



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R37:1983

Ytjordvärme —
markkolektorer

BFR-seminarium mars 1982

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

ser

K
BFR

Byggforskningsrådet

R37:1983

YTJORDVÄRME - MARKKOLLEKTORER

BFR-seminarium mars 1982

Dokumentationen sammanställd av
Palne Mogensen

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811449-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Stiftelsen
Bergteknisk Forskning, BeFo, Stockholm.

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

R37:1983

ISBN 91-540-3908-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

FÖRORD - Sten Bjurström, BeFo	5
SAMMANFATTNING	7
FÖREDRAG I SAMMANDRAG	
Inledningsanförande - Sten Bjurström, BeFo	13
<u>1. Fälterfarenheter</u>	
Fem års fälterfarenheter. Mark och markvärmekollektor - Douglas Ahlkrona, AB Thermia-Verken	15
Markegenskaper i fält - Ingvar Rhen, CTH	25
Fälterfarenheter, Diskussion	33
<u>2. Fysikaliska effekter av markvärmeuttag</u>	
Simuleringsmodeller för temperaturförlopp - Johan Claesson, LTH	35
Simulering av marktemperaturer vid ytjordvärmeuttag - Per-Erik Jansson, SLU	37
Hävning och sättning till följd av frysning invid markförlagda kollektorslangar - Sven Knutsson, LuH ...	41
Fysikaliska effekter, Diskussion	53
<u>3. Biologiska effekter av markvärmeuttag</u>	
Biologiska effekter - Per-Erik Jansson, SLU	55
Biologiska effekter, Diskussion	59
<u>4. Dimensioneringsregler och markdata</u>	
Dimensioneringsregler. Behov, kriterier och struktur - Palne Mogensen, Palne Mogensen AB	61
Dimensioneringsregler - Björn Modin, VIAK	67
Bestämning av markdata - Jan Sundberg, CTH	75
Dimensioneringsregler och markdata, Diskussion	83

5. Läggnig av slang

Anläggningsteknik	
- Ingemar Johansson, AB Thermia-Verken	85
Erfarenheter av en större ytjordvärmeanläggning	
- Bo Rudholm, Bengt Dahlgren AB	97
Anläggande ur entreprenadteknisk synpunkt	
- Lars Holmqvist, BPA	103
Materialval för ytjordvärmslang	
- Thomas Berntsson, UNIFOS KEMI AB	109
Läggnig av slang, Diskussion	115

6. Värmebärrarfluider

Köldbärrarfluider. Fysikaliska egenskaper	
- Eric Granryd, AB Thermia-Verken	117
Kemiska egenskaper och inhibitorer	
- Leif Bjurmalin, MITCO AB	133
Miljöegenskaper hos köldbärrarvätskor	
- Wilhelm Dietrichson, SNV	137
Värmebärrarfluider, Diskussion	141

7. Ekonomi och lånemöjligheter

Ekonomi - Ulf Ryman, AB Orsa Companie	143
Lånerregler för värrnepumpar idag samt föreslagna framtida förändringar - Lars Lindblom, Bostadsstyrelsen ..	147
Ekonomi och lånemöjligheter, Diskussion	155

8. Potential

Ytjordvärme. Potential och tillämpbarhet	
- Lennart Carlsson, K-Konsult	157
Potential, Diskussion	165

9. Juridik

Juridiska och administrativa hinder	
- Ulf Thunberg, Statens Planverk	167

BILAGA 1. Beviljade forskningsmedel för ytjordvärme	
- Byggningsforskningsrådet	171
BILAGA 2. Rapporter och referenser. Ytjordvärmsystem	
- Byggningsforskningsrådet	175
BILAGA 3. Deltagarförteckning	177

FÖRORD

För utvärdering av BFR's energiforskningsprogram har rådet tillsatt ett antal s k utvärderingsgrupper. Utvärderingsgruppen MARKVÄRME har till huvuduppgift att utvärdera och sammanställa kunskapsläget inom området värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten. Gruppen består av Sten Bjurström, Bergteknisk Forskning - BeFo (ordförande), Per-Olov Karlsson och Sven-Allan Eklund, Vattenfall, Carl-Olof Morfeldt, Hagconsult, samt Björn Svedinger, VIAK. Sven-Erik Lundin är BFR's kontaktman i gruppen och Ulla Save Öfverholm är för BFR's del ansvarig för informationsfrågorna.

Som ett led i utvärderingsarbetet har gruppen beslutat att genomföra ett antal utvärderingsseminarier. Under våren 1982 anordnas möten beträffande ytjordvärme, sjövärme och grundvattenvärme. Under hösten 1982 planeras möten beträffande olika former av lagring i mark och vattenmagasin.

För planering, genomförande och avrapportering av dessa möten har gruppen engagerat experter inom respektive delområde.

Palne Mogensen, Palne Mogensen AB, har svarat för seminariet rörande YTJORDVÄRME.

Föreliggande rapport redovisar presentationer och förda diskussioner samt slutsatser vid seminariet på BFR den 17 mars 1982.

Markvärmegruppen har all anledning att rikta ett varmt tack till såväl seminarieledaren som deltagarna i mötet för positiv medverkan och värdefulla bidrag.

För BFR's MARKVÄRMEGRUPP

Sten Bjurström
Ordförande

SAMMANFATTNING

Detta är en vägd sammanfattning av dels de synpunkter som framkom under seminariet vid föredrag och diskussioner, dels synpunkter som inkommit senare från seminariedeltagarna, bl a som svar på en utsänd enkät.

Teknikläget

Ytjordvärme har tillämpats i Sverige i ökande omfattning sedan 1975. I Danmark finns ett flertal anläggningar sedan början på 1970-talet. I delstaten Washington (Seattle-området) i USA byggdes ett stort antal anläggningar i slutet på 1940-talet.

I början av 1982 fanns ca 7000 ytjordvärmeanläggningar i drift i landet och Sverige är sannolikt världens ytjordvärmetätaste land. Problemen med kollektorn har varit få och huvudsakligen bestått av läckage; oftast i kopplingar. Fall där kollektorn ej kunnat leverera avsedd värmeeffekt eller -energi har varit mycket sällsynta. Ett litet antal fall med oacceptabelt stora tjälskjutningar i marken ovanför kollektorn finns redovisade.

Från Konsumentverket meddelar man att den vanligaste orsaken till klagomål är markskador i samband med slangförläggningen.

Anläggningstekniken är i stort sett färdigutvecklad, även om det är önskvärt att finna skonsammare metoder i mark med dålig grävbarhet.

För stora anläggningar vållar den administrativa och tekniska samordningen med övriga entreprenader stora problem. Vissa deltagare var optimistiska om möjligheten att bemästra dessa.

Metoder för slang- och läcklokalisering finnes någorlunda utvecklade.

Förväntade livslängder är mer än 20 år och den årliga servicekostnaden beräknas genomsnittligt ligga under 1% av investeringen.

Simuleringsmodeller, som beskriver temperatur- och tjälningsförlopp i marken, finnes tillgängliga och förefaller ha tillräcklig noggrannhet. Befintliga simuleringsmodeller tycks dock ej systematiskt ha kontrollerats mot anläggningar i drift. Dessa modeller kan dock normalt inte användas för dimensionering av små anläggningar på grund av för höga datorkostnader.

Dimensioneringsregler finns internt hos den störste tillverkar-
ren, AB Thermia-Verken, men är ej allmänt tillgängliga. Dagens
anläggningar är förmodligen dimensionerade med stora säkerhets-
marginaler, vilket förklarar det låga antalet misslyckanden.
Det är önskvärt att det kunnande, som finns om markkollektorer
och dimensionering, men som är utspritt på flera håll, samman-
fattas och görs allmänt tillgängligt. Ett pågående BFR-projekt
ligger inom detta område.

Praktiskt taget samtliga anläggningar består av en slät PEL-
slang (LD-polyten), som lagts ut i en slinga på en nivå i
marken. Tekniken att lägga flera slangar i samma dike, antingen
bredvid varandra eller ovanför varandra har börjat tillämpas.
Särskilda utföringsformer såsom ytförstorade slangar med räfflor
o dyl, radiatorliknande konstruktioner och slangmattor har
föreslagits, men har svårt att bli kostnadseffektiva. Slang av
MD-polyten anses ha vissa fördelar och kan på sikt slå ut
PEL-slang.

Samkörning med andra typer av värmekällor (luftkonvektorer,
värmelager mm) kan leda till minskade ytbehov. Denna teknik har
ännu ej etablerats i någon större utsträckning.

Vatten med monoetylenglykol som fryspunktnedsättande tillsats är
den dominerande värmebärarvätskan i markkollektorn. Normalt
används samma inhibitorer som i kylarglykol. Utveckling av
billigare och miljövänligare vätskor och inhibitorer pågår.

Direktförångning av köldmediet i markkollektorn tillämpas
knappast alls i Sverige. Tekniken anses svårbemästrad.

Ekonomi

Kostnaden för en yttjordvärmekollektor är i normalfallet ca 1.500
kr/kW eller 0.60 kr/kWh årligt energibehov. Priserna avser 1982
års prisläge. Det är inte troligt att realpriset kommer att
sjunka särskilt mycket inom de närmaste åren.

Meningarna är delade om möjligheten att sänka den specifika
kostnaden vid stora anläggningar, som idag förefaller att vara
lika stor eller högre jämfört med små anläggningar.

Miljökonsekvenser

Ytterst få klagomål är kända beträffande försämrade odlings-
betingelser på markvärmekollektorer. Försök vid SLU (Hack-
sta-försöken) har dock visat att en påtaglig försämring inträder
i odlingsbetingelserna vid stor värmebelastning per ytenhet.
Detta BFR-projekt pågår fram till sommaren 1983, varefter det
avslutas efter sammanlagt sex års drift. I den händelse för-
sämrade odlingsbetingelser uppstår, är dessa lokala och med all
säkerhet reversibla.

Vid läckage kan frostskyddade värmebärarvätskor läcka ut i marken och orsaka skador. Det utbud av värmebärarvätskor med tillhörande inhibitorer som finnes idag, innehåller tillräckligt ofarliga alternativ för att ej innebära några större faror för miljön. Det är dock angeläget att iaktta särskild försiktighet i närheten av vattentäkter och andra liknande situationer.

Slangar och kopplingar är idag acceptabla ur miljösynpunkt.

Normsituation

Befintliga lagar och förordningar anses i stort sett täcka detta område och ytterligare lagstiftning anses inte nödvändig för stunden. Kännedomen om befintliga lagar och förordningar är dock bristfällig på många håll. Nyligen har BFR utkommit med en T-skrift på detta område; T44:1982, Rolf Brink och Hasse Tullberg, ATT UTVINNA OCH LAGRA VÄRME I MARK OCH VATTEN - JURIDISKA ASPEKTER.

En tillverkare, AB Thermia-Verken, har fått sin markkollektor med tillhörande dimensioneringsregler interimistiskt typgodkänd. Förfarandet är omständligt och det är ovisst om man från länsmyndigheters sida kommer att kräva typgodkännande för markkollektorer, som villkor för statliga energilån, inom den närmaste framtiden.

Marknadsförutsättningar

Potentialen för ytjordvärmeanläggningar är svårbedömd. Den ansågs vara höggradigt beroende av ytbehovet för markkollektorn. I alla händelser torde dock åtminstone 400.000 befintliga småhus ha alla förutsättningar för att använda ytjordvärme. Om ytbehovet kan minska till hälften från dagens nivå, pekar en osäker gissning på att marknadspotentialen kanske fördubblas. Mycket stora ytjordvärmeanläggningar ansågs i normalfallet bli föga konkurrenskraftiga och som praktisk övre gräns nämndes ett effektbehov på ca 200-500 kW.

Möjligheten av att distribuera "kall fjärrvärme" från stora perifera anläggningar i ett (kommunalt ?) nät diskuterades. Svårt att integrera ytjordvärme i kommunala värmeplaner, p g a bl a osäkerhet om lokala förutsättningar.

Kunskaperna om ytjordvärme anses vara låga i allmänhet och inte minst bland kommunfolk. Ett stort utbildnings- och upplysningsbehov föreligger.

FoU-behov

Den FoU-mässiga basen för dimensionering och anläggning av markvärmekollektorer är i allt väsentligt färdigutvecklad. Detta gäller även för den fysikaliska modelleringen av temperaturförloppet i marken, inklusive de långsiktiga temperaturförändringarna.

När det gäller geoteknisk påverkan (tjälhävning, strukturförändringar mm) och påverkan på de biologiska processerna, är kunskaperna mera osäkra.

De viktigaste FoU-behoven inom området kan sammanfattas sålunda:

- Sambandet mellan markvärmeuttag och tjälskjutning i tjälfarlig mark, ansågs vara mycket ofullständigt känt och behöver utredas.
- Biologiska konsekvenser av markvärmeuttag har studerats i Hacksta-projektet. Några säkra, för landet allmängiltiga slutsatser kan ej nu dras ur detta material mer än att frågan med stor sannolikhet får betydelse om värmebelastningen ökas utöver dagens nivåer. Önskvärt att få studera dessa problem under varierade mark- och klimatförhållanden, exempelvis genom en fältundersökning på befintliga anläggningar.
- Vi behöver kunna förutsäga den inverkan, som åstadkommes på odlingsbetingelser, tjälhävning mm för att kunna dimensionera för olika påverkansnivåer.
- Dimensioneringsregler bör göras allmänt tillgängliga. Den kunskap som finnes om markkolektorers uppträdande och fysikaliska simuleringsmodeller bör sammanfattas.
- Behov av enkla, fältmässiga mätmetoder och utrustningar för mätning av markens termiska data föreligger.

FÖREDRAG I SAMMANDRAG

INLEDNINGSAINFÖRANDE

Forskningsdirektör Sten Bjurström, Stiftelsen Bergteknisk Forskning - BeFo, Stockholm

Området värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten tilldrar sig förhållandevis stor uppmärksamhet i BFR's och andra energiforskningsprogram. Under senare år har stora forskningsbelopp satsats på området och många projekt är under utförande.

De relativt sett stora forskningssatsningarna återspeglas ej i någon nämnvärd omfattning i officiella prognoser om Sveriges framtida energiförsörjning. Man är uppenbarligen osäker om tekniken och dess möjligheter.

Det är därför synnerligen angeläget att inför kommande stora energibeslut, omkring 1985, försöka dokumentera och i görligaste mån utvärdera markvärmens realistiska roll och bidrag i Sveriges framtida energiförsörjning.

Det är också viktigt att klargöra behov av forskning för fortsatt teknikutveckling samt övriga insatser som krävs för t ex planering, reglering, finansiering mm.

För att utvärdera olika teknikområden inom energiforskningen inklusivt BFR's egen forskning, har rådet etablerat ett 10-tal s k utvärderingsgrupper, varav markvärmegruppen är en. Utvärderingsgruppernas huvuduppgift är att genomföra studier över "the state of the Art" inom respektive teknikområden och i rapportform presentera resultaten. För att bli kunna lämna underlag till BFR's samlade bedömning inför kommande stora energibeslut, tvingas många grupper att i flera fall mycket tidigt dra slutsatser av nyligen påbörjad försöksverksamhet. Markvärmegruppen bör således ha tagit fram en första preliminär rapport redan våren 1983.

För att fullgöra denna uppgift i tid är vi beroende av att olika i verksamheten engagerade grupper och individer hjälper oss att på bästa möjliga sätt belysa förhållandena så att området MARKVÄRME får den roll i energiförsörjningen som den förtjänar och att området även fortsättningsvis får ett rimligt stöd för forskning, utveckling och demonstration.

Douglas Ahlkrona, SE
AGA Thermia-Verken

Sammandrag av inlägg
presenterat vid "Yt-
jordvärme-seminariet"
1982-03-17

FEM ÅRS FÄLTERFAREHETER. MARK OCH MARKVÄRMEKOLLEKTOR.

1. SAMMANFATTNING

Vi har idag närmare 5 000 ytjordvärmeanläggningar i drift. För absoluta merparten av dessa har vår värmekälla, marken, inte vållat några problem.

Ett mindre antal anläggningar har emellertid drabbats av markskador och skador på växtlighet.

För att kunna öka potentialen för ytjordvärmeanläggningar krävs att vi kan formulera lämpliga kriterier för vad mark och växtlighet tål.

2. INLEDNING

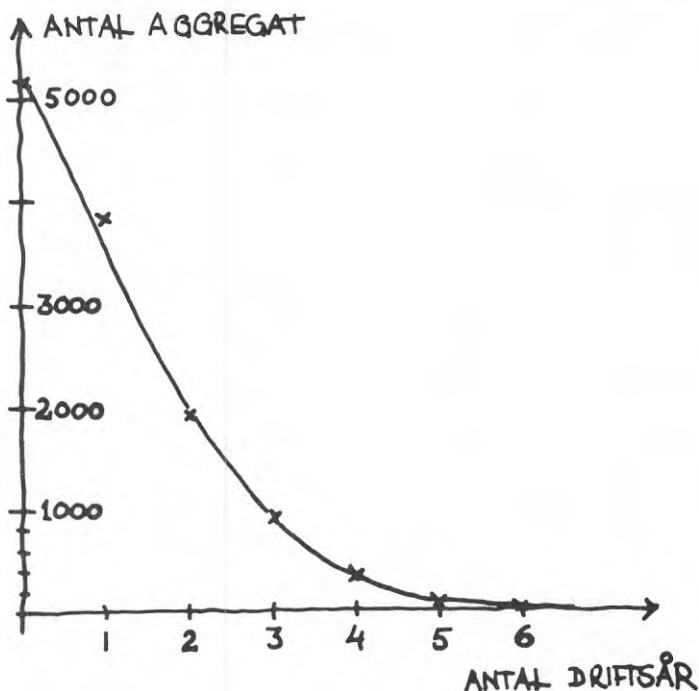
I slutet av 1976 togs våra första ytjordvärmesystem i drift. AB Thermia-Verken köpte då upp och övertog serviceansvaret för ett mindre företag som redan 1975 anlade några anläggningar. Vi har alltså idag anläggningar som varit idrift ca 6,5 år.

De fem senaste åren har vi haft en servicefunktion och en utvecklingsfunktion på marksidan. Härav inskränkningen till 5 års fälterfareheter.

Fältet är således våra kommersiellt försålda anläggningar. Förutom genom den bevakning som sker av vår serviceavdelning sker en erfarenhetsinsamling genom den bevakning, i form av mer eller mindre omfattande mätning, som sker av vår utvecklingsavdelning vid ett 20-tal anläggningar.

Som figur 2.1 visar har vi idag (mars -82) ca 50 anläggningar som är 5 år eller äldre och ca 400 som är 4 år eller äldre.

Figur 2.1
Fördelning av antal
driftår 1982-03-17.
Ca 85% nyttjar mark
som värmekälla.



Beträffande värmekällan marken är våra erfarenheter goda. I inget fall har felprojektering av markvärmekollektorn varit orsak till bristande funktion genom att denna inte kunnat lämna avsedd energimängd vid tillräckligt hög temperatur. (Däremot har sådana fall uppstått p g a att man vid anläggningsarbetet misslyckats med att gräva ner erforderlig slanglängd.)

Dock har (lyckligtvis?) ett fåtal skador avseende mark och växtlighet inrapporterats. Fall som vi måste försöka dra lärdom ur. Merparten av dessa fall kommer att beröras nedan.

Tabell 2.1. Läckage på brineslang

1977	2 fall
1978	14 "
1979	18 "
1980	26 "
1981	37 "

Under åren har också ett antal fall av läckage på brineslangen inträffat, se tabell 2.1. Ca 90% av dessa bedöms vara småläckor (max ett par tre liter), ca 4% har inneburit

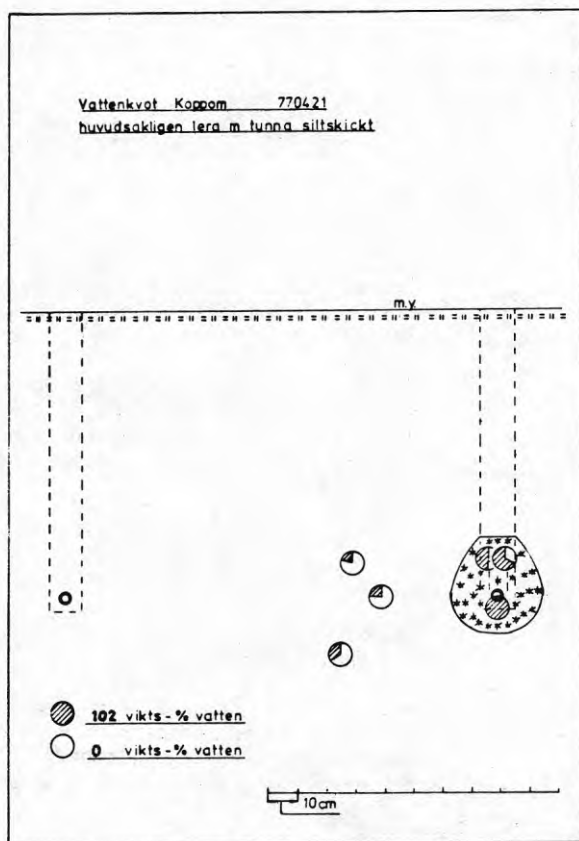
större läckage (50 till 100 liter) medan för återstoden av fallen läckagemängden legat här emellan.

Läckageorsaken är vanligtvis dåligt dragna kopplingar, sprickor vid veck eller mera sällan sten som klämt sönder slangen. Fel som får tillskrivas dåligt förläggingsarbete. Några enstaka fall av läckage under hus har också inträffat, fel vilka troligtvis berott på veck och sprickbildning orsakad av för små krökningsradier i tomrör under hus.

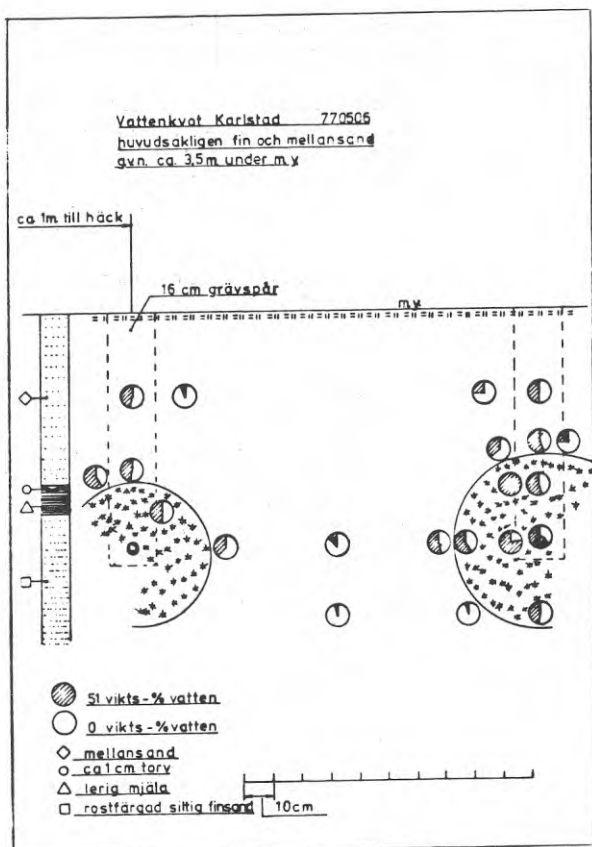
Antalet skadefall bör kunna minskas genom bättre kunskap, metoder och omsorg vid slangförläggningen.

3. FUKTVANDRING

De dimensioneringsregler vi använder oss av bygger på ett antal datorsimuleringar av temperatur och tjälbildning vid ytjordvärmeuttag. För att fältmässigt bättre förankra använda indata för värmeledningstal och värmekapacitet har vi utfört ett antal provgrävningar och provtagningar för att få en bättre bild av omfånget av den fuktvandring som förväntas ske till slangarna (p g a termisk gradient och tjälbildning).



Figur 3.1
Exempel på fördelning
av vattenkvot i fin-
jord.



Figur 3.2
Exempel på fördelning av vattenkvt i sandjord.

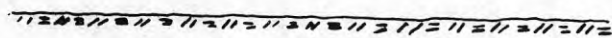
Figur 3.1 och 3.2 visar resultaten från två sådana grävningar. Dessa och andra grävningar indikerar att vi i många fall har i storleksordning 2 ggr så hög vattenhalt i den tjälade "korven" som mellan tjälkorvarna.

För torra friktionsjordar innebär detta en klar förbättring av värmeledningstalet och i viss mån även av den volymetriska värmekapaciteten. För de finkorniga jordarna innebär förhållandet främst en viss höjning av den volymetriska värmekapaciteten.

4. SKADOR PÅ MARK OCH VÄXTLIGHET

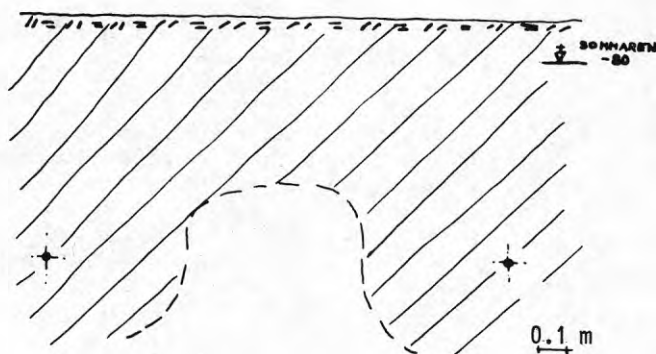
(De färgdiabilder som visades under detta avsnitt återfinns ej i detta referat.)

De få fall av markskador som kommit till vår kännedom har bestått av sprickbildning under sommaren, och då främst för sommaren, på ler- och siltjordar. Sprickorna verkar uppstå rakt ovan slangarna och går i allmänhet igen under hösten.

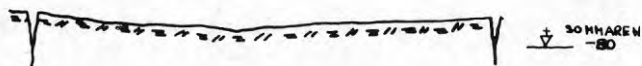


0.1 m

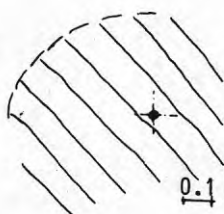
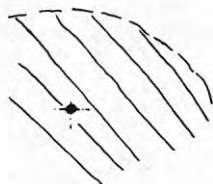
Bonäset. marknivå (och tjäle), sommaren-80



Bonäset. Marknivå och tjäle, 810410. Tjälutbredning vid slangar enl. "tjälkorvsspår" sommaren-80. Tjälldjup mellan slangar = $1.3 \times$ (tjälldjup enl. mätning på jungfrulig mark).



SOMMAREN -80



0.1 m

Figur 4.1
Bonäset.
Skiss över markrörelser utförd med hjälp av resultat från avvägningar.

Bonäset. Marknivå och tjäle, 810515. Tjälutbredning enl. sondering.

I ett fall har emellertid skadorna varit mer omfattande. Det gäller en småhusgrupp om nio hus i Bonäset, Örnsköldsvik.

Nu i efterhand kan vi ganska lätt konstatera att anläggningarna ur tjälskadesynpunkt har de flesta odds emot sig. Tjälfarliga markförhållanden (varvad silt och lera i en sluttning med god vattentillförsel från ovanförliggande moränhöjd), relativt stort energiuttag per ytenhet och längdenhet slang samt en något för grund förläggning (0,6--0,7 m). Den grunda förläggningen har troligtvis orsakats av samordningsproblem mellan olika markentreprenörer.

Strax efter snösmältningen uppstår här i markytan ett kraftigt tvättbrädesmönster med sprickor i topparna. Avståndet mellan topp och dal är i de värst drabbade partierna omkring 2 dm. Topparna (och sprickorna) befinner sig ovan slangarna.

I juni har markytan jämnats ut och endast mindre sprickor återstår. Se figur 4.1.

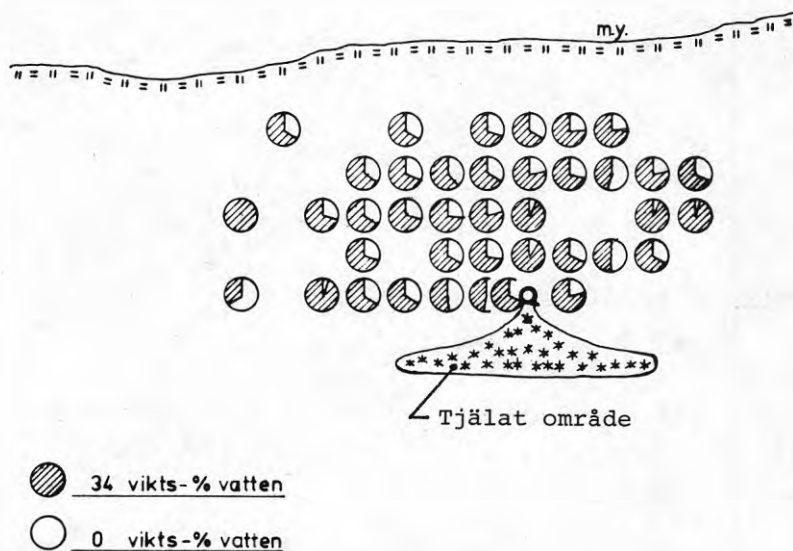
Förloppet har varit likartat under två på varandra följande år, varför det är svårt att bedöma hur antalet tjälningssäsonger inverkar på förloppen.

För att kunna vidtaga lämpliga motåtgärder togs kontakt med bl a avd för geoteknik vid Högskolan i Luleå som närmare sökt utreda orsakerna till det inträffade. (Se föredrag av S Knutsson, Högskolan i Luleå.)

Figur 4.2 visar vattenkvotens fördelning i Bonäset efter det att merparten av tjälen försvunnit. Vi kan här se att

- 1) vi inte har någon uttalad skillnad i vattenkvot mellan området närmast slangarna och området emellan (vilket vi tidigare sett att vi verkar ha då vi har tjäle kring slangen).
- 2) någon indikation på att sprickorna i markytan ovan slangarna skulle ha orsakats av att det här är torrare knappast föreligger.

Vattenkvot Bonästorpet 810603

siltskickad lera

Figur 4.2

Rörande skador på växtlighet har inga klara fall rapporterats. Däremot råder i fem fall misstanke om att ytjordvärmen kan ha förorsakat skador.

De bäst dokumenterade är två fall i Arvikatrakten där nyplanterade fruktträd drabbats av stor utgång av knoppar och skott under våren-försommaren. Skadorna kan naturligtvis också ha andra orsaker som ogynnsamt mikroklimat, dålig näringstillgång osv. Vi anser emellertid att de indikationer vi tagit del av bör föranleda att någon med mera vetenskapliga metoder studerar frågan närmare.

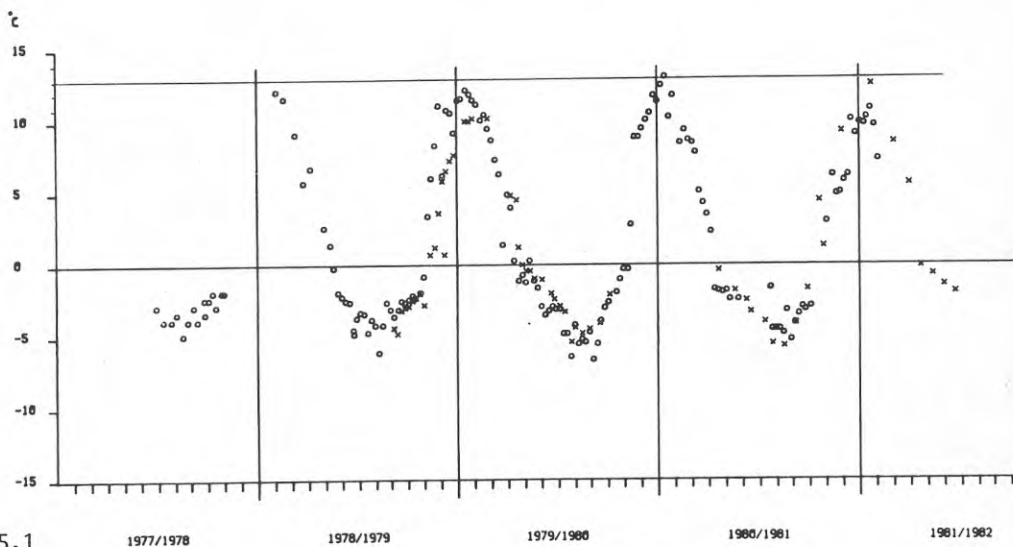
I ett fall finns misstanke av att ytjordvärmeuttag förorsakat dålig kondition på gräsmatta. En antydd förklaring är att isbildningen under snön ökar och sedan förorsakar isbränna på våren. Fallet är ännu ej utrett.

5. MARK- OCH BRINETEMPERATURER

Vid de mätningar som vi under åren gjort vid olika anläggningar har vi i inget fall kunnat konstatera någon större avvikelse av dessa temperaturer ifrån vad som kan förväntas utifrån beräkningar och simuleringar. I grova drag verkar således beräkningsmodellerna kunna ge en bild av temperaturförhållandena.

MEDELBRINETEMPERATUR, 3--4 MIN EFTER START

o = Djursholm $\dot{Q}_M/L_S \approx 16 \text{ W/m}$, $Q_M/L_S \approx 60 \text{ kWh/m}$, Lera på berg.
 x = Eda $\dot{Q}_M/L_S \approx 8 \text{ W/m}$, $Q_M/L_S \approx 24 \text{ kWh/m}$, Torr något siltig mellansand.



Figur 5.1

I fig 5.1 visas mätta brinetemperaturer för två anläggningar. Observera att vi för "lera-på-berg-anläggningen" kan belasta kollektorn drygt dubbelt så mycket och ändå er-hålla ungefär lika hög brinetemperatur. Visserligen har Djursholm en något högre årsmedeltemperatur än Eda (+6,6 resp +5,1°C), en skillnad som dock inte är tillräckligt stor för att förklara den stora skillnaden i kollektor-belastning.

Ur fig 5.1 framgår också att Djursholmanläggningen inte når upp till lika hög temperatur under augusti -81 som under augusti -80. Någon tillfredsställande förklaring härtill har vi ännu ej funnit.

6. FoU-BEHOV

Avslutningsvis vill vi än en gång påpeka att de här berörda problemfallen är undantagen som bekräftar reglen. Regeln att, med dagens förhållandevis försiktiga dimensionering, ytjordvärmeanläggningar fungerar bra.

Dock visar de skadefall som uppstått att det finns gränser för vad mark och markliv tål. För att kunna öka potentialen för ytjordvärmeanläggningar samt kunna utnyttja denna potential krävs att vi lär oss var gränserna går. Vi behöver alltså bättre FoU-insatser inom områdena

- Biologisk påverkan
- Markskador (tjälhävningar, sprickor etc).

Vidare vore det högst önskvärt med en FoU-insats med syfte att

- Bestämna och sammanställa svenska jordars värmeledningstal och värmekapacitet.

Detta för att kunna utarbeta hyggliga preliminära dimensioneringsregler samt för att ha ett referensmaterial för framtida mer praktiskt inriktade lab- och fältförsök.

Ingvar Rhen
Geologiska institutionen
Jordvärmegruppen CTH

Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärme-seminariet"
1982-03-17

MARKEGENSKAPER I FÄLT

Frysning av lera

Större delen av Sveriges kvartära avlagringar består av moräner. Resterande avlagringar utgörs av mer eller mindre sorterade jordarter, där lerjordarna är de finkornigaste. I en vertikal profil ner genom leran kan man i allmänhet urskilja tre olika zoner med olika utseende och egenskaper. Överst finns vanligen ett lager av matjord. Närmast under matjorden är leran ofta torrare och fastare jämfört med lera på djupare nivåer. Denna lera kallas torrskorpelera och har bildats under påverkan av bl a klimat och olika biologiska processer. Gränsen mellan torrskorpelera och underliggande lera kan vara diffus men i Göteborgstrakten varierar den vanligtvis mellan 1-4 m under markytan. Att lägga jordvärmslang i torrskorpelera som varit frostpåverkad torde i allmänhet gå bra medan speciell hänsyn måste tas om jordvärmslangen läggs i en icke tidigare frostpåverkad lera. En lera som fryses och därefter tinas kan i sitt tinade tillstånd i det närmaste helt tappa sin skjuvhållfasthet. Dessutom kan lerans vattenkvot runt slangen förändras om det finns dräneringsmöjligheter för vattnet som finns i lera-vattenblandningen runt brineslangen. Det förändrar de värmeöverförande egenskaperna något och kan också eventuellt orsaka vissa ojämna sättningar.

Hållfasthet

Figur 1 visar bl a skjuvhållfastheten för en fryst-tinad lera och samma lera ofryst. Kolvproven är tagna i ett värmelager med vertikala rör. Skjuvhållfastheten i den icke frusna leran är 16-20 kPa medan den frusna-tinade lerans hållfasthet är ca 1-2 kPa. En väsentlig hållfasthetsnedsättning kan alltså ske lokalt kring brineslang, vilket kan orsaka en skredrisk då jordvärmslangar läggs i sluttningar (figur 2).

Vattenkvot

Vattenkvoten har också minskat för den frusna-tinade leran jämfört med den ofrusna leran enligt figur 1. Vattenkvoten har minskat från ca 70% till ca 45% i det undersökta fallet. I figur 3 visas ett exempel på vilka konsekvenser en halvering av en viss vattenkvot kan få för värmeledningsförmågan respektive värmekapaciteten hos leran vid olika temperaturer. En halvering av vattenkvoten innebär en halvering av det möjligt uttagbara latent värmet i leran räknat per m³. Sätts emellertid behovet av mängden latent energi i relation till vilken radie utifrån jordvärmslangen som frysning måste äga rum, så framgår det av figur 4 att erforderlig frysradie inte ökar så mycket då vattenkvoten sjunker från 80% till 40%. En vattenkvotsförändring i leran invid slangen ger

alltså förändrade värmeöverföringsegenskaper lokalt runt slangen. Blir vattenkvotsförändringarna måttliga torde inte dimensioneringen påverkas i så hög grad. Om vattenkvoten kan förutses ändras relativt mycket under ett antal år kan det emellertid vara nödvändigt att ta hänsyn till detta vid dimensionering.

Kunskapen om torrskorpans bildning och dess egenskaper under vissa förhållanden är för närvarande dålig. Transporten och förekomsten av vattnet i torrskorpeleran är dåligt kända, vilket försvårar förutsägelser av de värmeöverförande egenskaperna. Det är också möjligt att vad som geotekniskt skulle kunna kallas torrskorpa och som i ingen eller ringa utsträckning varit utsatt för frysning också kan uppvisa hållfasthetsnedsättning och vattenkvotsförändringar vid frysnings-tiningsförlopp.

Vid de tillfällen då markytans nivå har sjunkit på grund av avschaktning eller då flernivåsystem används är det större risk att jordvärmeslangarna förläggs i en lera vars egenskaper är känsliga för frysningen än då jordvärmeslangarna plöjs ned ca 1 m under orörd markyta.

Vattenkvot i Sandhed, Orsa

22 villor med 19 värmepumpar har sina jordvärmekollektorer förlagda i en mellansand. Vissa av kollektorerna är förlagda ovan grundvattenytan, vilket medför att en tämligen låg vattenhalt kan förväntas runt dessa kollektorer då mellansand har dåliga vattenhållande egenskaper. Figur 5 visar ett samband mellan vattenavförande tryck och vattenkvot (i volymsprocent) för mellansanden i Sandhed. Redan 3 dm ovan grundvattenytan är vattenkvoten så låg som 4% enligt figur 5. Med vattenkvot enligt figur 5 erhålls de värmeöverförande egenskaperna enligt figur 6. Beroende av skikt med finkornigare material, skiftande packningsgrad, perkolation av nederbörd och växternas vattenupptagning kan givetvis den verkliga vattenkvoten i marken skilja sig ifrån den som kan uppskattas med hjälp av pF-kurvan som grundar sig på 4 prover av mellansanden i Sandhed. I figur 7 är några preliminära resultat från Sandhed skissade. Det förefaller att uppstå en förhöjd vattenhalt i marken runt jordvärmeslangarna relativt opåverkad mark under vintermånaderna, vilket förbättrar de värmeöverförande egenskaperna. Huruvida vattenkvoten har ökat ännu mera inom den frusna zonen relativt den ofrusna mellan slangarna går troligtvis ej att avgöra med dessa mätningar.

