



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.



Värmepumpsteknikens miljö- konsekvenser

BFR:s Miljökonsekvensgrupp

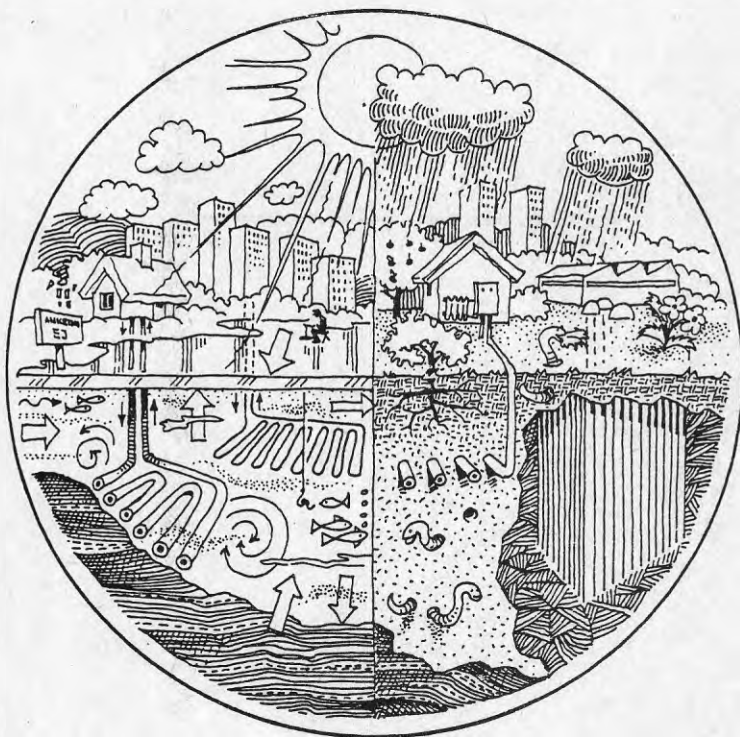
R
AW

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION
Accnr
Plac <i>see</i>

R28:1985

VÄRMEPUMPTEKNIKENS MILJÖKONSEKVENSER

BFRs Miljökonsekvensgrupp



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811394-1 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

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

R28:1985

ISBN 91-540-4327-1
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

VÄRMEPUMPTEKNIKENS MILJÖKONSEKVENSER

INNEHALLSFÖRTECKNING

-	Förord.....	7
-	Sammanfattning.....	9
1	Bakgrund, omfattning, begränsningar.....	15
2	Grundläggande tekniska aspekter.....	19
	2.1 Vad är naturvärme.....	19
	2.2 Utvinnings- och lagringssystem.....	20
	2.3 Värmekällans roll.....	23
3	Värmepumpens miljöeffekter.....	25
	3.1 Teknisk beskrivning.....	25
	3.2 Freon.....	27
	3.3 Buller.....	28
4	Köldbärandevätskor.....	31
	4.1 Användning och tekniska egenskaper.....	31
	4.2 Miljöeffektbeskrivning.....	32
	4.3 Bedömning, slutsatser.....	36
	4.4 Behov av FoU.....	36
5	Ytjordvärme.....	37
	5.1 Metod - system.....	37
	5.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar.....	38
	5.3 Naturförutsättningar - potential.....	39
	5.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat.....	40
	5.5 Miljömässiga begränsningar.....	42
	5.6 Behov av FoU.....	43
6	Grundvattenvärme.....	45
	6.1 Metod - system.....	45
	6.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar.....	46
	6.3 Naturförutsättningar - potential.....	46
	6.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat.....	48
	6.5 Miljömässiga begränsningar.....	52
	6.6 Behov av FoU.....	53

7	Bergvärme.....	55
	7.1 Metod - system.....	55
	7.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar.....	56
	7.3 Naturförutsättningar - potential.....	56
	7.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat.....	57
	7.5 Miljömässiga begränsningar.....	58
	7.6 Behov av FoU.....	58
8	Värmelager i berg.....	59
	8.1 Metod - system.....	59
	8.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar.....	60
	8.3 Naturförutsättningar - potential.....	60
	8.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat.....	61
	8.5 Behov av FoU.....	62
9	Värmelager med slangsystem i lösa jordlager.....	63
	9.1 Metod - system.....	63
	9.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar.....	63
	9.3 Naturförutsättningar - potential.....	64
	9.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat.....	64
	9.5 Miljömässiga begränsningar och intressekonflikter.	64
	9.6 Behov av FoU.....	65
10	Akviferlager.....	67
	10.1 Metod - system.....	67
	10.2 Naturförutsättningar - potential.....	67
	10.3 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat.....	69
	10.4 Miljömässiga begränsningar och intressekonflikter.	69
	10.5 Behov av FoU.....	69
11	Ytvattenvärme - öppna system.....	71
	11.1 Metod, utvecklingslinjer, tekniska begränsningar..	71
	11.2 Naturförutsättningar.....	72
	11.3 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat.....	76
	11.4 Miljömässiga begränsningar och intressekonflikter.	81
	11.5 Behov av FoU.....	82

12	Ytvattenvärme - slutna system	83
12.1	Metod, utvecklingslinjer, tekniska begränsningar....	83
12.2	Naturförutsättningar.....	84
12.3	Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat.....	86
12.4	Miljömässiga begränsningar och intressekonflikter...	89
12.5	Behov av FoU.....	89
13	Spillvattenvärme.....	91
13.1	Metod.....	91
13.2	Miljöeffekter.....	92
13.3	Behov av FoU.....	92
14	Luftvärme.....	93
14.1	Metod - tekniska begränsningar.....	93
14.2	Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat.....	95
14.3	Miljömässiga begränsningar.....	97
14.4	Behov av FoU	98
15	Jämförande bedömningar.....	99
15.1	Jämförelse mellan olika naturvärmekällor.....	99
15.2	Jämförande bedömning av total miljöpåverkan av alternativa framtida uppvärmningssystem.....	103
16	Pågående forskningsprojekt per 1984-06-30.....	105
17	Rapporter och referenser.....	109
17.1	Allmänt.....	109
17.2	Köldbärandevätskor.....	110
17.3	Ytjordvärme.....	111
17.4	Grundvattenvärme och bergvärme.....	114
17.5	Värmelagring i mark.....	116
17.6	Ytvattenvärme.....	119
17.7	Luftvärme.....	123

FÖRORD

Denna skrift innehåller en sammanfattande beskrivning och bedömning av miljöeffekter vid värmeuttag och värmelagring i mark, vatten och uteluft, så kallad naturvärme. Rapporten utgör slutredovisning för Byggforskningsrådets så kallade miljökonsekvensgrupp som tillsattes 1981 i syfte att initiera, samordna och utvärdera forskning inom området.

Tidigare rapporter från gruppen är ett förslag till forskningsprogram (BFR-skrift G2: 1983) och en rapport från ett forskarseminarium (BRF-rapport R60:1984). Arbetet med luftvärme påbörjades 1983 och har resulterat i ett förslag till forskningsprogram i stencilform.

Gruppen består av företrädare för forskningsinstitutioner, näringslivet och Statens naturvårdsverk. För de ursprungliga områdena mark och vatten har gruppen haft följande sammansättning:

Torbjörn Svensson	Ordf	Inst. för vattenbyggnad, CTH
Björn Holm	Sekr	Bjerking Ingenjörbyrå AB
Wilhelm Dietrichson		Statens naturvårdsverk
Gunnar Gustafsson		VIK AB, Göteborg

Adjungerade medlemmar:

Walter Axelsson		Naturgeografiska Institutionen Uppsala Universitet
Lars Bengtsson		Avd för Hydrologi Uppsala Universitet
Ulf Larsson		Askölaboratoriet Stockholms Universitet
Torgny Wiederholm		Statens naturvårdsverk Vattenlaboratoriet, Uppsala
Gert Knutsson		Inst. för kulturteknik, KTH
Håkan Staaf		Växtekologiska Institutionen Lunds Universitet

För luftvärmedelen har till gruppen knutits:

Sven Lindqvist

Naturgeografiska Institutionen
Göteborgs Universitet

Adjungerade medlemmar:

Roger Taesler

SMHI, Norrköping

Staffan Hygge

Statens Institut för Byggnads-
forskning, Gävle

Samtliga medverkande har bidragit med material till rapporten. För de jämförande bedömningarna med andra energislag som redovisas i kap 15 har även Bengt Steen, Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, Göteborg bidragit.

Den slutliga sammanställningen och redigeringen har gjorts av Torbjörn Svensson och Björn Holm.

Från Byggforskningsrådet har Rolf Engvall (naturvärme), Lennart Backman (värmepumpar) och Sven-Erik Lundin (energilagring) bidragit med synpunkter och underlagsmaterial.

Till alla medverkande i rapporten samt övriga som bidragit med synpunkter och material riktas ett varmt tack.

Göteborg oktober 1984

Torbjörn Svensson

SAMMANFATTNING

Uppvärmningssystem som baseras på värmeuttag eller värmelagring i mark eller vatten, eller på värmeutvinning ur avloppsvatten eller luft har snabbt vunnit insteg i den svenska energiförsörjningen. Systemen innefattar i regel eldrivna värmepumpar för att höja temperaturen på den utvunna värmen.

Många olika metoder för värmeuttag eller värmelagring har utvecklats, anpassade till de lokala naturförutsättningarna. Parallellt med denna tekniska utveckling har ett program för miljökonsekvensforskning genomförts, vilket samordnats av Byggnadsforskningsrådet via den så kallade miljökonsekvensgruppen. Denna skrift utgör gruppens slutrapport över de resultat som hittills framkommit sammanfattas med förslag till fortsatta insatser inom olika områden. I första hand behandlas värmeuttagens och lagrens inverkan på naturmiljön, medan problem som är knutna till själva värmepumpen, främst buller och freonläckage, beskrivs översiktligt.

Tekniken för värmeuttag ur naturliga eller konstgjorda lager kan uppdelas i slutna och öppna system, samt i vissa fall, kombinationer av dessa. I slutna system anläggs en speciell värmeväxlarkrets i värmekällan, vanligen bestående av ett slang- eller rörsystem till vilket värme leds från omgivande mark eller vatten. Kretsen innehåller en frostskyddad s.k. köldbärandevätska, som vanligen består av glykol-, alkohol- eller saltlösningar med tillsatser för att förhindra korrosion eller bakterie- och alg-tillväxt. Vid ett läckage finns risk att vätskan sprids och i ogynnsamma fall förorenar närbelägna vattentäkter. Vid de förhållande som råder i marken sker endast en långsam nedbrytning och adsorption av vätskan, som sprids dels genom diffusion och dels genom grundvattenströmning. De använda vätskorna har förhållandevis låg toxicitet, men syretäringen vid nedbrytning av glykoler och alkoholer kan medföra sekundära effekter i form av till exempel svavelvätebildning. Även smakförändringar kan utgöra problem. Risken för läckage och olägenheter därav kan begränsas genom relativt enkla tekniska åtgärder och genom restriktioner för lokalisering intill vattentäkter. Önskvärt är dock att mera miljövänliga köldbärandevätskor utvecklas.

Ytjordvärmesystem utnyttjar ett slangsystem på omkring 1 m djup i marken som värmeupptagare. En utveckling mot mera kompakta och djupare kollektorer pågår. Ett stort antal anläggningar (ca 12000 år 1984) finns installerade, varav nästan alla för villafastigheter.

Vid jämförande växtodlingsförsök har visats att ytjordvärmeuttag har olika effekt på olika trädgårdsväxter. Arter som är väl härdiga på växtplatsen klarar sig i regel bättre än mindre härdiga arter. Gräs och prydnadsbuskar synes inte påverkas nämnvärt av värmeuttag, medan vårblomande lökväxter och mindre härdiga rosor påverkas kraftigt. Generellt sett förkortas vegetationsperiodens längd med en till tre veckor. Man har också konstaterat att daggmaskaktiviteten och nedbrytningen av döda växtrester minskat betydligt inom slangområdet. Andra problem kan vara frosthävning över slangarna, markskador under byggnadstiden samt olika markfuktighet över respektive mellan slangar. Det senare har visat sig som grön-brunrandade gräsmattor under torkperioder.

Effekterna av ytjordvärmeuttag är begränsade till slangområdet och drabbar endast brukaren av marken. Genom lämpligt växtval och jordbearbetning torde de negativa effekterna kunna motverkas. Det stora flertalet anläggningar har också fungerat väl utan störande biologiska eller geotekniska effekter. Risken för läckage av köldbärrävska kan minimeras genom ett gott arbetsutförande och god kännedom (kartor) om slangarnas placering.

Grundvatten som används som värmekälla är efter passagen av värmepumpen nedkylt till ca 2°C och kan då antingen återföras till akviferen eller släppas ut i en ytvattenrecipient. För grundvattenuttaget används konventionell brunnsteknik. De problem som kan uppstå i samband med själva uttaget är välkända från vattenförsörjningssammanhang. Hit hör avsänkning av grundvattenytan samt en successiv försämring av vattenkvaliten. Problemen kan dock accentueras genom att grundvattenvärme kräver många gånger större vattenmängd än för konsumtion, men har lägre krav på vattenkvalitet. Genom mobilisering av till exempel salt eller hårt vatten finns risk att även närbelägna dricksvattentäkter försämrats.

Temperatursänkningen i marken vid återföring av kylt grundvatten förväntas inte ge några större problem, medan utsläpp sommartid i en liten ytvattenrecipient (bäck, å) lokalt kan ge en kraftig temperatursänkning. Utfällningar av järn och mangan kan ge problem i båda fallen och har ibland inneburit svårigheter att återinfiltrera vattnet. Andra problem som bedöms kunna uppstå är förorening i samband med haveri hos värmepumpen.

Några allvarliga miljöeffekter har inte rapporterats från anläggningar i drift. Det är dock angeläget att en långsiktig uppföljning görs av några energibrunnar. Likaså bör effekterna av utsläpp av "dåligt" grundvatten i en ytvattenrecipient studeras.

Bergvärme innebär att värme tas ut ur ett borrhål, där antingen kylt vatten recirkuleras, eller där ett slangsystem nedförts, vilket medger frysning i och kring hålet. Den termiska påverkan vid markytan blir normalt obetydlig, men om flera borrhål placeras tätt fås på sikt en nedkylning av berget varvid återladdning av värme krävs.

Miljöproblemen vid bergvärmeanläggningar förväntas bli små och utgörs i huvudsak av risken för läckage av köldbärarvätska. Vid öppna system med cirkulerande vatten kan tekniska problem med utfällningar och igensättningar av pumpar och värmväxlare uppstå.

Värmelager kan utföras i berg i form av till exempel bergrum eller borrhålslager, i lösa jordlager i form av nedtryckta slang- eller rörsystem, eller i avgränsade grundvattenmagasin. Gemensamt för all säsongslagring av värme är att lagren måste göras stora för att inte värmeförlusterna skall bli för stora. Värmeförlusterna ökar också med ökad lagringstemperatur.

Temperaturförändringar i och runt lagren kan beräknas väl. Vid markytan erhålles en viss övertemperatur som i huvudsak är begränsad till området direkt över lagret. Värmelager i bergrum kan jämföras med lager för uppvärmd olja (70°C) för vilka ej några negativa effekter på vegetation m m har rapporterats.

Tänkbara effekter kan vara minskad tillväxt hos träd på grund av viss markuttorkning samt förändrade tidpunkter för lövsprickning och lövfällning. Förhöjd temperatur leder också till viss urlakning av joner ur mineralen, vilket i första hand är ett tekniskt problem och kan ge avsättningar på värmeväxlare. För lager i lera kan höga temperaturer leda till stabilitetsproblem.

Byggandet av värmelager innebär i många fall större miljöstörningar än själva värmelagringen. Dessa ingrepp består främst i olika former av markarbeten, markuppfyllnad och påslag för bergarbeten. Vid exempelvis borrhålslager i berg och lager i lera tas marken ovanför lagret i anspråk för rördragning vilket kan begränsa markens användbarhet.

Värmelagringstekniken befinner sig ännu i ett experimentstadium och prototypanläggningar har endast varit i drift en kort tid. Ur miljösynpunkt finns i första hand behov av att följa eventuella vegetationsförändringar vid lager i drift. De geotekniska konsekvenserna vid lager i lera, och de vattenkemiska förändringarna vid akviferlager behöver också studeras ytterligare.

Värmeuttag ur ytvatten (sjöar, vattendrag, kustvatten) kan göras antingen med öppna system där vattnet pumpas upp till en värmepump och efter avkylning åter släpps ut, eller med slutna system i form av slangsystem. I det senare fallet kan ispåfrysning tillåtas ske på slangarna, vilket medger värmeuttag vid vattentemperaturer mycket nära fryspunkten.

Den värmemängd som kan utvinnas ur en sjö under vintern är begränsad och måste bedömas från fall till fall. Under sommaren däremot ersätts värmeuttaget av solinstrålning så att betydligt större uttag kan göras än på vintern. Värmeuttaget leder till förändringar av vattenomsättningen i en sjö samt till en viss nedkylning av vatten och sediment. För slutna system tillkommer risken för läckage av köldbärarvätska. Andra effekter kan vara vaxbildning vid utsläpp, hinder för fiske och rekreation genom utlagda slangsystem samt en marginell ökning av istjockleken.

En väsentlig fråga är hur värmeuttagen påverkar produktivitet, nedbrytning och syreförhållanden i ett vattenområde. Vid öppna system sker under vintern en transport av näringsrikare vatten till ytskiktet vilket skulle kunna leda till en ökad planktonproduktion under vårvintern. Vid frysning kring slangar på botten erhålles en viss ökning av fosforutflödet vilken i viss mån kompenseras av minskat utflöde från de kylda sedimenten mellan slangarna. Den sammantagna effekten av stora värmeuttag bör bedömas individuellt med hänsyn till de stora skillnaderna i näringsnivå, djup- och temperaturförhållande mellan olika sjöar. I många fall torde man dock kunna räkna med ganska liten påverkan.

Direkta effekter av värmeuttag har konstaterats på bottenfauna och vegetation inom sjöbottenförlagda slangkollektorer. För fisk bedöms inte nedkylningen leda till någon förändring i överlevnad eller tillväxt, men en minskad aktivitet under vintern kan eventuellt påverka vinterfisket.

Direkta fallstudier av effekter av värmeuttag med öppna system har hittills endast kunnat göras i liten omfattning på grund av brist på lämpliga anläggningar. Forskning rörande miljöeffekter av värmeuttag med öppna system i sjöar bör därför prioriteras och omfatta uppföljning av vattenomsättning och effekter av omfördelning av näringsämnen under vintern. Även studier av olika fiskarters aktivitet och uppehållsplatser bör göras. För slutna system bör en uppföljning av lokala effekter på flora och fauna inom slangutläggningsområden göras i olika sjötyper.

Värmeuttag ur spillvatten leder till att avloppsvattnets inskiktningnivå och utspädning kan förändras. Vid utsläpp i en sjö inskiktas vattnet djupare under sommaren och ytligare under vintern, vilket ur recipientsynpunkt torde vara gynnsamt. Vid utsläpp i små vattendrag kan i vissa fall temperaturpåverkan bli avsevärd, vilket motiverar att uppföljning görs av något sådant fall.

Stora luftvärmepumpar är en förhållandevis ny teknik med stor utvecklingspotential. De problemområden som aktualiserats är främst buller, freonutsläpp och kallluftsspridning. Det senare kan orsaka obehag för boende i området samt en ökad frekvens av dimbildning och halka, och kan också bidra till att föra ned luftföroreningar till marknivå. Freonläckage och utsläpp i samband med haverier betraktas i första hand som ett arbetsmiljöproblem, men vissa freontyper anses också kunna bidra till en nedbrytning av atmosfärens ozonlager vilket ökar den ultraviolettera instrålningen. Värmepumparnas bidrag har inte närmare utretts i föreliggande rapport, men ett flertal projekt pågår för studium av freonproblematiken.

Forskning om luftvärmepumpar behövs främst kring emissioner och spridning av buller och kallluft. För det lågfrekventa buller som alstras behöver man också undersöka vilka kriterier på störning som är relevanta.

Sammanfattningsvis kan sägas att genom införandet av naturvärmesystem minskar i motsvarande grad användningen av andra uppvärmningsformer, främst eldning av olja, fasta inhemska bränslen och kol samt elvärme. Samtidigt minskar den direkta och indirekta miljöpåverkan av dessa energislag, i första hand orsakad av utsläpp av luftföroreningar. Jämfört med de problem i form av bland annat försurning, hälsorisker, klimatpåverkan och korrosionsskador som är förknippade med förbränning av bränslen framstår den miljöpåverkan som vi kunnat finna för naturvärmesystemen som liten, förutsatt att systemen är rätt dimensionerade och utformade. Det är därför gruppens uppfattning att den totala miljöbelastningen inom uppvärmningssektorn minskar med en ökad andel naturvärme, eller med andra ord att naturvärmesystem är den mest miljövänliga av de uppvärmningsformer som står till buds för en storskalig tillämpning.

1 BAKGRUND, OMFATTNING, BEGRÄNSNINGAR

Utbyggnaden av uppvärmningssystem som baseras på värmeuttag ur mark, vatten, luft eller kommunalt spillvatten i kombination med eldrivna värmepumpar har accelererat under de senaste åren. Vid utgången av 1983 fanns omkring 60 000 värmepumpsystem i drift, vilka producerar 2 - 3 TWh/år netto. Värmepumpar motsvarande ytterligare minst 1 TWh/år är under installation och den påbörjade utvecklingen förväntas fortsätta även efter sekel-skiftet. Den totala teknisk-ekonomiska marknadspotentialen för värmepumpar har av Byggeforskningsrådet (Energi 85) bedömts vara ca 40 TWh, varav för småhus ca 7 TWh. Som värmekälla bedöms för småhus uteluft, ytjord och grundvatten få störst tillämpning, för flerbostadshus uteluft och ventilationsluft samt för fjärrvärme renat avloppsvatten och sjö- eller havsvatten. För gruppcentraler finns lönsamma system med uteluft, sjövattnen och markvärmekällor i drift. Härtill kommer värmepumpsystem baserade på industriell spillvärme m m, vilket inte behandlas här. System för värmelagring i jord och berg har hittills byggts i några få prototypanläggningar. Utvecklingen är här mera osäker och kommer att kräva längre tid. Enligt Byggeforskningsrådets bedömning kan den framtida tekniska och ekonomiska marknadspotentialen för olika typer av värmelager bli 10 - 15 TWh sett i ett 20-års-perspektiv.

Flera orsaker kan anges till den snabba utvecklingen av naturvärmesystem. Bland annat har prisförhållandena mellan olja och andra bränslen relativt elenergi och värmepumpar varit gynnsamma. Statsmakternas satsning på inhemska, förnybara energikällor har också bidragit, bland annat genom det stöd till forskning och demonstrationsanläggningar som förmedlats av Byggeforskningsrådet. Under perioden från 1977 till mitten av 1983 har av BFR anslagits sammanlagt ca 120 Mkr varav 50 Mkr till området värmeutvinning och 60 Mkr till värmelagring. Resterande 10 Mkr har utnyttjats till forskning av grundläggande karaktär såsom termiska beräkningsmodeller, energigeologisk kartering, planering och juridik samt miljöeffektstudier. BFR:s bidrag till miljöforskning har uppgått till något mer än 3 Mkr, vartill kommer insatser motsvarande ca 0.4 Mkr vid Statens naturvårdsverk och vissa miljöanknutna projekt vid Statens vattenfallsverk.

Eldrivna värmepumpsystem med naturvärmekällor uppfattas av många som ett miljövänligare alternativ till uppvärmningssystem baserade på förbränning av olja eller fasta bränslen. Detta speciellt som värmepumpsystem inte medför några lokala utsläpp av främmande ämnen till miljön annat än tillfälligt vid läckage eller haverier.

Uttag av naturvärme medför dock en termisk påverkan på omgivningen och man visste från början mycket litet om vilka effekter som värmeuttag ur skilda geologiska media skulle få på de naturliga ekosystemen. Internationella erfarenheter saknades i stort sett och erfarenheter från annan likartad verksamhet, till exempel kylvattenutsläpp kunde inte anses direkt tillämpbar på de aktuella problemen. Vid en jämförelse med andra energislag måste man beakta miljökonsekvenser i hela det tekniska system som ligger bakom den slutliga värmeproduktionen. För naturvärmesystem (definieras i kap 2) finns, förutom de lokala effekterna av värmeuttaget, även miljöeffekter i samband med "produktion" och transport av primärenergi samt vid produktion, användning och destruktion av värmepumpar och hjälpsystem. Med denna bakgrund formulerades följande målsättning för det treåriga miljöforskningsprogram som nu redovisas:

- 1) Identifiera miljöproblem i samband med anläggningsarbeten, anläggningsdrift och de artificiella värmeflöden i naturen som de olika, aktuella teknikerna ger upphov till.
- 2) Gradera de olika systemen ur miljösynpunkt med hänsyn till deras förväntade användning. Ge förslag till mera miljöriktig utformning, där detta är möjligt och motiverat.
- 3) Analysera och kvantifiera de miljöeffekter som bedöms vara allvarligast enligt 1) och 2).
- 4) Utvärdera totaleffekterna av en storskalig eller allmän användning av respektive system med hänsyn till deras tekniska begränsningar.

Forskningsområdet under punkterna 1) - 3) har i princip avgränsats till att gälla påverkan på den yttre miljön av värmeuttag och värmemagasinerings samt av de tekniska anordningar som krävs för detta. Arbetsmiljöfrågor samt problem rörande buller, vibrationer och köldmediautsläpp (freon) från värmepumpar har inte behandlats annat än översiktligt i detta program. Dessa frågor har dock uppmärksamats på andra håll under perioden och har anknytning även till andra teknikområden.

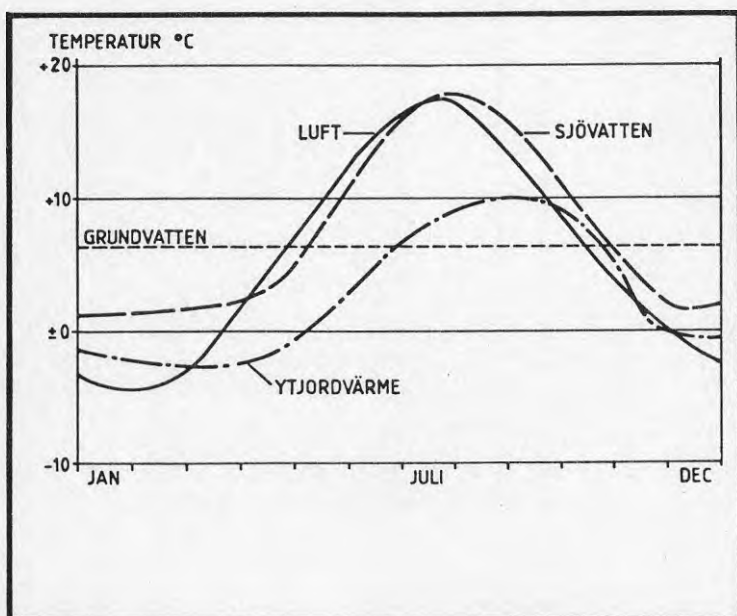
2 GRUNDLÄGGANDE TEKNISKA ASPEKTER

2.1 Vad är naturvärme?

Genom solinstrålningen omsätts och upplagras årligen stora värmemängder i jordens ytskikt, däri inbegripet ytliga jord- och bergskikt, vatten i sjöar, floder och hav samt luft. En del av denna värme kan utvinnas och nyttiggöras för uppvärmning av bostäder, lokaler m m och har getts benämningen naturvärme. Uppvärmningssystem baserade på naturvärme benämnes naturvärmesystem. Även system som baseras på säsongvärmelager i mark och vatten eller på värmeuttag ur kommunalt avloppsvatten utnyttjar på liknande sätt termiska resurser i naturen.

