



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

R84:1987

**Nordiskt samarbete om  
värmelagring i gropmagasin**

**NBS-E seminarium, maj 1987 i Växjö**

**Sven-Erik Lundin  
Sven Widing**

K  
Jull

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	ser

**Byggeforskningsrådet**

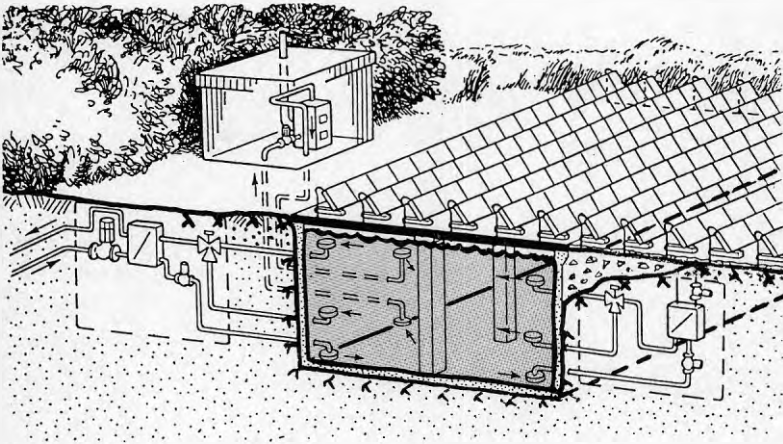
R84:1987

NORDISKT SAMARBETE OM VÄRMELAGRING  
I GROPMAGASIN

NBS-E seminarium maj 1987 i Växjö

Dokumentationen sammanställd och  
redigerad av

Sven-Erik Lundin  
Sven Widing



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870242-5  
från Statens råd för byggnadsforskning till Kjessler &  
Mannerstråle AB, Stockholm.

## REFERAT

Syftet med den nordiska forskardagen var att få en bred lägesrapport över utvecklingsläget med lagring av varmvatten i gropmagasin. Nyckel-frågor som lagrens användningsområden, tätningsmaterial, isolering, schaktstabilitet och kostnader belystes ingående. För solvärmens utnyttjande i medelstor skala (gruppcentraler) krävs dessa isolerade säsongsvärmelager. I konventionella system för värmeproduktion kan de som korttidslager utjämna effekt och energibehov.

Tekniken fungerar men byggande och material behöver utvecklas, liksom systemförenklingar. Kostnaderna är nu 400-800 kr/m<sup>3</sup>. För säsongslager behöver de halveras medan lönsamhet vid korttidslager kan erhållas för byggkostnaden 500-1500 kr/m<sup>3</sup>. Kostnadsreduktion bör främst kunna åstadkommas för tätning och isolering som utgör ca 50% av kostnaderna.

De lämpligaste tätskikten synes nu vara PEM och EPDM folier med hållfasthet i minst 25 år för värmebelastningen +80°C. Idéer med s k "metall-liner", separationsskikt och lera bör provas.

Schaktstabiliteten för djupa jordgroppsmagasin kan klaras med s k kalkpelare eller JET-skärmar/pelare av betong. Generellt ansågs fullskaleprojekt parallellt med materialforskning befrämja utvecklingen bäst.

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

R84:1987

ISBN 91-540-4784-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHALLSFÖRTECKNING

		Sida
1.	DELTAGARFÖRTECKNING	6
2.	VÄLKOMSTHÅLSNING OCH FÖRORD	Sven-Erik Lundin 9
3.	ÖPPNINGSANFÖRANDE	Sune Svantesson 11
4.	INLEDNING OCH BAKGRUND	Sven-Erik Lundin 14
5.	TEKNIKÖVERSIKT FÖR VÄRMELAGRING I VATTEN (PUL-gruppen)	Gunnar Gustafson 18
6.	SYSTEMASPEKTER, TILLÄMPNINGAR AV VATTENLAGER	ordf. Gunnar Gustafson
6.1	Varmtvandslagring i Kraft- varmesystemer	Björn Qvale 24
6.2	Värmelagers roll i energi- försörjningen för Stockholm	Hans Hydén 29
6.3	Ett stålbehållarvärmelagers provbyggnadsprojekt i Lahtis	Kari Sipilä /Juoko Ritola 33
6.4	Referat av kommentarer och diskussion	41
7.	BYGGDA PROJEKT	ordf. Gunnar Gustafson
7.1	Solvärmecentralen i Studsvik	Bengt Perers, Leif Eriksson 44
7.2	Lambohov solvärmecentral	Jan-Olof Dalenbäck 45
7.3	Lyngby "Seasonal storage test pit ..."	K.K Hansen, P.N.Hansen Vagn Ussing, 50
7.4	Kervo "Erfarenheter med ett hybridvärmelager.."	Peter Lund /Jouko Ritola, 54
7.5	Referat av kommentarer och diskussion	59

8.	KOSTNADER	ordf. Fritjof Salvesen	
8.1	Vad får groplager kosta	Peter Margen	62
8.2	Solvärme med säsongslager	Jan-Olof Dalenbäck	70
8.3	Kalkylfaktorer inför en byggnadsentreprenad	Börje Gustavsson	73
8.4	Referat av kommentarer och diskussion		74
9.	STUDIEBESÖK VID ANLÄGGNINGSSARBETENA FÖR KRONHJORTEN-MAGASINET	Claes Petterson Göran Hultmark	
9.1	Utdrag ur: Smålandsposten 1987.05.13		76
9.2	Utdrag ur: Byggindustrin 19.87		77
10.	MATERIAL OCH ARBETSUTFÖRANEN	ordf. Preben N Hansen	
10.1	Långtidstest av tätskikt	Mats Ifvarsson, /Sven-Erik Lundin	80
10.2	Separationsskikt i gropar	Vagn Ussing	82
10.3	Tätskikt av polyetylen	Arne Rebo	86
10.4	Tätskikt av butyl	Lennart Mellén	90
10.5	Högtemperaturgropmagasin med metallisk liner	Leif Eriksson	95
10.6	Anläggningsteknik för gropvärmelager i jord - teknisk och ekonomisk studie	Caroline Magnusson	98
10.7	Referat av kommentarer och diskussion		102

11.	PLANERADE GROPMAGASIN	ordf. Björn Qvale	
11.1	Växjö - Kronhjorten	Jonas Gräslund	104
11.2	Esbjerg - Seasonal heat storage in underground warm water pit	K.K. Hansen, P.N. Hansen, V. Ussing,	109
11.3	Solvärmelagring i gropmagasin för bostadsområde i Malung	Leif Eriksson	115
11.4	Hjortekaer - a central solar heating plant with seasonal storage	M. Dytczak, K. K. Hansen, P. N. Hansen, V. Ussing	120
11.5	Herlev -Tobberupvaenge - a total energy project with 1000 m2 of solar collector and a 3000 m3 seasonal storage	Peder V. Pedersen	124
11.6	Växjö - Ingelstad II	Göran Hultmark	126
11.7	Referat av kommentarer och diskussion		128
12.	NYA KONCEPT	ordf. Sven-Erik Lundin	
12.1	Värmelagring i blockfyllda gropar	Ingvar Bogdanoff	130
12.2	IEA Solvärmecentraler	Arne Boysen	137
12.3	Hålrumsmagasin	Anders Eriksson	141
12.4	Jordstabilisering och tätning med JET-metoden	Jan-Olof Eriksson	144
13.	NORDISKE BYGGFORSKNINGSORGANERS SAMARBEDSGRUPPE	Fritiof Salvesen	150
14.	SLUTSATSER	Sven-Erik Lundin	154

NORDISKT SEMINARIUM OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
VÄXJÖ 1987.05.12.

1. DELTAGARFÖRTECKNING

Andersson, Hans	BFR S:t Göransgatan 66 112 33 STOCKHOLM	46-08-54 06 40
Andren, Hans	Teknoterm Munkatorp 360 40 ROTTNE	46-0470-30 910
Bogdanoff, Ingvar	Jacobson & Widmark Box 382 401 26 GÖTEBORG	46-031-80 40 40
Boysen, Arne	Hidemark & Danielsson Järntorget 78 111 29 STOCKHOLM	46-08-23 00 70
Dalenbäck, Jan-Olof	CTH Installationsteknik 412 96 GÖTEBORG	46-031-81 01 00
Eriksson, Anders	AIB Box 1315 171 25 SOLNA	46-08-734 55 00
Eriksson, Jan-Olof	TGB Box 101 440 06 GRÅBO	46-0302-41 000
Eriksson, Leif	Studsvik Energiteknik AB 611 82 NYKÖPING	46-0155-21 000
Gräslund, Jonas	Andersson & Hultmark Box 24135 400 22 GÖTEBORG	46-031-81 53 90
Gustavsson, Börje	ABV Box 254 351 05 VÄXJÖ	46-0470-470 10
Gustafson, Gunnar	VIAK AB Mölnadalsvägen 85 412 85 GÖTEBORG	46-031-83 31 20



Hansen, Preben N	DTH Lab för värmeisolering Bygning 118 DK-2800 LYNGBY Danmark	45-2-88 35 11
Hultmark, Göran	Andersson & Hultmark AB Box 24135 400 22 GÖTEBORG	46-031-81 53 90
Hyden, Hans	STOSEB Tulegatan 13 113 91 STOCKHOLM	46-08-736 70 00
Jilar, Torbjörn	CTH Installationsteknik 412 96 GÖTEBORG	46-031-81 01 00
Lundin, Sven-Erik	Kjessler & Mannerstråle AB Box 5107 102 43 STOCKHOLM	46-08- 22 42 00
Magnusson, Björn	Kjessler & Mannerstråle AB Box 406 351 06 VÄXJÖ	46-0470-145 60
Magnusson, Caroline	SIG 581 01 LINKÖPING	46-013-11 51 00
Margen, Peter	Margenkonsult Allhelgonavägen 21 611 35 NYKÖPING	46-0155-858 46
Mellen, Lennart	Metab Box 24144 400 22 GÖTEBORG	46-031-18 30 00
Olsson, Stefan	FLK Box 113 351 04 VÄXJÖ	46-0470-103 45
Pedersen, Peder Vejsig	DTH Lab för värmeisolering Bygning 118 2800 LYNGBY Danmark	45-2-88 35 11
Pettersson, Claes	ABV Box 254 351 05 VÄXJÖ	46-0470-470 10

Qvale, Björn	DTH Lab för Energiteknik Bygning 403 DK-2800 LYNGBY Danmark	45-2-88 46 22
Rebo, Arne	Protan A/S Plastdiv Box 420 N-3001 DRAMMEN Norge	47-3-83 76 60
Rehn, Ingvar	VIAK AB Mölnadalsvägen 85 412 85 GÖTEBORG	46-031-83 31 20
Ritola, Jouko	Technical Research Center of Finland Geotechnical Laboratory Betoniemiehenkuja 1 SF-02150 ESBO 15 Finland	358-0-456 61 77
Salvesen, Fritjof	A/S Miløplan Kjørbov 23 N-1300 SANDVIKA Norge	47-2-54 71 70
Steen, Bengt	BFR S:t Göransgatan 66 112 33 STOCKHOLM	46-08-54 06 40
Svantesson, Sune	Växjö kommun Box 1222 351 12 VÄXJÖ	46-0470-410 00
Ussing, Vagn	DTH Lab för värmeisolering Bygning 118 DK-2800 LYNGBY Danmark	45-2-88 35 11
Widing, Sven	Kjessler & Mannerståle AB Box 52 391 20 KALMAR	46-0480-284 46

## NORDISKT SEMINARIUM OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN

1987-05-12

## 2. VÄLKOMSTHÅLSNING OCH FÖRORD

Sven-Erik Lundin, Kjessler & Mannerstråle AB, Stockholm

Jag vill starta den här Nordiska konferensen om "Värmelagring i gropmagasin" med att säga ett varmt välkomna till seminariet. Ni är alla speciellt inbjudna och er intresserade medverkan är en förutsättning för genomförandet av mötet.

Mitt namn är Sven-Erik Lundin och jag arbetar på Kjessler & Mannerstråle AB i Stockholm, som tillsammans med KMs Växjö-kontor arrangerar den här dagen på uppdrag av Statens Råd för Byggnadsforskning.

Bakom konferensen står också NBS-Energi (ett nordiskt samarbetsorgan på Bygg-Energisidan) och dess expertgrupp för Säsongsvärmelager. Gruppen bytte just i går kväll namn till Nordiska värmelagringsgruppen och jag vill redan nu tacka dess medlemmar som bistått vid planeringen av seminariet.

Med den flaggprydda inramningen från Danmark, Finland och Norge vill vi från Sverige särskilt hälsa våra nordiska kollegor mycket välkomna till Sverige, till Växjö och till en som vi hoppas givande forskardag kring temat värmelagring i gropmagasin.

Beträffande mötesordningen och tider vill jag anföra följande:

- Teknikområdet visade sig ha så många aspekter och frågeställningar att programmet har blivit mycket omfattande. 12 föredrag före lunch och 16 st efter bör därför ha en karaktär av inledning till diskussioner över respektive tema.
- Ordförandena får en svår uppgift med att begränsa föredragen till 10-12 min. Enstaka frågor under eller efter varje föredrag, men diskussion efter ämnesblocket.
- Seminariet dokumenteras med "Abstract" och direkta kopior av OH-bilder. Underlagen lämnas senast vid seminariets avslutning.
- Diskussionerna noteras kortfattat och ett försök till sammanfattning görs som avslutning på seminariet.

- En enkel seminarierapport sammanställs och ges ut som NBS-skrift från Byggeforskningsrådet.
- Ett välbehövligt avbrott och tidsmodulering sker genom lunch och studiebesök under ca 2 tim. Transporter sker med buss.
- Parallellt med studiebesöket vid värmelagret i Kv Kronhjorten sker en presskonferens.
- Seminariet avslutas kl 17.40, varefter flygbussen omedelbart avgår utanför konferenslokalen. (flyg till Stockholm kl 18.20.)

Det är sedan en glädje för mig att få överlämna ordet och invigningen till en av solenergens och värmelagringens pionjärer i Sverige, kommunalrådet Sune Svantesson. Han har som huvudman och ägare varit med att initiera dessa nya energitekniker och detta just här i Växjö. I öppningsanförandet kommer vi säkert att få höra om bakgrund, nuläge och framtid för energifrågorna från en kommunal horisont.

- - - - -

Projektledare för seminariet har varit

Sven-Erik Lundin                      KM      Stockholm

I planeringen har deltagit NBS-E expertgrupp för säsongsvärmelager

Gunnar Gustafson	VIAK Göteborg
Ingvar Rhen	CTH Göteborg
Fritjof Salvesen	Norge
Björn Qvale	Danmark
Jouko Ritola	Finland

För de lokala arrangemangen i Växjö har svarat

Björn Magnusson (genomförande)	KM-Båth	Växjö
Neil Bruch (konferenssekr)	KM-Båth	Växjö
Sven Widing (tekn. sekr)	KM	Kalmar

Värd för studiebesöket har varit ABV Växjö

NORDISKT SAMARBETE OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
NBS-E SEMINARIUM, MAJ 1987 I VÄXJÖ

3. ÖPPNINGSANFÖRANDE

Sune Svantesson, kommunalråd i Växjö

Välkomna till Växjö !

Det glädjer mig, att detta värdefulla seminarium har lokaliserats till Växjö.

Miljöfrågorna kommer för varje dag att få större betydelse och därmed frågorna om energi samt förnyelse av energi. Forskning har alltid varit en viktig del av energipolitiken. Det statliga forskningsprogrammet upprättades år 1975 främst som komplement till den forskning och utveckling, som energiföretagen svarade för. Inledningsvis var verksamheten inte inriktad på forskning i första hand utan mer på de senare leden i utvecklingskedjan - målet var att på kort tid åstadkomma oljeersättning.

Förutsättningarna för att i någon större omfattning använda solenergi och spillvärme till att värma byggnader på nordliga breddgrader är i praktiken helt beroende av möjligheten för att lagra värmen till vinterns behov.

I början av 1970-talet började man i Sverige att i fjärrvärmenäten utnyttja vattentankar ovan jord för utjämning av värmeförseln. För storskalig säsongslagring av solvärme är det dock nödvändigt att tillämpa andra slags lagringsteknik och en annan skala för volymen.

Eftersom jord och berg har relativt låg värmeledningsförmåga, är det möjligt att lagra värme i begränsad vattenvolym under markytan. Lagrets storlek är emellertid av avgörande betydelse för dess relativa värmeförluster. Stora marklager, 50 à 100 000 m<sup>3</sup>, behåller ungefär 90 % av inlagrad värme till vintern utan att vara isolerade. Sådana lager är i första hand lämpade för större uppvärmningssystem, såsom fjärrvärme. Vid mindre system, som används för gruppcentraler och för hus i smågrupper, behövs säsongslager med mindre volym, men dessa måste vara isolerade för att hålla kvar lika stor andel av inlagrad värme.

I Ingelstad byggdes vid slutet av 1970-talet ett solvärmeverk med en 5000 m<sup>3</sup> betongtank ovan jord. För att förbättra lagringstekniken har nu utveckling av groplager, s.k. dikesmagasin, påbörjats här i Växjö.

Forskning, utredning och experimentbyggande vad beträffar isolerade groplager har bedrivits främst i samband med säsongslagring av solvärme i följande projekt/studier under de gångna åren:

- Studsviks solvärmecentral (Studsvik)
- Lambohovs solvärmecentral (ÖB, Studsvik)
- i Danmark vid testlager (DTH) samt i diverse utredningar för fjärrvärme
- utveckling av solvärmecentraler - rapport Studsvik
- flera mindre utredningar.

Utveckling av isolerade värmelager har på senare år väckt förnyat intresse inom just solvärmeområdet, där den positiva utvecklingen speciellt avseende solfångare har haft stor betydelse. Som resultat har man nu väsentligt förbättrade möjligheter att på sikt kunna bygga mindre solvärmecentraler med isolerade lager till förhållandevis låga kostnader.

För att anläggningskostnaden skall bli konkurrenskraftig krävs dock, att lagret ej kostar mer än cirka 300 kr/m<sup>3</sup>. Detta villkor, förenat med anläggningskostnader för solfångarfält av storleksordningen 1000 kr/m<sup>2</sup> - som man anser bli rimliga inom de närmaste åren - innebär att solvärmekostnaden kommer att bli omkring 45 öre/kWh. Efter en sådan utveckling kan konkurrensen bli intressant mellan den miljövänliga solvärmens och andra slags värme.

Det finns idag en etablerad lagerteknik, som baseras på stältankar och betongtankar ovan mark. Kostnaderna för en isolerad stältank är av storleksordningen 500 à 1000 kr/m<sup>3</sup>.

I tillämpningar där värmeinnehållet omsätts ofta, exempelvis vid effektutjämnning i fjärrvärmenät, blir ekonomin tillfredsställande med en stältank. För att en stältank skall komma i fråga som säsongslager i en solvärmearläggning, krävs emellertid att kostnaden per m<sup>3</sup> kan halveras. Detsamma gäller i princip, då betongtankar används som vattencisterner.

Groplager är en konstruktion, som förväntas att i ett färdigutvecklat skede kunna utföras för halva kostnaden (eller lägre) jämfört med en stältank av motsvarande storlek.

Den lägre förväntade kostnaden förklaras framför allt av att marken används som en stödjande del av konstruktionen och att billigare byggnadsmaterial än stål då kan användas.

Dessutom är ett groplager inte så skrymmande och smälter bättre in i omgivningen - framför allt i ett bostadsområde - än en stältank, normalt placerad ovan jord.

De projekt, som har genomförts och som nu genomförs, är följande:

- Förstudie för Ingelstad II inom IEA II (A&H)
- Testlager i Ingelstad för Ingelstad II (A&H, VIAK)
- Lagerkonstruktionsstudie för Ingelstad II (A&H, VIAK)
- Pilotstudie för Malung (Studsvik)
- Pilotanläggning för Ingelstad II, Kronhjorten i Växjö (A&H, VIAK, ABV)
- Projektering av pilotanläggning för Malung (Studsvik)
- Förstudie för Särö (A&H)
- Solvärmecentral i Danmark (EG-projekt inom IEA II)
- Solvärmecentral i Danmark (NBS-projekt).

Resultaten från dels lagerkonstruktionsstudien för Ingelstad II och dels testlagret (27 m<sup>3</sup>) har lett till att en mindre pilotanläggning, Kronhjorten (ca 1000 m<sup>3</sup>), byggs i Växjö. Som ett led i fortsatt utveckling planeras, att testlagret i Ingelstad skall byggas om så att ett nytt tätskiktmaterial kan provas.

Ett gropmagasin kan byggas antingen i berg eller i jord, antingen ovan grundvattenytan eller med en del därunder. Detta för med sig något olika konstruktionslösningar, men det krävs i alla lösningar ett invändigt tätskikt som är mycket tåligt mot det värmda vattnet. Av allt att döma är tätskiktmaterial av det slag, som man avser prova i testlagret, en av de möjliga lösningarna. Det gäller en polymerfolie av typ teflon, som skarvas med hög kvalitet på byggnadsplatsen. Ansträngningarna för att få fram lämpliga material bör nu intensifieras, eftersom en brist i detta kan bli starkt begränsande för den tekniska utvecklingen. Mångfalden är oerhört stor på materialsidan, varför det främst gäller att hitta produkter som redan säljs till rimliga priser och prova dessa i nya tillämpningar, såsom fallet blir i Ingelstad.

Då forskningsmedlen är begränsade, bör utredning, forskning och byggnad av tänkbara experimentanläggningar samordnas och organiseras - eventuellt med BFR:s medverkan. Man kan då koncentrera samordningen framför allt inom två områden - dels konstruktion av groplager och dels material i groplagens tillämpning. Internationella utblickar är givetvis också nödvändiga, så att arbete inte onödigtvis läggs på områden som redan studeras eller tidigare har studerats.

Inom exempelvis IEA pågår internationellt samarbete på solvärmeområdet i flera arbetsgrupper, varav vissa är inriktade på materialområdet och vissa på systemområdet. Lämpliga tillfällen för översikt och meningsutbyte är seminarier av förestående slag, vilka anordnas av samsamarbetsorgan som NBS m.fl.

Med dessa ord hälsar jag välkommen till seminariet här i Växjö.

Till Växjö och Ingelstad, där det har utförts pionjärarbete med det första solvärmeverket och den första anläggningen för flerfamiljshus m.fl solanläggningar är ni alltid välkomna för att se våra anläggningar. Kommunen, företagen och Chalmers Tekniska Högskola ställer alltid upp för att visa och informera.

## NORDISKT SEMINARIUM OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN

Sven-Erik Lundin, Kjessler & Mannerstråle AB, Stockholm

## 4. INLEDNING OCH BAKGRUND

NBS expertgrupp

Sedan 1982 har inom NBS-E en nordisk expertgrupp med deltagare från Danmark, Finland, Norge och Sverige arbetat med frågor kring säsongsvärmelagring. De svenska insatserna har koordinerats av BFR, som också finansierat ett nationellt team för arbetet över CTH och VIAK Göteborg. Arbetet har under åren 1982-86 koncentrerats på informations- och forskarutbyte där fungerande och täta kontakter nu förekommer mellan länderna. I oktober 1983 hölls en nordisk konferens över ämnesområdet i Göteborg, rapporterad i BFR R21:1984.

Vid NBS-E expertgruppens möte hösten 1986 i Stockholm, diskuterades nya former för samarbetet. Man enades då om att försöka bli ännu mer konkret och anordna seminarier/workshops inom teknik/problemområden för lagringsteknikerna. Målsättningen var att genomföra 2-4 möten under en 2-årsperiod med olika länder som ansvariga. Aktuella ämnesområden är akvifärvärmelager (Danmark), markvärmelager (Sverige) och korttidslagring (Finland).

Sverige åtog sig genom BFR att arrangera det första seminariet våren 1987 på temat "Värmelagring i gropmagasin". Detta är ett område som har ett stort och generellt nordiskt intresse, eftersom lagertypen kan användas för både korttids- och säsongslagring i värmeproduktionen samt för spillvärme och solvärme. Växjö ansågs vara en lämplig plats för mötet, för att det då kunde kombineras med studiebesök vid den isolerade berggrop som byggs där under våren 1987 för en solvärmearläggning.

Teknikläge och syfte med seminariet

Värmelagring i vatten är en teknik som använts länge för att utjämna effektbehov och värmeförbrukning under korta perioder. Lagren byggs vanligen som mindre ståltankar och nyttjas för tim- och dygnsreglering. På 1980-talet har också teknik för storskalig säsongslagring i vatten tagits fram med berg-rumslagring för volymer över 100 000 m<sup>3</sup>. De gropmagasin i mark som byggts på senare år har varit avsedda som både kort- och långtidslager och där det intressanta storleksområdet synes ligga mellan 10 000 och 50 000 m<sup>3</sup>.

Lagertemperaturerna i systemen för konventionell värmeproduktion, spillvärme och solvärme uppgår till 80-90°C och ställer därmed stora krav på isolering och tätning av gropmagasinen. Dessa problem jämte de höga byggkostnaderna har gjort att endast några fullskaleprojekt är utförda i världen och goda tekniska och ekonomiska lösningar saknas ännu. Det



har dock ansetts angeläget att ta fram undermarksbaserade metoder för varmvattenlagring som alternativ till ovanjords-tankar.

Frageställningarna är tidigt belysta i en BFR-rapport G36:1980 "Tätning och isolering av behållare för säsongslagring av solvärme i vatten".

Målsättningen med dagens föredrag och konferens är att

- Belysa nyckelfrågor och nuläge
- Diskutera lagertypens roll, nytta
- Ange framtida möjligheter och behov
- Identifiera nya FoU-områden

Det nordiska projektläget för gropmagasin är nu sådant att det finns tre byggda i Sverige, ett i vardera Danmark och Finland. Minst lika många är under förstudier och planering. I Europa finns det fem mindre prototyper byggda (ca 200 m<sup>3</sup>) men ännu ingen ekonomisk småskalig lagring av ex solvärme för småhus.

#### Nya nyckelfrågor

Eftersom de aktuella värmekällorna arbetar med temperaturer upp till +90°C blir de största problemen koncentrerade kring att täta och isolera för det varma vattnet. Utveckling behövs på alla nedanstående områden.

- Tätningsmaterialens beständighet (temperatur/åldring)
- Fukt- och tryckbelastning på värmeisoleringen
- Arbetsteknik med tätningsmembran (ex Butylgummiduk)
- Jordteknisk stabilitet (lera) och grundvattensänkningar
- Isoleringskonstruktioner för överytan (flytande lock, fribärande konstruktioner)
- Groparna blir ytkrävande/hindrande
- Oisolerade blockfyllda berggropar är ännu ej prövade
- Byggnadskostnaderna är cirka 400,- kr/m<sup>3</sup> och bör sänkas med 50%
- Nya koncept och idéer saknas (även internationellt)
- Systemtillämpningar och kombinerade korttids/säsongsvärmelager bör klarläggas bättre

Listan på teknikläge och frågor kan säkert göras längre men genom de olika föredragen och diskussionerna i dag kommer säkert tekniken att ta flera steg framåt och lösa några av problemen med värmelagring i gropmagasin.



5.       TEKNIKÖVERSIKT FÖR VÄRMELAGRING  
I VATTEN

ORDF. GUNNAR GUSTAFSON

## 5. TEKNIKÖVERSIKT FÖR VÄRMELAGRING I VATTEN

Gunnar Gustafson VIAK AB Göteborg

(Text ur rapport 850515-4 från BFR:s referensgrupp för värmelagring i vatten)

### 1 INLEDNING

Värmelagring i vatten i tankar, gropar, gruvor eller berggrum är en teknik som idag tillämpas i flera pilot- och demonstrationsprojekt i Sverige. Metoden är i sig själv enkel och rättfram, värme lagras i vatten i en tillräckligt stor volym, och återförs vid behov. Den kan användas för korttids- och långtidslagring och erhållen värme står i direkt proportion till temperatur och pumpkapacitet, vilken gör systemet flexibelt gentemot effektbehovet. Dess nackdel är närmast de höga investeringskostnaderna, särskilt när det används för säsongvärmelagring. En betydelsefull faktor för lagerfunktionen är också värmeförlusterna, vilka beror av lagerstorlek, isolering av lagret och lagringstid.

### 2 ERFARENHETER

De först konstruerade anläggningarna byggdes som isolerade ståltankar, yttankar av betong eller som det lilla isolerade groplagret i Studsvik,

Fram till februari 1986 har mer än 11 pilot- och fullskalesäsongslager byggts i Sverige, genom användning av tankar, gruvor, berggrum eller markgropar som lagringsbehållare, se tabell 2.1 samt några lagringstankar vid kraftvärmeanläggningar.

Erfarenheterna från tankarna i fjärrvärmesystem är goda. Driftsäkerheten är bra. Driftsäkerheten ökar då tanken kan vara buffert vid stora läckage. Dessa tankar är korttidslager med flera lageromsättningar, vilket medfört en god lönsamhet. Många tankar som är installerade har haft pay-off tider på 3-5 år. Tekniken med ståltankar är idag känd och komersiell.

### Gropvärmelager

Gropvärmelager kan byggas i såväl berg som jord. För närvarande är två groplager byggda i Sverige.

I Studsvik omges lagret av jord och i Lambohov av berg. Denna typ av lager kan variera mycket i storlek och form. De byggda lagren är cirkulära medan en typ som för närvarande studeras har formen av långa diken. Lagren kräver vanligen isolering av överytan. Denna isolering kan göras som ett flytande eller fast tak på gropen. Gropens sidor och botten isoleras också om inte gropen är mycket stor. Ett tätskikt måste i allmänhet finnas i gropen för att förhindra vattenläckage till mark och isolering.

För gropvärmelager i berg studeras för närvarande en isolering som skall appliceras direkt mot berg och som skall ha ett tätskikt som en del av isoleringen. Tekniken är oprövad och problem kan uppstå med isoleringens infästning mot berg, vattendiffusion genom tätskikt och nedbrytning av tätskikt på grund av höga temperaturer.

Är vattnet i ett groplager i direkt kontakt med berget behövs sannolikt alltid en värmeväxlare mellan värmelagret och övriga systemet p g a risk för kemiska utfällningar.

Ett gropvärmelager i jord byggs med rasvinkel på sidorna. Jordgrop bör vidare inte göras djupare än 10-12 m då schaktkostnaderna ökar med ett större grävdjup. Isoleringen läggs direkt mot mark, eventuellt med någon infästning mot jord. Ovanpå isoleringen läggs ett tätskikt av någon polymer eller stål. Det är viktigt att marken utanför gropen är dränerad för att hålla isoleringen torr. Ett tätskikt av stål kan medföra korrosionsproblem. Det bör emellertid kunna lösas med ett katodiskt skydd på plåten. Enligt uppgift från Studsvik är det möjligt att bygga ett gropvärmelager i jord till en lägre kostnad än en tank om volymen är större än 2 000 m<sup>3</sup>.

Stora gropvärmelager kräver stor tillgänglig markyta, vilket kan vara ett hinder för att kunna bygga lagertypen. Speciellt gropvärmelager i jord kan få en stor utsträckning. Ett stort groplager i jord på 40 000 m<sup>3</sup> kräver ca 70x70 m<sup>2</sup>.

De flesta gropvärmelager kräver isolering och tätskikt. Infästning av isolering direkt mot bergyta, vattendiffusion genom vissa typer av tätskikt samt tätskiktens temperaturbeständighet är ofullständigt kända. Skall isoleringsförmågan kunna bibehållas får vatten inte ansamlas i isoleringen och god isoleringsförmåga krävs om lagren skall kunna byggas små.

Det finns behov av ett effektivt värmeisolerat lager för gruppcentraler (500 lgh) som kan anslutas till högtemperatur solfångare. Lagret skall tåla +100° C och bör inte kosta mer än 300 kr/m<sup>3</sup>. (Solfångarkostnaderna bör dessutom inte överskrida 1 000-1 200 kr/m<sup>2</sup>).

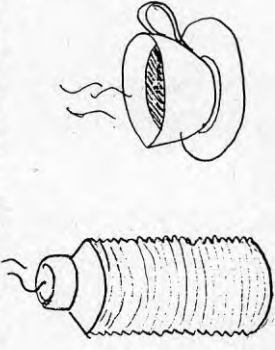
Tabell 3.1 Investeringskostnad för byggda lager, inkl värmeväxlare, rör, pumpar etc i anslutning till lagret.

Anläggning	typ	Volym (m <sup>3</sup> )	Kostn lager (lkr)	Byggår	Kostn lager 1986 (Mkr)	Spec-kostn. 1986 (Kr/m <sup>3</sup> )(Kr °C/kWh)	
Nykvarn	tank	1500	1,3	1985	1,4	1540	1330
Ingelstad	"	5000	2,88	1979	4,7	790	680
Uppsala	"	30000	10	1978	18,4	615	530
Stockholm	"	45700	30	1981	45,3	990	850
Studsvik	grop	640	0,6	1979	0,9	1440	1240
Lambohov	"	10000	4,9	1980	7,6	760	660
Avesta	bergrum	15000	16	1982	22,8	1520	1310
Lyckebo	"	105000	15	1983	19,5	186	160

# HEAT STORAGE IN CAVERNS, TANKS AND PITS A SWEDISH OVERVIEW

## THE STORAGE PRINCIPLE

"THE THERMOS FLASK"  
 TO SAVE HOT WATER  
 UNTIL IT IS NEEDED



### HEAT LOSSES

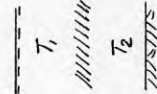
$$HL = \frac{\lambda}{\rho c} \cdot \frac{\bar{T} - T_0}{\Delta T} \cdot f(t, G) \cdot \frac{t}{V^{2/3}}$$



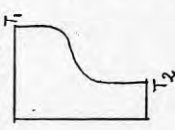
MATERIAL  
 PARAMETERS

TEMP GEOMETRY  
 TIME CYCLE

### BOUYANCY



TEMPERATURE

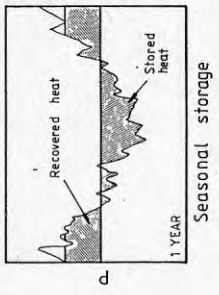


$$T_1 > T_2 \Rightarrow \rho_1 < \rho_2$$

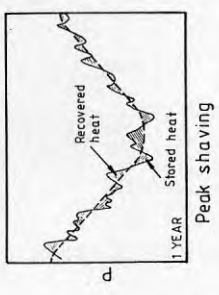
$$T_1 > 4^\circ C$$

# HEAT STORAGE IN THE ENERGY SYSTEM QUALITY CONSERVATION - HIGH OUTPUT

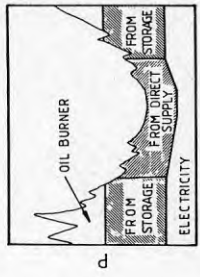
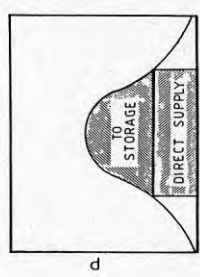
WASTE HEAT  
 SOLAR HEAT  
 HIGH TEMPERATURE



CO GENERATION  
 INCINERATION PLANTS



## HEAT SOURCE FOR HEAT PUMPS



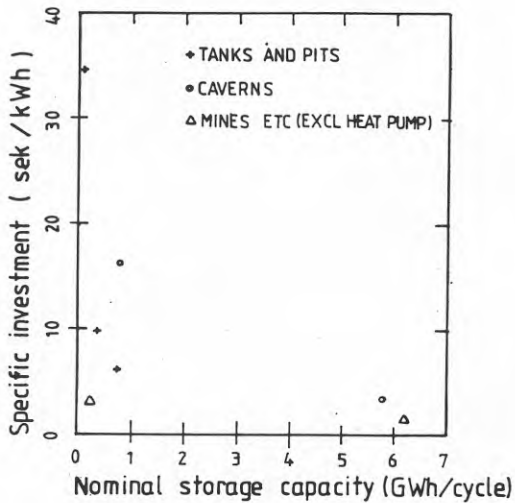
# ECONOMY

HEAT COST = COST FOR INPUT HEAT + STORAGE COSTS

STORAGE COST = CAPITAL COSTS + O&M

TARGET FIGURE 1 SEK/kWh·cycle INVESTMENT

DATA FROM PILOT PROJECTS



STORAGE COSTS : LARGE ROCK CAVERNS 0.35 SEK/kWh  
(TARGET FIGURE 0.12 SEK/kWh)

IN THE FUTURE: HYBRIDE SYSTEMS WITH BOREHOLES  
INSULATED PITS  
OLD OIL CAVERNS  
OLD MINES



6. SYSTEMASPEKTER OCH TILLÄMPNINGAR  
AV VATTENLAGER

ORDF. GUNNAR GUSTAFSON

6.1 "Varmtvandslagring i Kraft-varmesystemer"

af Bjørn Qvale

Laboratoriet for Energiteknik, Bygning 403, DTH,  
2800 Lyngby, Danmark.

ABSTRACT

To undersøgelser præsenteres:

Den ene er en bred undersøgelse af tekniske og økonomiske aspekter vedrørende indpasning af varmelagre i fjernvarmesystemer, der hovedsageligt forsynes fra kraft varmekværker eller industrielle spildevarmekilder.

Den anden er en udredning af de tekniske og økonomiske aspekter ved indpasning af et specifikt varmtvandslager på 4 millioner m<sup>3</sup> i varmesystemet i Aalborg.

Hovedresultaterne fra de to undersøgelser fremlægges sammen med konklusioner og generaliseringer.

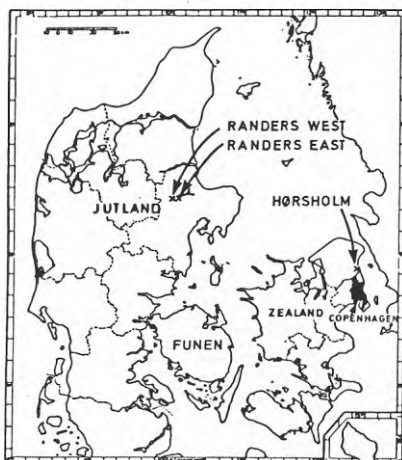


FIG. 11. Investigated sites for establishment of a pilot plant for heat storage in aquifers in DENMARK

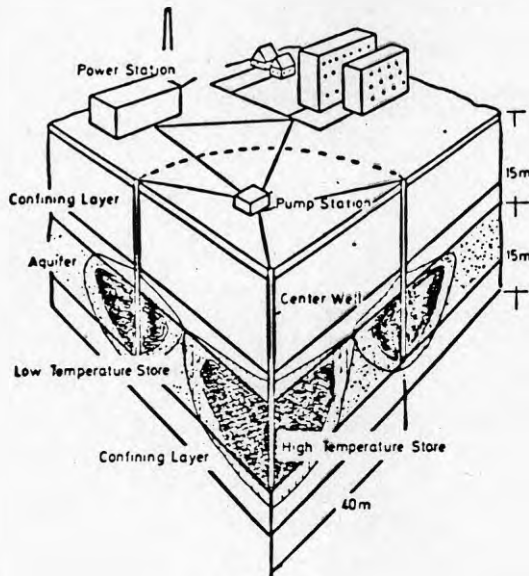
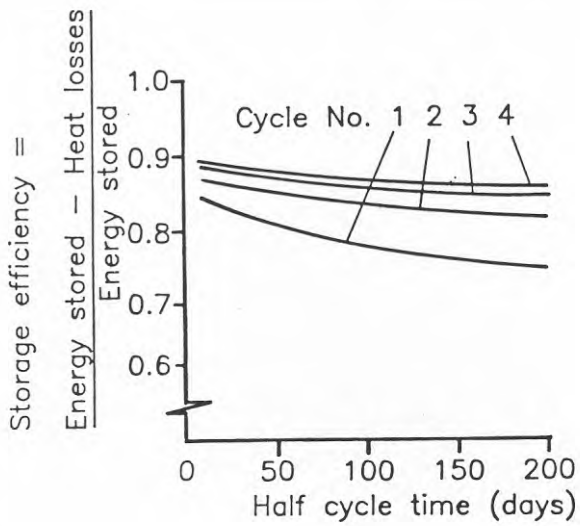
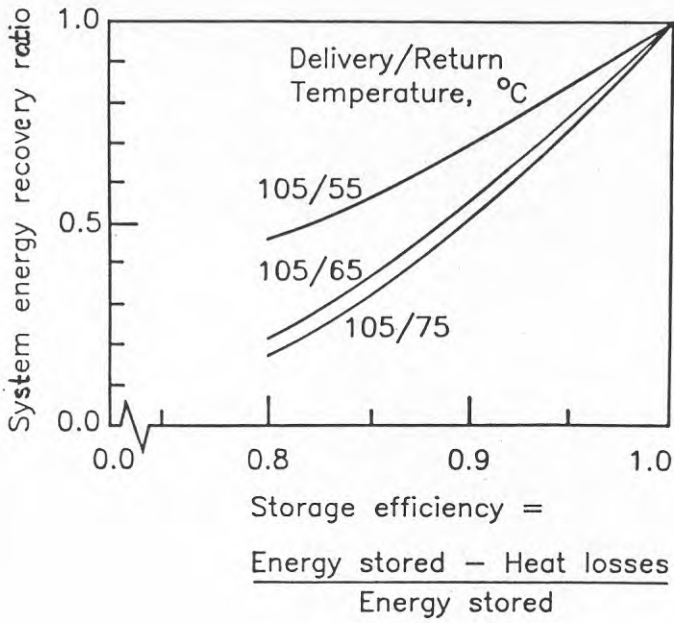


Figure 3. Configuration of the Danish Aquifer Store.