1500 1700 kg/m³

2% W_L

2% W_H

4 kPa τ_u

4 kPa τ_R

20 kPa τ_u

20 kPa τ_R

6

8

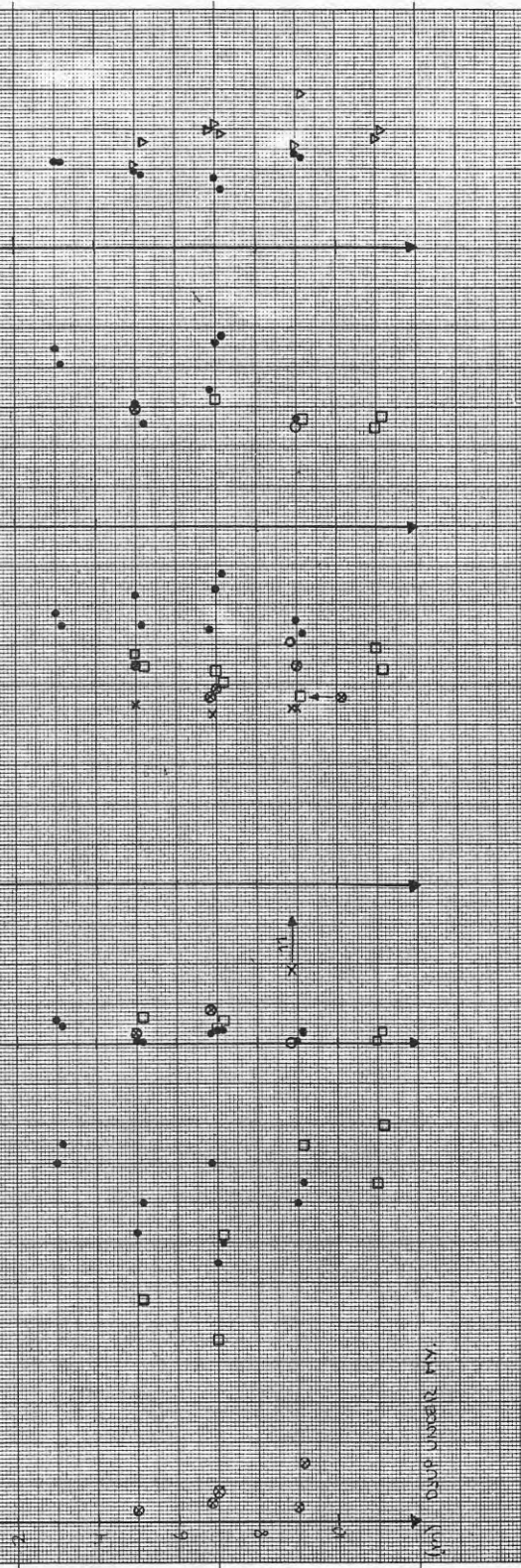
10

12

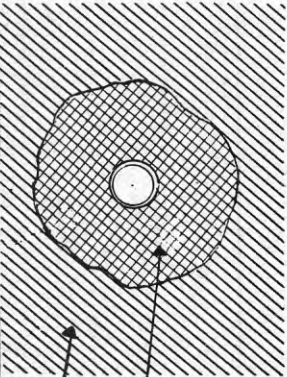
14

16

18



(m) DÅG UJÖBÄR MY.



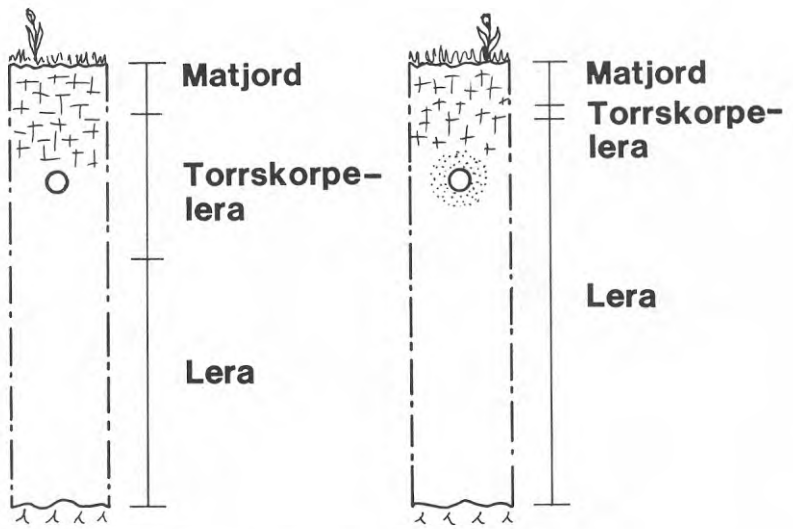
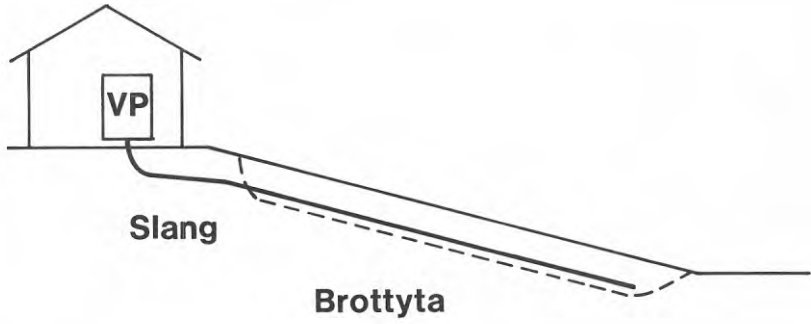
Intill rör-"Ofryst zon" (A), leran har en fast konsistens.
 Intill rör-"Fryst zon" (B), leran har en flytande konsistens. Den flytande leran innehåller mindre klimpar som är torrare än den övriga (flytande) leran

● Mellan rör (K2)

- Intill rör (K1) - "Ofryst zon" (A)
- ⊙ Intill rör (K1) - "Fryst zon" (B), lera med klimpar
- Intill rör (K1) - "Fryst zon" (B), lera utan klimpar
- × Intill rör (K1) - "Fryst zon" (B), endast klimpar
- ▽ Intill rör (K1) - "Ofryst zon" - "Fryst zon" (SKrymdensiteten är bestämd på hela kolvorrubben)

Figur 1. Skjuvhållfasthet mm hos en fryst-tinad resp ofryst lera

SKREDRISK I SLUTTNING



OBS Flernivåsystem

FÖRÄNDRAD VATTENHALT

Ex VATTENKVOTEN HALVERAS

Fall I

$\rho_D = 854$

$W = 80\%$

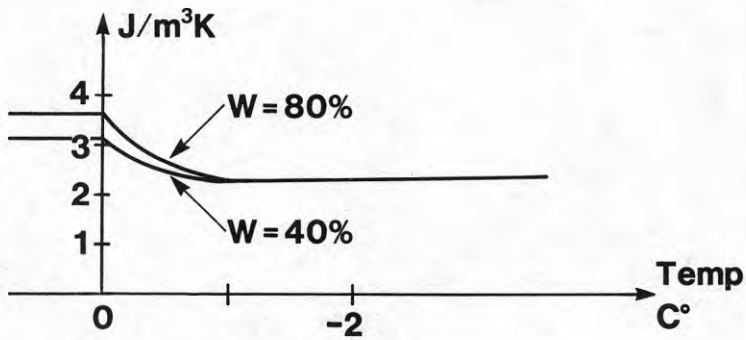
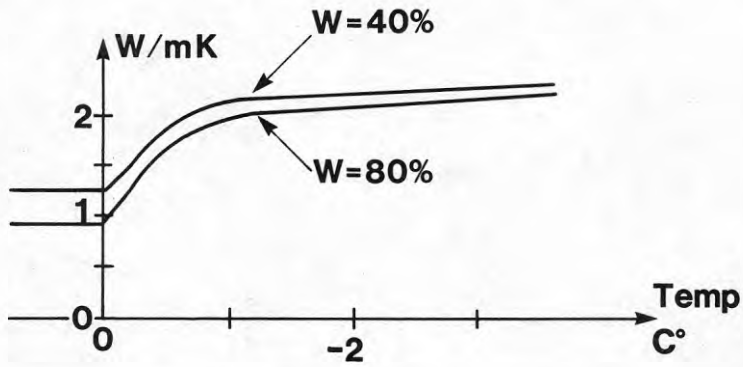
$S_r = 1$

Fall II

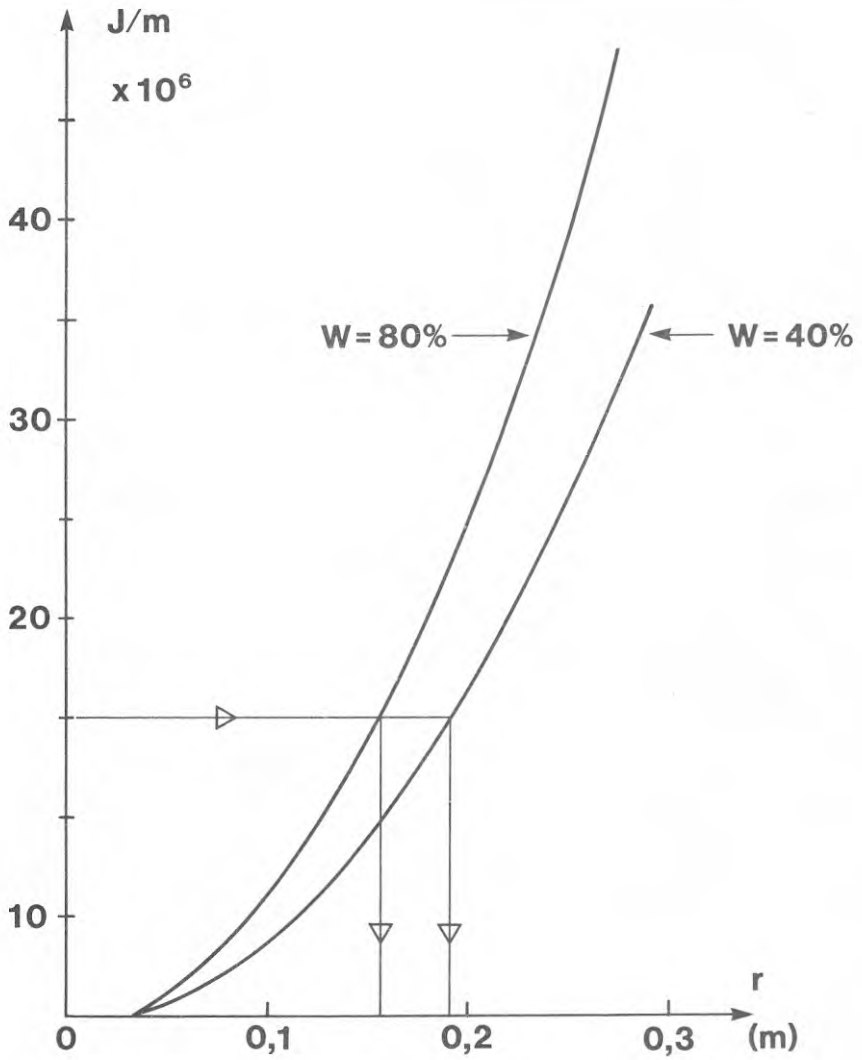
$\rho_D = 1298$

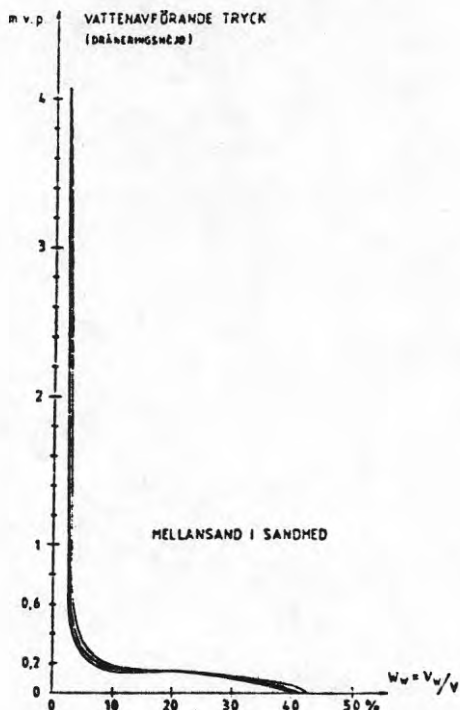
$W = 40\%$

$S_r = 1$

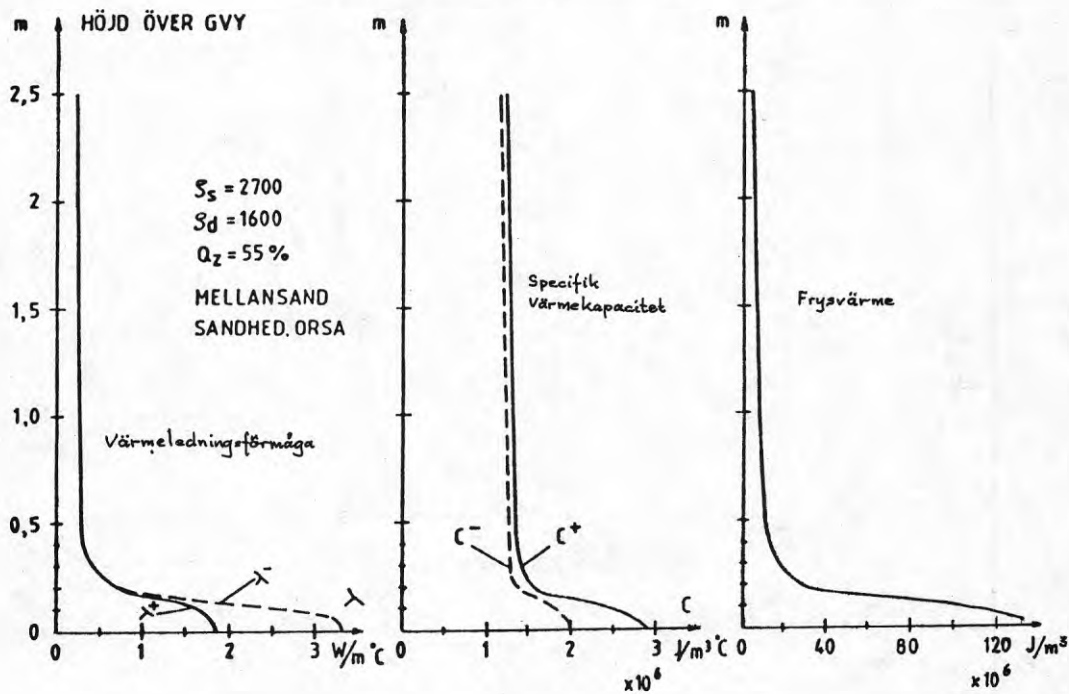


LATENTVÄRME/m BRINERÖR



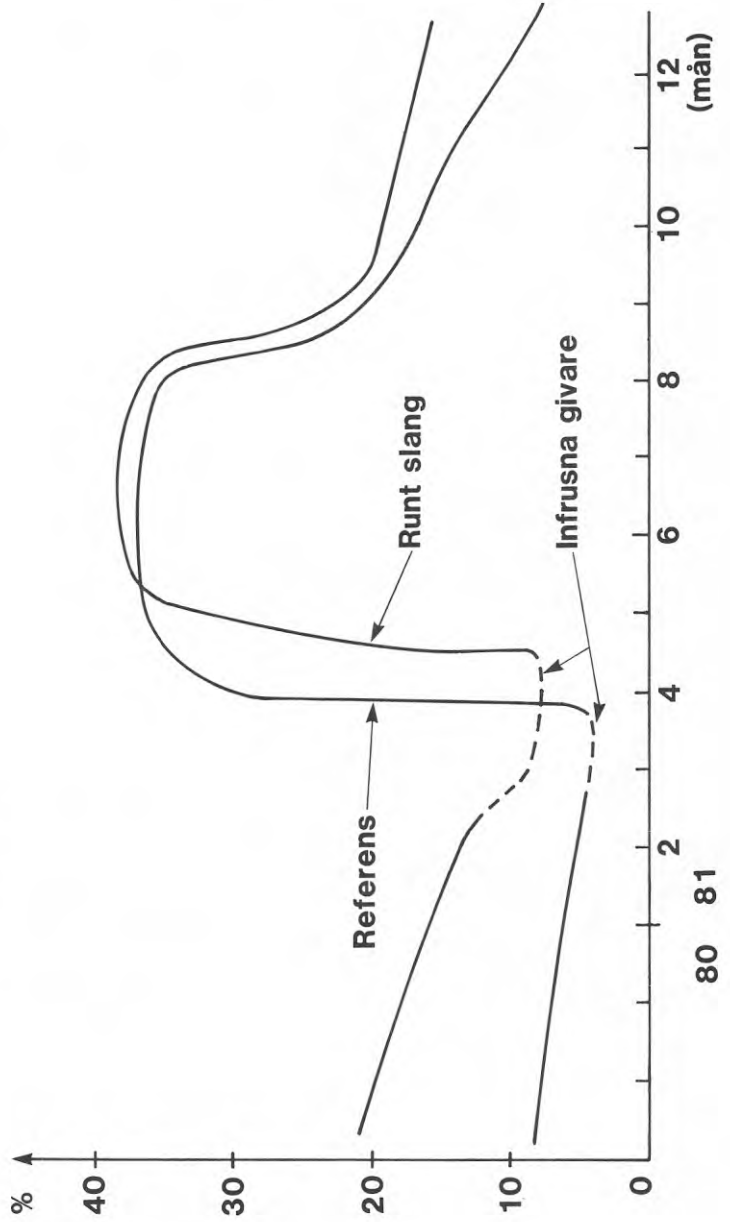


Figur 5 pF-kurva. Vattenavförande tryckkurva för några prov på mellansanden i Sandhed.



Figur 6 Värmeöverförande egenskaperna som funktion av avstånd till grundvattnen.

VATTENHALT VID SLANGNIVÅ



Fälterfarenheter, Diskussion

Per-Erik Jansson ansåg att skadorna på vegetationen verkar vara relaterade till låg lufttemperatur tidigt på våren och skulle kunna vara en effekt som var oberoende av jordvärmeuttaget.

Det påpekades också att leror kan förlora vatten vid frysning och då bli frostaktigare. Kraftig tjälhävning kan skada växters rotsystem.

Under diskussionen nämndes ytterligare några fall av skador kring markkollektorer, bl a en knäckt grundplatta på en villa i Skövde trakten.

De närmare orsakerna till inträffade slangbrott diskuterades. Douglas Ahlkrona svarade att det i praktiskt taget samtliga fall är frågan om förläggningsskador, i sin tur oftast orsakade av dålig förläggningsteknik. När kopplingar har läckt har det verkat som om kopplingen ej varit tillräckligt åtdragen. Kanske flyter plastmaterialet?

På frågan om stenvandring i riktning mot slangen svarade Sven Knutsson att på lång sikt har man en sådan effekt.

Någon frågade om man påträffat mark som givit väsentligt andra driftegenskaper än vad som kommit fram vid provtagningen m m. Som ett speciellt fall nämndes anläggningar, som hamnar i smäck- lera på grund av bortschaktningar vid nybyggnad. Svaret blev att i stort sett hade inga negativa överraskningar inträffat; troligen på grund av stora säkerhetsmarginaler i dimensioneringen. Problemen kan bli större i framtiden, om vi minskar säkerhetsmarginalerna i dimensioneringen.

På fråga om någon avser att göra en mera systematisk uppställning av vunna fälterfarenheter, svarades det att miljökonsekvensgruppen planerar att inom de närmaste åren ge sig på detta problem. Från Thermia's sida meddelades att deras adressregister kunde ställas till förfogande för en sådan undersökning.

John Claesson,
matematisk fysik,
Lund

Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärmeseminarieret"
1982-03-17

SIMULERINGSMODELLER FÖR TEMPERATURFÖRLOPP

Simuleringsmodeller för temperatur- och frysingsförloppen i mark, där värme uttages till ett ytjordvärmesystem, skall här behandlas inom ramen för utvärderingen av ytjordvärmesystemen.

Simuleringsmodeller behövs för att man skall kunna förstå de tämligen komplicerade förloppen i marken. Man kan utföra parametervariationer och känslighetsanalyser. Temperaturpåverkan och samband mellan temperatursänkning kring rören och uttagen effekt kan uppskattas. Denna kunskap behövs tillsammans med empiriska erfarenheter för att på ett systematiskt sätt kunna utarbeta dimensioneringskriterier för ytjordvärmesystemens utformning. Den kunskap man får från simuleringar behövs också då man skall bedöma nya oprövade varianter; t.ex. vinsten med flera slangar över varandra.

Vid simuleringar har man att ta hänsyn till ett antal fysikaliska delprocesser:

- Värmeledning i ofrusen och frusen mark
- Vandrande frysfronter
- Randvillkor vid markytan
- Grundvattenströmning
- Fuktrörelser - infiltration, vid tjälfronter

Beräkning av värmeledningen i ofrusen och frusen mark är väl-etablerad teknik. Beräkning av den vandrande frysfronten kring slangarna och tjälbildning från markytan går också bra om man använder direkta, explicita numeriska metoder. En osäkerhet är här aktuell vattenhalt och därmed förknippad frysvärme. Randvillkoren vid markytan är ett besvärligt område. Man har vind, avdunstning, snödjup m.m. att ta hänsyn till. Kraftig grundvattenströmning, vilket kan vara aktuellt i några fall, påverkar starkt förloppet. Fuktvandring i marken sker genom infiltration och speciellt vid tjälfronter. Det senare förloppet är mycket svårt att kvantifiera. Man får utnyttja uppmätta fukthalter vid olika tidpunkter under årscyklerna. Fukthalterna har också stor betydelse för värmeledningsförmågan.

Beräkningsmodellerna baserar sig på analytiska lösningar eller på numerisk simulering. Analytiska lösningar kan ej behandla tjälbildningsförlopp. Man har enkla randvillkor vid markytan. Man kan analysera stegsvar, periodiska förlopp, influens mellan slangar, injekällor i grundvattenflöde och i infiltrationsflöde m.m. De analytiska lösningarna är av stort värde för olika delanalyser. Ett exempel är korttidsrespons kring en slang i ofruset eller i fruset tillstånd.

Med hjälp av analytiska lösningar bör man också utveckla fältmätmetoder av responskaraktär. Man studerar respons i en tidskala på timmar till några dagar för en slanglängd på någon till något tiotal meter. Ur dessa fältmätningar kan markens termiska data utvärderas. Man får data som hänför sig till en större och härigenom mer representativ markvolym.

En systematisk sammanställning baserad på analytiska lösningar bör göras. Vidare bör dessa "makromätmetoder" utvecklas.

Vid numerisk lösning kan tre modelltyper särskiljas:

1. Endimensionellt med fuktvandring, frysning och detaljerade randvillkor vid markytan.
2. Tvådimensionellt utan fuktvandring.
3. Tvådimensionellt med fuktvandring.

Den första typen av modell har utvecklats vid Ulltuna. Den andra typen finns vid matematisk fysik i Lund, AGA-Thermia och geologi vid Chalmers. Den tredje typen finns t.ex. hos Georges Vachaud i Grenoble. Denna mest avancerade typ har begränsad användbarhet då den kräver en stor mängd data om marken och dess fuktvandringskoefficienter.

De numeriska programmen finns utvecklade. Det finns ett behov av dokumentation av dessa. Vidare finns ett behov av tester mot fältmätningar.

Avslutningsvis finns det ett behov av utveckling och sammanställning av dimensioneringskriterier. Man skall härvid utnyttja de lärdomar och det kunnande som finns från simuleringar och analytiska studier.

Inför utvärderingen av ytjordvärmen kan det ovan sagda sammanfattas i följande punkter:

1. Datorprogram finns utvecklade
2. Dokumentation av datorprogram behövs
3. Tester mot fältförsök behövs
4. Sammanställning av analytiska resultat behövs
5. Utveckling av "makromätmetoder" (responsförsök i fält) är angelägen
6. Utarbetande av dimensioneringskriterier, där man utnyttjar lärdomar från simuleringar och analytiska studier, behövs.

Per-Erik Jansson,
 Avd. f. Systemekologi,
 Sveriges lantbruksuniversitet

Sammandrag av inlägg
 presenterat vid "Yt-
 jordvärme-seminariet"
 1982-03-17

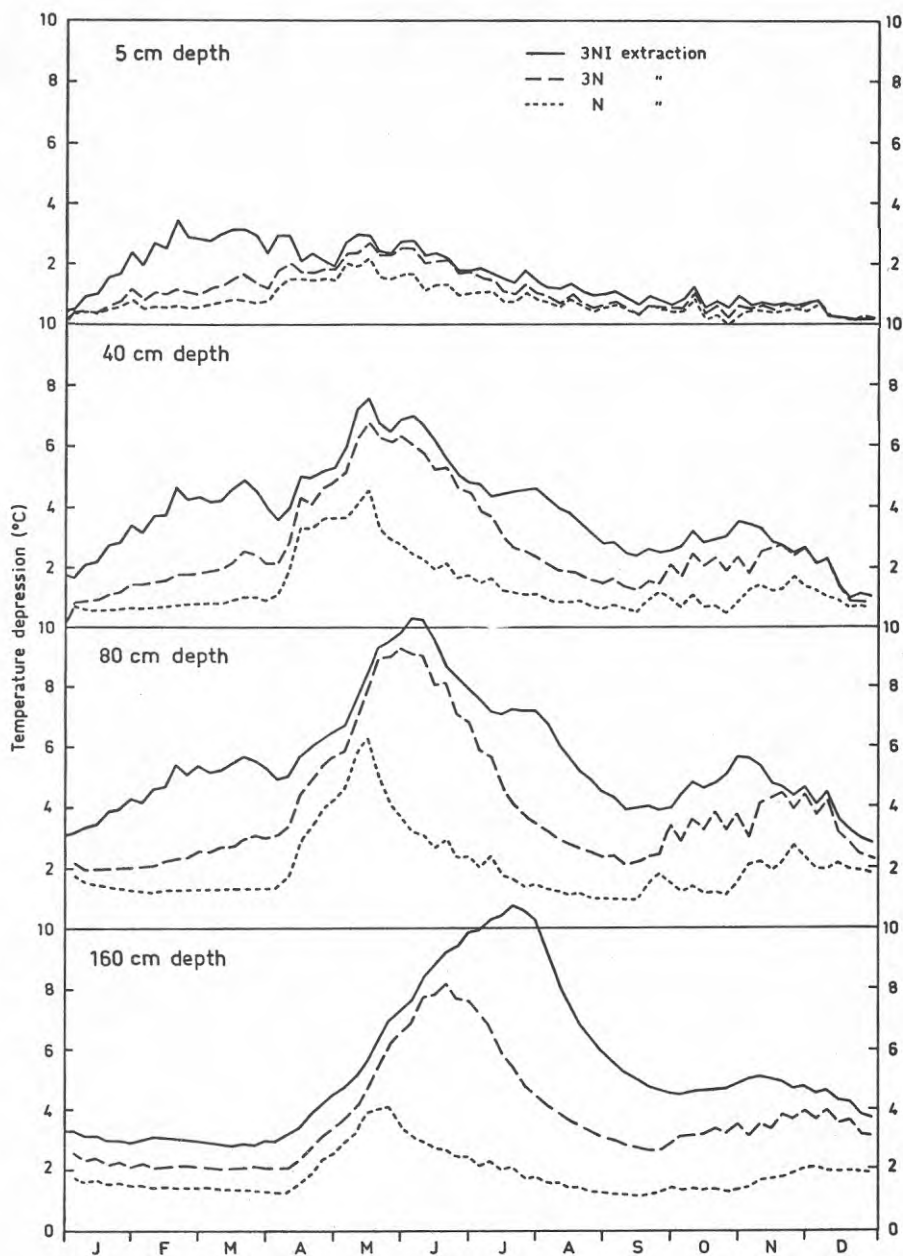
SIMULERING AV MARKTEMPERATURER VID YTJORDVÄRMEUTTAG

En numerisk modell är utvecklad och testad för simulering av temperatur-, fukt- och tjälförhållande i mark som används som värmelager för t ex ytjordvärme. Modellen är utförligt dokumenterad (Jansson & Halldin, 1980) och använd dels under en lång tidsperiod med extremt klimat då inga jämförelser med mätningar kunde göras (Halldin et al., 1979) och dels under en treårsperiod då jämförelser med omfattande mätningar kunde göras (Troedsson et al., 1982).

För användning av modellen krävs meteorologiska standardvariabler som lufttemperatur, nederbörd och molnighet. Dessutom måste markens termiska och hydrologiska egenskaper specificeras liksom djupet för värmeuttaget och värmeuttagets storlek. Tillförlitligheten i modellens förutsägelse av förändrade marktemperatur, tjäl- eller fuktighetsförhållande beror till största delen på noggrannheten hos de angivna indata. Modellen är endimensionell vilket innebär att endast vertikala flöden i marken beaktas.

Vid en fältstudie och test av modellen för ett försöksområde i Hacksta (Lat. 59°33', Long. 17°24') beläget på en styv mellanlera där ytor utan värmeuttag och med två nivåer av värmeuttag ingick kunde följande konstateras:

- (i) Modellen gav god överensstämmelse med observerade arealmedel i samtliga försöksled.
- (ii) Markens termiska och hydrologiska egenskaper kunde skattas från jordartsbestämning.
- (iii) Standardmässiga klimatement gav tillräckligt god skattning av randvillkoren till modellen.
- (iv) Vid stort värmeuttag måste en fördjupad analys av kopplingen mellan de atmosfäriska och de markfysikaliska processerna göras om modellens förutsägelser skall kunna förbättras.
- (v) Inga förändringar av de markfysikaliska egenskaperna kunde spåras efter 3 års värmeuttag.
- (vi) Tjälskjutningen kunde uppgå till ca 2 dm vid högt grundvattenstånd i kombination med ett stort värmeuttag.
- (vii) Markvattenhalten var något förhöjd under vår och försommar i ytor med värmeuttag.
- (viii) Marktemperatursänkningen var både till dynamik och storlek olika vid olika markdjup (Figur 1).



Figur 1. Simulerade medeltemperatursänkningar vid olika djup och värmeuttag under åren 1979-1981. Värmeuttagen motsvaras av årliga uttag om 90, 196 och 304 MJ m^{-2} för respektive N, 3N och 3NJ. (Troedsson *et al.*, 1982)

- (ix) Förändrade marktemperatursummor motsvarar en förflyttning från klimatzon II till IV vid ett värmeuttag av $100 \text{ MJ m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ och från zon II till VI vid ett 3 ggr så stort uttag.

Forskningsbehov

För att undersöka modellens och andra modellansatser tillämpbarhet för att erhålla en bättre kvantitativ kunskap om effekter av ytjordvärmeuttag eller för dimensionering av bästa möjliga värmeuttag krävs:

- (i) Test av modellen för flera andra lokaler som omfattar skilda jordarter, fuktighets-förhållanden, markanvändningar, klimatlägen, känsligheter för tjälskjutning och olika värmeuttagsnivåer.
- (ii) Jämförelse mellan olika modeller som skiljer sig i struktur (en eller två dimensioner) och i antal beaktade processer (tjäle, vattenflöde etc.).

Tillvägagångssätt

Innan några nya utvecklingar av modeller eller experimentella studier påbörjas bör:

- (i) En inventering av idag tillgängliga modeller göras.
- (ii) En inventering och sammanställning av experimentellt material från pågående och avslutade projekt göras.
- (iii) Ett "fritt" datautbyte mellan olika projekt genomföras.
- (iv) Ett internationellt arbetsmöte där modeller kan jämföras mot ett oberoende material arrangeras.
- (v) En sammanställning av dagens kunskap göras genom att förväntade effekter av ytjordvärmeuttag simuleras för en rad typiska situationer i olika klimatlägen.

Sven Knutsson
Avd för geoteknik
Högskolan i Luleå

Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärme-seminariet"
1982-03-17

HÄVNING OCH SÄTTNING TILL FÖLJD AV FRYSNING INVID MARKFÖRLAGDA KOLLEKTORSLANGAR

Ytjordvärmeteknik bygger på användandet av värmepump-
teknik vars kollektorslangar är nedgrävda till rela-
tivt litet djup under markytan. Detta är vanligen av
storleksordningen 0,5-1,0 m. Vid värmeuttaget får en
kall vätska (brine) cirkulera i kollektorslangen.
Vätskan värms upp av den i jorden ackumulerade sommar-
värmén. Detta medför att jordtemperaturen successivt
sjunker. Energimängden som kan utvinnas genom att sän-
ka jordens temperatur till fryspunkten (~ 0 °C) är re-
lativt blygsam. Om brinetemperaturen är långt under
0 °C kommer jorden runt kollektorslangarna att frysa.
Vid frysprocessen frigörs relativt stora energimängder
beroende på vattens stora isbildningsvärme (333 J/g
vatten). För att inte orimligt mycket kollektorslang
skall behöva användas, med tillhörande stora kostnader
för bl a nedgrävning, dimensioneras i regel ytjordvär-
meanläggningar så att jorden runt kollektorslangarna
får frysa. Användningen av ytjordvärmsystem innebär
därför att den under vinterhalvåret frusna jordvolymen
blir större än under motsvarande förhållanden utan yt-
jordvärmsystem. Eftersom en stor del av den utvunna
energin härrör från isbildningsvärmén i samband med
att vatten övergår till is finns en önskan att lokali-
sera kollektorslangarna till områden där jordlagren
har hög vattenkvot. Detta innebär i regel utnyttjande
av områden med finkorniga sediment, eftersom vatten-
kvoten och därmed vatteninnehållet ofta är relativt
stort i sådana jordmaterial. Denna ur energiutvin-
ningssynpunkt lämpliga placering av kollektorn är inte
alltid den ur geoteknisk synpunkt mest lämpliga. Orsa-
ken är att finkorniga jordar ofta är tjälfarliga, dvs
de volymökas under vinterhalvåret till följd av att
vatten transporteras till jordens frusna delar och
där fryser till is.

Tjälfarlig jord är dock inget entydigt begrepp utan
utgör en sammanvägning av jordens egenskaper under
både frysförloppet och upptiningsförloppet. Begreppet
"tjälfarlig jord" innefattar en bedömning av jorden
utifrån i huvudsak tre punkter:

- jordens förmåga att tjällyftas; här kan både den
absoluta tjällyftningen och den differentiella
vägas in
- grad av ytuppmjukning i samband med upptiningen;
här beaktas framförallt stabilitetsproblem och
bärighetsproblem

- storleken på de sättningar som uppkommer i samband med att jorden tinar

Den i Sverige använda indelningen i tjälfarlighetsgrupper är identisk med den som används inom vägbyggnadsdisciplinen [1]. I denna sker en bedömning av jordmaterialen efter tjällyftningsförmåga och grad av ytuppmjukning. Indelningen sker i tre tjälfarlighetsklasser (I-III), med kornstorleksfördelningen och kapillariteten som indelningsgrund. De tre tjälfarlighetsklasserna utgörs av:

- I - icke tjälfarlig jord
- II - måttligt tjälfarlig jord
- III - mycket tjälfarlig jord

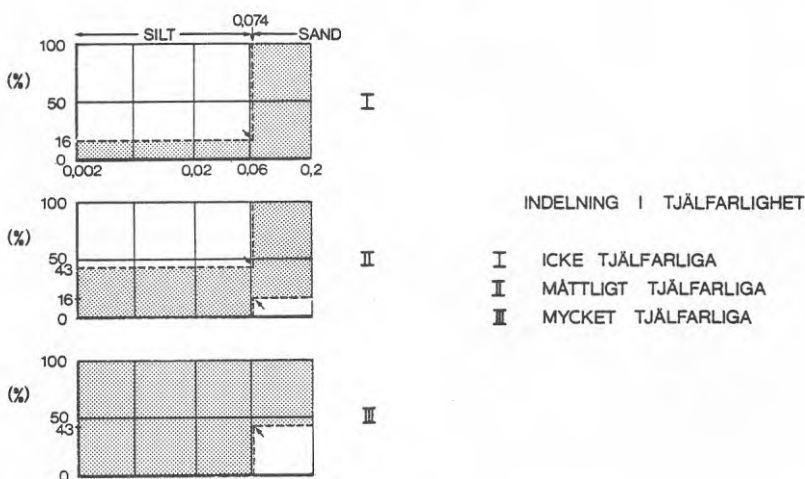


Fig 1. Indelning i tjälfarlighetsklasser efter kornstorleksfördelningskurvor.

Den i Fig 1 visade indelningsgrunden kompletteras med att de flesta leror och moränleror hänförs till klass II. Jordens kapillaritet har också viss betydelse, genom att jord med hög kapillaritet betraktas som mera tjälfarlig än jord med låg. Ovanstående indelningsprincip har inom vägbyggnadsområdet visat sig mycket användbar och har därför använts under lång tid. Den har också inom denna disciplin visat god överensstämmelse med praktiska erfarenheter.

En bedömning av jords tjälfarlighet där större vikt läggs vid upptningsförloppet än vad som görs i den svenska klassificeringen, måste även ta hänsyn till sådana egenskaper som graderingskoefficient och plasticitetsindex. Det kan också vara nödvändigt med direkta frysförsök i laboratorium på upptagna jordprover

för att i gränsfall avgöra ett jordmaterials tjälfarlighet.

I många länder kombineras därför kornstorlekskriteriet med krav på andra geotekniska parametrar, tabell 1.

Tabell 1

Land	Korn-diameter	Graderings-koefficient	Plastici-tetsindex	Kapillari-tet	Frys-försök
Norge	x	x			
Sverige	x			(x)	
Finland	x	x		x	
England	x		x		x
Schweiz	x	x	x		x
USA	x	x	x		x

Det framgår av tabell 1 att kornfördelningen utgör den väsentligaste parameteren, men en del länder som Schweiz, England och USA lägger också vikt vid jordens plasticitetsindex. Frys-försök används framförallt i USA, Canada och Frankrike. Dessa utföres under olika betingelser för att avgöra jordens möjlighet att aktivt bilda islinser och expandera när den fryser med fri tillgång på vatten.

Ett väsentligt skäl till att användningen av frys-försök för närvarande är begränsad vid tjälfarlighetsbedömning är att försökstiden i regel är mycket lång, ofta 10-14 dygn.

Inget av kriterierna enligt tabell 1 ger något entydigt och exakt besked om en jords uppförande i samband med tjälning. Kriterierna gör det dock möjligt att utföra en ungefärlig gradering av olika jordmaterials beteende då dessa genomgår en fryscykel. En mera objektiv indelning bör dock separera vad som sker vid tjällyftningen från vad som sker vid upptiningen. En indelningsgrund baserad på sådana principer finns dock inte idag.

Tjällyftningsprocessen

När jord, vars porer innehåller vatten, fryser, kan detta resultera i en lyftning av markytan. Denna benämns tjällyftning och den orsakas av två processer.

1. Frysning av porvattnet som finns i jorden då 0 °C-isotermen tränger ned

2. Isanrikning i form av islinser. Dessa bildas av tillskottsvatten som sugts mot den frysande jorden, så länge som en temperaturgradient verkar i jorden.

Den förstnämnda processen bidrar som regel med en försumbar del av den totala tjällyftningen, eftersom den orsakas av vattnets 9% volymökning vid isbildningen. I grovkorniga jordarter uteblir lyftningarna helt, eftersom vatten pressas ur jorden i samma takt som is bildas i jordens frusna delar. Detta förutsätter en tillräckligt hög permeabilitet i jorden så att vattenutpressningen inte förhindras.