Värmeuttag utgör ett ingrepp i den naturliga, solbaserade värmeomsättningen i det medium där värmeuttaget sker.

Temperaturen följer därmed ett, för varje värmekälla typiskt årstidsmönster. I luften och markytan är dygnsmedeltemperaturen högst i juli och lägst i januari eller februari. Dygnsvariationerna kan vara stora 10°C eller mera. Under markytan, eller på djupet i sjöar är temperaturvariationerna under året väsentligt mindre och därtill fasförskjutna relativt luft och markyta.



Typiska årstidstemperaturkurvor för olika typer av naturvärmekällor.

Detta illustreras förträffligt av den gamla typen av jordkällare som är frostfri på vintern och behagligt sval på sommaren. På tillräckligt stort djup, ca 10 m i berg och 3 m i jord och sjö-sediment är årstidsvariationerna försumbara.

Värmeuttag ur naturliga värmekällor leder till en avkylning, antingen i uttagsområdet eller på annan plats. Genom solvärmens ersätts den uttagna värmen men, sett på årsbasis, erhålles en lägre jämviktstemperatur och eventuellt även en ytterligare fasförskjutning av årstemperaturkurvan.

I vissa fall kan den naturligt lagrade värmen vara otillräcklig för att täcka vinterbehovet. Det kan vara nödvändigt att aktivt tillföra värme under sommarhalvåret till ett värme-lager. Värmelagret resulterar i höjd jämviktstemperatur samt amplitud och fasförskjutning av årstemperaturvariationerna.

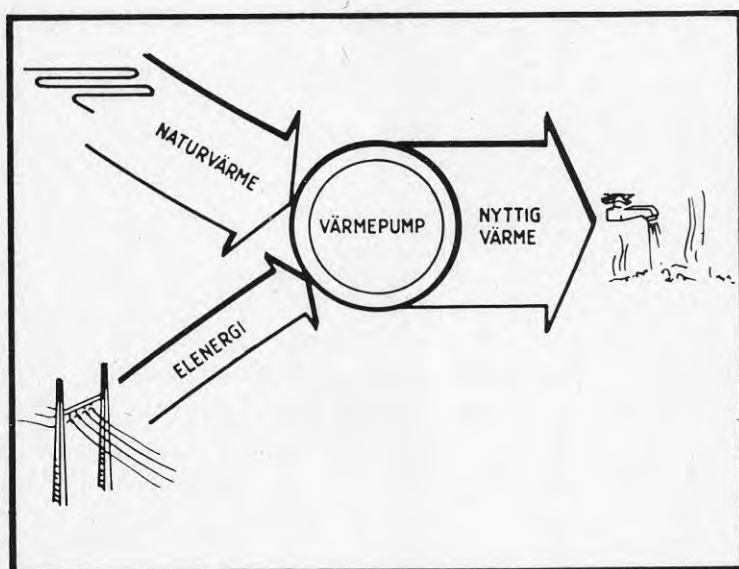
Den utvunna värmen har i allmänhet för låg temperatur för att kunna användas direkt. Naturvärmsystemen är därför uppbyggda kring värmepumpar. Dessa överför, med insats av primärenergi av hög kvalitet (i regel elström), den lågtempererade värmen hos värmekällan till en värmebärare av högre temperatur i radiatorer eller fjärrvärmsystem eller i form av tappvarmvatten. Hur effektivt värmepumpen arbetar uttrycks av värmefaktorn som utgör kvoten mellan den avgivna värmeenergin och insatt primärenergi. Värmefaktorn i naturvärmsystem är ofta i intervallet 2.5 - 3 men såväl högre som lägre värden kan förekomma.

Värmefaktor och levererad effekt beror på temperaturnivån hos såväl värmekällan som värmedistributionssystemet samt på värmepumpens karakteristika. Generellt eftersträvas en så liten temperaturdifferens mellan avgiven och upptagen värme som möjligt. Jämfört med andra uppvärmningsformer karaktäriseras naturvärmsystem av höga investeringskostnader och låga driftkostnader. I större system kombineras ofta naturvärme med till exempel en oljepanna som täcker behovet av toppeffekt under vintern.

2.2 Utvinnings- och lagringssystem

För utvinning av naturvärme och värmetransport till värmepumpen finns två, principiellt skilda metoder, öppna respektive slutna system. I båda fallen ersätts den uttagna värmen på sikt av solvärme.

Ett öppet system innebär att ett flöde av fritt förekommande vatten eller luft i naturen bringas att passera värmepumpens förångare (värmväxlare se kap 3) och där avge en del av sitt värmeinnehåll. Exempel på sådana system är öppna sjövärmesystem och konventionella luftvärmesystem. Vatten respektive luft är i dessa system såväl värmebärare* som värmekälla.



Energiflödet i ett naturvärmesystem

- * Ur värmepumpsteknisk synpunkt benämnes det medium varur värme upptages (värmekällan) köldbärare, eftersom det transporterar bort kyla från värmepumpen. Med värmebärare avses då det medium som transporterar värme från värmepumpen till förbrukaren, dvs radiatorvatten, tappvarmvatten eller uppvärmd luft. När man, som i denna skrift, enbart diskuterar värmekällan och dess egenskaper är det emellertid naturligt att använda termen värmebärare för det medium som transporterar värme till värmepumpen. Vi kommer därför fortsättningsvis att använda termen värmebärare synonymt med köldbärare i de fall missförstånd inte kan ske.

Öppna system ställer stora krav på värmepumpens förångare. Vattnet (eller luften) kan vara förorenat, korrosivt eller ge avlagringar på värmeväxlarytor. Likaså ger temperaturer nära fryspunkten upphov till problem med påfrysning, avfrostning och risk för sönderfrysning.

Den utvunna värmeeffekten utgör produkten av mediets värmekapacitet per volymenhet, C , flödet genom förångare, Q och temperatursänkningen ΔT .

$$\text{Effekt} = C \times Q \times \Delta T$$

Vatten har en hög värmekapacitet men i gengäld är ΔT begränsat av att temperaturen ej kan understiga fryspunkten. Sjövärmesystem dimensioneras oftast för ett ΔT av $1.5 - 2^{\circ}\text{C}$ och grundvattenvärme i södra och mellersta Sverige för $4 - 5^{\circ}\text{C}$.

För luft är värmekapaciteten endast ca $1/3000$ av vattnets. Erforderliga luftflöden blir därmed mycket stora. I gengäld kan ΔT väljas fritt, men av driftekniska skäl väljes ofta omkring 5°C .

Typiska flöden för ett värmeuttag av 10 kW resp 1 MW i sjö, grundvatten resp luft anges i följande tabell:

	Grundvatten $\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$	Sjö $\Delta T = 2^{\circ}\text{C}$	Luft $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$
10 kW	0.6 l/s	1.2 l/s	$1.6 \text{ m}^3/\text{s}$
1 MW	60 l/s	120 l/s	$160 \text{ m}^3/\text{s}$

I ett slutet system cirkulerar värmebäraren (köldbärarvätska, brine) i ett slutet slang- eller rörsystem. Flödet av köldbärarvätska blir av samma storleksordning som grundvattenflödet i öppna system. Exempel på sådana system är ytjordvärmesystem, bergvärmesystem och slutna sjövärmesystem.

Slangsystemet utgör en värmeväxlare som upptar värme från omgivningen genom värmeledning och konvektion. Detta förutsätter att slangarna har lägre temperatur än omgivningen. Värmeuttaget innebär att området närmast slangarna successivt kyls ned under uttagsperioden och även kan bringas att frysa.

Även vid vissa typer av öppna system, där vattnet efter kylning återförs till sin ursprungliga plats, tas en stor del av värmen upp genom värmeledning från omgivningen. Exempel på sådana system är öppna bergvärmebrunnar och grundvattenvärme med infiltrationsbrunn nära uttagsbrunnen. Dessa kan sägas utgöra ett mellanting mellan öppna och slutna system i och med att samma vatten i stor utsträckning recirkuleras.

Vid värmelagringsystem ersätts värmekällan av ett lagringsmedium till vilket värme tillförs under lagringsperioden och åter utvinns under urladdningsperioden. I vissa fall kan lagringsmediet och värmebäraren vara samma.

De redovisade teknikerna för värmeutvinning kan sägas ha direkta motsvarigheter i värmelagringsystem. Öppna system motsvaras av gropmagasin, tankar, bergrum och akviferlager (grundvattenmagasin). Slutna system återfinns i form av rör-system i jord och i borrhålslager.

2.3 Värmekällans roll

En optimal utformning av ett naturvärmesystem kräver en god samordning mellan de olika ingående systemdelarna baserade på kännedom om lokala förhållanden.

Värmekällan har här en nyckelroll genom att den utgör en lokal resurs, vilken ofta kan vara begränsad till sin storlek. Begränsningar kan gälla energimängder, temperaturnivåer, miljöpåverkan, val av utvinningsteknik eller kostnader för värmeuttaget (avstånd till värmekällan). Förutom värmekällans kapacitet är även dess tillgänglighet av avgörande betydelse. För de flesta typer av värmekällor varierar uttagsmöjligheterna från år till år och ger en viss sannolikhet för driftbortfall under anläggningens livstid, vilket påverkar anläggningens ekonomi och behovet av reservvärme. En god kännedom om den lokala värmekällans egenskaper och konsekvenserna av värmeuttag är således nödvändig. Atminstone för större anläggningar bör värmekällan utredas i varje enskilt fall och övriga installationer anpassas till den lokala resursen. Det är också viktigt att framhålla att den lokala energiproduktion, som utnyttjande av naturvärme innebär, inte ses enbart som ett sparande av primärenergi utan som ett sätt att mångfaldiga dess värde.

3 VÄRMEPUMPENS MILJÖEFFEKTER

Material till detta kapitel är direkt hämtat från Poppius (1984) och avser villavärmepumpar. De grundläggande principerna är dock i princip desamma även för större anläggningar.

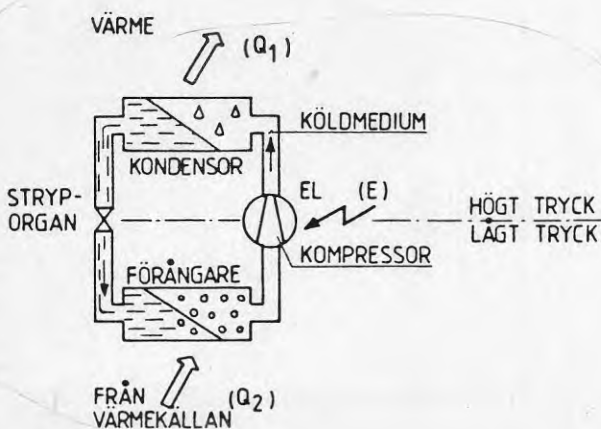
3.1 Teknisk beskrivning

Värmepumpprocesserna är desamma som utnyttjas inom kyltekniken. Den vanligaste principen är förångningsprocessen som används i

- kompressoranläggningar
- sorptionsanläggningar

Av dessa är kompressoranläggningar vanligast förekommande. Sorptionsanläggningar har betydligt lägre värmefaktor.

Med förångningsprocess menas att arbetsmediet förångas vid värmeupptagningen för att sedan kondensera vid värmeavgivningen.



Grundprincipen för en kompressorvärmepump.

I värmepumpen cirkulerar ett köldmedium (arbetsmedium). Före kompressorn är mediet i gasform. Gasen sugas in i kompressorn och komprimeras. Vid komprimeringen ökar trycket och temperaturen men mediet är fortfarande i gasform. Den varma gasen kondenserar (övergår i vätskeform) i kondensorn varvid värme avges (Q_1).

Från kondensorn leds mediet i vätskeform till stryporganet. Trycket och temperaturen sjunker när mediet passerar stryporganet. I förångaren kokar mediet, under upptagande av värme (Q_2), och övergår i gasform. I nästa steg sugs mediet in i kompressorn och förloppet är slutet.

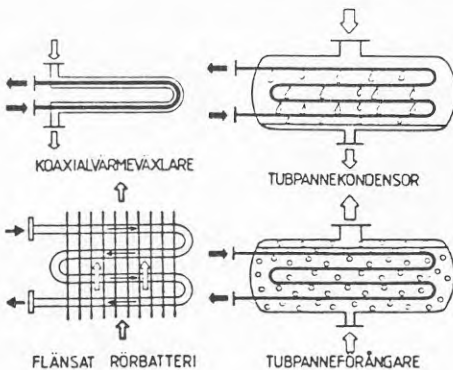
Drivenergi tillförs i kompressorn (E) och värme i förångaren (Q_2) och värme avges i kondensorn (Q_1). Tillförd och avgiven energi är vid förlustfritt förlopp alltid lika stora:

$$Q_1 = E + Q_2$$

Som köldmedium används vanligen fluorsubstituerade kolväten. Dessa säljs under beteckningen Freon, Frigen m fl. Ett stort antal köldmedier med olika termiska egenskaper finns tillgängliga på marknaden. Köldmediefyllningen i en värmepump är ungefär 1 kg per kW avgiven värme.

I förångaren kokar arbetsmediet när värme upptas från värmekällan. Förångaren är således en värmeväxlare av lämplig typ. Beroende på värmekälla har förångaren olika utförande. Värmeupptagningen kan också ske indirekt via en mellankrets, en så kallad brinekrets.

Kondensorn är liksom förångaren en värmeväxlare. I denna kondenserar köldmediet varvid värme avges till värmedistributionsystemet. Beroende på typ av värmepump är förångaren och kondensorn av olika utförande. Värmeväxlarna kan vara av typen flänsbatteri, tubpannerör, koaxialvärmeväxlare m m.



Olika typer av värmeväxlare.

3.2 Freon

Utsläpp av köldmedium kan förekomma av tre skäl:

- läckage
- extremt övertryck
- komponentbyte

Köldmedieläckage kan ske vid skarvar och ventiler i värmepumpen. Alla system med vätskor och gaser under högt tryck löper risk att läcka, värmepumpar är därvid inget undantag. Genom förfinade kontrollmetoder, bland annat med vätskor som ändrar färg om de penslas på en läckande skarv, har tillverkarna normalt lyckats minska läckaget till ett minimum. Om systemet läcker riskerar men i första hand sjunkande kapacitet och värmefaktor. Nästa steg är att kompressorn stannar och påfyllning måste ske.

Utsläpp kan ske i samband med extrema övertryck i värmepumpen. För att skydda omgivningen mot explosioner är värmepumpar försedda med säkerhetsventiler som öppnar vid otillåtet höga tryck. Sådant tryck kan uppstå om värmepumpen utsätts för eldsvåda eller vid otillräcklig kylning av kondensorn. Då ventilen öppnas strömmar köldmediegas ut tills dess trycket sjunker till acceptabel nivå.

Utsläpp förekommer också vid byte av komponent i systemet. Om till exempel kompressorn skall bytas är det omöjligt att undvika ett visst spill av köldmediegas.

Utsläpp av köldmedium innebär normalt inga direkta störningar. Köldmediet förångas (blir i gasform) omedelbart i kontakt med luften. Man bör dock vara uppmärksam på att gasen under speciella omständigheter kan vara mycket giftig, nämligen om den kommer i kontakt med heta ytor (varmare än 400°C). Då sönderdelas gasmolekylerna och bland annat bildas fosgen, som är en mycket giftig gas. Heta ytor förekommer till exempel i samband med eldsvådor men även gas som inandas genom en brinnande cigarett är farlig. Utsläpp av köldmedier påverkar även miljön i mycket större skala, nämligen genom att inverka på det strålningsskyddade ozonskikt som jorden omges av. Det finns därför alla skäl att hålla utsläppen på lägsta möjliga nivå.

3.3 Buller

Vid gång alstrar värmepumpens kompressor ljud på grund av:

- kolvarnas och ventilernas rörelser
- köldmediets strömning
- elmotorns rotation

De vibrationer som uppkommer i kompressorn alstrar dels direkt luftburet ljud, dels skakningar som fortplantas genom kompressorns fästpunkter och anslutningsledningar till värmepumpens hölje som i sin tur avger luftljud och stomljud, det vill säga vibrationer i byggnadsstommen.

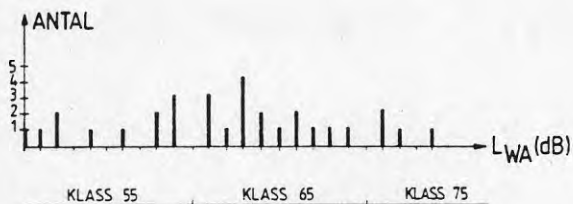
Genom att värmepumpen under större delen av året inte behöver ge full effekt kommer kompressorn att starta och stoppa med varierande intervaller. Detta ökar risken för bullerstörningar då det har visat sig att intermittent ljud av viss styrka upplevs som mer störande än ett ständigt förevarande ljud.

Enligt svensk byggnorm 1980 får ljudtrycksnivån inte överstiga 30 dB(A) i sov- och vardagsrum. Utomhus bör ljudtrycksnivån nattetid inte överstiga 40 dB(A) i närheten av bostäder enligt Naturvårdsverkets riktlinjer (1978:5) för externt industribuller.

I ett förslag till bedömningsgrunder har man delat in villavärmepumparna i olika klasser. Följande klassindelning föreligger:

Klass	Ljudtrycksintervall	Lämplig placering
55	≤ 59 dB	innanför dörr
65	59-69 dB	innanför vägg
75	69-79 dB	under/över bjälklag

Vid provningar hos statens provningsanstalt, har bullernivån hos 31 värmepumpar uppmätts. Resultatet visar att elva stycken uppfyller kraven för den bästa klassen och endast fyra av värmepumparna måste placeras särskilt välisolerat.



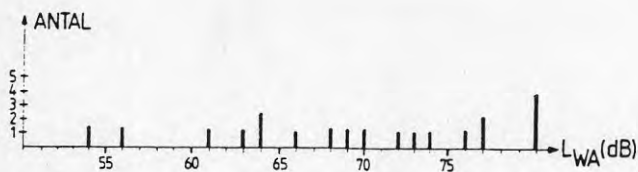
Inomhusbuller från 31 värmepumpar.

Vad gäller utomhusbuller är förhållandena något annorlunda. Högsta tillåtna ljudeffekt hos värmepumpen kan beräknas med följande förutsättningar:

- 40 dB ljudtrycksnivå tillåts vid tomtgräns
- värmepumpen är placerad minst 4,5 m från tomtgräns
- värmepumpen är placerad vid en vägg
- markreflexen ökar nivån 3 dB

Tillåten ljudeffekt från värmepumpen blir, med ovanstående förutsättningar, 58 dB.

Statens provningsanstalt har provat 19 aggregat med avseende på utomhusbuller. Av dessa 19 aggregat är det endast två som understiger gränsen 58 dB.



Utomhusbuller från 19 värmepumpar.

4 KÖLDBÄRARVÄTSKOR

4.1 Användning och tekniska egenskaper

Köldbärrätskor används som värmeupptagande medium i slutna system för utvinning av ytjordvärme och bergvärme samt i vissa tekniker för ytvattenvärme och luftvärme. Vidare används köldbärrätskor vid värmelagring i lera och torv samt vissa system för lagring i berg och bergrum. En normalstor villaanläggning för ytjordvärme innehåller ca 400 l köldbärrätska. Motsvarande mängd är för bergvärme ca 300 l, ytvattenvärme ca 350 l och luftvärme ca 35 l. Förutom för naturvärmeutvinning används köldbärrätskor sedan lång tid i till exempel kylanläggningar och konstfrusna isbanor. Kylarätskor för bilar kräver mer av korrosionsskydd för speciella materialkombinationer, tillsatser för skumdämpning etc och är därför ofta "överkvalificerade" för värmeutvinningsändamål.

Från teknisk synpunkt skall en köldbärrätska ha goda värmeöverföringsegenskaper (hög värmekapacitet och hög värmeledningsförmåga) och goda transportegenskaper (låg viskositet). För att inga tekniska problem skall uppstå måste köldbärrätskan vidare bland annat ha låg korrosivitet och ej vara diffusionsbenägen. Andra faktorer som är viktiga vid valet av kemikalier till en köldbärrätska är att produkten skall vara miljövänlig, både för arbetsmiljö och naturmiljö, samt att den blir rimligt billig.

	Etylen-glykol	Propylen-glykol	Etylalkohol + ~6 % Propylen-glykol	Kalcium-klorid
Transportegenskaper	+	--	-	++
Värmeöverförings-egenskaper	+	--	-	++
Korrosivitet	+	+	+	--
Diffusionsbenägenhet	+	+	-	++
Skonsamhet mot pumpar	++	++	+	--
Miljövänlighet	-	+	+	++
Inköpspris	-	-	-	++

Bild C

Översiktlig jämförelse mellan några köldbärrätskor (efter AGA AB) (+ = positiv, ++ = mycket positiv, - = negativ -- = mycket negativ egenskap).

En köldbärarvätska består vanligtvis av vatten tillsatt med någon kemikalie för fryspunktsnedsättning. Därutöver kan mindre tillsatser förekomma för att minska risken för korrosion, hindra mikrobiell nedbrytning, minska viskositeten etc.

För fryspunktsnedsättning används vanligtvis någon av följande:

- o kalciumklorid
- o etylenglykol
- o propylenglykol
- o etanol - etylalkohol

Blandningar förekommer också, till exempel av etanol och propylenglykol. Etanol förekommer som huvudkomponent i cellulosa-sprit som också innehåller mindre mängder metanol, metyletylketon och metylisobutylketon. Som alternativ till kalciumklorid kan andra oorganiska saltlösningar användas.

För att förhindra korrosion kan många kemiska ämnen tillsättas. I regel krävs att flera ämnen med olika egenskaper tillsätts samtidigt.

En vanlig kombination till glykoler är benzotriazol, trietanolamin, borax och fosforsyra. Exempel på andra tillsatser är natriumnitrit, fosfonater, natriumbenzoat och tolyltriazol. Nämnade ämnen kan förekomma i olika kombinationer och med olika halter.

Kromater (bikromat) används ibland för korrosionsinhibering i saltlösningar. Dessa bör under inga omständigheter användas eftersom de är både allergiframkallande och cancerogena.

I marknaden förekommer idag en hel del olika produkter med mer eller mindre fantasifulla namn och "hemlig" sammansättning. Dessa produkter är dock ofta nya varianter på tidigare tema.

4.2 Miljöeffektbeskrivning

För att kunna bedöma en köldbärarvätskas inverkan på miljön vid ett läckage måste kunskaper inhämtas om:

- o hur den sprider sig i miljön
- o vilka biologiska effekter den kan medföra

Faktorer som är av betydelse för en bedömning av hur den sprider sig är framför allt:

- o läckagepunktens läge
- o ingående ämnens rörlighet i mark och vatten
- o ingående ämnens nedbrytbarhet

Biologiska effekter kan uppkomma direkt genom att ingående kemiska ämnen har toxiska egenskaper eller indirekt genom att toxiska metaboliter (nedbrytningsprodukter) bildas eller till exempel genom att olägenheter uppstår på grund av stark syretäring i grundvattnet vid mikrobiell nedbrytning.

Vid en bedömning av en köldbärrätskas lämplighet från miljösynpunkt är det av särskild vikt att ta hänsyn till vilka olägenheter som kan uppkomma vid förorening av grundvatten som skall användas som dricksvatten. Även smakförändringar kan härvid behöva beaktas.

Rörlighet

Adsorption och rörlighet har studerats under olika temperaturförhållanden (Sommer m fl 1983 och Torstensson 1984) för etylen-glykol, etanol, metanol och bensoat i tre olika danska jordtyper (sandjord, moränsand och lerjord). Resultaten visar att substanserna i mycket ringa utsträckning binds till de studerade jordarna och därför uppvisar stor rörlighet. Man kan räkna med att samma sak skall gälla även för propylenglykol. Vid transport nedåt sprids och utspäds substanserna av nedträngande överskotts-nederbörd med ungefär samma dispergeringskoefficient som för kloridjoner. Om jordfysikaliska data är kända kan man därför med ganska god säkerhet förutsäga när en föroreningsfront av de undersökta köldbärrätskorna kommer att passera ett visst jorddjup. Under perioder med ringa nederbörd domineras spridningen av diffusionsprocesser, vilket då medför spridning även i sidled. När ovannämnda köldbärrätskor når ned till grundvattnet kommer de att blandas in i det översta vattenlagret och fortsätta att röra sig såsom detta. Vid ett läckage i en sjö eller ett vattendrag torde en relativt snabb spridning och utspädning ske i vattnet.

Nedbrytbarhet

En litteraturgenomgång (Torstensson 1984) har visat att det finns en hel del data på nedbrytningshastigheten för vissa av de aktuella substanserna. Dessa data visar att nedbrytningshastigheten varierar inom vida gränser beroende främst på temperatur- och syreförhållanden.

Etylenglykol, etanol, metanol och natriumbenzoat bryts snabbt ned när förhållandena för mikrobiell nedbrytning är gynnsamma, dvs vid 25 - 30°C, god tillgång på mikroorganismer, syre, fukt etc. I danska undersökningar (Sommer m fl 1983) var således samtliga substanser nedbrutna inom några få dagar vid försök under anaeroba förhållanden i mulljord vid 25°C. I en sandjord med lågt innehåll av organiskt material gick nedbrytningen långsammare. Efter 28 dygn kunde man återfinna 60 % av tillsatt etylenglykol, 30 % av tillsatt natriumbenzoat och mindre än 5 % av tillsatt etanol och metanol. Om temperaturen sänktes från 25°C till 10°C mer än fördubblades nedbrytningstiderna under anaeroba förhållanden.

Under begränsad syretillgång och låg temperatur, + 10°C, som ofta är aktuella amiljöförhållanden i djupare jordlager, var nedbrytningen av de i de danska försöken undersökta substanserna mycket långsam. Resultaten tyder på att halveringstider på åtminstone 3 - 4 månader är att förvänta. Tillgången på syre är den mest betydelsefulla begränsande faktorn för nedbrytning i denna miljö.

Vid laboratorieförsök vid + 6°C med köldbärarvätskor baserade på femprocentiga lösningar av etylenglykol, propylenglykol eller cellulosasprit har endast 4 %, 7 % resp 4 % av produkter brutits ner efter 34 dygn. I dessa försök användes köldbärarvätskor med korrosionsinhibitorer (Liljelund 1982).

Syretäring

Nedbrytning av glykoler och alkoholer som används i köldbärarvätskor kräver mycket syre. För att fullständigt bryta ner 1 liter etylenglykol åtgår 1.43 kg syre. Motsvarande värden för propylenglykol är 1.73 kg och för etanol 1.64 kg syre.

Vid nedbrytning av dessa ämnen i grundvatten och stillastående ytvatten är risken stor att reducerade (syrefria) förhållanden uppkommer. Detta kan i sin tur leda till starkt ökad halt av järn och mangan samt produktion av svavelväte och därmed illaluktande vatten.

Dessa effekter kan troligen kvarstå lång tid. En kraftig nedbrytning kan också ge upphov till en mycket hög bakteriehalt i vattnet med därtill hörande olägenheter och problem.

Metaboliter

Nedbrytningen av en organisk substans kan gå olika långt och längs olika vägar beroende på miljöbetingelserna och vilken typ av nedbrytning det är fråga om. Kunskaper finns om vilka metaboliter (nedbrytningsprodukter) som kan bildas vid nedbrytning av till exempel etylenglykol och metanol. Däremot är det oklart vilka metaboliter som kan bildas vid anaerob nedbrytning av propylenglykol. Det finns för nuvarande dock ingen anledning att misstänka att direkt skadliga metaboliter bildas.

Toxicitet

För många av de kemikalier som används i köldbärarvätskor finns toxicitetsdata redovisade i litteraturen. Av de vanligt förekommande substanserna för fryspunktsnedsättning är etylenglykol den mest toxiska och anses ha en medelhög till måttlig toxicitet. Propylenglykol får för närvarande anses vara det minst riskabla organiska frostskyddsmedlet ur toxikologisk synpunkt vid förtäring. Även de oorganiska salterna har låg riskprofil.

