



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

R77:1985

Utveckling av solvärmecentraler

Förstudie till en prototypanläggning

**Bengt Perers
Heimo Zinko**

*K
Arku*

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

su

Byggeforskningsrådet

R77:1985

UTVECKLING AV SOLVÄRMECENTRALER

Förstudie till en prototypanläggning

Bengt Perers
Heimo Zinko

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790940-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik
Energiteknik AB, Nyköping.

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

R77:1985

ISBN 91-540-4404-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | <u>Sid</u> |
|---|------------|
| SAMMANFATTNING | 3 |
| 1. INLEDNING | 5 |
| 2. GROPMAGASINET FÖR OLIKA TILLÄMPNINGAR | 9 |
| 3. SOLVÄRMECENTRAL (10 - 60 000 m ³ lager- volym) | 11 |
| 3.1 Värmepump i systemet | 12 |
| 3.2 Beräkning av värmeförluster | 13 |
| 4. LAGER FÖR MEDELTEMPERATURDRIFT | 16 |
| 4.1 Markbearbetning | 17 |
| 4.2 Isolering | 18 |
| 4.3 In- och utmatningsanordningar | 19 |
| 4.4 Värmeexpansionselement | 21 |
| 4.5 Linermaterial | 23 |
| 4.6 Lockkonstruktion | 25 |
| 4.7 Optimering av isoleringen | 26 |
| 4.8 Värmedistributionssystem | 28 |
| 4.9 Solfångare | 29 |
| 4.10 Kostnadssammanställning | 32 |
| 5. GROP FÖR VÄRMELAGRING VID HÖGA TEMPERATURER | 38 |
| 6. SLUTSATSER | 41 |
| ACKNOWLEDGEMENT | 44 |
| REFERENSER | 45 |

SAMMANFATTNING

Detta utvecklingsarbete har pågått parallellt med utvärderingen av Studsviks solvärmecentralsprototyp som togs i drift i februari 1979. Omfattande materialtester har också genomförts i Studsviks materiallaboratorium speciellt då på liner- och isolerings-element.

Målet att ta fram en kostnadseffektiv solvärmecentral med 90°C maxtemperatur för anslutning till befintliga fjärrvärmenät har inte kunnat nås ännu. Linerkostnaden ökar kraftigt vid temperaturer över 70°C med idag tillräckligt utprovade material. Behovet av högtemperaturliners för solar ponds kommer dock att gynna kostnadsutvecklingen.

De väsentligaste konstruktionsprinciperna som arbetet mynnat ut i kan sägas vara:

- Lagerkonstruktionen delas upp i två varianter beroende på om maxtemperaturen är över eller under 70°C.
- Gropen görs pyramidformad, dvs med plana väggar. Schaktmassorna används som vall.
- Värmemotståndet i marken får utgöra bottenisolering.
- Lockisoleringen skummas på plats och flyter på vattnet.
- Noggrant utförd vattenavrinning från lock och vall med "diken" och fall.
- Enkel liner med hög hållfasthet i lagret.
- Lockytan utförs diffusionsöppen för vattenånga som diffunderar underifrån.
- Toppförluster kan minskas genom solfångarintegrering eller passiv soluppvärmning av lockytan.
- Solfångarna delas upp i två fält ett på lock och vallar och ett utanför lagret.

- Solfångarna kyls direkt med lagringsmediet och dräneras när de ej är i drift. (Värmeväxlare, expansionskärl och frysskyddsvätska kan slopas.)
- Solfångarna görs så stora att avhasande snö kan få plats mellan raderna och inte onödigtvis hindra driften på våren.
- Solfångarna görs också långa för att minska randförluster och minimera distributionsledningarnas längd.

Med den nu föreslagna konstruktionslösningen uppskattas investeringskostnaden för ett medeltemperaturlager max 70°C till 110 kr/m³ eller 2.2 kr/kWh och år vid $\Delta T = 40^\circ\text{C}$. Solvärmecentralsalternativet ger en kostnad på ca 4.2 kr/kWh/år. Högtemperaturlagret för max 95°C kostar ca 195 kr/m³ motsvarande 3.7 kr/kWh/år vid $\Delta T 45^\circ\text{C}$.