### INDUSTRIAL SURPLUS HEAT

#### STORAGE

LOW SUPPLY	>	HIGH DEMAND	NO
HIGH SUPPLY	<	LOW DEMAND	NO



DISTRICT HEATING BASED ON COGENERATION AND  
INDUSTRIAL SURPLUS HEAT.

RESULTS

1. ECONOMIC ADVANTAGES NOT GENERAL.
2. NEW SYSTEMS BETTER THAN OLD.
3. SAVE INVESTMENT IN EXTRACTION POWER PLANTS.
4. OIL FIRED PEAK LOAD, GOOD
5. BACK UP FOR EXTRACTION TURBINE FAILURE.  
UNINTERESTING.
6. BACK UP FOR BACK PRESSURE TURBINE FAILURE.  
INTERESTING.
7. BACK-PRESSURE HEAT IS BETTER THAN SEASONAL  
HEAT STORAGE.
8. EXPANDING COGENERATION SYSTEM. INTERESTING.
9. SMALL WINDOW WHERE SYSTEMS BASED ON INDUSTRIAL  
HEAT CAN BENEFIT FROM STORAGE.

LIMESTONE QUARRY (4 MILL. M<sup>3</sup>) ÅLBORG 1979.

SAVINGS OVER 20 YEARS  
MILL D.KR.

FUEL	50
OPERATION (ALTERNATIVE OF HEATING CENTRALS)	30
INSTALLED ELECTRIC POWER GENERATING CAPACITY	130
DELAY OF INVESTMENT IN POWER STATIONS	100
DOUBLE-LANDING CHARGE	20
ALTERNATIVE COGENERATION	410

LARGEST EXPENSES	MILL. D.KR.
COST OF LAND	≈ 100
EXCAVATION	≈ 100
CONNECTION TO THE DISTRICT HEATING SYSTEM	≈ 100
INSULATION AND SEALING	≈ 100

1987-05-04

7604

Ext info

## 6.2 VÄRMELAGERS ROLL I ENERGIFÖRSÖRJNINGEN FÖR STOCKHOLMS LÄN

av Hans Hydén, Stor-Stockholms Energi AB, STOSEB

STOSEB har under det senaste året arbetat med en studie av energiförsörjningen för Stockholms län fram t o m kärnkraftavvecklingen, STOSEB 85. Om naturgas kommer till regionen under 90-talet, vilket f n verkar sannolikt, kan värmebehovet komma att täckas med olika bränslen enligt Figur 1.

I figuren kan göras flera viktiga iakttagelser;

1. Den önskvärda utvecklingen att minska elanvändningen för individuell uppvärmning kräver en kraftfull tekniksatsning om det ej ska ske en återgång till oljeeldning.
2. Naturgasen får en stor roll för såväl individuell uppvärmning som för fjärrvärme, bl a beroende på möjligheten till miljövänlig småskalig kraftvärmeproduktion.
3. Det finns idag ingen "ny teknik" som kan förutses få någon märkbar betydelse för energibalansen.

För regionen, liksom för landet, är det viktigaste energi-problemet nu att minska elanvändningen. Värmetekniska lösningar med stort elberoende är således strategiskt felaktiga. Figur 2 visar alternativa utvecklingar för elanvändningen.

Hur kommer då energilagrar in i bilden? Fjärrvärmeverken och även stora blockcentraler kommer alltmer att utnyttjas för kraftvärmeproduktion.

Ett värmelager kan då vara motiverat genom att det ger möjlighet att producera el när den bäst behövs, och har högsta priset, och sedan ta ut värmen när den behövs. För sådana tillämpningar passar vattenlager som dygnslager och mellantidslager. Vi behöver då veta om groplager kan ge några fördelar jämfört med tankar. Den största lagervolymen skulle komma i fråga om lagret kan göras så billigt att det blir ekonomiskt motiverat med endast ca 2 omsättningar per år. Lagring vår, urladdning sommar, resp lagring höst, urladdning vinter. Kostnaden för lagret får då troligen ej vara större än 20-40 kr/m<sup>3</sup>. Säsongslagring från sommar till vinter förefaller idag mindre intressant.

I individuella system och mindre blockcentraler, där kraftvärmeproduktion ej blir aktuell, skulle säsongslagring av t ex solvärme kunna bli intressant. Det förefaller dock fortfarande vara tveksamt om sådana lösningar kan få acceptabel ekonomi. Lagersystem som inkluderar eldrivna värmepumpar förefaller strategiskt olämpliga. Korttidslagring för små system förefaller att klaras bäst med konventionella tankar.

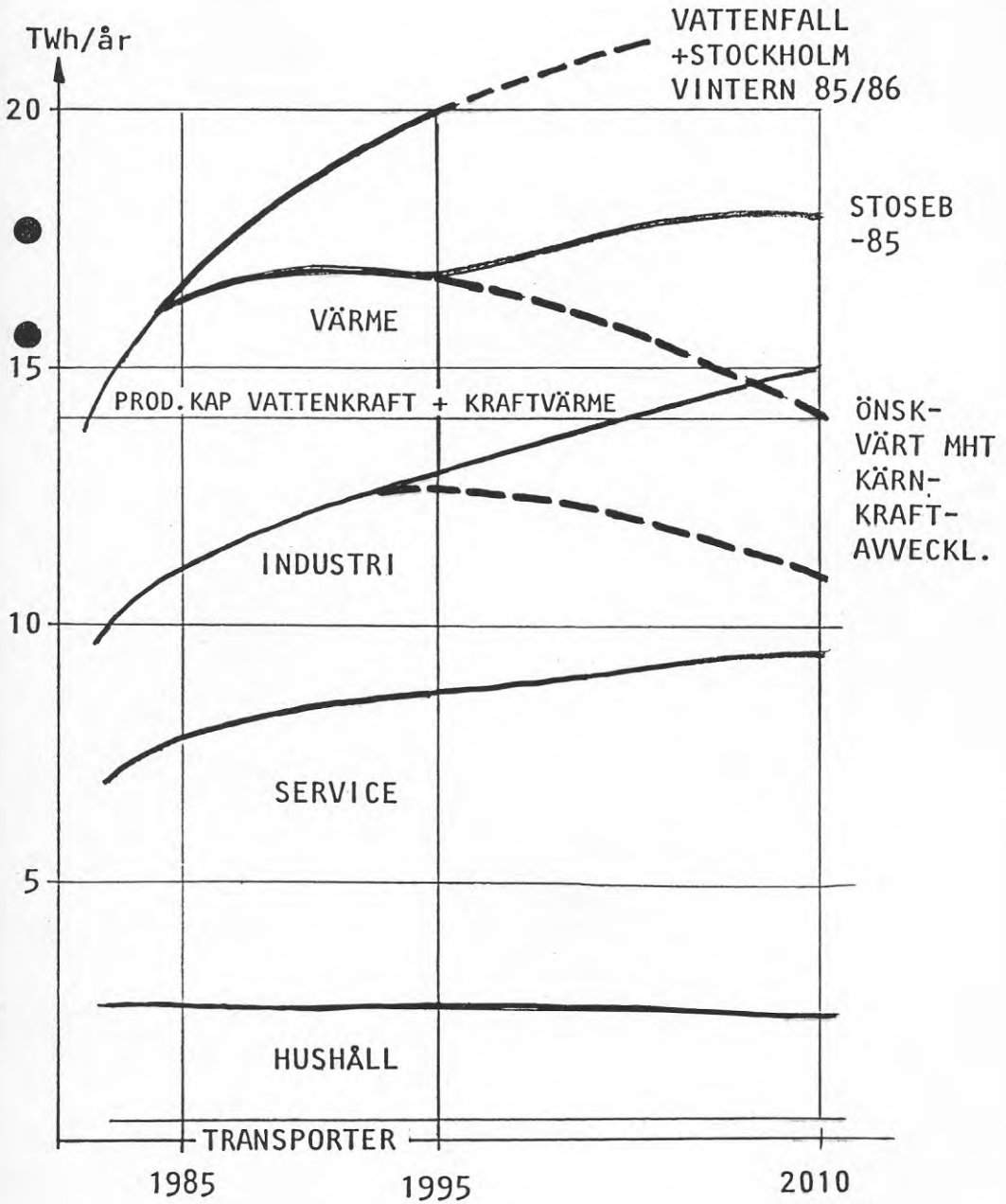
Sammanfattningsvis förefaller således vattenlager i form av gropmagasin att främst kunna bli intressanta för kraftvärmeverk. Ekonomin för sådana lager är dock beroende av hur landets elkraftbalans utvecklas under och efter kärnkraftutvecklingen och är ännu svår att överblicka.





# FIG 2.

## ELANVÄNDNING I STOCKHOLMS LÄN



Kari Sipilä

NORDISKT SEMINARIUM OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
12.5.1987 VÄXJÖ

### 6.3 ETT STÅLBEHÅLLARVÄRMELAGERS PROVBYGGNADSPROJEKT I LAHTIS

#### 1. ALLMÄNT

Långtidsvariationerna (månatliga) i fjärrvärmeenergikonsumtionen är beroende av utetemperaturens växlingar. Då det gäller kortidsvariationer (timmar) inverkar jämte utemperaturen också övriga väderförhållanden: vind, molnighet, regn mm. samt förbrukningen av varmt bruksvatten. Variationerna i elkonsumtionen är inte lika starkt beroende av väderförhållanden och dygnsvariationerna är mera regelbundna än för värmets. Produktionen av elektricitet och värme måste ständigt anpassas till konsumtionsbehovet.

Vid kombinerad el- och värmeproduktion bestäms anläggningens belastningsgrad antingen enligt elektricitetens eller värmets konsumtionsbehov. Elproduktionen är beroende av värmeproduktionen i enlighet med anläggningens elutbyteskoefficient. Variationerna i el- och värmekonsumtionen är inte alltid tidsmässigt likadana. Värmets tillskottsproduktion säkerställs med vattenpannenergi och elektricitetens med kondens- eller hjälpkylenenergi samt genom köpt elektricitet från riksnätet.

Vid mottrycksproduktion kan elproduktionens beroende av fjärrvärmekonsumtionen minskas genom att lagra värme i fjärrvärmenätet eller i ett separat värmelager. I Finland har under år 1985 tre värmelager förverkligats i Lahtis, Uleåborg och Nådendal. Värmelagren är stålbehållare och storleken varierar mellan 10.000 och 15.500 m<sup>3</sup>. Under år 1987 kommer också Helsingfors stads energiverk att låta bygga ett värmelager. I tabell 1 är de viktigaste uppgifterna om lagren. I figur 1 kan vi se värmelagren på Finlands karta.

Tabell 1. Värmelager av stål i drift eller under byggnad

Plats	Lahtis	Uleåborg	Nådendal	Helsingfors	Obs.
Volym/m <sup>3</sup>	10000	15000	15000	2 x 10000	icke trycksatt
Värmeinnehåll/MWh	450	680	680	900	40°C skillnad
Effekt/MW	40,0	80,0	80,0	130,0	
Investering/MFmk	4,2	5,5	5,5	2,6	enligt år -85
Amortering/a	5,0	5,0	5,1	5,0	
Höjd/diameter/m/m	19,5/ 26,0	17,0/ 34,0	26,0/ 28,0	2x41,5/ 18,0	5 % realränta
Färdig/mån/a	II/1985	I/1985	VI/1985	IX/1987	

## 2. NYTTAN AV VÄRMELAGER

Nyttan av värmelager vid samproduktion av elektricitet och värme kan kort beskrivas enligt följande:

- utökning av mottryckselproduktionen vid laddning av lagret
- reglerbar elproduktionspotential i riksnätet
- som lager för värme producerad med elpanna
- kompenserar produktionsvariationer förorsakade av kvalitetsskillnader i bränslet i pannan för inhemska bränslen
- sparar produktionskostnader för fjärrvärmeenergi då lagret laddas med mottrycksanläggningens överproduktion under tiden för värmeproduktionens billiga gränskostnader och urladdas för att ersätta toppannenergin under tiden för dyra gränskostnader.
- ersätter den värmeenergi som förlorats vid planerad eller oplanerad nedkörning av mottrycksanläggningen eller värme pannan.
- minskar behovet av flera toppannor

- fungerar som vattenreserv vid skador på fjärrvärmenätet
- är en miljövänligare värmekälla än värmepanna; rökgasutsläppet koncentreras till mottrycksanläggningarna.

### 3. LAHTIS VÄRMELAGER

Lahtis värmelager befinner sig i närheten av Teivaanmäki kraftverk. Den cylinderformade, icke trycksatta stålbehållarens maximitemperatur är 95°C. De viktigaste uppgifterna om behållaren är i tabell 1. Värmelagret laddas med överskottsvärme från Kymijärvis kolmottryckskraftverk. Också fördelaktig nattelektricitet kan användas för laddning av lagret. Behållarens isolering är 200 mm tjock mineralull och som hölje användes målad profilplåt. Värmelagret är sänkt 5 m i marken av landskapsmässiga skäl och dess botten är omgiven av en stålring. Stålskivorna är Raex 306b och skivtjockleken i manteln är 6...18,5 mm. Taksnivåernas tjocklek är 6 mm och bottensnivåernas 6...12 mm. Behållarens sidoprofil ses i Fig. 2. Behållaren är dimensionerad att hålla ett 20 mbar övertryck och 5 mbar undertryck. För att förhindra oxidation fylls behållarens fria övre del med mättad ånga från en naturgasevaporator. Som en följd av vattnets densitetsskillnader bildas det varmaste skiftet i behållarens övre del och det kallaste i den nedre delen. Flödet i behållaren måste ordnas så att vattnets värmeskikt inte störs. Vattnet strömmar in i och ut från behållaren via två vågräta sfäriska tallriksdiffusörer. Diffusören är uppbyggd av två parallella stålskivor vilkas avstånd från varandra är 0,29 m. Dess diameter är 6 m. Värmelagrets värmeeffekt är 40 MW vid en 40°C temperaturskillnad, vilket motsvarar en strömningshastighet av c:a 0,25 m<sup>3</sup>/s. För att eliminera störningar i behållarens temperaturskikt och upprätthålla en laminar strömning i fördelaren måste vattnets strömningshastighet i diffusörens kanter hållas tillräckligt låg. För

värmeeffekten har strömningshastigheten valts till 0,045 m/s. Behållaren är kopplad direkt till fjärrvärmesystemet; fjärrvärmenätets (se fig. 3); vatten strömmar genom behållaren. Värmelagerbehållaren fungerar också som en tryckutjämnare i fjärrvärmenätet och som en vattenreserv vid läckage i fjärrvärmenätet. Praktiken har visat att fjärrvärmenätets medeltryck hålles exakt vid inställningsvärdet tack vare vattenbehållaren. Värmelagret har också visat sig vara en mycket lönsam investering vid några fall av rörskador och kraftverks driftstörningar i fjärrvärmenätet. VTT utför mätningar och undersökningar på ett värmelager till slutet av 1987. I Fig. 4 visas de laddade och urladdade energimängderna i lagret per månad år 1985 och 1986. Från lagret urladdades c:a 18,7 GWh värmeenergi år 1985 och det första driftårets (10 mån) avkastning har beräknats till c:a 500 000 mk. År 1986 var den urladdade energin 23,0 MWh och avkastningen har beräknats till c:a 500.000 mk som följd av minskat energipris. Härtill bör annu tilläggas den avkastning som erhålles i form av vattenreserv och reserveffekt.

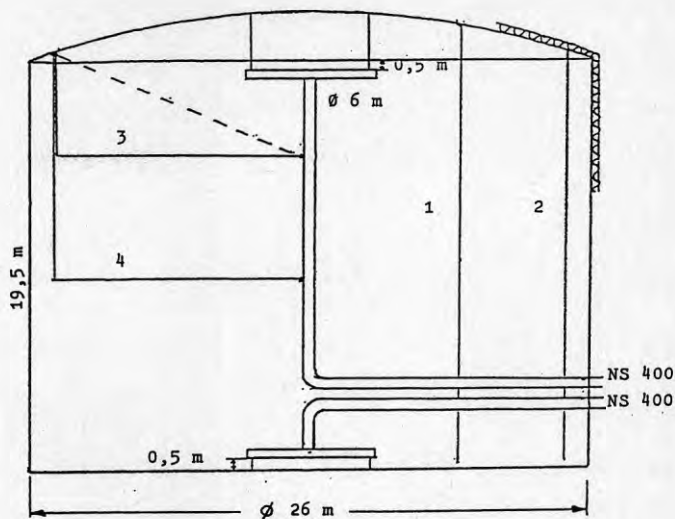
I Fig. 5 visas resultaten från temperaturmätningar under januari 1987 i behållarens tur- och returrör (givarna TI01, TI02 och TI03, se Fig.2). I Fig.6 och Fig.7 visas laddnings- och urladdningsströmmarna under samma tid samt variationerna i vattennivån. Också vattnets lodräta och vågräta temperaturfördelning undersöks. Mätresultaten från behållarens temperaturfördelning är tillsvidare otillförlitliga då vatten hade trängt in i temperaturgivarna. Temperaturgivarnas dåliga skick observerades sommaren 1986, då mät- och informationssamlingssystemet monterades. Nya temperaturgivare borde vara monterade i slutet av mars 1987. Också inverkan av utetemperaturen och vindförhållanden på temperaturfördelningen och värmeförlusterna uppföljes. Till forskningsprogrammet hör ytterligare en bestämning av energin som flyter genom behållaren och den hjälpen energi som behållarens funktion (evaporator och pumpar) erfordrar. Spänningsförändringarna i behållarkonstruktionen uppföljes också. Slutligen eftersträvas en bestämning av värmelagrets betydelse som en del av energiproduktionssystemet och den ekonomiska avkastningen av dess användning.

Slutrapporten över värmelagrets provbyggnadsprojekt utkommer våren 1988.



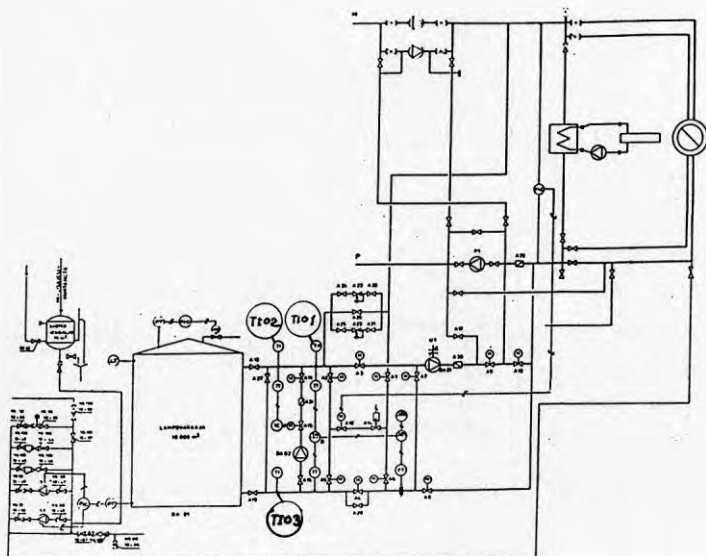
Figur 1. Finska värmebehållare

SF1 Otnäs/ståltankbehållare	500 m <sup>3</sup>
SF2 Uleåborg/ " "	15000 m <sup>3</sup>
SF3 Lahtis/ " "	10000 m <sup>3</sup>
SF4 Nådendal/ " "	15000 m <sup>3</sup>
SF5 Kervo/bergrum+borrhållslager	1500 m <sup>3</sup> + 11000 m <sup>3</sup>
SF6 Helsingfors/ståltankbehållare	20000 m <sup>3</sup>

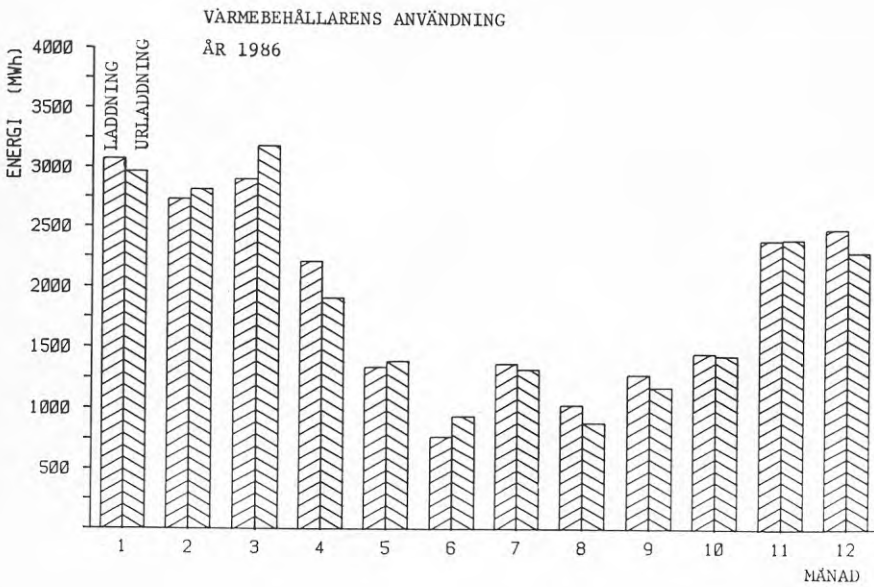
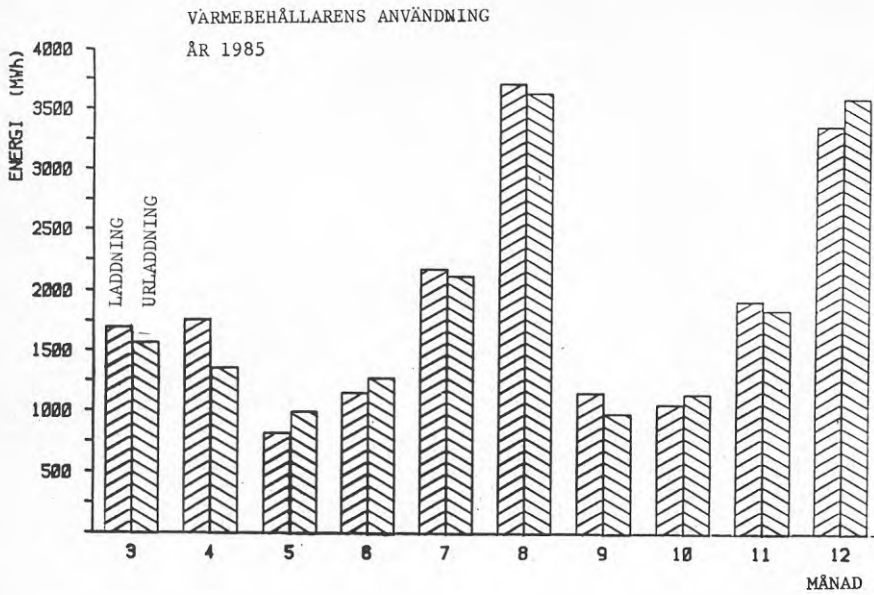


Figur 2. Ståltållervärmelagret i Lahtis

1	24	temperaturgivare
2	12	" "
3	6	" "
4	6	" "

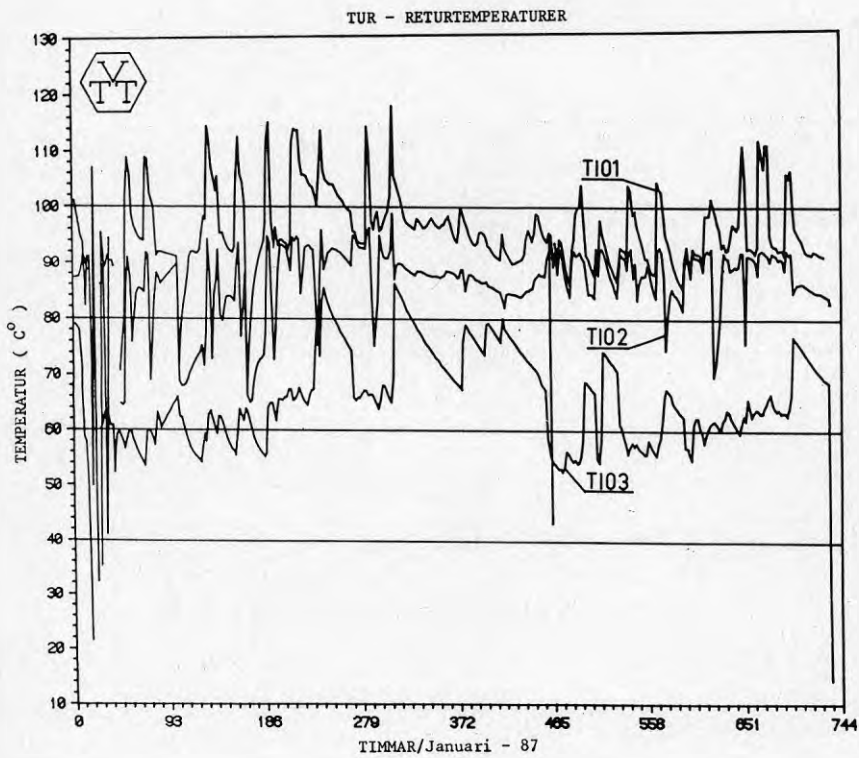


Figur 3. Direktanslutet värmelager till fjärrvärmnätet

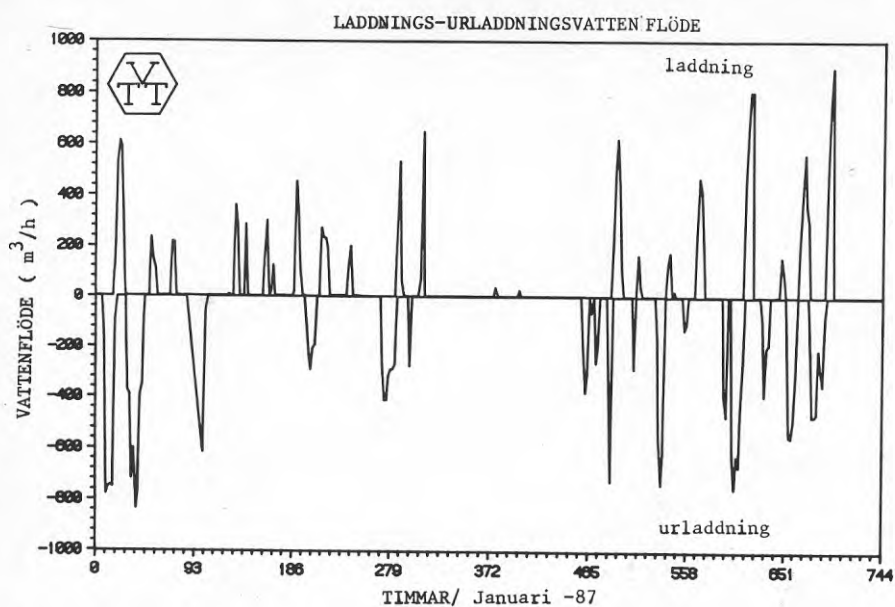


Figur 4. Värmelagrets användning per månad år 1985 och 1986

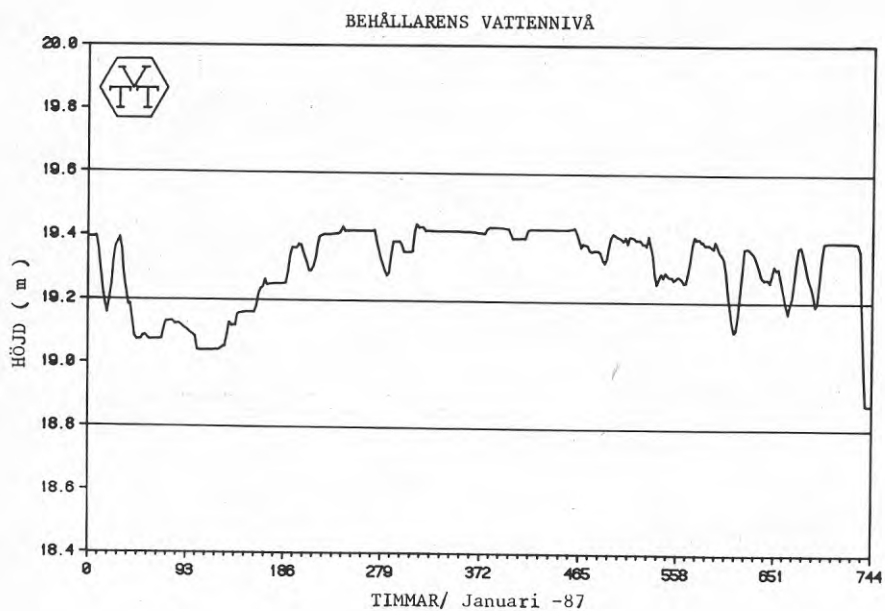




Figur 5. Temperaturen i tre punkter i anslutningsrören



Figur 6. Vattenflödet vid laddning och urladdning



Figur 7. Vattennivåns variationer i värmelagret

NORDISKT SAMARBETE OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
NBS-E SEMINARIUM, MAJ 1987 I VÄXJÖ

6.4 Referat av kommentarer och diskussioner om  
SYSTEMASPEKTER, TILLÄMPNINGAR AV VATTENLAGER

- T. Jilar: Hur skiljer sig årsverkningsgraden från nominella verkningsgraden i den danska presentationen ?
- B. Qvale: Energiuttaget, som beror av temperaturdifferensen, jämförs med lagrets energiinnehåll. Detta måste kompenseras för förluster under lagringsperioden, vilka är förhållandevis mycket betydande. Förlusterna blir större vid högre temperaturnivå och man kan vid bristande isolering få synnerligen låga energiutbyten.
- F. Salvesen: I STOSEB:s bedömning av individuella system (solvärme, o.dyl.) anges energikostnad om 40 à 50 öre/kWh. Är detta verkligen inte konkurrenskraftigt?
- H. Hydén: Marknadspriset är lågt, eftersom taxorna styrs av vattenkraft, producerad i gamla anläggningar, och distributionssystemet inte medför så kraftiga förnyelsekostnader.
- T. Jilar: Den oförmånliga ekonomin för gropmagasin beror väl på användning som säsongslagring, dvs. endast två omsättningar per år.
- H. Hydén: Ja, då vi undersökte lagret för korttidsreglering, visade sig lägre kostnader för energi ur värmelagret. Nyttoskenen blir då större och betydligt högre anläggningskostnader än 40 kr/m<sup>3</sup> kan accepteras.



7. BYGGDA PROJEKT

ORDF. GUNNAR GUSTAFSON

### 7.1 SOLVÄRMECENTRALEN I STUDSVIK

Solvärmecentralen i Studsvik projekterades och byggdes under 1978 och togs i drift våren 1979. Anläggningen byggdes i minsta möjliga skala för att prova ut gropmagasintekniken för säsongslagring och låg-koncentrerande CPC-solfångare som i detta fall monterades horisontellt solföljande på gropmagasinet flytande lockisolering.

Systemuppbyggnaden var också speciell genom att lagret direktkopplades till både solfångarkrets och uppvärmningssystemet. Gropmagasinet dimensionerades för temperaturområdet 30-70 °C, och helårsuppvärmning av ett intilliggande kontorshus med ett speciellt luftuppvärmningssystem.

Säsongslagringsförmågan ställdes på extra hårda prov genom att årsfördelningen av värmebehovet för kontorshuset blev mer koncentrerad till vinterperioden än beräknat.

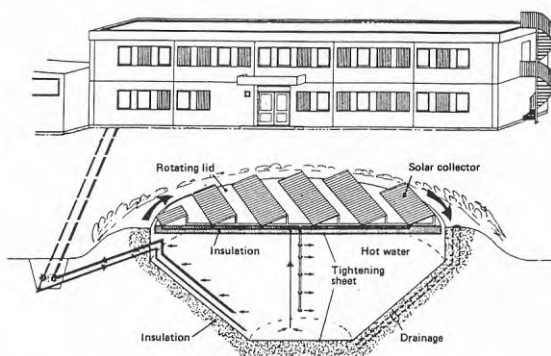
Prototypanläggningen utvärderades i detalj under åren 1979-1983.

Drifterfarenheterna är till stor del positiva, speciellt lagringstekniken och systemutformningen där inte alls samma problem med korrosion och vattenkvalitet uppstått som i Lambhov-anläggningen t ex trots liknande teknik.

Årsenergiutbytet från solfångarfältet blev något lägre än förväntat, men uppgick ändå till 300 kWh/m<sup>2</sup> år, trots för låg lutningsvinkel på solfångarna och ett frysskyddssystem som begränsade driftperioden under vår och höst.

Gropmagasinet har visat att de förväntade värdena på värmeförluster, skiktstabilitet, täthet och isoleringsstabilitet har varit möjliga att uppnå i praktiken.

De viktigaste erfarenheterna från prototypen är att det är mycket viktigt med tryckhållfastheten hos isolerskikten nedtill i lagret, och utformningen av tätskiktet ovanpå lockisoleringen som måste vara helt vattentätt ovanifrån men ändå tillåta ångtransport i tillräcklig omfattning underifrån. Här är valet av konstruktionslösningar och uppföljningen under byggskedet mycket viktigt.



PILOT PLANT AT STUDSVIK 1979

VOLUME (m<sup>3</sup>) 640

ΔT (°C) 70-30

HEAT BALANCE

## INSTALLATIONSTEKNIK CTH

## 7.2 LAMBOHOV SOLVÄRMECENTRAL - Gröplager

Civ ing Jan-Olof Dalenbäck

## Konstruktion

Solfångarna värmer ett centralt placerat vattenfyllt värmelager, som är nedsprängt i berg som en cylindrisk tank med vattenytan något under marknivå. Solfångarna dräneras, vid frysrisk och o-tillräcklig solinstrålning, till lagret.

Lagret rymmer 10.000 m<sup>3</sup> vatten och är isolerat mot berget med cementbunden lättklinker utanför en mur av lättklinkerblock. Muren är behandlad med fiberarmerad puts och täckt med en fiberduk. Tätning mot vattnet sker med en butylduk. I isoleringen dräneras förekommande grundvatten till en pumpgrop under botten, från vilken grundvattnet pumpas bort. Locket består av polyuretanblock som flyter på vattnet.

Vattentemperaturen i lagret kan variera mellan +5 °C och +70 °C. Den undre gränsen bestäms av frysrisk i värmepumparnas förångare och den övre av gummidukens temperaturtålighet.

Lagerkostnad exkl rörinstallationer uppräknat till 1987 - 800 kr/m<sup>3</sup>

## Funktion

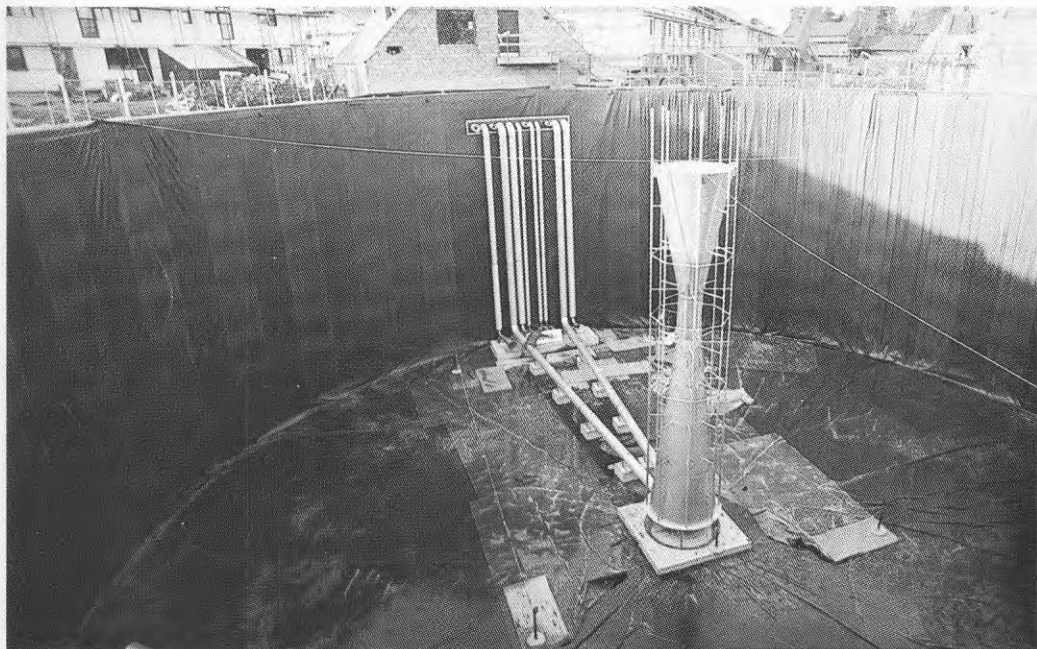
Isoleringen i värmelagrets väggar är praktiskt taget vattenfylld. Isoleringsförmågan är därmed mycket sämre än den vid projekteringen förutsatta. Dräneringspumpning av grundvattnet kan inte längre ske då det finns risk för kalkurlakning av väggkonstruktionen. Värmeförlusterna uppgår till 35-40 % av inlagrad värmemängd beroende på temperaturnivå. De stora förlusterna är inte av avgörande betydelse för värmecentralens funktion men innebär givetvis att man tillgodogör sig en mindre andel solvärme. I praktiken leder detta till att värmepumparnas årliga elförbrukning ligger högre än om lagerförlusten hade varit mindre.

Värmelagrets topp är i dålig kondition med dålig isoleringsförmåga som följd. Utslaget över hela året krävs en påfyllning med ett par m<sup>3</sup> vatten per dygn för att hålla locket i nivå med bassängkanten.

Erfarenheterna i Lambohov visar att ett isolerat värmelager i mark under grundvattenytan uppenbarligen bör byggas så att grundvattnet inte kan påverka isoleringsförmågan i samma omfattning som i Lambohov. För att verifiera beräkningsmodeller för värmeförluster i mark är lagret unikt och lika värdefullt isolerat som oisolerat.

# LAMBOHOV

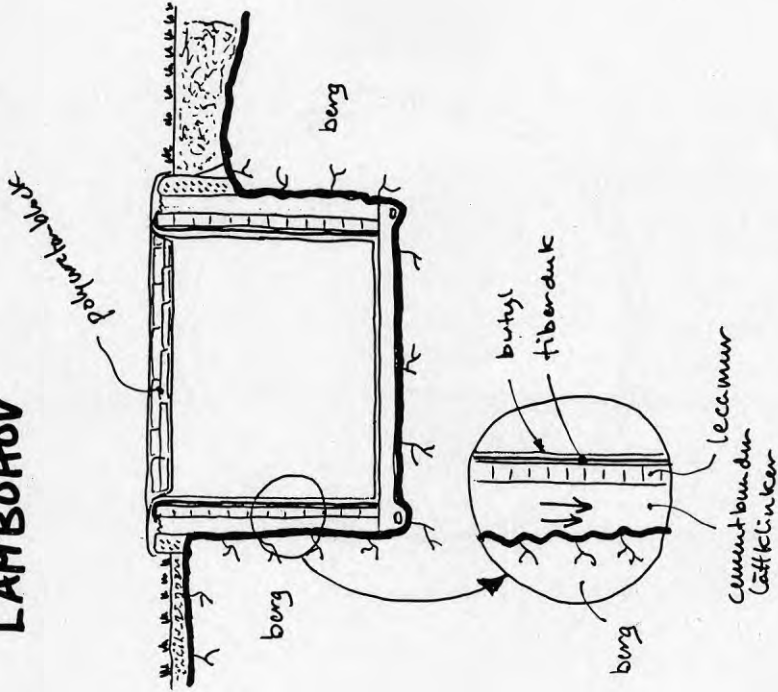
- Vål genomtänkt tillämpning av solvärme
- dåligt genomtänkta konstruktioner
- Unikt lager



Bassängen står klar. Aterstar gör bara att fylla på vattnet och isolera ytan med 40 cm polyuretanskivor som avslutningsvis övertäcks med en skyddande plastduk. Även skiktfördelaren, som ska sprida ut det solvarma vattnet i bassängen, är på plats.