Av tidigare uppräknade tillsatserna till glykoler för korrosionsinhibering bedöms natriumnitrit, trietanolamin, benzotriazol och tolytriazol vara de mest skadliga vid läckage om man utgår från aktuella halter. Kromater, som tillsätts vissa saltlösningar är, som ovan sagts, såväl cancerogena som allergiframkallande.

Smak

För rena saltlösningar och andra harmlösa köldbärarvätskor kan smakförändring av dricksvatten utgöra den nästan enda olägenheten av ett läckage.

För mer toxiska köldbärande vätskor kan smaken vara av intresse genom att dessa kanske kan smakmarkeras med någon tillsats så att de upptäcks vid lägre koncentrationer än vad annars är fallet.

Vid smaktest visade det sig att etylenglykol och propylenglykol klart slog igenom vid 1 % lösning medan de var svårare att upptäcka i halter på 0.1 %. Cellulosasprit och kalciumklorid kändes tydligt vid halter på 0.1 % och svagt vid 0.01 %.

4.3 Bedömning, slutsatser

Rörligheten i mark för köldbärande vätskor bedöms i stort sett vara densamma som för vatten. Nedbrytningen kan i mark och grundvatten vara mycket långsam på grund av liten tillgång på syre och låg temperatur.

Många av de kemikalier som ingår i köldbärande vätskor är toxiska. Toxiciteten hos de flesta ämnen är dock inte större än att man relativt snabbt får en utspridning till harmlösa koncentrationer. I en väl utformad anläggning är risken för läckage liten och om ett läckage uppkommer kommer i regel endast mindre mängder köldbärande vätska ut.

Den kanske största risken för att olägenheter uppstår vid ett läckage är att nedbrytningen av de organiska ämnena leder till att reducerade förhållanden uppstår med åtföljande bildning av illaluktande svavelväte och utfällning av järn och mangan.

För att undvika onödiga risker bör ett visst skyddsavstånd gälla mellan vattentäkt och köldbärande krets. Kombinationen vattentäkt/värmeutvinning med köldbärande krets direkt i brunnen som ibland förekommer, bör undvikas. Man bör eftersträva att använda mindre toxiska ämnen. Anläggningen bör utformas så att risken för läckage minimeras och i vissa fall kan det vara lämpligt med färgmarkering så att utspädda lösningar upptäcks. (Se vidare SNV PM 1833).

4.4 Behov av FoU

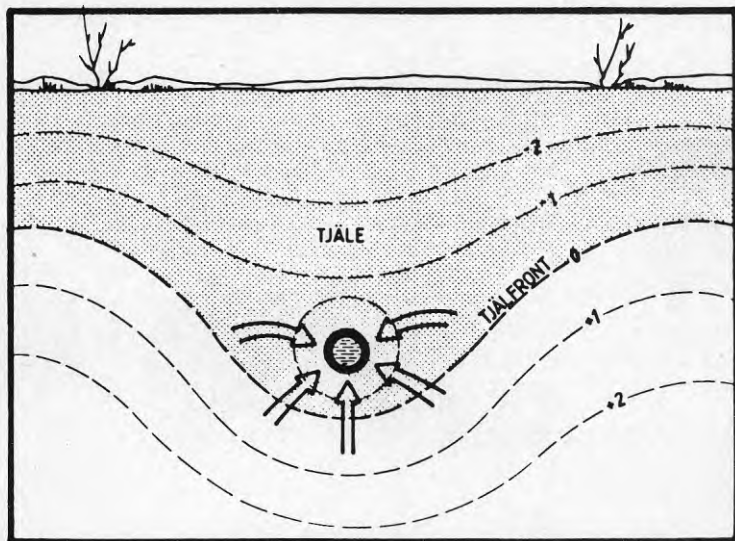
- o Harmlösa köldbärande blandningar bör framtagas.
- o Bildning av metaboliter vid anaerob nedbrytning av bland annat propylenglykol bör undersökas.

5 YTJORDVÄRME

5.1 Metod - system

Ytjordvärmetekniken innebär att värme tas ut ur de ytliga jordlagren via en sluten köldbärarkrets. Den uttagna värmen ersätts under sommaren från direkt solinstrålning, luften och nederbörden. Grundvattnets bidrag varierar från fall till fall. Ofta säger man att jorden är en ackumulator för säsongslagring av solvärme.

Vid värmeuttaget används normalt horisontellt förlagda jordvärmeslangar (värmekollektor) vilka består av plaströr nedgrävda 0.6 - 2 m under markytan, och i vilka en köldbärarvätska får cirkulera. Vätskan värms upp genom värmeledning från omgivande varmare jordlager, vilket medför att jordens temperatur successivt sjunker. Den energimängd som kan utvinnas genom att enbart sänka jordens temperatur till fryspunkten är dock relativt liten. Detta gör att en brinetemperatur under 0°C ofta väljs vilket medför att jorden runt slangarna kommer att frysa. Vid frysprocessen ökar värmeledningsförmågan och relativt stora energimängder frigörs beroende på vattnets stora isbildningsvärme.



Temperatur och tjälning kring ytjordvärmeslang under vintern.
Pilarna anger värmeledning till slangen.

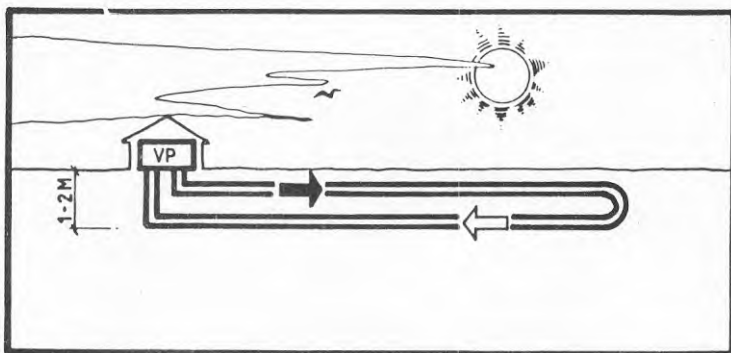
Användningen av ytjordvärmesystem innebär därför att den under vinterhalvåret frusna jordvolymen blir större än under motsvarande förhållanden utan ytjordvärmesystem.

Värmekapaciteten hos marken beror i hög grad av såväl markbeskaffenhet som vattenhalten och är i normala fall omkring 0.5 kWh per m³ jord och grad, dvs 4 - 5 kWh per m³ kan erhållas vid en sänkning av jordens temperatur från 10°C till fryspunkten. Detta innebär till exempel att för ett småhus med effektbehovet 10 - 12 kW erfordras ett 300 - 400 m långt slangsystem. Då slangarna placeras med ca 1 m mellanrum behövs en tillgänglig markyta av ca 400 m².

Ytjordvärme skall inte förväxlas med geotermisk värme, dvs värme från jordens inre, vilken bidrar med högst några procent till den värme som en ytjordvärmeanläggning utnyttjar.

5.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar

Ytjordvärme har tillämpats i Sverige sedan 1975 och kan idag anses vara en vanlig företeelse. Danmark var några år tidigare och får därmed anses vara pionjärlandet vad gäller ytjordvärme i Norden. Först inom teknikområdet var dock USA som byggde ett antal stora ytjordvärmeanläggningar i slutet av 1940-talet. Det stora flertalet (ca 12 000 st, 1984) av anläggningarna i Sverige har fungerat väl utan störningar och får anses vara inne i ett kommersiellt skede, där anläggnings- och dimensioneringsteknik är känd (Berntsson 1980).



Ytjordvärmesystem

Det idag mest förekommande systemet är horisontellt förlagda slangsystem (så kallad ytjordvärme) men även vertikalt utförda jordslingor förekommer (så kallad djupjordvärme). Den förstnämnda typen kräver relativt stora, fria markområden. Ur anläggningsteknisk synpunkt förekommer två läggningssytem vilka bygger på grävning med skopa eller kedjegrävare alternativt plöjning med plog med eller utan rörlig arm.

Drifterfarenheter av ytjordvärmesystem anvisar att förväntade livslängder bedöms vara 20 - 25 år. I enstaka fall har skador på slangsystem på grund av markrörelser uppstått, samtliga inom tjälfarliga områden. Skadorna har yttrat sig som sprickor rakt ovanför slangarna under försommaren samt att markytan sjunkit något mellan slangarna.

Under senare år har man studerat alternativa utformningar av förläggningssystem, till exempel dubbelförläggning respektive flervåningsförläggning, för att om möjligt minska markarealen samt sänka kostnaderna vid anläggningsarbetet, som idag upptar en stor del av investeringskostnaden.

5.3 Naturförutsättningar - potential

Ytjordvärme har en mycket stor potential om man enbart betraktar teknik och markförutsättningar. På grund av ytbehovet för jordvärmeslangarna är potentialen dock mera svårbedömd och bristen av lämplig mark i tätorter, där merparten av bebyggelse finns, medför att tillämpbarheten är begränsad trots att tekniken är välutvecklad.

Morän täcker större delen av Sveriges yta men är i allmänhet mindre intressant ur anläggningssynpunkt. I låg terräng under högsta kustlinjen och i dalsänkor utbreder sig stora arealer med sand, silt och lersediment vilka är lätttschaktade och därför lämpade för ytjordvärmesystem.

Med hänsyn till värmekällan och de reella förutsättningarna för tillgänglig mark så torde ca 300.000 enheter av småhus och flerbostadshus ha förutsättningar för att använda ytjordvärme (Svedinger 1981). Om ytbehovet kan minskas till hälften från dagens nivå, kan kanske marknadspotentialen öka betydligt.

5.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat

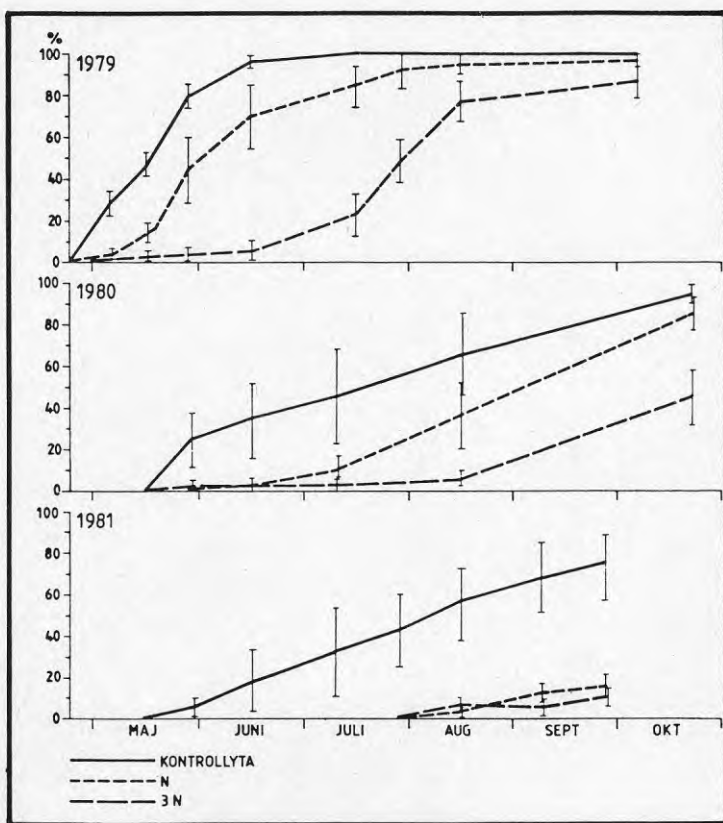
För de markbiologiska processerna utgör temperaturen en av de mest betydelsefulla faktorerna då jordmånsutvecklingen är starkt kopplad till rådande marktemperatur. Temperaturförändringar får därigenom ett stort inflytande på näringscirkulationen och markens produktionsförmåga. En sänkning av marktemperaturen vid ett ytjordvärmeuttag bör generellt resultera i förändringar av de markbiologiska förhållandena, vilket i sin tur medför att hela ekosystemet påverkas.

En omfattande fältstudie (Troedsson m fl 1982) av ekologiska effekter vid värmeuttag har utförts vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Vid den ekologiska studien, som påbörjades 1978, har såväl markfysikaliska, markkemiska, hydrologiska och markbiologiska förhållandena samt odlingsbetingelser studerats. Jämförande försök har därvid utförts på odlingsytor med normalt dimensionerat ytjordvärmeuttag (N), förhöjt uttag ca 2.5 gånger det normala (3 N) och opåverkade referensytor. Resultaten från forskningen efter tre vegetationssäsonger kan sammanfattas i följande:

- o Vid jämförelse mellan de olika provområden med varierande värmeuttag har några markkemiska eller markfysikaliska förändringar ej kunnat fastställas och de hydrologiska förändringarna var små.
- o Den markbiologiska aktiviteten har hämmats kraftigt inom slangområdet vid ett normalt värmeuttag och i ännu högre grad vid ett förhöjt värmeuttag. Daggmaskarnas aktivitet och antal har minskat markant vilket medfört att nedbrytningen av växtdelar i marken skett långsammare. Förändringarna i marken är lokala och drabbar endast brukaren av marken inom slangområdet för värmeuttaget. I vissa fall kan detta medföra att brukaren tvingas ändra sin bearbetning av marken (luckra etc) och möjligen gödsla marken något mera för att kompensera för de biologiska förändringarna.

- o Av de växtslag som ingår i försöken har värmeuttaget haft störst effekter på vårbloppande lökväxter och rosor. Lökväxternas blomning blev försenad. För rosor har skillnaderna varit stora mellan mindre härdiga och och mycket härdiga arter. Mindre härdiga rosor har övervintrat sämre och blommat svagare än normalt.

Beträffande gräs, blommande prydnadsbuskar och barrväxter är skillnaderna små och dessa synes ej ha påverkats av värmeuttaget.



Inverkan av ytfjordvärmeuttag på dagmaskaktiviteten vid en experimentanläggning i Hacksta (efter Troedsson m fl 1982)

Aktiviteten mäts som andelen neddragna äppellöv i marken, jämförelse mellan kontrolllyta, yta med normalt jordvärmeuttag (N) och tre gånger så stort uttag (3 N).

Enkätundersökningar rörande omgivningspåverkan vid befintliga ytjordvärmeanläggningar (Wallentinus 1984) samt modellstudier (Jansson, Lundin 1984) verifierar i stort sett ovanstående resultat. Generellt kan sägas att vegetationens utveckling inom slangområdet försenas 1 - 3 veckor på våren.

Skillnaden mellan olika jordarter är liten så länge det handlar om minerogena jordar medan på torvjordar blir vegetationsperioden starkt förkortad och odlingsmöjligheterna mycket dåliga.

Andra problem som rapporterats är frosthävning över slangarna, skador under byggnadstiden samt olika markfuktighet över respektive mellan slangarna. Det senare har visat sig i enstaka fall som brun- grönrandade gräsmattor under torkperioder.

I samband med enkätundersökningen (Wallentinus 1984) har det visat sig att ca 75 % av ytjordvärmeanläggningarna är förlagda inom trädgårdsmark och ca 25 % inom jordbruksmark, dvs större delen är förlagd inom tomtmark i samband med småhusbyggnation. Undersökningen visar också att 2/3 av anläggningarna förlagts i kohesionsjord (lera, mjäla) och 1/3 i friktionsjord (sand, mo).

Med tanke på att en köldbärarvätska används i slangsystemet är det allvarligt att undersökningarna visar att endast hälften av ägarna vet var slangarna är nedgrävda, eller har en skiss eller karta över slangsystemets placering. I framtiden torde en relationsritning bli ett krav i samband med utförandet av en ytjordvärmeanläggning, med hänsyn till läckagerisken och service.

5.5 Miljömässiga begränsningar

Det stora flertalet av installerade ytjordvärmeanläggningar har till dags dato fungerat väl utan störande biologiska, geotekniska eller andra fysikaliska effekter. Detta kan förklaras med att i dag dimensioneras anläggningarna med förnuft och i vissa fall med stor försiktighet.

Nyare forskningsresultat (Ahlkrona 1983, Mogensen 1983) antyder dock att man bör kunna tillåta betydligt större energiuttag utan att för den skull påverka den omgivande miljön utanför slangområdet.

Generellt kan sägas att på mark där värmeuttaget sker via jordvärmslangar kommer de lokala odlingsbetingelserna att förändras genom att odlingszonen förflyttas 1 - 2 zoner i ogynnsam riktning, dvs norrut. Genom lämpligt växtval torde effekterna kunna elimineras vid normala uttag. Vad gäller den markbiologiska aktivitetens minskning, som direkt påverkas vid ytjordvärmeanläggningar, är betydelsen av detta för markens bördighet på lång sikt oklar. Dock har några effekter på markens växtnäringstillstånd ej kunnat noteras i dagsläget.

5.6 Behov av FoU

- o Om man i framtiden kommer att anlägga ytjordvärmeanläggningar på produktiv mark, typ åker - och betesmark, är det angeläget att klarlägga effekterna av bland annat en långsammare näringsomsättning men även de ekonomiska konsekvenserna vid en lägre produktion.

6 GRUNDVATTENVÄRME

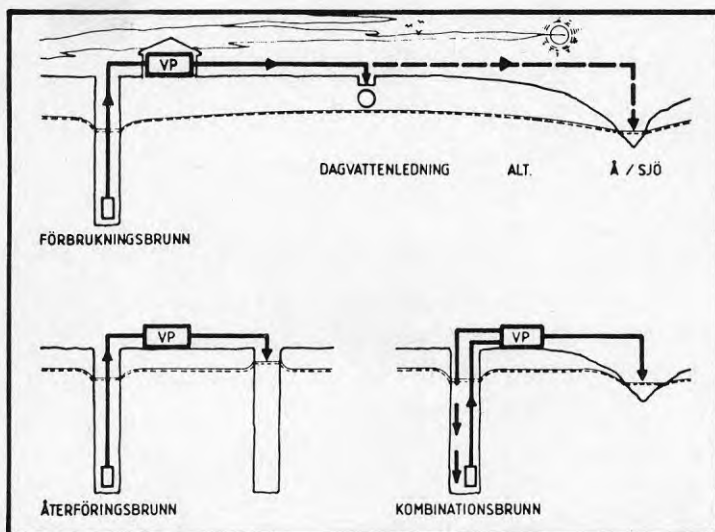
6.1 Metod - system

Grundvattenvärmesystem utnyttjar grundvatten i jord och berg som värmekälla. Grundvattenuttaget görs med konventionell brunnsteknik som idag används för vattenförsörjning. Det avkylda grundvattnet avleds från området eller återförs till grunden och man skiljer därigenom på följande grundvattenvärmesystem:

- o Återföringssystem som innebär att det avkylda grundvattnet förs tillbaka till grundvattenmagasinet i brunnar eller på annat sätt.
- o Förbrukningssystem som innebär att det avkylda grundvattnet avleds till en närbelägen recipient i form av å, sjö eller dagvattenledning
- o Kombinationssystem som innebär att det avkylda grundvattnet till en del återförs och en del avleds.

Samtliga system kan även kombineras med dricksvattenuttag.

Grundvattensystem skall inte förväxlas med bergvärmesystem där värmen tas genom värmeledning i berget till ett nedkylt borrhål.



System för grundvattenvärme

6.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar

Grundvatten har sedan länge använts i Västtyskland och USA för uppvärmning av såväl enskilda småhus som större anläggningar. I Sverige började grundvatten att nyttjas som värme-källa i slutet av 70-talet. Eftersom det åtgår stora mängder grundvatten för att utvinna värmeenergi och konflikter kan uppstå med andra grundvattenintressenter, har de flesta systemen speciellt i sydsverige, utformats som recirkulations-system alternativt i kombination med infiltrationsbrunnar.

Drifterfarenheter för mindre anläggningar förekommer i sådan omfattning att tekniken får anses vara i ett kommersiellt skede för dessa, medan tillgången på drifterfarenheter från större grundvattenvärmeanläggningar är begränsade. Däremot finns mångårig erfarenhet från grundvattenuttag för vatten-försörjning och de tekniska problem som kan förväntas vid drift är identifierade.

6.3 Naturförutsättningar - potential

Förutsättningarna för grundvattenvärme är starkt beroende av dels grundvattentillgången, dels grundvattnets temperatur. Utformningen av energisystemet är beroende av grundvattnets kemi. Med hänsyn till det stora flödet blir storskaliga grundvattenvärmeanläggningar endast aktuella där naturförutsättningar medger mycket stora grundvattenuttag. För enskilda hushåll kan även mindre brunnar användas i såväl jordlager som berg.

De största svenska grundvattentillgångarna påträffas i isälvs-avlagringar under högsta kustlinjen (HK) och i dalfyllnader med grova, genomsläppliga jordlager. Stora möjligheter till grundvattenuttag ur berggrunden finns i vissa kalkstens- respektive sandstensakviferer samt större sprickzoner i urberg. Storskaliga grundvattenvärmeanläggningar kan därför bara anläggas där dylika jord- och bergakviferer förekommer. En landsomfattande inventering (Agerstrand & Eriksson 1980) av tillgången på tänkbara akviferer för grundvattenvärme-utvinning, visar på möjligheter att i Sverige försörja ca 200 000 lägenheter med grundvattenvärme från större anläggningar.

Enskilda fastigheter i icke tätbebyggt område kan erhålla värme från egna brunnar både i jordlager och berggrund, ibland kombinerat med uttag av hushållsvatten. Potentialen för dessa grundvattenuttag är mycket stor.

Grundvattnets temperatur varierar mellan olika delar av landet och olika tidpunkt. I södra och mellersta Sverige följer grundvattnets medeltemperatur i stort sett luftens årsmedeltemperatur, dvs 4 - 8°C. Inom de översta 10 metrarna kan en årstidsvariation av grundvattentemperaturen märkas och en med djupet ökad fasförskjutning relativt lufttemperaturer. På 10 m djup är fasförskjutningen omkring ett halvt år, dvs den högsta temperaturen påträffas under vintern. Ner till ett djup av 30 - 50 m kan eventuellt långstidsvariationer i lufttemperaturen spåras, till exempel en rad av torra och varma somrar. Därunder är temperaturokningen med djupet helt beroende av värmeflödet från djupare nivåer i jordskorpan. För att möjliggöra en temperatursänkning på ett par grader, krävs en ursprunglig grundvattentemperatur på 4 - 5°C, varför rena grundvattenvärmesystem idag förekommer framför allt i mellan- och sydsverige.

Grundvattenbildning sker i inströmningsområden. Efter uppehållstid i markens luftade och vattenmättade zoner, når vattnet utströmningsområden där grundvattnet övergår i ytvatten. Under denna transport i marken påverkas vattnets kemiska sammansättning av kemiska och biologiska processer. Det som främst bestämmer den kemiska mineraljämvikten i naturliga vatten är frånvaron eller närvaron av löst syre, dvs reduktion-oxidationsförhållandet. Vid icke vattenmättnad i rotzonen försiggår en biologisk aktivitet som kräver syre. Atmosfäriskt syre diffunderar ner i markvattenzonen och ersätter förbrukat syre. Den koldioxid som produceras avgår delvis från markens rotzon till atmosfären. I utströmningsområden, vid vattenmättnad i rotzonen, är gasutbytet mellan atmosfär och mark nästan obefintlig. Reduktiva förhållanden inträder och koldioxidhalten ökar, vilket gör att vattnet blir aggressivt på olika mineral och ofta får hög järn- och manganhalt.

Oxidations- och reduktionsprocesserna sker nästan alltid med hjälp av mikroorganismer, vilka kan betraktas som katalysatorer.

Grundvattnets kemiska egenskaper är viktiga vid värmepumpstillsättning när det gäller systemutformning i stort, val av komponenter i systemet samt drift- och underhållsaspekter. Ett grundvatten kan vara korrosivt, utfällningsbenäget eller bådadera.

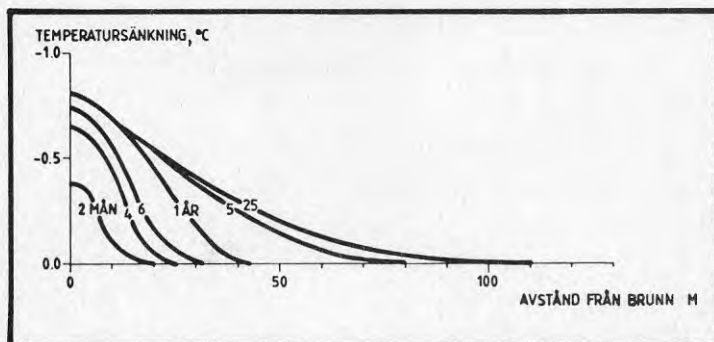
6.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat

Miljöpåverkan av grundvattenvärmsystem behandlas oftast mycket allmänt och tämligen ytligt i litteraturen. Nästan enbart termisk påverkan på grundvattnet beskrivs och mätperioden omfattar i allmänhet bara något år. De erfarenheter som vunnits kan vanligtvis inte heller direkt överföras till svenska förhållanden på grund av skilda geologiska/geohydrologiska förhållanden och ofta en annorlunda systemutformning, till exempel kombinationer mellan uppvärmning vintertid och luftkonditionering sommartid.

De effekter som skulle kunna uppstå kan indelas i:

- o termiska effekter
- o kemiska effekter under normal drift
- o mikrobiologiska effekter
- o förorening till följd av haverier
- o övriga effekter, till exempel grundvattennivåförändringar och följd effekter därav

Datorsimuleringar av temperaturutbredningen kring infiltrationsbrunnar visar att systemen lokalt kan ge en mindre avkylning av grundvattnet (Claesson 1983) som dock endast i infiltrationsbrunnens omedelbara närhet kommer att överstiga någon °C. Temperaturanomaliens storlek och form beror av infiltrationsmängd, temperaturskillnad och grundvattnets strömningsförhållanden.



Exempel på beräknad temperaturstörning på 1 m djup vid återinfiltrering av kylt grundvatten (efter Claesson, Eftning 1982).

De naturliga temperaturvariationerna i de övre marklagren är i allmänhet mycket större än de förmodade termiska effekterna av infiltrationen, särskilt som värmeledningsförmågan i den omätade marklagerzonen är mycket låg. Antropogena effekter i form av värmeflöden från byggnader, avloppsrör, fjärrvärme etc, påverkar i mycket högre grad temperaturen i de översta marklagren (Claesson 1983).

Som en följd av temperatursänkningen skulle vissa kemiska och fysikaliska förändringar kunna uppstå hos grundvattnet. De fysikaliska förändringarna kommer dock inom det aktuella temperaturintervallet knappast att bli mätbara (Müller 1983).

Lösligheten för kemiska komponenter i grundvattnet är mer eller mindre beroende av temperaturen. Vid minskande temperatur ökar således lösligheten för flertalet gaser i vatten. För kolsyre-systemet innebär en ökning av CO_2 -halten i vattnet en förskjutning av jämvikten, mer CaCO_3 kan gå i lösning och vattnets hårdhet ökar.

De små kemiska förändringar som kan uppstå till följd av temperatursänkningen, anses dock så små att de troligtvis först kommer att märkas efter mycket lång tid. De få praktiska försöksstudier av kemiska förändringar som genomförts visar inte på några kemiska förändringar som kan hänföras till temperatursänkningen.

Grundvattnets kemiska sammansättning kan medföra skador på anläggningen, till exempel korrosion och igensättningar, vilket i sin tur kan medföra problem för miljön. Korrosionsbenägenheten påverkas bland annat av syrehalt, svavelvätehalt, pH samt halt av aggressiv kolsyra (CO_2). Genom korrosion kan metaller tillföras grundvattnet och haverier i systemet kan inträffa.

Igensättningar i energisystem kan bero på stor halt av suspenderat material i vattnet, kemiska utfällningar eller biologisk substans. Inom vissa områden i USA, där grundvattenvärmepumpar även användes för luftkonditionering och där vattnet är mycket hårt, kan CaCO_3 utfällas då temperaturen på grundvattnet höjs någon grad.