Om den frysande jorden är finkornig kommer volymökningen i samband med frysningen endast till ringa del att resultera i en vattenutpressning. Orsaken är att permeabiliteten hos den ofrusna jorden är för låg för att tillåta detta. Volymökningen av vattnet kommer därmed att ge upphov till en volymökning, som resulterar i en lyftning av markytan. Denna lyftning är normalt av storleksordningen några centimeter. Har den frysande jorden tillräckligt stor finjordsandel kommer det i den frusna jorden att utbildas ett porvattenundertryck (sug). Detta medför att vatten från underliggande ofrusna jordlager sugts mot, och upp i, den frusna delen av jorden. Resultatet blir att successivt alltmera vatten ansamlas i den frusna finkorniga jorden i form av is. Isanrikningen sker i form av islinser som ger den frusna jorden dess typiska bandade struktur.

Tjockleken på islinserna bestäms huvudsakligen av:

- geologiska faktorer mineral i partiklarna
 kornstorleksfördelning
 permeabilitet
 kapillaritet
- tillgång på frysbart vatten
- temperaturförhållande i den frysande jorden

Isanrikningen kan bli mycket kraftig och ge upphov till en mycket påtaglig höjning av markytan; tjällyftning.

Islinserna orienteras vanligen vinkelrätt mot värme-flödet, vilket för en plan markyta som utsätts för negativa yttemperaturer innebär att islinserna i stort sett blir horisontella.

Kring kollectorslangarna i en ytjordvärmeanläggning blir förhållandena mera komplicerade. Kring slangarna blir värme-flödet under vintern tvådimensionellt, vilket innebär att islinsernas orientering kommer att variera. Detta förhållande medför att tjällyftningen kan bli olika för en punkt mitt över kollectorslangen och en punkt mitt mellan två slangar. I detta fall kan en utpräglad vågighet uppstå på markytan, Fig 2.

SOMMAR

VINTER



Fig 2. Vågighet på markytan till följd av olika stor tjällyftning mitt över och mitt mellan kollektorslangar.

"Våghöjden" beror av mängden is i den frusna zonen runt kollektorslangen, och kan bli så stor att drag-sprickor uppstår. Inträffar detta, medför markytans ojämnheter i regel så stora olägenheter för de kringboende att det är utanför det acceptabla. Ojämnheter-na blir i regel både störst och medför också störst besvär, på våren/vårvintern. Orsaken är:

- maximal isanrikning just innan tjällossningen
- snötäcket börjar försvinna varvid markytans vågighet framträder

I samband med denna vågighet kan särskilt två frågor för FoU särskiljas:

1. Är de beräkningsmodeller som idag finns för att beräkna tjällyftning också användbara i samband med ytjordvärmeanläggningar?
2. Vilken grad av vågighet på markytan kan de kringboende acceptera?

Att med acceptabel noggrannhet kunna beräkna tjällyftningarna och därmed "våghöjden", utgör i själva verket en förutsättning för att punkt 2 skall vara meningsfull. Kan inte "våghöjden" beräknas på förhand, behöver man ju inte heller veta vad som är acceptabelt, eftersom det inte finns några alternativ att ta ställning till. Detta innebär att punkt 1 bör prioriteras.

Det har under lång tid funnits behov av att kunna beräkna tjällyftningars storlek och flera modeller för

detta har också utvecklats, t ex [2], [3], [4] och [5]. En del av dessa har endast använts i samband med laboratorieförsök, medan andra tillämpats på huvudsakliga vägar. Tjälningförloppet under en väg är i huvudsak endimensionellt och skiljer sig därmed från det tvådimensionella runt kollektorslangar. Detta medför att det inte är på förhand givet att de idag existerande modellerna är användbara vid ytjordvärmeanläggningar.

En enkel modell som med viss framgång använts i Norge för att beräkna tjällyftningen för en homogen jord med plan markyta, utgör uttryck (1)

$$\Delta z = \beta \cdot z \cdot w \cdot \frac{\rho_D}{\rho_w} \quad (1)$$

där Δz = tjällyftningen (m)

z = tjäldjup (m)

w = jordens vattenkvot

ρ_D = jordens torrdensitet (t/m^3)

ρ_w = vattnets densitet (t/m^3)

β = empirisk faktor enligt Fig 3

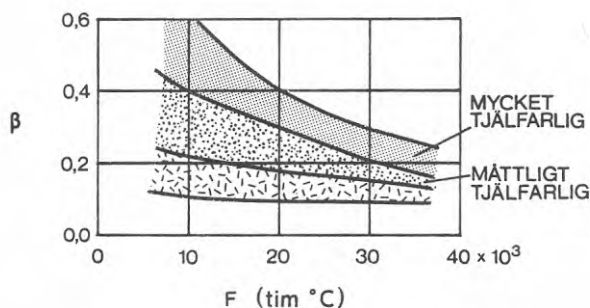
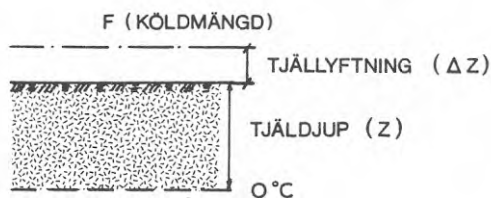


Fig 3. Empirisk faktor för tjällyftning [6].

Andra modeller tar även hänsyn till om en profil består av flera skikt med jordmaterial av olika slag. I förfinade modeller ingår också sådana storheter som bl a permeabilitet i frusen och ofrusen zon, mängd ofruset vatten och temperaturorsakade porvattenpotentialer. Gemensamt för de idag använda modellerna är dock att de endast berör endimensionella fall där t ex en plan markyta påverkas av negativa temperaturer.

I den enkla modellen (1) utgör den empiriska faktorn β en funktion av köldmängden på markytan, dvs tidsintegralen av de negativa yttemperaturerna, vilket inte utan vidare kan överföras till det tvådimensionella systemet med kollektorslangar.

Markytans ojämnhet, till följd av att tjällyftningen blir störst invid kollektorslangarna, behöver inte uppträda förrän tiningsprocessen startat. Orsaken är att den naturliga tjälningprocessen, till följd av negativa lufttemperaturer, medför att ett ytligt skikt av frusen jord kan utbildas i ett tidigt skede av vintern. Detta frusna jordlager fungerar sedan som en platta upplagd på den kraftigt tjällyftande jorden runt kollektorslangarna. Markytan bibehåller därmed sin ytjämnhet medan hålrum uppstår under det frusna jordlagret mellan kollektorslangarna, se Fig 4.

FRYSFÖRLOPP

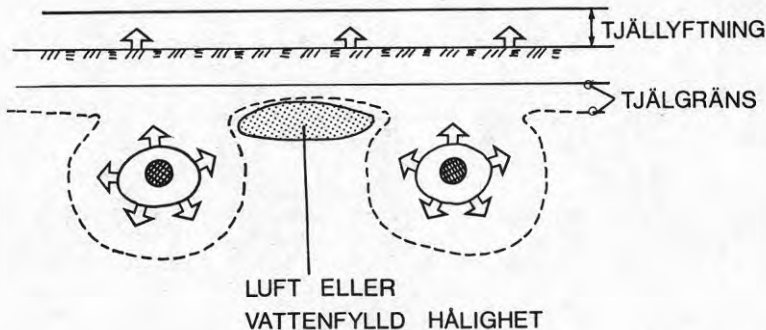


Fig 4. Principskiss av ett tjällyftningsförlopp vid en ytjordvärmeanläggning i kraftigt tjällyftande jord.

Ett tjällyftningsförlopp av denna typ har kunnat konstateras vid en anläggning i Bonåstorpet, Örnsköldsvik. Kollektorslangarna var här placerade i en långsträckt sluttning med mycket tjälfarlig silt. Den av husägarna inte accepterade vågigheten på markytan, uppstod under våren i samband med att den frusna jorden tinade. Ojämnheterna uppkom genom att jorden mellan kollektorslangarna tinade snabbare än den isanrikade jorden runt själva slangarna. Detta innebar att sättningsförloppet efter tjällyftningen gick betydligt snabbare i punkter belägna mellan slangarna än punkter belägna rakt över, Fig 5. Den största differansen (våghöjden) uppstod i mitten av maj månad då nästan all tjäle tinat mellan kollektorslangarna, men en stor del av jorden runt slangarna fortfarande var frusen. I detta skede var differansen mellan en punkt rakt över och en punkt mitt mellan slangarna 12 cm.

BONÅSTORPET

ÅTERGÅNG AV TJÄLLYFTNING

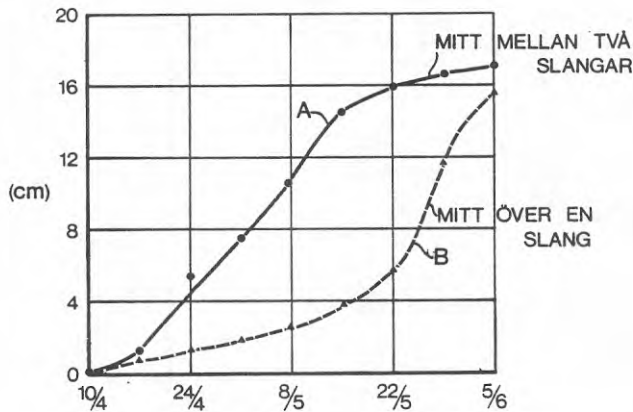


Fig 5. Sättningsförlopp för två punkter på markytan över en ytjordvärmeanläggning.
A - en punkt mitt mellan två kollektorslangar
B - en punkt rakt över en kollektorslang

Markytans ojämnheter blev allt mindre ju mera av den frusna jorden som tinade och under sommaren var markytans planhet i stort sett återställd. Eftersom vågigheten inte var permanent innebär detta att även tiden har betydelse för vad som kan accepteras av de kringboende i form av ojämnheter på markytan. Sannolikt kan en stor ojämnheter lättare accepteras om den varar kort tid än om den består under lång!

Sättning till följd av frysprocessen

I samband med att en finkorning jord fryser uppstår ett undertryck i porvattnet. Detta resulterar i en transport av vatten mot frysfronten och in i den frusna jorden där vattnet bildar islinser.

Vattnet till islinserna tas emellertid också från mellanliggande jord, som genom denna process får lägre vattenkvot än innan frysningen. I samband med upptinandet blir jorden flytbenägen, eftersom vattnet som varit bundet i form av is mellan aggregat av överkonsoliderad jord, frigörs. När detta "överskottsvatten" dränerats bort återstår en överkonsoliderad jord med lägre vattenkvot än innan fryscykeln påbörjades. Att den finkorniga jordens vattenkvot minskar innebär också att dess volym minskar, vilket i sin tur medför sättningar i marken.

Jordens volymminskning till följd av en genomgången fryscykel kan för många normalkonsoliderade finkorniga jordar uppskattas enligt Fig 6, se [7]. Här framgår att volymminskningen till följd av frysningen (ϵ_v) utgör i stort sett en lineär funktion av kvoten mellan vattenkvoten vid frysningssögonblicket (w_{frys}) och jordens plasticitetsgräns (w_p).

En enkel bestämning av vattenkvot och plasticitetsgräns kan således ge storleksordningen på den sättning som är att vänta till följd av fryscykeln. Det är dock inte enbart kvoten w_{frys}/w_p som påverkar kompressionens storlek. Även faktorer som:

- antal fryscyklar
- effektivtryck
- konsolideringsgrad
- frystemperatur

har påtaglig inverkan på kompressionen [7], [8].

Den största delen av volymminskningen har i regel erhållits efter 3-4 fryscyklar. För en jordvärmeanläggning innebär detta, att den frysinducerade kompressionen av jord som tidigare inte varit frusen, kommer att uppträda inom några få år efter det att anläggningen tagits i drift. Detta innebär också att eventuella justeringsarbeten av markytans jämnhet bör kunna ske samtidigt med justeringsarbete till följd av nedgrävningen av kollektorslangarna. Den frysinducerade kompressionen bör i regel vara försumbar efter ca 3-4 fryscyklar och därmed inte vålla problem på lång sikt.

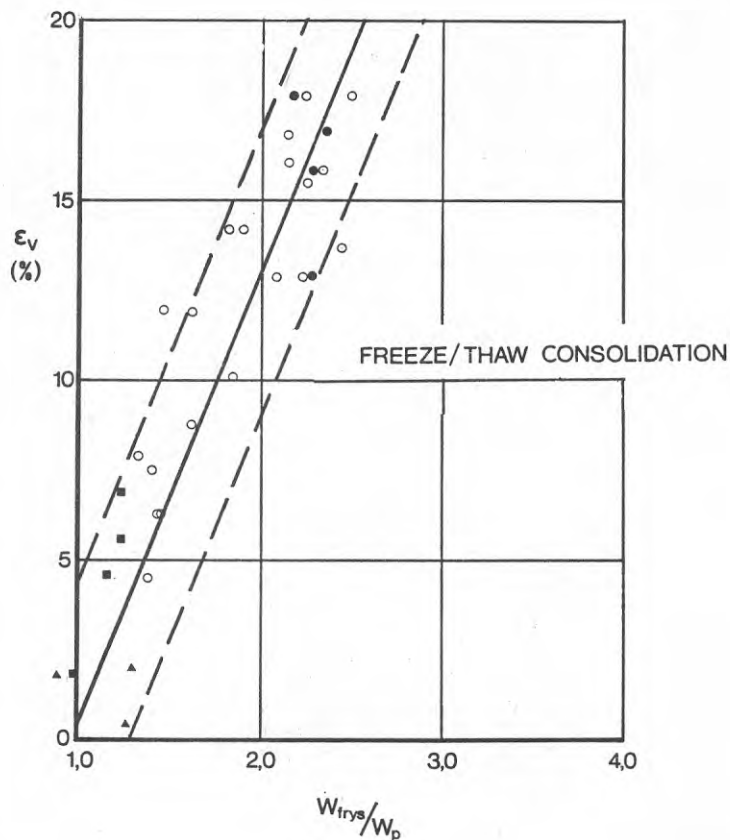


Fig 6. Kompression av finkornig jord till följd av frysning.

Sammanfattning

- Ojämnheter på markytan över kollektorslangar i en ytjordvärmeanläggning kan orsakas av frysningen runt slangarna.
- Detta kan ske som:
 - tjällyftningsfenomen invid slangarna
 - sättning orsakad av att jorden genomgått en fryscykel
- Tjällyftningar kan med idag existerande beräkningsmodeller möjligen beräknas för vägar med endimensionellt värmefflöde.

- Om existerande beräkningsmodeller för tjällyftning kan användas för ytjordvärmeanläggningar där värmeflödet är tvådimensionellt är ej känt.
- Grad av vågighet på olika ytor som kringboende kan acceptera är okänd. Inte heller hur länge vågigheten får bestå.
- Ojämnheter som orsakas av tjällyftning kan
 - dels uppstå på förvintern och därefter öka i storlek under vinterhalvåret
 - dels uppkomma i samband med upptiningen, medan markytan varit jämnt lyft under vintern.
- Sättning till följd av att jorden runt slangarna genomgår fryscyklar kan uppskattas på basis av vattenkvot och plasticitetsgräns.
- Efter 3-4 fryscyklar är i regel den frysinduce-
rade sättningen försumbar.

Referenser

- [1] Statens Vägverk, 1976, Byggnadstekniska anvisningar (BYA) TV 103, Stockholm.
- [2] Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd, 1976, Frost i Jord nr 17, Oslo.
- [3] Penner, E och Walton, 1979, Engineering Geology, vol 13, nos 1-4, p 29-39, Amsterdam, Nederländerna
- [4] O'Neill, K and Miller, R.D., 1982, Numerical solutions for a rigid-ice model of secondary frost heave, CRREL-report 82-13, Hanover, USA.
- [5] Fredén, S och Stenberg, L, 1980, Frost Heave tests on tills with an apparatus for constant heat flow, 2nd International Symposium on Ground Freezing, Trondheim.
- [6] Knutson, Å, 1973, Theory and Experience Regarding Frost Penetration and Frost Heaving, OECD Symposium Frost Action on Roads, Oslo.
- [7] Knutsson, S, 1982, Thaw consolidation of fine-grained soils, Högskolan i Luleå, Luleå.
- [8] Dahlstål, A, 1981, Konsolidering genom frysning-
Inverkan av antalet fryscyklar, Högskolan i Luleå 1981:094E, Luleå.

Fysikaliska effekter, Diskussion

Flera talare påpekade att modellerna kräver uppgifter om markens termiska data, som ju varierar både i tiden och i djupled. Det kan dessutom hända att egenskaperna varierar inom den yta som täcks av en markkollector. Det är således ingen lätt uppgift att jämföra en modell med verkligheten.

Johan Claesson förordade att värmeledningsförmågan kring slangen borde mätas på ett antal anläggningar i drift med hjälp av "korttidsresponstester". Då får vi verkligen tag på värmeledningsförmågan i en av de situationer, som vi är intressade av. Palne Mogensen berättade att AGA-Thermia gjort ett antal dylika försök och funnit att metoden är praktiskt användbar. I flera fall har den erhållna värmeledningsförmågan varit påtagligt högre än vad som förväntats ur geotekniska data.

Inträffade det några förändringar i vattentransportförmågan i Hacksta? Per-Erik Jansson svarade att jordarten är en styv mellanlera, som har mycket dålig vattentransportförmåga. Till hans och andras förvåning erhöles kraftig tjällyftning i den hårdbelastade ytan, vilket kan bero på den höga grundvattennivån.

Per-Erik Jansson hade funnit en hänvisning i litteraturen där man ansåg det möjligt att entydigt korrelera markens värmeledningsförmåga till enbart det vattenbindande trycket. Ingen hade studerat detta närmare.

Per-Erik Jansson
 Avd. f. systemekologi,
 Sveriges lantbruksuniversitet

Sammandrag av inlägg
 presenterat vid "Yt-
 jordvärme-seminariet"
 1982-03-17

BIOLOGISKA EFFEKTER

En första undersökning av de ekologiska effekterna av värmeuttag har omfattat markkemi, markfysik, markbiologi, markhydrologi och prydnadsväxtodling. Undersökningens första fas (3 år) är nu avslutad och redovisad (Troedsson et al., 1982). En sammanfattning av resultaten och forskningsbehoven från markkemiska, markbiologiska och växtodlingsdelarna följer nedan. De markfysikaliska och markhydrologiska delarna är behandlade i avsnittet: Simulering av marktemperaturer vid ytjordvärmeuttag.

Försöket var anlagt på ettlera som kan anses representera en typisk trädgårdsmark i Mellansverige och omfattade referensyta, och två nivåer av värmeuttag (100 och 200 MJ m⁻² år⁻¹).

De markkemiska undersökningarna kunde ej påvisa några förändringar i växtnäringssämnenas förråd eller tillgänglighet under den första treårsperioden.

De markbiologiska undersökningarna visade entydigt att markaktiviteten minskade vid uttag av jordvärme. Förändringarna var fortfarande påtagliga efter tre år genom att maskpopulationen fortsatt att sjunka under varje säsong. Tendensen var likartad vid olika värmeuttag men hastigheten i förändringarna skiljde sig åt. Redan efter en säsong var mängden av dagmaskar kraftigt reducerade på ytor med värmeuttag och det var främst de stora djuplevande arterna som drabbats (Fig. 1).

Växtodlingsförsöken har omfattat gräs, rosor, prydnadsbuskar och barrväxter i de två försöksleden. Effekterna på gräset var mycket små, en viss försenad utveckling under våren och en viss försämring av övervintringsförmågan kunde noteras vid stort värmeuttag. För rosorna noterades de mest negativa effekterna. Detta gällde främst stort värmeuttag och mindre hårdiga sorter. Blomrikedomen var från början bäst på ytor med normalt värmeuttag men den tredje säsongen följde bättre vad som kunde förväntas utgående från rosors känslighet för låga marktemperaturer (Fig. 2)

Prydnadsbuskarnas övervintringsförmåga tycks ej ha påverkats av värmeuttag men en viss försämring av den vegetativa utvecklingen kunde noteras vid det större värmeuttaget. Mönstret var också detsamma för barrväxterna men med undantag av Thuja som påverkats negativt i övervintringsförmåga.

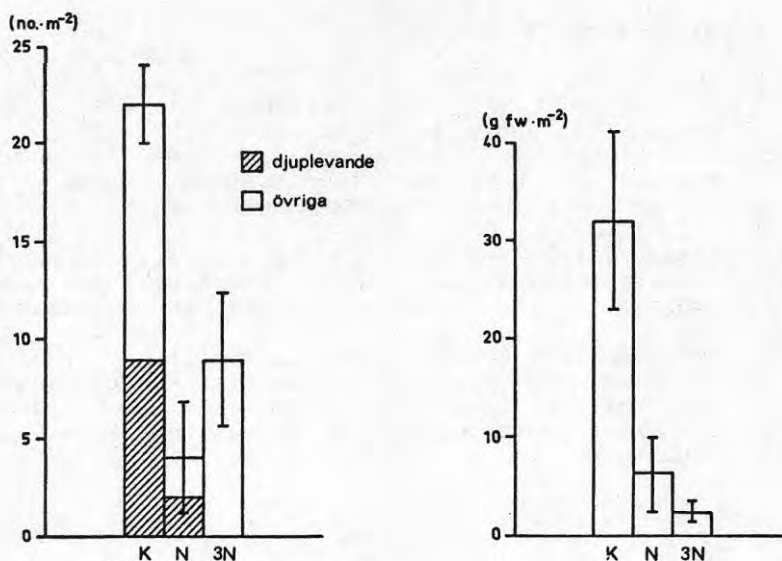
Sammanfattningsvis kan noteras att den biologiska markaktiviteten påverkats kraftigt även vid måttligt värmeuttag medan växtodlingsresultaten i regel endast har påverkats av det större värmeuttaget och då speciellt när mindre hårdiga sorter har använts.

Forskningsbehov

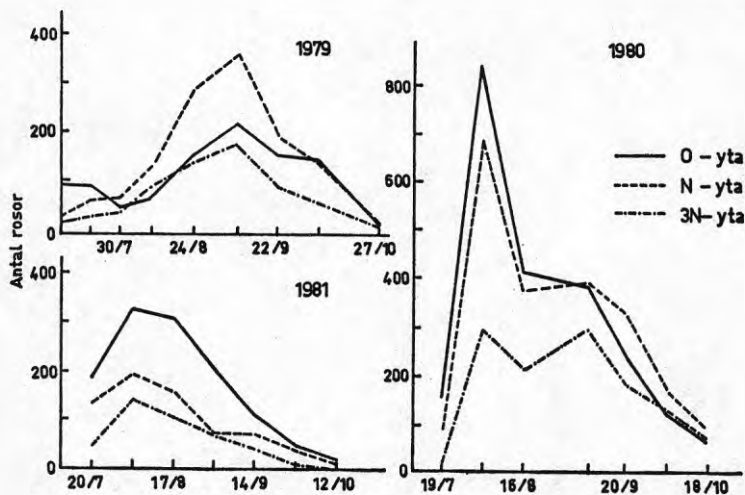
- (i) Undersöka om de förändrade marktemperaturförhållandena kan tolkas som förflyttningar till nordligare breddgrader (odlingszoner)
- (ii) Undersöka kopplingen mellan den minskade markaktiviteten och odlingsbetingelserna (på kort och lång sikt)
- (iii) Undersöka vilka förändringar av markens fysikaliska egenskaper som kan uppkomma genom minskad markaktivitet.
- (iv) Undersöka hur negativa effekter kan motverkas genom skötselåtgärder och sortval.
- (v) Definiera den tolererade biologiska effekten vid olika markanvändningar.

Förfarande

- (i) Grundläggande litteraturstudier om växternas fysiologiska krav på marktemperatur.
- (ii) Detaljstudier på ett fåtal platser om kopplingen mellan biologisk markaktivitet och växtodlingsbetingelser.
- (iii) Översiktliga studier vid ett större antal befintliga ytjordvärmeanläggningar.
- (iv) Utarbeta rekommendationer för skötsel av mark med ytjordvärme genom att ta hänsyn till förväntade förändringar i både de biologiska och de fysikaliska odlingsbetingelserna.



Figur 1. Antal och färskvikt hos dagmaskpopulationer vid Hacksta i juli 1979, första sommaren efter en värmeuttaggssäsong (Troedsson *et al.*, 1982).



Figur 2. Antal skördade rosor vid olika tidpunkter under 1979, 1980 och 1981 (Troedsson *et al.*, 1982).

LITTERATURFÖRTECKNING

Halldin, S, Jansson P-E & Lundkvist, H, 1979, Ecological effects of longterm soil heat pump use. - Proc. Nordic Symp. Earth Heat Pump Systems, Suppl. p. 14-23, Göteborg (Chalmers tekniska högskola)

Jansson, P-E & Halldin, S, 1980. Soil water and heat model. Technical description. Barrskogslandskapet ekologi. TR 26. Uppsala (Sveriges lantbruksuniversitet)

Troedsson, T, Jansson, P-E, Lundkvist, H, Lundin, L & Svensson, R, 1982. Ekologiska effekter ytjordvärmeuttag. Markkemi, markfysik, markbiologi, markhydrologi och prydnads växtodling. Bygghörsningsrådet R 51. Stockholm.

Biologiska effekter, Diskussion

Stor diskussion om kopplingen mellan markorganismernas aktivitet och odlingsbetingelserna. Per-Erik Jansson framhöll att detta är ett mycket omdiskuterat ämne. Vissa forskare hävdar att markorganismer i princip inte behövs vid intensiv växtodling. Många anser dock att markorganismerna spelar en stor roll i naturliga ekosystem. Den försämrade markaktiviteten kan kanske kompenseras genom speciella skötselåtgärder.

Den förflyttning av markområdet, uttryckt som en ökning av odlingszonens nummer, som skulle betingas av yttjordvärmeuttaget är enbart beräknad som ett uttryck för temperatursänkningen i den översta zonen, ned till 80 cm djup. För växter med djupare rötter blir temperatursänkningen proportionsvis större och motsatt förhållande råder för växter med grundare rötter. Det är oklart om detta synsätt kan tillämpas på växtbetingelserna i sin helhet.

Per-Erik Jansson ansåg att de menliga effekterna bör kunna hållas inom en rimlig nivå. Det är däremot önskvärt att en kund bör kunna få mera specifika upplysningar om vad som händer och vilka motåtgärder, som kan vidtagas i form av växtval, skötselåtgärder m m. Detta borde vara en uppgift för miljökonsekvensgruppen att se närmare på. Nästa steg i undersökningarna bör vara att okulärbesiktiga ett stort antal anläggningar; därefter göra fördjupade studier på de ställen där förändringar observerats. Det är framförallt kunskaperna om kopplingen mellan biologisk markaktivitet och odlingsbetingelser som måste förbättras.

Per-Erik Jansson påpekade att de hittillsvarande ganska goda erfarenheterna av markvärmeuttag, kan bero på den försiktiga dimensionering, som AGA-Thermia hittills tillämpat. Vid högre belastningsnivåer kan man bli tvingad till restriktivt växtval och andra inskränkningar.

Palne Mogensen
Palne Mogensen AB
Djursholm

Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärme-seminariet"
1982-03-17

DIMENSIONERINGSREGLER - BEHOV, KRITERIER OCH STRUKTUR

1. Inledning

Markens termiska egenskaper är starkt variabla, vilket sammanhänger med variationer i bland annat jordarts-, densitets- och fuktighetsförhållanden. Erfoderligt slang- och ytbehov för kollektorer med likvärdiga prestanda kan variera en faktor tre för ett givet klimatläge. Om vi ser på den någorlunda bebodda delen av Sverige kan variationer i klimatläget motivera skillnader i ytbehov på en faktor fem.

Tillförlitliga dimensioneringsregler ökar därför möjligheten att applicera jordvärme på små ytor där förhållandena tillåter det, samtidigt som risken för feldimensioneringar på ogynnsamma marker minskar. Vid underdimensionering med för hög belastning på markkollatorn, kan vi få menliga störningar såsom för låg värmebärartemperatur, oacceptabel tjälhävning eller försämrade odlingsbetingelser.

2. Kriterier

Dimensioneringsregler måste utgå från någon typ av kriterier. Det grundläggande kriteriet är naturligtvis att oacceptabel påverkan på grund av jordvärmeuttaget ej skall uppstå. Denna tillåtna påverkansnivå kan variera inom mycket vida ramar beroende på situationen och kan innehålla både objektiva och subjektiva bedömningar. Detta allmänna kriterium måste sedan omformas till fysikaliska gränsvärden, som sedan kan införas i någon simuleringsmodell för marken. Dimensioneringen sker oftast med stor osäkerhet i givna data och risken för fel på grund av detta måste beaktas.

För små anläggningar är det i allmänhet inte motiverat att använda de ofta beräkningstunga simuleringsmodellerna. Istället får då erfarenheter och resultat från simuleringar sammanfattas i dimensioneringsregler. Man kan därvid urskilja två fundamentala villkor, som samtidigt måste uppfyllas; anläggningen skall kunna leverera erforderlig effekt den kallaste dagen och anläggningen skall år efter år kunna täcka belastningens årliga energibehov.

Effektkriteriet innebär att vid uttag av maximal effekt får inte värmebärartemperaturen i kollektorn understiga ett givet värde, bestämt av värmepumpen och dess last. Detta kriterium innebär oftast att enbart fysikaliska hänsyn behöver tas.

Energidimensioneringen är å andra sidan kopplad till en allmän temperatursänkning i marken, ökad tjälbildning mm. Här finns inga egentliga fysikaliska begränsningar, utan dessa ligger i stället i påverkan på mark, markdjur och växtlighet, eventuell tjälhävning och andra typer av störningar.

Beroende på markens användning i övrigt, kan gränsen för acceptabel påverkan variera inom ett stort intervall. Jämför exempelvis en "paradgräsmatta" med skogsmark. Vi har också exempel på mark där biologiska störningar kan försummas (belagda P-platser) och andra där tjälhävning har liten betydelse (åkermark).

3. Indata

Som indata vid dimensioneringen behöver vi uppgift om lastens egenskaper ifråga om maximal effekt, årligt energibehov och dess variation över året. Med hjälp av dessa uppgifter kan vi göra erforderliga korrektioner för anläggningar, som exempelvis värmer bassänger eller är kombinerade med andra värmekällor såsom solfångare. För att kunna "översätta" uppgifterna om värmebehovet till motsvarande belastning på markkollektorn, måste vi ha tillgång till värmepumpens karakteristik.

Från marken behöver vi uppgift om de termiska egenskaperna inom markprofilen ned till och något förbi kollektorns förläggingsdjup; både för frusen och ofrusen mark och hur dessa varierar över året. Oftast är dessa inte tillgängliga och vi får då gå omvägen över geotekniska data från exempelvis en geoteknisk undersökning eller på annat sätt få fram åtminstone en uppskattning av dessa data.

Klimatet speglas i uppgifter om graddagtal, dimensionerande utetemperatur, nederbörd och dess fördelning etc. Dessa bör sedan korrigeras för lokalklimatiska avvikelser, som emellertid brukar vara svåra att kvantifiera.

4. En dimensioneringsmodell

Med hjälp av indata kan vi nu i princip beräkna värmebärartemperaturer och temperaturfält i marken för olika klimatiska förlopp, belastningsnivåer och slanggeometrier. För detta ändamål kan vi använda någon av de markfysikaliska simuleringsmodeller, som finns framtagna. Vi får sedan prova oss fram till en geometri och belastningsnivå, som ger en tolerabel påverkan.

Med hjälp av dimensioneringsregler skall vi emellertid direkt kunna få fram erforderliga anläggningsdata.

Effektkriteriet innebär att anläggningen (markkollektor och värmepump) den kallaste dagen skall kunna leverera avsedd effekt. Som framgår av fig 1, är effekten från en kompressor-driven värmepump starkt beroende av värmekällans temperatur. Detta kriterium innebär då att brinetemperaturen ej får understiga ett visst värde vid maximalt effektuttag (det kallaste vinterdygnet). Markvärmets kommer till en dominerande del från tjälfronten, se fig 2. Temperaturfallet från denna fram till

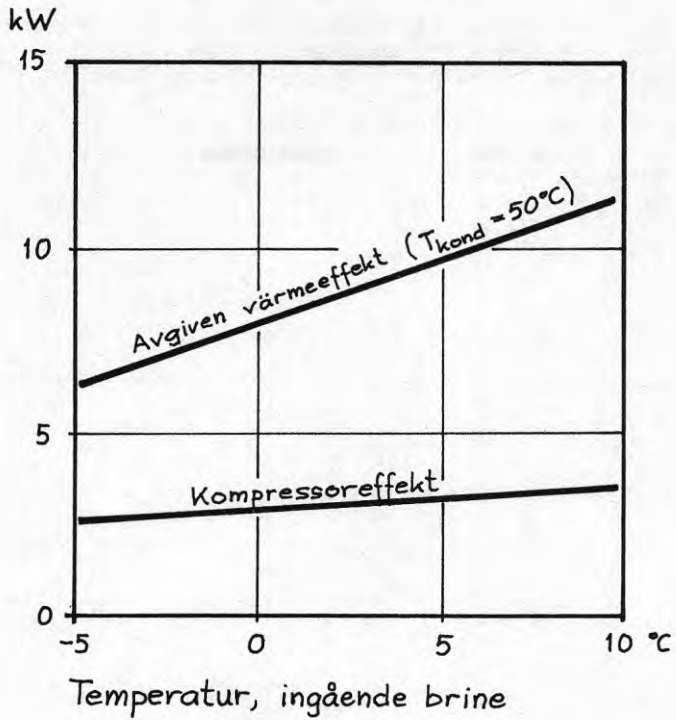


Fig 1. Avgiven värmeeffekt som funktion av ingående brine-temperatur för kompressordriven värmepump (JBC 400M)

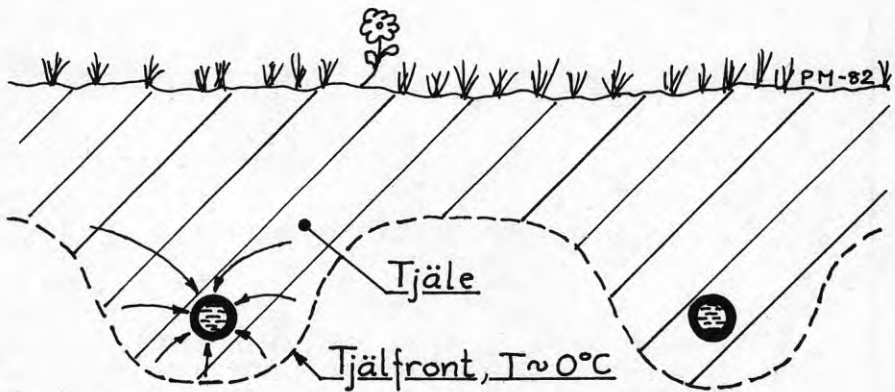


Fig 2. Värmeströmmen till markkolektorslangen den kallaste dagen

markkollektorslangen beror till övervägande del av den frusna markens värmeledningsförmåga närmast slangen. För dimensioneringen behöver vi således framförallt känna denna.

Den "frusna" värmeledningsförmågan är ytterst sällan direkt känd. Vi måste då försöka bestämma denna med ledning av markens övriga egenskaper och Johansen (1) har angivit en metod som utgår från markens kvartshalt, torrdensitet och vattenmättningsgrad. Se fig 3 övre delen.

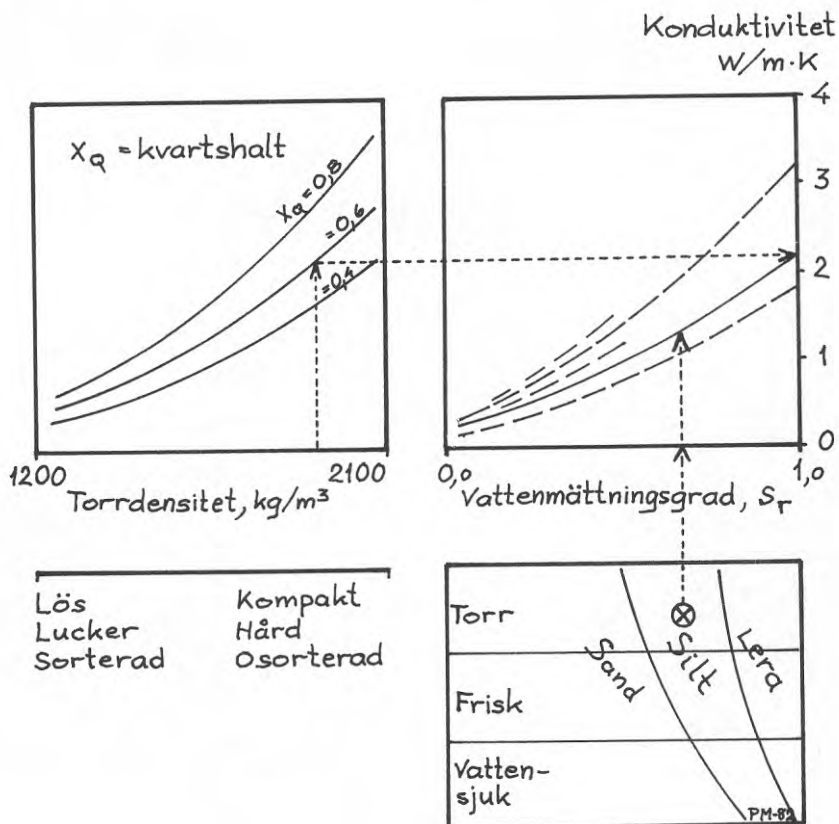


Fig 3. Diagram för bestämning av markens termiska konduktivitet som funktion av geotekniska parametrar

I den mån som vi inte känner någon eller några av dessa geotekniska parametrar, får vi försöka få fram närmevärden. Kvartshalten kan uppskattas ur jordens kornstorleksfördelning, torrdensiteten ur dess konsistens och grävbarhet samt vattenmättningsgraden ur fuktförhållanden och jordart, såsom antytts i nedre delen av fig 3.

På liknande sätt kan energikriteriet kopplas till markens genomsnittliga värmeledningsförmåga i området mellan markyta och slangnivå. Denna kan sedan bestämmas i ett diagram av samma typ som i fig 3.

Det bör slutligen antydast att ytterligare kriterier kan erfordras, som exempelvis begränsar hur nära varandra slangarna kan ligga osv.

5. Resultat

Slutresultat av beräkningarna enligt ovan, blir då en uppgift om den minsta erforderliga markyta, som krävs för anläggningen samt erforderlig slanglängd av givna dimensioner och förlagd på ett visst djup och på ett föreskrivet sätt.

Det blir senare anläggarens uppgift att, med hänsyn till de störningar, som nästan oundvikligen uppstår i fält, utföra anläggningen i enlighet med de ursprungliga intentionerna.

6. Utvecklingsläge

Den stora och principiella svårigheten med dimensioneringsregler är att fastställa relationen mellan acceptabel påverkan och motsvarande fysikaliska data. Svårigheten ligger i att sambanden mellan en viss fysikalisk effekt och motsvarande biologiska eller geotekniska effekt är så ofullständigt kända. Ytterligare forskning och utveckling inom detta område är önskvärd.

Vi kan inte heller med någon större säkerhet säga vilka kombinationer av extrema klimatförhållanden som innebär maximal påfrestning på anläggningen.

7. Referenser

1. Johansen Øistein, Beregningsmetode for varmeledningsevnen av fuktige og frosne jordarter. Del II. Frost i Jord, nr 10, p 13-32. Utvalg for permafrost. Oslo, 1973.