# LAMBODIV



2/000/215088

# LAGERKONSTRUKTION

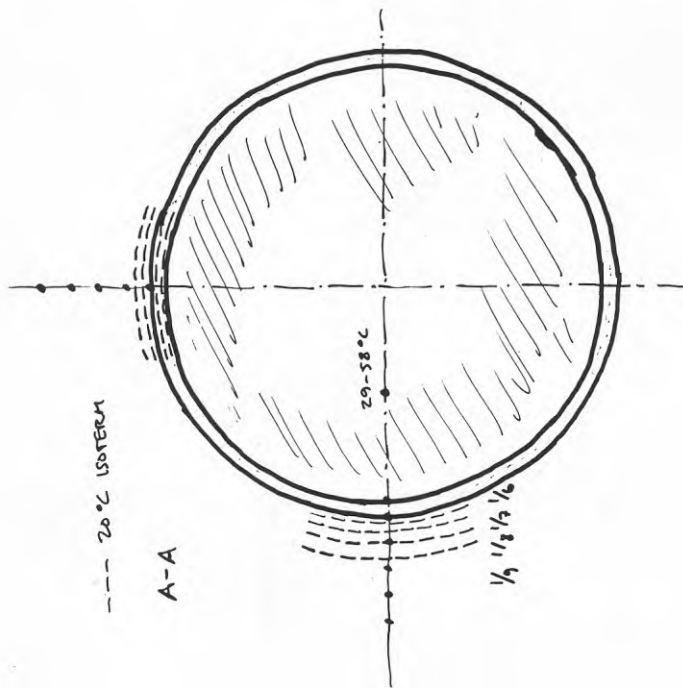
- Grop - markundersökning  
injektering  
hög stödmur
- Isolering - isoleringsförmåga  
dränring
- Tätskikt - applicering
- Ovandel - nivåändringar  
isoleringsförmåga  
beträddbarhet
- Röranslutningar
  - kostnad
  - funktion

# LAGERFUNKTION

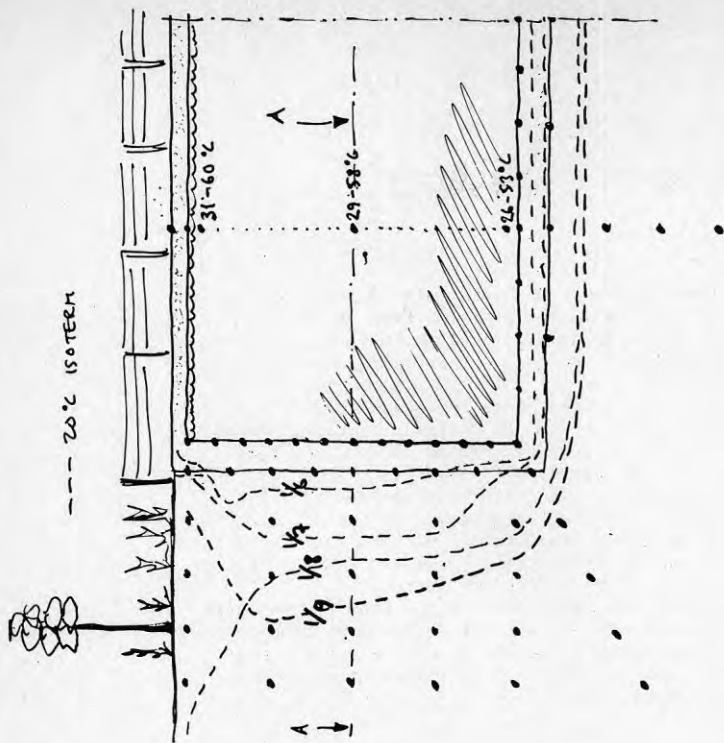
- Värmeförluster
- Vattenförluster

# LAGERKOSTNAD (37 prisnivå)

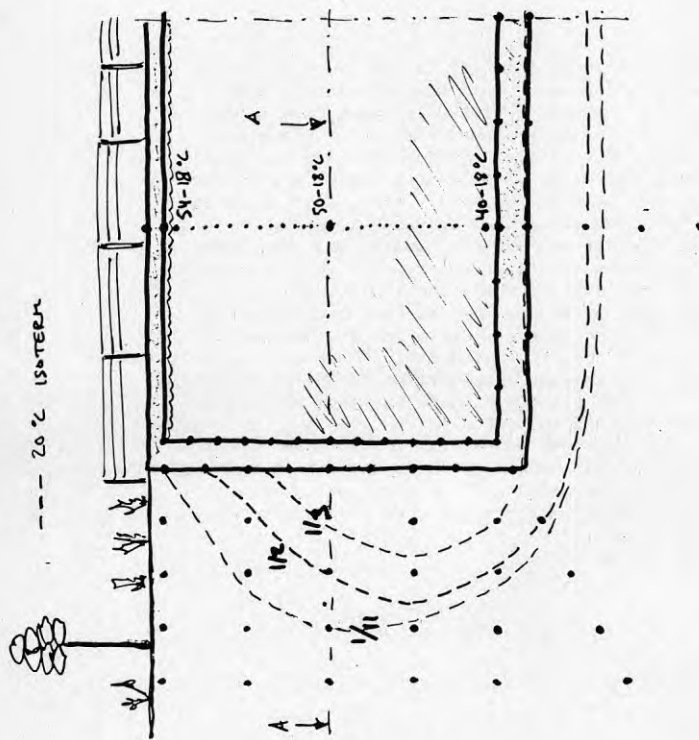
- Förväntad 200-400 kr/m<sup>3</sup>
- Verklig 800-900 kr/m<sup>3</sup>



870512/2000/9



(00/1885-07  
8/000/215028)



8/000/215028

Utdrag från:

SEASONAL STORAGE TEST PIT. TESTING OF A 500 M<sup>3</sup> STORE

K.K. HANSEN, P.N. HANSEN and V. USSING  
Technical University of Denmark, Thermal Insulation Laboratory

Summary

The aim of the work has been to show, that warm water pits, uninsulated towards the soil, are well suited for seasonal heat storage. Limiting the insulation to the top surface will contribute to a construction price reduction, which is so important, if seasonal storage shall be economically feasible.

The design work was based on the geotechnical investigations of the site selected at the laboratory test grounds on the university campus. The thermal properties of the soil were determined to form the basis of the computed analysis of the heat flows.

Upon construction of the pit, charge and discharge operations varying the water temperature  $\pm 15$  °C in a sinoidal pattern with mean temperatures of 45 °C and 65 °C have been performed. Measurement from the initial 210 days reported earlier showed good agreement with analytical and numerical predictions of the efficiency of the pit.

The measurements of 330 subsequent days reported now continue to agree well with numerical simulations. The durability of the high density polyethylene liner has so far given no reason to complaints and the vapour transmission through the floating lid has taken place without measurable accumulation in the insulation.

1. INTRODUCTION

In a joint venture between the Danish Ministry of Energy, the Danish Council for Scientific and Industrial Research and the Directorate General for Science and Development of the Commission of the European Communities the design and construction of a 500 m<sup>3</sup> underground warm water store was undertaken during 1981-82. Previous theoretical studies (1), (2) had indicated that underground warm water stores would show an acceptable efficiency even if the soil interfaces were left uninsulated. As studies and experiments with solar collectors had indicated, that only sufficiently low construction costs for solar collectors as well as for underground warm water stores would secure competitive prices for solar energy, the verification of the above mentioned theoretical studies was highly desirable.

Financed by the Danish Ministry of Energy the design and construction of the 500 m<sup>3</sup> underground warm water store was undertaken. The design did not attempt to make the experimental facility a model of future full scale warm water stores, but attempted to make the verification of the theoretical investigations as easy as possible. Thus the store for instance was placed completely underground in stead of partly underground.

Similarly the store was placed adjacent to an existing building in spite of certain inaccuracies in the verification was to be expected from this location in order to facilitate the installation of the datalogging at a short distance from the point of measurements, which would secure recording at an acceptable accuracy.

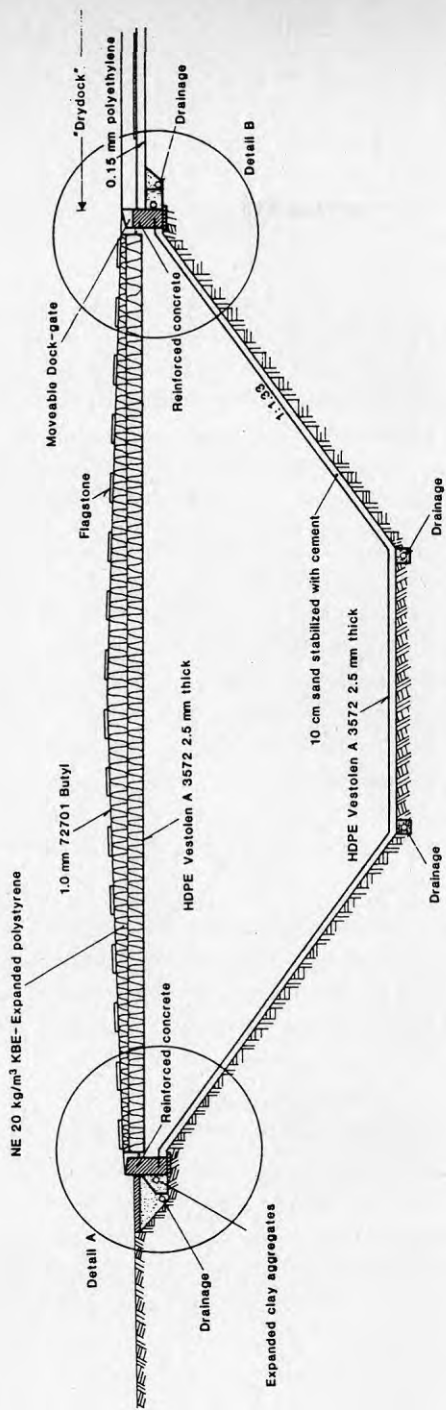


Figure 1.. Sectional view of the 500 m³ test pit.

## FORTSATTE MALINGER PÅ 500 M<sup>3</sup> FORSØG SVARMELAGER

### KONKLUSION

Projekteringen, anlægsarbejdet og starten på måleprogrammet for 500 m<sup>3</sup> Forsøgslageret er nøje beskrevet i reference [1]. Som nævnt i referencen er der lagt størst vægt på nøjagtighed i mulighed for beregning af lagerets effektivitet og mindre vægt på udførelsesdetaljerne, der til gengæld er blevet godt gennemarbejdede i et andet projekt, se reference [4]. I denne henseende mangler der dog meget arbejde endnu i forbindelse med en yderligere billiggørelse af projektet.

Den flydende pakning (en  $\varnothing$  12 cm oliefyldt butylgummislange) i spalten mellem betonvæg og flydende låg, der skulle forhindre fordampningstab m.m., blev taget op i forbindelse med reparation af fødeledningerne, og det er bagefter svært at konstatere, om pakningen overhovedet har haft nogen effekt. Som nævnt i [4] vil denne lågdetalje blive udført helt anderledes i fuldskala lagre, idet låget på disse lagre vil blive helt fastgjort til betonvæggen for at skabe et lukket lagersystem, hvor vandets temperaturudvidelse sker ved, at det fleksible låg buler lidt ud.

Den ovenfor nævnte lækage på fødeledningerne skete samtidig på både  $\varnothing$ 75 PEL rørene og  $\varnothing$ 75 ABS-HT rørene på dag nummer 433, men det er svært at forklare, hvorfor det først skete i afkølingsfasen af den 3. cyklus med høj middeltemperatur. Temperaturen i lageret var ca. 78°C, da uheldet skete. Det må forventes, at en lækage var sket et halvt år tidligere, hvis materialerne ikke kunne modstå de relativt høje temperaturer!

Af hensyn til fugtbalancen i lågets isolering blev membranen mellem vand og isolering udført med en fugtmodstand, der væsentligt overstiger fugtmodstanden mellem isoleringen og det ydre klima. Dette har været tilstrækkeligt, idet der overhovedet ikke er iagttaget synlige buler forårsaget af damptryk i butylafdækningen. Gennem en åbning i afdækningen er udtaget prøver af lågisoleringen til en fugtindholdsbestemmelse, der ligeledes ikke har vist tegn på ophobet fugt i isoleringen efter ca. 2 års funktion.

Flow- og temperaturmåling, dataopsamling og dataoverførsel til NEUCC har fungeret rutinemæssigt i hele måleperioden. Den elektrisk registrerende flowmåler har dog været til reparation og justering nogle gange, da den ikke har kunnet tåle opståede trykstød ved hurtig omstilling af trevejsventiler ved overgangen fra opvarmningsfase til afkølingsfase. Varmevekslerne er ligeledes nogle gange blevet efterset og eventuelt rensset for tynde lag af belægninger.

Det i projektet udviklede edb-program til beregning af temperaturerne i jorden omkring lageret og til beregning af varmetab fra lageret er hermed verificeret med måleresultater for en 717 dages periode, og en god overensstemmelse er opnået. Det beregnede varmetab samt energimængden til opvarmning af lagervandet i de 8 opvarmningeperioder er sammenholdt med den indkøbte gasmængde korrigeret med kedelsystemets nyttevirkning. Der findes god overensstemmelse, idet kun 8,8% af den til lageret tilførte varmemængde tapes ved ikke beregnet varmetransmission gennem betonvæg og frithængende butylgummi, fordampningstab ved lågets kant samt små vandudslip gennem defekte transmissionsledninger under opvarmningsforløb. Dette resultat findes ganske tilfredsstillende, da lågdetaljen som nævnt ovenfor ikke er optimeret, og det kan derfor sluttes, at programmet kan bruges til simulering af jordens termiske opførsel for denne form for lagre.

Alle temperaturmålepunkter (51 i jord og 22 i vand) har virket upåklageligt i hele måleperioden, dog har den uønskede fugtbevægelse i de lodrette huller, hvor målekæderne er placeret, lokalt ændret (hævet!) temperaturen i perioder.

Fremtidige forsøgslagre og nogle af de første kommercielle lagre bør udstyres med kæder af termoelementer til temperaturregistrering, men kæderne skal sikres mod uønskede fugtbevægelser i de lodrette huller, hvor målekæderne er placeret.

Dette projekt viser, at man med den opstillede edb-model med kendskab til jordens termiske egenskaber, lagertemperaturen samt nogle jordtemperaturer rimeligt nøjagtigt kan beregne tabet og dermed lagerets effektivitet.

## 74 KERVO

## Erfarenheter med ett hybridvärmelager i Kervo solby

Peter Lund

Tekniska Högskolan  
Institutionen för teknisk fysik  
SF-02150 Esbo, Finland

Säsongslagring av solvärme med s.k. hybridvärmelagringsteknik (Fig. 1.) har prövats sedan år 1983 i Kervo solby ca 30 km norr om Helsingfors. Själva lagret består av en berggrop av 1500 m<sup>3</sup> fyllt med vatten och är omringat av 54 st. borrhål a' 26 m (Fig 2.). Vattenlagret används både för kort- och långtidslagring. Borrhålen tillgodotår värmeförluster från vattenlagret via en värmepump, eller, fungerar även som extra lagringskapacitet för säsongslagring i fall vattenlagret inte räcker till. Lagringskapaciteten av vattenlagret är 90 MWh och för borrhållslagret 200 MWh respektivt. Pga. användning av en värmepump är det möjligt att åstadkomma relativt stora temperatursving.

Vattenlagret är oisolerat och vattnet är i kontakt med berget. Borrhålen är oinfodrade. Vattenlagret fungerar med temperaturskikning genom en vinsapparat som leder inkommande värmeflöden till vattenskikt med motsvarande temperatur.

Erfarenheterna med den ovanskildrade lagertypen har varit i genomsnitt goda. Hittills har berggropen varit den huvudsakliga lagringsmediet och de omkringliggande borrhålen har utnyttjat den uppvärmda bergsmassan för värmepumpen. Under sommaren 1987 kommer även aktiv laddning av berget runt vattenlagret att provas.

Säsongslagret (vatten) fungerar med ett temperatursving från ca 17 till 50 °C. Temperaturen i toppenskiktet varierar mellan 55 och 70 °C då detta fungerar även som ett buffert mellan värmeproduktion och -konsumtion. Säsongsverkningsgraden uppmätt har varit 85% varav ca 5%-enheter urspunger sig från borrhålen. Borrhålen har producerat kring 20 W/m under urladdningsperioden (6 mån).

Hittills har inte några svåra kemiska problem eller läckage uppkommit. Na- och K-halten av lagervattnet har vuxit under mättningsperioden. Under konstruktionen av lagret år 1982 behövdes även någon tätning av berg. Samverkan mellan ytgrundvatten och berggropet har registretarts, t.ex. på hösten har



vattenytan i berggropet höjt med 50-100 cm vilket har krävt dränering. Själva vattnet i berggropet är också något korrosivt.

Kervo experimenter är första provförsök med säsongslagring av värme i Finland och följaktligen har forskningssynpunkterna varit högt prioriterade. Detta har resulterat med extra utgifter som annars kunde kanske undvikas. Konstruktionskostnaderna av lagersystemet inkl. värmeverkets byggnader var 2,48 milj. FIM, dvs. 8.500 FIM per MWh lagringskapasitet. Konstruktionskostnaderna av berggropet var höga pga. liten totalvolym och icke-optimal geometri (10m i diameter, 20m djup) och kostade ca 1000 FIM/m<sup>3</sup>. Genom minskning av vattenvolymen och ökning av antalet borrhål kunde lagerkostnaderna minskas.

Utvärderingen av hela Kervo-solbyn gjordes under åren 1983-85. I dag pågår vissa mindre undersökningar bl.a. gällande nya systemtillämpningar av den använda hybridvärmelagringstekniken (t.ex. mottryckskraftverk, gruppcentraler) (Fig 3.). Simuleringsprogram för dimensionering av ett komplett lagringssystem under transienta körsförhållanden har åstadskommits och dessa är tillgängliga även för IBM PC mikrodatorer (Fig 4.).

#### Referenser

J.P. Forsström, P.D. Lund and J.T.Routti, Economic analysis of heat storage in energy systems. Energy Research 11, 85-94(1987).

P.D. Lund, Fundamentals of thermal processes in a hybrid thermal energy storage. Helsinki University of Technology. Report TKK-F-A609(1987). 68 pages

P.D. Lund and M.B. Östman, A numerical model for seasonal storage of solar heat in ground by vertical pipes. Solar Energy 34, 351-366(1985)

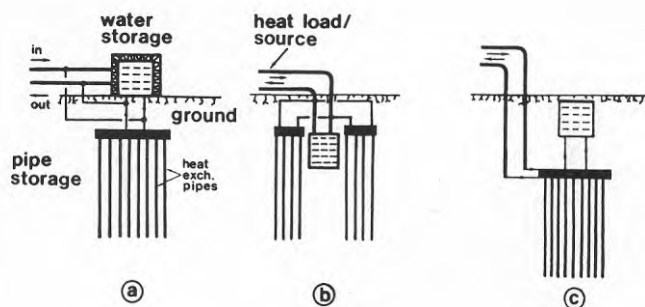


Fig. 1. Exempel på hybridvärmelager. Kervo solby motsvarar alternativ b.

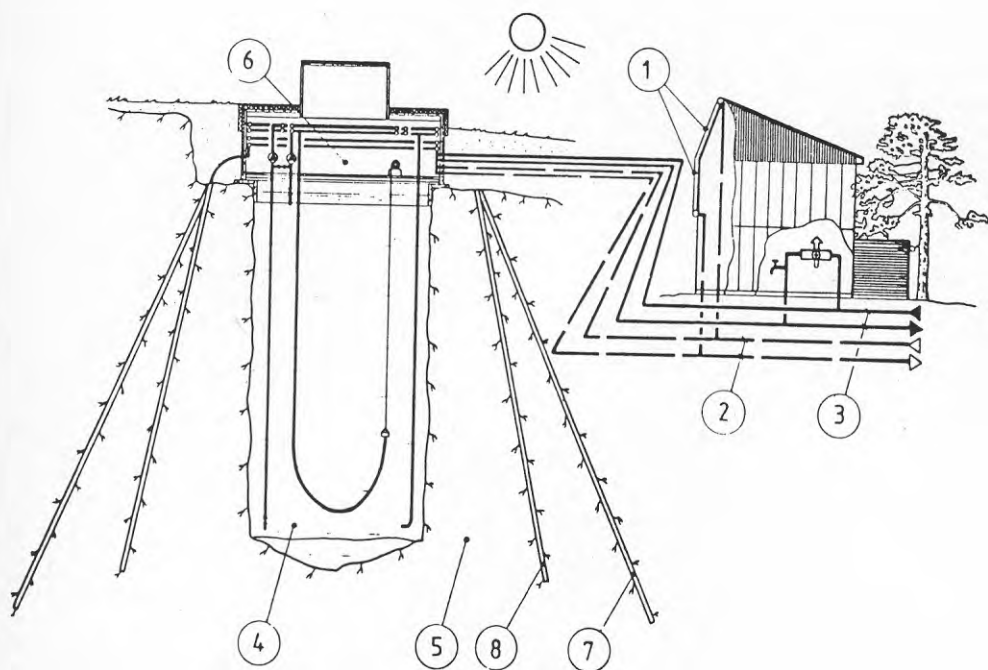


Fig. 2. Kervo solby. 4 = vattenlager, berggrop ( $1500 \text{ m}^3$ ),  
7,8 = borrhål ( $11000 \text{ m}^3$ )

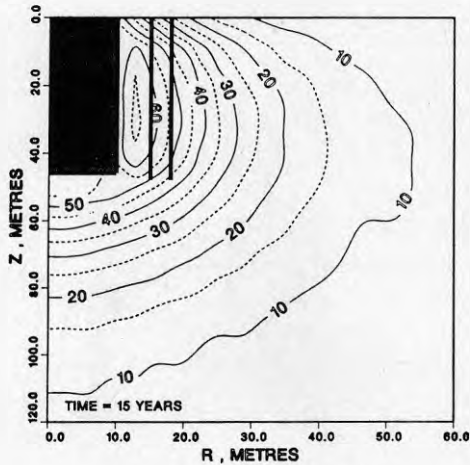


Fig. 3. Gropmagasin omringat med vertikala borrhål eller slangar. Hålen används för att injektera spillvärme runt vattenlagret (korttidslager). Vattenvolymen = 20000 m<sup>3</sup>, markvolymen = ca 30000 m<sup>3</sup>. Vattenlagrets värmeförluster minskas med ca 20-40% per år.

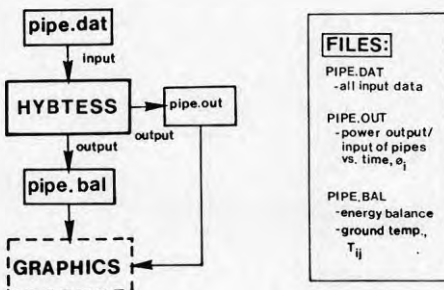


Fig. 4 Simuleringsprogrammet HYBTESS. Skrivet på Fortran, finns på IBM PC kompatibel dator, ca 1 min per simulerat år.

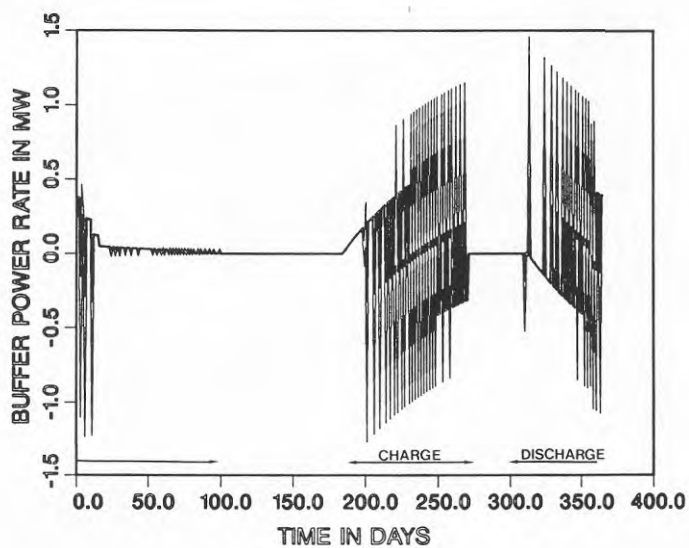


Fig. 5. Exempel på gropmagasinens dynamik då den används som buffert mellan ett trögt slanglager i mark och värmeproduktion/konsumtion. Antalet cykler är ca 70.

NORDISKT SAMARBETE OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
NBS-E SEMINARIUM, MAJ 1987 I VAXJÖ

7.5 Referat av kommentarer och diskussioner om  
BYGGDA PROJEKT

- G. Gustafson: De anläggningar som byggts i experimentsyfte, har ej visat konventionell lönsamhet. Man har märkt "barnsjukdomar" och kostsamma misstag, vilka måste accepteras i ett skede som detta. I gengäld har man fått värdefull kunskap.  
Det är visserligen svårt att omedelbart nå rätt ekonomi, men anläggningarna visar att det är tekniskt möjligt både att bygga och att driva gropmagasin.
- C. Magnusson: Har man i Lambohov märkt några temperatureffekter i leran? Kanske sättningar i de närliggande husen?
- J. Dalenbäck: Nej, sådana effekter är ej bekanta.
- V. Ussing: Temperaturhöjningen sprids nog ej längre än ett par meter från magasinet.
- G. Gustafson: Lambohov ger ett exempel på anläggningarnas utrymmebehov; dessa måste övervägas noga och anpassas i planeringen.
- C. Magnusson: Tyvärr fungerar ej staketen såsom avsett i Lambohov. Därtill ligger flytblocken i oreda.
- J-O.Eriksson: Behövs egentligen värmeisolering i marken?
- V. Ussing: Värmeisolering behövs endast för de delar, som finns ovanför och nära markytan.
- C. Magnusson: Gropen i Lyngby byggdes i lera; har där märkts några stabilitetsproblem?
- V. Ussing: Nej. I Danmark har vi mest moränlera, som utan svårighet står i slänt 1:1,3.
- G. Gustafson: Moränleran i Danmark är bättre konsoliderad än de flesta av lerorna i Sverige.
- V. Ussing: I Lambohov har man använt samma slags tätfilm på ovasidan som på undersidan av locket. Det borde vara olika, dvs tätningen skall vara bättre på undersidan.
- A. Rebo: Fanns det svårigheter med den stora (5 ton) gummiduken i Lambohov?
- J Dalenbäck: Det var svårt att montera den - man fick använda flera kranar. Dessutom hade man svårigheter då tätheten skulle kontrolleras.



8. KOSTNADER

ORDF. FRITJOF SALVESEN

## Nordiskt seminarium om värmelagring i gropmagasin: Växjö 12 maj 1987

### 8.1 Vad får groplager kosta?

#### *Abstract*

Peter Margen · Margen-Consult AB

Redan idag finns en marknad för korttidslager i våra fjärrvärmesystem samt större gruppcentraler. Anledningen är att lagret dels kan **kapa effekttoppar** och därigenom antingen reducera erforderlig ny panneffekt, eller tillåter en gammal panna att tas ur drift, dels **substitutera billig energi** tillgänglig under korttidseffektdalar för att ersätta dyrare energi under effekttoppar. Vid kraftvärmeverk i de nordiska länderna som har påtagliga elprisvariationer under dygnet är ett dygnslager dessutom ett förträffligt komplement till mottryckskraftvärmeverk. Kan ett groplager byggas **nämnvärt billigare än de ståltankar** som används idag, får det en marknad. Kan det byggas mycket billigare vidgas tillämpningsområdet för korttidslager.

Att klara samma kostnad per kWh lagringsförmåga som ståltanken fordrar dock oftast att man klarar en **väsentligt lägre kostnad per m<sup>3</sup>** för själva gropmagasinet än för ståltanken. Detta gäller särskilt för gropmagasin som har en temperaturbegränsning, t ex använder gummifoder, för tillämpningar där ståltankens förmåga att klara högre temperatur kan utnyttjas. Vidare gäller detta för gropmagasin som måste skiljas från distributionsnätet genom värmeväxlare på grund av vattenkemin, eftersom värmeväxlare är dyra för korttidslagring och "stjäl" en del av det disponibla temperaturintervallet. Även anslutningsledningarnas längd är en viktig faktor i detta sammanhang eftersom gropmagasinet ofta ej kan placeras lika godtyckligt som ståltankar och ledningar för dygnslager är dyra.

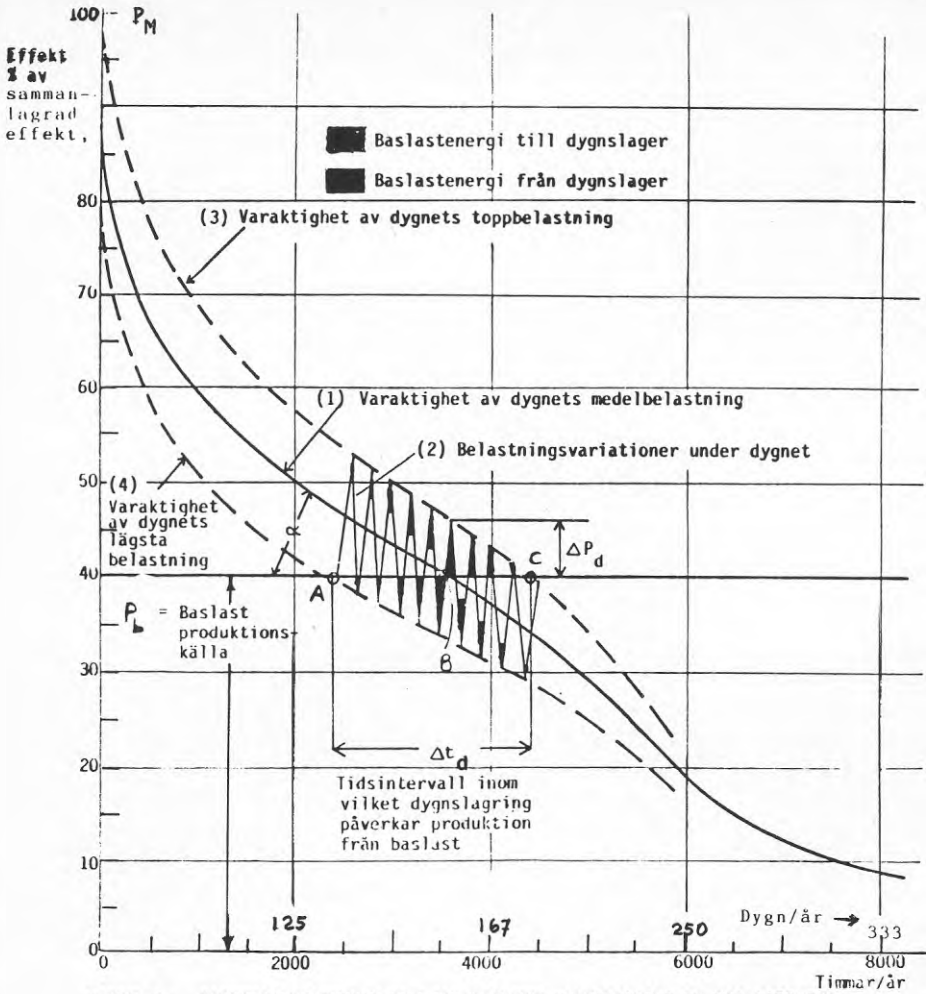
Jag kommer att visa några kurvor av kostnad per m<sup>3</sup> för ståltankar och därefter indikeras hur mycket mindre ett gropmagasin med ovannända begränsningar måste kosta för att konkurrera med ståltanken för "högtemperaturlämpningar". För tillämpningar däremot där andra faktorer bestämmer lagrets maximala temperatur än lagrets egenskaper, t ex en viss typ av värmepump som används för laddning eller ett lågtemperatur-distributionsnät, får ett gropmagasin som ej fordrar värmeväxlare kostar nästan lika mycket per m<sup>3</sup> som ståltanken.

Gropmagasin kan även hitta en marknad för tillämpningar där lagringscykeln är längre, t ex ett tiotal dygn såsom typiska vädercykler eller kombinationen dygnscykel flerdygnscykel som gäller t ex för framtida solfångarcentraler, och kostnadsvillkoren här för presenteras. Däremot blir de försvarbara kostnaderna för rena säsongslager så låga att groppcentraler vanligtvis ej kan möta kraven eller ej kan konkurrera med lämpliga markmagasin. Några undantag till denna regel kan finnas i speciella system.

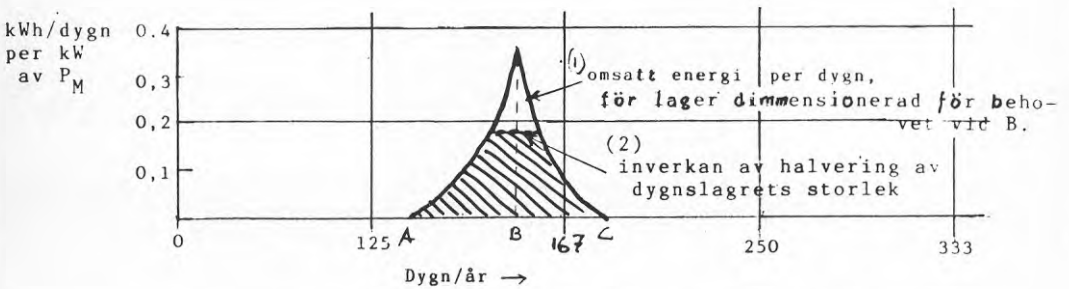
Kan man (till rimligt pris) få fram gropmagasin som tål samma temperaturer som ståltankar vid atmosfärstryck och som inte fordrar värmeväxlare, blir den försvarbara kostnaden per m<sup>3</sup> nära den för en dylik ståltank, även för högtemperaturlämpningar.







FIGUR 7. VARAKTIGHETSKURVOR SOM ILLUSTRERAR DYGNSLAGRING AV BASLASTENERGI



FIGUR 8: DYGNSLAGRAD ENERGI, ENLIGT FÖRHÅLLANDENA FIG. 7

(Ytan under kurvan representerar energin som lagret omsätter per år per kW av  $P_M$ )

VÄRDET AV ENERGISUBSTITUTION

$= N (C_u - C_L / \eta) / f_L$

ANTAR  $N = 40$ ,  $C_u = 0.21$  kr/kWh  
 $\eta = 0.95$ ,  $f_L = 0.095$

LADDNING GENOM  $C_L$  kr/kWh  
 KAPITALISERAD VÄRDET kr/m<sup>3</sup>  
 $\Delta T = 20^\circ C = 30^\circ C = 52^\circ C$

KOLPANNAN	0.143	500	825	1300
VÄRMEPUMP (ELE. 0.3 kr/kWh Y.F. = 3)	0.100	1060	1600	2520
SOPFÖRÄR. PANNAN	0.040	1550	2300	3680

↑  
 KOSTNAD AV  
 LADDNINGSENERGI

VÄRDET AV EFFEKTKÄPNING:-

a) LAGRET ERSÄTTER NY PANNAN:-  
 $= \frac{I_P}{H} \frac{f_P}{f_L} = \frac{500 \text{ kr/kWh}}{6R} \times (0.087 + 0.02)$

$= 94 \text{ kr/kWh}$  eller vid:

$\Delta T$	20°C	30°C	46°C
kr/m <sup>3</sup>	22	33	52

kr/m<sup>3</sup> 2070 3100 4890

b) GAMMAL PANNAN HAN TARS UR  
 DRIFT:  $f_P = 0.01$

$94 \text{ kr/kWh} \times 0.02 / 0.167 = 20.60 \text{ kr/kWh}$

$\Delta T$	20°C	30°C	46°C
kr/m <sup>3</sup>	220	330	520

\* ANTAR 95% AV VOLYMEN UTNYTTJAS  
 \*\* = 2% ANTAGEN UNDERHÅLL & PERSONAL

Skala för den översta kurvan:

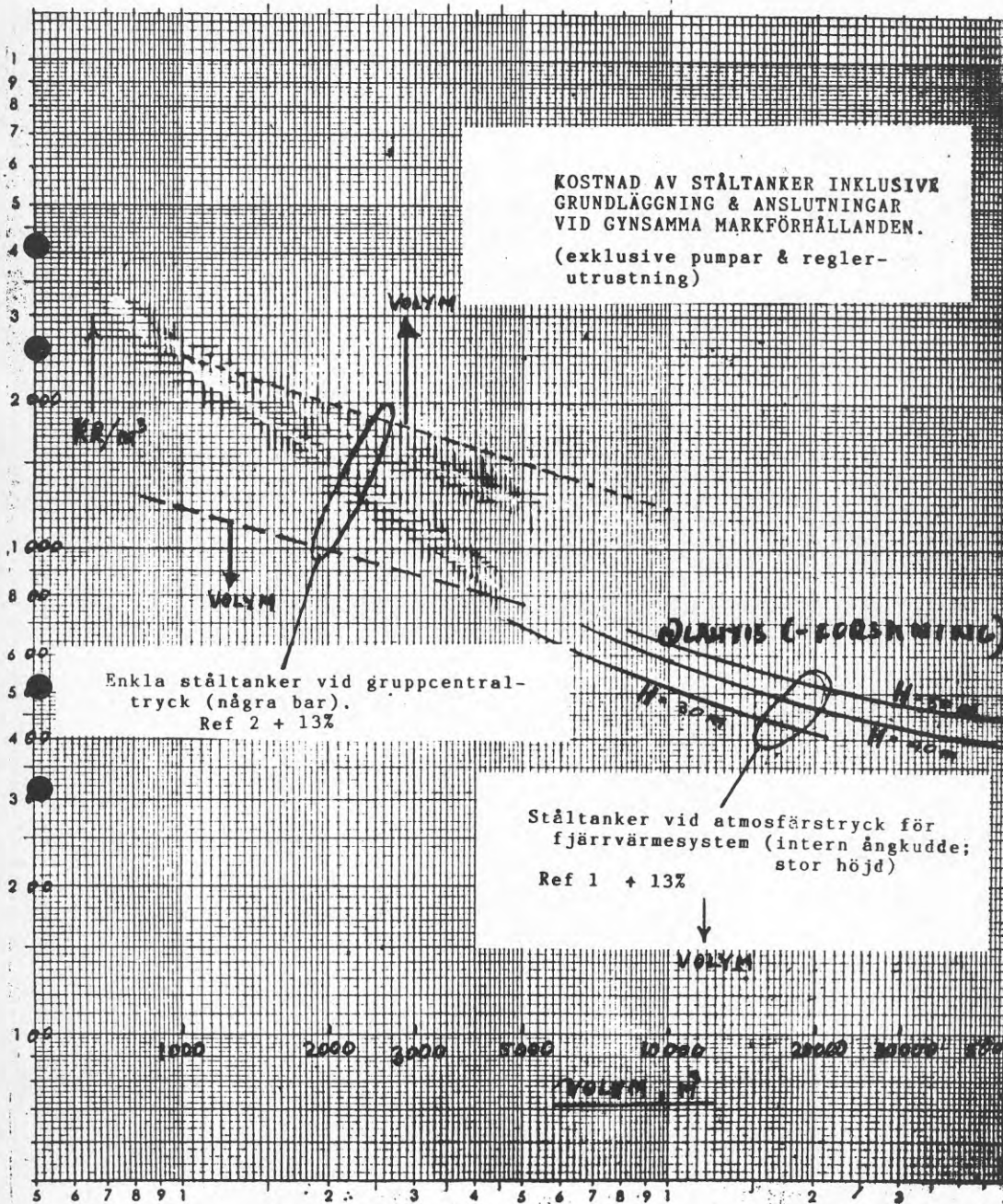
Volym, m<sup>3</sup>

100

200

500

1000



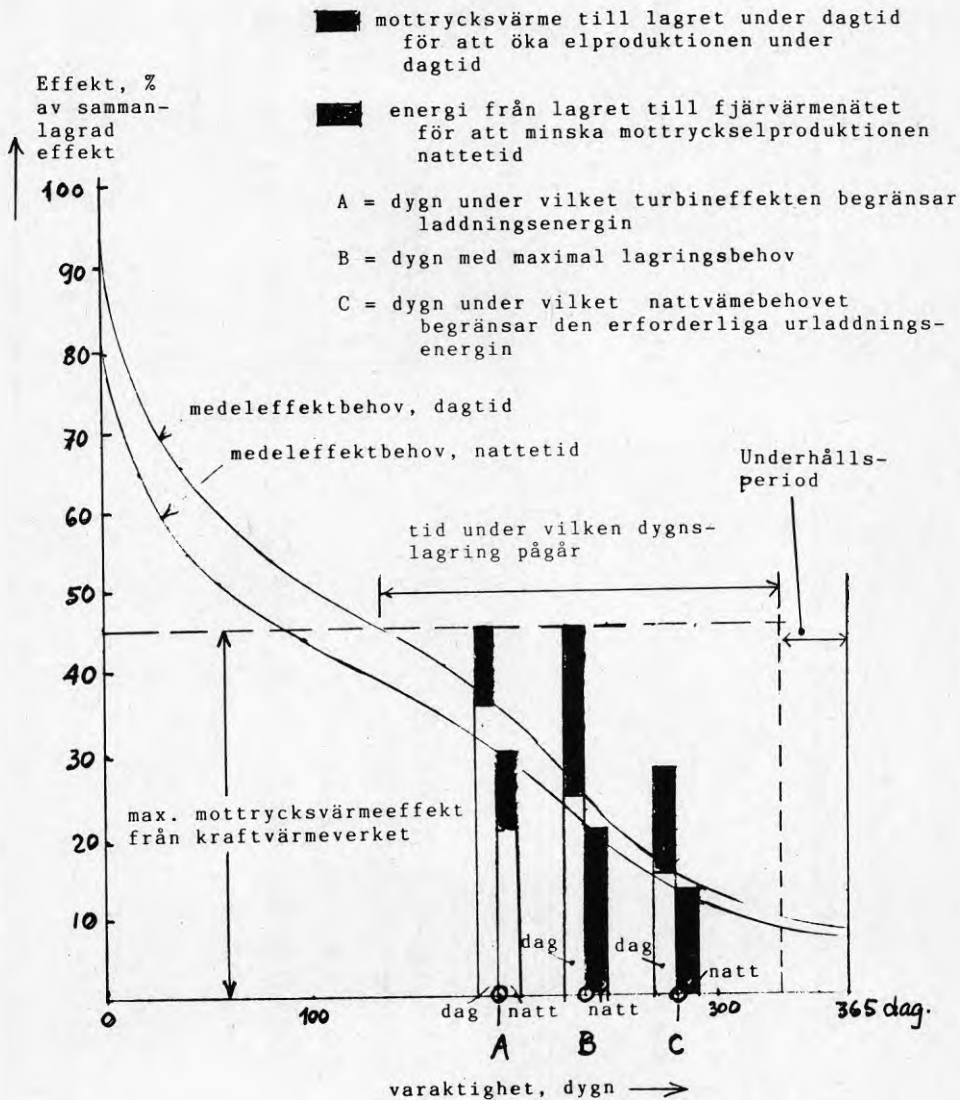


Fig. Dygnslagring vid mottryckskraftvärmeverk för att utnyttja prisskilnaden mellan dagel och nattel

MAX. MOTIVERAD KOSTNAD AV GROPMAGASIN PER m<sup>3</sup>

$$= \left[ \begin{array}{l} \text{KOSTNAD AV} \\ \text{STÅLTANK} \end{array} \right] \times \frac{\Delta T_G}{\Delta T_S} - X$$

G = GROPMAGASIN

S = STÅLTANK

X = VÄRDET AV TRYCK-HÅLLNING GENOM STÅLTANK

+ KOSTNAD AV EVENTUELL VÄRMEVÄXLARE FÖR GROPMAGASIN.