I Sverige kan problem uppstå om grundvattnet är rikt på järn och mangan. Om redoxförhållandena ändras, till exempel genom luftning av vattnet, kan järnhydroxider utfällas, framförallt vid återinfiltration av vattnet. Utfällningar av järnföreningar kan dock även vara ett resultat av bakteriella processer och kan medföra igensättningar även i uttagsbrunnen (Lindblad 1983). Genom att i förväg analysera de vattenkemiska förhållandena och utforma anläggningen därefter, kan riskerna för korrosion och igensättningar i systemet minimeras.

Vattenkemiska data (pågående projekt vid KTH) från ett tjugotal kommunala grundvattentäkter i berg har bearbetats tillsammans med uppgifter om vattenuttag, hydrometeorologi samt geologiska förhållanden och visar att förändringar i vattenuttagets storlek kan påverka grundvattenkemin.

Ökning av vattenuttaget kan innebära att vatten från djupare nivåer mobiliseras, ofta erhålles ett hårdare och saltare vatten. Data (pågående projekt vid VIAK AB) från ett antal stora kommunala grundvattentäkter i jordlager har också bearbetats och visar att vattenkemin bland annat påverkas av de geohydrologiska förhållandena, vattenuttagets storlek samt markanvändningen.

Haverier av värmepumpen kan medföra spridning av smörjoljor, freoner samt andra föroreningar. Nedbrytbarheten är beroende av temperatur och syreförhållanden.

För att studera eventuella miljöeffekter av små grundvatten- värme- och bergvärmeanläggningar har en enkät utsänts (pågående projekt vid KTH) till 230 energibrunnsägare. Uppgifter om brunnarna är framtagna hos brunnsarkivet vid SGU. Endast brunnar till och med 1982 har medtagits, dvs anläggningar som varit i drift en tid.

Fördelning mellan olika system:

25 % grundvattenvärme (återinfiltration via infiltrationsbrunn, stenkista etc)

6 % grundvattenvärme (avledning av vattnet från området)

38 % slutet bergvärmsystem (cirkulerande glykol eller saltlösning)

15 % öppet bergvärmsystem (vatten fungerar som värmebärare)

16 % kombinationssystem (olika kombinationer mellan berg- och grundvattenvärme).

Huvuddelen av anläggningarna i enkäten finns koncentrerade i ett bälte från Stockholm till Göteborg samt i Skåne. I norra Sverige är anläggningarna som väntat tämligen få och i Norrbotten saknas de helt. 70 % av energibrunnsägarna får hela värmebehovet från energibrunnen.

Några allvarliga miljöeffekter bland de 230 energibrunnarna har ännu inte noterats. Lokalt kan dock vissa vattenkemiska problem uppstå, som kan förstärkas vid stora uttag av grundvatten.

De problem som uppgivits i enkäten har främst innefattat utfällningar och beläggningar med järn och mangan. Utfällningarna har ibland inneburit svårigheter att återinfiltrera vattnet, vilket i ett fall medfört att en ny infiltrationsbrunn måste borras, i ett annat fall inneburit försumpning av ett mindre område.

Vissa tekniska problem har uppstått, till exempel freonläckage i 7 anläggningar. Installationsproblem och dimensioneringsproblem har förekommit såväl i äldre som yngre anläggningar.

6.5 Miljömässiga begränsningar

De miljömässiga aspekterna är ej i första hand kopplade till värmepumpstekniken utan berör huvudsakligen själva grundvattenuttaget. Hydrologiskt sett krävs vid en värmepumpstillämpning att stora grundvattenuttag hanteras (20 - 30 ggr större än vårt vattenbehov för konsumtion). Inom kommunal och industriell vattenförsörjning finns lång erfarenhet av konsekvenser och handläggning av sådana projekt. En överexploatering av grundvattenvärmeanläggningar med miljöeffekter till följd kan enbart förhindras genom:

- o tillförlitliga förundersökningar
- o god planläggning inom kommunerna när det gäller energi- och vattenhushållning
- o juridisk prövning av uttag

Inför en installation av en grundvattenvärmeanläggning skall provpumpning genomföras. Vid provpumpningen bestäms bland annat uttagskapacitet, temperaturnivåer och kvalitetsutveckling. Dessa är väsentliga för en god dimensionering, projektering samt en korrekt, ekonomisk och miljömässig värdering. En kartläggning inom ramen för den kommande planeringen kan vara ett sätt att göra en samordnad miljöbedömning och minska kostnaderna för den enskilde.

Metoder har även utformats för energigeologisk kartering när det gäller utvinning av energi i mark och vatten. För att undvika överetablering är det speciellt viktigt för grundvattenvärmetekniken att energigeologisk kartering genomförs i den kommunala energiplaneringen.

6.6 Behov av FoU

De erfarenheter som finns beträffande grundvattenvärmeutvinning i Sverige är ännu ganska begränsade. De energibrunnar som studerats har endast varit i drift något år och det är för tidigt att dra några säkra slutsatser beträffande långsiktliga vattenkemiska förändringar. Många energibrunnar kombineras dessutom med vattenförsörjning, varför eventuella kemiska långtidsförändringar måste klarläggas.

- o En långsiktig uppföljning med regelbunden vattenkemisk analys hos några energibrunnar i skilda geologiska förhållanden är mycket angelägen.
- o En noggrannare uppföljning och studie vid utsläpp av "dåligt" grundvatten till en ytvattenrecipient, dvs effekter av järn - mangan - kloridhaltigt grundvattenutsläpp.

7 BERGVÄRME

7.1 Metod - system

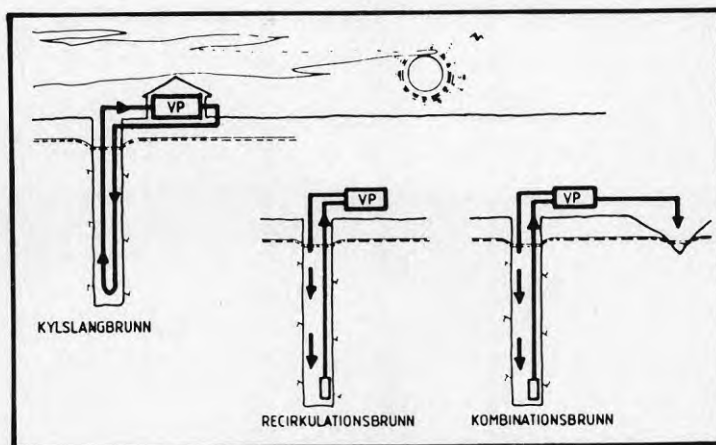
Med bergvärme avser man bergborrade brunnar avsedda för uttag av värme där värmets erhålls från bergmassan genom värmeledning till ett nedkyllt borrhål.

Bergvärmebrunnarna har en håldiameter mellan 115 - 152 mm och mestadels ett borrarat djup mellan 90 - 180 m. Vid större djup ökar kostnaden per borrarat meter markant vilket gör att det då är bättre ekonomi att borra flera hål.

Ur systemsynpunkt kan bergvärmebrunnarna indelas i ett flertal system beroende på vattenuttaget.

- o System med cirkulerande köldbärarvätska i slutna slangsystem i borrhålet.
- o System med cirkulation av grundvatten i borrhålet (recirkulation).
- o Kombinationssystem via grundvattenuttag där systemet kan jämföras med grundvattenvärme, dvs förbrukningsbrunnar.

I samtliga system finns även en kombination där brunnen används för färskvattenkonsumtion.



System för bergvärme

7.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar

Från teknisk synpunkt är bergvärme i flera avseende jämförbar med grundvattenvärme. Ur värmetransportsynpunkt innebär dock grundvattenvärmeanläggningar främst ett hydrauliskt problem emedan bergvärmeanläggningar i första hand ett värmeledningsproblem. Berg- och grundvattentemperaturen djupare än 10 m under markytan, är relativt konstant under året och medför därför gynnsamma driftförhållanden. I de nordligaste delarna av Sverige innebär dock de låga temperaturerna begränsningar.

Drifterfarenheter och dimensioneringsunderlag (Andersson m fl 1980, Tollin m fl 1983) för samtliga typer av bergvärmsystem finns i sådan omfattning att tekniken kan anses vara inne i ett kommersiellt skede. En fråga som dock behöver klarläggas är hur tätt små anläggningar kan placeras utan att störa varandra.

På senare tid har man börjat utveckla bergvärmeanläggningar med olika typer av återladdningssystem. Därvid har man använt solfångare och frånluft som värmekälla vilket möjliggör att berget återladdas med energi under de dagar då lufttemperaturen är högre än bergets temperatur.

7.3 Naturförutsättningar - potential

Potentialen för bergvärme är mycket stor då lämpligt berg finns i stora delar av landet. Spridningen på berggrundens lokala värmeledningsförmåga och vattenföring ger naturligtvis relativt stora skillnader i förutsättningar för bergvärme.

De faktorer som bestämmer hur mycket bergvärme som kan uttagas ur ett borrhål är främst bergets värmeledningsförmåga, borrhålets djup och den drivande temperaturdifferensen mellan ostört berg och borrhål. Generellt leder berggrund ur granitisk sammansättning värme bättre än sedimentära.

Utan att särskilja bergarter anvisar nuvarande dimensioneringsteknik och drifterfarenheter att vid kontinuerliga uttag under året kan följande värmeuttag anses gälla (Tollin 1982).

o	Recirkulationsbrunnar	10 - 20 W/m borrhål
o	Kylsångbrunnar	30 - 40 W/m borrhål

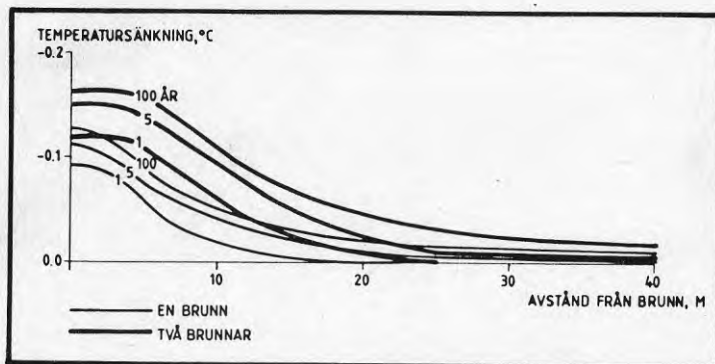
Vad gäller kombinationsbrunnar och uttagsbrunnar så är dessa helt beroende av vattentillrinningen till brunnen.

Goda naturliga förutsättningar för bergvärmesystem finns inom en stor del av landet. För tillämpning inom tätbebyggda områden krävs dock att värme tillförs marklagren i någon form, det vill säga återladdning. Den verkliga nettopotentialen har av Markvärmegruppen bedömts till 2 TWh/år.

7.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat

Den första kända installationen av en bergvärmeanläggning utfördes under hösten 1978 och allt sedan dess har forskningen inriktats på att utveckla olika tekniska system och lämpliga dimensioneringsmetoder. Bergvärme kan anses vara den mest miljövänliga av metoderna för värmeuttag ur mark och vatten. Nedkylning av berget och grundvattnet långt under marknivå torde sakna betydelse från ekologisk synpunkt.

Vad gäller temperaturpåverkan i markytan närmast borrhålet har matematiska beräkningar utförts vid Lunds Tekniska Högskola (Claesson, Efring 1982). Resultaten visar bland annat att vid en tempertursänkning i borrhålen av 5°C relativt ostört berg blir den största störningen på 1 m djup under markytan efter 10 år $0.16 - 0.17^{\circ}\text{C}$ för två bergborrade brunnar med 10 m avstånd.



Exempel på beräknad temperaturstörning på 1 m djup för en respektive två närbelägna bergvärmebrunnar (efter Claesson, Efring 1982).

Vid användning av järn - och manganrikt grundvatten kan besvär-
liga igensättningsproblem uppstå vid system med cirkulation av
grundvatten (Lindblad 1983). Järn och mangan oxideras och ut-
fälls, vilket i en del fall medfört att nya brunnar måste borraras
endast några år efter driftstart. Detta har även medfört att man
idag allt mer frångår dessa "öppna" system och inriktar sig allt
mer på de "slutna" systemen vid bergvärmeanläggningar. Vad gäller
vattenbeskaffenheten och dess eventuella påverkan så finns samma
problemställningar som vid grundvattenvärmeanläggningar vilket
mera utförligt beskrivits inom kap. 6.

Den allvarligaste miljöstörringen som kan uppstå vid ett berg-
värmesystem är läckage på slangsystem och kopplingar, varvid
köldbärrävska kan tillföras borrhålet och eventuellt spridas
ut i grundvattnet. Syrehalten i bergborrade brunnar är ofta
mycket låg varför den organiska nedbrytningen av köldbärrävska
försvaras, se kap 4. Risken för läckage av köldbärrävska och
förorening av grundvattnet är dock mindre vid bergvärmeanlägg-
ningar än vid ytjordvärme och ett eventuellt läckage kan täm-
ligen enkelt saneras.

7.5 Miljömässiga begränsningar

Vid den enkätundersökning som beskrivs i kap 6 har inte påvisats
några allvarliga miljöeffekter i samband med bergvärmeuttag. Det
skall dock påpekas att flertalet av nuvarande bergvärmeanlägg-
ningar varit i drift under endast några år och att många av de
tänkbara effekterna först kan märkas eller uppstå efter lång tid.
Vid tätt placerade borrhål kan nedkylningen av berget på lång
sikt bli betydande men detta torde i första hand leda till be-
gränsningar av tekniska skäl snarare än miljöskäl.

Huruvida de vattenkvalitetsproblem för dricksvatten som i några
fall har påtalats vid enkätundersökningen beror på energiuttaget
bör studeras närmare.

7.6 Behov av FoU

- o Behov av fortsatt forskning gäller i första hand vatten-
kemiska frågeställningar med "öppna" bergvärmesystem, dvs
vattenkvalitetsförändringar och igensättning i brunnar och
rörssystem. Pågående forskning (Knutsson, KTH) rörande
grundvattenvärmeanläggningar kan därvid ge svar på flera
frågeställningar och bör därför slutföras.

8 VÄRMELAGER I BERG

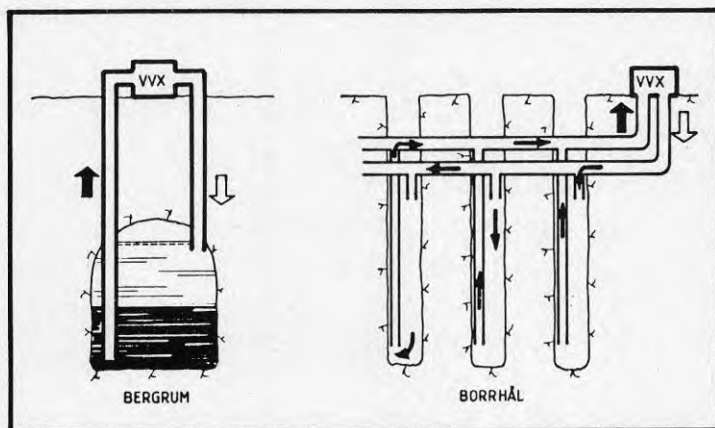
8.1 Metod - system

Med värmelagring i berg avses aktiv lagring av sol- eller spillvärme i bergmassan eller i vatten i hålrum i berget. Av tekniskt-ekonomiska skäl blir ett värmelager i berg stort, varför värmen främst används i fjärrvärmenät eller större gruppbebyggelser.

Följande typer av värmelager förekommer:

- o Öppna utsprängda bergrum
- o Befintliga öppningar som gruvor, tunnlar och täkter
- o Blockfyllda sprängda bergrum eller gropar
- o Borrhålslager i berg
- o Kombinationslager bergrum-borrhål (tvåvåningsbergrum)

Lagertypen kan användas både för korttids och långtidslagring.



Värmelagring i bergrum respektive borrhålslager.

För korttidslager krävs att värmen skall vara snabbt mobiliserbar. Mängden vatten i systemet måste vara tillräckligt stor, då vämetransport från berg till vatten sker såpass långsamt att den värme som finns lagrad i berget ej hinner tillgodogöras. Av denna anledning lämpar sig borrhålslager (med liten mängd vatten i förhållande till bergvolymen) främst som säsongslager, medan öppna bergrum kan fungera som antingen korttidslager eller säsongslager, beroende på lagrets volym och temperaturnivå.

Beroende på vilken temperatur man har i lagret kan man tala om högtemperaturlager ($> 50^{\circ}\text{C}$) eller lågtemperaturlager ($< 50^{\circ}\text{C}$). Värmeförlusterna från ett värmelager i berg beror dels av lagrets geometri, men främst av temperaturnivån i lagret jämfört med normal marktemperatur. Man kan i princip säga att ju högre temperatur desto större värmeförluster. Ett lager som över året varierar runt normal årsmedeltemperatur får i stort sett inga värmeförluster. I lager med ogynnsam form, som till exempel gamla gruvor, är det därför viktigt att hålla lagringstemperaturen låg.

8.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar

Utvecklingslinjerna för närvarande är att man söker minska kostnaderna för de olika typerna av berglager genom att söka så produktionsanpassade lagerutformningar som möjligt. Utveckling av produktionsmetoderna pågår även, till exempel i form av utveckling av billigare borrhålmeter. Vidare söker man öka den värmeväxlande ytan för borrhålslager genom att skapa sprickor mellan borrhål och därigenom kunna minska borrhålslängden. Byggande av tunnlar, stora bergrum samt borrhålssteknik är väl etablerad teknik. Mycket stora bergrum finns. Borrhåls i stor skala är möjlig, för närvarande till ca 200 m djup (utveckling pågår mot 500 - 1000 m). Spräckningstekniken i kristallin berggrund är ej speciellt utvecklad, men väl utvecklad för sedimentär berggrund inom oljeindustrin. Begränsningar som finns för värmelager i berg är snarare tekniskt/ekonomiska (eller rent ekonomiska) än tekniska.

Vattentemperaturen kan vara en begränsande faktor med avseende på bergstabilitet (termiska effekter samt utlösning/utlakning av mineral) för höga vattentemperaturer ($> 100^{\circ}\text{C}$).

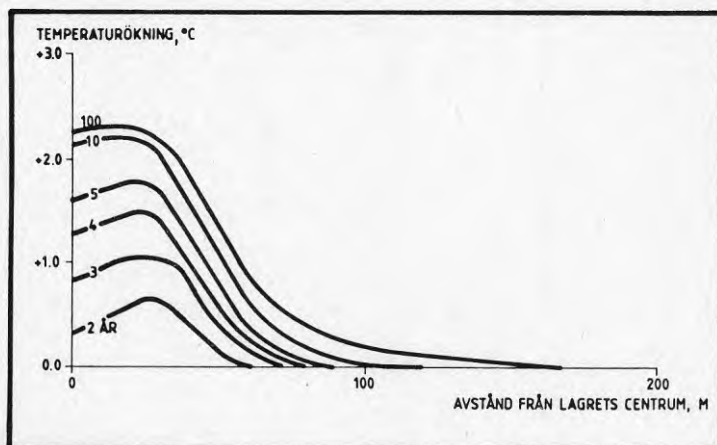
8.3 Naturförutsättningar - potential

Kristallin berggrund (granit, gnejs etc) är allmänt förekommande i Sverige. Potentialen från naturförutsättningsynpunkt är därmed mycket stor. I de områden där urberget återfinns först på större djup kan ofta sedimentärt berg utnyttjas för lagring.

8.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat

Miljöeffekter vid värmelager i berg kan dels hänföras till värmeläckage från lagret, vilket ger en viss övertemperatur vid markytan, och dels till de ingrepp som orsakas av lagrets byggande. Dessa ingrepp består främst i olika former av markarbeten, markuppfyllnad och påslag för bergrumsarbeten. En stor mängd bergrumslager för oljelagring har byggts under lång tid i Sverige. I flera fall har oljan hållits uppvärmd till uppemot 70°C för att öka oljans pumpbarhet. Några kända negativa miljöeffekter orsakade av hög temperatur vid dessa lager finns ej redovisade i litteraturen.

Temperaturnivåer runt värmelager har beräknats i ett stort antal fall, bland annat med hjälp av de matematiska modeller som utvecklats vid Lunds Tekniska Högskola (Claesson, Efrting 1982). Man har även gjort miljöeffektbedömningar utgående från dessa beräkningar. Enkla matematiska formler finns numera tillgängliga i handboksform (markvärmehandboken).



Beräknad temperaturstörning på 1 m djup för bergrumsvärmelager i Lyckebo (efter Claesson, Efrting 1982).

Effekterna på växt- och djurliv är dåligt kända, men de kan bedömas bli små eftersom varje värmelager endast påverkar ett mycket begränsat område. De förändringar som kan uppstå bör därför ha liten ekonomisk betydelse. Djuprotade träd, till exempel tall och ek, kan sannolikt få minskad tillväxt på grund av viss markuttorkning. En förändrad fenologi, dvs tidpunkt för blomning, lövsprickning hos vegetationen är också tänkbar.

8.5 Behov av FoU

Det största forskningsbehovet för närvarande är att göra uppföljningar i full skala (i fält) av de temperaturer som uppnås kring ett lager i drift. Detta för att kunna göra en jämförelse och validiering av de matematiska modeller som tagits fram, och för att möjliggöra bestämning av storleken på felet mellan beräknade och verkliga värden.

- o Miljöstörningar kring befintliga äldre bergrum med hög temperatur bör följas upp, eftersom det kan ta lång tid innan några effekter kan iakttas.

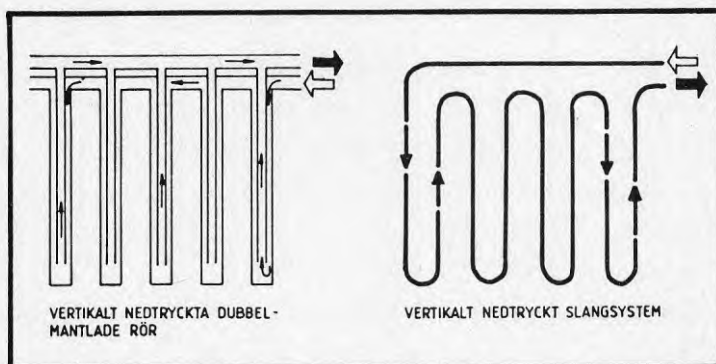
Årsringsanalyser på träd kan vara en intressant metod för att undersöka om tillväxtförändringar skett efter byggandet. Jämförelser bör göras med situationen vid ouppvärmade bergrum.

9 VÄRMELAGER MED SLANGSYSTEM I LÖSA JORDLAGER

9.1 Metod - system

Lagringsprincipen bygger på värmeväxling mellan ett rör- eller slangsystem och en jordvolym i vilket detta drivits ned. I systemet cirkulerar en värmebärare som levererar värme till lagret under sommarhalvåret och hämtar värme under vintern. Principen kräver att ett slangsystem till låg kostnad kan tryckas ned i lös jord, som till exempel lera eller torv.

Flera värmelager med slangsystem i lera har byggts med goda resultat, se till exempel Hultmark (1980). Lagringstemperaturen är normalt 15 - 30°C, men högre temperaturer har prövats. Värmen tas ut ur lagret med hjälp av värmepump. Beräkningsprogram för värmeförluster och värmeomsättning har utvecklats vid Lunds Tekniska Högskola (Lundagruppen för värmelagring i mark) och är lätt tillgängliga.



Värmelagring med rörsystem i lösa jordlager.

9.2 Utvecklingslinjer - tekniska begränsningar

De utvecklingslinjer som för närvarande kan skönjas är dels att söka förbättra värmeöverföringen mellan slang och omgivande jord och dels söka komma tillrätta med de varierande portryck som kan uppstå i lerprofilen (sanddrän/energidrän). Denna forskning söker alltså bemästra några av de tekniska begränsningar som förekommer.

I övrigt är möjligheterna till snabb och ekonomisk rörsättning/rördrivning den största begränsningen. Så till exempel kan sandskikt i en för övrigt homogen lerlagerföljd avsevärt fördyra lagerbyggnaden idag.

9.3 Naturförutsättningar - potential

En bedömning av potentialen för vertikala system i några större svenska städer har gjorts vid Chalmers Tekniska Högskola (Modin m fl 1980, Berntsson m fl 1980). Systemen har framförallt stor potential i mellansverige och andra områden i landet med stora sedimentmäktigheter. Företrädesvis är detta områden som ligger under "högsta kustlinjen" (HK), vilket var den högsta nivå som havet och Östersjön haft sedan senaste nedisningen. Inom övriga delar av landet ger torvmossarna möjlighet att bygga lager på många ställen, men kravet på närhet till bebyggelse medför att den verkliga potentialen är begränsad.

9.4 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat

Generellt kan sägas att inverkan på omgivningen vid byggande av lager torde vara ett större miljöproblem än själva lagringstekniken. Dessutom kommer en del av dessa ingrepp att kvarstå, som till exempel effekter av schaktning och utfyllnad.

De övriga effekter som kan konstateras beträffande värmelager i lösa jordarter är framförallt geotekniska problem för närliggande bebyggelse. Uppvärmad lera kan ge höga portryck, minskad hållfasthet och risk för stabilitetsproblem. Forskning beträffande dessa frågeställningar bedrivs vid Chalmers Tekniska Högskola (Institutet för geoteknik). Effekter på växter och djur är av lokal natur. I samband med anläggningsarbetena förstörs det befintliga växttäcket oftast helt och hållet. I andra fall kan området utnyttjas till betesmark, park m m.

9.5 Miljömässiga begränsningar och intressekonflikter

Av de miljömässiga problem, som konstaterats, kan i första hand de geotekniska förändringarna (lera) förväntas ge begränsningar av teknikens tillämpbarhet. Åtgärder som kan vidtas är framförallt att begränsa lagringstemperaturen, utföra dräner som kan utjämna portryck samt andra geotekniska undersökningar och åtgärder.

Den mest markerade intressekonflikten ligger mellan utnyttjande av högre lagringstemperaturer och hållfasthetshänsyn det vill säga geotekniska aspekter. Områden med lersediment utnyttjas dessutom ofta som jordbruksmark. Möjligheterna till fortsatt odling av marken över ett lager är starkt begränsad, men ett utnyttjande som till exempel betesmark är tänkbart.

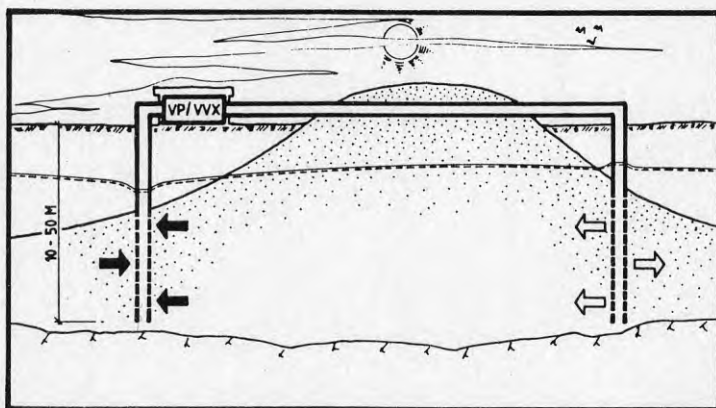
9.6 Behov av FoU

- o Forskningen kring de geotekniska problemen och deras inverkan på omgivningen bör slutföras.
- o I samband med värmelagring i torv är det viktigt att undersöka vad som händer med det organiska materialet då det värms upp och vilka de ekologiska effekterna blir av lagringen.

10 AKVIFERLAGER

10.1 Metod - system

Vid värmelagring i en akvifer utnyttjas bergets eller jordens egna porer för att leda värmebäraren, som är grundvatten. Värmen lagras i mineralkorn och grundvatten. Tekniskt bygger systemet på att kallt vatten tas från en eller flera brunnar, värms i en värmeväxlare, och återinfiltreras på varma brunnar. När värmen åter skall utvinnas pumpas vatten från de varma brunnarna, kyls i värmeväxlaren, och återinfiltreras på de kalla brunnarna. Olika strategier beträffande pumpning, uttag och infiltration kan förekomma. Framförallt diskuteras i Sverige system med relativt låga lagringstemperaturer. I USA provas även lagring på stort djup vid temperaturer upp mot och över 100°C.