Björn Modin,
VIAK

Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärmeseminarier"
1982-03-17

1 DIMENSIONERINGSREGLER

1.1 Vilka dimensioneringsregler har konsulten ?

Konsulten har idag som hjälpmedel vid projektering av ytjordvärmesystem:

- o Sin egen erfarenhet av projektering av system där man måste ta hänsyn till naturresurserna - geologi, klimat, ekologi. mm
- o Egen erfarenhet av ytjordvärmeprojektering.
- o BFR - rapporter.
- o Han kan även ringa runt och fråga värmepumpsföretagen hur man gör.

1.2 Vilka dimensioneringsregler har värmepumpsföretagen ?

Det finns idag 50 - 60 värmepumpsföretag som tillverkar och/eller säljer ytjordvärmepumpssystem. De flesta av företagen är små. Enligt uppgift har det största företaget i branschen lagt ned ca 2,5 Mkr på framtagande av dimensioneringsregler för markkollektorn. Hur mycket övriga företag har lagt ned på forskning och mätning kring ytjordvärmeslingan har inte gått att få fram.

Hur har de övriga företagen tagit fram sina dimensioneringsregler ? Hur stämmer dom med verkligheten - har reglerna kontrollerats, dvs har man mätt upp anläggningar på ett riktigt sätt för att justera sina dimensioneringsregler?

1.3 Vilka dimensioneringsregler har myndigheterna ?

Aggregat typrovas av myndigheterna. Tillverkarna redovisar hur mycket elstöm värmepumpen drar vid vissa på förväg specificerade driftsförhållande om inte tygodkännande kan göras inom rimlig tid. Men trots att man lånar ut pengar på ytjordvärmeslingan krävs inga som helst dimensioneringsregler! Följaktligen föreligger risk att staten lånar ut eller ger bidrag till ytjordvärmesystem som är feldimensionerade och som sedan kan kosta staten pengar pga de skador som kan uppstå pga en godtycklig dimensionering av

ytjordvärmekollektorn. Staten bör avkräva någon typ av dimensioneringsregler så att inte staten orsakar sig själv och andra onödiga kostnader pga ett för generöst bidrags eller lånesystem.

1.4 Hur ska resultaten från Experimentbyggnadsprojekten utnyttjas BFR - rapporter ger en bra bild av det enskilda projektet, men för att erhålla en mer samlad bild av systemen bör en övergripande utvärdering göras enligt bilaga ?

1.5 Vad ska alla olika beräkningsprogrammen användas till ?

I första hand bör de utnyttjas för övergripande systemteknisk simulering för kontroll av olika parametrars inverkan på dimensioneringen. Detaljstudier av olika problem samt användas vid dimensionering av stora system. Framförallt måste modellerna kalibreras mot verkligheten, en verksamhet som är mycket viktig!

1.6 Hur bör eventuella dimensioneringsmanualer vara utformade ?

De ska vara enkla att utnyttja samtidigt som manualernas begränsningar måste framgå klart. T ex när det krävs en särskild simulering eller annan åtgärd.

Som exempel på ingångsdata kan nämnas:

Gelogiska förutsättningar.

Belastning,effekt, energi.

Kombinationssystem

Manualen bör ta hänsyn till:

Ekologi

Tjäle

Effekt, energiuttag, slanggeometri.

Anläggningsarbeten.

En lämplig form kan vara diagram av olika typer.

FÖRSLAG TILL PROGRAM FÖR PROJEKTET

DIMENSIONERING AV MARKKOLLEKTORER FÖR YTJORDVÄRMEAllmänt

Ovanstående projekt söktes av Geologiska inst, CTH, från BFR. Enligt den tidsplan som ingavs i ansökan skulle projektet starta den 1/4 1982 med föregående planering vintern -82.

BFR beviljade ansökan men med kravet att projektet startas upp omedelbart samt att samordning gjordes med Ultunas ekologi-projekt samt AGA-Thermias och Statens planverks arbete med typgodkännande av ytjordvärme.

Vid ett förberedande sammanträde på BFR med AGA samt Planverket beslöts att man skulle försöka koppla ihop projekten på ett lämpligt sätt för att utnyttja resurserna på bästa sätt.

Ekonomi

Som nämnts ovan har Geologiska institutionen erhållit ett anslag som täcker dels utökad bearbetning av mätresultat från ca 10 st jordvärmeprojekt dels kompletterande provtagning och installation av extra mätutrustning. I de 10 st jordvärmeprojekten kommer projekt Surte (Ale kommun, 88 värmepumpar) samt projekt Sandhed (Orsa kommun, 18 värmepumpar) att ingå.

För att samarbetet skall kunna förverkligas krävs det att:

- * AGA erhåller bidrag från BFR för att fullfölja den uppföljning av ca 10 anläggningar, som initierats med anledning av AGA-Thermias ansökan om typgodkännande för ytjordvärmesystem. I detta arbete ingår uppföljning, databearbetning och -presentation, fälterfarehetsåterföring samt kontroll av mätdata gentemot AGA-Thermias datorprogram YJ-simul.
- * Ultuna får fortsätta sina ekologiska undersökningar enligt ansökan som kommer att skickas in under hösten 1981.
- * Att VTI erhåller forskningsanslag för att hjälpa till med de tjältekniska frågorna i samband med framtagandet av dimensioneringsmanualerna.
- * Pengar ställs till förfogande för referensgruppens deltagande.

Skulle inte något av ovanstående villkor uppfyllas faller respektive del ur arbetet med framtagandet av dimensioneringsmanualer för ytjordvärme.

Planering

Arbetet inleds med 2-3 st planeringssammanträden där huvudlinjerna för verksamheten dras upp. Exempel på frågeställningar som skall bearbetas är: Hur skall samverkan ske, vilka bör delta, vad är målet. Hur skall resultatet användas, hur skall det redovisas. Planeringen skall göras av en arbetsgrupp bestående av:

Björn Modin (ordförande), Jordvärmegruppen CTH
 Douglas Ahlkrona, Värmekällsforskning AGA
 Helen Lundkvist, Ekologisk forskning Ultuna
 (Roland Svensson)
 Sven Fredén, VTI, Tjälteknisk forskning.

Planerna skall sedan presenteras och godkännas av en referensgrupp som följer projektet. Som referensgrupp skall Jordvärmegruppen CTH fungera. Till sig kan man tidvis adjungera följande experter inom respektive område:

Ekologi: Prof T. Troedsson, Ultuna
 Plan- och normfrågor: Repr Planverket
 Värmepumpar: Repr värmepumpstillverkarföreningen
 (Konsumentfrågor: Repr Konsumentverket).

Till arbetsgruppen kommer dessutom att tidvis adjungeras följande personer:

Palne Mogensen, AGA/Palne Mogensen AB, Simulering av ytjordvärme
 Peter Wilén, CTH, Surteprojektet
 Johan Claesson, Lund, Matematiska simuleringar
 Ingvar Rhen, CTH, Sandhedprojektet
 Per-Erik Jansson/Swen Halldin, Ultuna/Uppsala universitet
 Jan Sundberg, CTH, Termiska egenskaper i jord och berg
 Sven Fredén, VTI, Tjälteknisk forskning

Preliminära dimensioneringsmanualer

(Mål och krav samt begränsningar)

Dimensioneringsmanualerna kommer att i första hand ge regler för hur slangsystemet i mark skall dimensioneras med hänsyn till:

- * Klimat
- * Jordart
- * Ekologi
- * Tjäle
- * Anläggningsteknik.

Värmepumpen samt dess delar kommer inte att ingå med mer än att man skall ta hänsyn till effekt- och energibehovets variation under året samt typ av anläggning, heltäckande, deltäckande. Några olika "typiska" belastningsfall skall tas fram.

De planerade dimensioneringsmanualernas innehåll och utformning kombinerat med det arbete som skall göras kräver att man redan i början försöker, så gott det går, skaffa sig en uppfattning om hur de bör utformas.

En mängd frågeställningar bör besvaras, t ex:

Finns det delar som bör ingå förutom de som nämns ovan?

Vilka krav måste ställas på underlaget för framtagande av manualerna? Hur varierar underlaget?

Vilka begränsningar kan sättas på de olika delarna redan från början, så att arbetet kan begränsas på lämpligaste sätt?

Vilka uppgifter skall samlas in utöver de som redan kan erhållas på ett enkelt sätt från de olika mätprojekten?

Hur sammanfaller de ställda kraven med idag använda metoder? (mätning, beräkning)

Vilka ökade kostnader får man vid olika säkerhetsintervall på dimensioneringen?

Hur slår undersökningskostnaden på de totala kostnaderna?

Arbetet skall ta fram ett preliminärt förslag på vad som skall ingå i dimensioneringsmanualerna samt uppskattning om vilken detaljeringsgrad som krävs för de olika problemområdena och storlekar på anläggningarna.

Vidare bör arbetsgruppen komma fram till ett förslag på hur olika delmoment skall bearbetas ur statistisk synpunkt, så att projekt som har anknytning till detta arbete kan påverkas att ta fram underlag för en sådan bearbetning; alt. göra denna bearbetning själva. Som exempel på frågeställningar som kan bearbetas ur statistik kan nämnas bestämning av värmeledningsförmågan i mark samt effektbelastningens tidsfördelning. Eftersom ett jordvärmesystem är känsligt för långvariga stora effektuttag på grund av värmekällans natur är det viktigt att från mätningen vid experimentbyggnadsprojekt studera husens tröghet vid långvariga kalla perioder.

Den statistiska bearbetningen skall ge en uppfattning om hur väl kända de olika delarna som ingår i dimensioneringsunderlaget är samt hur valet av säkerhetsintervall slår på dimensioneringen. T ex kan värmeledningsförmågan vara bestämd med en noggrannhet av $\pm 10\%$ för en stor jordvärmelanläggning, vilket kan medföra ca 5000 m mer slingor i marken eller 7500 m² mer markyta som behöver tas i anspråk jämfört med om värmeledningsförmågan hade varit känd med $\pm 5\%$. Kostnadsökningen rör sig om ca 100 000 kronor förutom kostnaden för markytan som inte går att utnyttja till annat än grönytor.

Genomgång av mätprojekten

Arbetet inleds med att göra en sammanställning av vad som mäts och hur i olika BFR-projekt. Därefter görs utifrån ovanstående preliminära dimensioneringsmanual samt de krav som ställts upp på olika delproblem en genomgång av projekten för att utvärdera om kompletterande provtagning eller/och mätning behöver göras.

Kostnaderna för kompletterande provtagning samt kompletterande mätning för problemområdena ekologi och tjäle måste täckas med separata anslag. Kostnaderna för kompletterande mätning av temperatur, nederbörd, solinstrålning och grundvattennivåer samt kompletterande provtagning för bestämning av jordart/termiska

egenskaper, hydraulisk permeabilitet, infiltrationskapacitet kan till viss del täckas av de anslag som Geologiska institutionen erhållit.

Kompletterande provtagning samt installation av mätutrustning

Utgående från resultatet vid genomgången av de olika mätprojekten görs en kompletterande provtagning och/eller installation av extra mätutrustning.

Inledande tester av beräkningsmodeller

De olika institutionerna och företagen som är inblandade i projektet förfogar över olika beräkningsmodeller. Det kan därför vara lämpligt att göra inledande simuleringar och jämföra med data som man redan nu kan erhålla från olika mätprojekt. Dessa tester görs utan någon planerad jämförelse mellan olika modeller.

Det kan också vara motiverat att lägga ned arbete på att förenkla inmatning och redovisning av resultat så att man senare på ett enkelt sätt kan göra jämförelse mellan beräkningarna. Även modifiering av modellerna när det gäller möjligheter att simulera olika randvillkor, förändringar av randvillkor m m bör göras där det kan anses som nödvändigt.

Ekologiska begränsningar

Uppföljning vid Hacksta-projektet förutsätts fortsätta men som komplettering bör studier göras av även andra anläggningar för att erhålla erfarenheter, i första hand från andra jordarter och ett annat klimat. Vilka anläggningar och vad man skall följa upp bör tas upp i samband med genomgången av mätprojekten.

Resultatet från den ekologiska uppföljningen skall ligga till grund som gränsvärden vid dimensioneringen. Ekologin kan tänkas inverka på:

- Min/max temperaturnivå för slangsystemet
- Slangarnas geometriska placering i marken
- Val av växter i samband med anläggning av jordvärmesystem
- Energi- och effektuttag per yta resp slanglängd.

Kostnaderna för utökade ekologiska studier, som utförs av Lantbruksuniversitetet, Ultuna, måste tas av BFR, då det nu inte finns medel för detta.

Tjältekniska begränsningar

Tjälens möjliga påverkan på olika typer av anläggningar går igenom. En "problemkatalog" upprättas samt även förslag till begränsningar för t ex temperaturnivå på köldbärare, tillåtna energi- och effektuttag, avstånd mellan slingor, slangdjup, närhet till konstruktion som kan skadas av tjälningen (lyft-, frys-skador m m kan vara begränsande faktorer).

I samband med genomgången av mätprojekten undersöks om ev extra insatser bör göras för att underlätta framtagande av manualerna.

VTI måste söka pengar av BFR för att kunna genomföra arbetet.

Utvärdering av olika termiska, klimatologiska, systemtekniska m fl parametrars inverkan på dimensionering samt jämförande simulering

Vid generella studier av olika faktorerers inverkan på dimensionering och utformning av manualer är det mest lämpligt att utnyttja olika simuleringsprogram.

Eftersom dessa kan variera vad det gäller möjliga indata, randvillkor, förändring av parametrar m m är det lämpligt att försöka göra en jämförelse mellan olika befintliga program samt uppmätta data. Denna jämförelse skall ge en uppfattning dels om hur de olika programmen fungerar gentemot varandra, dels om hur de stämmer överens med uppmätta data.

Efter avslutad jämförelse skall mera generella studier av olika parametrars inverkan på dimensioneringen göras..

Exempel på lämpliga frågeställningar att lösa är:

Energiutbytet markyta - omgivning.

Slangens läge, djup, sidoavstånd, randslang - sidoslang.

Tjälad zon runt rören. Tjälens utbredning - form.

Olika jordarters inverkan på förhållanden runt slangen, markytan.

M m.

Framtagande av manualer

Utifrån arbetet med de olika delområdena går materialet igenom och ställs samman.

Vid genomgången undersöks om materialet som finns till förfogande uppfyller de krav som ställts upp för att det skall gå att använda som underlag för framtagandet av manualen.

I:a generationens preliminära dimensioneringsmanualer tas fram och testas mot de utvalda mätprojekten. Utifrån resultatet förändras manualerna varefter de testas av värmepumpstillverkare och konsulter och en II:a generation manualer tas fram.

Därefter avslutas projektet med II:a generationens manualer som slutrapport.

Jan Sundberg
Geologiska institutionen
Jordvärmegruppen CTH

Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärmeseminarier"
1982-03-17

BESTÄMMNING AV MARKDATA

Bestämning av markdata (ingångsdata för dimensionering)

Mark's värmeöverförande förmåga beror av följande faktorer:

Vattenhalt
Mineralinnehåll
Densitet
Kornkontakt
Kornstorlek

varav de tre första punkterna är de viktigaste.

Vattenhalt

En jordart byggs upp av korn och porer. Porerne kan vara fyllda med luft och/eller vatten. Vattenhaltens stora inverkan på den aktuella jordartens värmeöverförande förmåga inses av värmeledningsförmågorna för luft ($0.024 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) och vatten ($0.60 \text{ W/m}^\circ\text{C}$).

Variationen i vattenhalt i en jordprofil kan vara stor beroende på grundvattenytans läge och jordartens kornstorleksfördelning. Förhållandet mellan vattenhalt och vattenbindande tryck åskådliggörs i figur 1 (pF-kurva). Det vattenbindande trycket kan mätas i m.v.p. och en direkt koppling kan då fås till nivå ovan grundvattenyta och vattenhalt. Som synes förekommer mycket stora variationer.

Exempel: Sand (välsorterad jordart)

Ur pF-kurvan i figur 1 för sand ses att vid endast någon dm ovan grundvattenytan återstår endast ca 5-10% vatten. Figur 2 ger värmeledningsförmåga i sand i förhållande till vattenmättnadsgrad och visar i sin tur på en tänkbar variation på flera hundra procent av värmeledningsförmågan i en profil.

Lyckligtvis är sand ett extremexempel och för de flesta jordarter är den tänkbara variationen i en profil betydligt mindre beroende på bättre vattenhållande förmåga.

Även över året förekommer dock variation av de värmeöverförande egenskaperna beroende på grundvattenytans fluktuation, nederbörd och växternas transpiration.

Mineralinnehåll

Värmeledningsförmågan i de enskilda kornen beror av vilka mineral de är uppbyggda av. Det absolut dominerande mineralet värmeledningsmässigt sett är kvarts ($\lambda = 7.7 \text{ W/m}^0\text{C}$). De övriga kvantitativt intressanta mineralen har $1.5 \leq \lambda \leq 2.5 \text{ W/m}^0\text{C}$.

Kvartsinnehållet i svenska jordarter varierar mycket. Något kan dock sägas om kvartsinnehåll i förhållande till kornstorlek, eftersom kvarts är mycket resistent mot nedbrytning. Således kan sägas att leror är relativt kvartsfattiga (0-30%) medan grövre jordarter som sand kan vara mycket kvartsrika. Den vanligaste jordarten, morän, är dock ej sorterad och innehåller därför högst olika kvartshalter.

Skrymdensitet

En jordarts skrymdensitet beror av korndensitet, packningsgrad och vattenhalt. Den kan variera tämligen kraftigt. Nedanstående gränser är ungefärliga.

Lera	$\rho \approx 1400 - 2000 \text{ kg/m}^3$
Sand	$\rho \approx 1600 - 2000 \text{ kg/m}^3$
Morän	$\rho \approx 1800 - 2200 \text{ kg/m}^3$

Noggrannhetskrav

De värmtransporterande egenskaperna behöver inte vara konstanta ens i en jordart på en och samma nivå i ett område. Variationen kan bero på något olika kornstorleksfördelning, vilket påverkar de vattenhållande egenskaperna. En annan orsak kan vara olika avstånd till grundvattenyta.

Hur noggrant behöver de värmtransporterande egenskaperna bestämmas? Det beror helt av vilka noggrannhetskrav som finns uppställda. Detta kan illustreras i figur 3 som visar på en tänkbar variation av värmeledningsförmågan över ett område på en viss nivå. Två olika noggrannhetskrav illustreras i figur 3a-b. Noggrannhetskravet i figur 3a kan antagligen uppfyllas med rätt grova metoder medan kravet i 3b kräver ett flertal mätningar.

Metoder

En indelning av metoder för bestämning av marks värmtransporterande egenskaper kan göras efter noggrannhetskrav och arbetsinsats. En sådan indelning kan se ut som nedan:

- 1) Bestämning av jordarten utifrån geologisk karta och bedömning av vilka λ och c som kan vara aktuella. Jordartskartan är i bästa fall i skala 1:50 000. Södra och mellersta Sverige är karterade men många av kartorna kan vara svåra att få tag på. Karteringsdjupet är 0.5 m, varken mer eller mindre. Sveriges Geologiska Undersökning ger ut kartinformation.

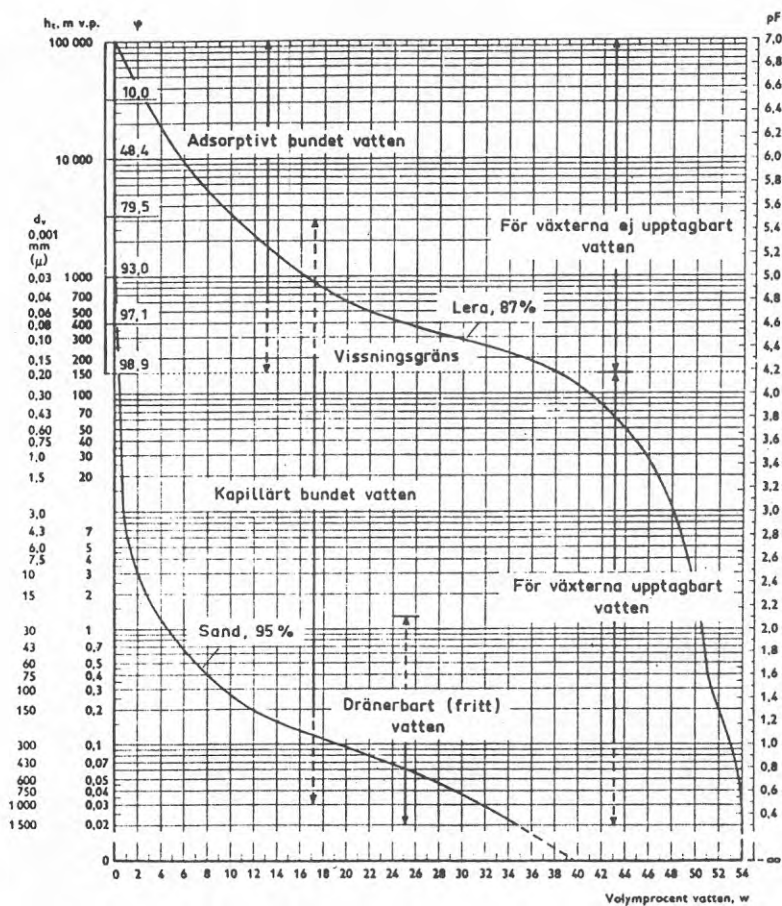
- 2) Besök på platsen för en geologisk bedömning av området. Saker att undersöka: jordart, grundvattenyttnivå och områdets homogenitet.
- 3) Provtagning på platsen för att i laboratorium bestämma vissa för värmeöverföringen viktiga parametrar, vattenhalt, densitet och kvartshalt. Därefter bestämning av λ och c med hjälp av någon teoretisk modell. Kvartshalten är dock svår att bestämma med enkla metoder.
- 4) Mätningar
 - a) Mätning på platsen.
 - b) Provtagning på platsen, mätning i laboratorium. Vid Geologiska institutionen, CTH, finns tillgång till olika mätmetoder för mätning i laboratorium och i fält (figur 4).

Grävbarhet

I ByggAMA 1965 finns en indelning i 4 grävbarhetsklasser. Någon sådan finns dock ej i senaste MarkAMA! I Finland har man ett något utförligare klassificeringssystem. I figur 5 är de olika grävbarhetsklasserna redovisade. Transportforskningskommissionen har gett ut en rapport rörande "Jordartsklassificering och maskinell schaktning" (Utredningsrapport nr 20, Stockholm 1966).

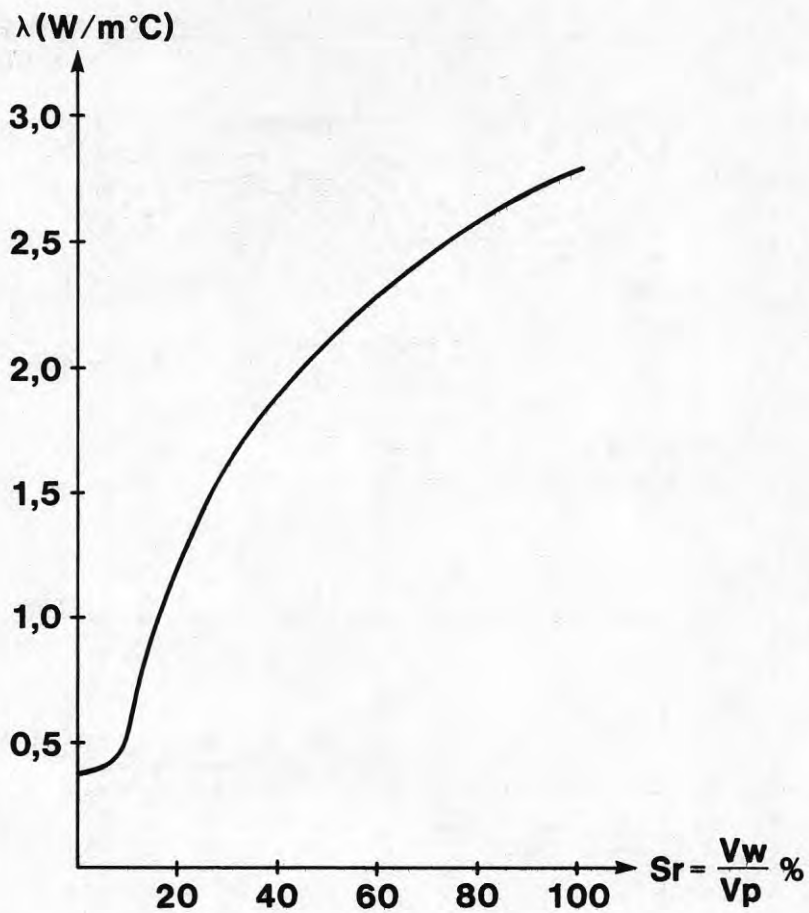
Vad återstår att göra?

Med relativt enkla geologiska och geotekniska parametrar som underlag bör värmeledningsförmåga och värmekapacitet kunna beräknas med viss noggrannhet. För att uppnå detta måste ett tillräckligt mätunderlag kopplat till vattenhalt, densitet, jordart, region m m införskaffas. Detta pågår vid Geologiska institutionen, CTH.

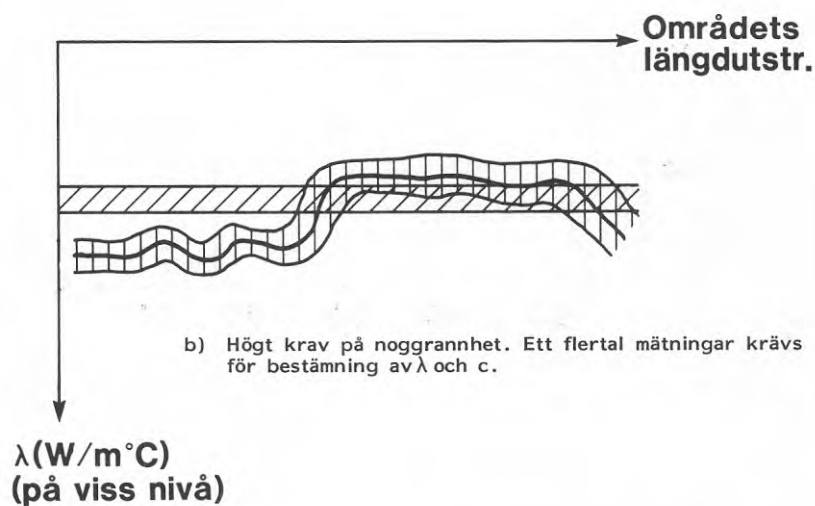
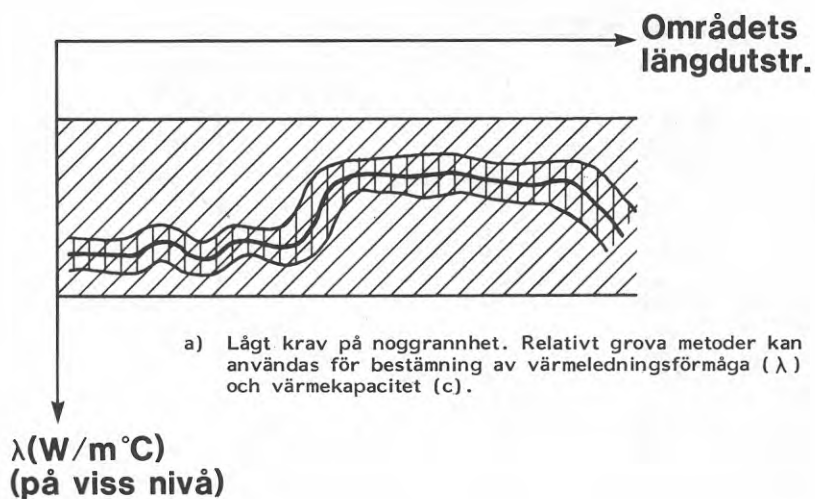


Figur 1. pF -kurva för 2 extremfall, lera och sand. Vattenhållande tryck på den vertikala axeln och volymprocent vatten, $w = (V_w/V)$, på den horisontella.

Sigvard Andersson, Paul Wiklert: Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XXIII Grundförbättring 25 1972:2-3.





Figur 2. Värmeledningsförmågans variation med vattenmättnadsgraden för en sand. Kvantshalt 80%, $\rho_d = 1800$ kg/m³.



Figur 3. Värmeledningsförmågans variation - krav på noggrannhet.

 Värmeledningsförmågans variation över området.

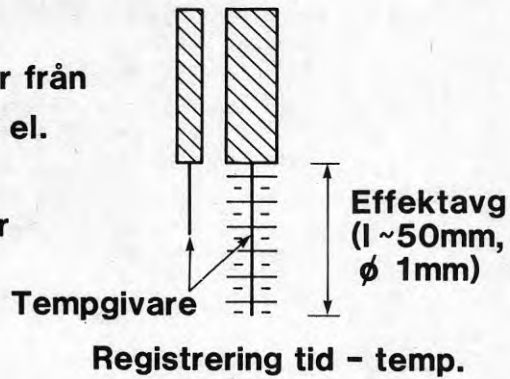
 Naturlig variation över året orsakad av vattenhaltsförändringar.

 Krav på noggrannhet.

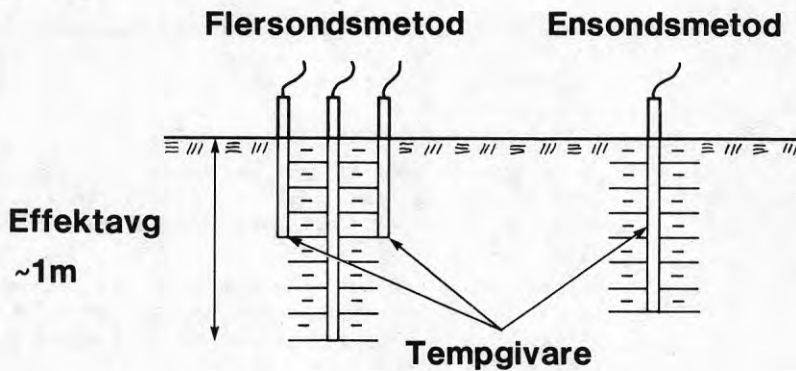
MÄTMETODER vid CTH

LAB-SKALA

Mätning på prover från
kolvborrcylindrar el.
andra typer av
provtag.n.cylindrar



FÄLT



Mätvolym större med flersondsmetod

Noggrannhet: Flersondsmetod: $\lambda \pm \text{ett par}\%$, $c \pm 10\%$

Eksondsmetod: $\lambda \pm \text{ett par}\%$, (c)

Figur 4. Mätmetoder vid Geologiska institutionen, CTH.

ByggAMA 1965

- Klass A. Lös jord: jord schaktbar med skyffel. Hit hänförs bl.a. humusjord (dy, gyttja, matjord o.d.), lös lera, lös mjäla, lös sand, fint grus.
- Klass B. Fast jord: jord som måste löstagas med spade eller stålslunga. Hit hänförs bl.a. fast lera, fast mjäla, fast sand, grovt grus, lös pinnmo.
- Klass C. Hård jord: jord som måste löstagas med korp eller spett. Hit hänförs bl.a. hård lera, grus med mycken eller stor sten, hård pinnmo.
- Klass D. Mycket hård jord: jord som måste löstagas medelst kilning eller sprängning. Hit hänförs mycket hård pinnmo och liknande jordarter.

Finska Statsrådskommittén

- Klass I. Lösa jordarter som lätt kan skyfflas med spade, såsom matjord, kärrtorv, torr sand, fint grus.
Vikt 1 000 - 1 500 kg/vfm³.
- Klass II. Jordarter som kan lösgöras och skyfflas med spade, såsom stubbig myrjord, mjuk lera, lös, mjälig lera och mjäla (varviga leror), fast ren sandjord (älv- eller åssand), stenfritt grus.
Vikt 1 500 - 2 000 kg/vfm³.
- Klass III. Jordarter som kan löstagas med hacka och spade, såsom hård lera och mjälig lera (även torr, varvig lera), fast stenigt grus (åmgrus), fast lerigt och något stenig sand (lös morän).
Vikt 1 600 - 2 100 kg/vfm³.
- Klass IV. Jordarter som kan lösgöras med jordkilar, järnspett och hacka, såsom stenigt, grovkornigt hårt grus (hårt åmgrus), lerigt grus, vilket innehåller stenar i olika dimensioner (mellanhård morän).
Jorden måste lösgöras innan spade kan användas.
Vikt 1 800 - 2 200 kg/vfm³.
- Klass V. Särskilt hårda jordarter och mjuka bergarter som kan lösgöras med kilar, järnspett och hacka, men även fordrar användning av sprängämne, såsom stenigt grus (hård bottenmorän) av hårdaste slag, vilket förtätats (sammanfattats) av lera och mjäla, olika skifferar och förvittrade bergarter.
Vikt 2 000 - 2 600 kg/vfm³.
- Klass VI. Berg och stenmaterial.

Figur 5. Grävbarhetsklassificering.

Dimensioneringsregler och Markdata, Diskussion

Diskussion om metoder att bestämma markens kvartshalt. Kemiska metoder är oanvändbara, eftersom det inte är den totala kisel-syrehalten, som efterfrågas utan enbart mineralet kvarts, som så gott som ensamt har den höga värmeledningsförmågan. Vissa grova samband gäller mellan kornstorleksfördelning och kvartshalt på så sätt att de finkorniga fraktionerna oftast har låga kvartshalter. För de grova fraktionerna är däremot variabiliteten stor och i hög grad bestämd av varifrån ursprungsmaterialet kommer. En viss möjlighet finns säkert att upprätta kartor över kvartshaltens fördelning i landet, kanske då som enbart omfattar de grövre fraktionernas kvartshalt. För de grövre fraktionerna är också kornräkning en möjlig metod.

Det ansågs väsentligt att dimensioneringsreglerna måste vara lättarbetade så att de verkligen kommer till användning. Sven Knutsson å sin sida ansåg dock att redan den modell som Palne Mogensen skisserat tillät alltför höga grader av osäkerhet. Ett absolut minimikrav borde vara ett jordprov, på vilket densitet och vattenhalt bestämmes.

Sten Bjurström tyckte att de 5000 anläggningarna hade visat att vi i dag ganska bra klarar av att dimensionera markvärmekollektorer. Analogt med förhållandet vid småhusgrundläggning finns det emellertid fall, som är mer komplicerade och kräver fördjupade undersökningar.

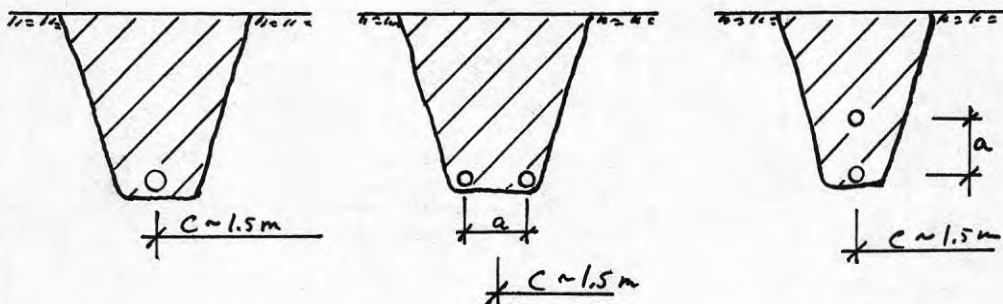
Sven-Erik Lundin föreslog att det geotekniska undersökningsprogrammet vid husbyggande borde utökas till att omfatta även de parametrar, som är av intresse för markvärmeuttag. Han ansåg vidare att markvärmekollektorerna alldeles för ofta görs för att klara det totala effektbehovet och ifrågasatte om detta var en ekonomiskt optimal lösning.

Frågan om kostnaderna för en markundersökning diskuterades och det föreslogs bl a att någon borde utveckla en sond, som försäljaren kan ha med sig och bara sticka ner i marken för bestämning av värmeledningsförmåga m m. En dimensionering för ett småhus får inte kosta särskilt många hundralappar. Diskussion om vad som kunde vinnas med noggrannare dimensionering. Flera talare påpekade att resultatet av dimensioneringen i stort sett alltid blev 300-400 meter slang. De goda resultat man uppnått med majoriteten av anläggningarna kan ju också bero på att de dimensionerats med mycket vida säkerhetsmarginaler på grund av den osäkerhet som hittillsvarande dimensioneringsregler ger. Genom att öka precisionen kan då säkerhetsmarginalerna minskas utan att frekvensen problemanläggningar ökar.

ANLÄGGNINGSTEKNIK

Alternativa läggningmetoder

Man kan skilja på metoder som bygger på grävning och metoder som bygger på plöjning. Bland metoder som bygger på grävning kan man skilja på grävning med skopa och grävning med kedjegrävare. Vid grävning med skopa används vanligen sk traktorgrävare. Kedjegrävare har en kedja - påminnande om ett motorsågssvärd - som gräver upp en skåra i marken. 10-15 cm bred. Vid plöjande metoder kan man skilja mellan plog utan rörlig arm och plog med rörlig arm. Den förstnämnda är stel i förhållande till fordonet, medan den senare monterats på en teleskopisk arm och själva plogen kan också vridas i två plan. Vid plogning "river" man vanligen först en skåra i marken med en speciell plogbill, varefter man lägger slangen på plats genom att montera ett läggningrör på plogen. Vid villa åtgår genomsnittligen ca 25 timmar för läggning, provtryckning och återställning vid grävning och ca 20 timmar vid plöjning.



Enkelförläggning

Dubbelörläggning

Flernivåsystem

Figur 1. Alternativa kollektorutformningar.

Alternativa kollektorsutformningar

Vid ytjordvärme används vanligen slangar, men vid ett tiotal anläggningar där ytjordvärme används i kombination med uteluft som värmekälla används en matta (Solaroll) för värmeupptagningen. Slangar visar sig emellertid normalt ge väsentligt bättre ekonomi än mattor. Kollektorn kan bestå av en enkel slinga eller flera parallellkopplade slingor. Vad avser lägningsmetod finns här ingen skillnad. Däremot kräver parallellkopplade slingor väsentligt större planering av lägningsarbetet än enkla slingor. Vidare kan man skilja mellan enkelförläggning, dubbelförläggning och flernivåsystem. Se figur 1. Vid enkelförläggning och flernivåsystem kan samtliga lägningsmetoder användas. Vid dubbelförläggning kan endast grävning med skopa användas. Vid läggning av matta är grävning med skopa enda alternativet.

Svåra markförhållanden

Svåra markförhållanden beror vanligen på endera att marken är stenig, att man stöter på berg inom grävdjupet, att man har mycket träd att ta hänsyn till eller att marken har dålig bärighet. Stenig mark leder till längre grävtid eftersom stenar ofta måste grävas upp och eventuellt borttransporteras, mer arbete med återställningen och större risk för skador på kollektorn. Om man stöter på berg inom grävdjupet krävs sprängning och/eller isolering vilket leder till merkostnader. Träd eller buskar som man måste ta hänsyn till leder till längre grävtid och större risk att trädets rötter eller krona får skador vid anläggandet. Dålig bärighet leder till större återställningsarbete (hjulspår etc) och ger restriktionen att anläggningen endast kan ske när marken är någorlunda upptorkad.

Återställning av markskador

Kommersiellt används ofta två olika alternativ:

1. Leverantören återställer marken till "grovplanerat skick". Benämningen svår att definiera men motsvarar ungefär vad som avses med "grovplanering" i nybyggnadssammanhang.
2. Kunden organiserar grävningen själv.

AGA Thermia använder företrädesvis det förstnämnda alternativet.

För att minimera markskadorna är det intressant att diskutera betydelsen av maskinval, kollektorutformning och markslag. Maskinvalet har betydelse vad gäller sättningen, omrörning av jord och återställning av gräsmatta. Vad gäller sättningar ger grävning med skopa ofta stora sättningar. Vid användning av kedjegrävare blir sättningarna ofta mycket stora just i den urgrävda skåran eftersom effektiv packning där är mycket svår att åstadkomma. Plöjning däremot

ger mycket små sättningar. Vad gäller omrörning av jord ger skopa och kedjegrävare ofta viss omrörning, vilket leder till försämrad matjordskvalitet, medan plogen ej ger någon omrörning. Vid grävning med skopa måste gräsmattan nästan alltid nyanläggas, medan vid kedjegrävare man ibland och med plog ganska ofta kan nöja sig med komplettering.