1. INLEDNING

Solenergi finns tillgänglig i överflöd och har även på Sveriges breddgrader en tillräcklig energitäthet för att vara tekniskt utnyttjningsbar.

Sveriges totala energibehov motsvarar 1 kWh/m²/år i genomsnitt medan solinstrålningen som når markytan uppgår till 1 000 kWh/m²/år i medeltal. Tillväxten i normal skog motsvarar 1 kWh/m²/år.

De energibehov som solinstrålningen i första hand kan utnyttjas för är termisk energiproduktion för tappvarmvatten och bostadsuppvärmning. Energibehovet för uppvärmning är dock just orsakad av bristen på solenergi under vinterhalvåret och därför krävs årstidslager för att kunna utnyttja solenergitillgången effektivt. Utan årstidslager kan termiska solfångare endast täcka 10 % av årsbehovet i t ex ett fjärrvärmenät om all producerad solenergi ska kunna tas upp av systemet.

Ett årstidslager behöver dock bara byggas för lagring av ca 60 % av årsenergibehovet eftersom solfångarytan i detta fall är ca 10 gånger större och då kan täcka en större andel av det momentana behovet vår och höst jämfört med ett system utan årstidslager.

Ett solenergisystem med årstidslager måste bli centraliserat. Det beror på att lagringen med dagens teknik måste ske i vatten och då blir yta/volymförhållandet på lagret sådant att man tvingas gå upp i stora lagerstorlekar (10 000-tals m³) för att få rimliga lagringsförluster och kostnader för lagret.

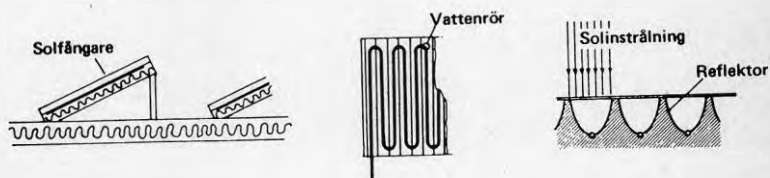
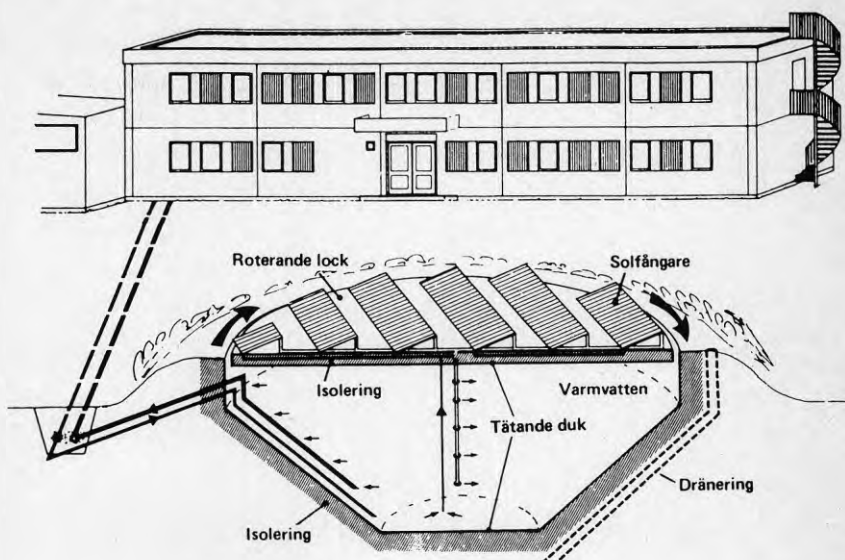
Även kostnader och prestanda för solfångarna har visat sig bli fördelaktigare med större enheter, än de 1 - 2 m² moduler som varit vanliga tidigare.

En del av fördelarna med centralisering av energiproduktionen förloras dock vid distributionen av värmeenergin genom de värmeförluster som uppstår där.

Gropmagasin har den fördelen att rimliga värmeförluster kan uppnås även i måttlig skala jämfört med t ex bergrum och genom att omgivande mark utnyttjas som kraftupptagande begränsningsyta blir gropmagasinalternativet inte så materialkrävande vilket är en viktig parameter för att nå ner till en ekonomisk kostnadsnivå.