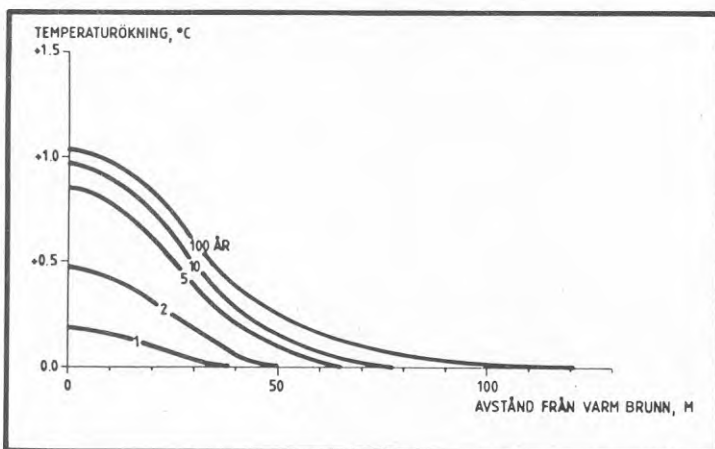
Värmelagring i akvifer.

10.2 Naturförutsättningar - potential

Akviferlagring förutsätter att ett grundvattenmagasin av lämplig storlek finns tillgängligt. Akviferen kan antingen bestå av lösa avlagringar eller sedimentär berggrund. De olika geologiska bildningar som främst är möjliga att utnyttja är isälvsavsättningar (deltan, åsar) samt sandstensakviferer.

Användandet av sådana naturliga grundvattenmagasin förutsätter emellertid stora tillgängliga volymer, då det möjliga temperatursvinget är litet. I ytliga akviferer som till exempel grusåsar blir den maximala lagertemperaturen ca 20°C. I sandstensakviferer på större djup under markytan kan emellertid temperaturnivåer på + 60 - 90°C bli aktuella.

För att värmeförlusterna inte skall bli för stora är det speciellt lämpligt om akviferen uppåt avgränsas och värmeisolerar av överlagrande jord eller berg. Vidare kan, om temperaturen eller permeabiliteten i akviferen är för hög, det varma vattnet flyta ut över det kallare och ge energiförluster, fronttipping. Värmeförluster från ett akviferlager och problemet med fronttipping har omfattande utretts vid bland annat Lunds Tekniska högskola och Kungliga Tekniska Högskolan.



Exempel på beräknad temperaturstörning på djupet 1 m vid värmelagring i en akvifer på 20 - 30 m djup (efter Claesson, Eftning 1982).

Med hänsyn till de geologiska förutsättningarna, och till värmeförluster och fronttipping, kan lagring i akviferer vid högre temperaturer ske bäst i områden med sedimentär berggrund, som Skåne, Gotland med flera.

Lagring vid låga temperaturer kan ske i våra större isälvs-avlagringar. De förstuder av akviferlagrens möjligheter som genomförts har givit lovande resultat. Energipotentialerna är betydande. Drygt 200 möjliga akviferlager nära bebyggelsecentra har lokaliserats. Upp till 12 TWh per år bedöms kunna utvinnas ur akviferlager (Hydén och Emmelin 1983). Experimentbyggnadsprojekt genomförs för närvarande i Klippan och Falun. Ytterligare storskaliga anläggningar planeras.

10.3 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat

Värmelagring i en akvifer ger upphov till temperatureffekter vid markytan. Vid låg lagringstemperatur blir de ekologiska effekterna försumbara. Grundvattenkvaliteten kan förändras beroende på ändrade temperaturförhållanden och på grund av eventuell tillförsel av uppvärmt vatten till andra delar av akviferen. Vid högtemperaturlagring kan urlakning och utfällning av mineral förekomma i akviferen. Även dessa problem blir små vid låga temperaturer.

Ett teknisk problem, som ofta vållar besvär är igensättning av brunnarna. Forskning kring detta pågår för närvarande vid Chalmers Tekniska Högskola.

10.4 Miljömässiga begränsningar och intressekonflikter

Den begränsning, som förändrad temperatur vid markytan skulle kunna innebära, balanseras av önskan att erhålla små värmeförluster. Om dessa skulle bli för stora måste temperaturnivån i lagret minskas. Den mest påtagliga intressekonflikt som kan förekomma är mellan önskan att använda akviferen som värmelager och för vattenförsörjningsändamål, dvs att en försämring av vattenbeskaffenheten - kemin medför att akviferen inte kan utnyttjas för färskvattenkonsumtion. Risk för en försämring kan till viss del bedömas från undersökningar av grundvattnets kemi och akviferens mineralsammansättning.

10.5 Behov av FoU

- o Fortsatt forskning behövs i första hand rörande vattenkemiska frågeställningar, både vad beträffar förändringar i akviferen och igensättning i brunnar, rör-system och värmeväxlare.

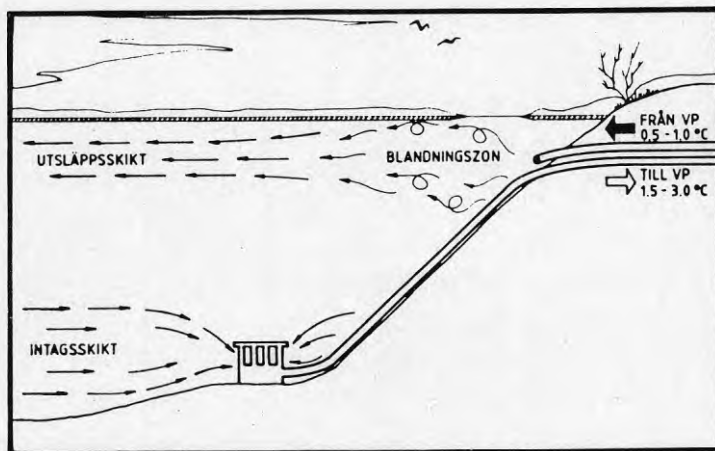
11 YTVATTENVÄRME - ÖPPNA SYSTEM

11.1 Metod, utvecklingslinjer, tekniska begränsningar

Värmeutvinning i sjöar och kustvatten med så kallade öppna system innebär att vatten pumpas upp till värmepumpens förångare eller annan värmväxlare på land. Efter avkylning släpps vattnet åter ut, på ett sådant sätt att man undviker "kortslutning", dvs inte åter pumpar in redan utsläppt, kallt vatten.

Till öppna system kan också hänföras vissa typer av värmväxlare som placeras i vattnet och ger upphov till likartad avkylning och strömning av sjövattnet som ovan. Även system som baseras på frysning av uppumpat vatten och utsläpp av is-vattenblandning kan hänföras till öppna system.

Vattenintaget placeras så att högsta möjliga intagstemperatur kan påräknas. I en vinterskiktad sjö tas relativt varmt ($2 - 3^{\circ}\text{C}$) vatten nära botten och släpps ut nära nollgradigt vid ytan. Sommartid tas vattnet lämpligen på litet djup och man har därför ofta separata sommar- och vinterintag. Alternativt kan strömriktningen reverseras och vinterintaget användas som utsläpp under sommaren.



Strömningsförhållanden vid intag och utsläpp för ett öppet sjövärmesystem vintertid.

Den intagstemperatur som kan påräknas under vintern är avgörande för hur värmeuttagssystemet dimensioneras (se kap 2.2). De värmepumpar som används i dag dimensioneras ofta för en lägsta vattentemperatur av 2 - 2.5°C och en utsläppstemperatur av ca 0.5°C. Det torde dock vara möjligt, att med bibehållen lönsamhet, kunna gå ännu något lägre i temperatur. System som baseras på isbildning har inga krav på lägsta vattentemperatur. Dessa kan därför även använda vatten från rinnande vattendrag, som i regel har för låg temperatur för vanliga öppna system. I gengäld måste man lösa problemet med kvittblivning av den producerade isen.

Öppna ytvattenvärmesystem används främst i stora anläggningar med effekter från några hundra kW till tiotalet MW och är i dag kommersiellt gångbara. Ett flertal sådan anläggningar finns i drift, bland annat i Torsång utanför Falun (750 kW, sjön Ösjön), Ludvika (10 MW Väsman) och Lidingö (14 MW, L Värtan). Framskridna planer finns på ännu större värmepumpar inom stockholmsregionen.

Öppna system avsedda för mycket låga vattentemperaturer, < 1°C, befinner sig ännu på försöksstadiet. Detsamma kan sägas om tekniker baserade på isbildning. De senare kan dock antas bidra till en avsevärd ökning av potentialen för naturvärmesystem, förutsatt att de tekniska och praktiska problemen kan lösas.

11.2 Naturförutsättningar

Öppna ytvattenvärmesystem är i första hand beroende av att vatten med tillräcklig hög temperatur, 2 å 2.5°C, finns tillgängligt under vintern. Allmänna aspekter på värmeinhåll och värmeomsättning i samband med värmeuttag i sjöar ges av Bengtsson (1982), Svensson m fl (1980). Flera utredningar av förhållandena i olika sjöar har gjorts, bland annat Svensson och Broman (1983), Svensson (1982) Zackrisson och Broman (1984). Detaljerade mätningar av energiomsättningen under vintern i sjön Velen redovisas av Thandertz (1973).

Förutsättningarna skiljer sig väsentligt mellan olika sjöar och även mellan olika år varför man bör göra en bedömning i varje enskilt fall, baserad på sjöns naturliga värmeomsättning och uppmätta temperaturer. I kustvatten råder speciella förhållanden beroende på salthaltsskiktningen. På ostkusten är förutsättningarna i allmänhet ogynnsamma utom i vissa avsnörda vikar av fjordtyp till exempel Stockholms innerskärgård. På västkusten är temperaturen gynnsam om vattenintag placeras på 20 - 25 m djup.

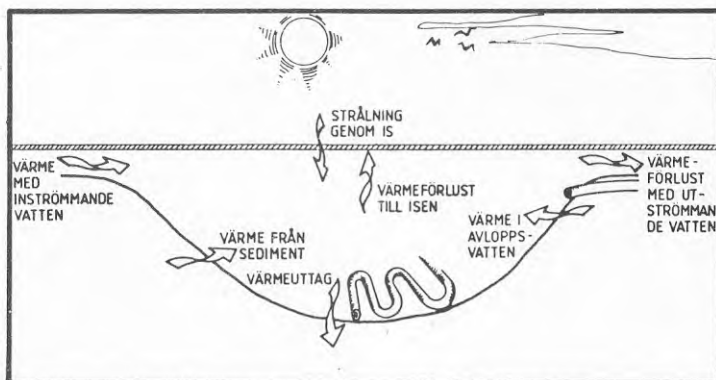
Värmeomsättningen i en sjö domineras under den isfria delen av året av värmeutbytet mellan vattenytan och atmosfären. Temperaturen i ytan strävar därvid att anta en jämvikts-temperatur som ungefär svarar mot luftens dygnsmedeltemperatur. Under sommaren uppvärms i första hand ett ca 5 - 15 m tjockt ytskikt medan vattnet på större djup förblir relativt kallt, 6 - 10^o C. Även bottensedimenten uppvärms, speciellt inom grunda delar av sjön och lagrar därvid värme som återleds till vattnet under höst och vinter.

Under sommarhalvåret är förutsättningarna för värmeuttag gynnsamma. Ett uttag inom ytskiktet leder till att ytvattentemperaturen sjunker något och intar ett nytt jämviktsförhållande gentemot atmosfären. Även vid förhållandevis stora värmeuttag blir temperatursänkningen relativt naturliga förhållanden, dock liten, mindre än en grad celsius.

Under hösten avger en sjö värme till atmosfären och nedkyls därvid samtidigt som den omblandas, den så kallade höstcirkulationen. Då temperaturen sjunkit till + 4^o C, där sötvatten har sitt densitetsmaximum, leder ytterligare kylning till att kallt vatten kan stanna kvar vid ytan och frysa. Om det blir mycket kallt och vindstilla kan is bildas då huvuddelen av vattenmassan ännu är nära + 4^o C. Om det i stället under senhösten och tidiga vintern är blåsigt med lufttemperaturer pendlande kring fryspunkten avkyls hela sjön, kanske ned mot 1^o C eller lägre.

Karaktäristiskt för sjöar är således att temperaturen och värmeinnehållet vid isläggningen varierar inom vida gränser. Medeltemperaturen för ett antal år kan förväntas bli hög om sjön är liten, vindskyddad och djup och har en snabb isläggning. Det senare villkoret medför att sjöar i norra Sverige ofta är varmare under vintern än sjöar i södra Sverige, som kanske bara tillfälligt fryser över vintern.

Under vintern verkar istäcket isolerande på sjön och hindrar dessutom den omblandning som orsakas av vinden. Värmeutbytet med atmosfären resulterar väsentligen i istillväxt, medan temperaturen i vattnet påverkas föga. Värmeinnehållet i sjön påverkas i stället av flera andra processer som illustreras i följande figur.



Värmeflöden till och från en istäckt sjö.

Den värme som lagrats i sjöns bottensediment på sommaren, ger ett värmetillskott till vattnet under vintern av typiskt $2 - 3 \text{ W/m}^2$ från grunt liggande bottnar och $0 - 1 \text{ W/m}^2$ inom djupt vatten. Solinstrålning genom isen ger också ett värmetillskott vilket kan vara av betydelse under vårvintern.

Värmeförluster orsakas dels av värmeledning till isens undersida och dels av genomströmmande vatten. Om det finns genomströmning av betydelse bildar denna ett kallt, nära nollgradigt skikt under isen.

Vattentemperaturen i en sjö under vintern är högst vid botten och minskar uppåt till $+ 0^{\circ}\text{C}$ vid isens underkant. Ofta har man en skarp temperaturgradient närmast under isen och därunder en långsam temperaturökning mot botten. Sedimentvärmen medför att temperaturen stiger något under vinterns lopp. När bottenvattnet nära stränderna uppvärms blir det tyngre och rör sig längs botten mot djupare delar av sjön som därvid uppvärms mest. I grunda sjöar är det inte ovanligt att temperaturen ökar med kanske 2°C medan djupa sjöar endast får en obetydlig ökning.

Den värmemängd som kan utvinnas i en sjö under vintern är begränsad och måste baseras på värmeinnehållet i sjöns vattenmassa och bottensediment vid vinterns början. Nettovärmetillskottet från atmosfären varierar kraftigt och kan i de flesta fall ej räknas med. Värmeuttaget leder därför normalt till att värmeinnehållet och temperaturen i sjöns vattenmassa och bottensediment succesivt minskar. En sänkt temperatur, speciellt inom ytskiktet leder till att värmeförlusterna från vatten till is kommer att minska, varför man kan tillgodogöra sig värme som eljest skulle ha avgivits från sjöns vatten.

Det teoretiskt största värmeuttaget ur en istäckt sjö är om instrålningen försummas ungefär

$$H = 1.25 h (T - T_{\text{ut}}) + \text{sedimentbidrag} \quad \text{kWh/m}^2$$

där H = värmeuttag över en vinter, h = sjöns medeldjup.

T = sjöns medeltemperatur vid isläggning och T_{ut} är utgående temperatur efter kylning i värmepumpen. Med sedimentbidrag avses summa värmeförsel från sediment till vatten under en hel vinter. På grunt vatten uppgår värmeflödet från sedimenten till omkring 10 kWh/m^2 under perioden december - mars och sjunker till nära noll på större djup än 10 å 20 m.

I grunda sjöar, där ingen temperaturskiktning utbildas under sommaren, dominerar därför sedimentbidraget medan vattentemperaturen vid isläggningen är avgörande för djupa sjöar.

I viss mån kan man säga att de båda termerna i ekvationen ovan kompenserar varandra. Såväl ett litet medeldjup som låg vattentemperatur bidrar till ökat sedimentbidrag och vice versa.

11.3 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat

Det finns i dag mycket begränsade erfarenheter av stora öppna värmepumpsystems miljöeffekter, såväl nationellt som internationellt. Slutsatserna i detta avsnitt baseras därför främst på litteraturstudier samt på miljökonsekvensutredningar som gjorts i anslutning till tillståndsprövningar. Biologiska frågor har behandlats av Leonardsson och Lessmark (1984), Nebeus (1984), Ahlgren (1984). Beräkning av effekter på temperatur och vattenomsättning har gjorts av Larsson och Mäkitalo (1983).

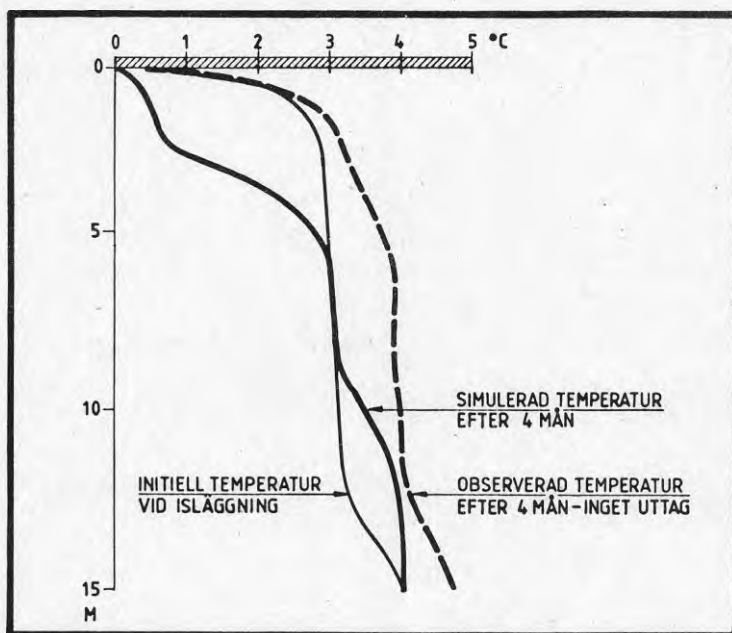
Värmeuttaget ger upphov till en vertikal omfördelning av vatten och däri lösta och partikulärt bundna ämnen. Detta skulle kunna leda till ändrade produktions- och syreförhållanden i uttagsområdet. Vidare har effekter av en sänkt vattentemperatur på olika biologiska processer diskuterats och farhågor uttryckts för att organismer skulle kunna skadas vid passagen genom pumpar och värmeväxlare.

Vattenomsättning, temperatur- och isförhållanden

I normalfallet med ett öppet system i en vinterskiktad sjö uttas vatten på ganska stort djup och leds till en värmepump. Vattnet kommer då att dras mot en intagsöppning, som ett s k "selective withdrawal", vilket innebär att vatten inte bara från intagsnivån utan delvis också från angränsande nivåer dras med. Utsläppet av kallt vatten bör ske så att det kalla vattnet flyter ut just under isen. Bästa sättet torde vara att förlägga utsläppet på grunt vatten så att utsläppets rörelsemängd snabbt avtar genom friktion mot botten.

Den sammantagna effekten av intag och utsläpp blir att temperaturprofilen helt enkelt skjuts nedåt och det bildas ett nära nollgradigt ytskikt vars tjocklek tillväxer successivt under vinterns lopp.

Störst temperaturpåverkan erhålles inom ytskiktet, men även bottenvattnet blir något kallare än det skulle ha varit utan värmeuttag. Värmeuttaget kan emellertid inte drivas så långt att hela sjön kyls ned, utan ett varmt botten-skikt om några få meters tjocklek måste sparas för att man skall få tillräckligt hög intagstemperatur.



Exempel på beräknad temperaturutveckling i sjön Velen vid värmeuttag med öppet system (efter Bengtsson 1984).

Genom nedkylning av ytskiktet minskar värmeflödet till isen vilket medför att istjockleken kan beräknas öka några cm. Detta har knappast några praktiska konsekvenser och inverkar inte heller nämnvärt på tidpunkten för islossning.

Om "isvärmepumpar" tas i kommersiell drift kan kvittblivning av den producerade isen bli ett problem. Beroende på isens form (isbitar, iskristaller) och hantering (landtipp, sjötipp, isslurryutsläpp i sjö eller vattendrag) kan olika typer av problem förutses. Den stora ismängd som produceras illustreras av att en anläggning på 1 MW ger upphov till en 5 m hög tipp med en utbredning av 100 x 100 m. Upplagd på land kommer en sådan tipp att ligga kvar större delen av sommaren. Vid isutsläpp i rinnande vatten måste man tillse att isen inte bidrar till skapande av bottenis eller ger andra dämningsskapande effekter.

Effekter på produktion och syreförhållanden

Effekter på produktionsförhållanden i ett vattenområde skulle i första hand kunna uppkomma under vinterperioden mellan höst och våromblandning, om intaget sker från ett näringsrikare djupvatten och utsläppet görs i ytvattnet. En förhöjd total produktion av växtplankton med åtföljande ökad syretäring i bottenvattnet torde dock i de flesta fall bli av ringa omfattning. Vanligtvis förbrukar en vårblomning större delen av vattenmassans totala vinterförråd av närsalter, då den sker i anslutning till våromblandningen. I vattenområden där skiktningförhållanden är sådana att närsalter i djupvattnet normalt ej blir tillgängliga för algerna i ytskiktet under våren kan produktionsförhållandena däremot ändras. Detta gäller till exempel i kustvatten där salthaltsprångskikt förekommer och om vattenintaget sker under detta.

Under istäckta förhållanden skulle en stimulans av alg tillväxten under isen kunna ske. Flera faktorer talar emellertid emot att detta skulle få någon större betydelse, utom möjligen i vissa djupare näringsrika sjöar. Tillsammans med den låga solinstrålningen under vintern medför istäcket att ljus- och turbulensförhållandena i vattnet är sådana att alg tillväxt bara kan ske i det översta vattenskiktet. Vattentemperaturen är här låg, nära noll grader.

Det utsläppta avkylda djupvattnet torde oftast ha en något högre temperatur varför det kommer att vara tyngre och följdaktligen inlagras något djupare i vattenmassan, utan att blandas med det absoluta ytskiktet. De uppumpade närsalterna blir därmed inte omedelbart tillgängliga för produktionen.

Syreförhållandena vid botten torde generellt förbättras under vintern som följd av att värmeuttaget medför en ökad omsättning av bottenvattnet. Vid passage av värmepumpar med strilförångare kommer ett syrefattigt vatten att syresättas innan det släpps ut i ytvattnet. Även under sommaren kan förbättrade syreförhållanden uppnås om utsläppet då görs nära botten. Förbättrade syreförhållanden och låg temperatur innebär i sin tur att fosforavgivningen från sedimenten minskar. Minskad fosforavgivning och förbättrade syreförhållanden är allmänt sett positiva effekter i eutrofa (närringsrika) sjöar.

Ovanstående generella bedömning måste kompletteras med en särskild utredning av varje enskilt fall eftersom speciella omständigheter såsom extrema klimatförhållanden, vattenutbyte med omgivande områden, salthaltskiktning, andra utsläpp m m kan förändra bilden.

Fisk och fiske

Fallstudier eller andra undersökningar av värmeuttagens inverkan på fisk eller fiske har inte genomförts. Litteraturstudier visar att födointag och tillväxt för varmvattensanpassade arter som abborre, mört och braxen är mycket låg inom temperaturintervallet 0 - 8°C jämfört med vid högre temperaturer.

En ytterligare temperatursänkning inom detta intervall vid värmeuttag spelar därför sannolikt inte någon större roll för den årliga tillväxten hos dessa arter. För mer kallvattensanpassade arter som öring, sik, siklöja, röding och lake skulle påverkan kunna bli större. För alla arter kan en temperatursänkning från 4 till 0°C under islägningsperioden förmodas komma att minska aktiviteten och födointaget. Även om detta ur fiskens synpunkt har liten betydelse kan det möjligen minska utbytet av fiske under vintern.

Stora värmeuttag under höst och vår kan medföra en liten förskjutning av avkylnings- respektive uppvärmningsförloppen. Detta kan leda till att den stimbildning som sker för vissa fiskarter under hösten tidigarelägges något, liksom lekperioden för höst- och vinterlekande arter såsom sik, siklöja, öring och lake.

Toleransområden för lyckosam lek och äggutveckling är snävare än fiskens eget toleransområde. För lake har visats att överlevnad av embryo är mycket högre vid 4 än vid 0 och 8°C. Abborrägg överlever bäst vid 8 - 11°C. Tiden från det rom läggs till den kläcks är starkt temperaturberoende. För höstlekande arter kan därför rommens kläckning fördröjas och dess överlevnad minska vid temperatursänkning under vintern.

När det gäller arters förmåga att bilda bestånd i ett vatten har sänkningen av vintertemperaturen på grund av värmeutvinning ringa betydelse. Undantag kan vara arter som befinner sig på gränsen av sitt utbredningsområde, till exempel groplöjan i Skåne eller abborre och mört i vatten i kanten av fjällkedjan.

Sammanfattningsvis kan konstateras, att en allmän temperatursänkning inom intervallet 0 - 4°C under vinterperioden kan bedömas få relativt små effekter på fisken. Vid en temperatursänkning minskar dock fiskens aktivitet om den inte söker sig till varmare platser. Utbytet av vinterfiske kan därigenom förväntas minska. En mera påtaglig inverkan på fiskbestånden skulle kunna erhållas om värmeuttaget medför förändringar av vattenkvaliteten i stort, till exempel i form av bättre syreförhållanden.

Övriga miljöeffekter

Effekter av sänkt vattentemperatur på bottenfauna, vegetation och sediment är i tillämpliga delar likartade som vid värmeuttag med slutna system och beskrivs närmare i nästa kapitel.

För planktoniska organismer som lever fritt i vattnet är, förutom påverkan av sänkt temperatur, direkta mekaniska effekter vid passage av pumpar och värmväxlare den största potentiella faran.

Eftersom planktonorganismer har en förhållandevis snabb generationstid torde effekterna bli märkbara först vid värmeuttag som omsätter en stor del av vattenområdets volym årligen. Om en stor del av de planktoniska organismerna skulle elimineras, kan detta få märkbara effekter på vattenområdets kvalitet.

En påtaglig effekt som uppstått vid anläggningar i drift är vaktbildning eller isförsvagning utanför utsläppet. Denna olägenhet bör kunna minskas genom utsläpp i strandkanten med lämplig utformning.

11.4 Miljömässiga begränsningar - intressekonflikter

Nedkylningseffekter och ändrad vattenkvalitet på grund av värmeuttag med öppna system kan spridas över långa avstånd. Eventuella intressekonflikter berör därför i regel hela den aktuella sjön eller vattenområdet och uttagets storlek måste bedömas i relation till områdets totala kapacitet som värmekälla.

De tekniska begränsningar som ges av att intagstemperaturen skall vara minst omkring 2°C och utsläppstemperaturen några tiondels grader över fryspunkten torde i allmänhet vara avgörande för hur stora värmeuttag som kan göras. Risken för negativa miljöeffekter torde i allmänhet inte motivera någon hårdare inskränkning. Utvecklingen av effektivare uttagssystem kan dock leda till behov av en mera strikt reglering ur miljösynpunkt.

Intressekonflikter bedöms kunna uppstå gentemot fritidsfiskeintressen, om en sänkt temperatur leder till ett mindre utbyte av vinterfisket. Förbättrade syreförhållanden till följd av värmeuttaget kan däremot i vissa vattenområden få en positiv inverkan på fisket. Dessutom kommer ett varmt bottenkikt att kunna kvarstå under hela vintern.

I vissa fall kan värmeuttaget leda till konflikt med vattentäktintressen om vatten av sämre kvalitet inlagras på intagnivån för råvattnet. Under speciella omständigheter skulle detta kunna ge smak- eller luktförändringar hos vattnet.

11.5 Behov av FoU

Direkta fallstudier av effekterna av värmeuttag med öppna system har hittills endast kunnat göras i liten omfattning på grund av brist på lämpliga anläggningar.

Storleken på de anläggningar som byggs och planeras, samt betydelsen av de vattenområden som påverkas motiverar att miljökonsekvensforskning rörande öppna ytvattenvärmesystem prioriteras.