Vad avser kollektorutformningen ger dubbelförläggning och flernivåsystem mindre grävlängd och därmed mindre skador totalt än enkelförläggning. Vidare ger parallellkoppling mindre slangdiameter och därmed möjlighet till mindre plogbill och därmed mindre maskin än vid enkel slinga.

Om man ser till markslag ger stenig mark mer arbete med återfyllning och dålig bärighet ger ofta arbete med hjulspår etc som måste utplånas.

Läggning nära andra ledningar

Ur frostskyddssynpunkt bör avståndet till vattenförande ledning vara minst 50 cm. Om isolering används kan man klara sig med mindre avstånd.

Man bör se till att antalet korsningar med andra ledningar blir så få som möjligt. Vid korsningar bör varningsremsa läggas över ytjordvärmeslangen och vid sättningsbenägen rörgrav bör stöd läggas under slangen.

Före grävning åligger det ägarna att kontakta el- och televerk för utmärkning av eventuella kablar.

Läggning parallellt med avloppsledningar kan ge "gratisvärme". Läggning för nära röret innebär dock frysrisk. Dimensioneringsregler saknas för närvarande.

Slang- och läcklokalisering

Slang kan lokaliserars endera genom s k temperaturmätning eller genom att låta en sändare cirkulera i slangen. Vid temperaturmätning mäter man med hjälp av en temperatursond upp temperaturfältet i marken och med hjälp av detta drar man slutsatser om var slangen är belägen.

Genom att låta en sändare cirkulera i slangen kan man med en mottagare med extrem riktningsverkan kartlägga var slangen ligger.

Läckor kan lokaliserars med olika metoder. Vid "halveringsmetoden" gräver man upp och kapar slangen på mitten, varefter man tryckprovar och därmed fastställer i vilken halva läckan är belägen. Därefter gräver man upp vid denna slingas mittpunkt o s v. Metoden är jobbig och leder ofta till ett omfattande återställningsarbete. Vid gasmetoden pumpas en spårgas in i slangen. Genom ett elektroniskt instrument detekteras var spårgas finns ovan slangen och därmed läckans belägenhet. Vid audiometoden pumpas slangen upp med gas och/

eller vätska. Via det ljud som den utläckande gasen/vätskan åstadkommer lokaliseras läckan med ett elektroniskt instrument. Såväl gas- som audiometoden är under utveckling och utvecklingsarbetet tyder hitintills på att metoderna bör kunna bli tillförlitliga.

Sammanfattning av FoU-behov

Följande bedöms som önskvärt ur anläggningsteknisk synpunkt:

- Snabb och tillförlitlig metod att bestämma grävbarhet och djup till berg.
- Vidare utveckling av plogar så att mindre och bättre plogar åstadkommes.
- Kunskaper och regler för minsta avstånd till träd och buskar dels ur anläggningssynpunkt dels ur värmeuttagssynpunkt.
- Vidareutveckling av slang- och läcklokaliseringsmetoder.
- Enhetliga regler för dokumentation av slangläggning (slangkartor etc).
- Anläggningstekniska krav vid läggning på speciella ytor som parkeringsplatser, bollplaner etc, som täcker in risken för sabotage, skador av trafiklast etc.
- Regler för utnyttjande av avloppsvärme.

ALTERNATIVA LÄGGNINGSMETODER

GRÄVNING

- skopa



~25 tim/anl.

- kedjegrävare



PLÖJNING

- plog utan
rörlig arm



~20 tim /anl.

- plog med
rörlig arm



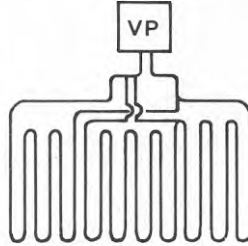
ALTERNATIVA KOLLEKTORUTFORMNINGAR

SLANGAR

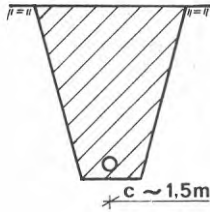
Enkel slinga



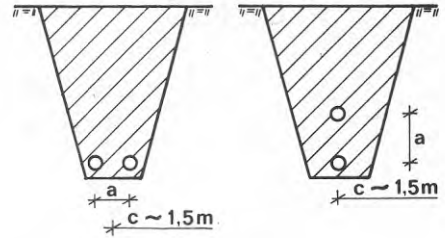
Parallellkopplade slingor



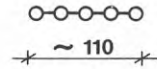
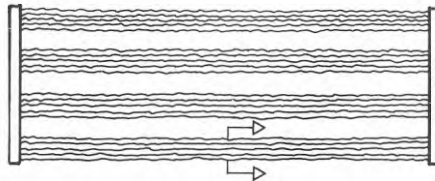
Enkelförläggning



Dubbelförläggning/ flernivåsystem



SOLAROLLMATTA



SVÅRA MARKFÖRHÅLLANDEN

STEN

- längre grävtid
- mer arbete med återställning
- större risk för skador på kollektorn

BERG

- sprängning
- isolering

TRÄD

- längre grävtid
- risk för skador på träd

DÅLIG BÄRIGHET

- större återställningsarbete
- restriktioner i tid

ÅTERSTÄLLNING AV MARKSKADOR

Alt 1. Leverantören återställer till "grovplanering"

Alt 2. Kunden organiserar grävningen själv

MASKINVAL

	Sättningar	Omrörning av jord	Gräsmatta
Skopa	ofta stora	viss	nyanl.
Kedjegrävare	ofta svåra	viss	nyanl./ kompl.
Plog	små	ingen	kompl./ nyanl.

KOLLEKTORUTFORMNING

Dubbelförläggning ger

- mindre grävlängd
- mindre skador totalt

Parallellkoppling ger

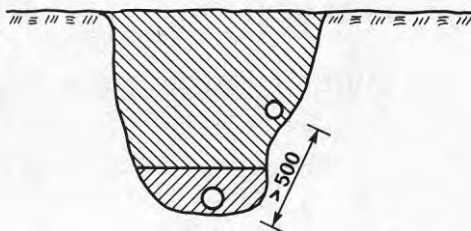
- mindre slangdiameter
- mindre plogbill
men större behov av planering

MARKSLAG

- sten ger återfyllning
- dålig bärighet ger hjulspår mm

LÄGGNING NÄRA ANDRA LEDNINGAR

Min-avstånd till vattenförande ledning ur frostskyddssynpunkt ≈ 50 cm



Isolering kan ge något mindre min-avstånd

KORSNINGAR (så få som möjligt)

- varningsremsa läggs över yt-slangen
- stöd under slangen

KONTAKT MED ELVERK, TELEVERK

- ägarna kontaktar el- och televerk för utmärkning av eventuella kablar

LÄGGNING PARALLELLT MED AVLOPPSLEDNINGAR

- "gratisvärme"
- frysrisk
- dimensioneringsregler saknas

LÄGGNING I SPECIELL MARK

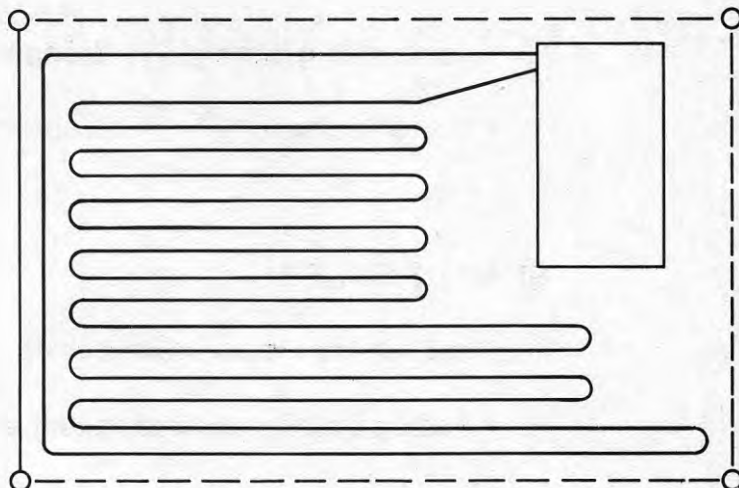
- PARKERINGSPLATSER
- ISBANOR
- ÖVRIGA SNÖRÖJDA YTOR

SLANG- OCH LÄCKLOKALISERING

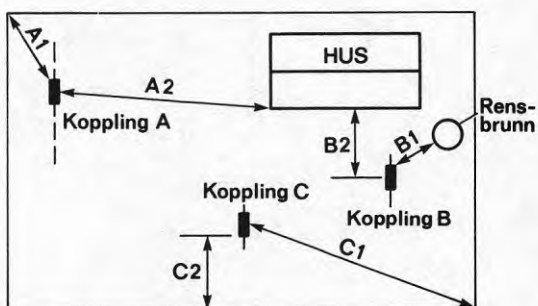
- TEMPERATURMÄTNING
- SÄNDARE I SLANGEN
- "HALVERINGSMETODEN"
- GASMETODEN
- AUDIOMETODEN

DOKUMENTATION AV SLANGLÄGGNINGEN

SLANGKARTA



INMÄTNING AV KOPPLINGAR



VÄGGENOMFÖRINGAR

UTFÖRANDE

- | | |
|----------------------|------------------|
| - normal vägg | PVC-rör |
| - vattentät gjutning | koppar-rör |
| - bottenplatta | kabelgenomf.-rör |

SKADEORSAKER

- sättningar i mark närmast vägg
- veck på slang vid indragning av slangen i huset

Bo Rudholm,
Bengt Dahlgren AB

Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärme-seminariet"
1982-03-17

ERFARENHETER AV EN STÖRRE YTJORDVÄRMEANLÄGGNING

Anläggningen består av en mellanstadieskola och en sporthall.

Total byggnadsyta är ca 4500 m².

Beräknade värmeeffekt- respektive årsenergibehov framgår av nedanstående sammanställning:

Värmeeffektbehov, kW.

	<u>Skola</u>	<u>Sporthall</u>
Transmission och ventilation	210	75
Tappvarmvatten	<u>45</u>	<u>125</u>
Summa, kW	255	200

Årsenergibehov, MWh.

	<u>Skola</u>	<u>Sporthall</u>
Transmission och ventilation	225	140
Tappvarmvatten	<u>25</u>	<u>200</u>
Summa, MWh	250	340

Värmesystemen är dimensionerade för 45/35°C och all värmeförsörjning sker med hjälp av värmepump. Ingen spetsvärme finns således.

De två byggnaderna har var sin värmepump med nedanstående projekteringsdata:

Värmeeffekt:	210 kW
Värmebärartemperatur	35/45°C
Köldbärare:	Vatten och ca 40% propylenglykol.
Köldbärartemperatur:	-7/-10°C

I anläggningen har installerats värmepumpar av fabrikat STAL, typ VMP-112.

Värmepumparna tar värme från en gemensam markkolektor med en yta av ca 21000 m².

Kollektorn består av ca 15000 m PEL-slang med 40 mm diameter. Slanglängden i var och en av de 38 slingorna är max. 600 m för att undvika skarvar i marken samt för att inte försvåra transporten av slangen till arbetsplatsen.

Varje slinga är avstängbar och utgår från fördelningsrör i någon av de sju fördelningsbrunnarna som sammanbindes med kulvert av PEH-rör.

Kulverten förbinder även kollektorn med värmepumpen i skola respektive sporthall.

De ytor som används för värmeuttag är asfalterad bollplan, tennisbana och parkeringsplats, blandade gräs- och asfaltytor på en minigolfbana samt grusade ytor på ishockeybana och fotbollsplan.

I den stora gräsbeväxta fotbollsplanen mellan sporthall och skola har inga slangar lagts för att inte försena planens användning på våren.

Effektuttaget från kollektorn är med hänsyn till markens tjälfarlighet och de använda ytornas känslighet för tjälskjutning endast ca 13 W per meter slang.

Totalt effektuttag från kollektorn är $15 \times 13 = 195$ kW.

Genom att i sporthallen anordna värmeåtervinning från duschavloppsvatten till brine via värmeväxling tillförs köldbäraren ca 90 kW. Utan denna värmeväxling skulle ytterligare ca 9600 m slang ha krävts.

Erforderlig värmeeffekt för tappvarmvattenvärmning i skolan har reducerats genom att installera varmvattenackumulatorer samt att vid låga utetemperaturer endast tillåta laddning av ackumulatorerna nattetid när ventilationen inte är i drift.

Härigenom har vi kunnat välja samma storlek på värmepumparna i både skola och sporthall.

Kollektorslangarna är förlagda på ett djup av ca 1100 mm under mark.

De flesta av de använda ytorna är försedda med ett 500-600 mm djupt dräneringslager.

Slangarna ligger alltså endast ca 500 mm ned i ursprunglig mark.

Arbetsordningen vid anläggning av kollektorn var i stort:

- avschaktning av ytor som skulle förses med dräneringslager
- grävning för slang med kedjegrävare
- nedläggning av slang och täthetsprovning av slang
- påförande av dräneringslager och förläggning av dräneringsledningar
- täthetskontroll av slangarna
- färdigställande av ytskikt

Vid passage av dagvattenledningar etc har kollektor-slangarna och kulverten isolerats.

För att undvika dränering av området genom avrinning längs kulverten har frigolitskivor monterats tvärs kulverten med jämna mellanrum.

Brineflödet är maximalt $2,6 \text{ m}^3/\text{h}$ i varje slinga. Strömningshastigheten är då $0,75 \text{ m/s}$.

Brinepumparna i skola och sporthall har försetts med tvåhastighetsmotorer styrda av brinetemperaturen. Elförbrukningen för brinepumparna är med denna reglering ca 30% av vad som annars krävts.

Utvärderingen av projektet har försenats främst på grund av att den ursprunglige leverantören av instrumentationen inte kunde fullgöra leveransen.

Efter ca ett års drift kan vi trots detta konstatera att anläggningen fungerat bra.

Driftavbrott har endast inträffat under ett dygn i sporthallen och ett dygn i skolan. I båda fallen beroende på felaktigheter i värmepumpaggregaten.

Lars Holmqvist,
BPA

Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärme-seminariet"
1982-03-17

ANLÄGGANDE UR ENTREPRENADTEKNISK SYNPUNKT

1. INLEDNING

Denna uppsats syftar till att inför den utvärdering av utförd försöksverksamhet med ytjordvärme som förestår redovisa vissa erfarenheter från några större byggprojekt som utförts på entreprenad med ytjordvärme integrerat i byggprocessen.

Härvid kommer huvudsakligen att avhandlas de ur entreprenadmässig synpunkt speciella förhållanden som har uppmärksammats vid utförandet av dessa större byggentreprenader med tillhörande mark- och exploateringsarbeten.

De åsyftade byggentreprenaderna är Metalls kursgård vid Lingatan i Brastad, Aspnäsgården i Lerum och Alebyggen i Södra Surte i Ale Kommun. Avsevärda erfarenheter i nämnda avseende har även vunnits vid utförande av anläggning för Djupe-dalsskolan i Mölnlycke och Sun-Clayprojektet för Lindälvs-skolan i Kungsbacka.

Entreprenaderna har utförts under perioden 1979-1981.

2. ENTREPRENADMODELLEN

2.1 MÅLFÖRMULERING

Vid förverkligande av en projekttidé uppställer huvudmannen, som ur entreprenörens synpunkt kan kallas beställaren, mer eller mindre väl specificerade krav. Beställarens mål kan allmänt uttryckas sålunda:

Att erhålla en anläggning som motsvarar uppställda förväntningar beträffande

- * Tekniska prestanda
- * Ekonomi beträffande kapitaliserad kostnad
- * Driftsäkerhet
- * Livslängd som balanserats
- * Begränsad miljövårdsuppoffring
- * Flexibilitet med hänsyn till framtida omdisponeringar, teknisk utveckling o.s.v.
- * Öriga mål

Entreprenörens mål bör naturligtvis vara desamma men dessutom kommer entreprenörens krav på

affärsmässighet i sin entreprenadverksamhet vilket sätter en kostnadsram på ansträngningarna för måluppfyllelsen.

2.2 EFFEKTIVITET

När målen formulerats skall metod för förverkligandet väljas. I många fall väljer beställaren att uppdra utförandet åt någon entreprenör som bedöms äga erforderligt kunnande och resurser för ett i alla avseenden tillfredsställande förverkligande av uppställda mål och detta dessutom på ett så effektivt och tillförlitligt sätt som möjligt.

Effektiviteten kan uttryckas som

$$E = \frac{\text{graden av måluppfyllelse}}{\text{total resursupoffring}} \quad \text{där}$$

graden av måluppfyllelse > gränsvärden = mål_{\min} som skall uttryckas i entreprenadhandlingarna som minimikrav och vid slutbesiktning konstateras vara uppfyllda och

totala resursupoffring < gränsvärde = kostnad_{\max} som uttrycks av projektets budgeterade max tillåtna kostnad för exempelvis projektering, mark, upphandling, entreprenörernas sluträkningar och alla övriga byggherrekostnader som är förknippade med projektet.

För att projektet över huvud taget skall startas bör alltså villkoret

$$E_{\text{start}} > E_{\min} = \frac{\text{mål (min)}}{\text{kostnad (max)}}$$

2.3 TILLFÖRLITLIGHET

Beställaren bör således upprätta ett förfrågningsunderlag där förutsättningarna och målen angivits och kraven preciserats med angivande av vissa minimivärden. Ett antal entreprenörer inbjudes att avlämna anbud. För beställaren gäller sedan att välja lämplig entreprenör. Anbudens effektivitet och tillförlitlighet i pris och kvalitet är primära urvalskriterier.

Tillförlitlighet i pris kan uttryckas som

$$T = \frac{\text{Anbudssumma}}{\text{Sluträkning}}$$

$T \rightarrow 1$ vid god entreprenadanpassad teknik

Tillförlitlighet i kvalitet motsvaras av omfattning av garantiansvar.

Tillförlitlighet i anbud etc. är dels en funktion

av anbudsunderlagets tillförlitlighet men även av reservationsgraden i anbudet. Det kan vara förenat med mycket stora svårigheter att utvärdera det optimala anbudet, maxvärde, effektivitet och tillförlitlighet.

3. MODELLRELATERING

3.1 MÅL - EFFEKTIVITET

Hur påverkas då ett mark- och byggprojekt av anläggandet av ytjordvärme?

Låt oss jämföra

Beställarmål resp. Entreprenörmål:

$$\frac{\text{Grad av måluppfyllelse}}{\text{Total resursuppoftning}} > E_{\min} : \frac{\text{Sluträkning}}{\text{Nedlagda kostn.}} > 1$$

vilket senare uttryck markerar entreprenörens affärsmässiga villkor. Här betyder sluträkning = summan av ersättning enligt anbud och tillägg för ändringar, avvikande förutsättningar o.s.v. Nedlagda kostnader = entreprenörens samtliga utgifter för att lösas från sitt åtagande enligt anbudet, vanligtvis kostnaderna för fullgörande till godkänd slut- och garantibesiktning.

I beställarens totala resursuppoftning ingår som en term ytjordvärmeentreprenörens sluträkning. En rad övriga termer som avser angränsande entreprenader såsom schakt-, finplanerings- och byggentreprenader, mark- och kapitalkostnader o.s.v. har emellertid också påverkats i resurskrävande riktning. Hur stora dessa påverkningar är, har inte ingående studerats, men torde vara betydande och sannolikt icke försumbara vid utvärdering av ytjordvärmeteknikens lönsamhet vid större markbyggprojekt enligt de erfarenheter som gjorts. Storleksordningen bedöms till halva slanginstallationskostnaden.

Det är väsentligt att dessa bieffektkostnader blir föremål för närmare studium. Resursuppoftningen är således inte bara den direkta kostnaden för upplåten mark och nedlagd slang som framgår av anbud på slangnedläggningen. Förslagsvis kan efterkalkyler på utförda större markexploateringsentreprenader för bostadsområden med ytjordvärme jämföras med dito för områden utan denna teknik. Det är nödvändigt med efterkalkyler av verkligt utförda projekt för att eliminera de fel som exempelvis skilda konkurrenssituationer, högt risktagande m.m. kan medföra vid jämförelse av t.ex. kostnader enligt anbud.

3.2 TILLFÖRLITLIGHET

Vidare har den erfarenheten gjorts att anbud till ovannämnda och av ytjordvärmetekniken berörda entreprenader uppvisar lägre tillförlitlighet än motsvarande utan denna teknik. Detta äger sannolikt sin förklaring i de förhållandena bland andra att anbudsförutsättningarna varit otillräckligt preciserade eller där preciseringar gjorts har överensstämmelse i verkligheten brustit. Detta kan i sin tur bero på den bristfälliga och diffusa klassificeringsnomenklatur som föreligger beträffande jordens grävbarhet, känslighet för mekanisk åverkan, nederbörd o.s.v..

Ett annat dilemma är den dubbla kostnadsrollen som en uppgift i anbudsunderlaget spelar. Detta beror på det förhållandet att det kostar att ta reda på saker och ting för att kunna precisera och det kostar igen om lämnad uppgift visar sig bli feltolkad eller inte äger tillräcklig noggrannhet. (Jfr AB 72 kap. 1 § 9) Det är ju förenat med viss risk att uppge osäkra lägen på befintliga anordningar i mark där ytjordvärmeslangen skall plogas ner. Det är också viss risk att för finplanerarna uppge vissa exakta lägen på slangarna som senare icke visar sig stämma med verkligheten. Vid förläggningen kanske marken mjukas upp av regn varvid precisionen i slangläggningen drastiskt sjunker. Här genereras extrakostnader som belastas beställaren i mer eller mindre grad. Kostnader som inte bärs av beställaren bärs då av den berörda entreprenören och kommer i så måtto aldrig fram i tillförlitlighetsbedömningen.

4. ENTREPRENADFÖRUTSÄTTNINGAR

4.1 REELLA, FORMELLA KOSTNADER

När entreprenören inbjudes inkomma med anbud på exempelvis en markentreprenad uppmanas han i de övervägande antalet fall avlämna ett fast och fixt pris för sitt åtagande, även om många uppgifter och nödvändiga förutsättningar saknas i förfrågningsunderlaget. Detta leder till att entreprenören tvingas precisera och avgränsa sitt åtagande för att skydda sig mot oförutsedda kostnader. På så vis kan reella kostnader framräknas. Där uppgifter för kalkylen saknas görs likväl många gånger bedömningar, vilket då innebär visst risktagande. Dessa risker måste också kalkyleras och belastas anbudet. De benämnes formella kostnader.

4.2

ENTREPRENADFORM - SAMORDNING - PLANERING

För att kunna avlämna fasta priser på projekt med ytjordvärme har konstaterats att även valet av entreprenadform är betydelsefullt. Det är således klart olämpligt med en spaltad upphandling i synnerhet om den dessutom bygger på icke samordnade leverans- och entreprenadregler i respektive kontrakt. Slanginstallationsarbetet är intimt förknippat med övriga markarbeten, varför det erfordras en noggrann samordnad strukturplan. Då slangförläggningsarbetet kan vara starkt väderkänsligt blir tidplanen hårt styrd av slangarbetena vilket i sig kan medföra betydande merkostnader.

Vid förseningar med slangarbetena kan störningar uppstå i den samordnade tidplanen som genererar hinderkostnader vilka alls icke täcks av vitesprocenten vid delad entreprenad. Slangarbetena måste vara ytterst välplanerade och ställer stora krav på val av lämplig arbetsmetodik.

4.3

ARBETSTEKNIK

Arbetsmetodiken anpassas till slangmaterialens hanteringskrav, arbetsområdets utformning, föreliggande jordprofil, bärighets- och avvattnings-egenskaper, tekniska toleranser för plan, höjd, fall och jämnhet, erforderlig kapacitet, aktuell utförandetid, normalt väder, störningskänslighet, återställbarhet m.m.

Ur prissättningssynpunkt är det för markentreprenören besvärande att slanginstallationen medför en delvis okänd grad av ändring av markegenskaperna och därmed marktjänligheten för de fortsatta arbetena. Dessutom är omrörd jord väsentligt mer väderkänslig. Grundundersökningens positiva besked om bärig torrskorpa kan efter slanginstallation vara helt missvisande.

Om bostadsområdet tas i bruk etappvis, har i vissa fall ytjordvärmen tagits i drift innan exempelvis finplaneringsentreprenaden utförts. Det kan vara förenat med vissa svårigheter att utföra denna vid normal årstid på grund av långvarigt kvarliggande tjäle i jorden. Fall på terasserade ytor ändras, plättssättningar, kantstenar, fundament m.m. förskjuts vid tjällossning, växtmaterial får större utgångsprocent o.s.v. med merkostnader som följd.

Vid förläggning av slang med grävning uppstår en betydande jordblandning. Schaktdikena blir otillräckligt packade med ändrad vattenhalt och bärlighet som följd, vilket leder till ojämna sättningar. Vid i synnerhet mark med dålig bärlighet får slangförläggningen dålig precision med ökad risk för skador när slangarna ej ligger enligt ritning.

Betydande kostnader för inmätning och relationsritningar har noterats.

Efter slanginstallationen måste markområdet avspärras för annat nyttjande under och kanske även efter byggnadstiden på grund av risken för skador på slangarna.

5. SAMMANFATTNING

Ytjordvärme i större mark- och byggprojekt medför icke försumbara bieffektkostnader, vilka bör närmare analyseras och bestämmas vid lönsamhetskalkyler för ytjordvärmetekniken.

Planeringen blir hårdare styrd och risken för störningar medför riskkostnader, förhinder och förseningar. Stor risk för betydande antal skador på slanginstallation föreligger under utförande av efterföljande markentreprenadarbeten. i grupp- och småhusområde erfarenhetsvis till kronor 500-1.500/småhusenhet.

Slutligen kan påpekas att slangkollektorerna utgör en känslig anläggning och begränsar i hög grad markens disposition för framtida behov.

Göteborg 1982-04-14

Lars Holmqvist
/arbetschef vid BPA Mark- och Anläggnings-
avdelning, Göteborg/

Thomas Berntsson,
UNIFOS KEMI AB

Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärmeseminarier"
1982-03-17

MATERIALVAL FÖR YTJORDVÄRMESLANG

ALLMÄNT

Hittills har man för de flesta ytjordvärmesystem använt en slangkollektor av LD-polyeten (LD = låg densitet) och endast i undantagsfall HD-polyeten (HD = hög densitet). Anledningen till att man valt polyeten är dess goda kemikalieresistens. Kravet på flexibilitet har sedan bidragit till att man valt LD-polyeten framför HD-polyeten, som är ett styvare material med högre mekanisk hållfasthet.

I samband med utbyggnaden av distributionsnätet för naturgas i Europa har man på senare tid utvecklat en ny typ av polyeten för rör. Detta nya material har en densitet som ligger ungefär mitt emellan vad som gäller för de båda äldre materialen och kallas därför för MD-polyeten (MD = mediumdensitet).

MD-polyeten kan sägas vara en kombination av de båda andra typerna, dvs. ett relativt flexibelt material med hög mekanisk hållfasthet. Dessutom är kemikalieresistensen ytterligare förbättrad.

Dessa egenskaper kommer troligen att innebära att MD-polyeten blir det optimala materialet för ytjordvärmeanläggningar i framtiden. Den fortsatta behandlingen kommer därför att inriktas på en jämförelse av för- och nackdelar med LD- resp. MD-polyeten.

HÅLLFASTHET

Eftersom man vill få största möjliga värmeöverföring mellan jord och värmebärande fluid, eftersträvar man att använda ett så tunnväggigt rör som möjligt. Ett MD-rörs högre hållfasthet mot inre tryck medför en vägg tjocklek som är ca 30% mindre än för motsvarande rör av LD-polyeten. Detta beror på att den dimensionerande spänningen för ett MD-rör är 5.0 MPa medan den för ett LD-rör är 3.2 MPa. Se även fig. 1. Den högre densiteten för MD-polyeten bidrar även till en förbättrad nötningshållfasthet och därmed mindre risk för skador orsakade av stenar i jorden. Inträngningsdjup och avskavningsgrader blir mindre.

SPÄNNINGSKORROSION

Då polyeten utsätts för höga spänningar och samtidigt påverkas av vissa kemikalier, uppträder fenomenet att polyeten kan spricka rent mekaniskt. Detta fenomen går under benämningen "stresscracking". På svenska benämnd spänningskorrosion.

Spänningskorrosionen påverkas främst av:

- Typ av polyeten
- Aktiviteten av det spänningskorrosionsframkallande ämnet
- Storleken på tillförda spänningar
- Graden av kvarvarande spänningar hos polyetenprodukten

Vad gäller typ av polyeten kan resistensen mot spänningskorrosion betraktas som en funktion av polymerens molekylvikt och struktur. Vid en jämförelse av olika polyetenmaterial för rör visar det sig att MD-polyeten uppvisar den klart bästa resistensen.

Eftersom man i ytjordvärmsammanhang tillför rören spänningar vid både läggning och vid användande av mekaniska kopplingar, samtidigt som man handskar med diverse kemikalier, bör man söka största möjliga säkerhet mot spänningskorrosion genom att välja rör av MD-polyeten.

SYREDIFFUSION

Syrediffusionen genom rörväggen är direkt beroende av materialets täthet (densitet) och godstjocklek. Ju högre täthet och tjockare gods, desto lägre syrediffusion. Oberoende av polyetentyp kan man inte helt undvika diffusion av syre. Man bör därför förhindra korrosion av i systemet ingående komponenter genom tillsättning av lämplig korrosionsinhibitor till värmebärarfluiden samt vara noga med val av material för känsliga delar.

LÄGGNING

Läggning av polyetenslangen kan antingen ske manuellt i en uppgrävd fåra eller maskinellt genom plöjning. Vid maskinell läggning kommer rören att utsättas för en i längsled kvarstående spänning. På grund av att polyeten är ett s.k. viskoelastiskt material kommer emellertid denna spänning att avta med tiden, beroende på en töjning i materialet. Detta kallas för att materialet kryper. Se även fig.2.

Då man vill få ut så mycket energi som möjligt ur en given markyta krävs att rören läggs i en slinga. För att undvika buckling och alltför stora spänningar i rörväggen får inte slingans böjar göras alltför snäva. Minsta möjliga krökning är beroende av polyetenets densitet. Detta innebär att LD-polyeten tål en något kraftigare krökning än MD-polyeten. Som ett riktvärde kan nämnas att man med MD-rör inte bör använda mindre krökningsradie än 12 gånger ytterdiametern vid 20°C. För LD är motsvarande värde ca 10 gånger ytterdiametern.

KOPPLINGAR

För icke dolda kopplingar och skarvar kan man använda sig av de olika typer av mekaniska kopplingar som finns på marknaden. Man bör dock undvika kopplingar med alltför vassa hullingar för att minska risken för spänningskorrosion.

I de fall man tvingas skarva två polyetenslangar under mark, bör man dock undvika mekaniska kopplingar. I stället skall man skarva med hjälp av svetsning, t.ex. genom elektromuffsvetsning. Vid elektromuffsvetsning smälts materialet ihop genom att en i muffen inlagd motståndstråd belastas med elektrisk spänning.

KOSTNADER

Priset på polyeten är direkt beroende av oljepriset. Skillnaden i pris mellan olika typer av polyeten är relativt liten. Dessutom är tillverkningskostnaden för ett rör densamma oberoende av polyetentyp. Detta innebär att kostnaden per kilo är ungefär densamma för ett LD-resp. MD-rör. Däremot kommer troligen MD-röret att vara billigare per meter på grund av den mindre godstjockleken.

FIG. 1. JÄMFÖRELSE AV TRYCKHÅLLFASTHETEN FÖR
LD- OCH MD-POLYETEN VID 20°C

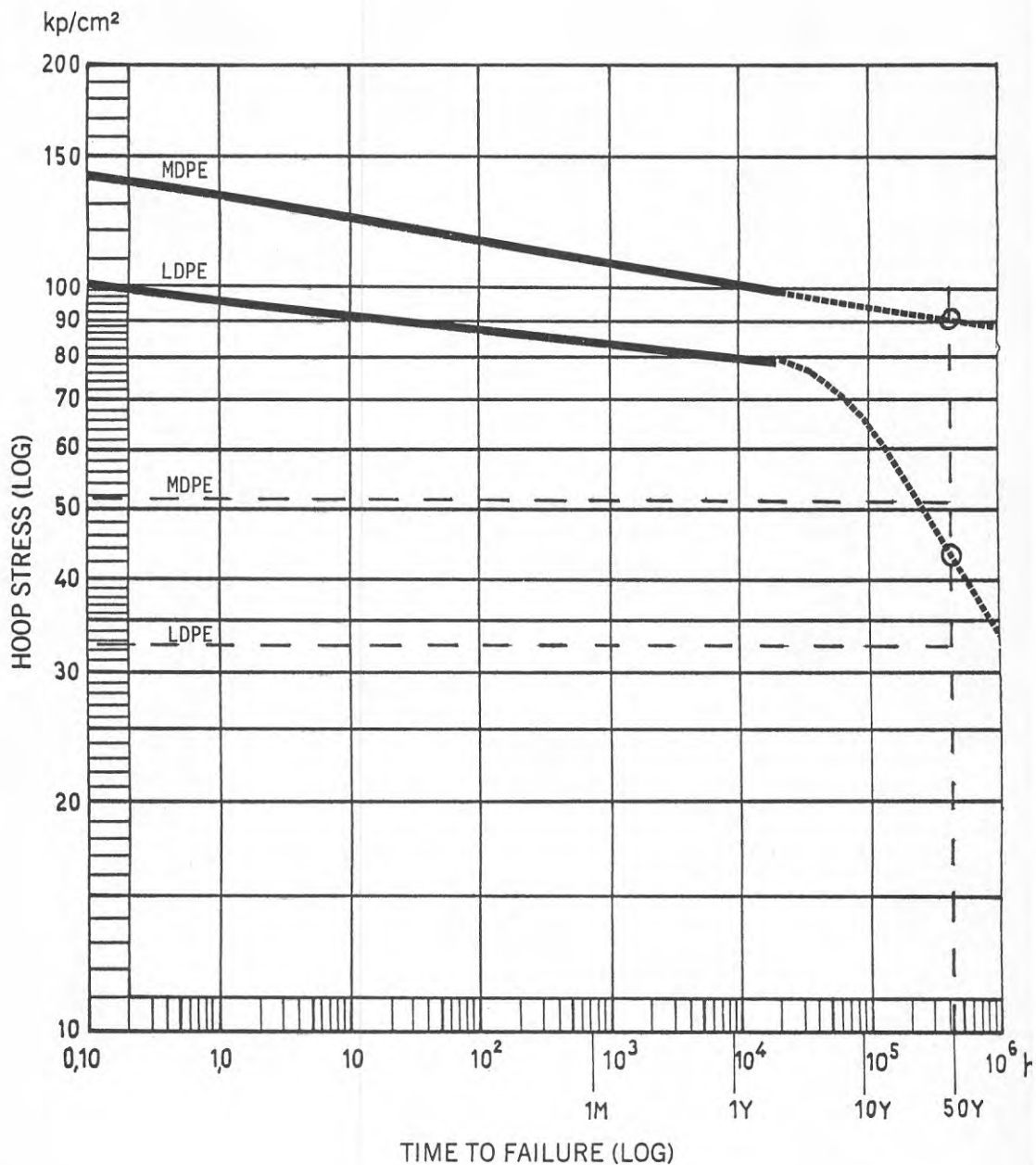
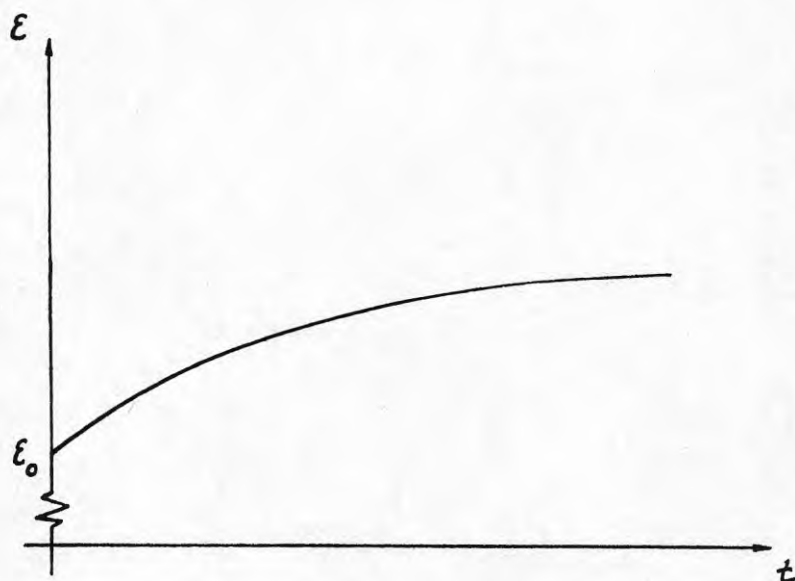
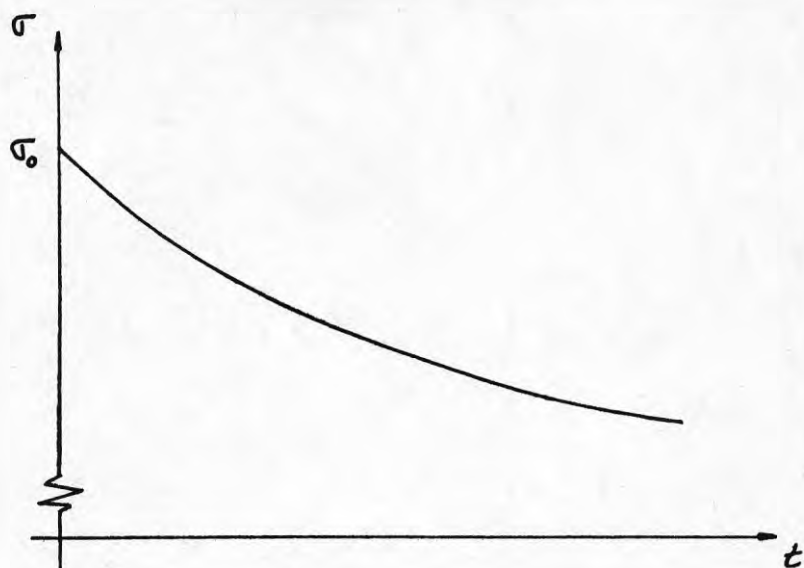


FIG. 2. SAMBAND MELLAN SPÄNNING, TÖJNING OCH TID
FÖR ETT VISKOELASTISKT MATERIAL



Läggning av slang, Diskussion

En mycket intensiv diskussion om svårigheterna med stora markkollectorer i samband med nybyggnad. Lars Holmqvist betonade återigen de stora följdkostnader, som kunde uppstå när marken skall användas för ytjordvärme. Detta gäller i samband med nybyggnad. För äldre bebyggelse där anläggningen av markkollector ej kolliderar med annan verksamhet ser bilden ljusare ut. Många byggherrar drar sig dock för den lösning det innebär att disponera marken för markvärmeändamål. Med hänvisning till den metodutveckling som skett för vertikala jordvärmesystem, frågades om en motsvarande utveckling kunde förväntas för de horisontella systemen. Lars Holmqvist såg emellertid ej några större utvecklingsmöjligheter på den punkten. Några personer ansåg att det trots allt borde finnas möjligheter att minska samordningsproblem m m, när större erfarenhet vunnits av denna typ av entreprenader.

Lars Holmqvist ville också poängtera den stora försämring i bärighet vid regn mm, som ofta inträffar när man rör om i marken och som kan ge stora följdkostnader på entreprenaden i övrigt. Vid små anläggningar har man ofta större frihet att välja tidpunkt för anläggningsarbetena.

