	
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	96 (2 x 48)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	64
2.3 Värmepump - fabrikat	Climaro 12009
2.4 Köldmedium - typ	R22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja/2 x 155 Mcal
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	40/20
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	40/20
3.3 Avstånd mellan brunnar	35
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Christina 6
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Bo Blomquist
1.2 Adress	Stortorget 3
1.3 I drifttagen år	1985
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	60 (4 x 15)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	40
2.3 Värmepump - fabrikat	Ahlsell DST 5
2.4 Köldmedium - typ	R 502
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja/115 kW
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	okänt
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	okänt
3.3 Avstånd mellan brunnar	18
3.4 Vattenflöde grundvatten	okänt

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Yngve 5-6
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Bo Berglund
1.2 Adress	Klostergatan 6
1.3 I drifttagen år	1983
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	64 (2x32)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	42
2.3 Värmepump - fabrikat	Climaro POO 10009
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja/130 kW
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	26/21
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	38/21
3.3 Avstånd mellan brunnar	35
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Erik 29
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Knut Nilsson
1.2 Adress	Stallg 2
1.3 I drifttagen år	1985
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	32
2.2 Kyl-effekt (VP-kW)	21
2.3 Värmepump - fabrikat	Markaryd T30
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	28/27
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	28/27
3.3 Avstånd mellan brunnar	25
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Domar 24
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	HSB Brf Domar
1.2 Adress	Regementsg 5
1.3 I drifttagen år	1984
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	42 (4 x 10,5)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	28
2.3 Värmepump - fabrikat	AGA Thermia 313 C 400 M
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja/130 kW
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	Utformning
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	
3.3 Avstånd mellan brunnar	
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Ägir 6
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Bo Berglund
1.2 Adress	Klosterg 6
1.3 I drifttagen år	1983
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	64 (2 x 32)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	42
2.3 Värmepump - fabrikat	Climaro DOO 19009
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja/130 kW
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	22/
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	28/26
3.3 Avstånd mellan brunnar	40
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Östen 2
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Scanbygg
1.2 Adress	Bollhus 8
1.3 I drifttagen år	
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	13,2 (3 x 4,4)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	9
2.3 Värmepump - fabrikat	Octopus OM500
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja + el
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	42/18
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	42/18
3.3 Avstånd mellan brunnar	
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Östen 4
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Scanbygg
1.2 Adress	Bollkusg 8
1.3 I drifttagen år	
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	13,2 (3 x 4,4)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	9
2.3 Värmepump - fabrikat	Octopus OM 500
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja + el
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	42/18
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	42/18
3.3 Avstånd mellan brunnar	
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning: Ö Förstaden 2:23

1. FORMALIA

1.1 Ägare Ystad kommun

1.2 Adress

1.3 I drifttagen år

2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA

2.1 Värmeeffekt (VP-kW) 15,5

2.2 Kyleffekt (VP-kW) 10

2.3 Värmepump - fabrikat Climaro 5HF 158

2.4 Köldmedium - typ R 22

2.5 Spetslast typ/effekt El/24 kW

3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA

3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör 30/15

3.2 Returbrunn - djup/foderrör 30/15

3.3 Avstånd mellan brunnar 20

3.4 Vattenflöde grundvatten

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Hildetorp 18
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Scanbygg
1.2 Adress	Hamngatan 14
1.3 I drifttagen år	1984
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	13,2 (3 x 4,4)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	9
2.3 Värmepump - fabrikat	Octopus OM 500
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	54/21
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	54/21
3.3 Avstånd mellan brunnar	
3.4 Vattenflöde grundvatten	6 m ³ /h

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Schultz 4-5
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Scanbygg
1.2 Adress	Hamngatan 14
1.3 I drifttagen år	1984
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	44,4 (6 x 7,4)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	30
2.3 Värmepump - fabrikat	Octopus OM 900
2.4 Köldmedium - typ	Freoa
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja/675 Mcal
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	51/18 + 42/18
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	51/18 + 42/18
3.3 Avstånd mellan brunnar	35 + 20
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD**Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor**

Anläggning:	Helan 8
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Scanbygg
1.2 Adress	Stenstrykaregatan 9
1.3 I drifttagen år	
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	13,2 (3 x 4,4)
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	9
2.3 Värmepump - fabrikat	Octopus OM 500
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	54/35
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	54/35
3.3 Avstånd mellan brunnar	25
3.4 Vattenflöde grundvatten	6