Flera projekt som berör förutsättningar för och konsekvenser av sådana system pågår. Bland annat studeras värmeomsättning i istäckta sjöar vid Chalmers Tekniska Högskola, avkylning före isläggningen vid SMHI samt temperatureffekter på växtplankton vid Uppsala Universitet. En litteraturstudie av mekaniska effekter på plankton vid passage av pumpar och värmeväxlare pågår vid Vattenbyggnadsbyrån AB.

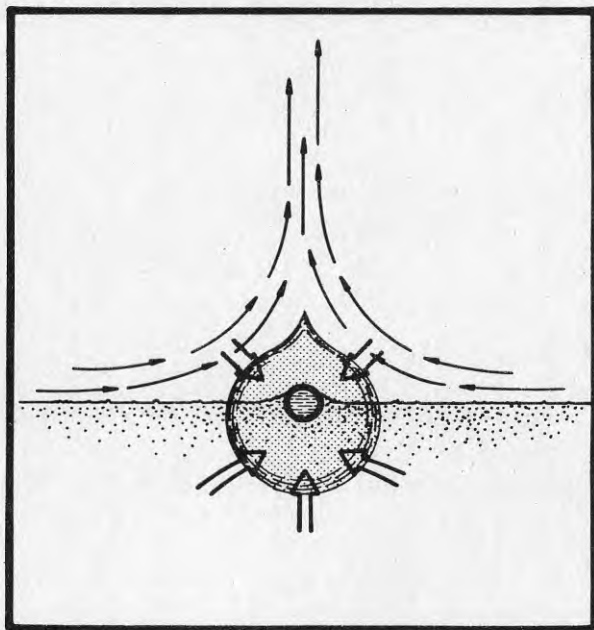
- o Övriga forskningsbehov omfattar i första hand uppföljande undersökningar vid någon större anläggning i drift för att få praktiska erfarenheter av de miljöproblem som kan uppkomma.
- o Konsekvenserna på närsaltförhållandena vid omfördelning av vattenmassor behöver undersökas i begränsad omfattning. Allmänt behövs undersökningar om cirkulations- och spridningsförlopp i istäckta sjöar, så att man kan fastlägga huruvida effekter är lokala eller fördelas över en hel sjö.
- o Det är också önskvärt att effekten på fisk studeras i första hand genom fältuppföljning (provfiske) av fiskens uppträdande och uppehållsplatser i vattenområden där värmeuttag görs.
- o Parallellt med en teknisk utveckling av is-värmepumpar behövs forskning rörande kvittblivning av is, speciellt då spridning under isen i en sjö av producerad is.

12 YTVATTENVÄRME - SLUTNA SYSTEM

12.1 Metod, utvecklingslinjer, tekniska begränsningar

Vid ett slutet ytvattenvärmsystem tas värme upp med hjälp av en värmväxlare som placeras i vattnet eller på botten. Vanligen utgöres värmväxlaren av ett slangsystem av samma typ som vid ytjordvärmsystem placerat på botten av en sjö eller ett vattendrag.

I slangsystemet cirkulerar en köldbärarvätska med lägre temperatur än omgivningen. Värme överförs till den kalla slangen både från vattnet och från omgivande sediment. Vintertid, då vattentemperaturen är lägre än $+4^{\circ}\text{C}$, resulterar kylningen i en stigande kallvattenplym över slangen och en transport av varmare bottenvatten mot densamma. Denna konvektiva värmeöverföring är betydligt effektivare än ren värmeledning varför en placering på botten eller fritt i vattnet i allmänhet är att föredra framför nedsjunkna slangar.



Strömning och ispåfrysning vid en bottenförlagd sjövärmeslang under vintern. Ofyllda pilar markerar värmeledning till slangen.

Vid låg vattentemperatur leder kylningen till isbildning runt slangarna och påfrysningen ökar med sjunkande temperatur och med större nedsjunkning. Isfronten har en förmåga att skjuta undan lösa sediment så att den bildade isen blir klar. Om botten består av sand eller motsvarande fryser sanden in i isen.

Vanligen används polyetenslang (PEL) med dimensionen \emptyset 40/3.6. Typiska värden på värmeupptagning är för denna typ av slang mellan 20 och 40 W/m för vattentemperaturer över 0.5°C . Om grövre slangar används kan ännu högre effekter utvinnas innebärande en ökad diameter på iscylindern runt slangarna.

Rinnande vatten innebär en kraftigt förbättrad värmeöverföring. Slangsystem kan därför användas även i åar och älvar med temperaturer på endast några hundra delar till någon tiondel grad. Sådana kollektorer kan göras kompakta, med slangarna nära varandra.

På grund av isbildningen måste slangsystemen i regel förankras vilket kan ske till exempel genom förankringsdon som sticks ned i botten, eller genom belastning med betongvikter eller singel. Vid utläggning på fasta bottnar kan fastfrysning vid botten påräknas förutsatt att slangen har god anliggning mot denna.

Slutna system har fördelen, jämfört med de öppna, att kunna arbeta vid betydligt lägre temperaturer. De är i gengäld dyrare att bygga och tar stora bottenarealer i anspråk. Försök pågår att utveckla kompaktare konstruktioner som sträcker sig upp i vattnet. En annan typ kan bestå av ett grovt, vertikalt rör, öppet i båda ändarna och med en värmväxlare placerad i den nedre änden. Denna skorstensliknande konstruktion tar in "varmt" bottenvatten och släpper ut det efter avkylning vid ytan. Ur strömningssynpunkt fungerar detta likartat som ett öppet system.

12.2 Naturförutsättningar

Slutna ytvattenvärmesystem är i första hand beroende av vattentemperaturer, bottenförhållanden och strömmar i vattnet (en allmän översikt ges i Svensson m fl 1980).

Temperaturförhållanden och tillgänglig värmemängd behandlas utförligt i kapitel 11. Jämfört med öppna system kan större värmemängd uttas ur en sjö genom att lägre temperatur kan utnyttjas. Även isbildningsvärmets och den extra kylningen av sedimenten invid slangsystemet bidrar till att ett större värmeuttag kan göras ur en sjö med slutet än med öppet system.

En extrem möjlighet är att basera en stor del eller hela värmeuttaget under vintern på frysning runt slangar. Vattentemperaturen utgör då ingen begränsande faktor.

Strömmar i vattnet bidrar till bättre värmeupptagning men innebär också lägre vattentemperatur genom att det strömmande vattnet kyls mot isen. Kraftiga strömmar kan också utgöra en risk för anläggningens bestånd. Speciellt bör ström- och isförhållanden vid vårflod i älvar och åar uppmärksammas. I kanten av stora sjöar och i öppna kustvatten kan vågor ge upphov till starka bottenströmmar ned till ett djup av 5 - 10 m.

För dimensionering av kollektorer och förankringssystem behövs uppgifter om sedimentens mekaniska och termiska egenskaper. Kännedom om sedimenttäcket egenskaper krävs också för den ekologiska konsekvensbedömningen vid värmeuttag, och ger också information om vattenmiljön och dess förändringar.

Avlagringar av sand och grövre material förekommer främst i grunda och exponerade, ofta strandnära vattenmiljöer. Dessa sediment är därför i regel oxiderade, har låg organisk halt och en primärt hög hårdhetsgrad, vilket gör dem väl lämpade som underlag för slangsystem.

På djupare bottenar med mindre vattenrörelser dominerar de finkorniga, vanligen kohesiva, siltiga-leriga avlagringarna. Vid god syretillgång och förekomst av grävande och slamslukande bottenfauna får sedimenten en omrörd så kallad bioturbationsstruktur. Om bottenfaunan är eliminerad eller ringa på grund av syrebrist, ringa primärproduktion eller snabb sedimenttillväxt erhålls en laminerad struktur. Hårdhetsgraden hos sedimenten minskar med en ökande halt av organiskt material på bottenar med snabb sedimenttillväxt. På sådana lösa bottenar får man räkna med att slangarna sjunker ned vilket leder till ökad isbildning och större förankringsbehov.

De termiska egenskaperna hos sedimenten är i första hand beroende av dess vattenhalt samt i viss mån av kvartshalten i mineralkornen. Lösa organiska sediment har i stort sett samma egenskaper som vatten. För en sandbotten kan värmeutbytet mellan vatten och sediment bli ca dubbelt så stort som i motsvarande fall för en gyttjebotten.

12.3 Miljöeffektbeskrivningar - forskningsresultat

Det man vet idag om miljöeffekter av slutna sjövärmesystem baseras i huvudsak på det forskningsprogram som genomförs av forskare från Lunds universitet och Chalmers tekniska högskola vid sjövärmearläggningen för Ö Grevie folkhögskola i Skåne. Preliminära resultat av biologiska studier har redovisats av Leonardsson, (1984) Lessmark (1984) och Jensén (1984). Värmeuttagets termiska påverkan på sjön och botten-sedimenten ges i Svensson, Gustavsson, Lindqvist (1984).

Värmeuttag medelst bottenförlagda slangsystem ger upphov till temperatursänkning i sediment och bottenvatten och kan medföra frysning med åtföljande tining av sediment kring slangarna. Vidare påverkas sedimenten mekaniskt av slangar och förankringsdon och risk föreligger för läckage av köldbärarvätska. Effekter av en sänkt vattentemperatur kan förväntas vara densamma som för öppna sjövärmesystem och beskrivs vad gäller påverkan på fisk i kap. 11.

Temperatursänkning i vattnet på grund av värmeuttag med bottenförlagda slangsystem sker i första hand i vattenvolymen direkt över slangsystemet. I Ö Greviesjön uppmättes under vintern 80/81 en temperatursänkning vid botten av 1°C inom slangområdet jämfört med området utanför. En värmebalans för hela sjön visar att en stor andel av den uttagna värmen måste ha tillförts slangområdet genom utbytesströmning med omgivande varmare, och därmed tyngre, vatten. Ett stort värmeuttag av den typ som görs i Ö Greviesjön ger således upphov till en omfattande vertikal och horisontell vattencirkulation.

Temperatursänkning i sedimenten betingas dels av en eventuell allmän vattentemperatursänkning vid botten och dels av lokal kylning runt varje slang. Temperatursänkningen medför, att de kemiska och biologiska processernas aktivitet avtar. Detta medför långsammare nedbrytning av det organiska materialet, minskad syretäring och långsammare frigöring av närsalter. Dessa effekter förväntas dock totalt sett, beräknade på årsbudgetbasis, bli relativt ringa och föga påverka transporten från sediment till vatten.

Större miljöeffekter kan värmeuttaget förväntas få då det medför frysning av bottenmaterialet kring slangarna. Genom frys försök i laboratorier och observationer i fält har dock konstaterats av vissa typer av sediment inte fryser in i isen runt slangarna utan skjuts undan av isfronten (Lessmark 1984). Härigenom filtreras vatten genom sedimenten. Denna vattentransport medför ett ökat utläckage av till exempel fosfor och kväve till det fria vattnet. Beroende på sedimenttyp får man dock olika stort utläckage. När närsalthalterna i vattnet är höga sker för en del typer av sediment en nettotransport av fosfor från vatten till sediment.

Då endast en begränsad del av de totala bottenytorna berörs av ett sedimentvärmeuttag kommer ökningen av fosforutflödet, i den omfattning som uppmätts i laboratorieförsök, att ha en ringa betydelse för den totala interna fosforbelastningen i sjöar.

Vid utplacering av slangar och förankringsdon kan miljöeffekter erhållas på grund av uppvirvling och omrörning av bottenmaterial. Dessa effekter är till stor del av engångskaraktär och kan jämföras med muddring eller annat arbete i vatten.

Bottenorganismer

Litteraturuppgifter indikerar, att låg temperatur och frysning i sediment kan påverka faktorer som tillväxt och överlevnad hos bottendjur samt, vad gäller vattenlevande insekter med larvstadium i bottarna, larvstadiets varaktighet, viloperiodens längd, förpuppning samt de vuxna individernas kroppsstorlek, vikt och reproduktionskapacitet.

Man kan dessutom möjligen vänta, att förändringar i sedimentens textur på grund av frysning, inverkar på såväl mikrobers som större organismers levnadsbetingelser.

Konstaterade effekter har varit en minskning av ammoniumhalten i sedimenten inom slangområdet vilket tyder på en minskad mikrobiell aktivitet. Även antalet bottendjur har minskat inom slangområdet men å andra sida har individerna blivit större. Den minskade mikrobiella aktiviteten och minskningen i antalet bottendjur kan på sikt möjligen ha viss betydelse för nedbrytningen av sedimenterat material i de ytor som påverkas, men den totala påverkan, också i en sjö med stort värmeuttag, synes dock bli tämligen liten.

Vattenväxter

Den högre vegetationen skulle kunna tänkas påverkas bland annat mekaniskt vid nedläggning av slangsystemen och genom frysrörelser i sedimenten runt dessa. Vidare kan temperatur-sänkningen och förändringar i sjöns vattenrörelser och ämnesomsättning påverka frö- och groddbildning samt tillväxt av vattenväxter.

Påverkan på den högre vegetationen skulle i sin tur, om den är av stor omfattning, kunna vara av betydelse för till exempel fisk genom att tillgång på bytesdjur och uppehållsplatser minskar. Samtidigt kan man också tänka sig att en eliminering av viss vattenvegetation skulle ha en positiv effekt på olika former av mänskligt utnyttjande av det påverkade vattenområdet.

Det är ännu för tidigt att uttala sig om vilka effekter värmeutvinning har på vegetationen med utgångspunkt från de undersökningar som genomförts. Man har dock konstaterat att den dominerande undervattensväxten i Ö Greviejön, Hornsärsviken (Ceratophyllum demersum), vilken tidigare täckt större delen av sjön, efter ett års värmeuttag har försvunnit nästan helt inom slangområdet. Även vid andra anläggningar har man kunnat se vissa effekter på vegetationen invid slangarna.

Vattenkemi och plankton

Inga sekundära effekter av värmeutvinningen på vattenkemi växt- och djurplankton har kunnat konstateras vid undersökningarna i Ö Greviesjön. Förhållanden i sjöns vattenmassa förefaller ej att påverkas inom den tidsrymd som kunnat överblickas i genomförda undersökningar.

12.4 Miljömässiga begränsningar - intressekonflikter

Värme Kollektorer i form av bottenförlagda slangsystem är utrymmeskrävande och relativt känsliga för mekanisk åverkan till exempel av fiskekrokar och båtankare. Området bör därför avlysas för fiske och båtförtöjning vilket kan leda till konflikter med fritidsintressen. Fritidsfiskeintressen kan också påverkas negativt av en sänkt vintertemperatur i vattnet (jfr. kap. 11).

I de fall en sjö används som vattentäkt kan risken för utläckande köldbärrävska utgöra en konfliktrisk.

Utveckling av mera kompakta kollektorer minskar konflikter med friluftslivets intressen medan de övriga intressemot-sättningarna kvarstår.

12.5 Behov av FoU

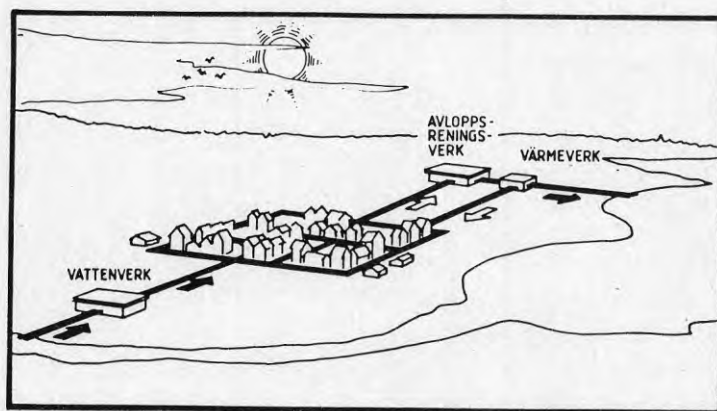
Miljöeffekterna vid bottenförlagda slangsystem är förhållandevis väl dokumenterade. En fortsatt uppföljning i begränsad omfattning, innefattande anläggningar i olika sjötyper, är dock motiverad och har påbörjats vid Lunds Universitet. Det finns också anledning att följa utvecklingen av nya kollektorsystem och bedöma om nya typer av miljöproblem kan uppkomma med dessa.

13 SPILLVATTENVÄRME

13.1 Metod

Kommunalt avloppsvatten innehåller betydande energimängder som i växlande utsträckning tas i anspråk som värmekälla. Spillvattnet kyls i regel till som lägst 3 - 4⁰C i värmepumpens förångare, men i vissa fall används samma typ av förångare som i öppna ytvattenvärmesystem så att vattnet kan kylas till 0,5⁰C. Temperaturreduktionen blir på vintern som regel 6 - 8⁰C och mindre på sommaren då värmebehovet är lägre.

För att inte försämra det biologiska stegets funktion i reningsverket brukar värme uttas ur från reningsverket utgående vatten. Vid stora reningsverk kan man arbeta med effekter på 10 MW eller mera. Det förekommer också att en mindre del av den tillgängliga värmen tas ut ur orenat avloppsvatten längs ledningsnätet.



Spillvärmesystem för kommunalt avloppsvatten.

13.2 Miljöeffekter

Inga vetenskapliga undersökningar har gjorts rörande värmeuttagets inverkan på recipienten, men miljökonsekvensbedömningar har gjorts i samband med planering och tillståndsprövning för större anläggningar.

Värmeuttaget leder till att temperaturen hos det utsläppta avloppsvattnet under vintern bättre kommer att överensstämma med recipienttemperaturen. Man kan därigenom säga att man tar bort en värmeförorening. Sommartid får man en nedkylning som kan innebära en märkbar temperatursänkning vid utsläpp i små vattendrag. Vid utsläpp i sjöar skulle värmeuttaget kunna leda till att avloppsplymen vid utsläppet bildar ett bottenskikt och får en sämre initieell omblandning än normalt. Inblandningen av avloppsvattnet i recipienten kan dock styras om hänsyn tas till utgående spillvattentemperatur vid dimensionering av utsläppsanordningen. Även en befarad temperatursänkning i små vattendrag kan undvikas om det avkylda spillvattnet kvarhålls under ett eller flera dygn i någon form av dammar. Så har man till exempel gjort vid reningsverket i Lund.

Genom värmeuttaget förändras avloppsvattnets inlagringsdjup i sjöar på ett för recipienten troligen positivt sätt. Under sommaren kommer avloppsvattnet att inlagras på större djup än normalt och därmed reduceras transporten av närsalter och bakterier till ytskiktet. Under vintern inlagras vattnet ytligare vilket innebär att avloppsvattnets primära syretäring kommer att ske där det finns god tillgång på syre. Syresituationen i bottenvattnet kan härigenom komma att förbättras.

Vid utsläpp i salthaltsskiktade kustvattenrecipienter kommer avloppsvattnet efter värmeuttag att inskiktas på ett något större djup än tidigare. Utspädningen på inlagringsnivån blir då sämre. Utspädningsgraden vid ytan torde dock inte komma att förändras nämnvärt.

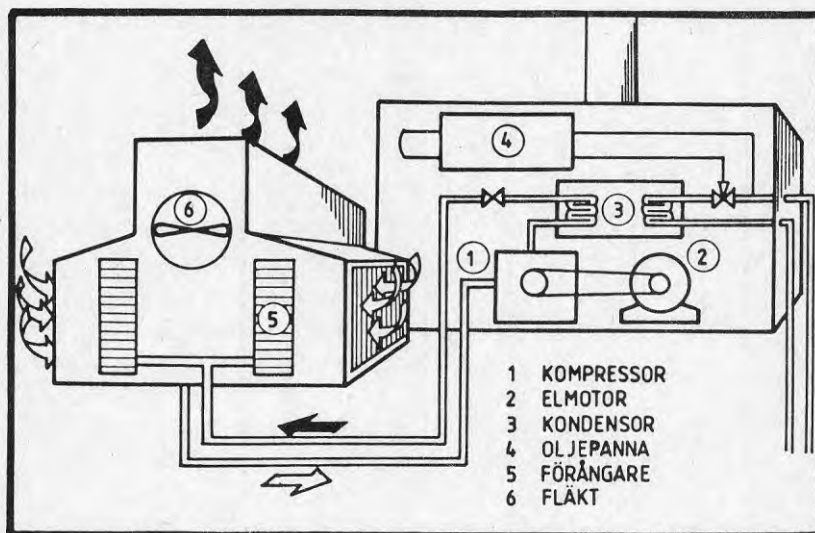
13.3 Behov av FoU

- o Uppföljning av temperaturpåverkan och biologiska effekter och påverkan bör ske vid anläggningar där utsläppet görs i en liten recipient med låg vattenföring.

14 LUFTVÄRME

14.1 Metod - tekniska begränsningar

Av landets ca 1.6 miljoner småhus är ca 900 000 oljeuppvärmda. I allmänhet är värmeanläggningarna i dessa hus konstruerade så att de kan kompletteras eller ersättas med värmepumpar. Den typiska luftvillavärmepumpen placeras utomhus intill en yttervägg. Med en fläkt sugas luft genom förångaren och kyls där några grader samtidigt som kondensvatten utfälls. Vid låga temperaturer måste flänsbatterierna avfrostas, varvid is och vatten måste tas omhand.



Principlösning för en stor luftvärmepump.

En värmepump som arbetar med uteluft som värmekälla avger lägre effekt med sjunkande utomhustemperatur. Vid en viss temperatur som bestäms av husets värmebehov och värmepumpens storlek, krävs tillsatsvärme från befintlig olje- eller elanläggning. Denna temperatur brukar ligga kring -5°C . Vid en ytterligare lägre temperatur, exempelvis -15°C , stoppas värmepumpen.

Istället för att luften fläktas förbi förångaren, finns det i vissa system vindkonvektorer som monteras under takfoten eller på annat lämpligt ställe. I konvektorerna cirkulerar en saltlösning (slutet system) som för den upptagna värmen in i huset till värmepumpens förångardel. Även här är det viktigt att kontrollera is och vatten från avfrostning och kondens.

Det finns erfarenheter från att ersätta olja vid befintliga panncentraler med luft-vattenvärmepumpar. För att få en acceptabel ekonomi vid införande av sådana system är det viktigt att välja rätt effekt-storlek. Ett medelstort system som provats på flera platser i Sverige består av två förångarbatterier med fläktar och en container innehållande pumpar, kompressorer, automatiskåp och kondensorer. I containern placeras även utrustning för tappvarmvatten, dvs förrådstank, värmväxlare och cirkulationspump. Containern är försedd med ljudabsorberande material.

Värmepumpen är avsedd att samköras med oljepannan, då värmepumpens avgivna effekt underskrider förbrukarens behov. Vid lägre temperaturer, exempelvis -7°C , stängs värmepumpen av och oljepannan sköter ensam om värmeproduktionen. Avfrostningen är tidsstyrd för olika temperaturområden. För mindre anläggningar finns även system med vindkonvektorer. Dessa eliminerar behovet av fläktar som dels kan ge bullerstörningar dels kräver energi.

Erfarenheterna från stora luftvärmepumpar (> 1 MW) är mycket begränsade då de första tagits i drift under senhösten 1983 och ytterligare en eller två kommer i drift under 1984. Anläggningarna består av flera förångarelement kopplade till ett gemensamt avspänningskärl. Luftfläktarna blir stora, diameter 2 - 2.5 meter, och som tidigare nämnts, blir den hanterade luftmängden också stor. Temperaturen sänks 5 - 7°C vid passage av förångarna. I allmänhet finns inga extra ljuddämpande åtgärder. Utsläppen av kallluft sker ca 10 meter ovan markytan och täcker en relativt stor yta. För ett av systemen är utsläppsspalten 30 meter lång och 4 meter bred.

14.2 Miljöeffektbeskrivning - forskningsresultat

Luftvärmepumpar lokaliseras ofta i omedelbar anslutning till bebyggelsen. Målinriktade studier av effekter på miljön finns endast i begränsad omfattning och av de stora systemen har idag endast någon anläggning tagits i drift, varför det är svårt att bedöma vilka påtagliga effekter som uppkommer. De problemområden som aktualiserats berör bullerfrågor, lokalklimat och i viss mån freonutsläpp. Fläktsystem och värmväxlare för luft är dock etablerad teknik, varför erfarenheter från sådana i viss utsträckning torde kunna överföras till värmepumpar.

Buller från fläktar utgör ett observerat problem även vid villavärmepumpar och medelstora system. Det är svårt att klara normerna, vid pumparnas placering i omedelbar närhet av hus eller husgrupper. Det har även påpekats att lågfrekvent fläktbuller kan upplevas störande och att dB(A)-skalan ger ett missvisande lågt värde för denna typ av buller. Bullerproblem anses möjliga att bemästra. Det är en teknisk-ekonomisk fråga.

Det är stora luftmängder som kyls ner vid passage av förångarna, i de största systemen, enligt uppgift 1 milj m³/tim. Ur lokalklimatsynpunkt kan därför i första hand vissa temperaturförändringar befaras.

SMHI har vid teoretiska beräkningar för en stor värmepump på plan mark kommit fram till att en temperatursänkning av 1 - 2,5°C skulle kunna förekomma på avstånd upp till 100 meter från värmepumpen. Vid mätningar i anslutning till en medelstor värmepump har de ej kunnat konstateras någon temperatursänkning. Erfarenheter från Tyskland pekar på märkbart lägre temperaturer i stråk kring en medelstor värmepump och att inga mätbara temperatursänkningar kan uppmätas 15 meter från en villapump. Vid stabil luftskiktning kan luftomblandning tänkas leda till ökad lufttemperatur nära marken.

Vid mer omväxlande topografi uppkommer vid naturliga förhållanden kallluftsjöar och kallluftsflyden. Tillskott av kallluft kan förstärka dessa. I mer markerade dalstråk kan den utblåsta kallluften då ej lämna dalgången och risken för recirkulation ökar.

Lokala temperatursänkningar ger ökad risk för dimma, frost och halka. Studier utefter en motorväg av yttemperatur, lufttemperatur och luftfuktighet vid en planerad större värmepump har genomförts för att det senare skall vara möjligt att konstatera om några förändringar skett.

Speciellt då luftvärmepumpen samköres med oljepanna under kalla perioder med stabil skiktning finns det risk för nedblandning av rökutsläppen. Luftföroreningssituationen i området kan då försämrats. Detta kan även gälla andra närbelägna föroreningskällor. Kallluftplymens egenskaper är därvid avgörande. Dessa kan även påverka vindförhållandena så att exempelvis högre vindhastigheter än normalt för vädersituationen uppträder i markplanet.

Det har påpekats från flera håll att de stora freonmängder som hanteras kan utgöra ett problem. Systemen ger stora läckmöjligheter, vilket är speciellt tydligt för luftvärmepumpar, då stora volymer freon pumpas runt i de stora förångarbatterierna.

14.3 Miljömässiga begränsningar

Lokaliseringen av värmepumpar tätt inpå eller i bebyggelse utgör ett problem. Om en relativt stor luftvärmepump placeras vid en panncentral mitt inne i etablerad koncentrerad bebyggelse är det uppenbart att de stora fläktsystemen kan orsaka buller som är oacceptabelt eller ligger på gränsen till att vara acceptabelt. På samma sätt är det naturligt att hantering och nedkylning av stora luftvolymmer ger anledning till oro. Ersätts en värmeeffekt i centrum av en bebyggelsekoncentration av kallare vindar eller lokala kallluftsfickor är det uppenbart att de ur energisynpunkt positiva effekterna av luftvärmepumpen åtminstone lokalt motverkas. Risken för recirkulation ökar om värmepumpen omges av högre tätare bebyggelse, liksom i vissa topografiska lägen. Även komforten påverkas. I något fall har de närboendes reaktion mot en planerad värmepump varit så kraftig att projekteringen startats med viss tvekan och efter försening. Statens Vägverk har också sett problem i etablerandet av stora luftvärmepumpar nära större vägar, eftersom ökad halkrisk befaras.