VÄRMEVÄXLARENS KOSTNADSBIDRAG:

a) DIREKT  

$$= \frac{I_v \cdot kT}{\Delta T \cdot H}$$

1.2x  $\frac{200 \text{ kr/k} \cdot \text{K}}{4^\circ\text{C} \times 6 \text{ h}} = 8.3 \text{ kr/kWh}$

AT, °C    20    30    40  
 KOSTNADSBIDRAG, kr/m<sup>3</sup>    183    274    420

b INDIREKT

LAGEETS STORLEK ÖKAS I FÖRHÅLLANDET: -

1 :  $1/\left(1 - \frac{2\Delta T}{\Delta T}\right)$  NÄR VATTNETS FRAMLEDNINGENS TEMP. BEGRÄNSAR  $\Delta T$

ELLER

1 :  $1/\left(1 - \frac{\Delta T}{A}\right)$  NÄR LAGEETS MATERIAL BEGRÄNSAR TEMP.

# MARKNADEN

## ① KORTTIDSLAGRING -

	TANKSTORLEK m <sup>3</sup>		
	DYGNLAGRING	(FLERDYGN- LAGRING)	ENERGI SUBST (?)
	ENERGI SUBSTITU- TION	EFFEKT KAP- NING	
<u>FJÄRRVÄRME</u>	~ 10 m <sup>3</sup> /MW <sup>xx</sup>	~ 30 m <sup>3</sup> /MW	~ 100 m <sup>3</sup> /MW <sup>xx</sup>
$P_M = 1000 \text{ MW}$	10 000	30 000	100 000
å	å	å	å
50 MW	500	1 500	5 000 (?)
<u>STORA GRUPP- CENTRALER</u>			
$P_M \sim 20 \text{ MW}$	200	600	Ri ekonomisk

x  $P_n = \text{MAX SAMMANLAGRAD EFFEKT}$

xx PER MW AV  $P_M$

NÄR FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖRLIGGER

## ② KOMBINERAD KORTTIDS- & MELLANTIDSLAGRING I FRAMTIDA SOLVÄRMECENTRALER.

## INSTALLATIONSTEKNIK C T H

## 8.2 SOLVÄRME MED SÄSONGLAGER - Värmelager

Civ ing Jan-Olof Dalenbäck

Då det gäller solfångare och distributionssystem finns det inga grundläggande skillnader mellan mindre och större solvärmeanläggningar. Solfångararean är direkt proportionell mot den värmemängd som skall insamlas under säsongen. Det konventionella VVS-systemet i anläggningen skalas upp med ökande anläggningsstorlek, dock utan att förändras principiellt.

Då det gäller värmelagret däremot kan man vinna såväl värmetekniskt som ekonomiskt, då anläggningsstorleken ökas.

Med det här som bakgrund kan man då urskilja två tänkbara huvudtyper av anläggningar för verkliga tillämpningar.

- **Små och medelstora värmecentraler**, ca 100-3000 kW anslutningseffekt, (300-8000 MWh värmebehov).
- **Stora värmecentraler** med 5 MW eller större anslutningseffekt (12 GWh eller större värmebehov).

Då ett vattenlager används som säsongslager i en solvärmeanläggning, är följande lagervolymer aktuella för de tidigare beskrivna anläggningsstorlekarna:

- 2.000-60.000 m<sup>3</sup> i små och medelstora anläggningar
- 100.000->300.000 m<sup>3</sup> i stora anläggningar.

I små och medelstora anläggningar krävs, då lagervolymer är relativt liten, ett isolerat värmelager, medan värmelagret i de stora värmecentralerna, då förhållandet mellan omslutningsarea och volym där är mindre, kan utföras oisolerat.

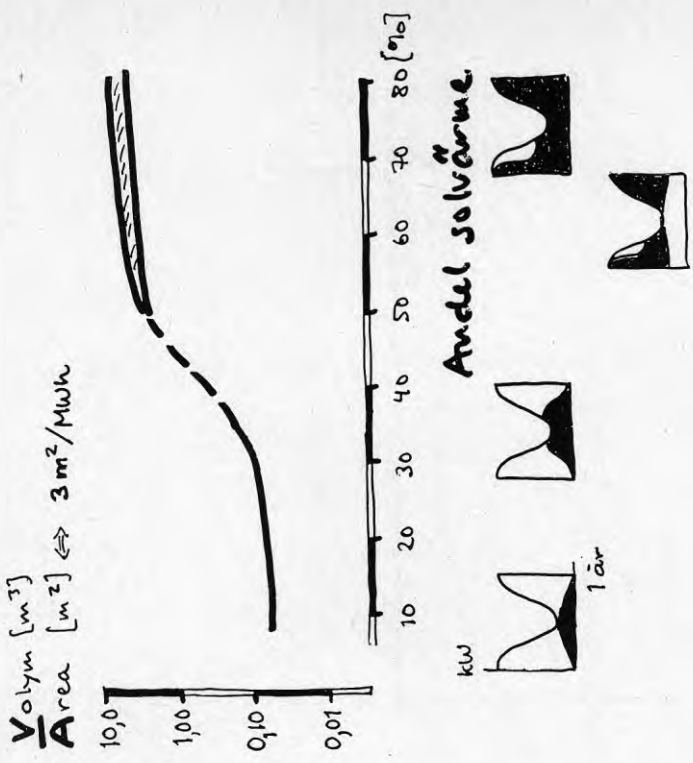
I större anläggningar kan knappast annat än vattenfyllda oisolerade bergrum komma ifråga som värmelager.

Sammanfattningsvis kan man konstatera följande.

- För att erhålla en värmekostnad på 40 öre/kWh i en gruppcentral får kostnaden för solfångarsystemet inte överstiga 800-1000 kr/m<sup>2</sup> och lagerkostnaden måste vara i intervallet 190-240 kr/m<sup>3</sup>.
- För att erhålla en värmekostnad på 30 öre/kWh i en fjärrvärmecentral får kostnaden för solfångarsystemet inte överstiga 800 kr/m<sup>2</sup> och lagerkostnaden får inte överstiga 100 kr/m<sup>3</sup>.

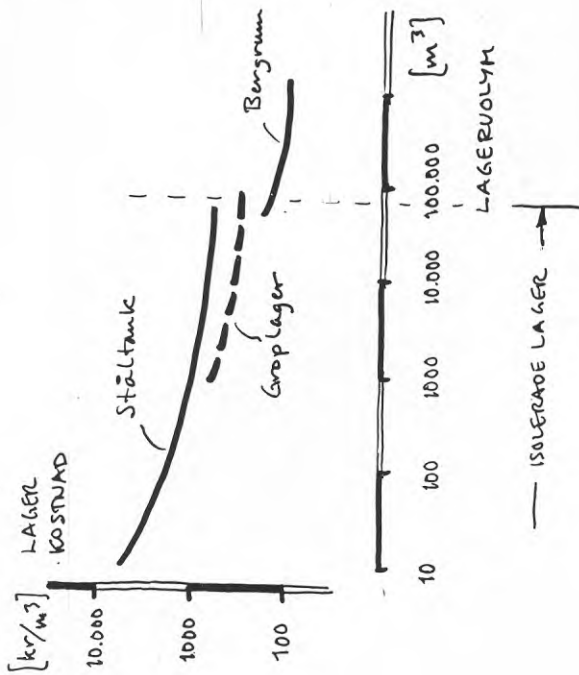


ISOLERADE VATTENLAGER  
 ÄR INTRESSANTA FÖR  
 GRUPPCENTRALER MED  
 SOLVÄRME OM ANLÄGG-  
 NINGSKOSTNADEN ÄR  
 LÄGRE ÄN 300 KR/m<sup>3</sup>



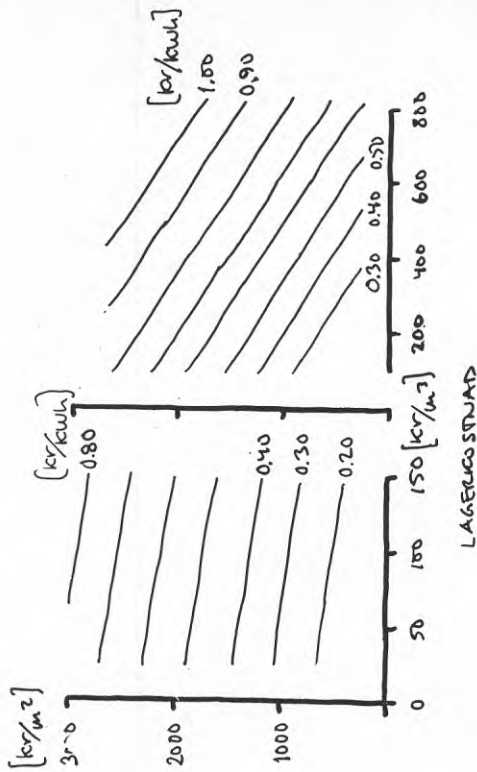
# SÖLVÄRM EKOSTNAD

$$K_v = \frac{\text{SOLF. KOSTN} + \frac{V}{A} * \text{LAGKOSTN.}}{\text{NETTO UTMBYTE}} \quad (* \text{ ANU})$$



870512/300/3

# "FÄRRVÄRME" GRUPPCENTRAL



870512/300/4

## 8.3

Kalkylfaktorer inför en byggnadsentreprenad

†1987.05.12 Börje Gustavsson, ABV

GROPMAGASIN I BERG.CHECKLISTA, INNEHÅLLANDE DEL AV DE FAKTORER SOM KAN PÅVERKA PRISET.

1. FINNS BEHOV AV FYLLNADSMASSOR, AVSTÅND?
2. BRIST PÅ BALLAST FÖR T EX BETONG ELLER ASFALTMASSOR?
3. KAN LANDSKAPSBILDEN SNYGGAS TILL MED HJÄLP AV BERGMASSA?
4. BERGETS KVALITET, DUGER DET TILL T EX BALLAST ELLER BÄRLAGER, SPRÖDHET, FLISIGHET OCH SLIPTAL?
5. MAGASINETS MÅTT, PALLHÖJD, BREDD OCH DJUP?
6. VOLYM, MÄNGD  $m^3$  BERG SOM FINNS ATT TILLGÅ?
7. VILKEN JÄMNHET KRÄVS PÅ UTSPRÄNGDA YTOR?
8. ARBETSMARKNADEN, SYSSELSÄTTNINGEN?
9. VINTERARBETEN?
10. KAN VI VÄNTA OSS FLER LIKANDE ARBETEN?

OVANSTÅENDE ÄR URVAL AV DET SOM KAN PÅVERKA PRISET UPP OCH NER.

ANLÄGGNINGEN I KV. KRONHJORTEN HÄR I VÄXJÖ, HAR UR KOSTNADSSYNPUNKT DRABBATS AV ALLA DE SVÄRIGHETER ETT BERGLAGER KAN RÅKA UT FÖR.

VÄXJÖ TÄTORT HAR ETT MYCKET SVÅRT YTBERG, ARBETSTEKNISKT: OFTAST SKIVAT SÅVÄL VERTIKALT SOM HORIZONTALT MED MELLANLIGGANDE LERKÖRTLAR SOM FUNGERAR SOM "KULLAGER". DESSA LERSKIKT HAR GJORT ATT UR SKYDDSSYNPUNKT SÅVÄL UNDER ARBETSUTFÖRANDE SOM UNDER DRIFT AV KRONHJORTENS MAGASIN, HAR OMFATTANDE FÖRSTÄRKNINGSARBETEN MÅST GÖRAS OCH DE ÖVRE 3 M HAR ERSATTS MED EN BETONGSARG.

DESSA SVÄRIGHETER UNDER ANLÄGGANDET FÖRDYRAR JU EN ANLÄGGNING AVSEVÄRT, MEN GER JU OCKSÅ NÖDVÄNDIG ERFARENHET OCH UPPMÄRKSAMHET PÅ ATT MAN BÖR ARBETA FRAM OLIKA ALTERNATIV PÅ MAGASIN. OVAN NÄMNDA ARBETEN FÖRDYRAR DENNA ANLÄGGNING MED C:A 500:-/ $m^3$ , MEN GER FÖRHOPPNINGSVIS ERFARENHET TILL 1000.

NORDISKT SAMARBETE OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
NBS-E SEMINARIUM, MAJ 1987 I VÄXJÖ

84 Referat av kommentarer och diskussioner om  
KOSTNADER

- T. Jilar: Vad är rimlig intäkt för utsprängt bergkross såsom ballastmaterial?
- B. Gustavsson: 40 à 80 kronor per m<sup>3</sup> (löst berg).
- S-E. Lundin: Det vore intressant att få belysning av normala kostnader och dessas fördelning på:  
..schakt, ..tätskikt, ..värmeisolering mark...lock...etc
- P. Margen: Antag: 1) man skall konkurrera med ett energipris om 30 öre/kWh  
2) energikostnad från solfångare är 0  
3) kostnader för kapital och för underhåll är tillsammans 10 % av anläggningskostnaden  
Då måste lagret byggas för cirka 100 kr/m<sup>3</sup>, vilket knappast kan göras. Solfångarsystem blir intressanta först då dess kostnader möter oljepriset.  
Det verkar vara bättre, att i nuläget rikta sig mot fjärrvärmemarknaden som avnämare för lager.
- T. Jilar: Man bör minnas att lagringskostnaden minskar då antalet omsättningar ökar.
- V. Ussing: Vi är dock endast i inlärningsstadiet för närvarande.
- G. Gustafson: Det är nog viktigt att en marknad skapas. Man bör därför söka efter den marknad som har bäst utsikter och få igång anläggningar i sådan mängd, att beteckningen "konventionell teknik" kan etableras även för gropmagasin.
- V. Ussing: Uttrycket:  
"OM solenergi med säsongslagring är ekonomiskt..."  
bör genomgående skiftas mot:  
"NÄR solenergi med säsongslagring blir..."  
  
Man bör locka bort stålbyggare från de stora lagren. Lagrens nytta som spets-dämpare och som effektreserv bör föras fram.
- A. Boysen: Mindre förbrukning av olja och andra bränslen ger ju direkta besparingar. Viss indirekt nytta såsom "miljöförbättring..." och "säkerhetsvärdet..." bör också kvantifieras i ekonomiska termer.

9.       STUDIEBESÖK VID ANLÄGGNINGSARBETENA  
FÖR KRONHJORTEN-MAGASINET VÄXJÖ

CLAES PETTERSSON  
GÖRAN HULTMARK

# Nordiskt intresse för värmelagring i Växjö

76

9.1

□ **Gropmagasinet för lagring av solvärme, som är under byggnad i kvarteret Kronhjärten i Växjö, var igår medelpunkten för ett nordiskt expertseminarium om värmelagring i Växjö. Någon sol lyste inte över sällskapet, men när det handlar om vattenfyllda värmemagasin kanske det passar in bättre att det regnar. De anförande som hölls i Växjö kommer att ingå i en rapport från Bygghörsrådet.**

Expertgruppen från Danmark, Norge, Finland och Sverige kunde ta del av ett digert vetenskapligt material sammanställt av arrangörerna Kjessler & Mannerstråle Växjöföretag Ingenjörfirman Bååth.

– Innan vi bygger Ingelstad 2 vill vi försäkra oss om att tekniken är lönsam. Därför bygger vi nu i experimentsyfte gropmagasinet i kvarteret Kronhjärten. Försöket kommer att kompletteras med ytterligare ett litet magasin, berättar Göran Hultmark från Scandinavien Solair AB i Göteborg, som i sin tur äger Teknoterm i Växjö och Ingelstad.

## NYTT PÅ SÄRO

Experimentlager två kommer enligt Hans Andersson från Bygghörsrådet att byggas på Särö strax utanför Göteborg. Solvärmerektören berättar att Ingelstad 2 blir på minst 17 000 kubikmeter vatten, vilket skall jämföras med Kronhjärtens drygt 800.



Visst tror vi på solenergi, konstaterade Hans Andersson från Bygghörsrådet. Fast på lite sikt. Och regnet det bara öste ner. (Foto: INGEMAR KROON)

Kronhjärten får 450 kvadratmeter solfångaryta av konventionell teknik. Lagervolymen skall täcka mellan 60–75 procent av en kontorsbyggnads värmebehov under ett år. Lokalerna blir på 2 400 kvadratmeter. Tolv meter brett, 14 meter långt och sju meter djupt är gropmagasinet ungefär som ett trevåningshus.

## PLASTSKUM

Magasinets väggar får först ett sprutlager av betong innan det isoleras med polyuretanskum. Mellan isolering och skum läggs en svetsad polyetenduk. Duken skall förhindra läckage av såväl vatten som energi.

Oljan kommer alltså väl till plats, även när det gäller solenergi, men då som isolering.

Den maximala temperaturen i lagret blir +80 grader.

– Kronhjärten kommer att ge en utvärdering av värmeisolering direkt på berg, berättar Sven-Erik Lundin från Kjessler & Mannerstråle men under många verksam hos Bygghörsrådet.

## DYR FINANSIERING

Enligt Hans Andersson är solvärmeprojektet forskning som på lite sikt (10–20 år) skall ge resultat. De stora projekt som nu planeras, t.ex. Lyckebo utanför Uppsala, kommer enligt beräkningarna att leverera energi till kostnad av 40–50 öre per kilowattimme. Magasinet i Lyckebo blir på 100 000 kubikmeter. Ett planerat magasin i Kungälv rymmer 400 000.

Osäkerheten gäller finansieringen av dessa stora byggen. När det gäller den mer experimentella delen av solvärmeprojektet är stöd garanterat från departementet fram till 1990.

– Men vi tror faktiskt på fortsatt intresse från statsmakternas sida, eftersom vi skall ses som ett alternativ till förbränning av olja, kol och ved, konstaterar Lundin.

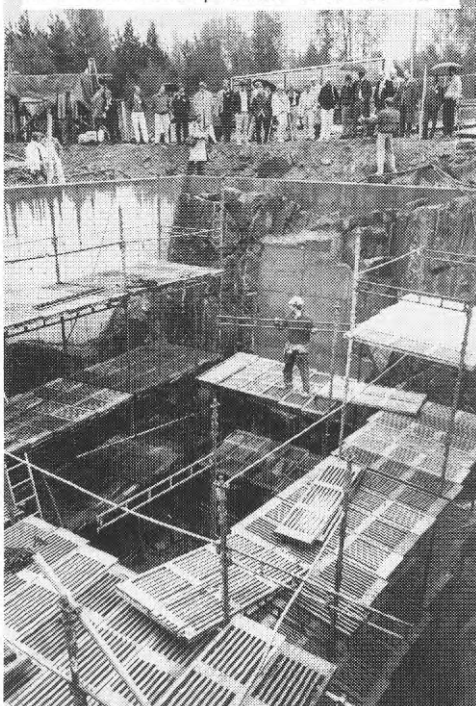
Någon jämförelse med den lika rena men betydligt billigare kärnkraften vill solvärmepionjärer helst inte göra.

## TESTLAGER BYGGES OM

Kommunalrådet Sune Svantesson, Växjö, berörde i sitt inledningsanförande forskning och utveckling under 70-talet.

– Det testlager på 27 kubikmeter i Ingelstad skall byggas om

Ur: "Smålandsposten 1987-05-12"



Gropen i kvarteret Kronhjärten i Växjö skall användas för lagring av solvärme. I går samlades forskare från hela Norden runt dess imponerande djup. Efter isolering skall gropen fyllas med cirka 800 kubikmeter vatten. (Foto: INGEMAR KROON)

för ett nytt försök med ett tät-skitmaterial. Just det här lagret har varit en föregångare till Kronhjärten och därmed även till Ingelstad 2, berättade Sune Svantesson.

– Jag tror på solvärmelagring. Vi började med kostnader på 1,50 kWh och är nu nere i 25 öre när det gäller direktanvändning utan lagring, säger Svantesson.

## TILL EN RAPPORT

De föredrag som hölls i Växjö skall ingå i en bygghörsrapport från Bygghörsrådet. Rapporten kommer bland annat att bilda underlag till politiska beslut.

Sedan 1982 har en nordisk expertgrupp arbetat med frågor kring säsongsvärmelagring. En stor del av arbetet har gällt informations- och forskningsutbyte. De svenska insatserna har samordnats genom Bygghörsrådet. Liknande de svenska ex-

perimenten görs även i Danmark.

– De geologiska förutsättningar i Danmark skiljer sig från de vi har i Sverige. Det gör att forskningsutbytet är mycket intressant, konstaterar Torbjörn Jilar på Chalmers avdelning för installationsteknik.

Jilar medger att solvärme idag inte tål en jämförelse med den billiga oljan, men han menar solvärme också är en resurs, som måste bedömas för sig och då med betoning på miljövärdsaspekter.

Värmelagring i vatten är en teknik som har använts länge för att utjämna effektbehov och värmeförbrukning under korta perioder. Den storskaliga tekniken som solvärmerna kräver har börjat att tillämpas under 80-talet. Problemen med isolering och tätning närma sig nu sin lösning. BO J PETTERSSON

9.2 Ur: "BYGGINDUSTRIN 19.87"

## Växjö först med värmelager i gropmagasin

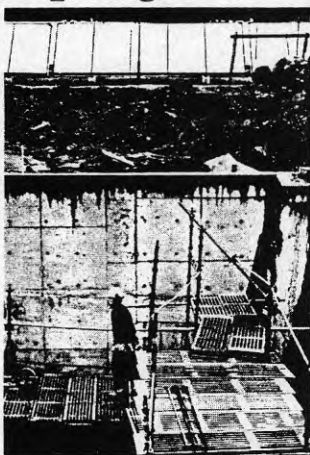
Ett nordiskt seminarium om värmelagring i gropmagasin har hållits i Växjö. Sverige är föregångare på området och Växjö kommun har gjort ett pionjärbete bli genom att installera landets första solvärmeverk. I Ingelstad utanför Växjö byggdes i slutet av 1970-talet ett solvärmeverk med en 5 000 m<sup>3</sup> betongtank ovan jord. För att förbättra lagringstekniken utvecklas nu med stöd från Byggeforskningsrådet ett groplager, s k dikesmagasin, i Växjö.

För att anläggningskostnaden skall bli konkurrenskraftig krävs på längre sikt att lagerkostnaden inte överstiger 300 kr/m<sup>3</sup>. Genom lägre anläggningskostnader för solfångarfält uppnås då en solvärmekostnad på ca 45 öre/kWh. Detta erinrade kommunalrådet i Växjö *Sune Svantesson* om i sitt hälsningsanförande vid

seminariet. Han hälsade för alla välkomna till Växjö för att se kommunens anläggningar.

För närvarande byggs ett nytt solvärmeverk som ska svara för ca 60 proc av ett intilliggande 2 500 m<sup>2</sup> kontorshotells årliga värmebehov. För detta behövs ett 1 200 m<sup>3</sup> isolerat dikesmagasin och 450 m<sup>2</sup> solfångare. Lagrets ytterdimensioner blir 12 x 14 x 7 m (bredd, längd och djup). Lagrets maximala temperatur blir +80°C. Väggarna isoleras med polyuretanskum, taket med markskivor av polystyren medan golvet inte behöver isoleras alls.

Platschefen *Börje Gustafsson*, ABV, kunde dock vittna om att från kostnadssynpunkt har anläggningen drabbats av alla tänkbara svårigheter för ett berglager. Ytberget är mycket problematiskt, oftast skivat både vertikalt och horisontellt med mellanliggande lerkörtlar som fungerar som ett slags kullager. Omfattande förstärkningsåtgärder har måst göras och lagrets översta 3 m har gjorts som en be-



Det 7 m djupa gropmagasinet måste förstärkas med en 3 m hög betongsarg. Solfångarfältet skymtar överst.

tongsarg. Svårigheterna fördyrar avsevärt anläggningen men ger också nödvändiga erfarenheter och visar att man bör arbeta med olika alternativ för dessa magasin. Avslutningsvis konstaterar han en fördyring med ca 500 kr/m<sup>3</sup> men med erfarenheter "till tusen".

*Bengt Sten*

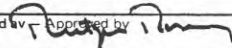




10. MATERIAL OCH ARBETSUTFÖRANDE

ORDF. PREBEN NORGARD HANSEN

# Studsvik Arbetsrapport - Technical Report

Projektidentifikation - Project identification	Datum - Date 81-09-14 <del>81-11-30</del>	Org enh och nr - Report No. ET-81/105 24/142
Titel och författare - Title and author  UTVECKLING OCH UTVÄRDERING AV MATERIAL FÖR STORA VARMVATTENMAGASIN. FORTSATT PROVNING 1981 - 83.  Mats Ifwarson		
Distribution  Begränsad distribution		
Godkänd av - Approved by 	Kontornr - Internal notes 5134221	<input type="checkbox"/> Rapporten skall förhandsviseras
<p>Anledningen till platsmaterialens åldring och försämrade egenskaper beror framför allt på termooxidativ nedbrytning, i vissa fall även kombinerat med hydrolys av polymererna. Den absolut viktigaste uppgiften vid användning av plast i varmvatten är därför att försäkra sig om att denna kemiska påverkan ej sker eller att den sker med tillräckligt låg hastighet. Den kemiska nedbrytningshastigheten är starkt knuten till temperaturen via en exponentiell funktion. Långtidstestsök är absolut nödvändiga vid den här typen av undersökningar eftersom drastiska förändringar i materialen kan ske mycket snabbt.</p> <p>De erfarenheter som finns av plastmaterial i mycket varma och fuktiga miljöer är begränsade. Generellt sett är emellertid åldringsbeständigheten och därigenom materialets livslängd den kanske mest kritiska egenskapen.</p> <p>Förutom goda åldringsegenskaper krävs dessutom mycket låg diffusion av vattenånga genom täcksiktet samt god långtidshållförmåga.</p>		

# LÅNGTIDSTEST AV TÄTSKIKT

M Jvarsson Studsvik <sup>81</sup>

10.1 OH-bild

NBS-E 87-05-12

Presenterat vid konf av

PROBLEM ATT LÖSA:

S-E hundin KM

1. livslängden, obelastad av tryck
2. -"- , belastad. -"-
3. Upptagande av deformation i underlag
4. skarvars livslängd
5. Mekanisk punkthållfasthet
6. Montering-arbets teknik
7. Diffusion
8. Värmeisolering (Hållfasthet / Justerförmåga)

PROVNING:

- Accel. under 1-2 år
- Ca 60 olika kvaliteter / material

RESULTAT:

		T <sub>max</sub> / ålder	Anm
ESPR	gummi	—	Olämpligt
BUTYL	"	+40° / 25 år	(Många kvaliteter finns)
EPDM	"	+70° / 25 år	(Svårt att följa teknik?)
PE	folie	+65° / 25 år	PEM bra (+80° / 25 år?) FOGN MÅSTE UTVECKLAS
PB	"	— ? —	
PP	"	+80° / ?	Styrka - Draghållfasthet?
PVC	"	—	Ëj bra!
PVDF	"	+90° / 25 år	(Dyrast - Bäst) !?
Metall-liner	Fe-Pb-Cu	+100°	Äldre erfarenheter

SLUTSATSER

- Använd Polyeten PEM
- Provmetodik finns nu
- Temp-variation/varaktighet viktiga parametr
- Värmeisol PUR och MIN-ULL är OK

## LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

## 10.2

## "Separationsskikt i gropar"

Civilingeniør Vagn Ussing  
Laboratoriet for Varmeisolering, DTH

Det danske F&U-arbejde vedrørende damvarmelagre for så vidt angår "separationsskikt" har tidligt taget udgangspunkt i de for vandlagre i jordbassiner gennem mange årtier anvendte principper for tæthed.

Damvarmelagre forudsættes derfor konstrueret således, at vandmassen er sikkert opmagasineret bag dæmninger med lerkerner som tætning.

Anvendelsen af "separationsskikt" er derfor i de danske projekter alene et spørgsmål om kemisk "separation" af lagervandet fra damvarmelagerets lervægge og fra lågisoleringen.

Til lavtemperaturanlæg ( $T < 80^{\circ}\text{C}$ ) anvendes 2,0 mm HDPE mellem lagervand og ler og mellem lagervand og lågisolering.

Til højtemperaturanlæg  $T < 110^{\circ}\text{C}$  anvendes 2,0 mm HDPP. Da materialets mekaniske egenskaber anses for uvæsentlige i forbindelse med materialets "separationsfunktion" regnes de foreliggende undersøgelser af materialerne tilfredsstillende.

Maj 1987

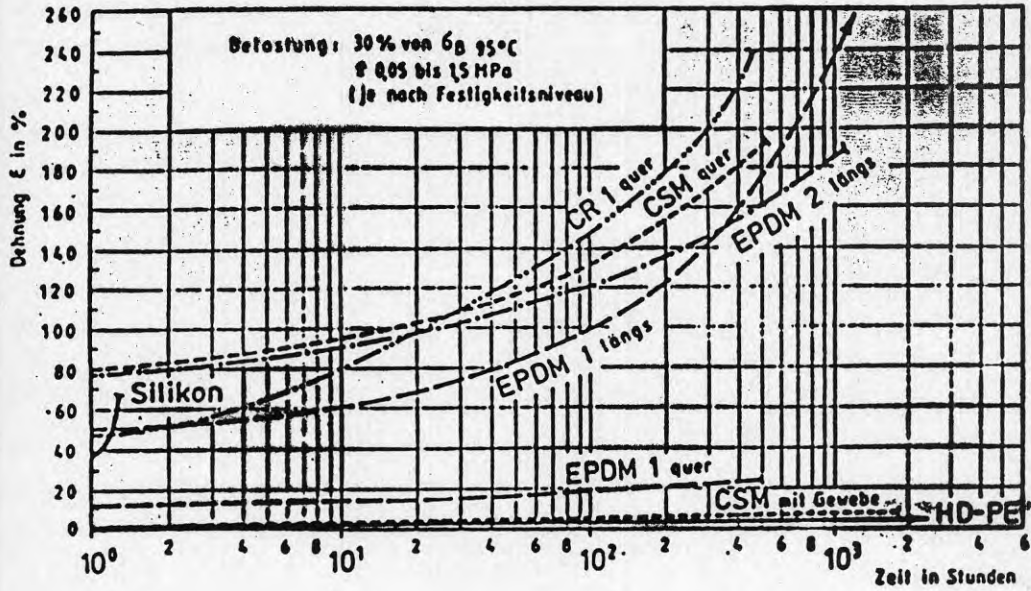
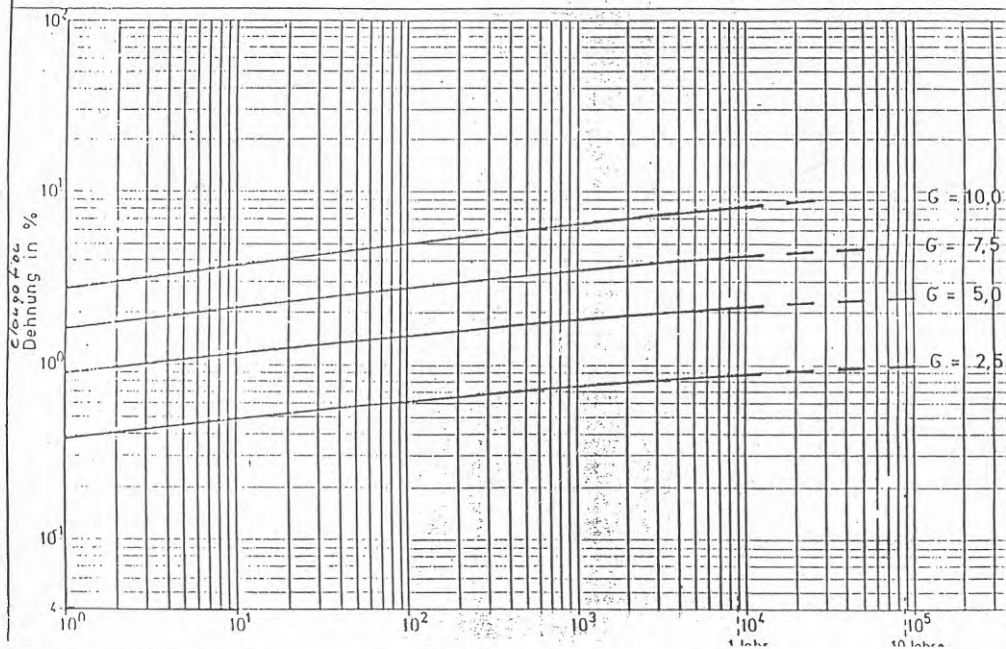


Bild 3. Kriechkurven von Proben aus Kunststoffbahnen bei konstanter Zugbelastung in 95 °C warmem Wasser (Speicher-Abdichtung).

Unters.-Nr. 156/157 Material: VESTOLEN P 6422

Prüftemp.: 23 °C

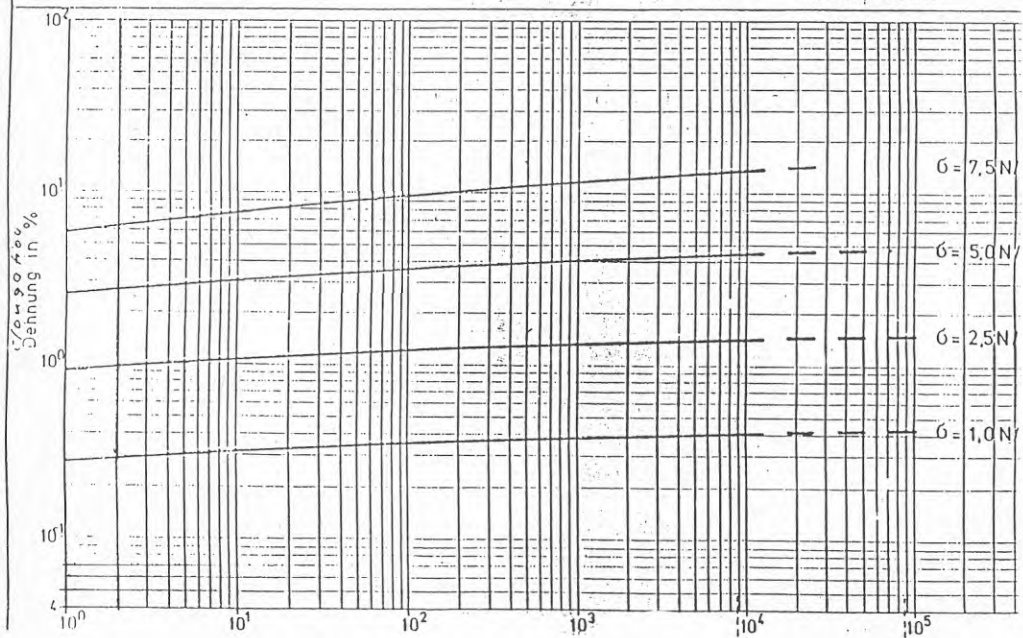
Probenform Nr. 3, DIN Datum 1980



Unters.-Nr. 156/157 Material: VESTOLEN P 6422

Prüftemp.: 50 °C

Probenform Nr. 3, DIN Datum 1980



Zeitdehnlinien

aus dem Zeitstandzugversuch nach DIN 53 444

Unters.-Nr. 156/157 Material: VESTOLEN P 6422

fest Temperatur Probenform Nr. 3, DIN 53  
Prüftemp.: 80 °C Datum 1980

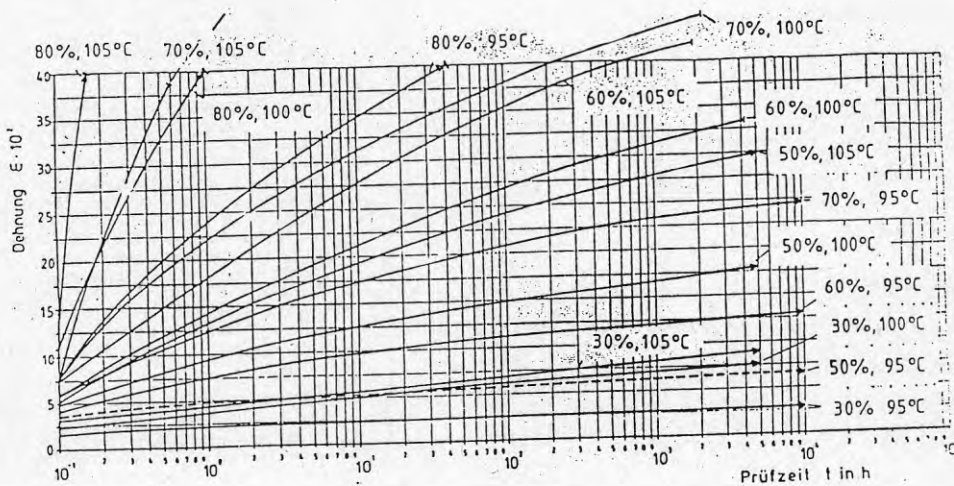
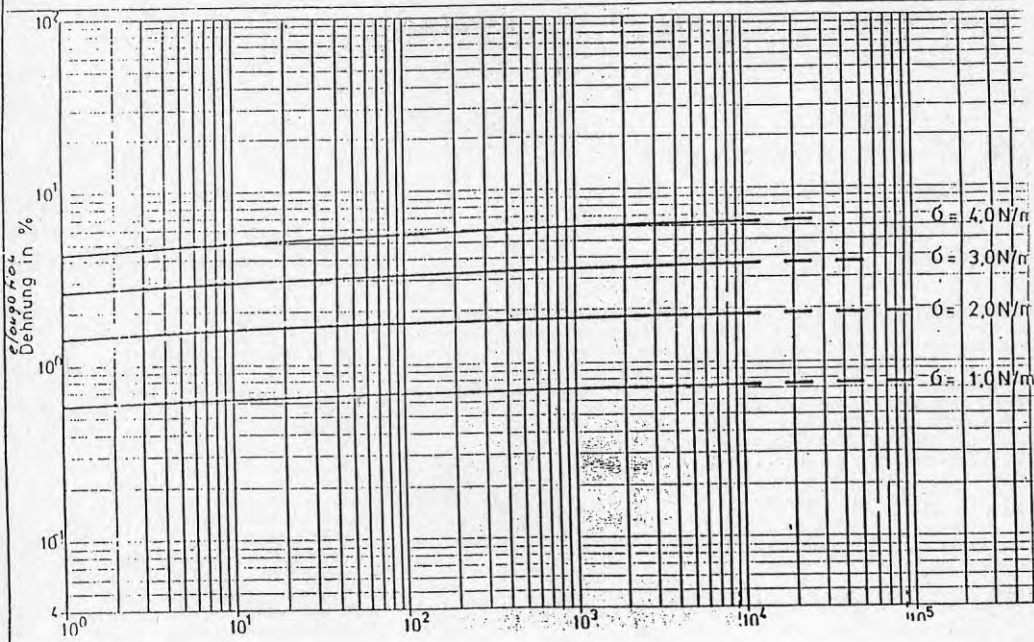


Bild II/16: Übersicht über die Kriechverformungen von HD-PE (Schlegel-Platte) in 95°C, 100°C und 105°C warmem Wasser bei konstanten Belastungen mit 30 % bis 80 % von  $\sigma_B$  95°C.