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

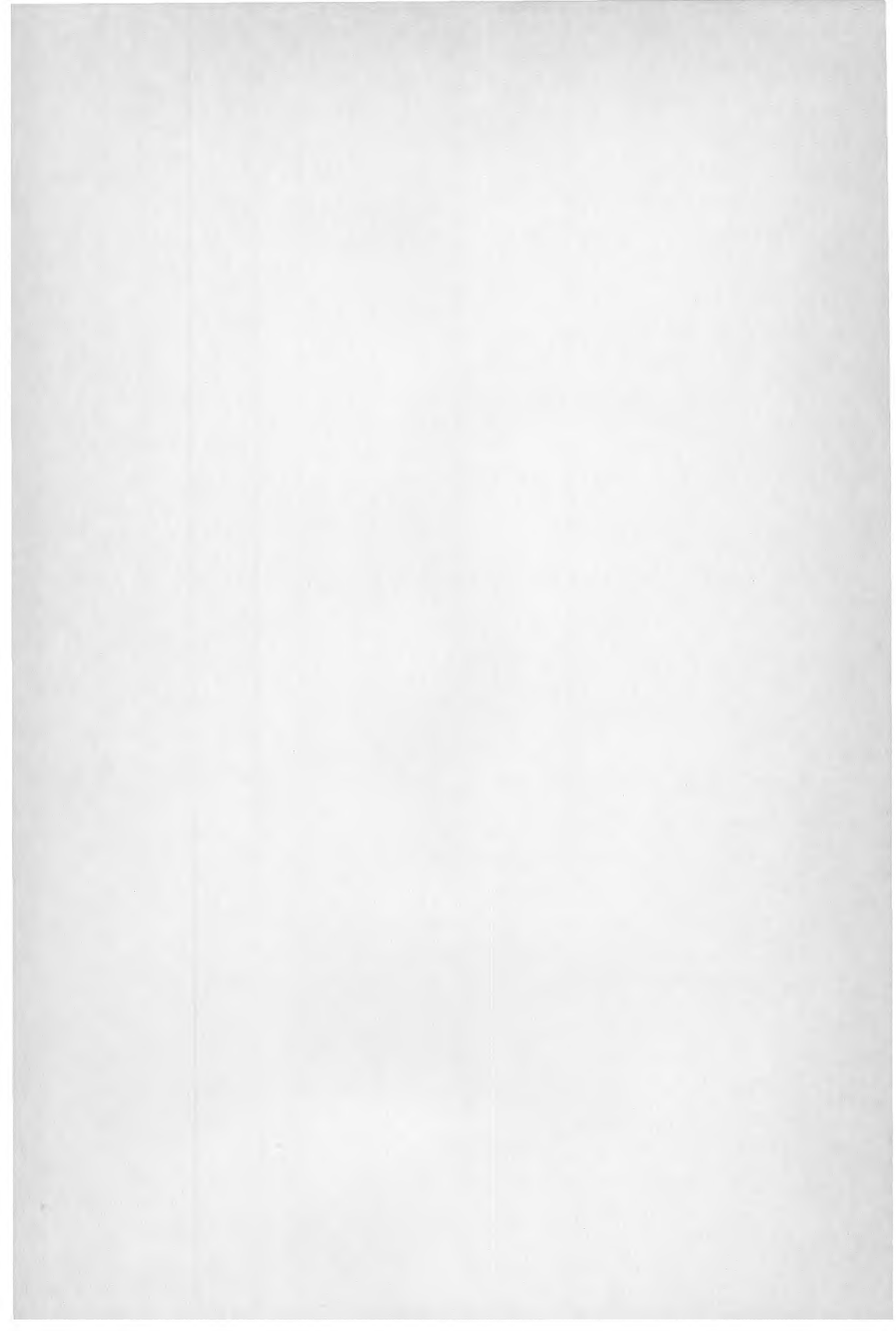
Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Tuvegap 10
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	A Svensson
1.2 Adress	Hagermansgatan 20
1.3 I drifttagen år	1983
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	15
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	10
2.3 Värmepump - fabrikat	Bosch
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	Olja + Ved/30 Mcal
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	35/okänt
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	37/okänt
3.3 Avstånd mellan brunnar	35
3.4 Vattenflöde grundvatten	

VÄRMEPUMPAR - GRUNDVATTEN YSTAD

Uppgifter från Ystads kommuns fastighetskontor

Anläggning:	Boken 1
1. FORMALIA	
1.1 Ägare	Ystad fastighetskonsult
1.2 Adress	Oskarsgatan 3
1.3 I drifttagen år	1984
2. TEKNISK BESKRIVNING - VARM SIDA	
2.1 Värmeeffekt (VP-kW)	15,5 kW
2.2 Kyleffekt (VP-kW)	10
2.3 Värmepump - fabrikat	Climaro 158
2.4 Köldmedium - typ	R 22
2.5 Spetslast typ/effekt	El/18 kW
3. TEKNISK BESKRIVNING - KALL SIDA	
3.1 Uttagsbrunn - djup/foderrör	30/15
3.2 Returbrunn - djup/foderrör	30/15
3.3 Avstånd mellan brunnar	50
3.4 Vattenflöde grundvatten	



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860227-5
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,
Malmö.

R88:1990

ISBN 91-540-5260-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6801088

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirka pris: 48 kr exkl moms