Vid drift av små och medelstora luftvärmepumpar har klagomål beträffande bullerstörningar kunnat noteras i ett flertal fall. Detta behöver ej vara något problem om förångarna ljuddämpas och lågvarviga fläktar användes. Det har påtalats att med hänsyn till osäkerheten i produktdata och beräkningsmetoder bör bullerdämpande åtgärder utformas för att ge 5 - 10 dB(A) lägre nivå än angivna normer. För villavärmepumpar kan sänkt varvtal ge minskade bullerproblem, men då blir driftekonomin sämre.

När tillräckliga driftserfarenheter finns för luftvärmepumpar och då forskningsresultat rörande miljökonsekvenser börjar föreligga är det en angelägen uppgift att utarbeta underlag till riktlinjer för lokalisering av nya anläggningar. Det kan exempelvis visa sig vara olämpligt att ansluta luftvärmepumpar till panncentraler i visst topografiskt läge eller med speciell omgivande byggnadsstruktur.

14.4 Behov av FoU

På grund av att teknikområdet är relativt nytt inom naturvärme-systemen erfordras grundläggande studier av såväl buller som lokalklimatmiljön.

- o Kontrollprogram för bulleremission. Ett sådant pågår men flera kan behövas. Mätningarna måste göras allsidigt och vid olika driftfall och väderlekssituationer. Använd metodik analyseras.
- o Utveckling av modeller för bullerspridning anpassade till luftvärmepumpar. Inventering av befintliga modeller och utgående därifrån analys av mätbehov för utveckling av modeller. Detta gäller främst för stora och medelstora anläggningar.
- o Utredning av vilka kriterier som är användbara för att bestämma bullerstörningar från luftvärmepumpar. Det bullret har en stor del av sin energi i frekvensband under 1 kHz, alltså i det område där dB(A)-skalan tar allt mindre hänsyn till de lägre frekvensernas bidrag till totalvärdet. Riktigheten i detta är ifrågasatt.
- o Pilotstudier vid några stora och medelstora anläggningar, eventuellt även vid några villavärmepumpar. Eftersom det endast finns få observationer av eventuella lokalklimatförändringar i anslutning till luftvärmepumpar och de stora anläggningarna först nu kommer i drift finns det anledning att genomföra studier som syftar till att översiktligt utreda störningar av lokalklimatmiljön. Det gäller direkta temperaturförändringar, men även de som påverkats av topografi och bebyggelse, med eventuella följd effekter (dimma, halkrisk, frost). Speciellt uppmärksammas genererade kalla vindstråk och högre vindhastighet.
- o Ett ekologiskt inriktat projekt kan övervägas om exempelvis nedkylningseffekterna visar sig vara så stora att påverkan på växter och djur kan befaras.

15 JÄMFÖRANDE BEDÖMNINGAR

15.1 Jämförelse mellan olika naturvärmekällor

Ingen av de tekniker som utvecklats för att utvinna naturvärme synes ge miljöeffekter som bör leda till allvarliga inskränkningar i systemens tillämpning. Givetvis förutsätter detta att de lokala förutsättningarna för respektive system är lämpliga och tillräckligt väl kända, samt att dimensionering och utförande av värmeuttaget görs på ett korrekt sätt. De effekter som redovisats i kapitel 5 - 14 för de olika systemen är emellertid av olika karaktär och kan vara olika relevanta på olika platser. I de fall man kan välja mellan olika värmekällor kan miljöaspekter vägas in och hänsyn tas till hur skyddsvärda eller känsliga de aktuella miljöavsnitten är.

En kvalitativ beskrivning av systemens egenskaper och problem ges i följande tabeller, vilka kan tjäna som en översiktlig vägledning vid jämförelse mellan systemen. Beskrivningen blir av naturliga skäl något subjektiv och kraftigt generaliserad. Det måste betonas att de lokala förutsättningarna i varje enskilt fall spelar en avgörande roll.

Bergvärmekniken synes ge förhållandevis små problem vid enstaka anläggningar, medan en mera allmän tillämpning med tätt placerade hål på sikt leder till nedkylning, och utgör hinder för annat undermarksbyggande. Största problemet är risken för läckage av köldbärande vätska vilken kan medföra vissa restriktioner vid lokalisering i närheten av vattentäkt. Läckagerisken är emellertid liten för bergvärme och ett läckage kan tämligen enkelt saneras.

I förhållande till bergvärme medför ytjordvärme något större miljöpåverkan. Dels medför värmeuttaget en viss påverkan på växter och markorganismer inom slangområdet, dels är risken för läckage något större än för bergvärme. Effekterna blir emellertid normalt lokalt begränsade, speciellt i lerjord, och uppträder på ägarens egen mark. De flesta läckage av köldbärande vätska är små. Risken för stora läckage kan minimeras genom tekniska åtgärder, lokalisering m m.

Värmeutvinning ur vatten, såväl grundvatten som ytvatten, medför att miljöeffekter sprider sig över en större yta. Värme-källans storlek och vattnets rörelse i förhållande till värme-uttagets storlek avgör om några märkbara temperatureffekter kommer att uppstå.

Grundvattenvärme kan i vissa fall medföra kvalitetsförändringar på grundvattnet och igensättningsproblem till följd av kemiska utfällningar. Utnyttjas saltrikt grundvatten kan problem upp-komma vid utsläpp till ytvatten.

Stora värmeuttag ur ytvatten med öppna system kommer i många fall att kunna göras helt utan märkbar miljöpåverkan. I andra fall medför värmekällans begränsade storlek och vattenkvalitet att flera olika effekter kan uppstå. Individuella bedömningar behöver göras. De praktiska erfarenheterna är ännu begränsade.

Värmeutvinning med slutna system medför liknande miljökonse-kvenser som vid öppna system. Dessutom kan lokala effekter på växter och djur uppträda i slangområdet och läckage av köld-bärarvätska inträffa. Ett läckage i ett ytvatten bedöms dock vara ett mindre problem än i mark genom att förutsättningarna för utspädning och nedbrytning är bättre.

Sammantaget betyder detta att med riktig lokalisering, dimen-sionering och tekniskt utförande kan samtliga tekniker till-lämpas utan att nämnvärda miljökonsekvenser uppstår. Det är varken meningsfullt eller möjligt att göra någon närmare rang-ordning av de olika teknikerna ur miljösynpunkt, utan de lokala förhållandena är avgörande för hur mycket värme som kan utvinnas utan problem med en viss teknik. Lokaliseringen skall ske med hänsyn till konkurrerande intressen såsom vattenförsörjning, naturvård, andra värmeuttag etc. Dimensioneringen skall göras med hänsyn till värmekällans storlek och de miljökonsekvenser ett uttag av aktuell storlek kan medföra. Det tekniska ut-förandet skall vara sådant att risken för läckage och andra haverier minimeras. De inskränkningar som detta medför bör endast i mindre omfattning begränsa tillämpningen av natur-värmesystem.

	Ytjordvärme	Grundvatten- värme	Bergvärme	Ytvatten öppna system	Ytvatten Slutna system
Undersökning för dimensionering	Jordarter vattenhalt	Hydrogeologi, propumpning, vattenkemi	Bergart, värmeledningsförmåga	Temperatur, vattenvolymer	Temperatur, bottenförhållanden
Anläggnings- teknik	Känd Risk för markskador	Konventionell brunnsteknik	Konventionell borrhning	Intag och utsläpp bör utprovas	Förankringsmetoder
Driftproblem	Läckage	Igensättning Korrosion	Små	Låg temperatur Korrosion	Skador Läckage
Miljöpåverkan	Läckage Vegetationspåverkan	Ändrad grundvattenkvalitet Ytvattenpåverkan	Liten	Ändrad närings- och syrebalans	Bottenfauna och vegetation invid slangar
Konkurrerande intressen	Mark för bygelse Vattenförsörjning	Vattenförsörjning	Undermarksbyggande	Vattenförsörjning Fiske	
Folj-behov	Köldbärrare Praktisk dimensionering. Skonsam anläggningsteknik	Driftuppföljning Vattenkemi	Näralliggande hål Frysning och återladdning		Ekologisk uppföljning Sjötemperatur och värmeomsättning. Isvärmsystem

Jämförelse mellan olika naturvärmsystem.

Bild E.

	Bergtrum	Borrhålslager i berg	Slangsystem i jord	Akviferlager
Undersökning för dimensionering	Bergart, Sprick-system, Hydrogeologi	Bergart, Sprick-system, Hydrogeologi	Jordarter, vattenhalt geoteknik	Hydrogeologi, geologi
Anläggningsteknik	Känd. Bergrums-byggnade	Känd Bergborrning	Känd	Känd brunnsteknik
Driftproblem	Kemiska utfällningar Temperaturskiktning	Kemiska utfällningar Fördelning av flöden	Läckage Fördelning av flöden	Igensättningar Korrosion
Miljöpåverkan	Lokal temperatur-höjning	Lokal temperatur-höjning Byggnadsarbeten	Vegetationsskador Sättningar	Liten
Konkurrerande intressen	Mark för upplag	Byggnad	Byggnad	Vattenförsörjning
FoU-behov	Miljöstörningar kring äldre bergtrum Kostnadssänkning	Driftuppföljning Kostnadssänkning	Driftuppföljning Sättningar Torvens egenskaper	Igensättningar Driftuppföljning Termohydraulik

Jämförelse mellan olika värmelagringssystem.

15.2 Jämförande bedömning av total miljöpåverkan av naturvärmesystem och alternativa framtida uppvärmningssystem

Energianvändningen för uppvärmning genomgår för närvarande en mycket snabb och omfattande omstrukturering. Från att ha varit baserad nästan uteslutande på oljeeldning finns ett antal alternativa utvecklingslinjer som konkurrerar om marknaden. Därtill kommer effekten av tilläggsisolering och andra besparingsåtgärder vilket gör att behovet av energitillförsel för uppvärmning minskar.

De energiprognoser som gjorts (Energi 85, Energikommittén Ek 81:04) pekar på att flera olika uppvärmningsformer kommer att bli konkurrenskraftiga inom olika marknadsområden. Det framtida uppvärmningssystemet förutses innefatta elvärme, värmepumpar, enskilda pannor och gruppcentraler vilka eldas med inhemska bränslen samt fjärrvärme baserad på kol, inhemska bränslen och värmepumpar.

En generell bedömning av de totala miljökonsekvenserna av en större utbyggnad av naturvärmesystem kräver att alla direkta och indirekta miljöeffekter av dessa och de energiformer som de skall ersätta värderas. För naturvärmesystemens vidkommande finns indirekta miljöeffekter förknippade med elanvändningen. Den totala elanvändningen inom uppvärmningssektorn blir dock relativt opåverkad av andelen värmepumpar då dessa till viss del ersätter direkt eluppvärmning (Energi 85). Vid en jämförelse av de totala miljöeffekterna mellan framtida uppvärmningssystem, som innehåller större eller mindre andel värmepumpsystem, kan man därför bortse från elproduktionens miljöeffekter, vilka blir likartade i de olika fallen. Jämförelsen bör göras mellan effekterna av å ena sidan värmeuttag och värmepumpsdrift och å andra sidan värme- och värmekraftproduktion med fasta bränslen i större och mindre anläggningar.

Generella jämförelser måste alltid omges av vissa reservationer eftersom effekterna är av olika typ och fördelas olika i tid och rum. Olika grupper av människor och olika miljöavsnitt kommer därvid att påverkas på skilda sätt. Värderingen styrs också av attityder och subjektiva upplevelser, vilka i allmänhet torde gynna användningen av lokala och förnybara energikällor.

De problem som är förknippade med förbränning av bränslen har utförligt beskrivits i EK 81 (DsI 1983:16) och utgöres bland annat av försurning, hälsoeffekter, landskapspåverkan och korrosionsskador. Vid sidan av dessa framstår den miljöpåverkan som vi kunnat finna för naturvärmesystemen som liten, förutsatt att systemen är rätt dimensionerade och utformade. Det är därför gruppens uppfattning att den totala miljöbelastningen minskar med en ökad andel naturvärme i det svenska energisystemet. Med andra ord kan man betrakta naturvärmesystem som den mest miljövänliga av de uppvärmningsformer som står till buds för en storskalig tillämpning i framtiden.

16 PAGAENDE FORSKNINGSPROJEKT

Sammanställningen avser bidrag till pågående FoU-projekt där bl.a. miljöeffekter studeras och som BFR beviljat t.o.m. 1984-06-30.

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare
791305-0	Värmelagring i mark. Teoretiska analyser och beräkningar samt modeller.	Johan Claesson LTH
810113-2	Värmelagring i lera - värmeväxling, värmeledning och geoteknisk påverkan.	Ulf Lindblom CTH
810671-8	Värmeöverförande egen- skaper i jord och berg	K Gösta Eriksson CTH
810673-9	Dimensionering av mark- kollektorer för ytjord- värme.	K Gösta Eriksson CTH
811692-7	Fältstudier av ytjord- värmeanläggningar för typgodkännande och dimensioneringsregler.	Douglas Ahlkrona AGA AB
820104-3	Inverkan av värmeuttag på temperatur och cirkula- tionsförhållanden i is- täckta sjöar.	Lars Bengtsson LuTH
820360-1	Ekologiska effekter av ytjordvärmeuttag vid Hacksta. Utvärdering 1982 - 83.	Tryggve Troedsson Sv. Lantbruksuni- versitet

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare
820214-0	Ekologiska effekter på akvatiska växtarter vid energiuttag i sjöar. Fältuppföljning vid Ö Grevie.	Sven Jensén LU
820659-6	Säsongslager av sjövärme för fjärrvärmenät i Kopparberg - mätning. Etapp I.	Hans Gransell Studsvik Energiteknik
820673-5	Säsongslagring av solvärme i bergrum för 550 bostäder - utvärdering av solvärme-central Lyckebo, Uppsala.	Göran Rehbinder BeFo
820892-6	Vegetationspåverkan vid värmelagring i lera i Kungälv.	Pär Söderblom Landskapsarkitekterna Söderblom - Palm.
821089-7	Igensättningsproblem i grundvattenvärmepumpsystem.	Gunnar Gustafsson VIAK AB
8221398-9	Termiska analyser och modeller för markvärme.	Johan Claesson LTH
821546-8	Miljöförändringar vid värmeutvinning ur grundvatten.	Gert Knutsson KTH
821703-1	Grundvattenvärmeanläggning med gemensam brunn och återföring av vatten, Malmö - driftuppföljning.	Olof Andersson VIAK AB

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare
821763-7	Solvärmelagring med höga temperaturer i lera för radhus i Kullavik. Mätning och utvärdering.	Stefan Olsson Eksta Bostadsstiftelse
830337-1	Korrosionsförsök med rörmaterial i värmväxlare till värmepumpar med avloppsvatten som värmekälla.	Per Almqvist AB Svarthålforsen
830364-8	Temperatur och värmeomsättning i sjöar under vintern.	Torbjörn Svensson CTH
830794-0	Modell för beräkning av vertikal temperaturfördelning och värmeinnehåll i sjöar utifrån väderdata.	Jörgen Sahlberg SMHI
830858-0	Bulleremission från 8 större värmepumpanläggningar - mätning och utvärdering.	Johnny Andersson Scandiaconsult AB
830860-7	Uteluft och grundvattenvärmepump i befintlig gruppcentral för 720 lägenheter i Hällbybrunn, Eskilstuna - utvärdering.	Johnny Andersson Scandiaconsult AB
831057-8	Köldbärare i värmepumps - och värmeåtervinningssystem - Handbok.	Lars Ljung AIB
831259-3	Arbetsmiljöproblem med freoner i värmepumpar.	Rune Engzell VBB AB

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare
831294-0	Dokumentation av vegetation på värmelagret i Lyckebo, Uppsala.	Ake Nordkvist Firma Markplan
831562-3	Teknik för borrning av värmelager.	Sven Granholm LuTH
840075-4	Luftvärmepumpar inom bostadsområde i Varberg - lågfrekvent bullermätning.	Sven Olof Bensegård Ingemanssons Ing byrå
840184-2	Påverkan på zooplankton vid passage genom värmepump - litteraturstudie.	Dick Johansson VBB AB
840508-5	Stora luftvärmepumpars inverkan på lokalklimatet. - Pilotstudie	Björn Holmer BERAB
840553-2	Erfarenheter från några stora ytjordvärmesystem.	Jan Sandberg CTH
840562-8	Nedbrytning av glykoler i i värmepump och solfångarsystem. Förstudie.	Lars Cedheim Statens Provningsanstalt.

17 RAPPORTER OCH REFERENSER

17.1 Allmänt

Värme i jord, berg och vatten.

BFR T1:1981.

Miljökonsekvenser vid värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten. BFR T23:1981

Bergvärme, grundvattenvärme och geotermi. BFR-seminarium mars 1982. BFR R130:1982

Sjövärmesystem. BFR-seminarium mars 1982.

BFR R143:1982.

Att utvinna och lagra värme i mark och vatten.

Metodik för inventering och redovisning av naturvärme-förutsättningar. BFR T42:1982.

Ytjordvärme - markkolektorer. BFR-seminarium mars 1982.

BFR R37:1983.

Miljökonsekvenser av värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten. Förslag till forskningsprogram. BFR G2:1983.

Juridiska frågor vid utvinning av värme ur mark och vatten.

BFR-seminarium oktober 1982. BFR R74:1983.

Högtemperaturlagring under mark. BFR-seminarium december 1982.

BFR R194:1983.

Miljöeffekter vid naturvärmesystem. BFR-seminarium oktober 1983.

BFR R60:1984.

Markvärme. Utvinning och lagring. BFR:s markvärmegrupp.

BFR G4:1984.

Värmeutvinning ur mark, vatten och luft. Miljövänlig om den görs rätt. Meddelande SNV PM 1833, 1984.

Energi 85. Energianvändning i bebyggelse. BFR G26:1984.

Ek 81. Miljö- och hälsoeffekter av framtida uppvärmningssystem.

Rapport till 1981 års energikommité. Ds I 1983:16.

Brink R., Tullberg H. Att utvinna och lagra värme i mark och vatten - juridiska aspekter. BFR T44:1982.

Claesson J, Eftring B. 1982: Markvärmesystems påverkan på temperaturen nära markytan. Institutionen för matematisk fysik LTH. Lund aug. 1982.

Claesson J, Eftring B, Eskilsson P, Hellström G, 1983. Markvärme, en handbok om termiska analyser. Lunds Tekniska Högskola, institutionen för Matematisk Fysik.

Gustafson G, Norling E. Energigeologisk kartering. Metodstudie. BFR R134:1980.

Hård S. Energigeologisk kartering. Metodik för inventering och redovisning av naturvärme- och markvärmelager. BFR R157:1984.

Poppius H. Villavärmepumpar. Nordisk översikt. Nordiska ministerrådet. BFR T5:1984.

17.2 Köldbärrävskor

Bergknut K 1983. Analyser av dricksvatten från enskilda borrhade brunnar på fastigheterna Berga 1:7, (1:8, 1:11), 1:13, 1:14 och 1:15 i Vallentuna. SLU. Uppsala (Stencil 2 pp).

Coty V.F 1969. A Critical Review of the Utilization of Methane. Global Impacts of Appl. Microbio., 2nd ed. Elmer L. Goden. Interscience Publ. no. 1:105.

Cox D.P. 1978. The biodegradation of polyethylene glycols. Appl. Microbio. 23, 173-194.

Evans W.H. & Dennis A. 1973. Spectrophotometric determination of low levels of mono-, di-, and triethylene glycols in surface waters. Analyst 98. 782-791.

Evans W.H & David, E.J. 1974. Biodegradation of mono-, di-, and trethylene glycols in river waters under controlled laboratory conditions. Water Res. 8, 97-100.

Fincher E.L & Payne, W.J. 1962. Bacterial utilization of ether glycols. Appl. Microbio. 10, 542-547.

Fondelius M. 1982. Mikrobiologiska undersökningar av bensin- och alkoholhaltiga bränslen. Rapp. till AB Drivmedelsteknik.

Haines J.R & Alexander M. 1975. Microbial degradation of polyethylene glycols. *Appl. Microbiol* 29 621-625.

Jones N & Watson K. 1976. Ethylene glycol and polyethylene glycol catabolism by a sewage bacterium. *Biochem. Soc. Trans.* 4, 891-892.

Kawai F. Hanada K. Tani Y. & Ogata, K. 1977. Bacterial degradation of water-insoluble polymer (polypropylene glycol). *J. Ferment. Technol.* 55, 89-96.

De Ley I. & Kersters K. 1964. Oxidation of aliphatic glycols by acetic acid bacteria. *Bacteriol. Rev.* 28. 164.

Liljelund K. 1982a. Översikt av olika köldbärarvätskor för ytjordvärmesystem - sammansättning, egenskaper och användning. SNV, Forskningsavd. (Stencil 31 pp).

Liljelund K. 1982b. Undersökning av toxicitet och nedbrytbarhet vid +6°C i vatten för tre olika köldbärarvätskor. SNV, Forskningsavd. (Stencil 31 pp).

Sommer S. Løkke H. & Helweg A. 1983. Undersøgelse af miljømaessige konsekvenser ved udslip af frostikringsmidler fra vaermeslanger til jordvarme. Miljøstyrelsen, Köpenhamn.

Torstensson L. Köldbärarvätskors nedbrytning och uppträädande i mark. BFR Seminarium okt-83. BFR R60:1984.

Wilson D.W. Miera F.R. Jr 1978. Solar Heating and Cooling Working Fluids Released to the Ecosystem. Departement of Energy 1978. 20 p, contract: W-7405-ENG-36.

17.3 Ytjordvärme

Ahlkrona D. 1983. Fem års fälterfarenhet. Mark och markvärme-kollektorer. I Mogensen, P. (red.). "Ytjordvärme- markkolektorer". BFR R37:1983.

Andersson K A. Ytjordvärme eller direktelvärme? Två års erfarenheter från ett småhusområde i Arvika BFR R45:1981.

Ankargren S. Norin F & Strååt H. Ytjordvärmepump för Hästens fritidsområde i Varberg, Förstudie. BFR R20:1979.

- Berntsson T. Dimensionering av ytjordvärmesystem. Teknik och ekonomi. BFR R53:1980.
- Blomquist N & Jacobson L. Förstudier av byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. Förutsättningar i befintlig bebyggelse. BFR R94:1978.
- Edman J. Isbana som värmekälla för värmepump. Förstudie i Hörby. BFR R157:1980.
- Eléhn G. Solvärmväxlare och ytjordvärme. Utvärdering av en installation för ett småhus i Östersund. BFR R71:1981.
- Eriksson K G. Waldner L. 1977. Förutsättningar för utnyttjande av jordvärme. VVS-forum nr 5, maj 1977.
- Enström L. Grafström H. Hydén H. Bottensediment och ytjord som värmekällor för bostadsområden i Burgsvik och Tingstäde. Förstudie. BFR R119:1983.
- Gröndalen O & Renntun M. Resultat från prov av två ytjordvärmepumpar. BFR R135:1980.
- Halldin S. Jansson P-E. & Lundkvist H. 1979. Ecological effects of longterm soil heat pump use. Proc. Nordic Symp. Earth Heat Pump Systems, Suppl., Chalmers Tekniska högskola. Göteborg Sid 14-23.
- Holmlund I. Nilsson G. Norström I & Wangerud C J. Experimentbyggnadsprojekt "System Backlund". Förstudie. BFR R177:1980.
- Jansson P-E. 1980. Soil water and heat model. II. Field studies and applications. - Acta Universitatis Upsaliensis. Abstracts of Uppsala. Dissertations from the Faculty of Sciences. 568. Uppsala.
- Jansson P-E, Lundin L-C. Fysikaliska effekter av ytjordvärmeuttag. Simulerade uttag för olika marker och klimat. BFR R60:1984.
- Kersten M.S. 1949. Thermal properties of soils. - Inst. of Technology, Engineering Exp. Station. Bull. No 28. Minneapolis.
- Lofts-Holmin A. 1979. A pot method for field experiments with earthworms. Rapport 6. Institutionen för ekologi och miljövärd. Uppsala. Sveriges Lantbruksuniversitet.

Lundén R. Värmepump med effektutjämningsystem. En studie av ett system där värmepump kombineras med värmeackumulering i jord. BFR R85:1977.

Nilsson A. Ytjordvärmepump för skola och sporthall i Mjölby Förstudie. BFR R43:1980.

Nordic Symposium on Earth Heat Pump systems, Okt 15-16 1979. Chalmers Univ of Techn. Earth Heat Pump Group, Göteborg 1979.

Modin B. Förstudier av byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. Geologiska faktorer. BFR R55:1979.

Modin B & Wilén P. Byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. Geologiska förutsättningar för värmelagring i lera inom större tätorter i Mellansverige. BFR R88:1980.

Mogensen P. Ytjordvärme - markkollektorer. BFR R37:1983.

Rhen I. Horisontella jordvärmesystem över och under grundvattenytan. Geologiska förutsättningar i Orsa. CTH/Jordvärme-gruppen. Rapport nr 4.

Svensson R. 1978. Sortförsök med gräs till gräsmattor 1968-1976. Trädgård 139. Alnarp. Sveriges Lantbruksuniversitet.

Svensson R. Effekter på prydnadsväxter av ytjordvärmeuttag. BFR-seminarium okt 1983. BFR R60:1984 p 26-33.

Troedsson T m fl. Ekologiska effekter av ytjordvärmeuttag. BFR R51:1982.

Wallentinus H-G, Ytjordvärme- och sjövärmearläggningar. Omgivningspåverkan och driftproblem. BFR R119:1984.

Wiklert P. 1961. Om sambandet mellan markstruktur, rotutveckling och upptorkningsförlopp. Grundförbättring 4. årg 14 p p 221-239.

Jordvärmegruppen vid CTH. Användning av mark som värmekälla för värmepumpar i tätort. Översiktliga tekniska-ekonomiska bedömningar. BFR R149:1980.

17.4 Grundvattenvärme och bergvärme

Agerstrand T och Ericsson L. Projekt Bergvärme. Energiuttag med värmepump ur bergborrade hål. Förstudie. BFR R172:1980.

Agerstrand T och Ericsson L. Energi ur grundvatten. Inventering av grundvattenmagasin för energiutvinning med värmepump. NE 2060 55, VIAK AB 1980.

Andersson S, Eriksson A och Åbyhammar T. Utvinning av värme ur bergborrade brunnar. Förstudie. BFR R142:1980.

Balke K-D. 1979. Die Abkühlung des Untergrundes beim Betrieb von Grundwasser-Wärmepumpen, ETA nr A4/A5.

Clyde C. Madabhushi G. 1983. Spacing of Wells for Heat Pumps. Journal of water resources planning and management, vol 109 nr 3, s 203-212.

Dafgård N. Ekstrand G & Werner G. Forskningsinriktad värmeförsörjningsplan för Bålsta. Grundvattenvärme. BFR R42:1981.

Eriksson K-G. Malmqvist D. 1979. A review of the past and the present investigations of heat flow in Sweden. I Cermák V., - Ryback L: "Terrestrial heat flow in Europe", Springer Verlag.

Gass T.E. 1980. Regulatory and Environmental Implications of Ground Water Heat Pumps, Water Well Journal vol 34 nr 6. s 26-28.

Grafström M. m fl. Energiutvinning ur kommunala grundvattentäckter. BFR R47:1983.

Gustén J. Bäckberg H. Kombinerat ytjordvärme- och solvärme-system för mindre husgrupp i Perstorp. Resultat av 3 års mätningar. BFR R30:1983.

Göransson P. Tvärne A. Anslutning av grundvattenvärmepump till gruppcentral. Förstudie i Hallsberg. BFR R98:1982.

Holm T. Johansson S-E. Grundvattenvärme för badanläggning och småhusområde i Vikingstad. Förstudie. BFR R81:1982.

Jacks G. 1978. Ground water chemistry at depth in granites and gneisses, KBS Teknisk Rapport 88.