## 10.3 TÄTSKIKT AV POLYETYLEN

Arne Rebo, Protan A/S, Drammen

Protan A/S har bl.a. en schweizisk licens för tätduk av "high density polyetylen. Duken är svartfärgad, 2 mm tjock och består av tre skikt. Den levereras i 2,5 m bredd och svetsas på platsen. Duken tål kemikalier, kyla och värme intill 90 °C.

Nedan visas utdrag ur fabrikantens broschyr. Därtill höt en referenslista om fler än 120 st avfallsupplag, varav hälften har duk större än 5000 m<sup>2</sup> (de tre största är 50-60 000 m<sup>2</sup>).

## 2. Der Werkstoff Polyäthylen

## Physikalische Eigenschaften von Sarnafil Typ P 800

Polyäthylen (PE) gehört in die Kunststoffgruppe der Thermoplaste. Das sind makromolekulare Verbindungen, die innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches vom festen in einen plastischen, formbaren Zustand übergehen. Besonders typisch für Polyäthylen ist die hohe Chemikalienbeständigkeit. Weitere kennzeichnende Eigen-

schaften sind die hohe Zähigkeit bei tiefen Temperaturen und die Formbeständigkeit bei höheren Temperaturen. Dazu kommt die hohe Reiss- und Durchschlags-Festigkeit.

## Der Werkstoff Polyäthylen – aus der Deponietechnik nicht mehr wegzudenken.

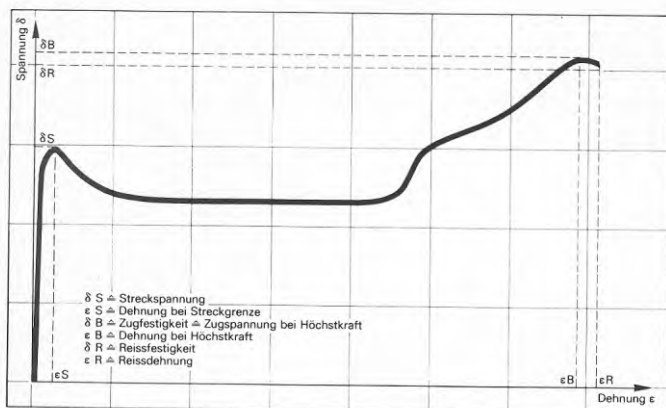
Optimale Polyäthylen-Typen decken folgendes Anforderungsprofil ab:

- hohe Chemikalienbeständigkeit
- konstantes Verhalten im Zugversuch
- hohe Durchschlags- und Durchstossfestigkeit
- Kälteflexibilität
- Wärmebeständigkeit
- hohe Dauerdruckfestigkeit
- gutes Verhalten im biaxialen Dehnversuch
- gute UV-Beständigkeit
- gute Schweissbarkeit

Sarnafil P 800 weist ein sehr konstantes Verhalten im Zugversuch auf. Die Dauerdruckfestigkeit der Abdichtung muss insbesondere bei Deponien mit grosser Schütthöhe beachtet werden. Für den Einbau der Abdichtung ist eine hohe Durchschlagsfestigkeit gefordert. Sarnafil P 800 wird nach Norm SIA 280 geprüft und erreicht mit dem 500 gr Schlagbolzen aus Stahl Werte von über 2 m Fallhöhe bei 3 mm dicken und 1,35 m bei 2 mm dicken Materialien. Die Kälteflexibilität ist beim Wintereinbau und der Witterung ausgesetztem Material wichtig. Sarnafil P 800 erreicht eine Kälteflexibilität von -40°C. Die Wärmebeständigkeit ist wichtig, weil bei den Abbauprozessen im Deponiekörper beträchtliche Temperaturen entstehen, die auch die Abdichtung strapazieren können. Um die Witterungsbeständigkeit zu untersuchen, wurde Sarnafil P 800 über 11000 Stunden dem Test für freie Bewitterung (Xenontest nach Norm SIA 280) unterzogen.

## Chemische Beständigkeit

Sarnafil P 800 wurde in einer umfassenden Testserie, in welcher vor allem die chemische Beständigkeit untersucht wurde, aus mehreren Grundrezepturen ausgewählt. Für neue und alternative Rohstoffe ist die chemische Beständigkeit von Sarnafil P 800 der Beurteilungsmaßstab.



## Sarnafil P 800 Coex SWS

Physikalische Eigenschaften	Prüfmethode	Einheit	Wert/Bezeichnung
Polyäthylentyp			HDPE
Dichte	DIN 53479	g/cm <sup>3</sup>	0,944
Farbfolge			schwarz/weiss/schwarz
Reissfestigkeit	SIA 280/1	N/mm <sup>2</sup>	30
Streckspannung	SIA 280/1	N/mm <sup>2</sup>	18
Reissdehnung	SIA 280/1	%	900
Dehnung bei Streckgrenze	SIA 280/1	%	11
Faltbiegung bei -20°C	SIA 280/2		ohne Rissbildung
mech. Durchschlagfestigkeit (Materialstärke 2.00 mm)	SIA 280/14	cm	135
linearer Ausdehnungskoeff.	VDE 0304	°C <sup>-1</sup>	2,0 · 10 <sup>-4</sup>
Temperaturbeständigkeit		°C	-40 ÷ +90



## 6. Hinweise für die Planung und Verlegung

Die Planung einer Deponie sollte von einem Abfallbeseitigungskonzept ausgehen, das sämtliche Arten von Abfällen (feste bis flüssige), berücksichtigt. Nur selten vermag ein Standort für eine Deponie die Bedürfnisse des – Landschaft- und Naturschutzes – Immissionschutzes – Gewässerschutzes – ganz zu befriedigen. Aus diesem Grunde sind in der Projektierungsphase Massnahmen zu planen, die ein Minimum an Umweltbelastung garantieren, um ein Deponieprojekt auch politisch realisierbar zu machen.

Der Untergrund muss standfest und gegen das anfallende Sickerwasser abgedichtet sein. Entwässerungen an der Basis – mit eher überdimensionierten Drainagen – haben die langfristige Funktion der Sickerwasserableitung zu gewährleisten. Das Sickerwasser selbst ist biochemisch zu reinigen. Gase sollen bereits während der Deponiezeit abgesaugt und sinnvoll verwertet werden. Der Deponiebetrieb soll von aussen möglichst nicht einsehbar sein. Die eigentliche Deponietechnik ist darauf auszurichten, die biochemischen Umsetzungsprozesse zu beschleunigen und eine möglichst geringe Sickerwassermenge zu produzieren. Um nach der Betriebsphase das Eindringen von Niederschlagswasser zu verhindern, ist nach Schliessung der Deponie eine entsprechende Abdeckschicht vorzusehen, die eine Rekultivierung der Oberfläche ermöglicht.

Die Deponie kann so gestaltet werden, dass sie später als Beitrag zur Landschaftspflege dient.

Der Planer einer Deponie wird an die Basisabdichtung viele Anforderungen stellen.

Sie soll:

- chemisch resistent
- mechanisch widerstandsfähig und
- wasserdicht sein.

Sind speziell wassergefährdende Deponate, wie beispielsweise Kohlenwasserstoff-Verbindungen zu erwarten, ist die Frage der Restdurchlässigkeit der Abdichtung abzuklären. Die Abdichtung ist zu prüfen auf:

- Wurzelfestigkeit
- Langzeitbeständigkeit
- Druckfestigkeit
- Setzungsempfindlichkeit

und in Sonderfällen auf:

- Gasdichtigkeit

Ferner ist das Abdichtungssystem auf seine Eignung während des Baustellenbetriebes zu beurteilen.

Für die Projektierung von Deponien gibt es Vorschriften und Richtlinien über die allgemeinen Anforderungen an Standort, Anlage, Betrieb und Kontrolle.

Die Planung der Abdichtungsmassnahmen im Deponiebau stellt für jedes Objekt eine neu zu optimierende Aufgabe dar. Die vorliegende Broschüre soll allgemein über die Leistungsfähigkeit und die Möglichkeiten, die Ihnen die Sarna Kunststoff AG bietet, informieren. Bei der Erarbeitung von objektbezogenen Lösungen stehen Ihnen unsere Fachleute als Berater gerne zur Verfügung.

### Basisabdichtungs-Systeme

Die Basisabdichtung hat die Aufgabe, das Eindringen der wassergefährdenden Sickerwasser in den Untergrund und somit in das Grundwasser zu verhindern. Das Basisabdichtungs-System ist je nach Gefährdungspotential zu wählen. Darunter verstehen wir Folgeschäden, die bei ganzem oder teilweisem Ausfall der vorgekehrten Schutzmassnahmen auftreten können.

Massgebend sind hier die:

- zu erwartende Sickerwasserqualität (toxisch/nicht toxisch)
- hydrologischen Verhältnisse
- geologischen Verhältnisse
- meteorologischen Verhältnisse
- Geländeform

Natürliche Abdichtungen (z.B. aus anstehenden, dichten Tonen) oder künstliche Abdichtungen aus maschinell eingebauten, mineralischen Bau- oder Zusatzstoffen oder Bitumenbelägen und reine Kunststoff-Dichtungsbahnen sowie Kombinationen zwischen Kunststoff-Dichtungsbahnen und mineralischen Hilfsbaustoffen stehen als Abdichtungsmaterialien zur Verfügung.

Deponiebasis-Abdichtungen mit Sarnafil sind auf das Gefährdungspotential abstimmbare und weisen eine hohe Sicherheit auf. Drainagen (Gefälle grösser 1%), welche mit Rohren oder flächig ausgeführt werden, beeinflussen die Beanspruchung der Basisabdichtung. Bei stark setzungsempfindlichem Untergrund sind grössere Gefälle vorzusehen, damit kein Sickerwasser-Einstau auftritt.

Durch weitere Massnahmen, wie z.B. Kassettenbauweise, Oberflächenabdichtung etc., lässt sich der Sicherheitsgrad der Deponie zusätzlich steigern.

### Planung der Verlegearbeiten

Das Verlegen der Abdichtung soll schon in der Projektierungsphase geplant werden.

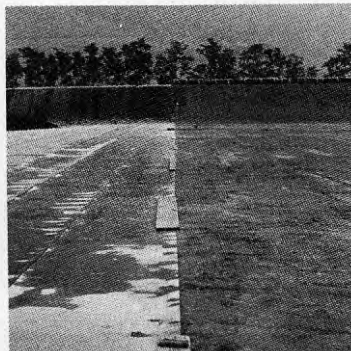
Ein Verlegeplan berücksichtigt die

- Form
- Gefälle
- Zufahrtsmöglichkeiten
- Windverhältnisse

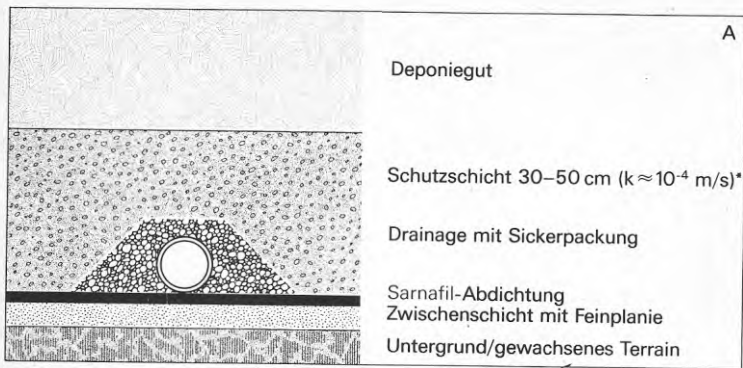
der Deponie. Nach Möglichkeit ist der Baufortschritt den Abdichtungsarbeiten anzupassen. Bei stark verdichtetem Untergrund mit geringer Durchlässigkeit ist dafür zu sorgen, dass während des Verlegens kein Meteorwasser unter die Abdichtung gelangt. Die Hilfsgeräte für das Verlegen werden je nach Tragfähigkeit der Planie und den möglichen Windverhältnissen bestimmt.

### Witterungsbedingungen

Kunststoff-Dichtungsbahnen sollten nur bei einigermassen trockener Witterung verlegt und verarbeitet werden. Bei Nebel und leichtem Nieselregen (kein stehendes oder fliessendes Wasser im Bereich der Schweissarbeiten) kann nach einfacher Reinigung und Vortrocknung des Schweiss-Bereiches gearbeitet werden.



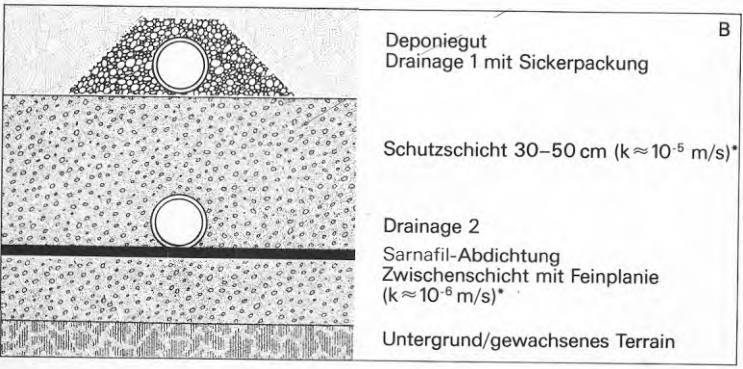
Sicherung des Etappenstosses



Die Zwischenschicht ( $k \approx 10^{-5}$  m/s)\* mit Feinplanie bildet die Unterlage für die Sarnafil-Abdichtung. Sie dient dazu, den Untergrund entsprechend den geometrischen Anforderungen vorzubereiten.

Die Sarnafil-Abdichtung dient als eigentliche Abdichtung und als Fließhorizont für alle anfallenden Sickerwässer.

Die Schutzschicht ( $k \approx 10^{-4}$  m/s) wirkt als Flächendrainage und hat in erster Priorität die Dichtungsbahn vor mechanischen Überbeanspruchungen zu schützen.



Die Zwischenschicht ( $k \approx 10^{-6}$  m/s) und die Schutzschicht sind aus bindigem Material ( $k \approx 10^{-5}$  m/s) aufgebaut. Ist der k-Wert der Zwischenschicht kleiner als derjenige der Schutzschicht, so bleibt selbst bei kleinen örtlichen Schäden an der Abdichtung ein Fließhorizont für das Sickerwasser bestehen.

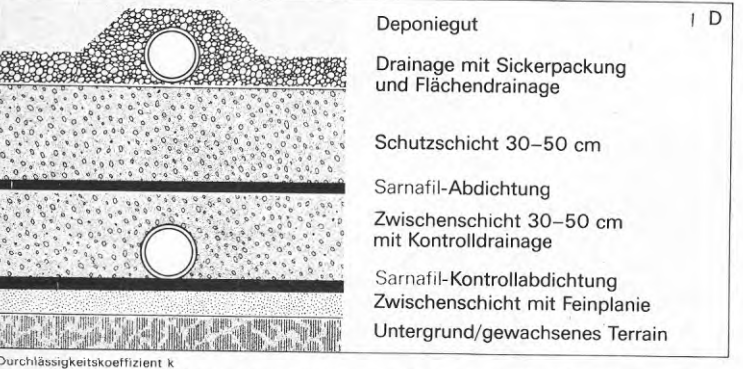
Die Sarnafil-Abdichtung dient als eigentliche Abdichtung und als Fließhorizont für das Sickerwasser. Sie ist jedoch erheblich weniger beansprucht als bei Systemen ohne bindige Schutz- und Zwischenschicht.

Die Schutzschicht bildet wegen ihrem k-Wert von ca.  $10^{-5}$  m/s bereits einen Fließhorizont.



Im kombinierten Abdichtungssystem sind die Zwischen- und die Schutzschicht zu Dichtungsschichten ausgebaut ( $k \approx 10^{-8}$  bis  $10^{-11}$  m/s). Die Sarnafil-Abdichtung dient als Sperrschicht. Fließvorgänge werden ganz gestoppt.

Über die vorzugsweise auch flächig ausgeführte Drainage wird das Sickerwasser auf dem Fließhorizont der oberen Dichtungsschicht gefasst.



Die eigentliche Abdichtung, die entsprechend den Aufbauten A–C hergestellt wird, ist hier durch ein Kontrollsystem ergänzt. Die Sicherheit wird durch die Kontrolle erhöht.

Die als Fließhorizont dienende Abdichtung des Kontrollsystems wirkt selbstverständlich auch als Abdichtung.

Bei der Dimensionierung der Kontrolldrainage ist speziell auf deren Druckfestigkeit zu achten; zudem muss sie flächig ausgebildet sein.

\* Durchlässigkeitskoeffizient k  
k-Wert: Nach Filtergesetz von Darcy für laminare Strömungen von Wasser bei hydraulischem Druckgefälle von 1 und einer Temperatur von 10° C und einer Vorbelastung von 10 N/mm²

## Böschungen

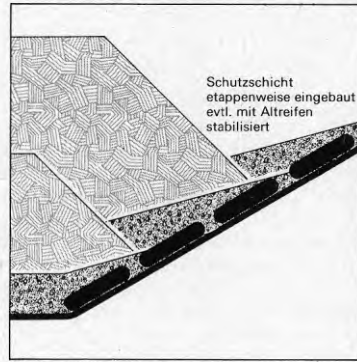
Böschungsabdichtungen haben die gleiche Funktion wie Basisabdichtungen. Sie müssen aber zusätzlich Wassereintritte in den Deponiekörper verhindern.

Dem Einbau von mineralischen Abdichtungsmaterialien sind bei Böschungen Grenzen gesetzt. Schutzmassnahmen bei Abdichtungen aus Kunststoff-Dichtungsbahnen sind aufwendig und Kombinationssysteme nur bedingt anwendbar. Bei sehr steilen Böschungen ist eine Kunststoff-Dichtungsbahn oft die einzige Möglichkeit um den Anforderungen gerecht zu werden.

Die Böschungen von Wannen sollen nach Möglichkeit nicht steiler als 1 : 2 angelegt werden. Bei dieser Neigung können übliche Schutzschichten auch auf längere Böschungen aufgetragen werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Abdichtung keine Tangentialkräfte übernehmen kann. Die Schutzschicht muss von unten aufgebaut werden und muss sich auf der Schutzschicht der Basisabdichtung voll abstützen. Insbesondere bei gut bindendem Überdeckungsmaterial bildet sich zwischen der Abdichtung und der Schutzschicht eine Gleitebene. Längere Böschungen sind entsprechend zu drainieren und mit Zwischenbermen zu sichern.



Deponie Frastanz A



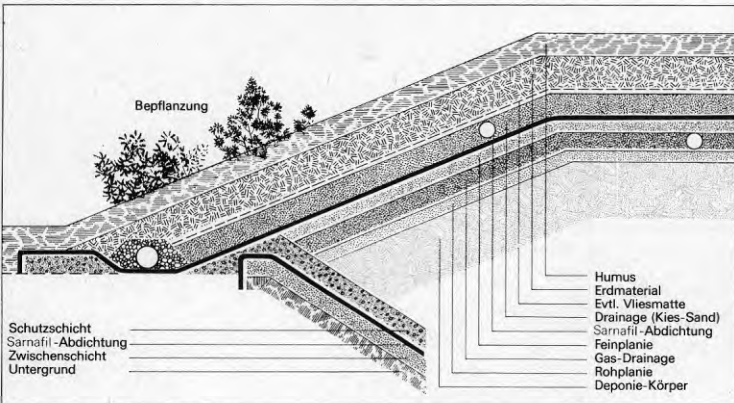
Böschung mit etappenweise eingebauter Schutzschicht

An den Untergrund sind die gleichen Anforderungen zu stellen wie bei der Basisabdichtung.

Bei grossen Böschungslängen ist auch ein etappenweiser Einbau der Schutzschicht möglich.

Mit Hilfe von Altreifen kann die Überdeckung zusätzlich stabilisiert und vor Erosion geschützt werden.

Die Böschungsneigung ist der Standfestigkeit des Überdeckungsmaterials anzupassen. Zur Verhinderung von Gleitschichten sind Drainagen vorzusehen. Besondere Beachtung ist der Gasentwicklung im Deponiekörper zu schenken.



Aufbau der Oberflächenabdichtung

## Oberflächenabdichtung

Die Oberflächenabdichtung hat die Aufgabe, nach der Fertigstellung der Deponie das Eindringen von Meteorwasser zu verringern oder zu verhindern. Die Wurzelbeständigkeit der Abdichtung hat dabei eine sehr grosse Bedeutung.

Je nach vorgesehener Rekultivierungsart ist die Menge der Erd- und Humusüberdeckung zu wählen.

Bei Sondermüll-Deponien ist der Ausgestaltung der Oberflächenabdichtung besondere Beachtung zu schenken.

## Verlegung

Die Kunststoff-Dichtungsbahnen werden entsprechend dem Verlegeplan angeliefert und lose verlegt. Nach Möglichkeit reichen sie von einem Böschungsrand zum andern. Die Sarnafil-Plänen werden in die richtige Position gebracht und ausgerollt oder ausgezogen. Im Schweissnaht-Bereich wird zumindest an den Böschungen eine Schutzfolie unter die Abdichtung verlegt. Anhand einer bereits im Werk angebrachten Markierung wird die Über-

lappung kontrolliert und nötigenfalls korrigiert.

Mit dem Sarna-Heizkeil-Schweissautomat werden die Bahnen verschweisst. Die Nähte werden fortlaufend geprüft. Für Detailarbeiten wird die Extrusions-schweissung eingesetzt. Die definitive Randbefestigung erfolgt je nach dem Fortschritt der Überdeckungsarbeiten. Zur Sicherung gegen Windsog werden die verlegten Planen punktuell sofort mit Überdeckungsmaterial oder mit

Sandsäcken beschwert.

Der Rand von Tagesetappen wird provisorisch ebenfalls gegen Windsog fixiert.

## Abnahmeprüfung, Einbau der Schutzschichten

Nach der Verlegung der Bahnen und der Prüfung der Schweissnähte sind die Bahnen etappenweise mit einer Schutzschicht aus geeignetem Erdmaterial abzudecken.

NORDISKT SEMINARIUM OM  
VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN

## 10.4

## TÄTSKIKT AV BUTYLDUK I VÄRMEMAGASIN

Lennart Mellén, MeTab 1987.05.12

Först ett klarläggande; MCO Byggnads AB har sedan årsskiftet 1987 helt gått upp i Metab, Mellén Trading AB. Personal och adress är desamma. Orsaken är internt krav på rationellare drift och förenklad administration,.

Vi har utfört två värmemagasin i Sverige

- Magasin i Studsvik. Byggår 1978.
- Magasin i Lambohov, Linköping. Byggår 1980.

## TÄTDUK AV BUTYLDUK.

Ovannämnda anläggningar är utförda med tätduk av butylduk, oarmerad och med tjocklek 1.5 mm.

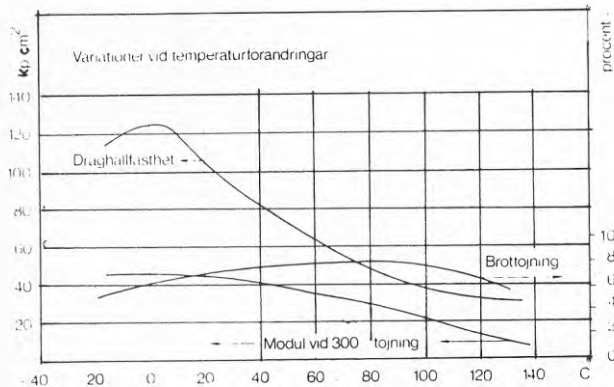
Butylduk är en elastomer avsedd för vatten- och fuktisolering (membranisolering) speciellt då en elastisk isolering fordras.

Närmare undersökning av de termiska egenskaperna, som är väsentliga för värmelagring, finns utförd, så vitt jag vet, endast hos Energiteknik AB i Studsvik. De provade ett antal tätmaterial - gjorde bl.a. forcerade långtidsprov - och butyl visade sig snart vara det enda material som kunde komma i fråga.

I dag vill vi rekommendera en speciell variant av EPDM.

Det har lika egenskaper som i diagrammet för butyl nedan men har bättre värden i de högre temperaturområdena.

Tätduken förstärkes på väggyta och längs periferien med ca 50 mm. breda band av vävförstärkt butyl.



## Fysikaliska egenskaper

specifik vikt	1.20 ± 0.05
vikt m <sup>2</sup> för duk tjocklek	1.00 mm: 1.20 kg 1.50 mm: 1.80 kg 2.00 mm: 2.40 kg
draghållfasthet	85 kp/cm <sup>2</sup>
brotthöjning	300 % minimum
längdvidvagningskoefficient	1.4 x 10 <sup>-4</sup> °C
motstånd mot tryckbelastning 50 %	77 kg/cm <sup>2</sup>
höjtryckning	
fruktionskoefficient	0.9
duk - slit betong	2.2 x 10 <sup>-4</sup> g m <sup>2</sup> h (enligt ASTM E96-53T)
fuktdiffusionsial	beständig mot solljus
verkan av solljus	elastisk från -40 till +120 °C
verkan av höga och låga temperaturer	svart
färg	

## MAGASIN I STUDSVIK.

Urschaktad i jord med släntlutning 1:1.

Storlek: Rund konisk form från botten och upp 4.5 met.

Därefter en 1.5 met. vertikal vägg upp till ytan

Diam. i ytan 16.0 met. och i botten 4.0 met.

Isolering: Mineralullsskivor. Total tjocklek 400 mm.

Forts. Tätskikt av Butylduk i värmemagasin.

#### MAGASIN I LAMBOHOV.

Schakt och sprängning för bassäng med vertikala väggar.

Storlek: Rund cylindrisk form med volym 10 000 M3.

Diameter 32.5 met. Djup 12.0 met.

Isolering: Putsade Lecablock.

Skyddsskikt: Fibermatta Terram 300.

\*I bägge magasinen utfördes flytande tak, som i princip bestod av tätduk på båda sidor om isolerblock av plast. Dessa kommer dock icke att närmare beskrivas här.

#### ARBETSUTFÖRANDE.

KONSTRUKTION: Det är väsentligt framhålla att tätskikt i värmemagasin aldrig skall medverka konstruktivt bärande vare sig helt eller delvis, utan endast ges en tätande funktion. Statiska eller dynamiska påkänningar skall således upptas av underlaget för tätduken.

Denna enkla sanning fick vi handgripligen känna på i Studsvik p.g.a. att isoleringen icke var homogen.

Det är en fördel att lägga en fibermatta under tätduken som skydd och förstärkning.

FOGNING: Tätduken tillverkas i 1.7 met. breda paneler, som vulkas samman. I fogen lägges en vulktejp och det hela pressas samman mellan linjaler med temp. 190°C och ca 5 kg. tryck under en viss tid.

Eftersom det råder mycket höga krav på täthet, gör vi fogningen inne på fabrik under noggrann kontroll och gör endast kompletterande fogningar på arbetsplatsen. Detta ställer krav på en noggrann arbetsplanering.

MONTERING: Prefabricering innebär oftast tunga lyft. Vi använder därför speciella lyftblock och lyftkran som i samspel lägger ut tätduken på botten och drar upp längs väggarna. Förankring sker i bassängkrön. I jorddammar göres ett förankringsdike i krönet i vilket duken vikas ned. I betongbassänger el. liknande vikas duken över krön och ned cirka 15 cm. på utsidan och fästes med regler av trä eller stål.

Stosar fastvulkas med hjälp av speciella klämringar som värms och pressas ihop så att vulkning uppstår.

Detta är i starkt sammandrag en beskrivning över vår metod att utföra tätskikt i bassänger med butylduk utifrån de hårda krav på täthet och varaktighet som ställdes. Det fanns ingen tidigare erfarenhet att lita till. Vi gjorde våra misstag men det är ju dem man lär sig av.

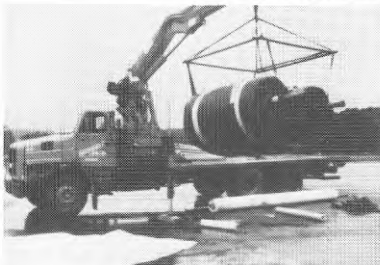
## VÄRMEENERGIMAGASIN I LAMBOHOV

Byggnadsår 1980

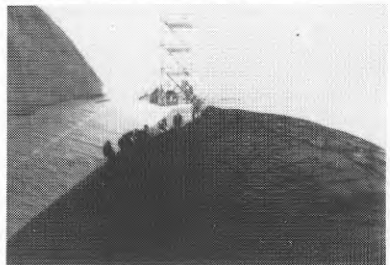


DIMENSIONER: DIAMETER = 32.5 met. HÖJD = 12.0 met.  
VOLYM = 10 000 m<sup>3</sup>.

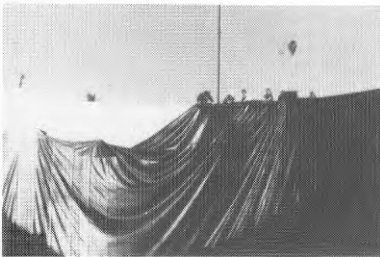
INKLÄDNAD: SKYDDSSKIKT AV FIBERMATTA (TERRAM 300).  
TÄTSKIKT AV BUTYLDUK Tj. = 1.5 mm. HELVULKAD.



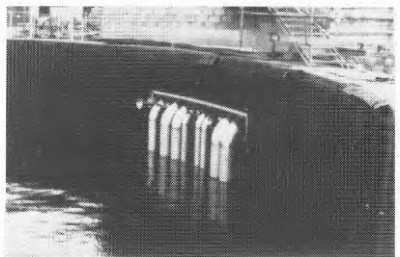
Lastning på fabrik av prefabricerad butylduk hopvulkad till ett stycke. Dukyta 2 600 m<sup>2</sup>. Dukvikt ca 5 000 kg.



Utläggning av butylduk på bassängbotten. Våderna av fiberduken är nästade samman för att ej rubbas av butylduken.



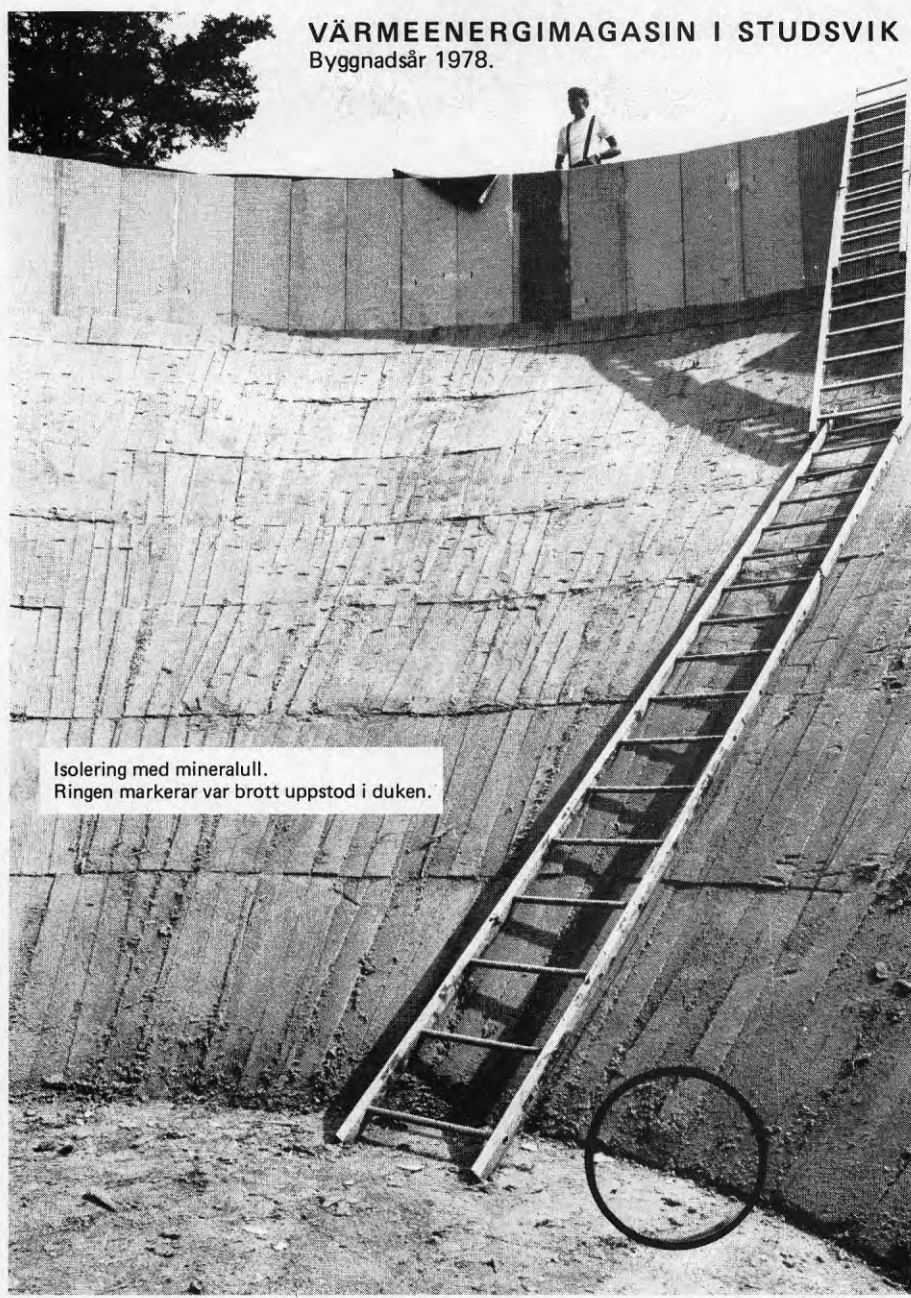
Uppdragning av butylduk på bassängväggarna. Sker med hjälp av speciella lyftbockar och en lyftkran.



Fastsättning av stosar för tätning kring rörgenomföringar. Justeringar och besiktning av täthet.

## VÄRMEENERGIMAGASIN I STUDSVIK

Byggnadsår 1978.



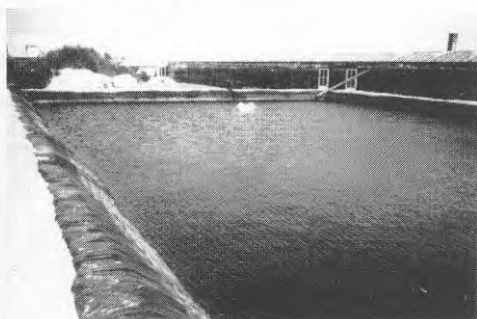
Isolering med mineralull.  
Ringen markerar var brott uppstod i duken.



Lagringsbassänger för syror.  
Boliden Kemi AB, Helsingborg.



Värmemagasin för solenergi.  
Lambohov, Linköping.



Vattenmagasin för grönsaksodling.  
R. Andersson, Görarp.



Avfallsbassäng för fruktsaft.  
Stärkelseföreningen, Karlskrona.

## Bassänger, kanaler och dammar

Det är enkelt, effektivt och prisbilligt att bygga bassänger, kanaler och dammar av typ jorddammar med tätskikt av duk av syntetmaterial.

Denna typ av förvaring och transport av vätskor har fått stor utbredning och särskilt under senare tid i samband med ökade krav på miljöskydd och vattenvård.

Inom jordbruk, kommun och industri finns många användningsområden av vilka kan nämnas:

- gödsel- och urinbrunnar
- konstbevattningsbassänger
- silos för gastät förvaring
- dricksvattenreservoarer
- avfallsdeponering och behandling
- branddammar
- konstgjorda sjöar och dammar
- kanaler och dammtätningar
- kylvattenbassänger för processindustrin
- värmeenergilagring
- luftnings- och sedimenteringsbassänger
- skyddszoner kring oljetankar för petroleum
- tätning och reparation av behållare i betong, plåt eller trä
- membranisoleringar
- flytande tak; isolerade eller oisolerade



1987-05-03

Heimo Zinko, Leif Eriksson

10.5 HÖGTEMPERATURGROPMAGASIN MED METALLISK LINER

I en utvecklingsstudie (ref 1) undersökte Studsvik alternativa möjligheter att bygga värmelager av jordgropstyp, baserade på de erfarenheter som gjorts vid byggandet av Studsvik solvärmecentral.

Det framkom i denna studie att enbart metalliska tätskikt är lämpliga för temperaturer över 80°C.

I en senare utförd förstudie (ref 2) av ett värmelager för Malung visade det sig att en solvärmecentral med högeffektiva solfångare och ett högtemperaturvärmelager som tål 95°C maxtemperatur, resulterar i lägre kostnader än en lågtemperaturgrop med polymertätskikt och 80°C som maxtemperatur.

Den fortsatta projekteringen för lagret i Malung visade dock att denna tillämpning av olika skäl blev dyrare än beräknat. Lagret kunde inte, p g a den höga grundvattennivån, byggas med optimalt djup och detta krävde tillförda shacktmassor. Eftersom lagret innefattar nya lösningar för såväl isolering som tätskikt beslöts att som en första etapp projektera och bygga lagret i demonstrationssyfte i Studsvik.

Under den pågående projekteringen utreds olika alternativ i syfte att minska kostnaderna. Projekteringen är inte färdig men vi studerar följande grundutföranden för lagret:

a) Stympad pyramid med ställiner ca 2 mm och katodiskt skydd

b) Stympad kon med kopparliner ca 0.4 mm.

Temperatursvinget i båda fallen är 50 grader (45 - 95°C). Alternativ b har vissa fördelar gentemot alternativ a och kan dessutom bli billigare.

Isolering för gropmagasin större än ca 5000 m<sup>3</sup> kan bestå av Leca, vilket underlättar både för dränering och bärighet. Bottenskiktet isoleras med ett tunt lager Leca.

Det flytande locket består av stål- resp kopparplåt med platskummad polyuretan (ca 30 cm) och ca 20 cm markskivor ovanpå. Locket vattentätas med butylgummiduk. En speciell tätningskonstruktion mellan lock och vägg har utvecklats.

Gropens djup är beroende av grundvattennivån. Av vikt för kostnaderna är att massbalans mellan grop och vallmaterial kan uppnås. Max gropdjup kan bli 20 m.