Påpekades att utläggningen av markslingorna måste passa in i rätt skede i förhållande till övriga mark- och grundläggningsarbeten.

På sikt bör markanvändningen planeras bättre både med hänsyn till ytjordvärme och andra ledningssystem.

Diskussion om återfyllnaden kring slangen och packningsgradens betydelse för anläggningens funktion. Inte i något fall har brister i anläggningsprestanda kunnat hänföras till dålig packning kring slangen. Troligen medverkar det periodiska frysförloppet under vissa skeden till att åstadkomma en god packning runt slangen.

Temperaturgräns uppåt? PEL bör inte användas längre tid över 20°C, men däremot PEM och PEH kan användas upp till 50-60°C. Detta med tanke på 50 års livslängd.

Slangmaterialens beständighet, olika brinevätskor och skadliga ämnen i marken. PEL har lagts i mark i många år och ej gett problem. Ingen av de hittills allmänt använda brinevätskorna innehåller veterligen några ämnen, som ger anledning till farhågor för livslängden hos polyeten.

Diffusion av alkoholer genom plast. Thomas Berntsson ansåg att detta ej bör vara något stort problem. I alla händelser finns inget verkligt alternativ till polyeten på den punkten. Ju högre densitet desto lägre diffusion. PEH är således gynnsammare än PEL.

Eric Granryd, SE
AGA Thermia-Verken

Sammandrag av inlägg
presenterat vid "Yt-
jordvärmeseminarier"
1982-03-17

KÖLDBÄRARFLUIDER - FYSIKALISKA EGENSKAPER

Indirekta kontra direkta system för värmeupptagning

I ytjordvärmesystem används nästan helt uteslutande sk indirekta system. I sådana sker värmetransporten från marken via en vätska (köldbärare) som cirkulerar utan fasändring mellan slangsystemet i marken och värmepumpens förångare där värmets avges. Schematiskt illustreras detta i figur 1. Ett indirekt system medför en extra temperaturdifferens - och därmed något lägre förångningstemperatur i värmepumpen - jämfört med ett system där köldmediet direkt förångas i markslingan. Det sistnämnda "direkta systemet" ger många svåra praktiska nackdelar, både med hänsyn till användbara rörmaterial och anläggningsteknik i övrigt som med hänsyn till köldmediefyllning, oljeåterföringsproblem och styrning av köldmedieflödena. Direkta system vid ytjordvärmetekniken är därför olämpliga att använda.

Typer av köldbärare och deras fysikaliska egenskaper

För temperaturer över 0°C är vatten ett oöverträffat köldbärarfluidum. Vid temperaturer under 0°C används ofta vatten med olika fryspunktsnedsättande tillsatser, figur 2. För speciella ändamål inom kyltekniken kan också rena organiska ämnen komma till användning som köldbärare.

För ytjordvärmesystem används oftast fryspunktsnedsättande tillsatser i form av etylenglykol, kalciumklorid, eventuellt propylenglykol eller etylalkohol i blandningar med vatten till sådan koncentration att man erhåller en fryspunkt av -10 à -15°C. Oftast tillsätts också korrosionsinhibitorer (t ex är kommersiellt tillgänglig etylenglykol för användning i bilkylare redan försedd med tillsatser av korrosionsinhibitorer). Dessa frågor behandlas i annat avsnitt.

Karakteristiskt för en blandning är att fryspunkten kan bli lägre än fryspunkten för respektive rena komponenter, figur 3. Vad händer då om vi kyler en blandning till temperaturer under fryspunkten? Låt oss förutsätta att blandningen har en sammansättning som ligger "till vänster" om koncentrationen svarande mot eutektisk blandning, se figur 3. I samband med att denna blandning kyls till temperaturer under fryspunkten kommer en utfrysning av iskristaller (koncentration motsvarande rent vatten) att ske. Resten av blandningen

får därigenom en ökad koncentration av fryspunktsnedsättande tillsats och är därmed fortfarande i flytande form. Frysning till fast form sker först vid en temperatur som svarar mot fryspunkten för den eutektiska blandningen.

Figur 4 visar som exempel egenskaperna för köldbärare av typen etylenglykol-vatten. Materialet är hämtat ur Kyltekniska Föreningens skrift 5, "Refrigerating Data sheets in the MKSA-unit system".

För jämförelse av olika fysikaliskt intressanta storheter har i diagram, figur 5-8, egenskaper för olika köldbärare sammanställts som funktion av temperaturen. Diagrammet visar värden för densitet, specifikt värme, värmeledningsförmågan och kinematiska viskositeten.

Önskvärda egenskaper

En köldbärarens egenskaper kan bedömas med hänsyn till ett flertal olika kriterier. Figur 9 visar ett försök till indelning. Vidare visas i figuren vilka fysikaliska storheter som påverkar respektive kriterium.

Sammanfattningsvis kan konstateras att det är gynnsamt med köldbärare som har:

- hög densitet
- högt specifikt värme
- hög värmeledningsförmåga
- låg viskositet

Skilda krakteristiska egenskaper inverkar i olika delar av systemet:

- Goda "transportegenskaper" är viktiga med hänsyn till transportledningen mellan värmekälla och förångare.
- Goda värmeöverföringsegenskaper är viktiga speciellt i förångaren (där ytbelastningen är stor) men självklart är det också viktigt att man kan bibehålla liten temperaturdifferens också i ytjordvärmeslingan.

Viskositeten för köldbärare är ofta en utav de besvärligaste problemen. Orsaken till detta är följande: Med sjunkande temperatur - och därmed ökad viskositet - är risken stor att Reynoldstalet passerar under gränsen 2 000 à 2 300 under vilken man troligen får laminär strömning. Inträffar utbildad laminär strömning sjunker i allmänhet värmeövergångstalet markant. (Genom konstruktiva åtgärder kan detta riskmoment elimineras i förångaren förutsatt att denna utformas så att den är avpassad för laminär strömning.)

I ytjordvärmeslingan - där strömningen ju sker i långa släta rör, det vill säga med goda villkor för utbildning av det mest stabila strömningssättet - är risken vid Reynolds tal mindre än 2 300 stor för laminär strömning. Ett omslag

till denna strömningsform ger oftast väsentligt lägre värmeövergångstal än vad som erhålls vid turbulent strömning vid motsvarande hastighet. Inträffar detta växer således temperaturdifferensen kraftigt.

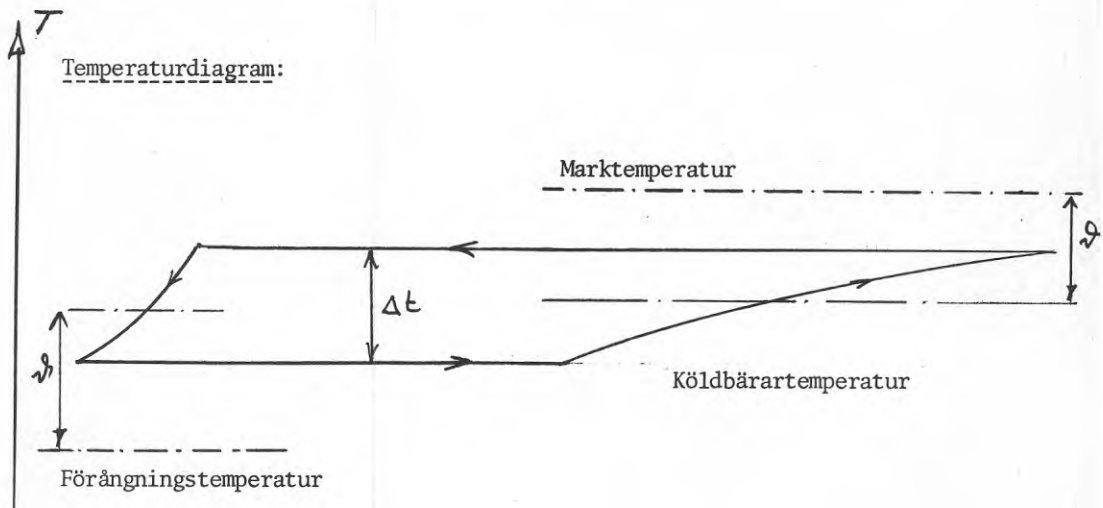
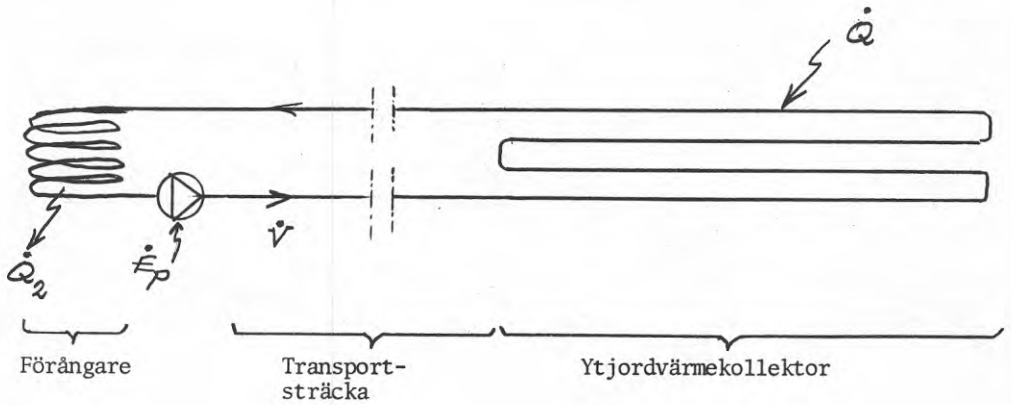
För illustration av skillnader i olika egenskaper mellan köldbärare visas i figur 10-13 exempel på "transporterad effekt", "Reynolds tal", "värmeövergångskoefficient" samt "tryckfall per meter rör", samtliga storheter visade som funktion av volymflödet i rör med 50 alternativt 25 mm diameter (tryckfallet även vid 35 mm).

Forskningsbehov

I andra avsnitt tas köldbärarens miljöegenskaper, korrosionsmässiga och kemiska egenskaper upp till vidare diskussion. Bortsett från sådana frågor vill jag här ta upp tre områden där eventuella forskningsinsatser vore välkomna:

- Inventering av eventuellt nya tillgängliga fryspunktsnedsättande tillsatser samt utvärdering av deras egenskaper.
- Studier av värmeövergångsförhållanden vid Reynolds tal i intervallet 500 - 2 500 (hur lätt kan den laminära strömningsformen störas?).
- Tillgängliga litteraturuppgifter på köldbärarens egenskaper ger i vissa fall skilda uppgifter. Kompletteringar och kontroll i vissa avseenden kan därför behöva genomföras.

FIGUR 1

INDIREKT VÄRMEUPPTAGNINGKÖLDBÄRARKRETS; SCHEMATISKT

FIGUR 2

OLIKA TYPER AV "KÖLDBÄRARFLUIDER"

- VATTEN
- VATTEN MED FRYSPUNKTSNEDSÄTTANDE TILLSATSER:

Salter

Natriumklorid	(NaCl)
Kalciumklorid	(CaCl ₂)

Org tillsatser

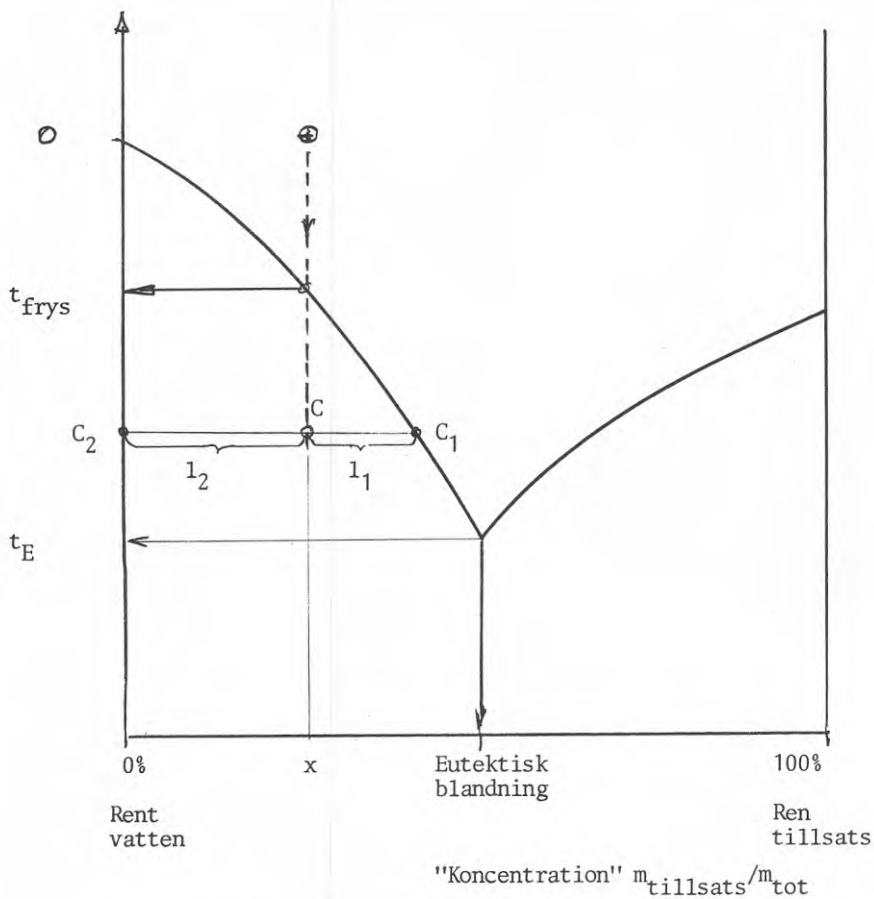
Etylenglykol	(CH ₂ OH) ₂
Propylenglykol	C ₃ H ₈ O ₂
Etylalkohol	C ₂ H ₅ OH

- RENA ORG VÄTSKOR

Triklöretylen	C ₂ HCl ₃
R114	C ₂ Cl ₂ F ₄

FIGUR 3

BLANDNINGSDIAGRAM



Blandning av vatten med tillsats i koncentration x ger fryspunkten t_{frys} . Vid kylning till temperatur under t_{frys} sker utfrysning av iskristaller (C_2) vilket medför att koncentrationen i vätskefasen ökar (C_1). ($m_{C_2}/m_{C_1} = l_1/l_2$). Solid frysning sker först vid temperaturen t_E .

FIGUR 4

Särtryck ur Kylteknisk Tidskrift nr 5, 1957.

Kylteknisk Tidskrift No 5. Oktober 1957

Termiska uppgifter i MKSA

Blad 10

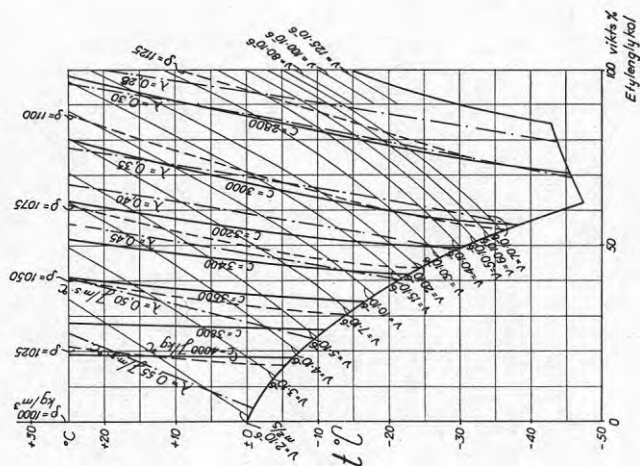
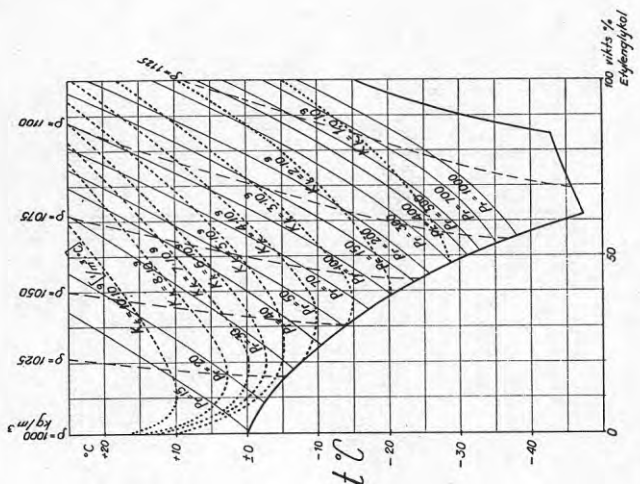
Köldbärares egenskaper

(Sammanställda av C. Naumburg med ledning av viskositetsbestämningar, utförda vid Inst. Kylteknik, Kungl. Tekn. Högskolan)

ρ [kg/m³] = täthet
 c [J/kg°C] = värmekapacitet

λ [J/m s°C] = värmeledningstal
 ν [m²/s] = kinematisk viskositet

Pr = Prandtltal
 K_x [1/m³ °C] = egenkonvektionstal
 (Se "Kylteknikern", pkt 9.22)



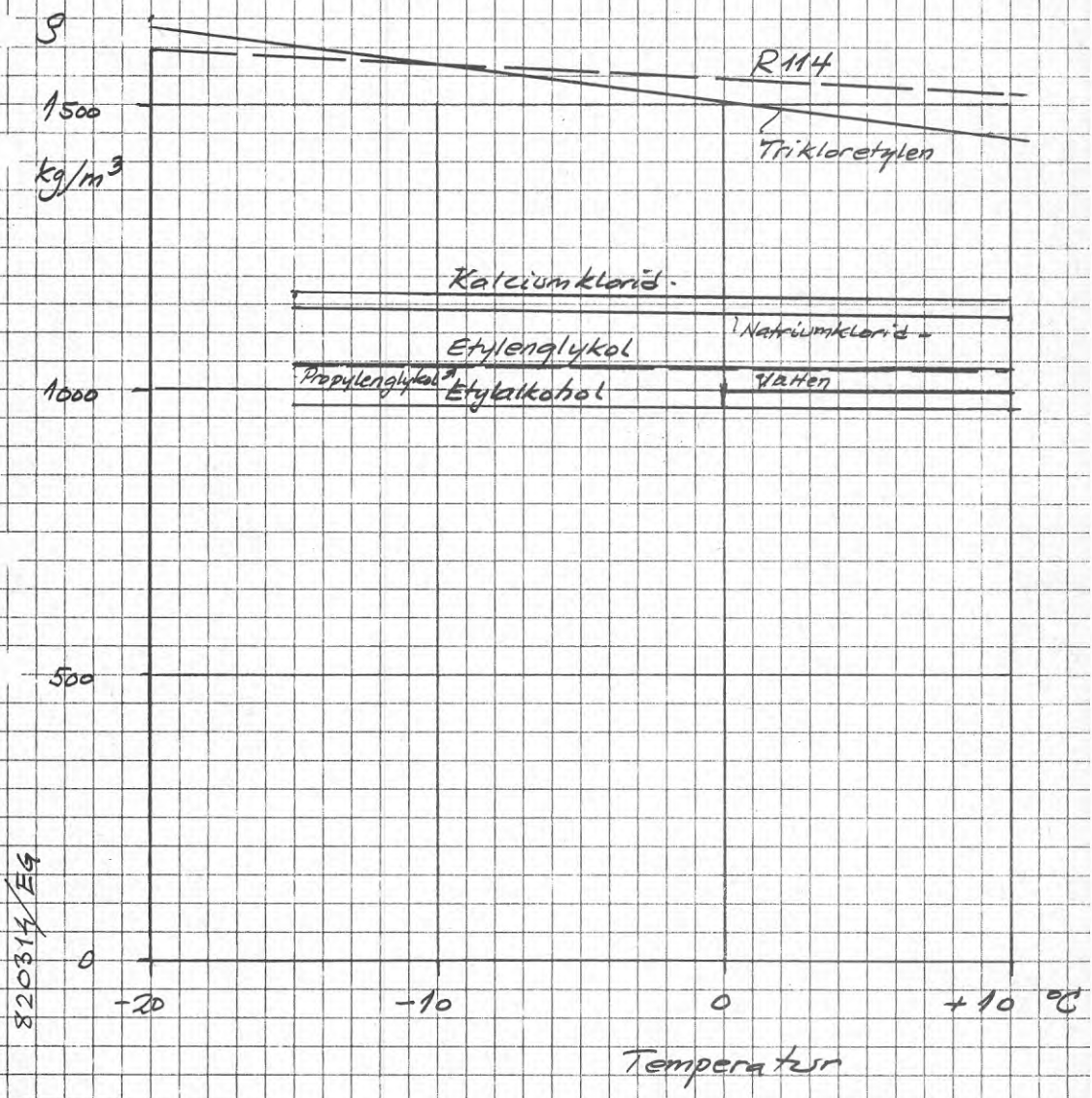
Etylenglykol-vattenblandningar

(tekniskt ren)

FIGUR 5

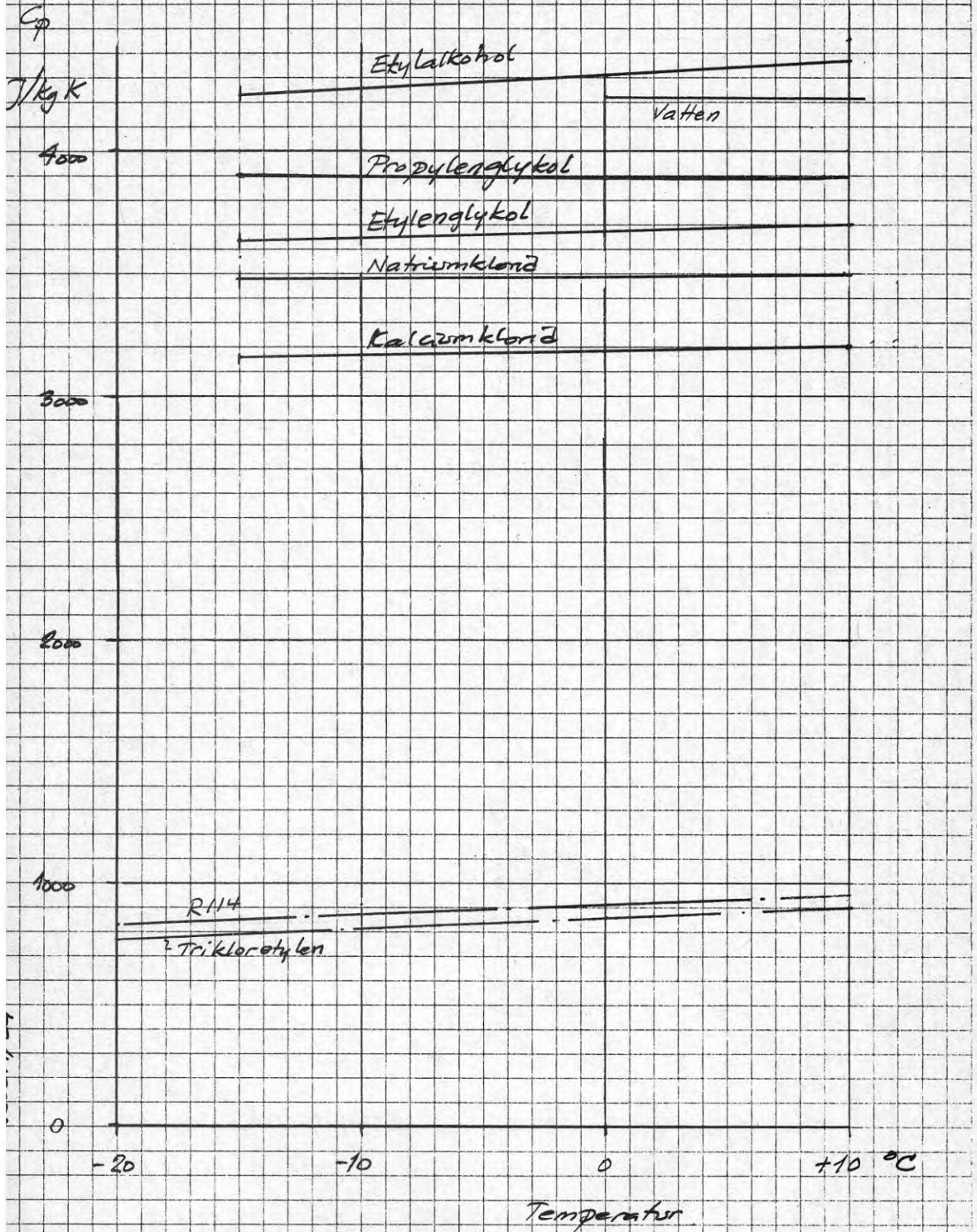
DENSITET

KÖLDBÄRARE MED $t_{Frys} < -15\text{ }^\circ\text{C}$



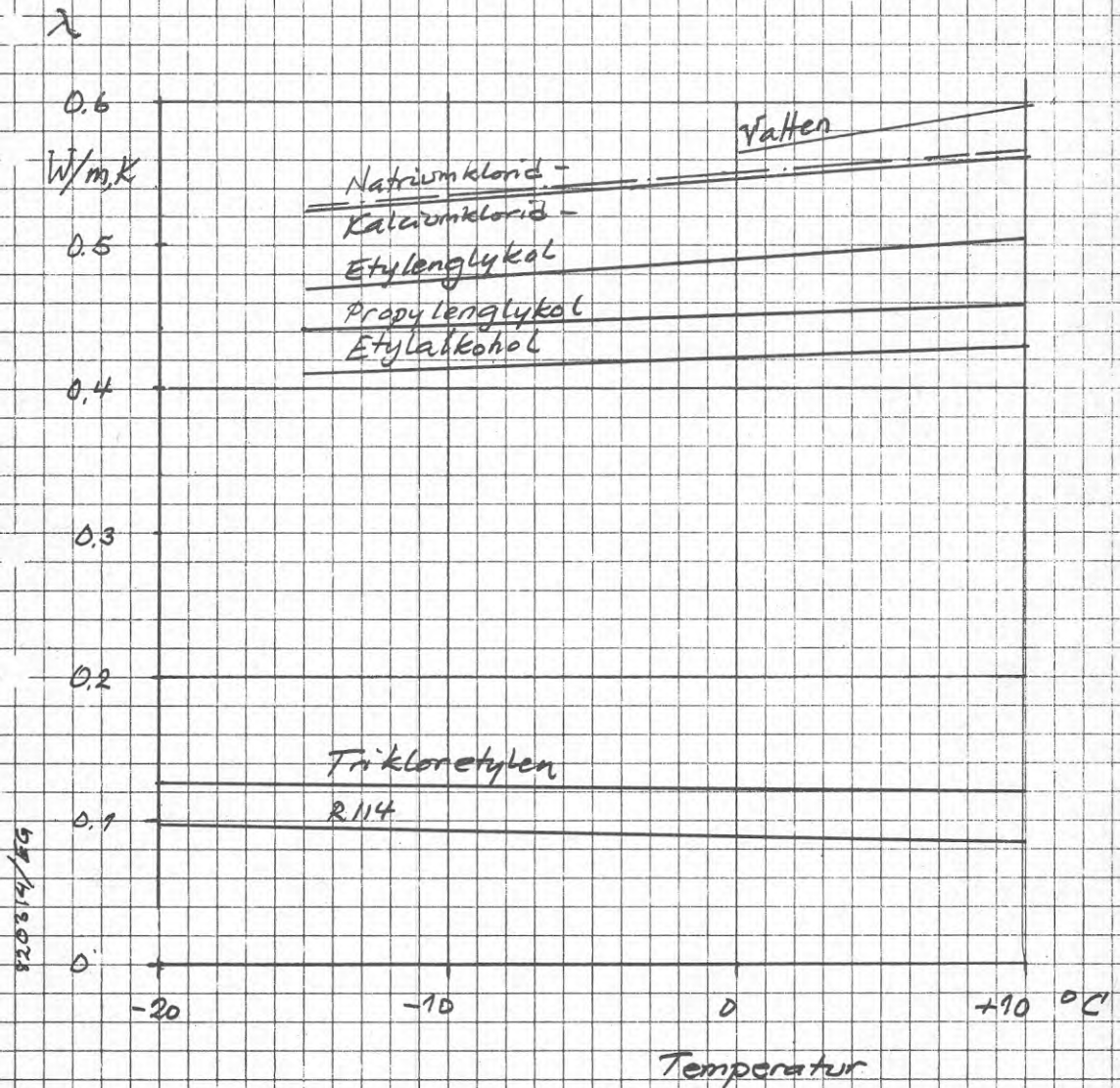
FIGUR 6

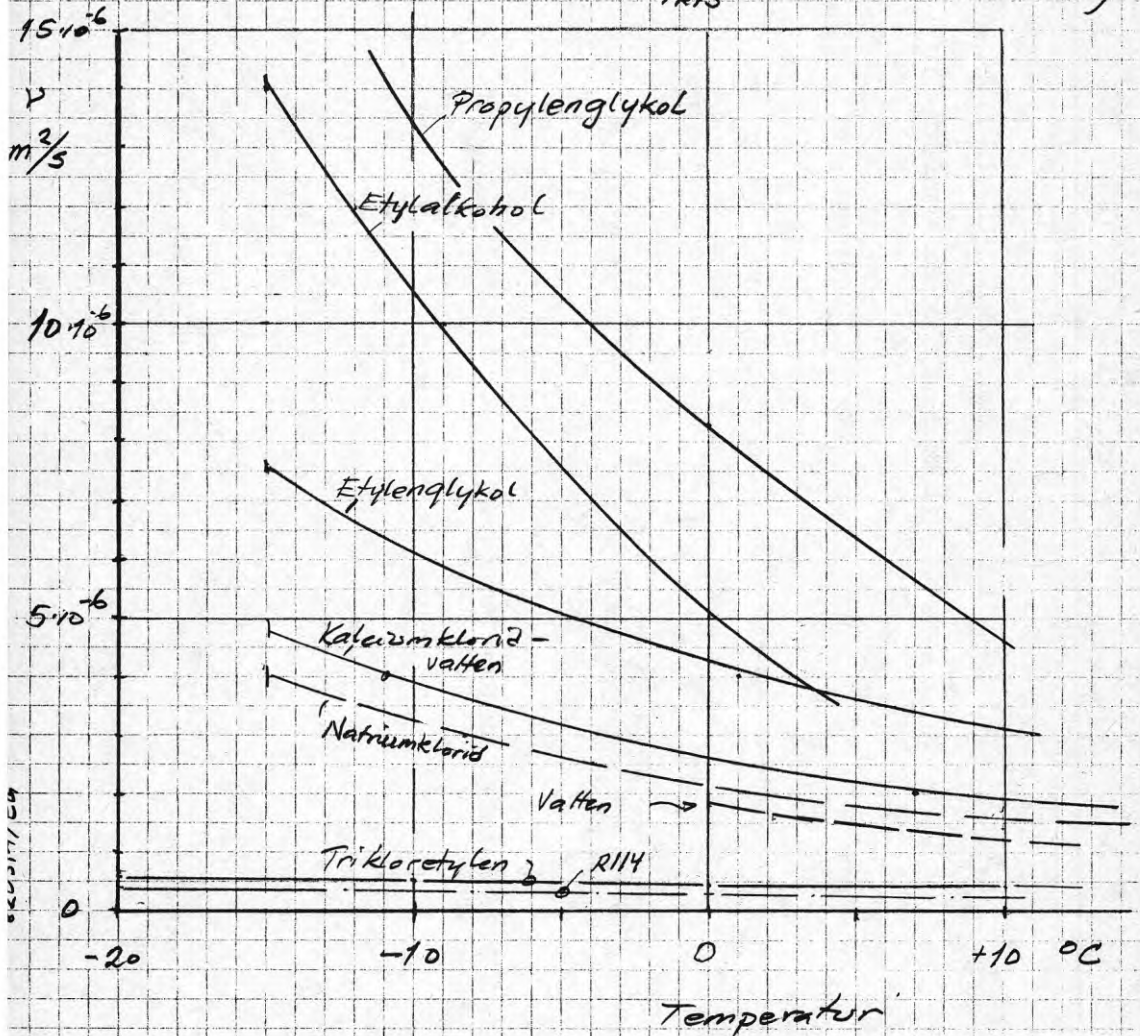
" SPEC. VÄRME " " KÖLDBÄRARE " $t_{\text{frys}} \approx -15^{\circ}\text{C}$ (erkl. H_2O)



FIGUR 7
VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA

KÖLBÄRARE MED $t_{frys} = -15^{\circ}C$



FIGUR 8KIN. VISKOSITET, ν KÖLDÄRARE MED $t_{FRYS} \cong -15^\circ\text{C}$ (exkl. H₂O)

ÖNSKVARDA EGENSKAPER FÖR KOLDBÄRARE

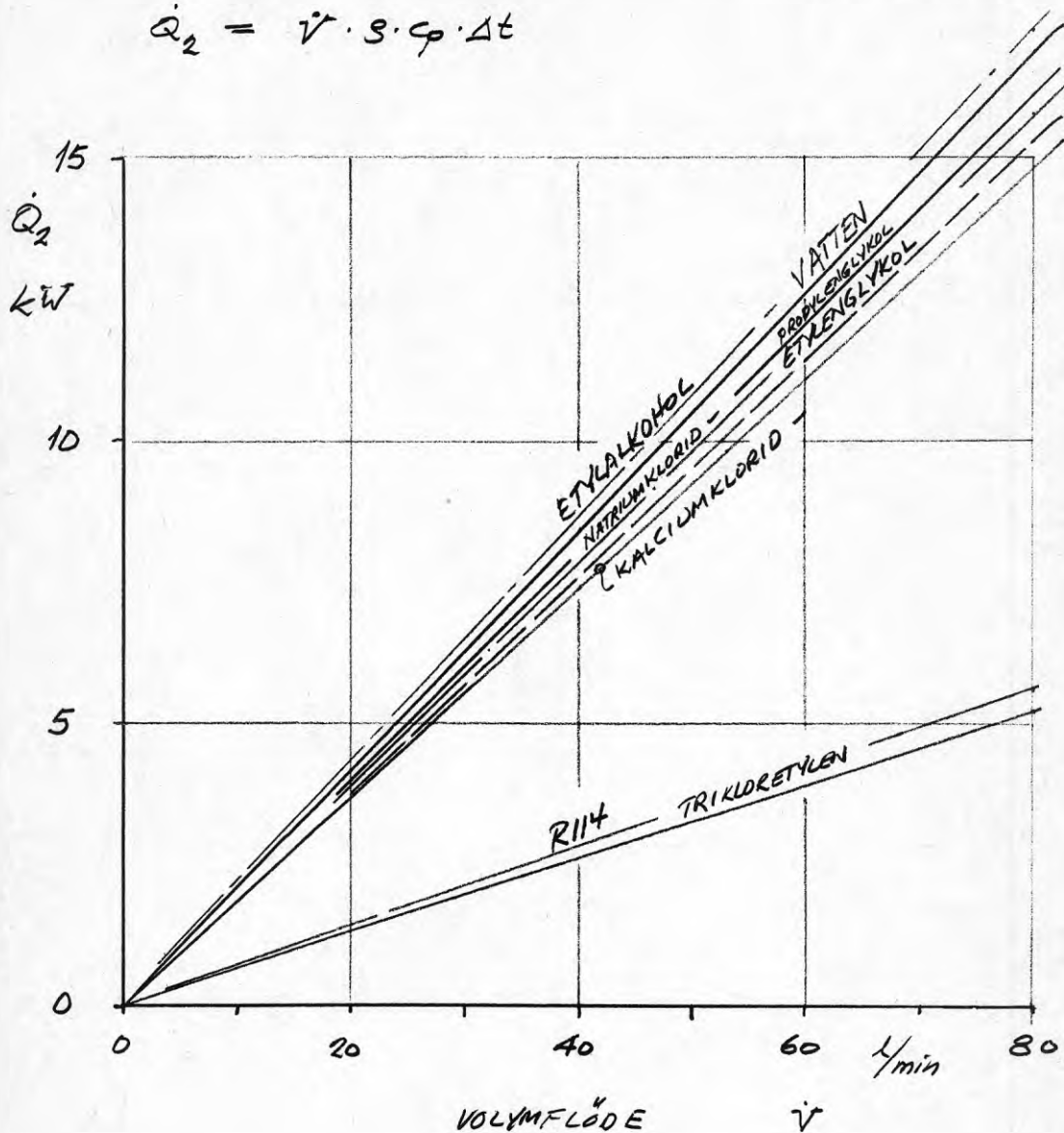
<u>KRITERIUM</u>	<u>SAMBAND</u>	<u>GYNNSAMMA ÄMNESKONSTANTER</u>
Stor "transporterad" effekt vid givet volymflöde.	$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t$	Högt $\rho \cdot c_p$
Hög värmeövergångskoefficient - ger liten temperaturdifferens vid given effektbelastning.	$\dot{Q} = \alpha \cdot A_Q \cdot \rho$	Högt $\alpha \Rightarrow$ Högt λ Lågt ν
Litet pumparbete för given "transport" av värme.	$\frac{\dot{E}_p}{\dot{Q}} = \frac{1}{\eta_{pump}} \cdot f_1 \cdot \frac{w^2}{c_p} \cdot \frac{L}{d}$	Högt c_p Lågt $f_1 \Rightarrow$ Lågt ν
Litet pumparbete för given värmeövergång.	$\frac{\dot{E}_p}{\dot{Q}} = \frac{1}{\eta_{pump}} \cdot Pr^{2/3} \cdot \frac{w^2}{c_p}$ (föresatt turbulent strömm.)	Högt c_p Lågt $Pr = \rho \cdot \nu \cdot c_p / \lambda$
Litet tryckfall - möjliggör enkel pump.	$\Delta p = f_1 \cdot \rho \cdot w^2 \cdot \frac{L}{d}$	Lågt ρ Lågt $f_1 \Rightarrow$ Lågt ν

FIGUR 10

"TRANSPORTERAD EFFEKT"

VID TEMP.-ÄNDRING $\Delta T = 3^\circ\text{C}$ (TEMPERATUR $\approx 0^\circ\text{C}$; KÖLDBÄRARE MED $t_{\text{Frys}} = -15^\circ\text{C}$)

$$\dot{Q}_2 = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t$$



RÖR MED
d = 50 mm

RÖR MED
d = 25 mm

REYNOLDS TAL $Re = \frac{w d}{\nu} = \frac{\dot{V}}{d \cdot \nu} \cdot \frac{4}{\pi}$

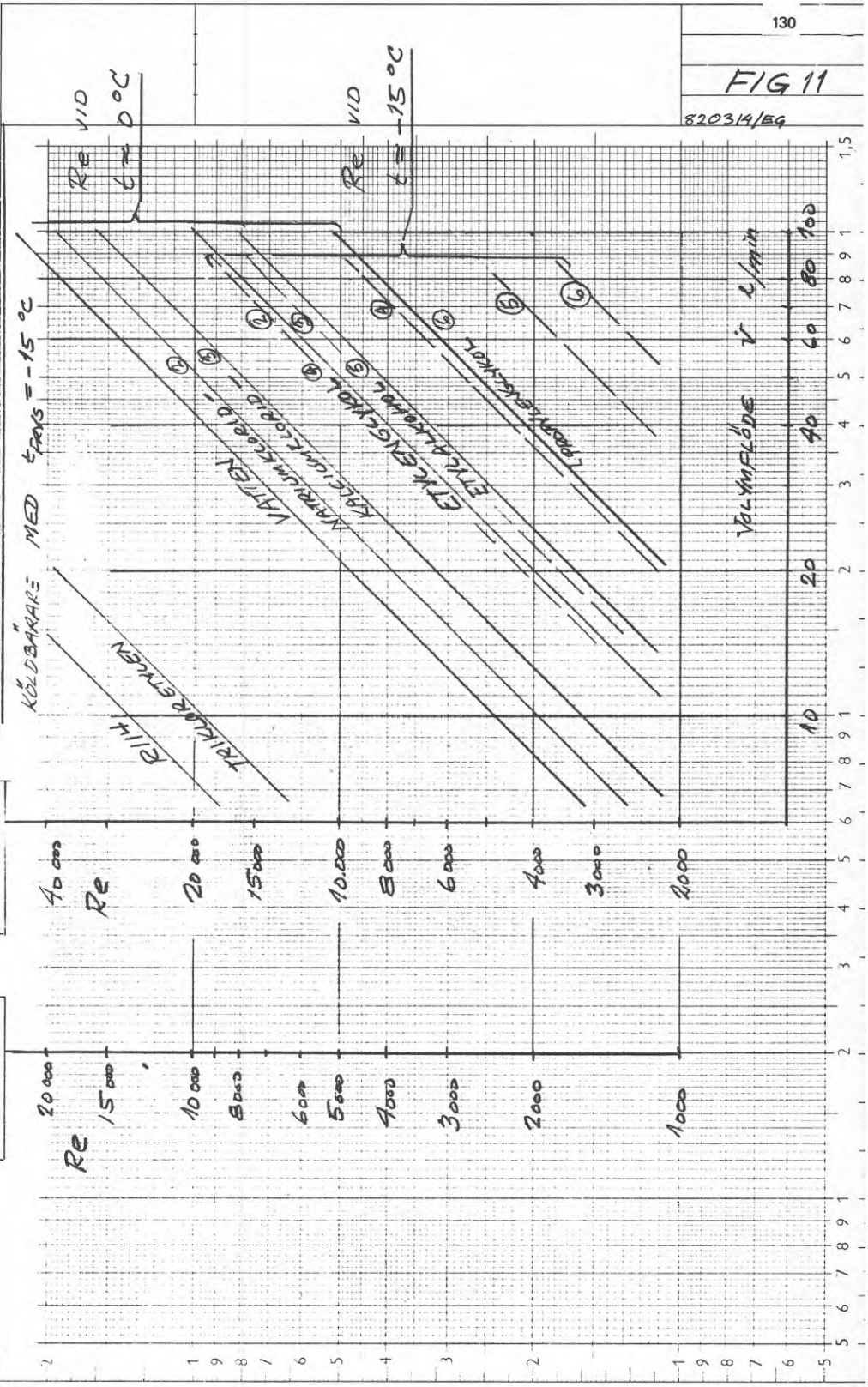


FIG 11
820314/EG

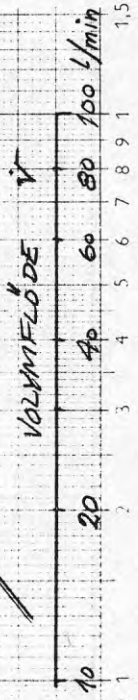
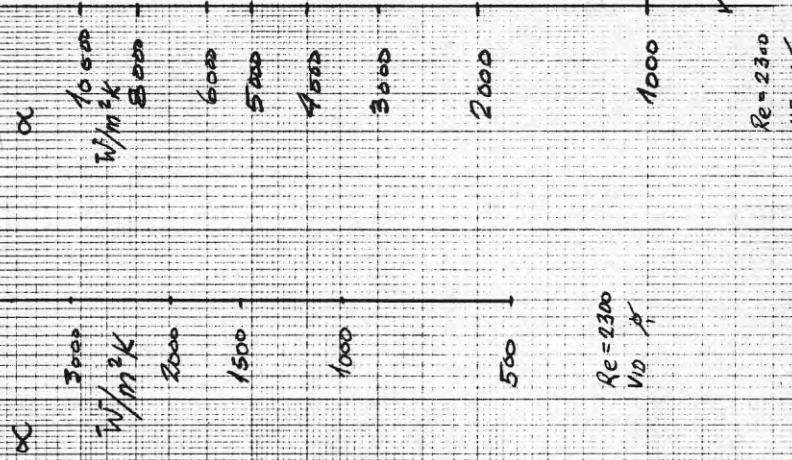
VÄRMEÖVERGÅNGSKOEFF. α

TURB. STRÖMNING : $Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}$
 $\frac{d_{eff}}{d} = 0.023 \cdot (\frac{145}{5})^{0.8} \cdot (\frac{1.59}{1})^{0.4}$

KÖLDBÄRARE MED $t_{med} = -15^{\circ}C$
 α VID $t = 0^{\circ}C$

RÖR MED $d = 25\text{ mm}$

RÖR MED $d = 50\text{ mm}$



VATTEN
 KÄRLVÄRMELEDARE
 KÄRLVÄRMELEDARE
 2000 KVA KÖL
 2000 KVA KÖL
 2000 KVA KÖL
 2000 KVA KÖL
 2000 KVA KÖL
 2000 KVA KÖL

TRYCKFALL PER METER RÖR VID

$d = 50 \text{ mm}$

$d = 35 \text{ mm}$

$d = 25 \text{ mm}$

KÖLDBÄRARE MED $t_{\text{FÖRS}} = -15^\circ\text{C}$
VID TEMP. $t_x = 0^\circ\text{C}$.