Jacks G. Knutsson G. 1981. Känsligheten för grundvattenförsurning i olika delar av landet (Förstudie), KHM Teknisk Rapport 11.

Johnson J 1980. Naturliga variationer hos grundvattnets temperatur i svenska friktionsjordar. Vannet i Norden nr 1 1980.

Kazmann R. 1981. Use of Twin Wells and Water-Source Heat Pumps for Energy Conservation in Louisiana. Louisiana Water Resources Research Inst., Baton Rouge, Technical Report nr 9.

Kunnos G. Leander B och Troedson U. Skånska akviferer. Möjligheter att lagra och utvinna värme. BFR R124:1980.

Landström et al. 1979. Värmeflöde i berg. LTH Geologiska Institutionen. Publikation K 137.

Lemmeke L. Storskalig värmeförsörjning med värmepump. Principförslag med kombinerat utnyttjande av yt- och grundvatten som värmekälla. BFR R126:1981.

Lindblad A. 1983. Igensättning vid värmeuttag ur grundvatten. BFR R130:1983.

Müller E. 1983. Energetische Grundwassernutzung aus der Sicht des Gewässerschutzes. Wasser, energie, luft nr 5/6 s 127 - 131.

Olovsson B. Miljöförändringar vid värmeutvinning ur grundvatten. BFR-seminarium okt 1983. BFR R60:1984. p 128-135.

Parasnis D.S. Estimates of in situ thermal diffusivity of the ore-bearing rocks in some drillholes in the Skellefte field (N. Sweden) using the annual temperature wave. J. Geophysics 40. 83-95 (1973).

Parasnis D.S. Temperature phenomena and heat flow estimates in two Precambrian ore-bearing areas in North Sweden. Geoph. J.R. Astr. Soc. 43. 631-654 (1975).

Rennerfelt J. 1977. Sammansättning av grundvatten på större djup i granitisk berggrund. KBS-teknisk rapport 36.

Tollin J. m fl. Utvinning av värme ur bergborrade brunnar. Fältmätningar och erfarenheter. BFR R148:1983.

Wenner C G. Möller A. Kjellin B. (1974). Vattnets beskaffenhet i svenska brunnar. Vatten vol 30 pp 370-389.

Willen P. Grundvatten som värmekälla för husuppvärmning med värmepump. Jordvärmegruppen CTH Inst. rapport 1.

17.5 Värmelagring i mark

Abrahamsson T. Solfångar- och värmepumpänläggning med grundvatten som värmeackumulator, Förstudie: Vårdskola i Borås. BFR R80:1979.

Andersson O och Gustafson G. Värmelagring i djupa slutna grundvattenmagasin. BFR R101:1980.

Andersson O. Johansson I. Peres J. Utnyttjande av överskottsvärme i grundvatten vid konstgjord infiltration. Förstudie. BFR R121:1982.

Andersson O. m fl. Värmelagring i torvmark. Teknik - ekonomi - ekologi - potential. BFR R22:1984.

Andersson S. m fl. 1978. Värmelagring i naturliga grundvattenmagasin, AIB.

Andersson S. Heat storage in natural ground water basins. Stage II. NE 2060 262. AIB 1980.

Andersson S m fl. Värmelagring i konstgjorda grundvattenmagasin. BFR R78:1980.

Andersson S. Eriksson A. Tollin J. Borrhållager i berg för säsongslagring av värme. Förstudie. BFR R66:1981.

Atterkvist S. Swedish Energy Storage Projects 1979 - research, development and fullscale experiments supported by governmental organizations. BFR D19:1980.

Bedda C. Ejdeling G. Värmelagring i grundvattenmagasin - fältförsök i kalkstensakvifer, Landskrona BFR R32:1982.

Bjurström S m fl. Hetvattenlagring i bergrum. Bergteknisk forskning, BEFO 1974.

Bjurström S. Karlsson P O och Martna J. The Avesta project - a test plant for storage of heated water in rock caverns. Rockstore 1980. Proceedings. Vol 3. Pergamon Press. London 1980.

Bjurström S. Jansson B och Hultin S A. Energy Savings. Swedish State of the Art Report for the Rockstore 1980 Symposium. Proceedings. Vol 3, Pergamon Press. London 1980.

Bogdanoff I. Blockfyllda bergrum för långtidslagring av värme NE 2060 571. Inst för geoteknik, Chalmers 1980.

- Carlsson B. Stymne H. Wettermark G. Lagring av värme. En översikt över metoder och möjligheter. BFR R70:1978.
- Claesson J och Johansson M. Continuous heat source model for ground heat storage. BFR D34:1980.
- Claesson J. Efring B och Hellström G. "Lundagruppen för värmelagring i mark" - publikationslista 1977-80. 56 referenser. Inst för matematisk fysik, LTH. Lund 1980.
- Claesson T. (1979). Litteraturstudie över bergarters löslighet i hetvatten. Geologiska institutionen, CTH. Göteborg.
- Claesson T. Ronge. B. (1980). Water Rock Interaction Problems when Storing and Distributiong Hot Water in Unlined Rock Tunnels and Caverns. Proc. Rock Store 80, June 23-27, 1980. Subsurface Space. Vol 2.
- Claesson T. & Ronge B. 1983. Water-rock interaction when heated water is stored in unlined rock caverns. Extended abstracts 4th Int. Symp. om Water-rock Interaction. Misasa, Japan 1983.
- Claesson T. 1983. Water-rock interaction at elevated temperatures. Chemical changes in water composition. Thesis. Geol. Dept. CTH Publ. A 44.
- Claesson T m fl. Löslichkeit hos grusmaterial i vatten av olika temperatur och sammansättning. Laboratorieprov. BFR R96:1983.
- Eklund S E. Swedish Heat Pump Projekcts 1979- research, development and full scale experiments supported by governmental organizations. BFR D29:1980.
- Forselles T. Windelhed K. Gruvor som värmelager. Inventering i Syd och Mellansverige. BFR R97:1982.
- Gedda C. Ejdeling G. Värmelagring i grundvattenmagasin. Fältförsök i kalkstensakvifer, Landskrona. BFR R32:1982.
- Gustafsson S. Karawacki E. Lundén A. Värmetransport i jord- och bergarter, konstruktionsmaterial och vätskor. BFR R148:1980.
- Gustafsson G, Hård S. Nordiskt samarbete om säsongslagring av värme. NBS-seminarium 5-6 oktober 1983. BFR R21:1984.
- Gustafsson G. Brunnssystem för värmelagring och värmeutvinning i akviferer. BFR R39:1983.

Rehbinder G. Avestaprojektet, Försöksanläggning för hetvattenlagring i bergrum. Beskrivning av anläggning och forskningsprogram. Vattenfall/BeFo 1981:1.

Rehbinder G - Avestaprojektet, några tredimensionella värmeberäkningar. Vattenfall/BeFo 1981:2.

Rehbinder G - Avestaprojektet, vågrörelse i gränsytan vid termisk skiktning. Vattenfall/BeFo 1981:3.

Ronge G. Claesson T. 1979. Varmvattens urlakande effekt på bergmaterial. Paper presented at Rock Mechanics Meeting in Stockholm 9 Feb. 1979. Swedish Rock Mechanics des Found 1979.

Ronge. B. & Claesson T. 1982. Bergarter och minerals löslighet i hetvatten. Vattenkemiska förändringar vid värmelagring i bergrum. Stiftelsen Bergteknisk Forskning BeFo Nr 72:1/82.

Rosén R och Peres B. A solar heating plant in Studsvik. Design and first year of operation and performance. BFR D21:1980.

Salmgren O. 1978. Utnyttjande av torvmarker och dess följder för torvmarkslandskapets ekologi, klimat och hydrologi, SNV PM 1048.

Sundman B. Söderman E. Windelhed K. Säsongslagring av solvärme i gruva i Kopparberg. Förstudie. BFR R58:1981.

Söderman E. Windelhed K. Säsongslagring av sjövärme i gruva i Kopparberg. Förprojektering. BFR R68:1982.

Wiberg N E. Energy storage in soil. A finite element approach to the transient energy transport problem. Inst för byggnadsstatik Chalmers 1980.

Environmental Assessment. Aquifer Thermal Energy Storage Program. Department of Energy, Washington, DC Rept nr: DDE/EA-0131, Jan 1981.

Nämnden för energiproduktionsforskning. Hetvattenteknik, Resultat, utvecklingsläge och förutsättningar. NE 1980:6.

17.6 Ytvattenvärme

- Abrahamsson T. Norin F och Strååt H. Värmpumpning från sjö för värmeförsörjning av kontorshus. Förstudie. BFR R80:1979.
- Ahlgren I. 1975. Modell för fosforomsättning och fytoplanktonproduktion i sjön Norrviken. NORDFORSK. Miljövårdssekretariatet, Publ. 1975:1, 387-423.
- Ahlgren I. 1984. "Temperatureffekter på närsaltsomsättningen i sjöar". BFR-sem. okt. 83. BFR R60:1984.
- Andersson H. 1978. "En jämförande studie av temperaturförhållandena i sjön Velens huvudbäcken och en vik i samma sjö". Modelling of Dynamic Phenomena in Lakes, Editor L. Bengtsson, rep. Swedish IHP Research Group on Lake Hydrology. TULEA 1978:01, pp. 46-75. University of Luleå.
- Backlund L. Termisk energi ur vattendrag för temperaturreglering av asfaltytor. BFR R99:1980.
- Backlund L. Termisk energi ur vattendrag. Värmeväxlare för sjövärmesystem - provanläggning i Storsjön. BFR R83:1982.
- Backman A m fl. Energiutvinning ur ytvatten via värmepump. Förprojektering. BFR R109:1980.
- Bengtsson L. 1978. "Winterstratification in Lake Dominated by Through-Flow". Modelling of Dynamic Phenomena in Lakes, Editor L. Bengtsson, rep. Swedish IHP Research Group on Lake Hydrology. TULEA 1978:01. pp 24-45, University of Luleå.
- Bengtsson L. 1981. "Circulation in Small Lakes", paper presented at European Geophysical Society Meeting, Uppsala Aut. -81. WREL Ser. A 76. University of Luleå.
- Bengtsson L. 1981. "Experiences on the Winter Thermal Regimes of Rivers and Lakes with Emphasis on Scandinavian Conditions", Proc. IAHR Symp. Ice Problems. pp 11-54, Quebec, July -81.
- Bengtsson L. 1982 "Inverkan av värmeuttag på temperatur- och cirkulationsförhållanden i istäckta sjöar", Tidskriften Vatten 1-1982, s. 3-16.
- Bengtsson L. 1982b "Ändrade cirkulationsförhållanden i islagda sjöar vid värmeuttag", Sjövärmesystem, BFR-seminarium, Älvkarleby maj -82 BFR R143:1982: s 131-143.

- Bengtsson L. 1984. "Konsekvenser av värmeuttag på fysiska förhållanden i sjöar" BFR-sem. okt. 83, BFR R60:1984.
- Bernestål A. Hultmark G. Stora värmepumpar med havs- eller sjövattnen som värmekälla. Förstudie. BFR R92:1981.
- Broman B. Vasseur B. 1981. Temperaturmätningar vid Visby. Spridning av utsläppt vatten. SMHI, HB Rapport Nr 47. 1981.
- Bäckström B. Värmepumpning med insjö som värmekälla. Förstudie. BFR R129:1979.
- Grafström H & Lagergren S. Värmepump för uppvärmning av friluftsbad. Förstudie i Sölvesborg. BFR R44:1980.
- Grafström H. Lagergren S. Värmepump vid friluftsbad med havsvatten som värmekälla. BFR R45:1982.
- Hallenberg J. Ulander H. Sjävärme för 140 småhus i Torsång. Projektering och byggande. BFR R127:1981.
- Hallenberg J. Norbäck K. Sjövattnen som värmekälla till värmepump. Erfarenheter från uppvärmning av två småhus i Falun. BFR R46:1982.
- Hallenberg J. Norbäck K. Sjävärme för 140 småhus i Torsång. Mätning och utvärdering. BFR R94:1984.
- Häggkvist K. 1978. Utnyttjande av lågradig värmeenergi i sjöar. Högskolan i Luleå, avd. för vattenteknik Ser A nr 20.
- Imberger J. Patterson J. Hebbert B. and Loh. I 1978. "Dynamics of Reservoir of Medium Size", ASCE J. Hydraulics Div. 104 (HY 5) pp 725-743.
- Jensén S. 1984. "Effekter på makrofyter (vattenväxter) vid värmeuttag ur sjösediment" BFR-sem. okt -83. BFR R60:1984.
- Jirka G. H och Katovola D. S 1979. Supercritical withdrawal from two-layered fluid systems. Part 2: Three-dimensional flow into round intake. J of Hyd Res. pp 53-62.
- Kvarnäs H. 1981. Undersökningar i Väsman. Bestämning av värme- och vattenbudget vintern 1980/81. Statens naturvårdsverk, vattenlaboratoriet Uppsala, juli 1981.

Larsen P och Anderberg L 1974. "Västanåprojektet - försök i fysikalisk modell", Bull. Ser. A36, Teknisk Vattenresurslära, LTH, Lund.

Larsen P, Larsson M. "Sjövatten som recipient för värmepump-producerad is". Vattenbyggnadslaboratoriet, Älvkarleby 1981.

Larsson R. 1979. Temperaturskiktning i istäckta sjöar. - TULEA 1980:05. WREL publ. Serie A nr 36.

Laska M. 1981. "Characteristics and Modelling of Physical Limnology Processes", Mitteilungen 54 Versuchsanstalt Wasserbau, Zürich, thesis, 290 pp.

Lemmeke L. Storskalig värmeförsörjning med värmepump BFR R126:1981.

Leonardsson L och Lessmark O. 1984. "Effekter på bottenfauna, fisk och sediment av sedimentvärmeuttag i sjöar". Statens Naturvårdsverk, SNV PM 1773. Solna 1984.

Leonardsson L. 1984. "Effekter på bottenfauna vid värmeuttag ur sjösediment" BFR-sem. okt 83. BFR R60:1984.

Lessmark O. 1984. "Effekter av sedimentvärmeuttag på sediment och fisk" BFR-sem okt 83. BFR R60:1984.

Lindahl A. Stenström B & Öst S. Värmepump för utvinning av havsvattenvärme. Förstudie beträffande havsvattenvärmeväxlare. BFR R123:1980.

Lindberg K. Värmeupptagning ur Mölndalsån. Förstudie. BFR R136:1980.

Mäkitala L.I. och Larsson R. 1983. "Inverkan av värmeuttag med öppet system på istäckta sjöar" TULEA 1983:24 Högskolan i Luleå WREL Serie A nr 123.

Nebeus M. 1984. "Algal water-blooms under ice cover" Verh. Internat. Verein. Limnol. 22:1984.

Nichel B. "Ice Accumulations at Freeze-up or Break-up" Proc. IAHR Symp. on Ice Problems Luleå 1978.

Nordling J. Sandart K. Värmeupptagning ur bottensediment i sjöar Förstudie. BFR R65:1981.

- Norin F. Strååt H & Tarkowski W. Sjöförlagd värmeväxlare. Förstudie för utomhusbad i Karlstad. BFR R96:1980
- Nowacki J E. Dieselvärmepump med sjö- eller havsvatten som värmekälla. Förstudie - P 10 i Strängnäs. BFR R44:1981.
- Persson S E. Värmepump med ismaskin för 43 lgh i Sälen. Förstudie. BFR R49:1981.
- Prych E A 1972. A warm effluent analyzed as a buoyant surface jet. SMHI serie Hydrologi Nr 21.
- Sahlberg J. 1984. "A hydrodynamic model for heat contents calculations on lakes at the ice formation date" Swedish Conneil for Buildin Res. Document D4:1984.
- Shirazi M A. och Davis L. 1974. Workbook of thermal plume prediction. Volume 2 Surface discharge. National Environmental Research Center. US EPA, Corvallis, Oregon.
- Stenström B. Lindahl A och Öst S. Värmepump för utvinning av havsvattenvärme. Förstudie beträffande havsvattenvärmeväxlare. BFR R123:1980.
- Stigebrandt A. 1978. "Dynamics of an Ice-Covered Lake with Through-Flow", Nordic Hydrology 9, pp 219-244.
- Strååt H. Norin F och Tarowski W. Sjöförlagd värmeväxlare. Teknik, ekologi och ekonomi. Förstudie. BFR R96:1980.
- Svensson T m fl. Energiutvinning ur sjö- och havssediment. Förstudie. BFR R76:1980.
- Svensson T "Potential för uttag av värme ur ytvatten i Stockholmsregionen". Sjövärmesystem BFR-sem maj-82. BFR R143:1982.
- Svensson T, Sörman C-O. Värmeupptagning med bottenförlagda kylslangar i stillastående vatten. BFR R41:1983.
- Svensson T, Sörman C-O. Värmeupptagning med bottenförlagda slangar i rinnande vatten. Laboratorieförsök. BFR R145:1983.
- Svensson T. Gustavsson S och Lindqvist T. Sjö- och ytjord som värmekälla - mätning och utvärdering av värmepumpanläggning vid Ö Grevie. BFR R195:1984.

- Svensson U. 1978. "Examination of the Summer Stratification". Nordic Hydrology 9. pp 105-120.
- Svensson U och Larsson R. 1980. "A One-Dimensional Numerical Model Study of Basic Features of the Flow in Ice-Covered Lakes" J Hydraulic Research, 18 pp 251-267.
- Tesaker E. 1973. "Horizontal Cross-flow Temperature Gradients in a Lake Due to Coriolis Force". Proc. Int Ass. Hydrological Sci. Symp. Hydrology of Lakes, Helsinki, IAHS Publ. 109, pp 72-80.
- Thandertz L. 1983. "Heat Budget Studies", Dynamic Studies in Lake Velen, Editor M. Falkenmark, rep. 31 IHD. Sweden, pp 51-78.
- Zackrisson G och Broman B. 1984. "Värmeuttag ur Helgasjön. Möjligheter och konsekvenser". SMHI, Norrköping Rapport H012, 1984.

17.7 Luftvärme

- Abrahamsson T. m fl. Luft-vattenvärmepump till befintlig grupp-central - förstudie i Brunnsberg, Varberg. BFR R34:1982.
- Andersson A. och Pettersson U. Luft-värmepumpar i småhus - fältundersökning i Viksjö, Järfälla BFR R75:1979.
- Bodlund K. Ljudklimat i moderna svenska bostäder. BFR R96:1984.
- Boman C A. Värmepumpsystem med luft som värmekälla - energisparing i sex villor i Hudiksvall. BFR R125:1981.
- Berkowicz G. Värmepumpar för flerbostadshus - förstudie i 750 lägenheter i Minneberg, Stockholm BFR R81:1980.
- Enström H. 1982. Studie av uteluftvärmepump för befintliga flerfamiljshus i Linköping, Nordiska varmpumpedager, NTH.
- Enström H. 1983. Anpassningsproblem vid befintliga värmecentraler, VVS special nr 1, Stockholm.
- Enström H 1983. Frånluft - uteluft, En jämförelse. VVS special nr 1, Stockholm.
- Iho L. 1983. Ljudklimatet i svenska hus med värmepumpar. Tekn. rapport SP-rapp 1983:52. ISSN 0280-2503. Borås 1983.
- Jansson L och Strindehag O. Värmepump med uteluft som värmekälla - projektering av värmepumpsystem för befintliga flerbostadshus i Söderköping. BFR R124:1982.

Lemmeke L. Storskalig värmeförsörjning med värmepump.
BFR R126:1981.

Lindqvist S. Miljöeffekter av luftvärmepumpar. Förslag till forskningsprogram. BFR 1984 - Stencil.

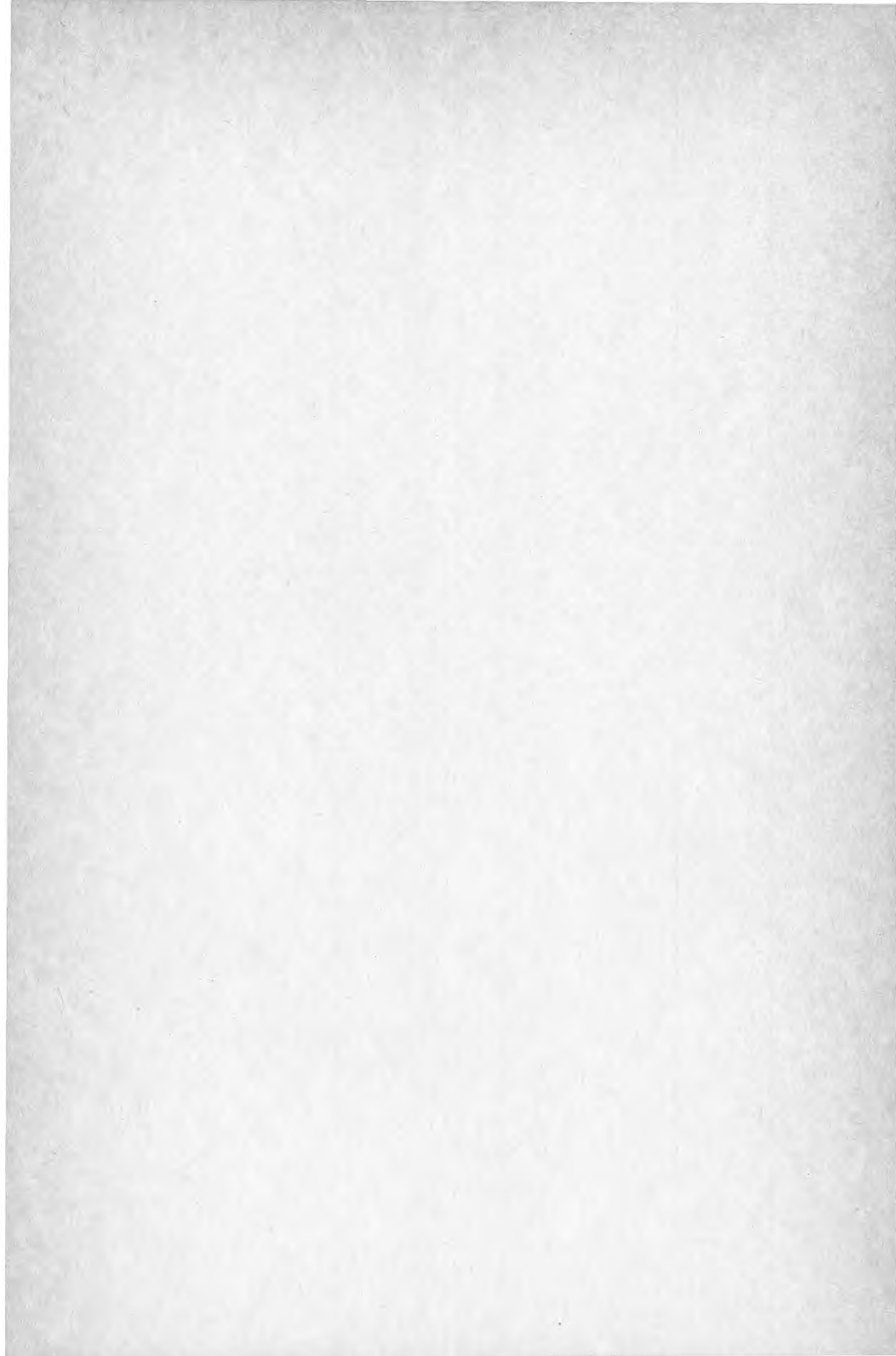
Luft/vattenvärmepump kvarter Brigaden, Linköping, SV-rapport
SOL 1982:5.

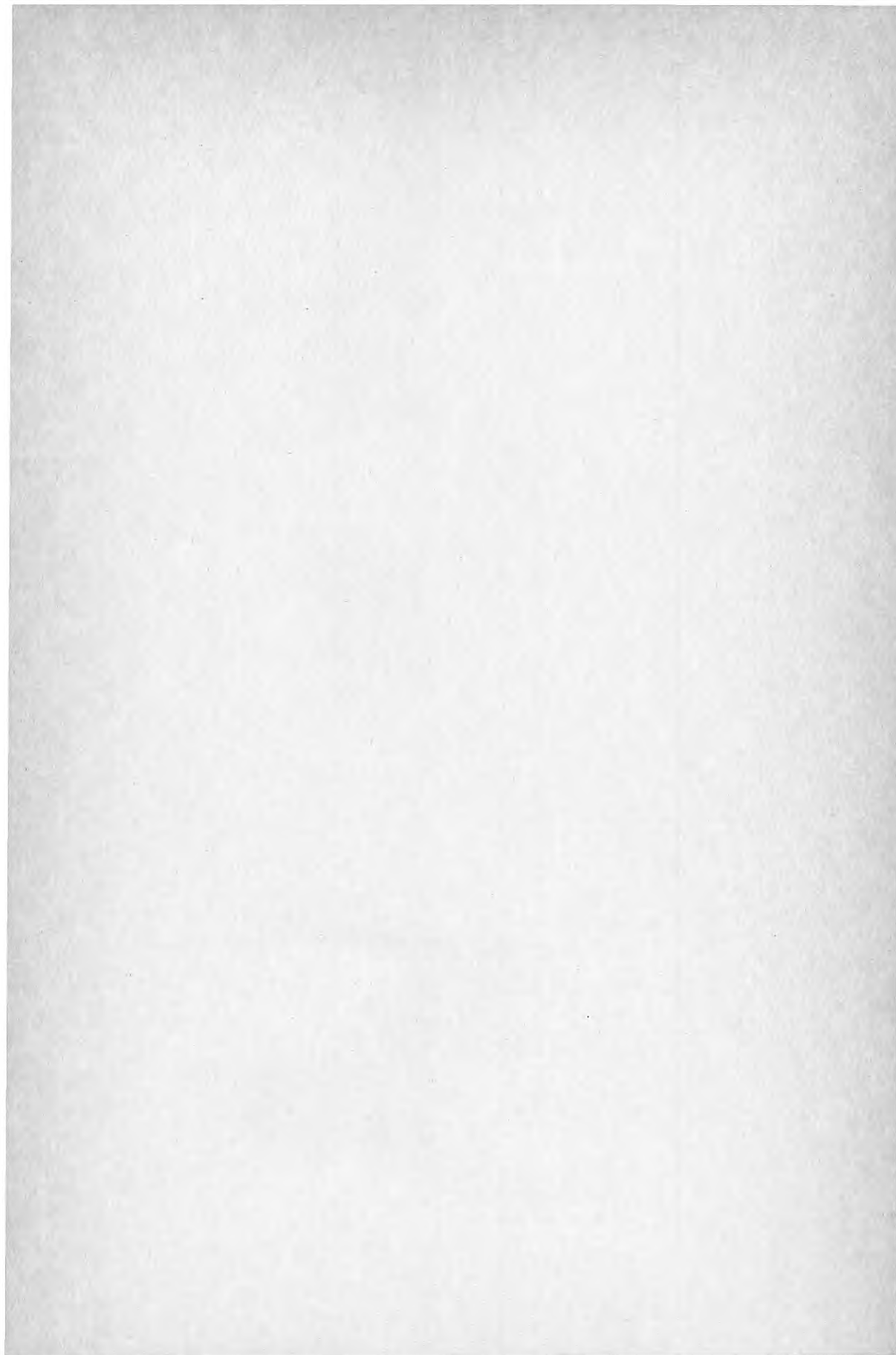
Lundqvist B, 1982. Uteluftvärmepumpar under planering. Nordiska varmpumpedager NTH.

Renntun M. Luftvärmepump som komplement till oljepanna för uppvärmning av kontorshus i Karlshamn. BFR R72:1981.

Schemerzler L och Levy M. 1976. Energy and environmental considerations in extending heat pump applications. The Journal of Environmental Science 19.

Taesler R. 1981. Beräkning av temperaturpåverkan i omgivningens av planerad luftvärmepump i Skarpnäck. SMHI Norrköping okt 1981. Utredning på uppdrag av AB Svarthålsforsen.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811394-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen
för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.**

R28: 1985

ISBN 91-540-4327-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705028

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 40 kr exkl moms