Slutekonomin för gropen är således beroende på vilken utformning den kan få. För en ca 12 m djup grop erhåller man följande kostnader (inkl in- och utmatning, projektering och OH)

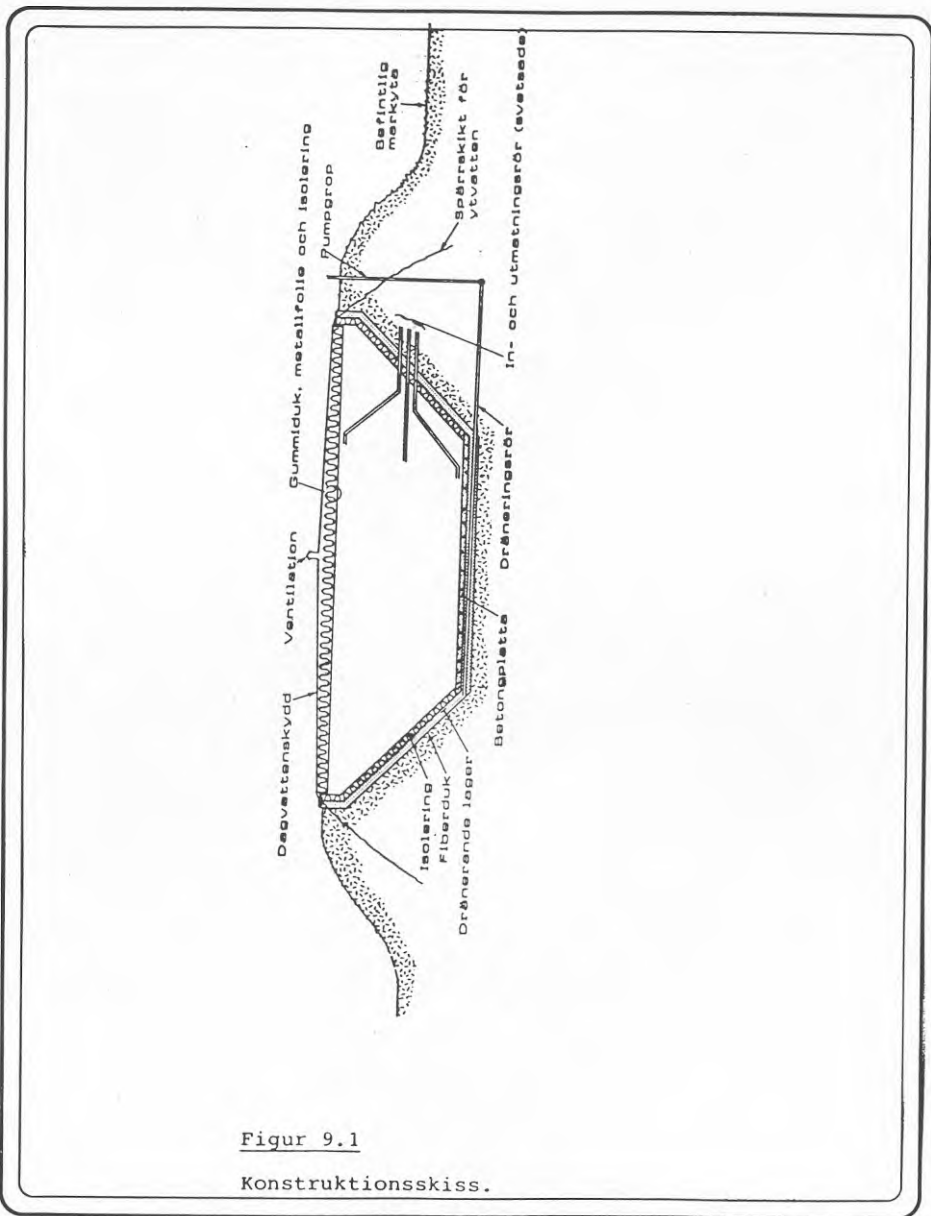
Volym m <sup>3</sup>	Kr/ m <sup>3</sup>
6000	600
12000	550
20000	450

ref 1 PERERS, BENGT "Utveckling av solvärmecentraler"

Studsvik Arbetsrapport EI-84/186

ref 2 PERERS, BENGT "Förstudie solvärmecentral i Malung"

Studsvik Arbetsrapport ED-86/48



Ingår i kostnadsberäkning:

1. Förberedande markarbeten
  2. Ev. stödmur
  3. Groplager
  4. Liner
  5. Lock
  6. In- och utmatningsutrustning
  7. Kulvert
  8. Styr- och reglerutrustning
  9. VVX, övrig armatur
  10. Projektering
  11. Projektledning
  12. Byggledning
  13. Kontroll
  14. Idrifttagning
  15. Drift- och skötsel/mstr.
  16. Utbildning
  17. Försäkringar, bankgarantier
  18. Öfverutsett
  19. Garanti-kostnader
- + Lagringskapacitet ( $\Delta t$ )  
 → kr/kWh

MARKARBETEN		50-60,-/m <sup>3</sup>
STÖDMUR		33,-/m <sup>3</sup>
GROPISOLERING		28,-/m <sup>3</sup>
LINER I GROP	300,-/m <sup>2</sup>	50,-/m <sup>3</sup>
LOCK inkl. tätning i spalt		113,-/m <sup>3</sup>
		<u>274-284,-/m<sup>3</sup></u>

AVSER 20.000 m<sup>3</sup> Lager och  
balanserade massor.

Statens Geotekniska Institut 1987-05-12

Caroline Magnusson

NORDISKT SEMINARIUM OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN

10.6 Anläggningsteknik för gropvärmelager i jord -  
teknisk och ekonomisk studie

Statens geotekniska institut har för avsikt att undersöka tekniska och ekonomiska förutsättningar för att använda moderna förstärkningsåtgärder vid byggande av gropvärmelager i jord. Medel för detta har sökts hos Statens råd för byggnadsforskning. Med hjälp av förstärkningsåtgärder och nya byggmaterial kan gropvärmelagren byggas effektivare ur värmeteknisk synvinkel dels pga förbättrad geometri dels pga byggmaterialens isolerande funktion. Anläggningskostnaderna kan också eventuellt minskas med hjälp av förstärkningsmetoderna. Lagret tar dessutom mindre markyta i anspråk vilket är betydelsefullt då lagren ofta bör ligga intill bebyggelse.

Ett gropvärmelager med en representativ och enligt bedömningar ekonomisk volym, ca 40 000 m<sup>3</sup>, och med fyra olika utformningar enligt följande skall studeras:

- traditionellt gropvärmelager utan förstärkningsåtgärder med naturliga släntlutningar.
- gropvärmelager med släntlutningen 10:1 och kalkpelarförstärkt mark.
- gropvärmelager med släntlutningen 10:1 och jetpelarförstärkt mark.
- gropvärmelager med släntlutningen 10:1 och med cementstabiliserad flygaska som stabiliserande och tätande vägg samt isolering bakom denna skärm.

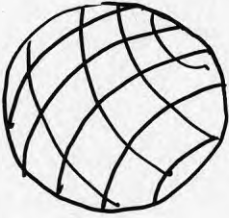
Byggmetoderna studeras för följande markförhållanden:

- halvfast lera
- silt och sand
- morän

Härigenom beaktas olika områdets geologiska förutsättningar.

En teknisk och ekonomisk jämförelse utförs för alternativen enligt ovan.

Klot

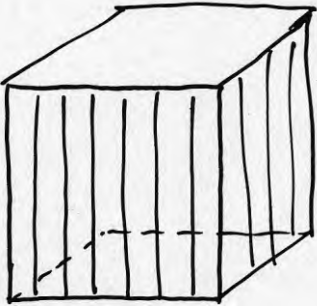


Cylinder

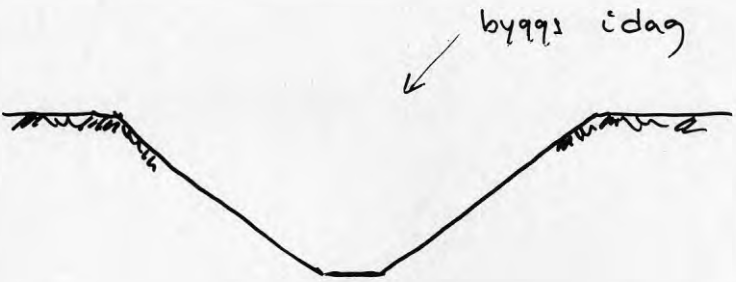


← möjligt att bygga

kub



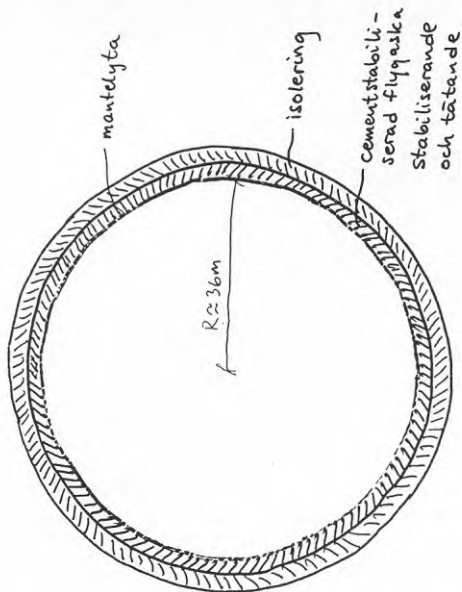
← möjligt att bygga



byggs idag  
↙

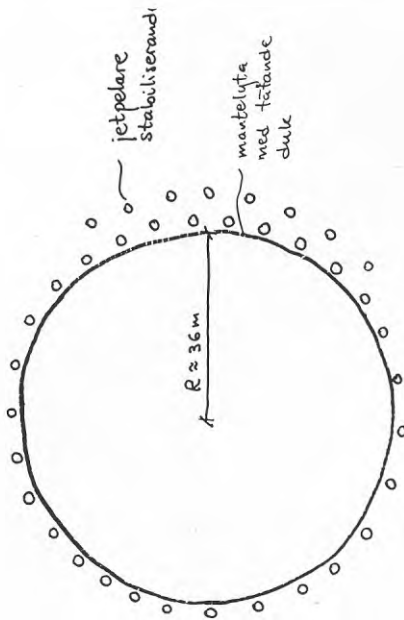
SGI 87-05-12  
C. MAGNUSSON

Alt 4. Cementstabiliserad flygaska  
Volym 40000 m<sup>3</sup>  
djup 10m



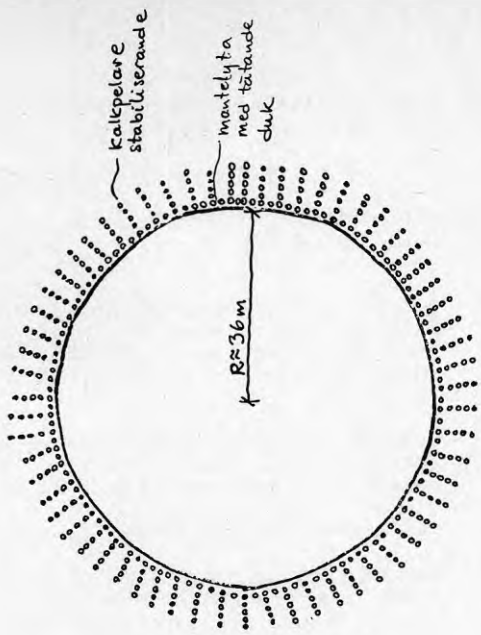
SGI 87-05-12  
C. MAGNUSSON

Alt 3. Jetpelar förstärkning  
Volym 40000 m<sup>3</sup>  
djup 10m



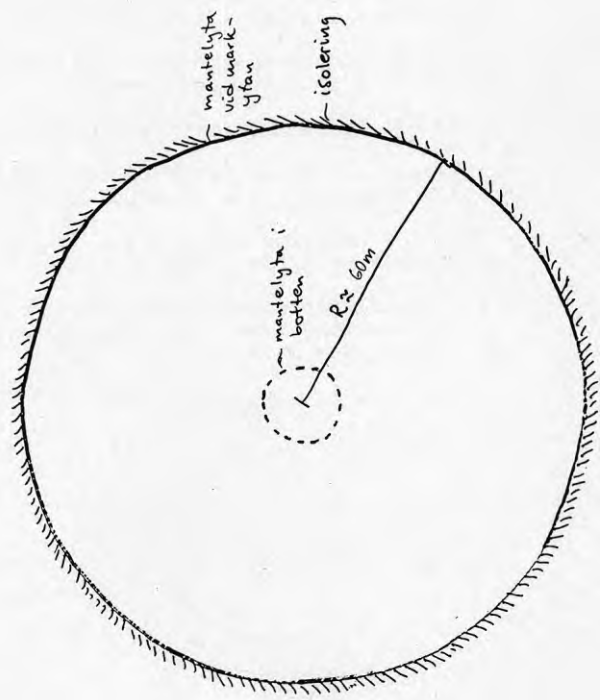
SGI 870511  
C. MAGNUSSON

Alt 2 Kalkpelarförstärkning  
Volym 40 000 m<sup>3</sup>  
djup 10 m



SGI 87-05-12  
C. MAGNUSSON

Alt 1 Traditionellt lager  
V = 40 000 m<sup>3</sup>  
djup = 10 m



NORDISKT SAMARBETE OM VARMELAGRING I GROPMAGASIN  
NBS-E SEMINARIUM, MAJ 1987 I VÄXJÖ

10.7

Referat av kommentarer och diskussioner om  
MATERIAL OCH ARBETSUTFÖRANDE

- P. Margen: Att välja rätt tätskikt är lagringsteknikens kärnfråga. Skiktets långtidfunktion måste betonas. Man behöver en liner, som står emot syre. Plast blir sprödare av mekanisk belastning och får kortare livslängd.
- V. Ussing: Överallt i världen finns problem med polymerers förgänglighet. Man får ta vissa risker med hållfastheten, men plasterna testas ju under 1 à 10 miljoner timmar. Tätskiktets styrka får ej ha avgörande betydelse.
- P. N. Hansen: Styrka (provad draghållfasthet) och sprödhet (instabilitet, som framkallas också av solljus) skall ej förväxlas. Vissa plaster håller mot 90°C under 40 år före sprödetsbrott.
- P. Margen: Magasinen måste hållas täta, så att syre ej diffunderar in; alternativt måste värmeöverföringen gå via värmväxlare. Med värmväxlare gör man betydligt mindre tryckförluster i distributionskretsen.
- L. Mellén: Varför är långa resistenstider så väsentligt? Varför kan man inte gå in och måla om?
- V. Ussing: Det är ej ekonomiskt att tömma ut det varma vattnet för att måla om. Värmväxlare behövs. Vatten i sekundärkretsen bör behålla sitt tryck, om så detta är endast fem bar.
- A. Boysen: Risken för haverier måste inses. Åtgärder för att klara upp ett haveri - tömning, ombyggnad - måste förutses.
- L. Mellén: Ett önskemål för framtidens tätningsteknik blir att "spruta" folien direkt på plats, så att problem med fogning mm. kan undvikas.



11. PLANERADE GROPMAGASIN

ORDF. BJÖRN QVALE

11.1 VÄXJÖ - KRONHJORTENBakgrund

Vid ett IEÄ-möte i Göteborg mars 1985 presenterades ett lagerkoncept kallat dikesmagasin för säsongslagrad solvärme i gruppbebyggelse, Ingelstad II. Lageriden bygger på grop i mark med prefabricerat beträdbart tak och fri-skummad polyuretanskum utgörande isolering på väggar (och tak).

Under vintern -85/86 uppfördes ett mindre testlager (30 m<sup>3</sup>) i Ingelstad där bl a isoleringsförfarandet kontrollerades. Parallellt med testlagret utfördes en lagerkonstruktionsstudie för dikesmagasin i allmänhet kompletterad med en markundersökning för ett ca 10.000 m<sup>3</sup> stort lager inför Ingelstad II-projektet.

Kronhjorten

Nu byggs Kv Kronhjorten i Växjö där 450 m<sup>2</sup> solfångaryta och 800 m<sup>3</sup> lagervolym skall täcka ca 60% av ett kontorshotells årsenergibehov. Kronhjorten-projektet byggs som ett delsteg till Ingelstad II-lagret och avser konstruktion och uppförande av ett dikesmagasin med full skala på delmomenten tak, isolering av väggar, rörinstallationer samt att utföra och kontrollera systemfunktion för inlagring/urlagring samt expansion.

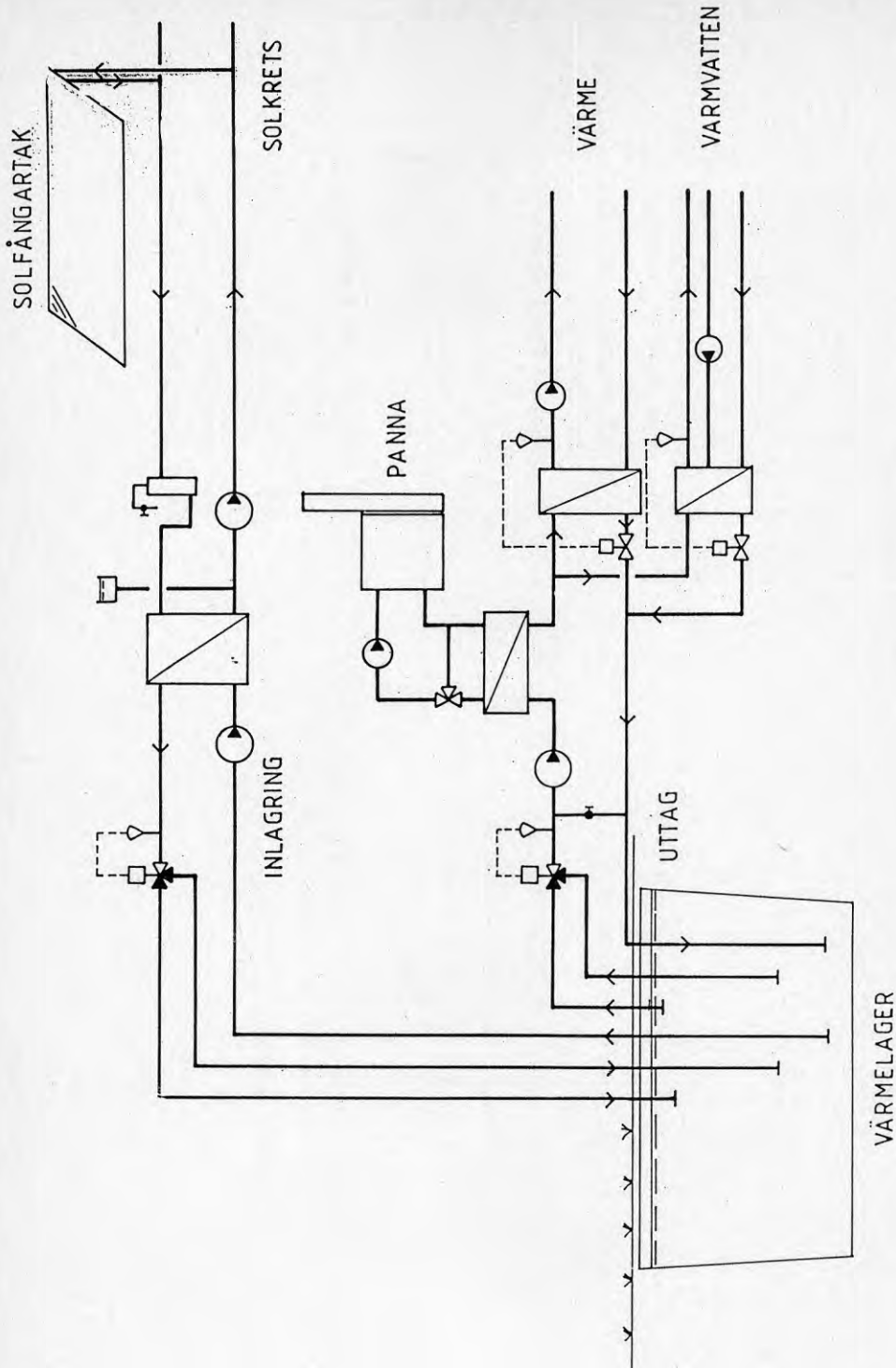
Lagret har ytterdimensionerna 12 m brett, 14 m långt och 7 m djupt, lagervolymen ca 800 m<sup>3</sup>. Väggarna isoleras med polyuretanskum, taket med markskivor av polystyren och golvet isoleras inte alls.

För att förhindra diffusion av vattenånga in i isoleringen samt förlust av lagervatten förses insida lagervägg och lagergolv med ett tätskikt av armerad polyeten (PEL). Tätskikten plattsvetsas. Även utrymmet ovan lagervattenytan förses med en tätskiktsduk av polyeten samt ett vattenlås för att hindra förlust av energi/lagervatten i form av vattenånga. Samtliga rör genomföringar utförs ovan vattenytan för att minimera risken för läckage.

Lagerbotten förses med dränering för att sänka grundvattennivån och därmed grundvattentrycket mot isoleringens utsida. Maxtemperatur i lagret är +80 gr. C.

Ytterligare utveckling inför Ingelstad II

För att ytterligare reducera kostnaderna krävs ett tätskikt som dels tål +100 gr. C (större lagringskapacitet), dels kan sprayas utanpå isoleringen. Med ett spraybart tätskikt ställs inga större krav på bergväggarnas ytjämnhet vilket minskar behovet av tätsöm vid sprängningen och sprutbetong. Isoleringen har inga krav på ytjämnhet. En materialgrupp är tillsatt för att föreslå och prova i första hand lämpliga tätskiktsmaterial. Då tätskiktsfrågan lösts kan fullskaleprojektet Ingelstad II uppföras.



### VÄXJÖ

#### Lagerkoncept dikemagasin

- väggar bestående av bergsidor
- tak bestående av prefabricerade betongplattor
- förumbeständig isolering som sprayas mot bergsidor

#### Fördelar:

Biligt konstruktions då kravet är lågt på väggens ytjämnhet  
 Beträddbar lageröversyta

#### Nackdelar:

Krav på relativt god bergkvalitet för att undvika extra kostnader för bergförstärkning, sprutbetong mm.

### Lagergeometri

#### Lagerbredd:

12 m eller en multipel därav då de friliggande takplattkegen är 12 m lång

#### Lagerdjup:

12 m (alt 6 m resp 18 m)  
 max plattdjup  $\approx 6$  m

Vid djup över 18 m ökar kostnaden för medfartstramp resp sprängning (inspant berg) drastiskt

Vid djup mindre än 7 m kan urskaktning ske utan medfarts-ramp

#### Lagerlängd:

Ingen begränsning  
 Däremot blir lagrets förlustbild ojämsam om lagret är för långsmalt  $\Rightarrow$  öka bredden med en pelarrad.

## Lagret i Kronhjørten, Växjö

Omslutningsmätt  
 12 m brett  
 14 m längd  
 7 m djup  
 ~ 800 m<sup>3</sup>  
 Lagervolym

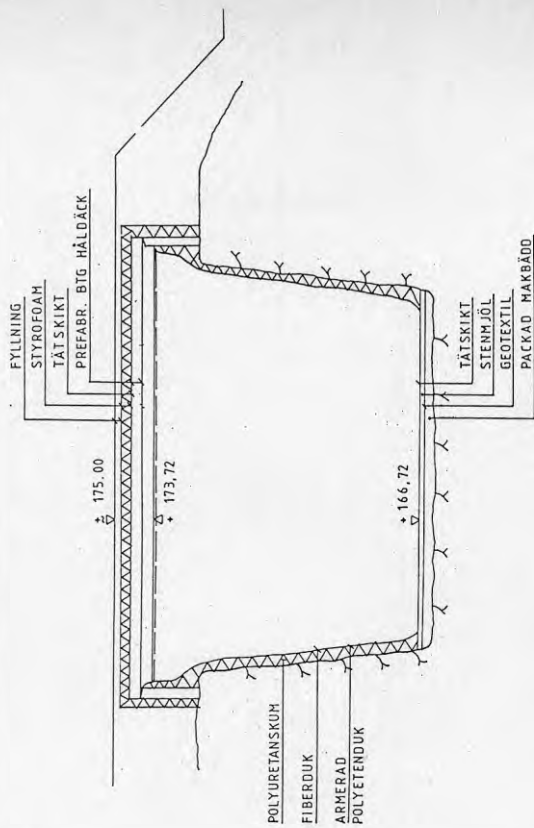
Väggar:  
 dränering:  
 isolering:

vattenförande skikt dräneras till lager-  
 botten med dränband, facks med  
 sprutbetong  
 primer

polyuretanskum, friskummad  
 $\rho = 65 \text{ kg/m}^3$   
 $\lambda = 0,025 \text{ W/m}^\circ\text{C}$   
 $d = 0,20 \text{ m}$   
 $\dots k = 0,125 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

tätskikt:  
 Först ett dränerande skikt för att  
 avleda diffunderande lagervattnen  
 genom tätskikt:  
 PE-folie 0,20 mm  
 Nålfiltad geotextil

Därefter själva tätskiktet:  
 1 mm polyetenlusk (PEL) smerad  
 med polyesterväv.



SEKTION AV KRONHJORTENLAGRET

Golv :

dränering : packad markadam , 0,20 m  
med brännrör till pumpgröp  
geotextil  
yolvyta : packad stenmjöl , 0,05 m

isolering : —

tättskikt : geotextil samt anneråd PEL-duk

Tak :

tyllning : t.ex jord ~ 0,20 m

ytavvättning : polyetenfolie ovan isolering

isolering : polystyrenskivor

$$\rho = 20 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda = 0,040 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$d = 0,30 \text{ m}$$

$$k = 0,133 \text{ W/m}^2\text{C}$$

tättskikt : 1 mm polyetenduk (PEL) med  
invaring aluminiumfolie

tak betongbjälklag 0,26 m

1,2 m

12 m

### Kostnader :

volym :	800 m <sup>3</sup>	15.000 m <sup>3</sup>	50.000 m <sup>3</sup>
Lagergröp inkl. tak :	300 kr/m <sup>3</sup>	260 kr/m <sup>3</sup>	180 kr/m <sup>3</sup>
isolering samt tättskikt :	320 —	80 —	65 —
totalt :	620 —	340 —	245 —

utveckling samt volym kan reducera kostnaderna  
för isolering och tättskikt

## 11.2 ESBJERG -

SEASONAL HEAT STORAGE IN UNDERGROUND WARM WATER PIT

(Design of a 30.-50.000 m<sup>3</sup> storage)  
K.K. Hansen, P.N. Hansen and V. Ussing  
Thermal Insulation Laboratory  
Technical University of Denmark

Summary

The design, construction and simulated operation of an underground 500 m<sup>3</sup> warm water store preceded this work. The aim of this project has been to design a 30.-50.000 m<sup>3</sup> underground warm water storage as a pilot project for a large seasonal storage. In order to minimize the construction cost the soil interface of pit has been left uninsulated and the lid has been foreseen to float on the water surface. The design data for the project have been taken from a district heating system based on co-generation expressing serious interest in realization of the design assuming that the construction cost will prove to be competitive with different tank storage solutions. The geometrical and geotechnical problems related to the design have partly been reported earlier. This paper gives a resumé of the major points from the final report to be published later in 1984. The design work was finished jointly by the Commission of European Communities and the Danish Council for Scientific and Industrial Research.

1. INTRODUCTION

A seasonal heat storage is a necessity for heating systems based on solar energy. It has been the purpose of this work to design a 30.-50.000 m<sup>3</sup> storage pond using the experience gained from the construction and simulated seasonal operation of a 500 m<sup>3</sup> test facility at the Technical University of Denmark (1). Studies concerning heat storage ponds in the future energy systems (6) have indicated, that only through sufficiently low costs of collectors as well as of storage ponds can solar energy be competitive with other sources of energy. Only through actual construction of a number of full scale heat storage ponds can low priced ponds be developed.

It was of prime importance to base the pilot design of a 50.000 m<sup>3</sup> heat storage pond on data from a large district heating system, expressing serious interest in an early realization of the design, assuming that the cost estimates proved this type of storage competitive against other designs. Insulated new steel tanks are already in operation and serious studies are being done to renovate existing surplus large fuel oil tanks for storage purposes. Speedy realization of the design appeared only possible if the project was designed to serve as storage in a large district heating system based on co-generation. For such systems large heat storage ponds can be shown to be very advantageous. A series of such ponds may help to obtain the experience in construction allowing reduced construction costs required in seasonal storage.

## 2. REQUIRED CAPACITY AND CHOICE OF GEOMETRY AND LOCATION

The storage is built into a system planned to have a maximum load of 489 MW in 1999. Based on the 24-hour load variations in the system a 6 hour separation of the generating facility from the district heating system demands a storage of 2905 MWh. Limiting the temperature of the storage to 95°C and having  $\Delta t = 47^\circ\text{C}$  in the system at maximum load, the required volume can be figured to be 54,539 m<sup>3</sup>.

The problems related to choice of geometry and the soil mechanical problems have to some extent been reported earlier (2), (3), (4) and (5).

The storage has been located as close to the electric power plant as possible on an area created by filling in shallow coastal waters with fly-ash. Fig. 1 shows the location of the storage.

## 3. MAIN FEATURES OF THE CONSTRUCTION

Fig. 2 shows a sectional view of the storage design. By employing a number of bleeder wells and a sheet pile wall the execution of the construction is secured in spite of the fact that the bottom of the pond is 9.2 m below the surface of the sea just south of the pond. The water tightness of the storage is secured primarily by clay. The chemical composition of the water is maintained by a 2mm thick polypropylen sheet covering the bottom, the walls as well as the bottom of the floating lid. The lid is built on the lid bottom liner reinforced by steel wires in the center structure and in the concrete edge beam. The lid consists of insulation, a rubber liner, gravel and top soil placed as the water level is raised. The concrete edge beam and the sheet pile wall are anchored to surrounding ground.

## 4. CONNECTING THE STORAGE TO THE CO-GENERATION SYSTEM

A principal diagram showing the charge operation for the storage is shown in fig. 3. The storage is connected to the main connection between the power plant and the transmission station of the district heating system. The district heating system is operating at 6 bar. As the storage is planned to function at about 0.9 bar reducing valves (or turbines) and sufficient pumps are used to allow a flow of up to 9.000 m<sup>3</sup>/h to and from the storage.

## 5. OPERATION LOSSES

Based on geotechnical investigations and numerical computations the heat loss in % of maximal theoretical heat content at a  $\Delta T$  of 44°C is shown in fig. 4 as function of the time elapsed in the fourth year of operation. Underground hot water storage ponds with large volumes can be constructed assuming that suitable layers of clay can be found in the vicinity of the power station or clay can be obtained at a reasonable cost from other locations.

A number of large storages primarily serving load management purposes in a co-generation system will prove to be very economical and will contribute to rapid development of low construction cost for large seasonal storages, which is a condition for use of solar energy on a large scale.



## 6. REFERENCES

1. HANSEN, K.K., HANSEN, P.N. and USSING, V. (1983). Seasonal Heat Storage in Underground Warm Water Stores - Construction and Testing of a 500 m<sup>3</sup> Store. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark. Meddelelse nr. 134.
2. HANSEN, K.K., HANSEN, P.N. and USSING, V. (1983). Seasonal Heat Storage in Underground Warm Water Pit (Design of a 30.-50.000 m<sup>3</sup> storage). In Solar Energy Applications to Dwellings - Solar Energy R&D in the European Community. Series A, Vol.4. D. Reidel Publishing Company.
3. Danish Geotechnical Institute: Esbjerg. Heat Storage in Large Reservoirs. Geotechnical report No. 26 and enclosures Nos la-11a plus appendix 2C. (1984). Unpublished.
4. HANSEN, K.K., USSING, V. and HANSEN, P.N. (1983). Store Varmelagre. Forholdet mellem dambegrænsningsfladernes areal mod jord og dammens volumen for forskellige geometrier. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Rapport nr. 83-6.
5. Dipco Engineering ApS: Sæsonlagring af varme af store vandbassiner. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole Meddelelse nr. 91. November 1979.
6. HANSEN, K.K., HANSEN, P.N. and USSING, V. Perspektiver vedrørende damvarmelagre i fremtidens energisystem. Thermal Insulation Laboratory. Rapport No. 83-39.

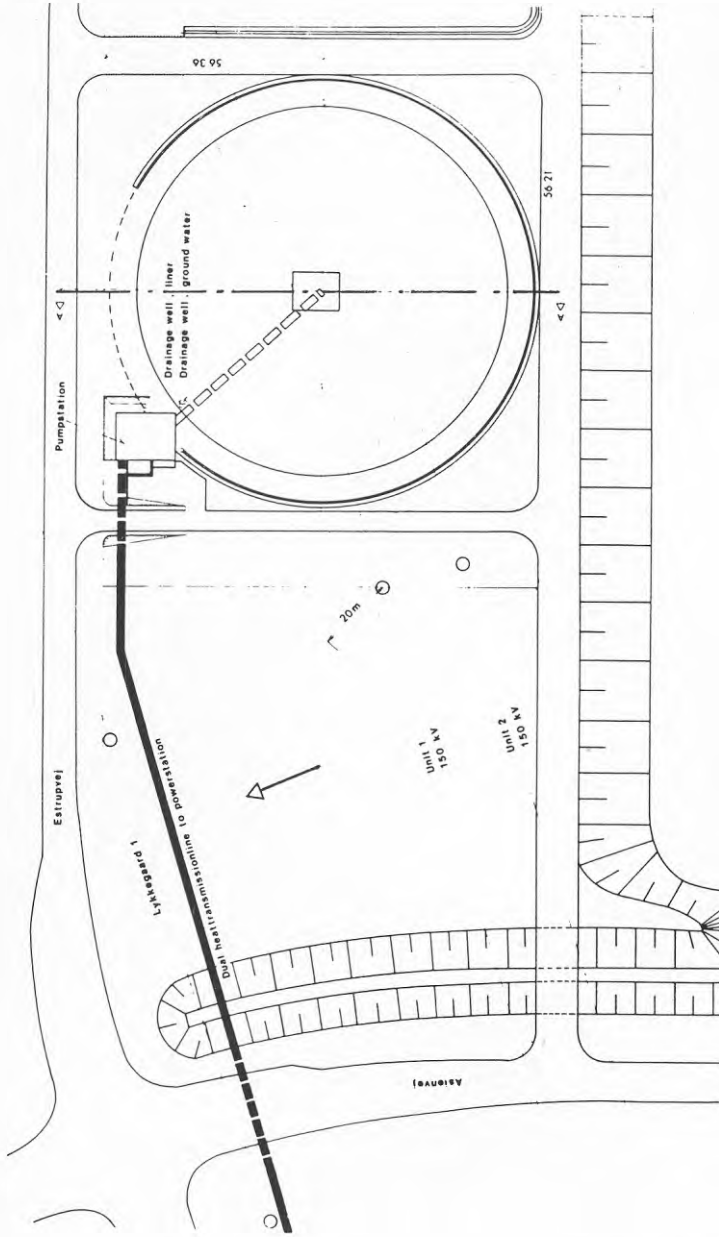


Figure 1. Plan view.



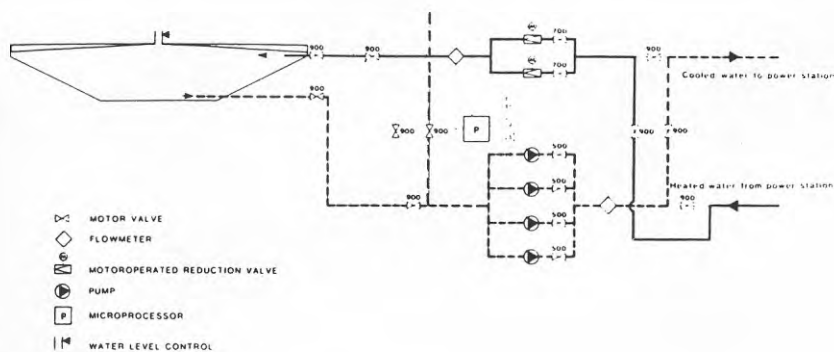


Figure 3. Pumpstation. Principal diagram. Charge operation.

HEAT LOSS IN % OF THE MAXIMAL THEORETICAL HEAT CONTENT  
BASED ON A TEMPERATURE AMPLITUDE OF 44 °C.  
THE TEMPERATURE OF THE STORED WATER IS 73 °C (CONSTANT),  
AND THE PERIOD IS THE 4. YEAR.

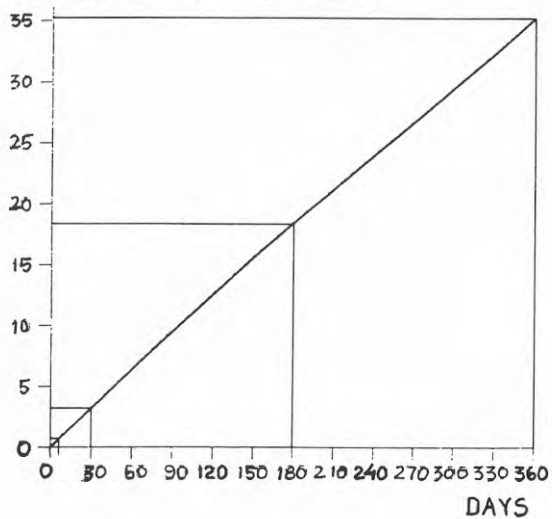


Figure 4. Heat loss calculation.

### 11.3 SOLVÄRMELAGRING I GROPMAGASIN FÖR BOSTADSOMRÅDE I MALUNG

Leif Eriksson Studsvik Energiteknik AB

#### 1. INLEDNING

På Storbygården i Malung finns två bostadsområden som förvaltas av Stiftelsen Malungshem. Båda försörjs med värme och varmvatten från varsin elpanna via lokala kulvertnät. Området byggdes i mitten på 70-talet. Genom att en dygnsaccumulator på  $100 \text{ m}^3$  och nattel utnyttjas i båda systemen blir energikostnaden mycket födelaktig cirka 25 öre/kWh (våren 85). Den årliga energiförbrukningen är totalt cirka 3.8 MWh.

Området är dock mycket intressant för placering av en demonstrationsanläggning med långa platsbyggda solfångare och energilager av typ gropmagasin.

Förutsättningar i studien är att anläggningen ska demonstrera ny solvärmeteknik med Finsun/Vattenfalls långa platsbyggda solfångare och Studsviks vidareutvecklade gropmagasin.

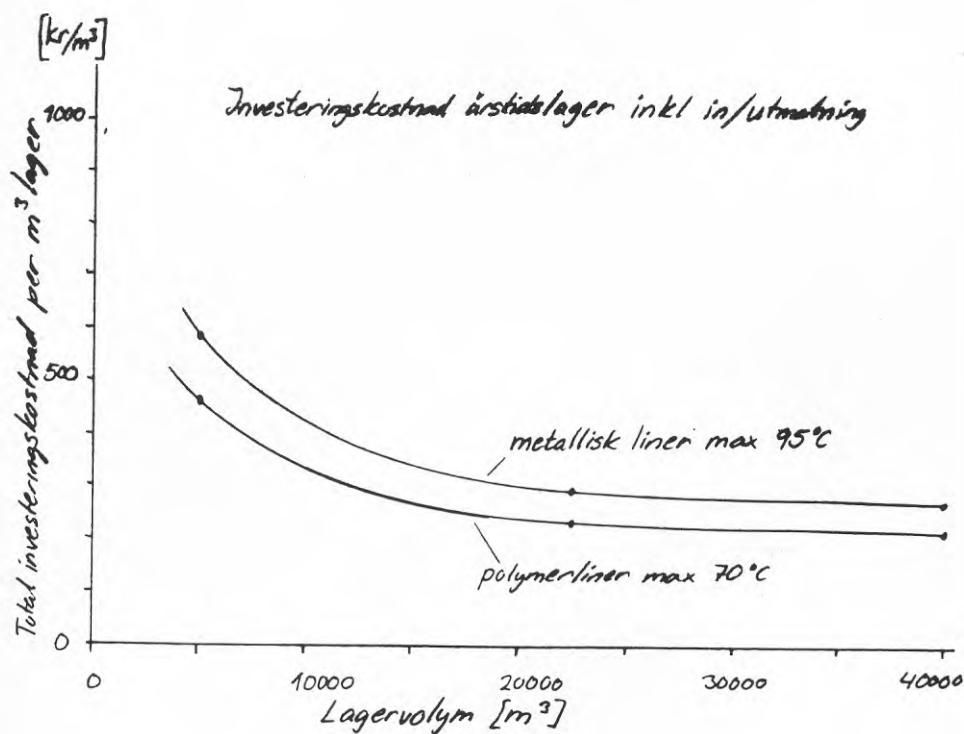
#### 2 GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Marken består av sand och silt. Grundvattennivån i området där lagret kan placeras ligger ca 4.7 m under markytan. Värmeledningstal och värmekapacitet för marken har ansatts till  $1.0 \text{ W/mK}$  resp  $1.2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$  som motsvarar normalvärden för sand.