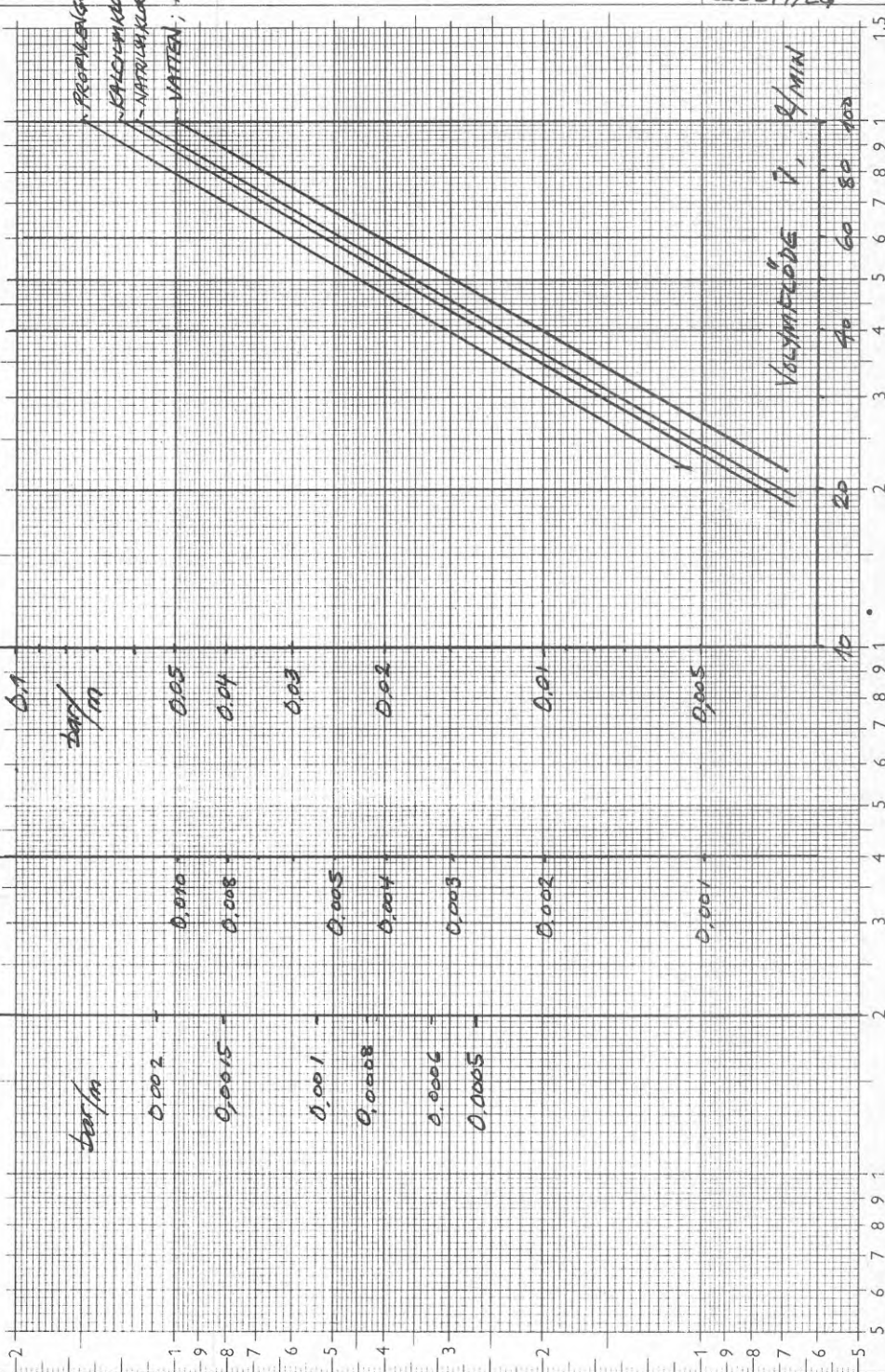


FIG 13

82 0314/EG

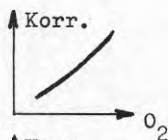
Leif Bjurmalm,
Mitco AB,
Billdal

Sammandrag av inlägg
presenterat vid "Yt-
jordvärme-seminariet"
1982-03-17

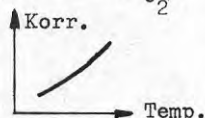
KEMISKA EGENSKAPER OCH INHIBITORER

Val av energibärare, fortsättningsvis kallad köldbärare, och frysskydd görs först efter värdering av exempelvis miljöeffekt i samband med installation, drift och avveckling, och efter kostnad, där man också får väga in synpunkter på specifikt värme och underhållskostnader.

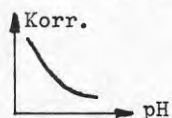
Därefter väljs en till köldbärare och utrustning anpassad inhibitor. Vi studerar fortsättningsvis i första hand vattnet i lösningen, och vi skall belysa några av de faktorer som påverkar korrosionshastigheten.



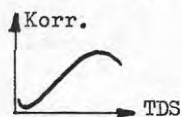
Högre syrehalt ger högre korrosionshastighet.



Högre temperatur ger högre korrosionshastighet.



Högre pH-värde ger ofta lägre korrosionshastighet.



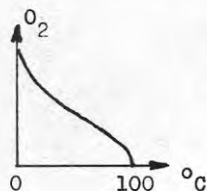
Hög salthalt ger hög korrosionshastighet.

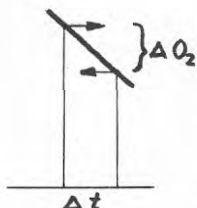
Dessutom förekommer synergistiska effekter och accelererad korrosion orsakad av spårämnen och av frysskyddet, galvaniska effekter m.m.

Syre är ofta den faktor som har störst inverkan på korrosionshastigheten.

I ett öppet system råder jämvikt mellan syre och temperatur enligt vidstående kurva.

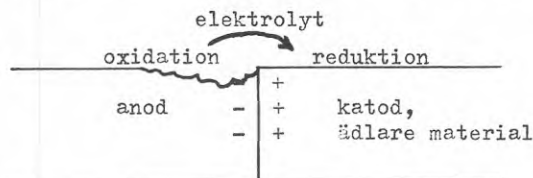
För varje temperatur finns en viss motsvarande syrehalt som uppnås förr eller senare.





Studerar vi en liten del av kurvan ser vi att om t.ex. temperaturen ökas något kommer vattnet att vara övermättat på syre, som alltså drivs ut. Om temperaturen i stället sänks tar vattnet upp syre från omgivningen. Syre kommer således att transporteras från en kall till en varm punkt. P.g.a. diffusion genom plastslangen kommer alltid syre att finnas närvarande.

Innan vi går in på inhibitorer skall vi gå igenom några korrosionsbegrepp. Låt oss se på en galvanisk cell, som kan uppträda var som helst i systemet:



Av betydelse för korrosionen i en cell är bl.a. elektrolytens beskaffenhet, konstruktionsmaterialen och deras läge i spänningskedjan, partiklar i vätskan och spalter.

Då det gäller korrosionsinhibitorer kan man särskilja några huvudgrupper:

Anodiska Adsorberas på anodytor eller ger ett passivt oxidskikt.
 Exempel: Nitrit, krom 6+, bensoat, silikat, ortofosfat.
 I denna grupp finns en del s.k. farliga inhibitorer, som kan ge accellererad korrosion vid för låg halt.
 Vissa ämnen, t.ex. nitrit och krom, vill man ofta undvika från miljösynpunkt.

Katodiska inhibitorer verkar genom att belägga katodytor och göra dessa elektriskt isolerande.
 Exempel: Kalcium, zinksulfat, polyfosfat.
 Observera att värmeöverföringen ofta försämras med katodiska inhibitorer i för höga halter.

Dubbelverkande inhibitorer hämmar både anod- och katodprocessen, och exempel från denna grupp är aminer, aldehyder och tioler.

En sak man lätt förbiser är inverkan av beläggningar av saltpartiklar, korrosionsprodukter m.m.
 Beläggningsinhibitorer används i syfte att både gynna värmeöverföringen och möjliggöra för korrosionsinhibitorerna att komma intill metallytorna och utveckla full effekt.

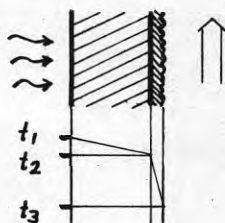


Fig. visar en värmeöverförande yta med en tunn beläggning på köldbärarsidan

Om värmemagasinet har en viss temperatur t_1 får vi i köldbäraren bara ut temperaturen t_3 och större delen av temperaturförlusten ligger i beläggningen p.g.a. dess lägre värmeledningstal.

Biologisk aktivitet i system med höga halter av frysskydd torde normalt vara mycket låg och biociddosering blir därför mera sällan aktuell.

Andra angrepp och störningar kan vara indunstade salter som skadar roterande tätningar och avluftare, det kan vara smutspartiklar som ger extra slitage och korrosion och dessutom stör värmeöverföringen så att effekten går ned. Det är därför lämpligt att filtrera mediet, både vid uppfyllningen och kontinuerligt under drift med ett mycket fint delströmsfilter.

Vi kan konstatera att systemet sett från vattenkemisk synpunkt inte är stabilt. Av köldbärare och tillsatser måste därför krävas att de är stabila och kan utveckla avsedd effekt vid aktuell temperatur och vid närvaro av syre och andra gaser. Det är sällan någon mening med att tillsätta något syre-reducerande medel i samband med plastkollektorer. Inhibitorerna måste kunna ge ett tillräckligt starkt, passivt skikt, som ger ett kvardröjande skydd även om inhibitorhalten i vattnet med tiden skulle sjunka.

Någon tjockare film får inte utbildas.

Inhibitorerna måste vara effektiva redan vid låg halt för att reducera kostnaden och för att inte inhibitorerna skall bli mer besvärande från miljösynpunkt än frysskyddet.

Vi rekommenderar kombinationsprodukter med organiska inhibitorer av amintyp, dispergerande ämnen och pH-buffert, samt borttagning av partiklar med hjälp av mikrofilter insatt på en delströmskrets.

Alla åtgärder måste följas upp så att ev. korrigeringar kan göras i tid. Det är inte rimligt med fullständig kontroll av varje enskild anläggning, utan tillsynen får här inskränkas till kontroll av frysskydd och filter. Välj i stället ut några representativa pilotanläggningar där mer omfattande uppföljning får ske.

FoU sker i första hand inom specialföretagen som tillverkar vattenkemikalier och brinelösningar. I samtliga fall där vatten ingår bör samarbete ske med vattebehandlingsföretag.

Wilhelm Dietrichson
STATENS NATURVÅRDSVERK
Forskningsavdelningen
Forskningssektariatet

Sammandrag av inlägg
presenterat vid "Yt-
jordvärme-seminariet"
1982-03-17

MILJÖGENSKAPER HOS KÖLDBÄRARVÄTSKOR

1. Vilka "miljöegenskaper" är väsentliga?

Vid ett läckage i marken kommer mer eller mindre toxiska (ogiftiga) kemikalier ut i marken. Om en kemikalie bryts ner relativt snabbt minskar risken för att den påverkar vattentäkter eller andra känsliga områden. Rörligheten kan också vara olika genom att vissa ämnen lättare fastläggs i jorden än andra. TOXICITET, NEDBRYTBARHET OCH RÖRLIGHET är därför tre viktiga "miljöegenskaper".

En annan aspekt är att vid nedbrytning av organisk substans åtgår syre. Stor SYRETÄRING kan medföra att grundvatten eller ytvatten blir anaeroba (syrefria). Detta kan medföra att svavelväte bildas och näringsämnen frigörs. Vid normala ytjordvärmeanläggningar torde inte syretäringen ha någon större betydelse.

2. Vad vet vi om dessa?

Toxicitetsdata finns om flertalet av de kemikalier som används. Vissa är mycket välkända. Översättning av toxdata till de aktuella förhållandena kan dock vara svår.

Nedbrytbarhetsdata från laboratorieförsök vid 20°C är också vanliga. Däremot är kunskaperna mycket begränsade om nedbrytbarhet vid 0-10°C. Temperaturskillnaden har mycket stor betydelse då nedbrytbarheten drastiskt minskar vid lägre temperaturer. Till detta kommer att tillgången på mikroorganismer kan vara begränsade i mark och grundvatten.

Rörligheten i mark är mycket lite känd för det aktuella kemikalierna.

Den maximala syretäringen kemikalierna kan medföra kan lätt beräknas.

3. Vad gör vi för att få fram mer kunskap?

I Danmark pågår ett projekt med syften att

- i lab studera nedbrytbarhet i jordprov vid låg temperatur

- i lab studera rörligheten i jordprov vid låg temperatur
- i fält simulera ett läckage för att se vad som händer

Försökstekniken är i vissa avseenden ny och svår. Tolkningen försvåras av att vi har begränsade kunskaper om markens syrehalt. De första obekräftade lab.försöken indikerar extremt låg nedbrytbarhet och stor rörlighet.

Vid SLU, Ultuna (Lennart Torstensson) pågår ett projekt med syften att

- genomföra en litteratursökning om kemikaliernas nedbrytbarhet och rörlighet
- dra nytta av danskarnas erfarenheter och få igång samarbete med dem
- göra preliminära bedömningar av kemikaliernas miljökonsekvenser bl a utifrån paralleller med studier av pesticiders rörlighet och nedbrytning i djupare jordlager.

Vid SNV pågår

- sammanställning av data på använda kemikaliers toxicitet och nedbrytbarhet
- labförsök på köldbärrätskornas nedbrytbarhet i vatten vid låga temperaturer.

4. Vilka kunskaper finns om de vanligast använda kemikalierna?

I bilaga 1 finns en sammanställning av data som finns om etylenglykol. Liknande data finns om många andra kemikalier som används i köldbärrätskor.

Av de vanligast använda kemikalierna för fryspunktsnedsättning bedöms etylenglykol vara det minst lämpliga från miljösynpunkt. Därefter följer etanol, propylenglykol och kalciumklorid i nämnd ordning.

Några av de mest använda tillsatserna för korrosionsinhibering finns angivna i bilaga 2. Av dessa bedöms trietanolamin och natriumnitrit vara de mest toxiska. Den trietanolamin som finns i en villaanläggning med 400 l köldbärrätska räcker för att höja halten till gällande gränsvärde för dricksvatten i 900 000 l vatten. Nitritmängden räcker för 10 milj l. En speciell fara med aminer och nitriten är att nitrosaminer kan bildas, vilka är carsinogena. Av övriga uppräknade ämnen torde triazolerna vara de mest toxiska.

Utöver korrosionsinhibitorer innehåller köldbärrätskor ibland färgämnen, skumdämpningsmedel, svamp- och bakteriedödande ämnen etc. Vilka ämnen produkterna innehåller är ibland svårt att få reda på.

5. Hur kan negativa effekter av läckage undvikas?

Ytjordvärmeanläggningar bör förläggas på betryggande avstånd från vattentäkt och ev andra känsliga områden. För en villaanläggning kanske 50-100 m?.

Läckagriskan kan minskas genom

- krav på slangkvalitet
- slangdimension, tryckprovning
- tryckvakt - nivåkontroll - alarm - avstängning
- begränsning av den mängd som kan läcka ut
- slangkarta.

Val av hantering av köldbärarvätska är givetvis också väsentligt.

6. Vad bör göras?

Dagens kemikalieanvändning speglar delvis att man tager vad man haver som brukar gå bra. Bättre alternativ, kanske både tekniskt och miljömässigt, bör kunna hittas.

Vi måste få en bättre överblick om vilka alternativen är och vilka data som finns om dessa kemikalier.

Vi måste ta fram bättre kunskaper om nedbrytbarhet och rörlighet hos kemikalierna i mark och grundvatten.

Vi bör innan dessa kunskaper kommer fram göra beräkningar på utspädning och spridning av kemikalierna i grundvatten och ställa dessa i relation till krav på vattenkvalitet i dricksvatten.

Värmebärande fluider, Diskussion

Diskussion om skillnaden mellan nitrater och nitriter. Nitriter omvandlas normalt snabbt till nitrater, men om de hamnar i mark med låg aktivitet och låg syrehalt, kan omvandlingen fördröjas. Risken finns också för synergieffekter om nitriter och aminer samtidigt finns närvarande. Då ökar risken för bildning av nitrosaminer.

Från miljövärdssidan finns möjlighet att lagstiftningsvägen få uppgifter på ingående ämnen i de fryspunktsnedsättande tillsatserna. Miljöriskerna från köldbärarvätskorna måste jämföras med andra miljörisker och andra användningsområden för samma ämnen. Etylenglykol användes exempelvis i bilkylare och stora mängder försvinner förmodligen varje år ut i marken eller dagvattensystemen.

Användning av propylenglykol för avisning av flygplan är ej reglerad idag.

Diskussion om utsläppen av freoner från värmepumpkretsen. Freonutsläpp i atmosfären från exempelvis sprayförpackningar har förbjudits i flera länder. Förbudet har hittills riktats mot "onödigt" användning av freoner och något förbud mot freonanvändning i värmepumpar är nog inte att vänta inom lång tid. En öppen fråga är om direktförångning av freon i markkollektorn är ett "onödigt" system.

Möjligheterna att utforma markkollektorn så att endast en liten mängd vätska kan läcka ut innan larm erhålles. Normalt sker detta automatiskt genom att expansionsystemet har en förhållandevis liten volym. Cirkulationspumpen slutar i allmänhet att fungera när luft börjar komma in i systemet. Detta begränsar normalt utläckningen till något fåtal liter.

Wilhelm Dietrichson sade avslutningsvis att om man bara kan undvika de värsta dumheterna, såsom förläggning intill vattentäcker och låta bli kromater och andra mycket toxiska inhibitorer, bör inte ytjordvärme bli något större problem ur miljösynpunkt.

Douglas Ahlkrona efterlyste regler eller principer för läggning intill vattentäkt.

Ulf Ryman
AB Orsa Companie

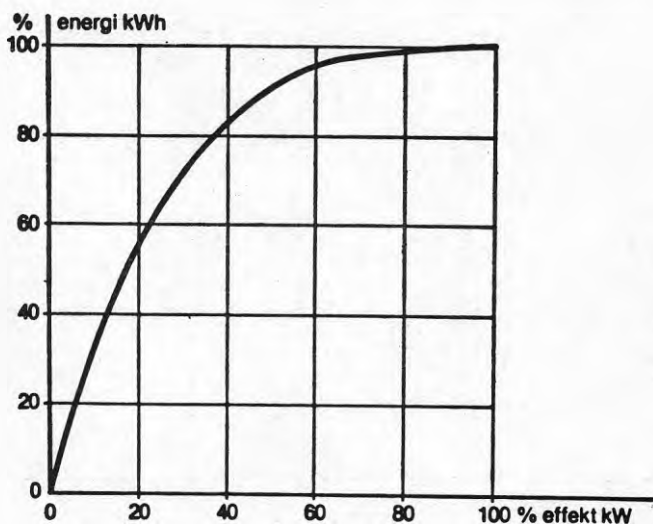
Sammandrag av inlägg presenterat
vid "Ytjordvärme-seminariet"
1982-03-17

EKONOMI

Markkollektorns funktion i ett ytjordvärmsystem är att leverera den energi som utgör besparingen i kWh och kronor. Den utgör en integrerad del av systemet. Det är därför inte möjligt att isolerat bedöma dess ekonomi.

Avgörande för systemets ekonomi är hur stor del av den vid DUT erforderliga effekten som täcks av värmepumpen.

Sambandet mellan energitäckningsgraden och installerad effekt i % av den vid DUT erforderliga framgår av nedanstående diagram.



Låt oss göra följande förenklade antaganden:

En värmepump med effekten 10 kW och en årsmedelvärmefaktor på 2,5 ger en årlig energimängd om 20.000 kWh. Den skall betjäna 1, 2 resp 3 hus med vardera 10 kW effektbehov och 20.000 kWh/år energibehov.

För 10 kW och 20.000 kWh erfordras en slanglängd om 400 m jämnt fördelad på en yta av 600 m².

Ur kollektorn levereras 6 kW och 12.000 kWh per år. För de 3 fallen får då:

Fall	Effekt	Dito %	Täckn grad	Energi ur slang kWh	El till anlägg kWh	Tillskott kWh	Summa kWh	Kostnad per hus kr
1	10	100	100	12.000	8.000	0	8.000	2.000
2	10	50	90	21.600	14.400	4.000	18.400	2.300
3	10	33	75	27.000	18.000	15.000	33.000	2.750

Tabell 1

Antag att vi i de 3 fallen behåller slanglängden 400 m. Vi får i samtliga fall ett teoretiskt effektuttag på 15 Watt/m men energiuttaget per m² markyta blir 20, 36 resp 45 kWh.

Låt oss vidare göra det antagandet att 20 kWh/m² och år är maximum för "worst case" eller exempelvis torr sand. För de 3 fallen skulle då slanglängden bli 400, 720 resp 900 m.

Vid en kostnad av 25:-/m slang och en kostnad för värmepumpen installerad på 36.000:- fås överslagsmässigt för en energikostnad på 0:25 kr/kWh

Fall	Slang-kostnad	Per hus	Värmepump	Per hus	Summa per hus	Årlig besparing	Annuitet
1	10.000	10.000	36.000	36.000	46.000	3.000	6,52
2	18.000	9.000	36.000	18.000	27.000	2.700	10,00
3	22.500	7.500	36.000	12.000	19.000	2.250	11,5

Tabell 2

Investeringen per sparad kWh blir 3:83, 2:50 resp 2:17 kronor.

Ovanstående är en förenklad framställning av ett tänkt fall. Sålunda har kostnaderna för en erforderlig elkassett på 10 resp 20 kW i de två senare fallen inte medtagits.

Verkligheten är tyvärr mer komplicerad än så. Förutsättningen för att få ut beräknad energitäckningsgrad är för markförhållandena riktigt dimensionerad kollektor, vilket inte ligger inom mitt kompetensområde.

Erfarenheterna från Sollerön, Mora och Sandhed, Orsa har dock resulterat i en del iakttagelser.

På Sollerön, Mora är 4 marknära lägenheter anslutna till en värmepump.

Totalt finns 8 värmepumpar. Effekten är ca 50 % av vid DUT erforderliga och slanglängden är 700 m. Här har energitäckningsgraden under 2 fulla bränslesäsonger 79/80 och 80/81 klart överstigit 90 %.

På Sandhed, Orsa finns 16 singelhus och 3 parhus vardera med en värmepump och 400 m slang i markkolektorn. 9 av singelhusen har sin markkolektor i grundvatten, övriga har normal yttjordvärme i torr sand. Två av parhusens kollektorer ligger i grundvatten.

För varje hus råder ett klart samband mellan effektleveransförmåga och brinetemperatur. Mellan värmepumparna råder dock stora skilljaktigheter.

Samtliga hus tycks klara sin energiförsörjning väl på ett undantag när. Minimum medeltemperatur för ett dygn har i januari varit -30.6°C . Värmepumparna gick då mellan 23 och 24 timmar och endast parhusen drog tillskottsöl. Enda undantaget är parhus 16/17 som med sina 400 m ytförlagd kollektor har en minimum brinetemperatur på -7.3°C och en effekttupptagning på 3 - 3.5 kW.

Denna kollektor är klart underdimensionerad och huset kommer inte upp till normal energitäckningsgrad.

Hur blir ekonomin på stora markkolektorer?

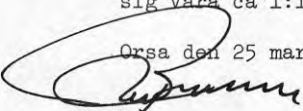
Anläggningskostnaden per m verksam slang tenderar att öka med kollektorns storlek. Den lägre grävningkostnaden förmår inte kompensera de ökade kostnaderna för tilliedningar, glykol, kopplingar m m.

För en villavärmepumpanläggning är proportionen installerad maskinkostnad/markkolektor ca 3.5:1.

Med storleken på anläggningen sjunker maskinkostnaden samtidigt som kollektorkostnaden stiger.

För en anläggning på ca 600 kW avgiven effekt har förhållandet visat sig vara ca 1:1.

Orsa den 25 mars 1982



Ulf Ryman

Lars Lindblom
Bostadssyrelsen

Sammandrag av inlägg presenterat vid "Ytjordvärme-seminariet" 1982-03-17

LÅNEREGLER FÖR VÄRMEPUMPAR IDAG SAMT FÖRESLAGNA FRAMTIDA FÖRÄNDRINGAR

Inledning

Det råder stor politisk enighet om att vi måste hushålla med energin och att vi samtidigt måste minska vårt oljeberoende genom att i högre grad använda andra energikällor. Efterhand skall därför varaktiga, helst förnybara och inhemska, energikällor få större betydelse i vår energiförsörjning.

I dag är vi till 2/3 beroende av olja i vår energiförsörjning. Och praktiskt taget all olja importerar. Oljan är därför den största enskilda posten i våra betalningar till utlandet. Priserna kommer att göra det svårt för oss att konsumera olja i samma omfattning som hittills. Och dessutom - ju längre fram i tiden vi blickar, desto knappare blir de ändliga oljeresurserna.

Samtidigt kommer vi att successivt avveckla vår kärnkraft, som 1985 skall svara för drygt 10 % av vår totala energitillförsel och för ca 40 % av vår elproduktion.

Vår energiförsörjning kommer alltså att väsentligt förändras redan under 1980-talet. Riksdagen har under våren 1981 fastställt riktlinjerna för den fortsatta energipolitiken i Sverige.

I den antagna sparplanen framgår det att vi ska skära ner på oljeförbrukningen från dagens 27 miljoner ton om året till 17 miljoner ton 1990.

Eftersom en stor del av oljan, ca 40 % eller i absoluta tal ca 11 miljoner ton om året, går åt till att värma våra hus, finns här mycket olja att spara.

För att göra anpassningen till ett oljesnålare samhälle så smärtfri och snabb som möjligt satsar samhället både på rådgivning -
- energirådgivare, och ekonomisk hjälp -
- energilån för bostäder.

Energilån till värmepumpar

När det gäller huvudsyftet med energilån för bostäder se bilaga 1. Förutsättningarna i stort för energilån till värmepumpar i småhus respektive flerfamiljshus framgår enligt följande citat ur gällande energilåneförordning:

"Lån medges till värmepump provad enligt Statens provningsanstalts metod SP A3 528 och med redovisad energisparfaktor $(f) > 1,2$. I avvaktan på att typgodkännandeverksamheten skall få erforderlig omfattning får lån övergångsvis medges även för installation av icke typgodkända värmepumpar. Förutsättningen är att ansökan om typgodkännande har inlämnats till Statens planverk och att provningsprotokoll föreligger från provning utförd av opartisk provningsinstitution och i enlighet med metod som Statens provningsanstalt tillämpar. Det skall kunna dokumenteras att värmepumpen uppfyller gällande säkerhetskrav. Erforderlig tillsatsvärme skall i möjligaste mån tillgodoses från befintligt fungerande värmeinstallation. Reglersystem enligt 1.1 ingår i här angivna belopp.

	Småhus=Sm	Mätenhet	Godk kostn högst kr
a) Värmepump för uppvärmning: Lånet beräknas enligt följande formel. $10\ 000 + (f - 2,1) 20\ 000$	Sm	hus	36 000
b) För värmepump med markvärmekollektor etc medges ett tillägg för kollektorn	Sm	hus	8 000

Flerfamiljshus och gemensamma värmecentraler

Vid installation av ny eller alternativ uppvärmningsform eller kombinationer av sådana eller i gemensam värmecentral för grupp av småhus och/eller flerfamiljshus (tillsammans upp till ca 300 lägenheter) beräknas lånet med ledning av redovisad installationskostnad och energikostnadens förväntade minskning".

Det bör nämnas att i det här avseendet definieras värmepumpen som ny eller alternativ uppvärmningsform. Jag har för att konkretisera lånebetingelserna för värmepumpar i flerfamiljshus gjort en beräkning enligt nuvärdesmetoden. Se vidare bilaga 2. Samtidigt bör nämnas att jag i exemplet utgått ifrån en årsmedelverkningsgrad om 70 % på oljeanläggningen samt energisparfaktor 2 för värmepumpanläggningen.

I samband med energilån till värmepumpar i småhus och flerfamiljshus kan även ges upp till fem års räntefrihet. Eftersom amorteringarna är låga i början av lånetslöptid blir kostnaderna för det statliga lånet låga under de första åren. Se bilaga 3 om ränté och amorteringsfrihet för nya och förnybara lokala energikällor.

Lån till värmepumpar i samband med nybyggnation av bostäder

När det gäller att fastställa låneunderlagets storlek för värmepumpar i samband med nybyggnation av bostäder så föreligger följande förutsättningar:

- a) Grupphus och styckebyggda småhus
- . Värmepump $8\ 500 + (f-1,2) \cdot 10\ 000$
(f=energispärfaktor, max 2,5)
- b) Småhus med gemensam anläggning samt flerfamiljshus
- . Värmepump 35 000 st
+55 m² fda
 - . Tillägg per inbesparad kWh/år 1

Energilånets framtida utformning för värmepumpar

Bostadsstyrelsen har, enligt uppdrag från regeringen, nyligen utarbetat ett förslag till de villkor som bör gälla för lån till nya och förnybara lokala energikällor. Grundvalen för bedömningarna är att den bristande fastighetsekonomiska lönsamheten för bl a värmepumpar skall kompenseras genom lånevillkoren.

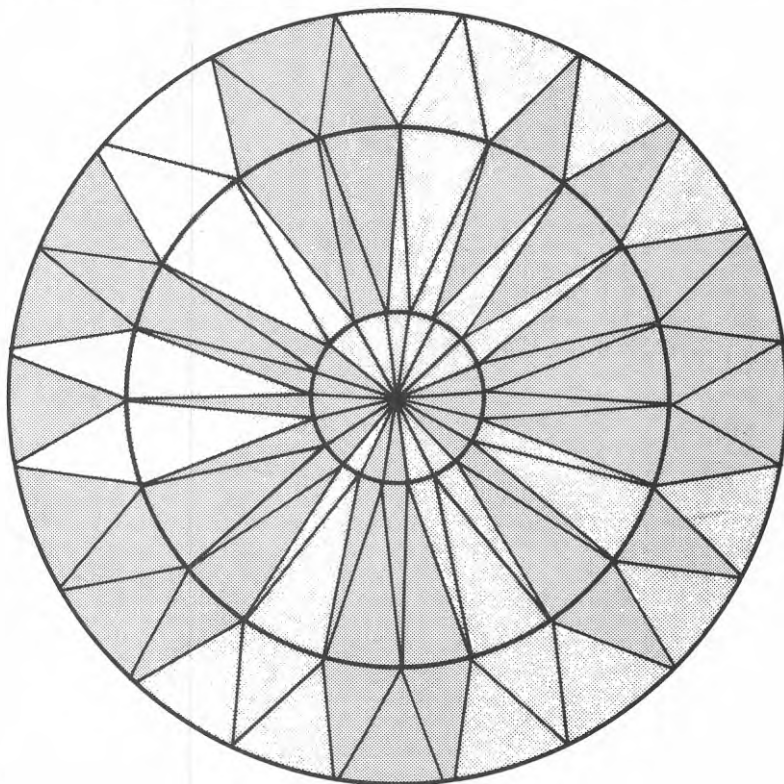
Enligt bilaga 4 framgår det att godtagbar stimulans för värmepumpar avsedda för småhus, kan uppnås genom att den räntefria tiden förlängs till tio år. När det gäller värmepumpar för flerfamiljshus föreslås att räntebidrag återinförs. Som framgår av bilaga 5 medför en sådan ändring att godtagbar stimulans uppnås.

Sammanfattning

För tryggare energiförsörjning i framtiden och bättre ekonomi måste vi dels förbättra vår energihushållning och dels minska vår oljeförbrukning. Succesivt måste vi övergå till att utnyttja inhemska och förnybara energikällor. De statliga styrmedlen måste därför regelbundet ses över och i god tid anpassas till förändrade betingelser.

SYFTET MED ENERGILÅNET

- Förbättring av energihushållning
- Användning av andra energikällor än olja



Sparmål för bostäder:
ca 2 400 000 m³ olja per år

Energilån
Enl 1§ 2

EXEMPEL

Installation av värmepumpsanläggning i ett
flerfamiljshus med 18 lägenheter

Investeringsutgift	Underhålls- och driftsk.
400000:-	5000:-

Brukstid 15 år

Diskonteringsfaktorer $p_1 = 13,5$ $p_2 = 10$,

$(N = B \cdot p_1 - U \cdot p_2)$

Besparing

Före åtgärd: *40m³ Eo à 2000:-

Efter åtgärd: **140000 kWh à 23 öre

*80000

ca **30000

50000



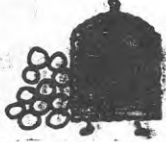
Nuvärdesberäkning

$N = 50000 \cdot 13,5 - 5000 \cdot 10,3 = 515000$

$N > I$ ∴ lönsam investering



RÄNTE- OCH AMORTERINGSFRIHET FÖR NYA OCH FÖRNYBARA LOKALA ENERGIKÄLLOR

	 Solvärme		 Värmepump		 Ved, flis od	
	Ränte- fritt	Ränte- o. am- fritt	Ränte- fritt	Ränte- o. am- fritt	Ränte- fritt	Ränte- o. am- fritt
Sm	5 år	-	5 år	-	-	-
Fh	10 år	10 år	5 år	-	10 år	10 år
Gem anl. (max 300 lgh)	10 år	10 år	5 år	-	10 år	10 år

SMÅHUS SOM BEBOS AV LÅNTAGAREN

Åtgärd	Värmepumpsanläggning
Föreslaget lånevillkor	10 års räntefrihet på 30% av godkänd kostnad
Subventionseffekt öre/kr/u	*21
Subventionsbehov öre/kr/u	0 - 30

* Subventionen om 21 öre/kr/u är baserat på ett diskonterat nuvärde, efter 10%, 15 års amorteringstid och 13% ränta

Bilaga 5

FLERFAMILJSHUS SAMT SMÅHUS SOM ÄR BERÄTTIGADE TILL RÄNTEBIDRAG

Åtgärd	Värmepumpsanläggning
Föreslaget lånevillkor	Enbart räntebidrag, inga ytterligare stimulanser
Subventionseffekt öre/kr/u	46
Subventionsbehov öre/kr/u	0 - 25

Ekonomi och lånemöjligheter, Diskussion

Diskussion om skaleffekter vid stora anläggningar. Ulf Ryman poängterade att de vinster man gör på grävningssidan vid större anläggningar mer än väl äts upp av ökade kostnader för tilldelningar, flödesfördelningsanordningar, kulvertar m m. Noggranna kalkyler pekar entydigt på att så är fallet.

Kommer bostadsstyrelsen att kräva typgodkända dimensioneringsregler? Önskemålet finns, men man vill i samråd med Planverket avvakta utvecklingen. Eftersläpningen är ju stor redan när det gäller typgodkännande av aggregaten.