#### 3 VÄRMELAGER

För att nå täckningsgrader på över 10 - 15 % av värmebehovet med ett solvärmesystem krävs långtidslagring av energi från sommar till vinter. Vid 50 % täckningsgrad krävs en lagringskapacitet på cirka 22 % av totala värmebehovet medan extremfallet 100 % täckningsgrad kräver ett lager som kan accumulera 60 % av årsbehovet.

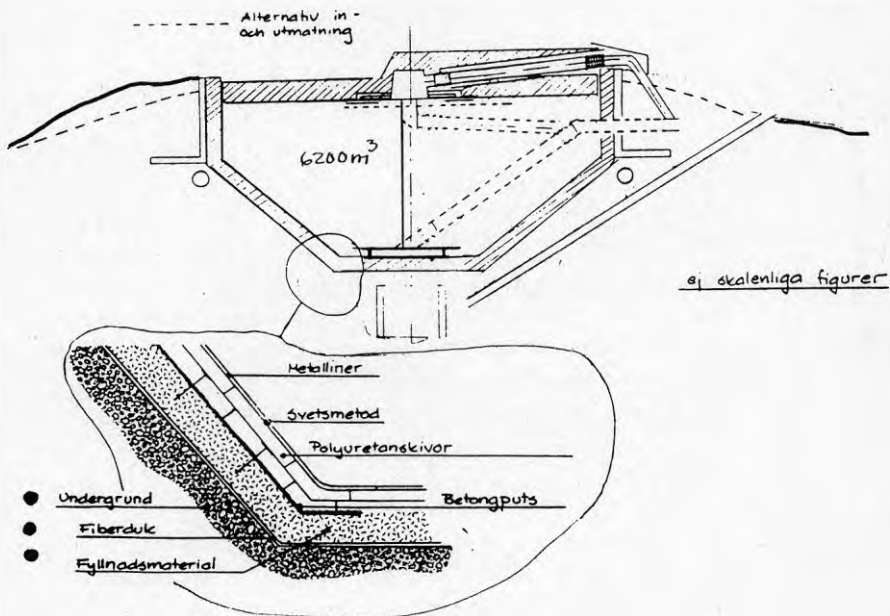
För att uppdatera kostnadsläget för gropmagasintekniken och speciellt då högtemperaturvarianten med liner av stål har vi gjort nya kostnadsberäkningar för en demonstrationsanläggning. Resultatet visas i Figur 7.2. I lagerkostnaderna ingår även priset för in- och utmatningsanordningar inklusive pumpar och reglering som gör att totalkostnaden per  $m^3$  blir ganska hög.



Figur 7.2

Investeringskostnad per  $m^3$  för olika storlekar på gropmagasin inklusive in- och utmatningsanordningar.

En viktig förändring gentemot tidigare är att vi för lagertemperaturer över 70°C valt att använda stål som liner. Detta beror på att någon alternativ linerteknik inte existerar som har en tillräcklig livslängd vid högre temperatur speciellt då inte med polymermaterial.



Figur 7.3

Principskiss av säsongslager av gropmagasintyp för cirka 50 % täckningsgrad. (6200 m<sup>3</sup>)

4

#### SLUTSATSER

Huvudalternativet för en demonstrationsanläggning är cirka 50 % solvärmandel av det totala värmebehovet. Solfångarytan blir då 4 000 m<sup>2</sup> och lagervolymen 6 200 m<sup>3</sup>. Totalt erforderlig markyta blir cirka 13 000 m<sup>2</sup>.

Energikostnaden för denna demonstrationsanläggning skulle bli cirka 45 - 55 öre/kWh totalt och 48 - 78 öre/kWh för enbart solvärmestillskottet. Totala investeringskostnaden cirka 6.8 - 9.4 Mkr.

Efter att ha gjort en förstudie på en solvärme-central bestående av ca 4000 m<sup>2</sup> solfångaryta och ca 6200 m<sup>3</sup> säsongslager av gropmagasintyp, framkom vid remissomgången från BFR, synpunkter på dimensioneringen samt osäkerhet betr. solfångarens och magasinets konstruktion.

I avsikt att minska riskerna som byggande av en större solvärme-central innebär, föreslår vi därför en första etapp med möjlighet att stämna av konstruktionen före slutlig dimensionering av hela solvärme-centralen.

Etapp ett består av två delprojekt där ett mindre gropmagasin, för högtemperatur, projekteras och byggs i Studsvik med avsikt att demonstrera teknik och prestanda. Detta drivs som ett separat projekt mellan BFR och Studsvik.

Vidare föreslår vi byggande av ett mindre solfångarfält i Malung med avsikt att i tillräcklig systemstorlek testa den nya konstruktionen av FINSUN's platsbyggda solfångare. Dimensionerande

Bostadsområdet som skall värmas med solvärme är idag anslutna till en panncentral bestående av en elpanna med en effekt av 1.2 MW ansluten till en dygnsackumulator på 100 m<sup>3</sup>.

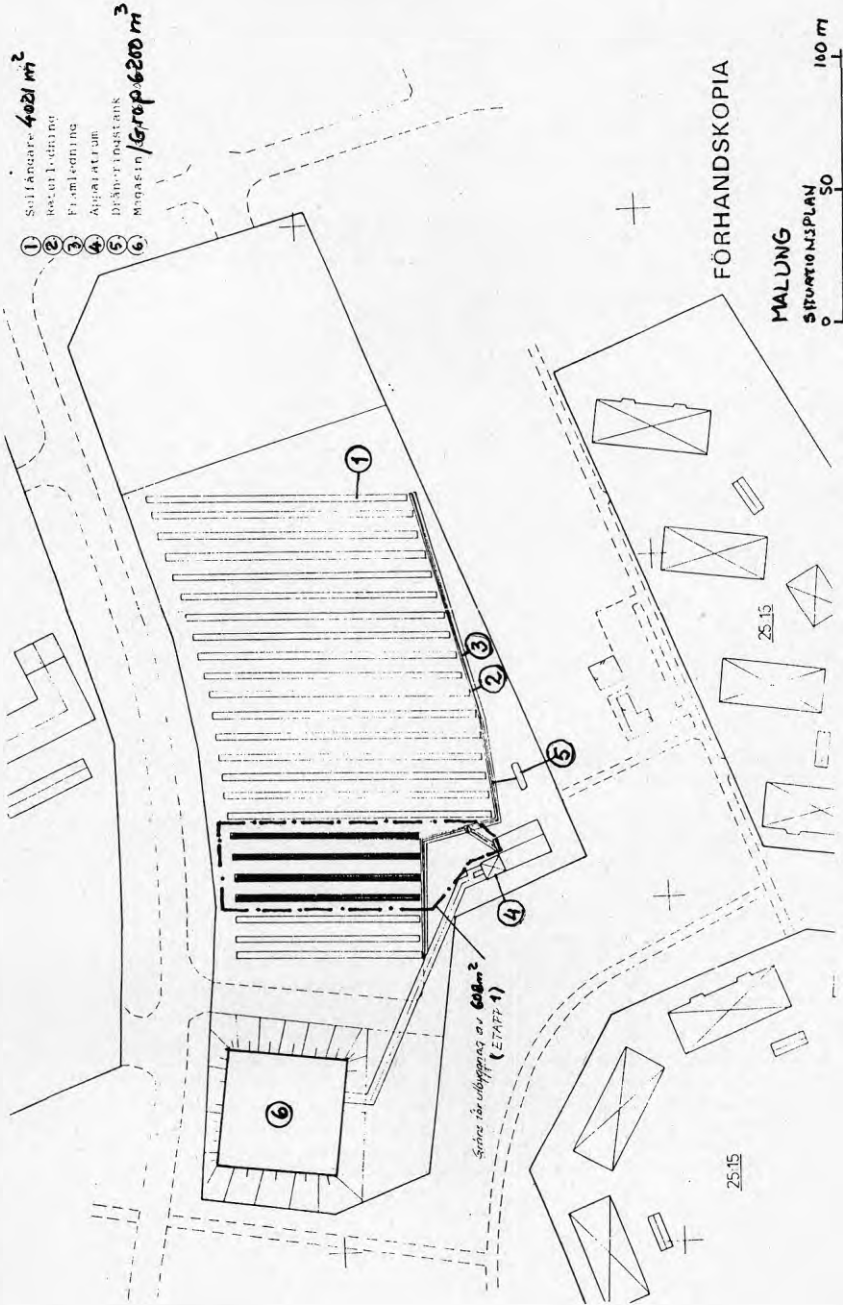
En solfångaranläggning av typ FINSUN på ca 600 m<sup>2</sup> svarar mot medeleffektbehovet sommartid på 2 MWh/dygn. Detta motsvarar behovet av tappvarmvatten för 128 lägenheter.

Årsutbytet förväntas bli 330 kWh/m<sup>2</sup> vid en medeltemperatur på ca 55 °C och ett normalårs instrålning på 970 kWh/m<sup>2</sup> (mot horisontell yta räknad).

BFR Projekt 860012-3 Förstudie solvärme-central i Malung

BFR Projekt 870406-7 Solvärmesystem på Storbygdärdet i Malung





To be presented at the Swedish Council  
for Building Research Conference  
"Subsurface Heat Storage in Theory  
and Practice".  
June 6-8, 1983. Stockholm, Sweden

11.4 HJORTEKAER - A CENTRAL SOLAR HEATING PLANT  
WITH SEASONAL STORAGE

M. Dytczak  
K. Kielsgaard Hansen  
P. Nordgaard Hansen  
V. Ussing

Thermal Insulation Laboratory  
The Technical University of Denmark  
Building 118  
DK - 2800 Lyngby, Denmark

ABSTRACT

Calculations and system design of the central solar heating plant with seasonal storage has been carried through.

The solar energy system and the houses are considered to be situated nearby the Technical University of Denmark and next to a small residential quarter named Hjortekaer.

The heat requirement is covered by heat from a solar energy system with a heat pump. It has been provided that at least 80% of the energy demand for DHW and space heating is covered by solar energy, and the remainder by electricity for the heat pump. An oil fired hot water boiler is connected as a reserve and peak load heat facility.

The solar energy system consists of 6.600 m<sup>2</sup> high efficient flat plate solar collectors mounted on the roofs of 200 terrace houses. Each terrace house has a space heating load of 10.000 kWh/yr and a DHW of 3.500 kWh/yr. The heat storage is a 49.400 m<sup>3</sup> excavated pyramidal pit, uninsulated at the store/soil interface. The temperature in the storage has a maximum temperature of about 40°C and a minimum temperature of about 10°C.

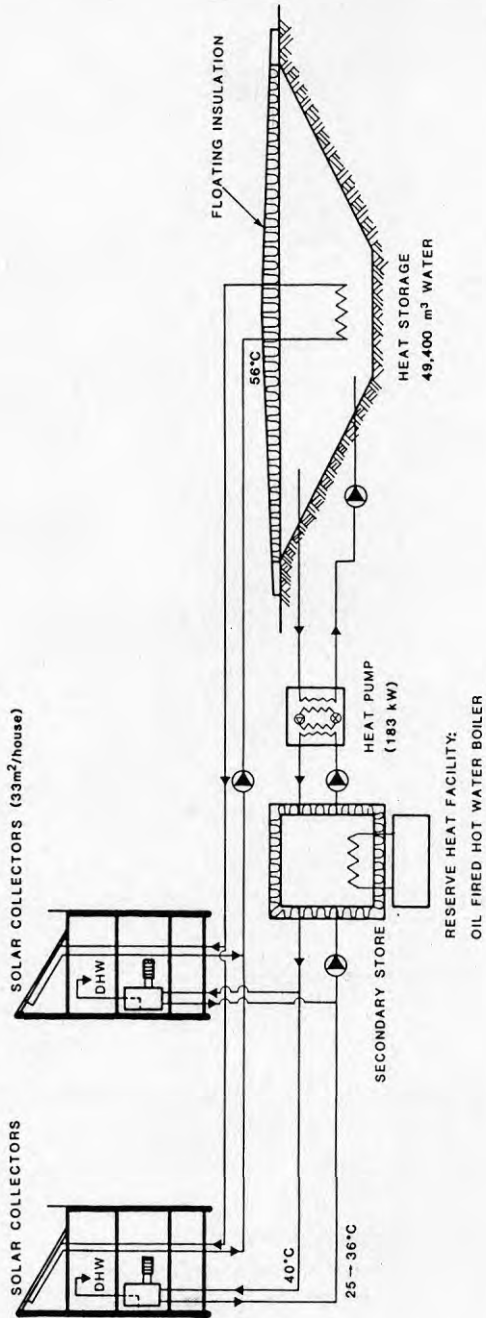


Figure 5. System designed for 200 single family houses. The heat storage is an excavated pyramidal pit uninsulated at the store/ground interface.

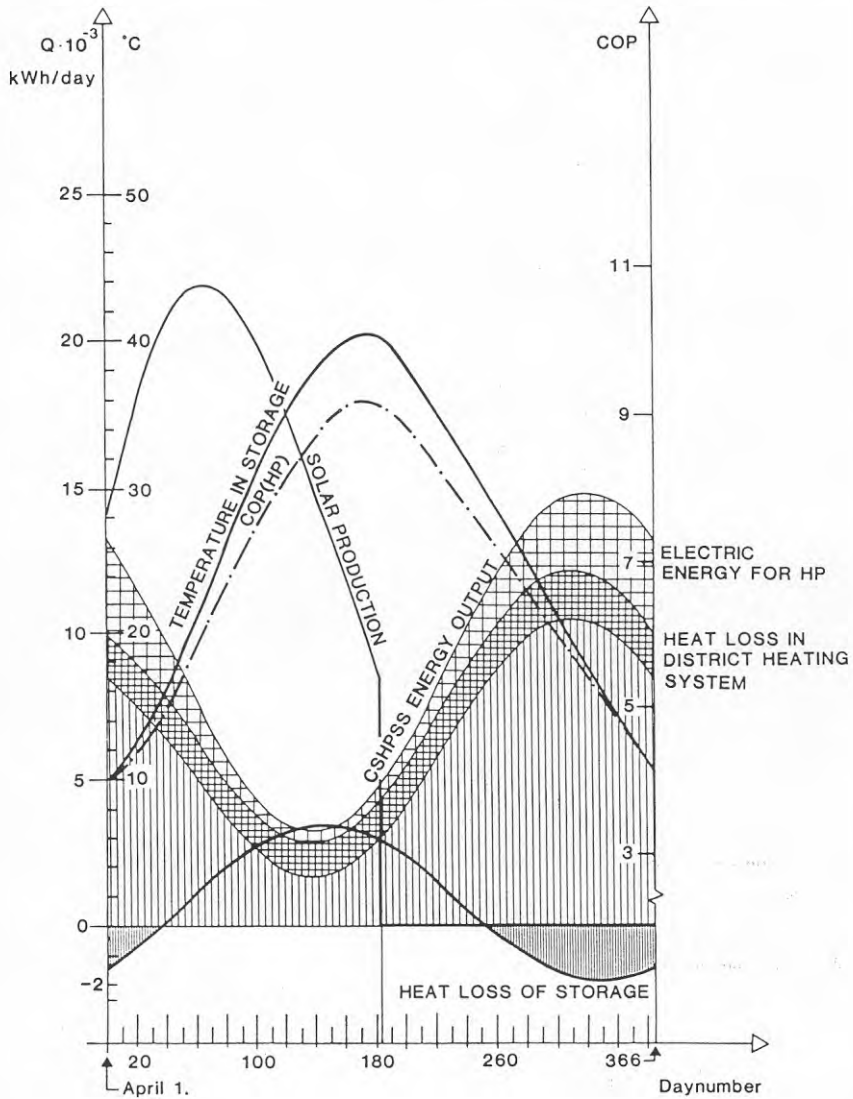


Figure 6. Energy performance of solar system with seasonal storage for 200 single family houses. The total area of solar collectors is  $6.600 \text{ m}^2$ , and the storage is  $49.400 \text{ m}^3$ .

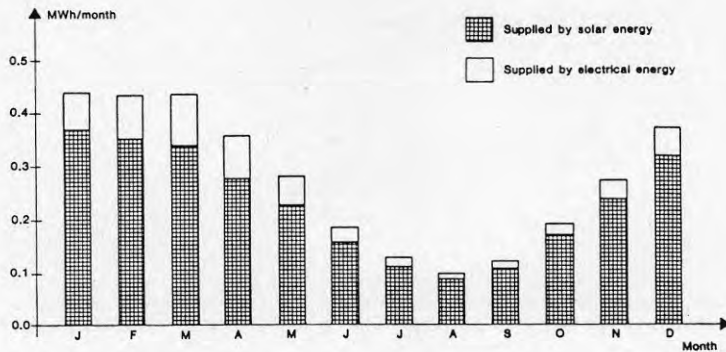


Figure 7. Energy supplied by the system on a monthly basis

#### ECONOMICS

The total life-cycle costs for the system are calculated with the present value method. In the calculations the initial investment as well as future replacements and operating costs are taken into account (prices July 1980 "constant dollars"). With a collector price of 150 US\$/m<sup>2</sup>, a store price of 20 US\$/m<sup>3</sup>, an electricity price of 0.17 US\$/kWh and a life-cycle of 30 years, the price for the energy from the solar plant is 0.11 US\$/kWh.

This energy price is almost identical with the price of electricity. This shows that the CSHPSS seems to be economically attractive.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The work has been carried out as part of the Danish contribution in the IEA TASK VII cooperation "Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage" which is financed by the Danish Ministry of Energy.

#### BIBLIOGRAPHY

Dytczak, Mirosław et al., 1983: Technic-economic evaluation of the CSHPSS with heat pump for the Hjortekaer settlement: Simulation Studies. Report. The Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark. (Under publication).

## THERMAL INSULATION LABORATORY

11,5 HERLEV - TOBBERUPVAENGE  
 A TOTAL ENERGY PROJECT WITH 1000 m<sup>2</sup> OF SOLAR  
 COLLECTOR AND A 3000 m<sup>3</sup> SEASONAL STORAGE

---

Peder Vejsig Pedersen

Thermal Insulation Laboratory  
 Technical University of Denmark  
 Building 118, DK-2800 Lyngby  
 Denmark

As illustrated in Fig. 1, it is the intention to use a combination of decentralized and centralized solar heating systems for a new total energy project for 65 houses in Herlev near Copenhagen. The builder, the Danish Building Society, KAB, has achieved support to the project from the EEC Energy Demonstration Programme.

The balance between the energy consumption, energy savings and solar heating delivery is illustrated in Fig. 2

Decentralized solar systems for DHW with 3-5 m<sup>2</sup> of solar collector per house and electric supplement will cover the heating load for 5-6 months allowing the district heating system to be out of operation during the summer when the efficiency of the district heating plant and the district heating system is known to be low.

During the heating season, the district heating system will distribute heat from the district heating plant which is connected to a solar heating system with a 3000 m<sup>3</sup> seasonal storage in the ground and high temperature 12 m<sup>2</sup> solar collector modules with a complete area of 7-800 m<sup>2</sup> placed on stands. Heat produced during the summer is stored in the seasonal storage and will cover 60% of the heating load during the winter.

The seasonal storage will be made as a pit storage in the ground based on experience from a prototype storage of 500 m<sup>3</sup> at the Thermal Insulation Laboratory in Lyngby. With the expected high temperature operation (storage temperatures between 30 and 90°C) and the size of 3000 m<sup>3</sup> it will be necessary to insulate not only the top of the storage but also along the sides to limit the annual heatloss from the storage.

A detailed simulation programme for the total energy system in Herlev has been developed. This includes many new features especially for the network calculation of the storage and the temperature stratification here.

The total energy project also includes the use of low-rise, high-density houses with a lower heating consumption than what is normal for Denmark. It is the intention to use an economical air heating system with heat recovery as a low temperature heating system for the houses in Herlev. In this way the solar yield and the storage capacity of the seasonal storage will be higher. 25% of the building area is taken up by large sunspaces with integrated heat storage. This area is heated only by the sun and will ensure an energy saving for the heated part of the houses of 10-15% compared to normal.

The advanced energy calculation programme BLAST has been used to optimize the design of the houses, and the use of sunspaces as a passive solar feature. The aim is to reduce the total heating consumption for the 65 houses to 20% of what is normal in Denmark. The total energy project is expected to be operating from 1989.

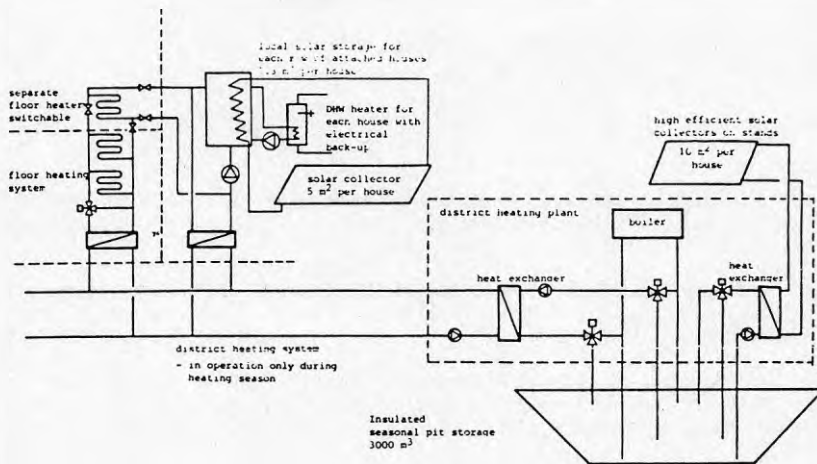


Fig. 1. Diagram of total energy project in Herlev, Denmark, with 1000 m<sup>2</sup> of solar collector area and 3000 m<sup>3</sup> seasonal storage in the ground combined with low temperature heating in the houses and district heating system with summerstop.

**ENERGY FLOW CHART FOR TOTAL ENERGY PROJECT IN HERLEV, DENMARK - CEC DEMONSTRATION PROJECT**  
shown for one of 65 low-rise, high-density houses

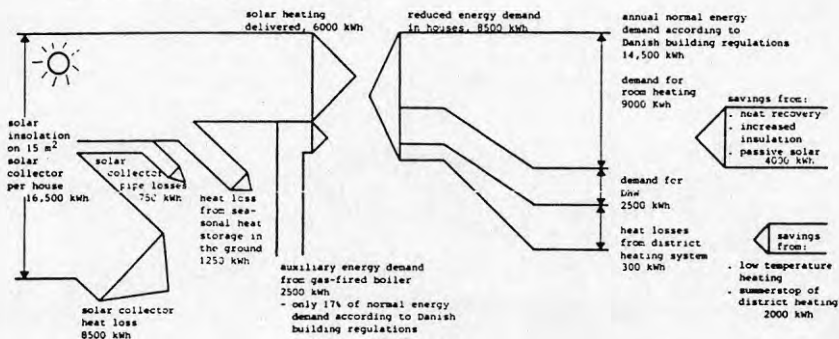


Fig. 2. Energy flow chart for total energy project in Herlev, Denmark, illustrated for one of the 65 houses. It is seen how active solar energy for heating and DHW and energy savings and passive solar use combined with an effective operation strategy for the district heating system result in a huge reduction of the energy need for heating. The auxiliary energy demand from the gas-fired district heating plant is only 17% of the normal energy demand according to today's Danish building regulations.

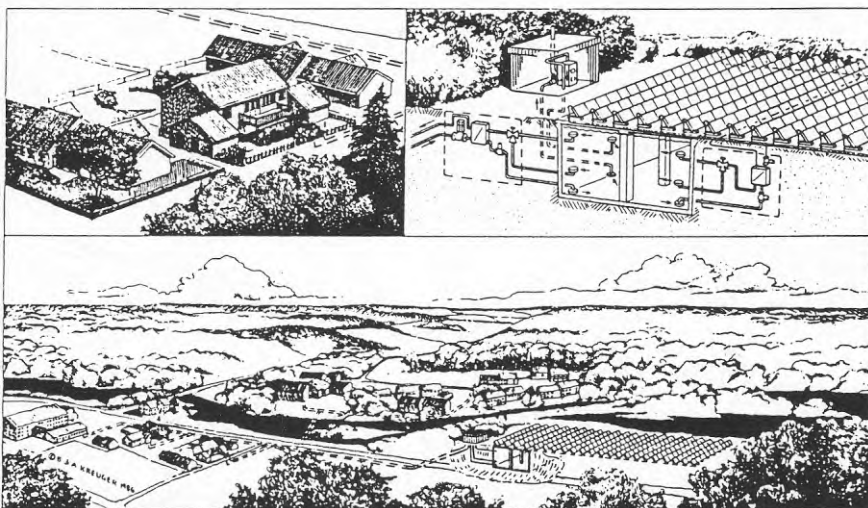
NORDISKT SAMARBETE OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
NBS-E SEMINARIUM, MAJ 1987 I VÄXJÖ

Kortfattat ur GÖRAN HULTMARKS anförande om  
Ingelstad II

- År 1990 kan man få energi från solfångare för 15 - 20 öre/kWh. (I Sverige kan man förutse konkurrens från mottryckskraft.) Lämplig lagerstorlek: 10 000 m<sup>3</sup>.
- Stora bergrumslager kan byggas med känd teknik. För mellanstora lager behövs forskning och utveckling, som bäst bedrivs i fullskaleförsök.
- Anläggningskostnader för ståltankar är cirka 600 kr/m<sup>3</sup> och bör för gropmagasin hållas omkring 250 kr/m<sup>3</sup>. Då kan totala solvärme-kostnaden bli cirka 40 öre/kWh.
- Gropmagasin bör ha storleken 10 000 - 20 000 m<sup>3</sup> och utföras för intervallet 90-40°C, med högst 20% värmeförluster. I högtemperaturlager måste kvoten "Volym/Yta" hållas hög, dvs väggarna måste vara branta. Isoleringen kan läggas genom sprutning; sprutteknik bör kunna tillämpas även för tätskiktet.

INGELSTAD - II (Ur BFR-proj 850900-4)

En solvärmeanläggning, Ingelstad II, baserad på plana högtemperatursolfångare och ett isolerat dikesmagasin planeras för Ingelstad, ett litet samhälle 20 km söder om Växjö. Solvärmeanläggningen kommer att förse delar av centrala Ingelstad med värme via ett fjärrvärmenät.





Det isolerade dikesmagasinet i Ingelstad har en volym på 10.000 m<sup>3</sup>. Lagret, i form av ett dike, är 12 m djupt, 24 m brett och 35 m långt. Som tak används prefabricerade betongdäck och lagret isoleras med sprutad polyuretan.

Som tätskikt mellan PUR-isoleringen och lagervattnet används två lager av en PUR-elastomer. Lagret kommer att arbeta mellan 45°C och 90°C.

#### Isolering och tätskikt 10.000 m<sup>3</sup>

TAK: 850 m <sup>2</sup> ; 20 cm styrolit markskivor, EPDM-gummi 1,5 mm	250 kr/m <sup>2</sup>	21 kr/m <sup>3</sup>
VÄGGAR: 1420 m <sup>2</sup> , primer, 20 cm PUR (50 kg/m <sup>3</sup> ), 1,5 mm EPDM-gummi	400 kr/m <sup>2</sup>	57 kr/m <sup>2</sup>
GOLV: 850 m <sup>2</sup> , 1,5 mm EPDM-gummi (vulkad på plats, ingjuten i betong)	100 kr/m <sup>2</sup>	9 kr/m <sup>2</sup>
Oförutsett 10%		8 kr/m <sup>2</sup>

Kostnaden för isolering och tätskikt i ett dikesmagasin med volymen 10.000 m<sup>3</sup> och djupet 12 m blir således enl. ovan ca 95 kr/m<sup>3</sup>.

#### SLUTSATSER

Denna studie visar att med dagens teknik är det möjligt att bygga ett isolerat dikesmagasin för 350 kr/m<sup>3</sup> vid storleken 10.000 m<sup>3</sup>.

Konventionell berg- och byggteknik kombineras med nytänkande vad gäller isolering. Sprutad polyuretan på berg fäster mycket bra och med EPDM-gummi som tätskikt mot lagervattnet och ett pålitligt dräneringssystem för grundvattnet blir detta en användbar konstruktion.

Bjälklaget förses med en fuktspärr (EPDM) på undersidan och isoleras på ovansidan med markskivor av styrolit.

Temperaturen i lagervattnet begränsas till 70 grad. C då garanti för EPDM-gummit inte går att få för högre temperatur.

För att kunna använda högre temperaturer (90 grad. C) krävs ytterligare materialforskning både på tätskikt och på polyuretan, vilket leder till ett lägre pris.

NORDISKT SAMARBETE OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
NBS-E SEMINARIUM, MAJ 1987 I VÄXJÖ

11.7

Referat av kommentarer och diskussioner om  
PLANERADE GROPMAGASIN

- L. Eriksson: I de här redovisade kalkylerna för Kronhjorten saknas kostnader för värmeväxlare, rör, m.fl. poster, som nämnts tidigare.
- V. Ussing: I Esbjerg får groplagret konkurrens av en tidigare oljecistern, men dess asfaltbotten tål ej de höga temperaturerna.  
I Köpenhamn diskuteras ett stort lager vid Avedøre. För detta planeras isolering endast i locket och i vällen högre än leran. Ytvatten måste dräneras bort.
- P. Hansen: För Markebo, ett projekt om cirka 50 hus vid Helsingör, har simuleringsberäkningar genomförts avseende en 30-årsperiod. Beräkningarna visar värmekostnader, som gott kan jämföras med dagens elpris.
- P. Pedersen: Hjortekaer-projektet studeras med en ny modell över temperaturbalansen. Dimensioneringen syftar mot högst 15% energiförlust. Temperaturintervall: 30-90 °C.

## 12. NYA KONCEPT

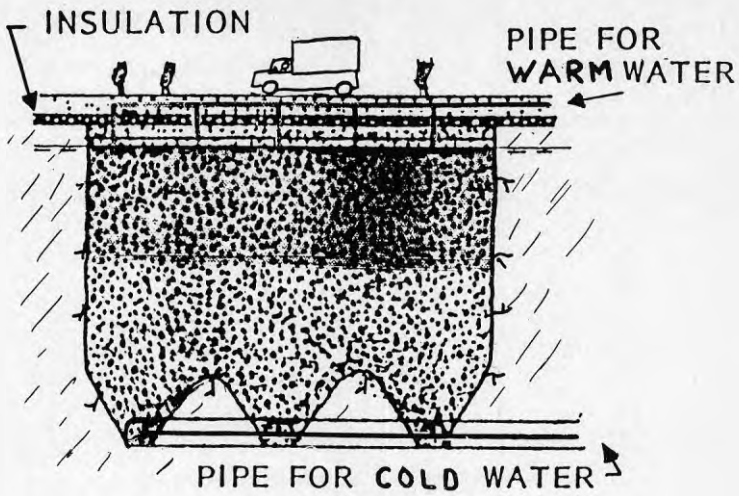
ORDF. SVEN-ERIK LUNDIN

1987-04-27

### 12.1 VÄRMELAGRING I BLOCKFYLLDA GROPAR

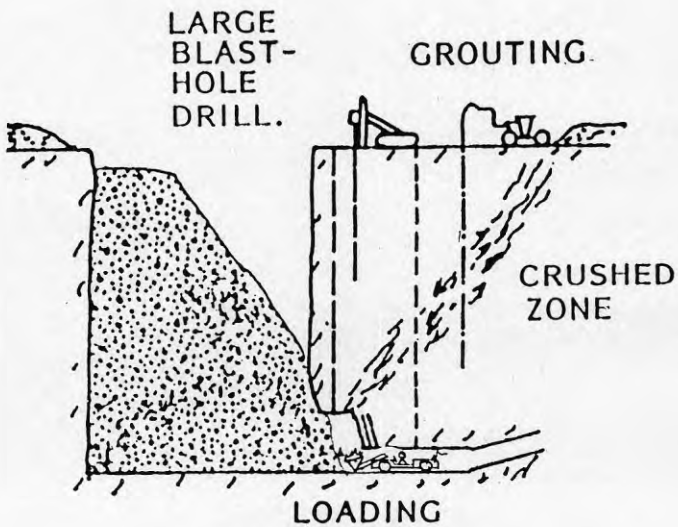
Ingvar Bogdanoff, Jacobsson & Widmark AB

Värme kan lagras i vattenfyllda sprängstensmassor. Lagningsmediet sprängsten och vatten kan vara inneslutet i berg eller tät jord. Vid berggropar lastar men ut ca 50 % av sprängstenen efter sprängning. Gropar i berg kan göras med mycket stor volym. Ett sätt att utföra lager i jord är att schakta brunnar med sänkbrunnsmetoden och därefter fylla brunnarna med sprängsten. Lagret består då av ett antal brunnar placerade intill varandra. Lagret används för korttidslagring och det är ett krav eftersom investeringskostnaden är hög. Fördelen med sprängstensfyllda gropar är att markytan kan återanvändas för olika aktiviteter. Vattnet i lagret balanseras mot grundvattenytan och det är nödvändigt med en relativt hög grundvattenytan. I projektet har bl a förslag tagits fram att isolera och återställa markytan.



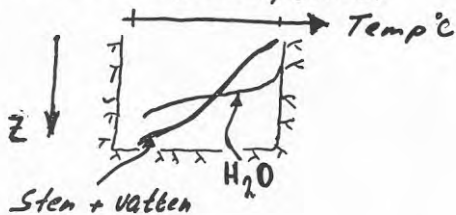
## BLOCKFYLLEDA BERGGROPAR

Volymen 160000 - 500.000 m<sup>3</sup>



### Problem

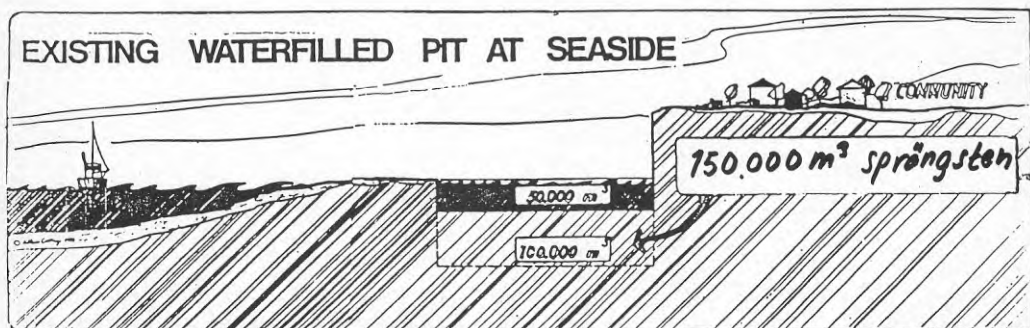
- Sämre lagringsförmåga  
0,75 - 0,80 × vattnets
- Större sprängskikt



- Värmeväxlare → Vatten-  
BEHÖVS DET? kemi

↓  
 Demonstrations-  
 objekt  
 FOU

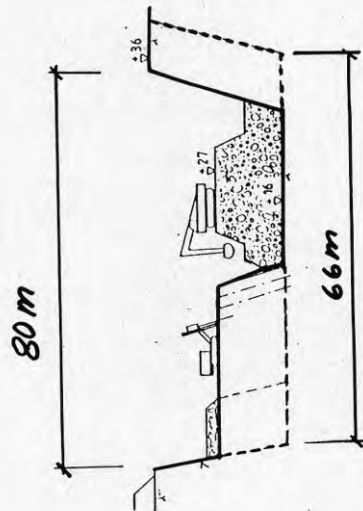
↓  
 Slutfas  
 som  
 öppna berggrum  
 ??



Vid sprängning sväller  
 berget  $\approx 1,699r \Rightarrow$  porositet  $\approx 0,4$

# BLOCKFYLLD BERGGROP. Förstudie Trollhättan

Byggnation av låg grop



Tot. volym  $\approx 95.000 \text{ m}^3$   
Effektiv volym  $88.000 \text{ m}^3$

Volym  $88000 \text{ m}^3$  (effektiv)

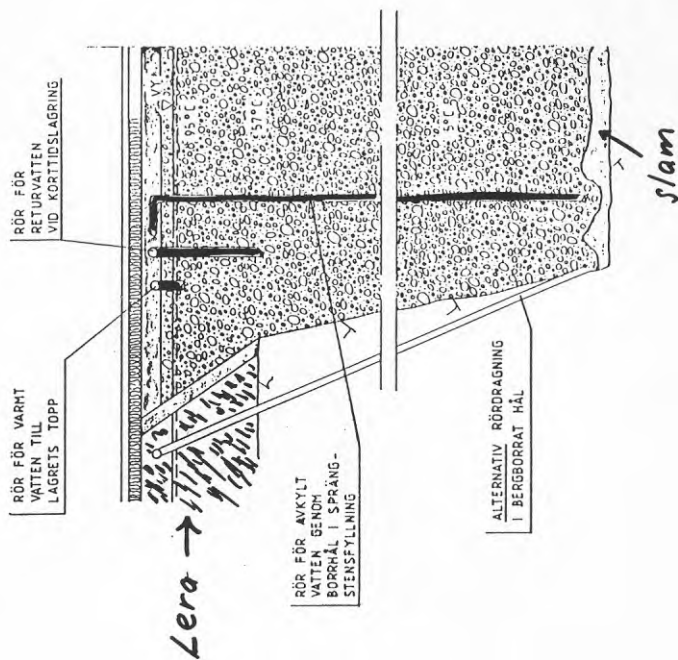
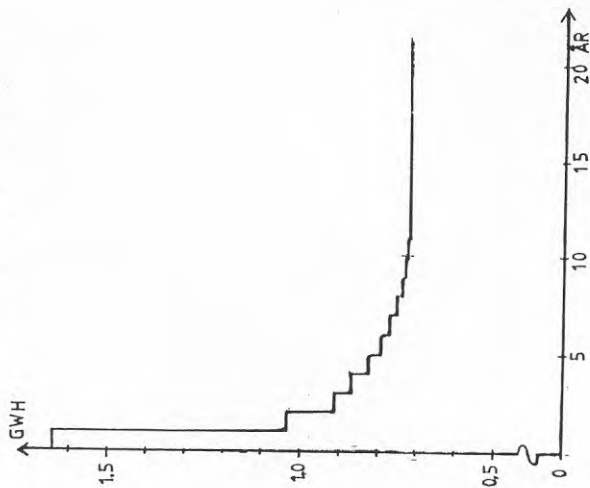
Schaktningens kostnad  
 $4,2 \text{ MSEK} \approx 48 \text{ kr/m}^3$

Total kostnad:  $96 \text{ kr/m}^3$  (1985)  
inklusive värme pump  $1,5 \text{ MSEK}$

$Q_{in}$ :  $5,4 \text{ GWh}$   
 $Q_{ut}$ :  $4,6 \text{ GWh}$  (5år)

Förslag till blockfylld gnp  
(Trohötton)

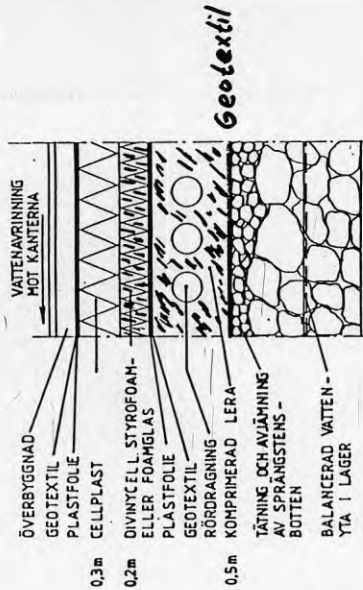
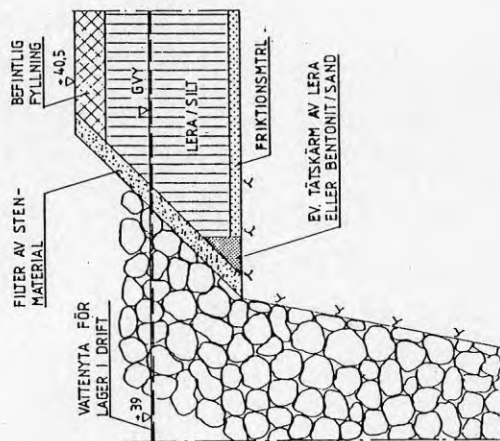
Trohötton  
Värme förbrukar



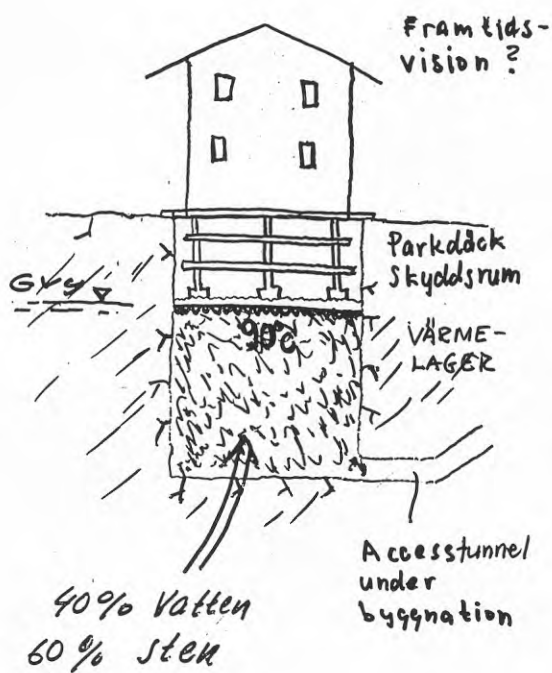
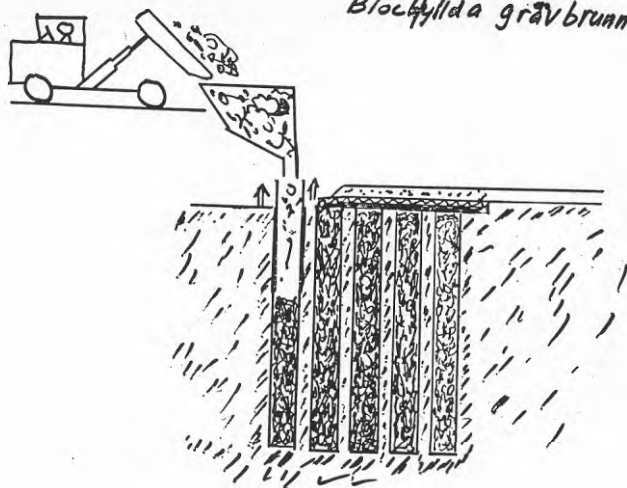


# Gränssonen berg/jord

# Lock till blockfylld grop



## Blockfyllda grävbrunnar



**NORDISKT SAMARBETE OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
NBS-E SEMINARIUM, MAJ 1987 I VÄXJÖ**

12.2

Kortfattat ur ARNE BOYSENS anförande om  
IEA - solvärmecentraler

IEA - Arbetsgruppen för solvärme med årslagring utvärderar funktionen i befintliga projekt. Tidigare beräkningar granskas och aktualiseras gentemot utförda konstruktioner. Funktionen mäts vid anläggningarna, som jämförs i syftet att ge allmängiltiga slutsatser.

ISES 87 - kongress i Hamburg under september 1987, då solvärme med årslagring skall behandlas särskilt. Där anordnas:  
dels en workshop (ca 25 föredrag) om solvärmeteknik samt uppfattningarna om kostnadseffekter och  
dels en studieresa till Växjö och Uppsala.

SEAS - konferens i Borlänge under november 1987, arrangeras under ett par dagar såsom forskarforum.

North Sun 88 - konferens i Sverige under september 1988, som särskilt skall belysa solenergiförhållandena i länder på höga latituder.

UR BFR D/5:1986

**Task VII - Central Solar Heating Plants with  
Seasonal Storage:  
Feasibility Study and Design**

The work has been divided into three phases. During the first phase (1979-1983), the participants collected engineering, performance and cost data on the major component subsystems needed for system design. A parallel effort

During the second phase (1983-1985), the MINSUN design tool was used to make a more systematic evaluation of design concepts and to identify those which are most competitive with alternative systems for heating of buildings.

The objective of Phase III (1986-1988) is to verify and expand on the results of the two previous phases by an exchange of information on the design, construction and operation of existing or new systems, and to perform a collaborative evaluation of this information.

" A water pit for heat storage is a partially excavated, lined pit in earth. Waterproofing is of paramount importance; it must retain watertightness and strength for many years at elevated temperatures. The liner ensures that the chemical composition of the storage water remains unchanged. This storage type has a higher lid surface to volume ratio than other storage types. The lid and embankments are, therefore, usually insulated. Extra heat is required during the first years of operation to warm up the insulated mass of soil.

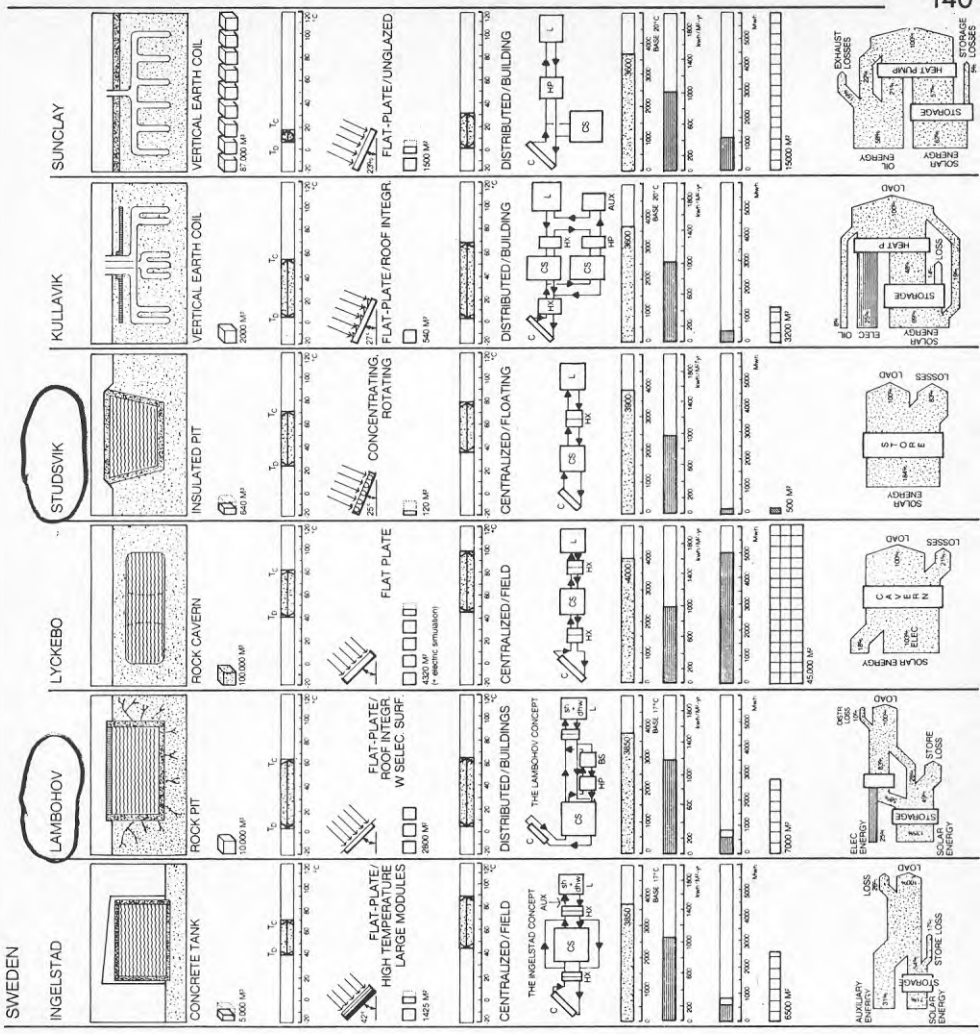
Ideal geological conditions for pit storage are ease of excavation, stable soil, and absence of ground water."

- large solar fractions, more than 80%, can be achieved by systems without heat pumps using stratified energy storage and high performance collectors. Costs for these systems are about 60-70 \$/MWh for low-temperature distribution systems and 90-100 \$/MWh for high-temperature distribution systems.

PROJECT	STORAGE SUBSYSTEM	TEMPERATURE (VOL AVG) T <sub>c</sub> : WHEN FULLY DISCHARGED	COLLECTOR SUBSYSTEM	TEMPERATURE (OPERATING RANGE)	LOCATION	SYSTEM CONCEPT	CLIMATE	SOLAR RADIATION (ANNUAL SOLAR ENERGY ON 1.52 M <sup>2</sup> HORIZONTAL SURFACE)	LOAD	ENERGY FLOW
AUSTRIA INNSBRUCK-KRANEBITTEN	HORIZONTAL EARTH COIL 70,000 M <sup>3</sup>	10°C - 20°C	UNCOVERED FLAT PLATE 400 M <sup>2</sup>	10°C - 20°C	CENTRALIZED/BUILDINGS	CS - CENTRAL STORAGE (DUAL) HP - HEAT PUMP L - LOAD C - COOL COLLECTORS AUX - AUXILIARY HEAT SUPPLY HX - HEAT EXCHANGER	DEGREE-DAYS	1000 2000 3000 4000 5000 MADE IN	RESIDENTIAL 1000 SQ M	SOLAR ENERGY INTERNAL HEAT HEAT PUMP STORAGE ELECTRIC
CANADA SCARBOROUGH CSHPS STUDY	CONFINED AQUIFER 300,000 M <sup>3</sup> EST.	10°C - 20°C	EVAQUATED TUBE 1300 M <sup>2</sup>	10°C - 20°C	CENTRALIZED/BUILDING	L - LOAD HP - HEAT PUMP CS - CENTRAL STORAGE C - COOL COLLECTORS AUX - AUXILIARY HEAT SUPPLY HX - HEAT EXCHANGER	DEGREE-DAYS	1000 2000 3000 4000 5000 MADE IN	RESIDENTIAL 1000 SQ M	UPPER FLOOR SOLAR ENERGY INTERNAL HEAT HEAT PUMP STORAGE ELECTRIC HEATING LOWER FLOOR REFLECTED HEAT
DENMARK HJORTEKAEER	EARTH PIT 49,400 M <sup>3</sup>	10°C - 20°C	FLAT-PLATE + SELEC SURF. 6,600 M <sup>2</sup>	10°C - 20°C	CENTRALIZED/BUILDINGS	L - LOAD HP - HEAT PUMP CS - CENTRAL STORAGE C - COOL COLLECTORS AUX - AUXILIARY HEAT SUPPLY HX - HEAT EXCHANGER	DEGREE-DAYS	1000 2000 3000 4000 5000 MADE IN	RESIDENTIAL 200 UNITS	SOLAR ENERGY ELECTRIC HEAT PUMP STORAGE ELECTRIC HEATING DHW STORE LOSS
FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY STUETTIGART UNIVERSITY	GRAVEL/WATER PIT 1,000 M <sup>3</sup>	10°C - 20°C	UNGLAZED 250 M <sup>2</sup>	10°C - 20°C	CENTRALIZED/BUILDINGS	L - LOAD HP - HEAT PUMP CS - CENTRAL STORAGE C - COOL COLLECTORS AUX - AUXILIARY HEAT SUPPLY HX - HEAT EXCHANGER	DEGREE-DAYS	1000 2000 3000 4000 5000 MADE IN	RESIDENTIAL 1375 M <sup>2</sup>	SOLAR ENERGY ELECTRIC HEAT PUMP STORAGE ELECTRIC HEATING DHW STORE LOSS
ITALY SAN PIETRO	VERTICAL & HORIZONTAL EARTH COIL 2,000 M <sup>3</sup> VERTICAL 14,000 M <sup>3</sup> HORIZONTAL	10°C - 20°C	FLAT-PLATE RUBBER ABSORBER 7,100 M <sup>2</sup>	10°C - 20°C	CENTRALIZED/BUILDINGS	L - LOAD HP - HEAT PUMP CS - CENTRAL STORAGE C - COOL COLLECTORS AUX - AUXILIARY HEAT SUPPLY HX - HEAT EXCHANGER	DEGREE-DAYS	1000 2000 3000 4000 5000 MADE IN	RESIDENTIAL 3200 M <sup>2</sup>	SOLAR ENERGY ELECTRIC HEAT PUMP STORAGE ELECTRIC HEATING DHW STORE LOSS
THE NETHERLANDS GRONINGEN	VERTICAL EARTH COIL 22,000 M <sup>3</sup>	10°C - 20°C	EVAQUATED TUBE 2,400 M <sup>2</sup>	10°C - 20°C	DISTRIBUTED/BUILDINGS OTHER HOUSES	L - LOAD HP - HEAT PUMP CS - CENTRAL STORAGE C - COOL COLLECTORS AUX - AUXILIARY HEAT SUPPLY HX - HEAT EXCHANGER	DEGREE-DAYS	1000 2000 3000 4000 5000 MADE IN	RESIDENTIAL 10,000 M <sup>2</sup> (100 UNITS)	SOLAR ENERGY ELECTRIC HEAT PUMP STORAGE ELECTRIC HEATING DHW STORE LOSS
THE NETHERLANDS BUNNIK	CONFINED AQUIFER 35,000 M <sup>3</sup>	10°C - 20°C	FLAT PLATE 400 M <sup>2</sup>	10°C - 20°C	CENTRALIZED/BUILDING	L - LOAD HP - HEAT PUMP CS - CENTRAL STORAGE C - COOL COLLECTORS AUX - AUXILIARY HEAT SUPPLY HX - HEAT EXCHANGER	DEGREE-DAYS	1000 2000 3000 4000 5000 MADE IN	RESIDENTIAL 10,000 M <sup>2</sup>	SOLAR ENERGY ELECTRIC HEAT PUMP STORAGE ELECTRIC HEATING DHW STORE LOSS

- PROJECT
- STORAGE SUBSYSTEM
- TEMPERATURE (VOL AVG)  
T<sub>c</sub>: WHEN FULLY DISCHARGED
- COLLECTOR SUBSYSTEM
- TEMPERATURE (OPERATING RANGE)
- LOCATION
- SYSTEM CONCEPT  
CS - CENTRAL STORAGE (DUAL)  
HP - HEAT PUMP  
L - LOAD  
C - COOL COLLECTORS  
AUX - AUXILIARY HEAT SUPPLY  
HX - HEAT EXCHANGER
- CLIMATE
- DEGREE-DAYS
- SOLAR RADIATION  
(ANNUAL SOLAR ENERGY ON  
1.52 M<sup>2</sup> HORIZONTAL SURFACE)
- LOAD  
RESIDENTIAL  
COMMERCIAL
- ENERGY FLOW  
PERCENTAGES BASED ON TOTAL  
BUILDING LOAD - 100 PERCENT





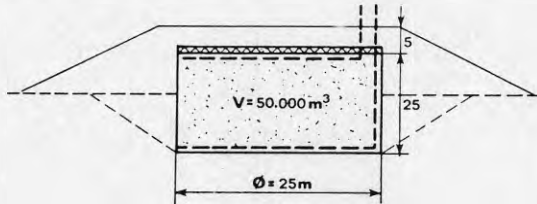
SWEDEN

- PROJECT
- STORAGE SUBSYSTEM
- TYPE
  - SIZE
    - 10,000 M<sup>3</sup>
    - 100,000 M<sup>3</sup>
- TEMPERATURE (VOL AVG.)
  - T<sub>c</sub> - WHEN FULLY CHARGED
  - T<sub>d</sub> - WHEN FULLY DISCHARGED
- COLLECTOR SUBSYSTEM
- TYPE
  - SIZE
    - 1000 SQ M
- TEMPERATURE (OPERATING RANGE)
- LOCATION
- SYSTEM CONCEPT
  - CS - CENTRAL STORAGE
  - BS - BUFFER STORAGE (DIURNAL)
  - C - SOLAR COLLECTORS
  - AUX - AUXILIARY HEAT SUPPLY
  - B - BLENTER
  - EX - EXCHANGER
- CLIMATE
- DEGREE-DAYS
- SOLAR RADIATION
  - ANNUAL GLOBAL SOLAR ENERGY ON 1 SQ M HORIZONTAL SURFACE
- LOAD
  - COOLING
  - DOMESTIC-HOT WATER
- ANNUAL BUILDING DEMAND
  - BUILDING FLOOR AREA
    - RESIDENTIAL 1000 SQ M
    - COMMERCIAL 1000 SQ M
- ENERGY FLOW
  - PERCENTAGES BASED ON TOTAL BUILDING LOAD (100 PERCENT)

### 12.3 Hålrumsmagasin

Geolog Anders Eriksson AIB Anläggningsteknik AB

Ett konstgjort grundvattenmagasin, s k hålrumsmagasin, för värmelagring i jord-vatten kan åstadkommas genom urschaktning, anbringande av tät- och isolerskikt, inläggning av erforderliga rörsystem samt återfyllning med lämpligt jordmaterial.



Nedschaktat - invallat magasin. Principskiss

Eftersom magasinet är fyllt med jordmaterial behövs inga speciella bärande byggnadskonstruktioner för väggar och tak.

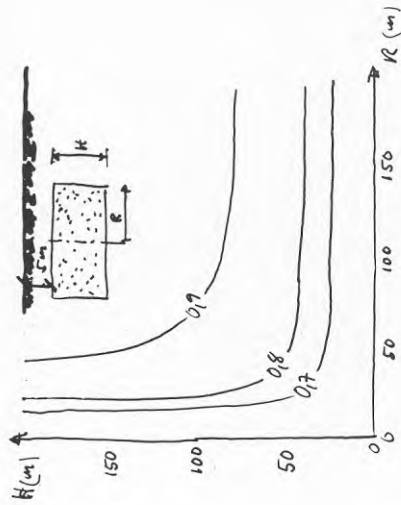
Vid laddning strömmar det varma vattnet ner genom magasinet varvid värme successivt överförs till mineralkornen. Temperaturfronten rör sig i vattenströmmens riktning men med en hastighet som kan visas vara ungefär hälften av vattenfrontens hastighet. För att erhålla en fullständig laddning måste således magasinet genomströmmas två gånger.

Beroende på fyllnadsmaterialets porositet och specifika värme kan ett vattenfyllt hålrumsmagasins värmekapacitet uppgå till 2,3 à 2,8 MJ/m<sup>3</sup>, °C (0,64 à 0,78 kWh/m<sup>3</sup>, °C). Motsvarande värde för ett rent vattenmagasin är 4,2 MJ/m<sup>3</sup>, °C (1,2 kWh/m<sup>3</sup>, °C).

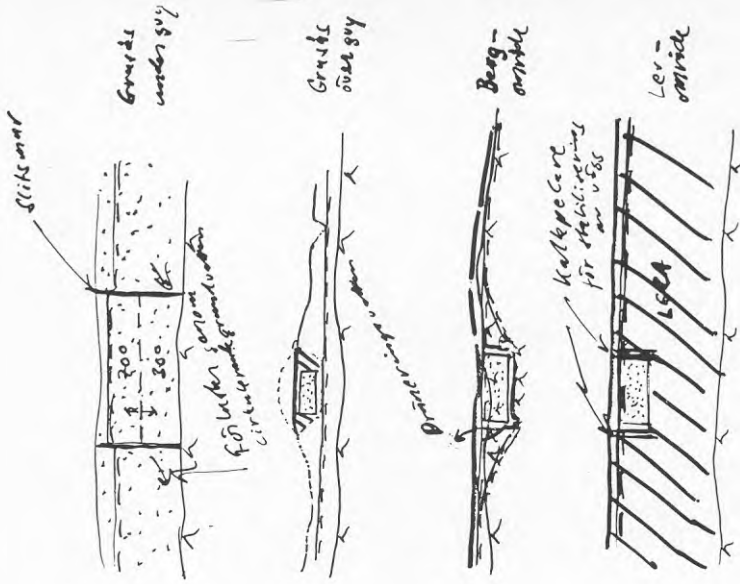
Vid magasinsvolymer större än ca 80 000 m<sup>3</sup>, motsvarande 50 000 m<sup>3</sup> vid renodlade vattenmagasin, synes hålrumsmagasinet vara ekonomiskt intressant jämfört med t ex bergrum eller isolerad plåtcistern.

Vid kostnadsjämförelse med t ex isolerad stålcistern bör även beaktas den fördel ur estetisk och markutnyttjningssynpunkt som hålrumsmagasinet erbjuder. Större varmvattencisterner kan dessutom i många fall behöva förses med skyddsinvallningar. Å andra sidan bör även beaktas den osäkerhet - läckagerisk - som hålrumsmagasinets inneslutning innebär.

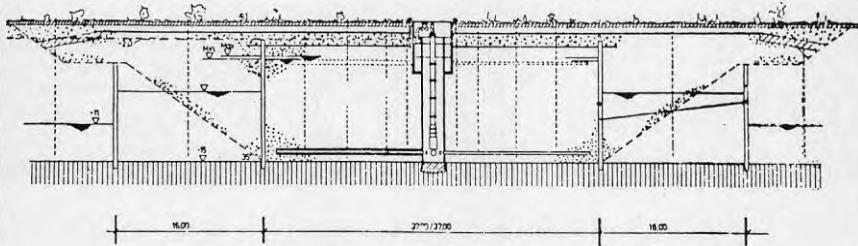
Nu existerande tätfolier utgör en begränsning eftersom deras livslängd avtar snabbt med ökande temperatur. Långtidsanvändning av folier vid temperaturer över +70°C kräver utveckling av nya material.



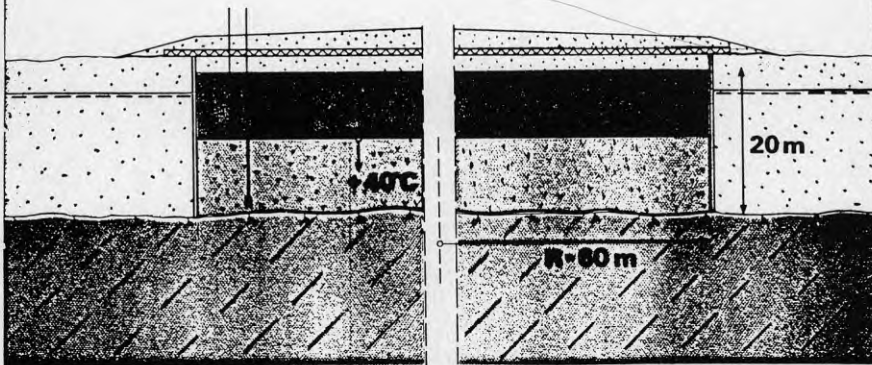
Energiutviklingsgrad som funksjon av magnetets høyde og radius.







Konzept des Versuchsspeichers Großhadern

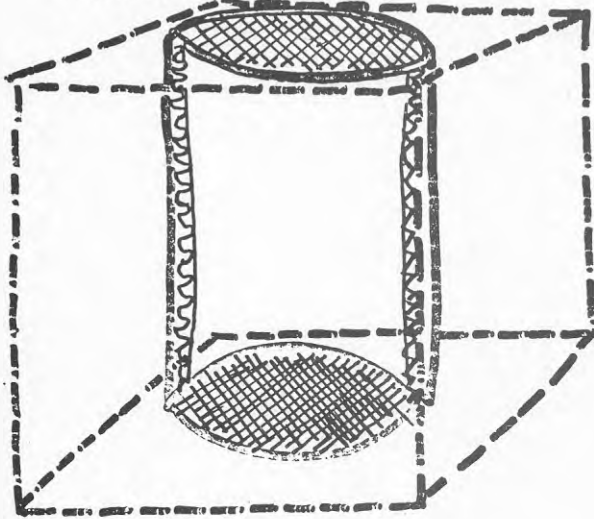


**HÄLRUMSMAGASIN 220 000 m<sup>3</sup>**  
KAPACITET 6 · 10<sup>6</sup> kWh

## NORDISKT SEMINARIUM OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN

## 12.4 Jordstabilisering och tätning med JET-metoden

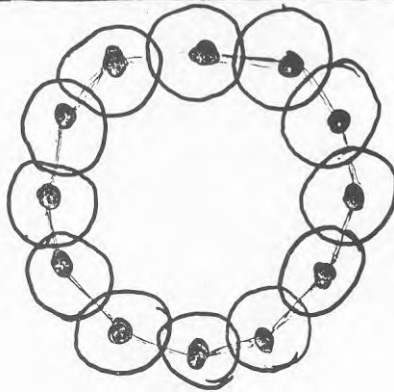
Jan-Olof Eriksson, TGB

ÖNSKEMÅL

".... att åstadkomma  
en tät, cylindrisk  
volym genom  
gjutning in situ...."

METODIK

\* 1.

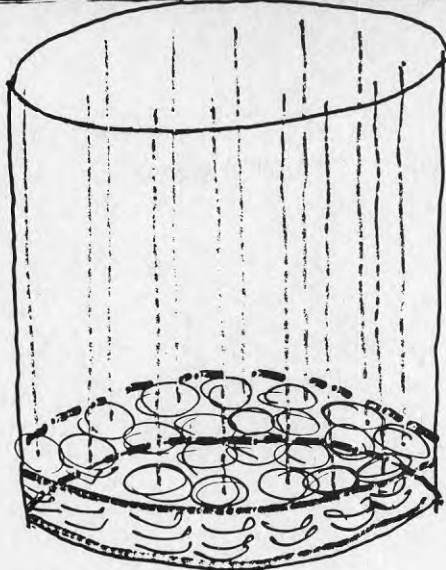
ETABLERANDE AV VÄGGAR

- A. ALT. PELARE —  
B. ALT. SLITMUR —

\*2.

## ETABLERANDE AV BOTTEN

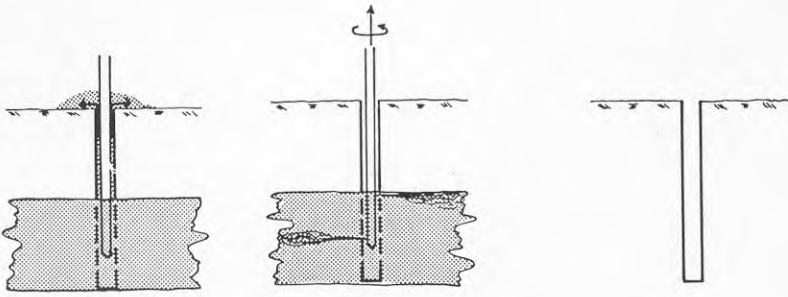
145



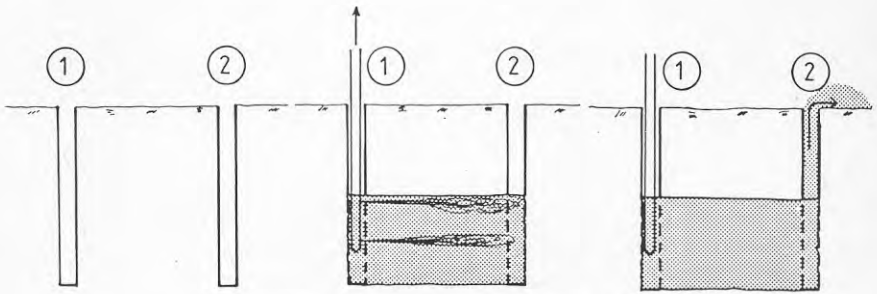
- A. ALT JETPELARE UTFÖRES INNAN URSCHAKTNING SKER.
- B. ALT. GJUTNING UTFÖRES SOM UNDERVATTENS GJUTNING EFTER URSCHAKTNING

## \*3. PROJEKTERING

- A. GEOTEKNISK UNDERSÖKNING
- B. HYDROGEOLOGISK UNDERSÖKNING INKLUSIVE FORMATIONS VATTEN ANALYS
- C. STATISKA BERÄKNINGAR



Byggmoment för JET - pelare



Byggmoment för JET - slitsmur

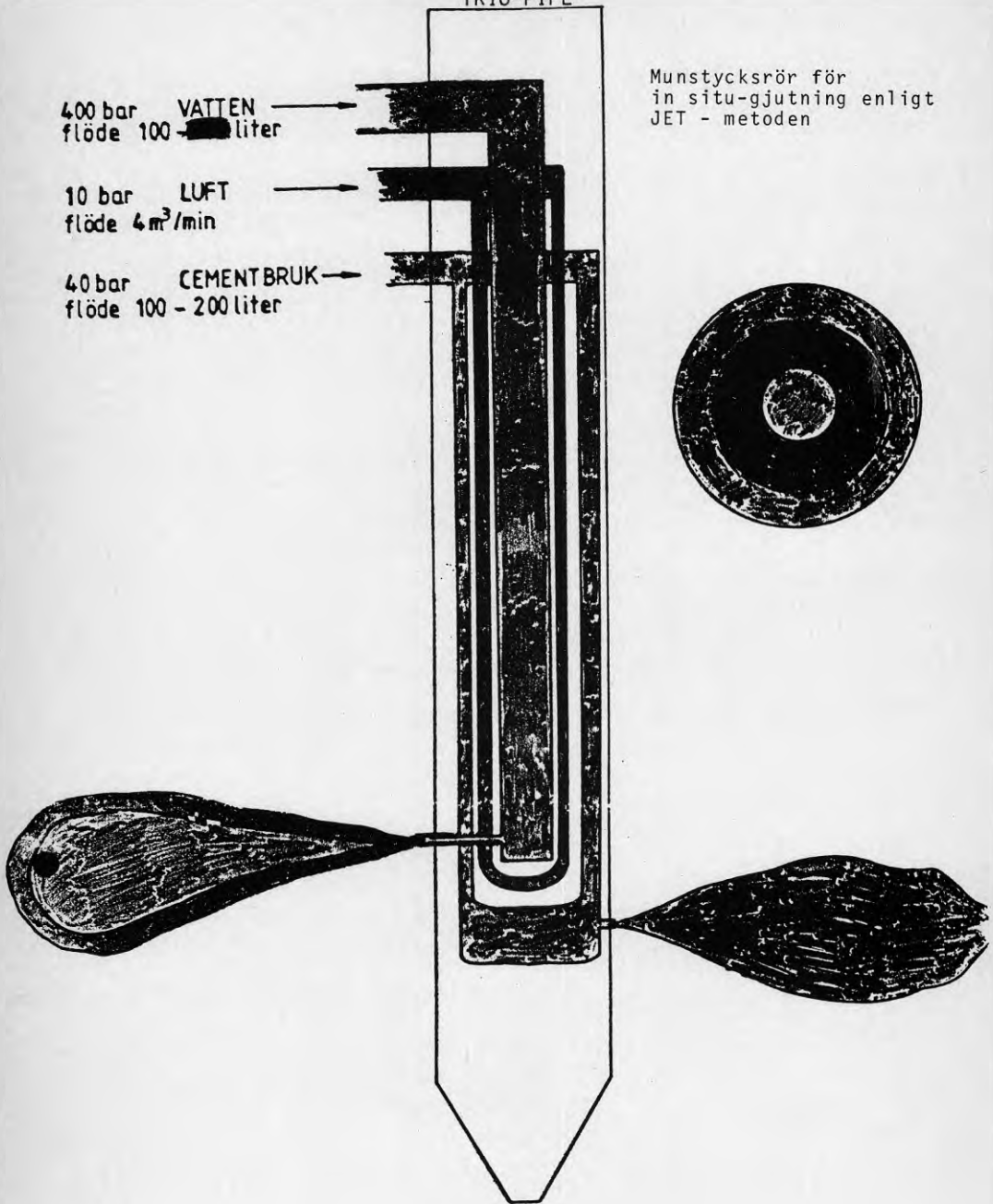
TRIO-PIPE

400 bar VATTEN  
flöde 100 - 200 liter

10 bar LUFT  
flöde 4 m<sup>3</sup>/min

40 bar CEMENTBRUK  
flöde 100 - 200 liter

Munstycksrör för  
in situ-gjutning enligt  
JET - metoden



NORDISKT SAMARBETE OM VÄRMELAGRING I GROPMAGASIN  
NBS-E SEMINARIUM, MAJ 1987 I VÄXJÖ

Kortfattat ur JAN-OLOF ERIKSSONS anförande om  
Jordstabilisering och tätning med JET-metoden

- Då man anlägger ett hålrumsmagasin, dvs en stenfylld grop i marken, kan man skapa tätning i botten och väggar genom gjutning in situ med JET-metoden.  
Gjutningen utförs från ett borrhål, i vilket man för ned ett smalt rör såsom kapsel för tre koncentriskt innerrör.  
Vid botten av det ena innerröret pressas ut en vattenstråle, som spolar undan finkorniga markfraktioner. Spolverkan förstärks med luft, som från det andra innerröret blandas in i vattenstrålen. Därtill pressas ut en stråle av cementbruk från botten av det tredje innerröret och efter hand som kapselröret dras upp, bildas en tätande cementkropp i marken.
- Tätskärm kan bildas antingen med en rad cementpelare stående intill varandra eller med en slitsmur. Cementpelare bildas genom att kapselröret roteras då det dras upp och cementmur bildas, då strålen hålls i konstant riktning mellan två borrhål.
- Cementbruket (av cement Standard M) ger permeabilitet cirka  $1/10^8$  i cementpelarna. Cementen innehåller  $1/4$  flygaska, som i sig har permeabilitet  $1/10^{10}$ .
- Kostnaderna för JET-skärmar är ungefär desamma som för spontning.
- Konstruktionen kan utan svårighet gå ned till 30 m djup.

13. NORDISKE BYGGFORSKNINGSORGANERS  
SAMARBEIDSGRUPPE (NBS)

FRI TJOF SALVESEN

# NBS

13 **NORDISKE  
BYGGFORSKNINGSORGANERS  
SAMARBEIDS GRUPPE**

**FAST ORGANISASJON SIDEN 1957**

**MEDLEMMER. FRA**

- FORSKNINGSRÅD
- (BYGG)FORSKNINGS INSTITUSJONER



# NBS-ENERGI

## DELTAKERE:

DANMARK - SBI  
SOFUS - BYGG

FINLAND - VTT  
KTH-E

ISLAND - RB

NORGE - NBI (BYGGFORSK)  
NTNF

SVERIGE - SIB  
BFR.

SAMARBEID MED NORDISK MINISTERRÅD.

## NBSE OPPGAVER:

- INFORMASJONS UTVEKSLING OM LØFENDE OG PLANLAGT ENERGI FOUL.
- INITIERE OG SAMORDNE FOUL-AKTIVITETER
- ARRANGERE SEMINARER OG SYMPOSIER
- TA DEL I NORDISK MINISTERRÅDS ENERGFORSKNINGSPÅLØPER.
- SAMORDNE NORDISK VIRKSOMHET OVERFOR IEA (INTERNASJONAL ENERGY AGENCY)

FOUL - MIDLER FRA - NORDISK MINISTERRÅD  
+ NASJONALE FOUL-BUDS.

# NBS-E : EKSPERTGRUPPER

- \* ENERGISPARING I BYGNINGER (AUSLUTET)
- \* INNEKLIMA (EGEN NBS-INNEKLIMAGRUPPE ER ETABLERT)
- \* ENERGMÅLINGER I BYGNINGER
- \* BEREGNINGSMETODER FOR BYGNINGERS ENERGI BEHOV (BOLIGER → YRKESBYGG)
- \* EKSPERIMENT BYGNINGER - REGISTER  
- EVALUERINGSM.
- \* VARMEPUMPER "DE 3 DJE NORDISKE VARMEPUMPE-DAGER - ISLAND 22-25/6"
- \* SOLVARME - NORDISK DEMONSTRASJ. ANLEGG  
- MÅLEMETODER  
- BEREGNINGER
- \* LAVTEMPERATUR VARME
- \* SESONG VARMELAGRING → VARMELAGRING
- \* STYRING OG OVERVÅKING
- \* ENERGI FORBRUK I BOLIGER
- \* EL-FORBRUK I YRKESBYGG.

14. SLUTSATSER

SVEN-ERIK LUNDIN

## NORDISKT SEMINARIUM OM VÄRMELAGER I GROPMAGASIN

### 14. SLUTSATSER

Sven-Erik Lundin  
Kjessler & Mannerstråle AB, Stockholm

Seminariedagen har uppnått sitt syfte att ge en bred lägesrapport över teknikområdet och särskilt belysa nyckelfrågor som tätningsmaterial, isolering, schaktstabilitet, kostnader och systemlösningar.

#### 14.1

Gropvärmelager har en avgörande roll vid utnyttjandet av solvärme med höga temperaturer för medelstora system i gruppcentraler och byggnader. Isolerade säsongslager i storleken 5000-30000 m<sup>3</sup> måste därför utvecklas ytterligare. Dessa kan också användas som korttidslager för energi och effektutjämning i värmeproduktionssystem med spillvärme, sopvärme och kraftvärme där groparna kan vara ett alternativ till ståltankarna.

#### 14.2

De byggda gropmagasinen i Norden fungerar bra sedan barnsjukdomarna rättats till. Forsknings- och driftresultat stämmer med teorier och beräkningsmodeller. Systemen har dock byggts för komplicerade. Förenklingar måste eftersträvas även om detta i någon del påverkar effektivitet och systemfinesser.

#### 14.3

Kostnadsbilden är inte entydig eftersom kraven uttryckt i kr/m<sup>3</sup> beror på systemtillämpning, temperaturnivåer etc. Generellt anses dock kostnaderna 1987 på storleksordningen 400-800 kr/m<sup>3</sup> vara för höga för att någon kommersiell marknad ska börja uppstå. Säsongslager för solvärmecentraler har som kostnadsmål 200-300 kr/m<sup>3</sup>. Korttidslager i värmeproduktionen kan kalkylmässigt få kosta mellan 500 och 1500 kr/m<sup>3</sup> för att ge acceptabel ekonomi. Men innan en ny teknik med gropvärmelager används i stället för ståltankar, måste det ekonomiska utfallet vara markant bättre än de etablerade systemen på marknaden.

Erfarenheter av byggda projekt och nyare kalkyler visar att isolering och tätning utgör 40-60% av kostnaderna för en grop. Det är denna kostnadsdel som med utveckling av nya metoder och material skulle kunna sänkas mest.

#### 14.4

Fullskaleprojekt typ gropmagasinet i Kv Kronhjorten Växjö ansågs helt nödvändiga om utvecklingen ska kunna föras framåt både tekniskt och ekonomiskt. Då kan också entreprenörens kunskaper utnyttas i FoU-projekt och nya praktiska erfarenheter erhållas.

## 14.5

För området med tätningmaterialens hållfasthet, beständighet, skarvning och olika arbetsmetoder finns ännu mycket att utveckla från industrins sida. Metoder har dock tagits fram att långtidstesta materialen. PEM-folier verkar för n mest lovande med hållbarhet för temperaturer på  $+80^{\circ}\text{C}$  i 25 år. Fogningsteknik behöver förbättras. EPDM-folier är svåra att foga på plats men fungerar upp till  $+70^{\circ}\text{C}$  i 25 år. Bästa men dyraste materialet är PVDF som klarar temperaturer på  $+90^{\circ}\text{C}$  i minst 25 år. "Metalliner" är också värda att prova i stor skala.

Ett önskamål för framtiden är att någon typ av folie-material tas fram som kan "sprutas" direkt på platsen över värmeisoleringen. En annan teknik för tätning av jordgroppsmagasin kan vara med leran i sig själv och ett "separations-skikt" för att klara vattenkemi-problemen.

Nya möjligheter att säkra schaktstabilitet i djupa jordgroppsmagasin utgör metoderna med kalkpelare, slitsmurar och s k JET-pelare av betong.

Tätning- och isoleringsproblemen är enklare att klara om värmeisolering bara sker ned till grundvattennivån. Man bör också sträva efter att inte permanent sänka denna.

System med både fribärande lock/isolering respektive flytande värmeisolering bör utvecklas vidare eftersom konstruktionerna måste anpassas till groppmagasinens typ, läge, storlek m m.

## 14.6

Långt framskridna planer finns i Norden på att bygga ytterligare 4-6 groppmagasin i pilot - fullskala. Korttidslager bör prioriteras eftersom dessa är på gränsen till lönsamhet. En marknadsintroduktion av dessa banar väg för tekniklösningar som kan användas vid de större säsongsvärmelagren.

## 14.7

Nya koncept såsom blockfyllda berggropar bör också provas. De kan användas i kombinationer korttids-säsongslager och därmed vara lönsamma. Konstgjorda hålrumsmagasin är också intressanta om de kan byggas med hjälp av jordstabilisering och injekterings/tätningsskärmar.

De internationella projekten inom IEA med groppmagasin i Stuttgart och Massachusetts är komplicerade med sina "hybridlösningar" av slangsystem, jordfyllning och vattenlagring. Världen över finns dock ett stort intresse för teknikområdet att lagra varmt vatten. Det anses som en nyckelfråga för framtidens medelstora solvärmesystem.



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870242-5  
från Statens råd för byggnadsforskning till Kjessler &  
Mannerstråle AB, Stockholm.

R84: 1987

ISBN 91-540-4784-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707084

Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer

Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirkapris: 54 kr exkl moms