Möjligheterna för en differentiering av belåningsvärdet för olika typer av värmekollektorer diskuterades. Lars Lindblom påpekade att man nu för första gången infört en form av differentiering med avseende på värmepumpens prestanda. Man vill avvakta och se hur detta fungerar, innan man går vidare.

De nuvarande lånereglerna har inga hinder för att tillsatsvärme tas från elnätet. Däremot har exempelvis en elpanna ett lägre belåningsvärde än en vedpanna, så på så sätt kan viss styrning åstadkommas.

På frågan om varför reglerna ändras så ofta, svarade Lars Lindblom att direktiven om regeländringar kommer från politikerna. Det är alltså ytterst dessa som vi bör försöka påverka om vi vill ha mera varaktiga låneregler.

Lennart Carlsson,
K-KONSULT, Örebro

Sammandrag av inlägg
presenterat vid "Yt-
jordvärme-seminariet"
1982-03-17

=====

YTJORDVÄRME

Potential och tillämpbarhet

=====

- Bakgrund Markvärmen har en mycket stor potential om man enbart betraktar teknik och markförutsättningar. Potentialen är dock svårbedömbär i tätorter där merparten av bebyggelsen finns. Markvärmens markanspråk måste relateras till såväl fysiska bebyggelseförutsättningar som värmeförsörjningsplaneringen för att möjliggöra en bedömning av reel tillämpbarhet och därmed verklig potential.
- Påstående Utvinningspotentialen är låg därför att tillämpbarheten är begränsad trots att tekniken är välutvecklad.
- Problem
- 1 Ytjordvärme i befintliga villa- och småhusområden konkurrerar med billig el och fjärrvärmeanslutning.
 - 2 Vid nyplanering av småhus i perifera tätortsdelar finns tillämpningsmöjligheter, men markanspråken ställer krav på bebyggelsens utformning.
 - 3 Ingreppen i befintliga trädgårdar och befintlig park- eller naturmark är besvärande.
 - 4 Värmeplaneringen kan knappast föreskriva ytjordvärme. Möjligen kan konverteringsmöjligheter antydast, vilket ställer krav på samordningen mellan den fysiska bebyggelseplaneringen och värmeplaneringen.

Möjligheter

- 1 Markanspråken är en kritisk faktor som, om ytkraven kunde minskas till storleksordningen hälften, skulle kraftigt öka tillämpbarheten såväl för enskilda villor (bl a 60-70-talens elvärmda småhus) som för större enheter (t ex flerbostadshus i små orter). Anläggningsteknikens åverkan i befintlig miljö kan räknas också som markanspråk.
- 2 Blandtekniker med djupare slingor och värmeladdning med sol - luft ökar sannolikt tillämpbarheten kraftigt rent fysiskt.
- 3 Okonventionella lösningar av typen "lågtempererad lokal fjärrvärme" kan ge intressanta infallsvinklar. Genom köldbärare som distributionsledningar kan enskilda abonnenter ansluta värmepumpar. Genom att hålla ledningarna till gatumark, parkmark, markimpediment kring trafikleder m m skulle markvärmens ytkrav och ingrepp i befintliga miljöer bli mindre besvärande.
- 4 Antagligen kan man "planmässigt" utvidga tillämpningen av markvärme i olika former, och därmed utvidga teknikens potential, utöver den tillämpning som spontant kommer till stånd genom framförallt enskilda villaägares initiativ.

Med "planmässighet" vidgad tillämpning avses här att kommuner och statliga myndigheter drar åt samma håll genom

att kommunerna i sin planering beaktar markvärmens möjligheter och förutsättningar i sin

• värmeplanering

t ex som alternativ eller komplement till oljereduktion genom fjärrvärmeanslutning,

t ex som alternativ till elkonvertering som leder till investeringar i eldistributionsnät,

t ex som alternativ och komplement vid gruppcentraler utanför fjärrvärmeområde eller i avvaktan på framtida anslutning

- fysiska planering

t ex genom att se konstruktivt på möjligheterna att tillgodose markanspråk

t ex genom att beakta utformningskrav och förberedelser vid områdesplanering samordnat med värmeplanering

t ex genom att anpassa detaljplaneutformningen för att förbereda för framtida konvertering

t ex genom att beakta genomförandefrågor

- rådgivning och tillståndsgivning

t ex genom att öka kunskapen och underlätta hantering och beslut

att fortsatt FoU och teknikutveckling inriktas mot t ex

- minskade markanspråk
- att klarlägga storleksfördelar d v s vilka anläggningsstorlekar som är tillämpliga med hänsyn till ekonomi och systemutformning
- anläggningsteknik och komponentutformning som minskar ingreppen i befintlig miljö

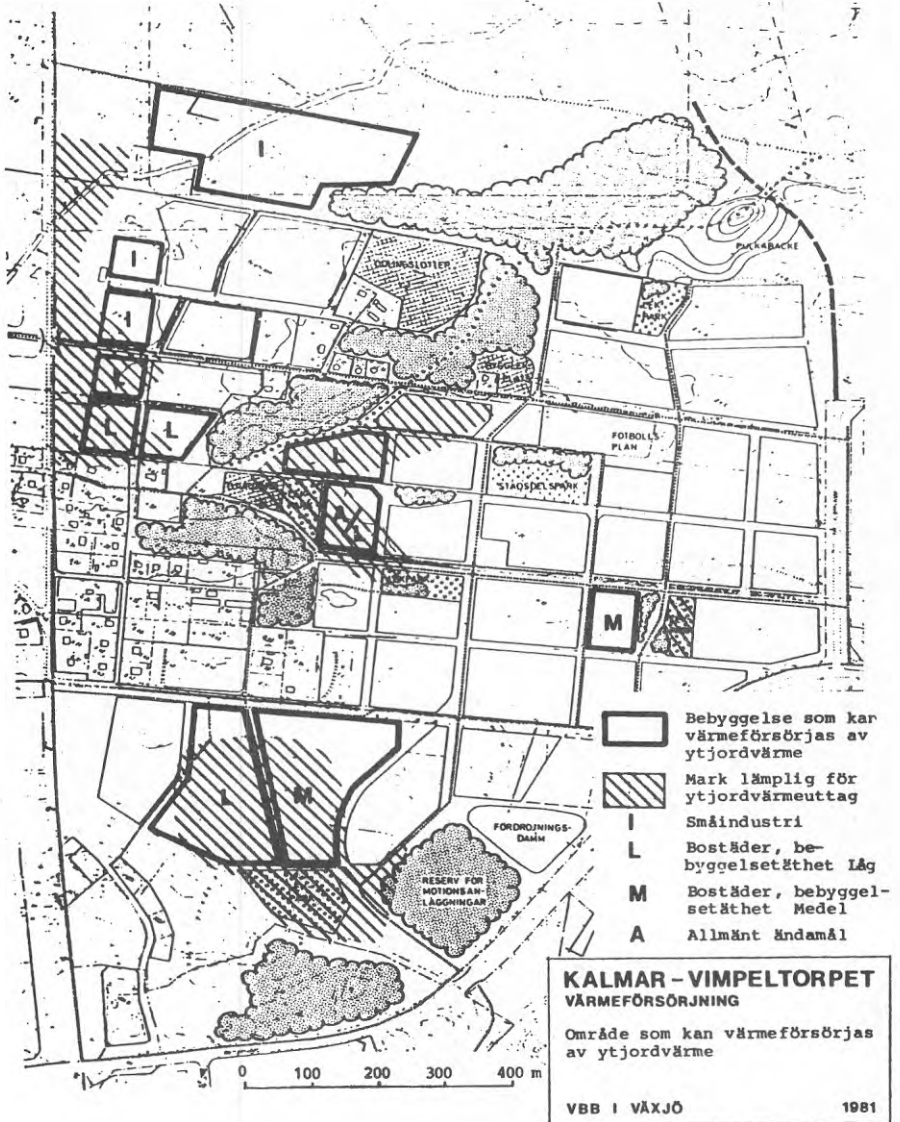
att finansieringsfrågan följs upp

- med hänsyn till huvudmannskap vid genomförande
- med hänsyn till teknikens förutsättningar att reducera såväl oljeanvändning som elanvändning (jfr 90-talets elreduktionsplanering).

Örebro 821008

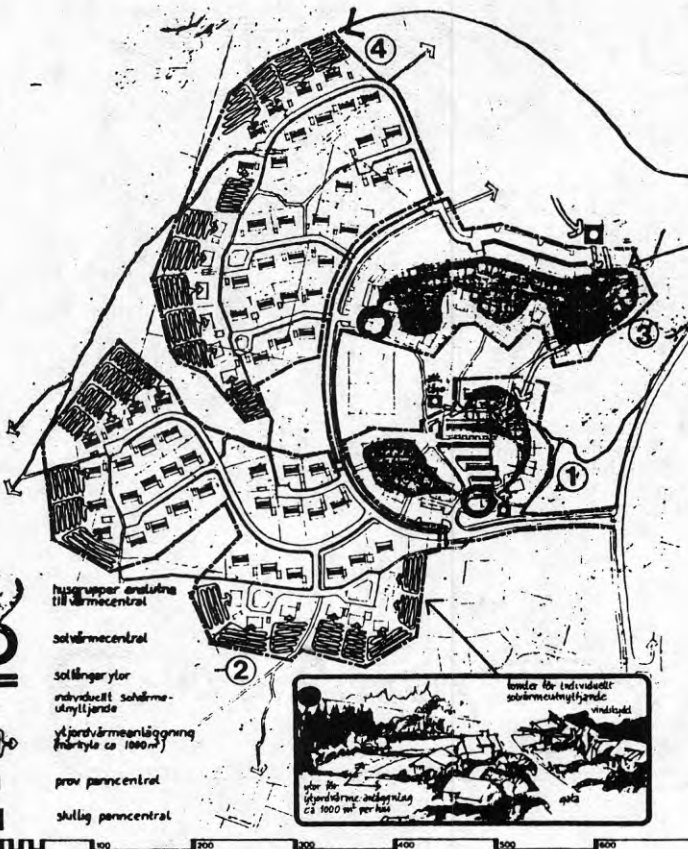

Lennart Carlsson

Exempel på tillämpningsarbetet för ytjordvärme



Kommentar:

Ofta är endast vissa delar av en ort möjlig för ytjordvärme. Om fjärrvärmeanslutning aktualiseras slås dessa potentialer ut.

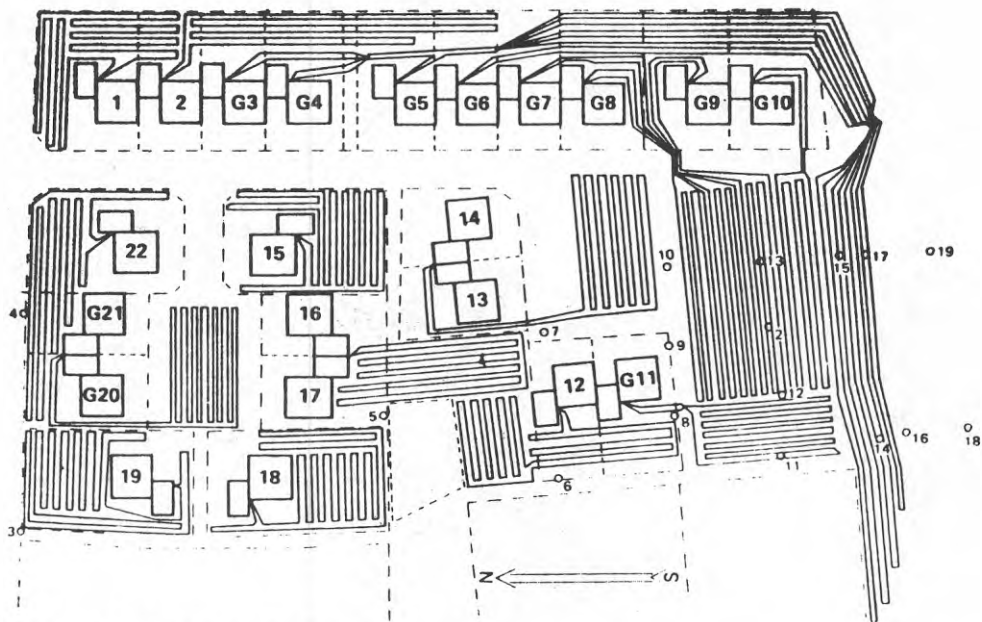


exempel på möjlig-
het att utnyttja
ytvårdare för fonter
med gynnansse på
fruktställningar

-  husgrupper anslutna till värmecentral
-  solvärmecentral
-  solfångar ytor
individuell solvärme-
utnyttjande
-  ytvärmeanläggning
(här typiskt ca 1000 m²)
-  prov panncentral
-  skuggig panncentral

0 100 200 300 400 500 600

Dokument i Borås kommun



Figur 1 Plan över Sandhed med slangsystem

delvis på yttchor för yttjordvärme slingor
i ett grupphusområde

Kommentar:

Denna typ av bebyggelseplan är knappast
generellt tillämpbar för yttjordvärme, fram-
förallt inte i efterhand (vid konvertering).

Strategi C

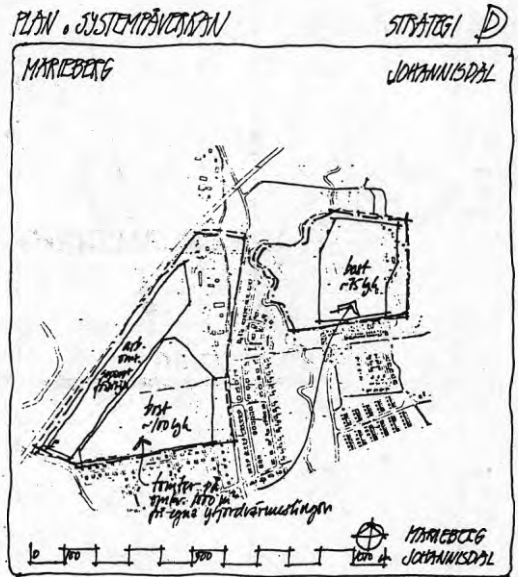
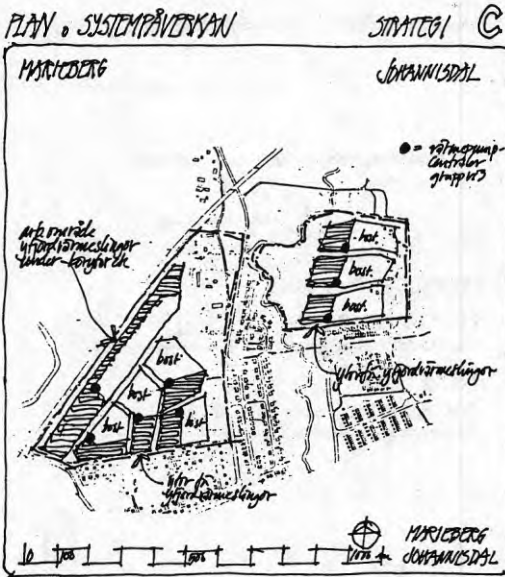
Byggnaderna försörjs individuellt med vattenburen elvärme och planen anpassas så att varje byggnad individuellt kan konvertera till ytjordvärmesystem

- ytjordvärmesystem, individuell konvertering.

Strategi D

Varje husgrupp (med omkr 25 l_e) förses med internt lågtemperaturanpassat ledningsnät och egen gruppcentral med elvärme

- konvertering till ytjordvärmesystem med värmepumpcentral gruppvis, ev hybridssystem gruppvis



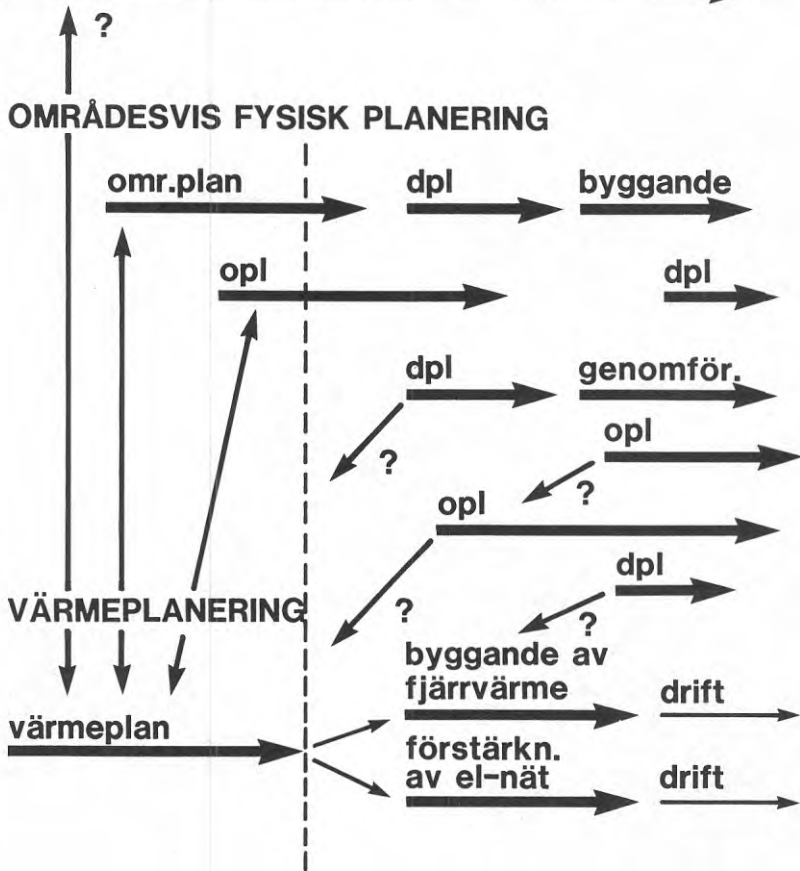
Kommentar:

Om det finns två optimala systemstorlekar

- för individuella villor etc
- för en grupp om ca 30-50 lgh

är definitivt intressant för bebyggelseplaneringen. Systemstorlekar styr den fysiska planutformningen.

ÖVERSIKTLIG FYSISK PLANERING



Kommentar:

Schemat illustrerar den samordning som måste ske mellan olika planeringsaktiviteter vid bebyggelseplanering.

Ett problem är att värmeplaneringen ofta fastlagt antingen fjärrvärme eller el på ett tidigt stadium. Markvärmeresursen som "upptäcks" vid den områdesvisa planeringen har svårt att få genomslag.

Potential, Diskussion

Innebär fjärrvärme ett hot mot de alternativa energiformerna? Flera talare poängterade vikten av att inte se något motsatsförhållande i fjärrvärme och ytjordvärme. Fjärrvärmen är ju endast ett sätt att distribuera värme, medan ytjordvärme är ett sätt att producera värme som kan distribueras på olika sätt. Konkurrensen kan möjligen ligga i att fjärrvärmen ej i sig innefattar småskalig teknik. Det innebär då å andra sidan att systemen bör ha möjligheter att komplettera varandra på ett bra sätt. Det finns ju mängder av hus, som ej rimligen kommer att kunna nås av fjärrvärme.

Lennart Carlsson påpekade att om ytjordvärme skall kunna utnyttjas i stor omfattning i tätortsbebyggelse, krävs att den integreras i värmeplanerna. Dessa har ännu så länge fungerat mycket dåligt.

Palne Mogensen påpekade att "kall fjärrvärme" från perifer ytjordvärmeanläggningar kan leda till att kulvertkostnaderna minskar drastiskt i jämförelse med konventionell fjärrvärme och kan ofta kompensera merkostnaden med en värmepump i varje hus.

Ingemar Johansson framhöll att vid potentialuppskattningarna får vi ej stirra oss blinda på det ytbehov som vi redovisar i dag. Noggrannare dimensioneringsregler kombinerade med att man i många fall bör kunna tåla kraftigare markpåverkan, skulle kunna minska ytbehovet och göra att potentialen ökade drastiskt.

Sven-Erik Lundin ansåg det synnerligen önskvärt att någon ville studera frågan om ytjordvärmens potential noggrannare. Han trodde att rådet skulle ställa sig mycket välvilligt till en ansökan om detta.

Ulf Thunberg
Statens Planverk
(OH-material bearbetat
av Paln Mogensen)

Sammandrag av inlägg
presenterat vid "Yt-
jordvärme-seminariet"
1982-03-17

JURDISKA OCH ADMINISTRATIVA HINDER

Disposition

"Hinder"-motion till Riksdagen 1980/81:373	1
Lagar och förordningar	2
- Tillståndsgivning	
- Utnyttjande av annans mark	
- Utnyttjande mot fastighetsägares vilja	
- Skadestånd	
Försäkringar	3
Sammanfattning	4

1. MOTION 1980/81:373 OM LAGREGLERING AV YTJORDVÄRMEANLÄGGNINGAR

Lagutskottets betänkande LU 1981/82:7

- Lagreglering saknas
- Lagreglering verkar ej påkallad
- Risker med glykol i mark
- Bristande eller oklart försäkringsskydd
- Föreslår avslag på motionen

Yttranden

- SNV: Samhällskontroll behövs, lämpligt provningskrav i nya PBL. (Ny plan- och bygglag, SOU 1979:66)
- BFR: Studier av miljöpåverkan har påbörjats. Forskning pågår kring ofarligare värmebärarvätskor. Larm mot stora läckor i viss mån "inbyggt". Lämpligt med krav på bygglov för större anläggningar.
- Planv: Anmälningsskyldighet. Typgodkännande av värmepumpar.
- LMV: Registrering ev önskvärd med hänsyn till markanvändningsaspekten
- Svea Hovr: Anmälningsskyldighet. Registrering i exempelvis fastighetsregister. Nu gällande lagar och förordningar torde vara tillämpliga vid skador p g a immissioner. Skäl saknas att nu utreda behovet av speciell lagstiftning.

2. LAGAR OCH FÖRORDNINGAR

Svag offentlighetsrättslig reglering

Grannerättslig reglering genom avtal, servitut

BYGGNADSSTADGAN: Anläggandet fordrar inte byggnadslov. Vid nybyggnad kan dock viss prövning ske. Miljöskyddslagen bevakas även. Planverket har interimistiskt godkänt system avseende funktion (att värma), energisparande och markfrost.

VATTENLAGEN: Större anläggningar kan behöva uppfylla vissa regler i vattenlagen om skydd för grundvatten.

MILJÖSKYDDSLAGEN: Ändring av temperaturförhållandena vid bl a kylvattenutsläpp betraktas som "termisk förorening", varför lagen kan bli tillämplig om verksamheten betraktas som miljöfarlig.

MILJÖSKYDDSFÖRORDNINGEN: Anläggande av system för utvinning av värme ur mark och grundvatten för en uttagen effekt > 1 MW, skall anmälas till länsstyrelsen, som kan ge råd om skyddsåtgärder, föreläggande om försiktighetsmått eller förbud.

NATURVÅRDSLAGEN: Anläggning i mark som väsentligt förändrar naturmiljön - samråd före med länsstyrelsen.

HÄLSOVÅRDSSTADGAN: Särskilda åtgärder mot vatten- och luftföroreningar. HN kan lämna lokala föreskrifter, t ex inom område med dricksvattenbrunnar.

LAGEN OM HÄLSO- OCH MILJÖFARLIGA VAROR: Värmebärandevätska med glykol torde medföra att s k allmän aktsamhetsregel gäller. Vätskan får ej medföra skada på människor eller i miljön.

Utnyttjande av annans mark

Är fastighetsägare överens kan en anläggning för värmeuttag läggas i annans mark. Reglering med avtal om nyttjanderätt, arrende eller servitut.

FASTIGHETSBILDNINGSLAGEN: Servitut beviljas om det är av väsentlig betydelse för fastighets ändamålsenliga användning. Skrivs in i fastighetsbok.

JORDABALKEN: Avtal om servitut kan ingås mellan ägarna till redan bestående fastigheter.

KOMMUNFÖRBUNDETS AVTALSFÖRSLAG: För utnyttjande av allmänplatsmark. Tidsbegränsade servitutsavtal; 10, 15 eller 20 år.

Utnyttjande mot fastighetsägares vilja

LEDNINGSRÄTTSLAGEN: Fastighetsägare skall tåla att ledning dras fram om inte "synnerligt men" vållas. Ringa intrång i jämförelse med nyttan. Lagen gäller inte det värmeupptagande systemet. Vissa andra villkor. Ej anläggningar som betjänar enskilt hus.

ANLÄGGNINGSLAGEN: Inrättande av gemensamhetsanläggning för flera fastigheter. Såväl ledning som installationer i övrigt. Får ej orsaka "synnerligt men".

EXPROPRIATION: För att tillgodose allmänt behov kan mark tvångsvis tas i anspråk med äganderätt, nyttjanderätt eller servitut.

Skadestånd

Skada på en fastighet kan ge rätt till ersättning på villkor som anges i olika författningar. Skadeståndets storlek bestäms enligt allmänna skadeståndsregler.

Lagar tillämpliga vid skadestånd:

MILJÖSKYDDSLAGEN om skada eller olägenhet anses uppkommen genom miljöfarlig verksamhet.

EXPROPRIATIONSLAGEN vid begäran om inlösen av onyttig del av fastighet (som skadats eller vållar ägaren synnerliga men vid begagnandet).

JORDABALKEN vid rättsförhållande mellan grannar. Markägaren ansvarar för egen och andras vårdslöshet vid arbetets utförande.

SKADESTÅNDSLAGEN.

VATTENLAGEN vid skada orsakad av vattenuttag eller förändrad vattenbeskaffenhet på grund av ändrad temperatur.

3. FÖRSÄKRINGAR

Villahemförsäkringen torde numera (från 1981) täcka skador som uppkommit i samband med ytjordvärmeanläggningar, åtminstone på egen mark eller hos tredje man.

Läget oklart vid bl a utnyttjande av annans mark!

4. SAMMANFATTNING

Särskilda bestämmelser om ytjordvärmeanläggningar endast i miljöskyddsförordningen (endast större anläggningar, anmälningsplikt).

I vissa fall kan allmänna lagbestämmelser av grannelagsrättslig eller miljörättslig natur bli tillämpliga.

Skadestånds- och försäkringsfrågorna är oklara.

KONSUMENTVERKET förhandlar om apparatgaranti, serviceåtagande och effektgaranti med värmepumpstillverkare.

PLANVERKET har utredning på gång om interimistiska godkännanden och har provisoriskt godkänt begränsad användning av några jordvärmesystem.

PBL föreslår införande av byggnadslovsplikt.

BEVILJADE FORSKNINGSMEDEL FÖR YTJORDVÄRME

Sammanställningen avser:

B Bidrag till FoU-projekt
 (L) Lån till Experimentbyggnadsprojekt
 som BFR beviljat t o m 1982-06-30

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
750489-9	Resultat från prov av två ytjordvärmepumpar	Mats Renntun Malmö	70
761040-5	Jordvärmepumpar	K Gösta Eriksson CTH	60
770609-7	Studier av apparat och värmeteknik för husuppvärmning med jordvärmepump	T Berntsson CTH	822
770610-9	Jordvärmepumpar i befintliga hus	W Kiessling CTH	511
770611-4	Geologiska faktorers inverkan på jordvärmepumpar	K G Eriksson CTH	1048
770611-4	Användning av mark som värmekälla för värmepumpar i tätort. Översiktliga tekniska-ekonomiska bedömningar	K G Eriksson CTH	150
770611-4	Förstudier av byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. Geologiska faktorer	Björn Modin CTH	50
771215-8	Ytjordvärmepump för Håstens fritidsområde i Varberg. Förstudie	Holger Strååt Karlstad	30
771318-7	Sol-ytjordvärmesystem för småhus i Eskilstuna	Eric Jonsson Eskilstuna	25 (L)
771372-0	Sol-ytjordvärmesystem för småhus i Eskilstuna	Eric Jonsson Eskilstuna	15
780540-6	Ytjordvärme eller direktelvärm? Två års erfarenheter från ett småhusområde i Arvika	K Allan Andersson Malmö	82
780674-3	Temperaturmätning i jordmassa med slangsystem för ytjordvärme	Roland Pusch Högskolan i Luleå	97
780777-1	Sandhedsprojektet Orsa. Planering	Gösta Rosenblad CTH	50
780929-1	Orsa-Sandhed ytjordvärmeprojekt. Programförstudie	Ulf Ryman Orsa	49.5

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
780948-8	Sol- och jordvärmeanläggning med värmepump för lokal och tappvarmvatten	Lennart Tjernberg Sundsvall	75
781006-5	Mätprogram för fullskaleförsök med mindre elmotordrivna värmepumpar	Sven-Ilan Eklund Stockholm	115
781029-4	Uppvärmning av 30 lägenheter med värmepump i 8 blockcentraler på Sollerön	Nils Storm Mora	80
781340-2	Central värmepumpinstallation, utnyttjande luft- o markvärme, kv Bobinen, Malmö. Förstudie	Lennart Wetterstad Malmö	50
790003-2	Ytjordvärme- och solvärme-system - kvarterscentral i Perstorp	L Lundqvist Hässleholm	210
790004-8	Ytjordvärme- och solvärme-system - kvarterscentral i Perstorp - lån	Anders Wistrand Perstorp	160 (L)
790244-6	Orsa-Sandhed-experiment med jordvärmepumpar, påverkan av grundvatten - lån	Ulf Ryman Mora	200 (L)
790298-3	Experiment med jordvärmepumpar i Sandhed. Påverkan av grundvatten	K Gösta Eriksson CTH	408
790299-8	Orsa-Sandhed-experiment med jordvärmepumpar påverkan av grundvatten. Mätningar	Ulf Ryman Orsa	1104
790418-9	Nordic Symposium on Earth Heat Pump Systems	K Gösta Eriksson CTH	50
791129-0	Energibesparande åtgärder med värmepump vid fritidsanläggning i Hörby	Hans Holst Hörby	15
791150-4	Ytjordvärmepump för mellanstadieskola och sporthall i Mantorp - lån	Roland Lindgren Göteborg	858 (L)
791257-4	Ytjordvärme i kombination med enkel aktiv solfångare - programarbete/mätning	Lennart Eriksson Stockholm	25

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
791361-4	Projekt Surte - initiering och presentation	Björn Karlsson CTH	40
791361-4	Projekt Surte - tillförlitlighet för ytjordvärmepumpar	Lennart Carlsson CTH	220
791361-4	Projekt Surte - energiekonomisk värdering för ytjordvärmepumpar	Enno Abel CTH	268
791361-4	Projekt Surte, jordvärmepumpar i större skala Geologiska-gysikaliska förändringar	K östa Eriksson CTH	264
791402-6	Solvärmeväxlare och ytjordvärme för småhus i Östersund	Gösta Eléhn Östersund	50
791606-3	Projekt Surte - mätningar och utvärdering av två referenshus	Thore Berntsson CTH	367
800207-0	Experimentbyggnadsprojekt "System Backlund" - förstudie	Ivan Norström Östersund	50
800305-1	Två-nivåsystem för ytjordvärme till småhus i Nödinge	Tage Lindström Nödinge	32
800620-3	Arstidslagring av solvärme med horisontella rörsystem i torv vid Djupedalsskolan	Jan Kilnäs Göteborg	25
801083-3	Luftvärmepump med ytjordvärme för köldperioder - Utvärdering i småhus, Arvika	Ingemar Johansson Arvika	33
801176-1	Uteluft och mark som värmekälla för värmepump i kv Bobinen Malmö. Utvärdering	Lars Jensen LTH	120
801181-4	Storskalig ytjordvärme, spetsvärmekällor och lågtemperatursystem vid Galgberget i Falun. Ekonomisk förstudie	Kjell Norbäck Falun	25
810001-8	Sol-jordvärmeanläggning System "Backlund" för bostadsområde i Sveg. Anläggningsrapport	Roland Zenkert Täby	56
810001-8	Sol-jordvärmeanläggning System "Backlund" för bostadsområde i Sveg. Utvärdering	Ingemar Holmlund Östersund	418

Bygghörskningsrådet

Bilaga 1 Sid 4 (4)

Projekt nr	Projekttitel	Projektledare	Belopp tkr
810003-9	Sol-jordvärmeanläggning system "Backlund" för bostadsområde i Sveg - lån	Göran Busk Sveg	320 (L)
810110-6	Utluft och mark som värme-källa för värmepump i kv Bobinen Malmö - lån	Gustaf Ekwall Malmö	387 (L)
810210-8	Ytjordvärme för skola och sporthall i Mantorp. Utvärdering	Roland Lindgren Mjölby	403
810673-9	Dimensionering av mark-kollektorer för ytjordvärme	K Gösta Eriksson CTH	280
810681-	Ytjordvärmesystem för flerfamiljshus med kall eller varm distribution. Förstudie	T Berntsson CTH	153
811381-3	Ytjord- och avloppsvärme för befintlig blockcentral till 168 lgh i kv Tuvan, Mora. Mät- utvärdering	U Ryman Mora	270
811630-0	Större ytjordvärmesystem för cykelfabrik i Vansbro. Mätning och utvärdering	Tomar Åbyhammar Stockholm	95
811692-7	Fältstudier av ytjordvärmeanläggningar för typgodkännande och dimensioneringsregler	D Ahlkrone Arvika	420

YTJORDVÄRMESYSTEM

- R 85:1977 Roger Lundén:
VÄRMEPUMP MED EFFEKTUTJÄMNINGSSYSTEM
En studie av ett system där värmepump kombineras med
värmeackumulering i jord
- R 94:1978 Nicke Blomquist & Lars Jacobson:
FÖRSTUDIER AV BYGGNADSUPPÄRMNING MED JORDVÄRMEPUMP
Förutsättningar i befintlig bebyggelse
- R 20:1979 Sixten Ankargren, Fredrik Norin & Holger Strååt:
YTJORDVÄRMEPUMP FÖR HASTENS FRITIDSOMRÅDE I VARBERG
Förstudie
- R 55:1979 Björn Modin:
FÖRSTUDIER AV BYGGNADSUPPÄRMNING MED JORDVÄRMEPUMP
Geologiska faktorer
- R 43:1980 Anders Nilson:
YTJORDVÄRMEPUMP FÖR SKOLA OCH SPORRHALL I MJÖLBY
Förstudie
- R 88:1980 Björn Modin & Peter Wilén:
BYGGNADSUPPÄRMNING MED JORDVÄRMEPUMP
Geologiska förutsättningar för värmelagring i lera
inom större tätorter i Mellansverige
- R 133:1980 Lennart Wetterstad:
LUFT- OCH MARKVÄRME TILL CENTRAL VÄRMEPUMPANLÄGGNING
Förstudie: kv. Bobinen i Malmö
- R 135:1980 Ola Gröndalen & Mats Renntun:
RESULTAT FRÅN PROV AV TVÅ YTJORDVÄRMEPUMPAR
- R 149:1980 Jordvärmegruppen vid CTH:
ANVÄNDNING AV MARK SOM VÄRMEKÄLLA FÖR VÄRMEPUMPAR I TÄRTORT
Översiktliga tekniska-ekonomiska bedömningar
- R 157:1980 Jan Edman:
ISBANA SOM VÄRMEKÄLLA FÖR VÄRMEPUMP
Förstudie i Hörby
- R 177:1980 Ingemar Holmlund, Gunnar Nilsson, Ivan Norström &
Carl-Johan Wangerud:
EXPERIMENTBYGGNADSPROJEKT "SYSTEM BACKLUND"
Förstudie
- R 45:1981 K Allan Andersson:
YTJORDVÄRME ELLER DIREKTELVÄRME?
Två års erfarenheter från ett småhusområde i Arvika
- R 71:1981 Gösta Eléhn:
SOLVÄRMEVÄXLARE OCH YTJORDVÄRME
Utvärdering av en installation för ett småhus i Östersund

- T 1:1981 Björn Svedinger (redaktör):
VÄRME I JORD, BERG OCH VATTEN
Utvinning och lagring
- T 23:1981 MILJÖKONSEKVENSER VID VÄRMEUTVINNING OCH VÄRMELAGRING
I MARK OCH VATTEN
Utredning av Statens naturvårdsverk på uppdrag av
Byggeforskningsrådet
- R 51:1982 Tryggve Troedsson m fl:
EKOLOGISKA EFFEKTER AV YTJORDVÄRMEUTTAG
-
- CTH/Jordvärme- Ingvar Rhen:
gruppen, HORISONTELLA JORDVÄRMESYSTEM ÖVER OCH UNDER GRUNDVATTENYTAN
Rapport nr 4 Geologiska förutsättningar i Orsa
-
- T 44:1982 Rolf Brink & Hasse Tullberg:
ATT UTVINNA OCH LAGRA VÄRME I MARK OCH VATTEN -
JURIDISKA ASPEKTER
Genomgång av nuvarande lagstiftning och planerade lagregler.
Försäkringsfrågor

Deltagarförteckning vid Ytjordvärme-seminariet på BFR, Stockholm, 1982-03-17.

Mats Andersson
BFR
S:t Göransgatan 66
112 30 STOCKHOLM

Thomas Berntsson
UNIFOS KEMI AB
Box 44
444 01 STENUNGSUND

Leif Bjurmal
MITCO AB
Box 37
427 00 BILLDAL

Johan Claesson
LTH, Matematisk Fysik
Box 725
220 17 LUND

Mats Fehrm
Statens Provningsanstalt
Box 857
501 15 BORÅS

Lars Holmqvist
BPA, Anläggningsavd
Box 314 00
400 32 GÖTEBORG

Ingemar Johansson
AB Thermia-Verken
Box 150
671 01 ARVIKA

Lars Lindblom
Bostadsstyrelsen
Box 7844
103 98 STOCKHOLM

Sven Knutsson
LuH
Avd för geoteknik
951 87 LULEÅ

Palne Mogensen
Palne Mogensen AB
Emblavägen 29
182 63 DJURSHOLM

Douglas Ahlkrona
AB Thermia-Verken
Box 150
671 01 ARVIKA

Thore Berntsson
CTH
Jordvärmegruppen
412 96 GÖTEBORG

Arne Boysen
Hidemark & Danielsson
Arkitektkontor AB
Järntorget 78
171 25 SOLNA

Wilhelm Dietrichson
SNV
Box 1302
171 25 SOLNA

Eric Granryd
AB Thermia-Verken
Box 150
671 01 ARVIKA

Per-Erik Jansson
Sveriges Lantbruksuniversitet
Systemekologi
750 07 UPPSALA

Ingvar Johansson
VIAK
Fack
162 10 VÄLLINGBY

Lennart Carlsson
K-Konsult
Box 8062
700 08 ÖREBRO

Björn Modin
VVS-konsult VIAK
Postgränd 2
831 30 ÖSTERSUND

Ingvar Rhen
CTH
Jordvärmegruppen
412 96 GÖTEBORG

BILAGA 3

Sid 2(2)

Bo Rudholm
Bengt Dahlgren AB
Box 141 18
400 20 GÖTEBORG

Ulla Save-Öfverholm
BFR
S:t Göransgatan 66
112 30 STOCKHOLM

Ulf Thunberg
Statens Planverk
Box 220 27
104 22 STOCKHOLM

BFR's Utvärderingsgrupp MARKVÄRME

Sten Bjurström
BeFo
Box 5501
114 85 STOCKHOLM

Per-Olov Karlsson
Vattenfall BVK
162 87 VÄLLINGBY

Carl-Olof Morfeldt
Hagconsult
Banérgatan 37
115 22 STOCKHOLM

Ulf Ryman
AB Orsa Companie
Box 100
794 00 ORSA

Jan Sundberg
CTH
Jordvärmegruppen
412 96 GÖTEBORG

Göran Yström
STU
Box 432 00
100 72 STOCKHOLM

Sven-Allan Eklund
Vattenfall EVS
162 87 VÄLLINGBY

Sven-Erik Lundin
BFR
S:t Göransgatan 66
112 30 STOCKHOLM

Björn Svedinger
VIAK
Fack
162 10 VÄLLINGBY

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811449-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Stiftelsen
Bergteknisk Forskning, BeFo, Stockholm.**

R37:1983

ISBN 91-540-3908-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700737

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 45 kr exkl moms