Tekniken är dock inte så enkel som man först tänker sig. Standardlösningar från liknande storskalig byggnadsteknik går inte att applicera direkt. Dels på grund av att de specifika materialkostnaderna trots allt måste vara mycket låga och dels eftersom det här ställs speciella krav på t ex temperaturlåghet och livslängd som gör att tekniken inte längre kan anses beprövad i alla avseenden.

Ett första steg i utvecklingen har utvärderats nu under 4 år i Studsvik. Erfarenheterna från detta gropmagasin har förbättrat kravspecifikationen och gallrat fram hur olika konstruktionlösningar fungerar i praktiken, vid olika väderlek och driftfall t ex hur snö, regn och vind m m inverkar på konstruktionerna och t ex vattenkvalitetens kemiska och biologiska stabilitet.



Princip, koncentrerande solfångare

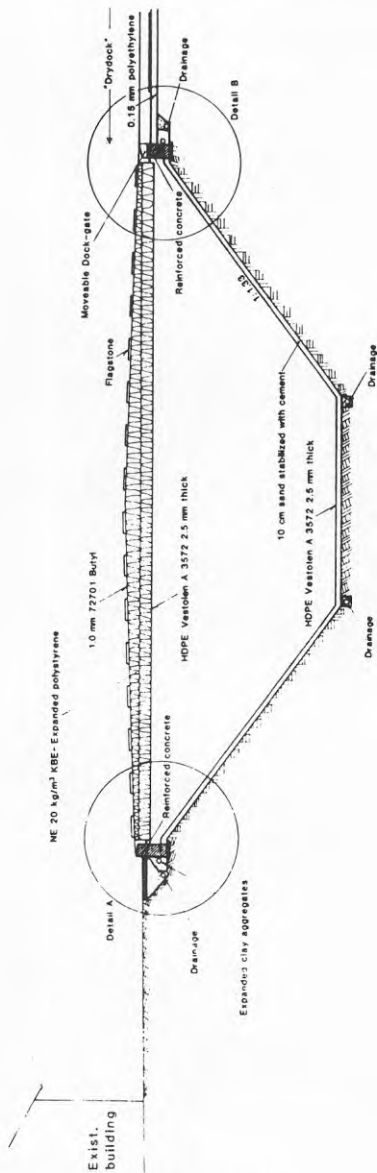
Figur 1

Solvärmecentralen i Studsvik

Parallellt har också accelererade materialtester utförts i laboratoriet för att täcka bristerna i materialdata när det gäller t ex livslängd vid förhöjda temperaturer och höga ytbelastningar.

I denna rapport beskrivs hur nästa steg i utvecklingen skulle kunna utformas och bakgrunden till denna konstruktionslösning.

Sedan solvärmecentralen i Studsvik byggdes har även praktiska försök startats upp i Danmark med gropmagasin i ungefär samma skala. Erfarenheter därifrån har också utnyttjats för att nå så nära slutmålet som möjligt utan alltför stort risktagande konstruktionsmässigt.



NOTE:

NE Non-stiffening
HDPE High density polyethylene

| TYPEN AV MATERIALERNA | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Material | Specifikation |
| 1 | NE |
| 2 | HDPE |
| 3 | Expand. clay aggregates |
| 4 | Reinforced concrete |
| 5 | 10 cm sand stabilized with cement |
| 6 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 7 | Flagstone |
| 8 | 10 mm 72701 Buryl |
| 9 | Expand. clay aggregates |
| 10 | Reinforced concrete |
| 11 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 12 | Flagstone |
| 13 | 10 mm 72701 Buryl |
| 14 | Expand. clay aggregates |
| 15 | Reinforced concrete |
| 16 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 17 | Flagstone |
| 18 | 10 mm 72701 Buryl |
| 19 | Expand. clay aggregates |
| 20 | Reinforced concrete |
| 21 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 22 | Flagstone |
| 23 | 10 mm 72701 Buryl |
| 24 | Expand. clay aggregates |
| 25 | Reinforced concrete |
| 26 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 27 | Flagstone |
| 28 | 10 mm 72701 Buryl |
| 29 | Expand. clay aggregates |
| 30 | Reinforced concrete |
| 31 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 32 | Flagstone |
| 33 | 10 mm 72701 Buryl |
| 34 | Expand. clay aggregates |
| 35 | Reinforced concrete |
| 36 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 37 | Flagstone |
| 38 | 10 mm 72701 Buryl |
| 39 | Expand. clay aggregates |
| 40 | Reinforced concrete |
| 41 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 42 | Flagstone |
| 43 | 10 mm 72701 Buryl |
| 44 | Expand. clay aggregates |
| 45 | Reinforced concrete |
| 46 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 47 | Flagstone |
| 48 | 10 mm 72701 Buryl |
| 49 | Expand. clay aggregates |
| 50 | Reinforced concrete |
| 51 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 52 | Flagstone |
| 53 | 10 mm 72701 Buryl |
| 54 | Expand. clay aggregates |
| 55 | Reinforced concrete |
| 56 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 57 | Flagstone |
| 58 | 10 mm 72701 Buryl |
| 59 | Expand. clay aggregates |
| 60 | Reinforced concrete |
| 61 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 62 | Flagstone |
| 63 | 10 mm 72701 Buryl |
| 64 | Expand. clay aggregates |
| 65 | Reinforced concrete |
| 66 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 67 | Flagstone |
| 68 | 10 mm 72701 Buryl |
| 69 | Expand. clay aggregates |
| 70 | Reinforced concrete |
| 71 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 72 | Flagstone |
| 73 | 10 mm 72701 Buryl |
| 74 | Expand. clay aggregates |
| 75 | Reinforced concrete |
| 76 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 77 | Flagstone |
| 78 | 10 mm 72701 Buryl |
| 79 | Expand. clay aggregates |
| 80 | Reinforced concrete |
| 81 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 82 | Flagstone |
| 83 | 10 mm 72701 Buryl |
| 84 | Expand. clay aggregates |
| 85 | Reinforced concrete |
| 86 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 87 | Flagstone |
| 88 | 10 mm 72701 Buryl |
| 89 | Expand. clay aggregates |
| 90 | Reinforced concrete |
| 91 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 92 | Flagstone |
| 93 | 10 mm 72701 Buryl |
| 94 | Expand. clay aggregates |
| 95 | Reinforced concrete |
| 96 | HDPE Vestolen A 3572 2.5 mm thick |
| 97 | Flagstone |
| 98 | 10 mm 72701 Buryl |
| 99 | Expand. clay aggregates |
| 100 | Reinforced concrete |

Figur 2

Gropmagasin i Danmark DTH

2. GROPMAGASINET FÖR OLIKA TILLÄMPNINGAR

De alternativkostnader som solvärmecentraler måste kunna konkurrera med gör att en total system design krävs för att beakta alla möjligheter till minimering av kostnaderna.

Från rent värmeteknisk och ekonomisk synpunkter bör man gå upp i lagertemperatur så mycket som möjligt för att minska storleken och därmed investeringskostnaden för lagret så mycket som möjligt. Tyvärr finns det en materialkostnadströskel vid ca 70°C speciellt för tätduken till lagret vilket för närvarande begränsar maxtemperaturen för säsongslager till omkring 70°C. För högre temperaturer krävs det tillämpning av obeprövade eller mycket dyrare polymermaterial. Drift vid högre temperaturer upp mot 95°C kan dock bli aktuell för lager med flera energiomsättningar per år. Ju flera omsättningar desto högre lagerkostnader kan accepteras.

Av värmetekniska skäl är det också intressant att sänka mintemperaturen i lagret för att öka energiomsättning per volymsenhet. Det kan ske dels genom inkoppling av värmepump en del av året och dels genom minimering av fram- och returledningstemperaturerna för de förbrukare som är anslutna till centralen. Kostnaderna för detta avgör dock vilken mintemperatur man kan nå ner till.

De materialtekniska begränsningar som för närvarande råder pekar mot att lagringsförmågan per volymenhet måste ökas med hjälp av värmepump. Detta bygger dock på att elkostnaden är låg. I dagens läge blir ett medeltemperaturlager med en värmepump som arbetar mot lagret en intressant variant för säsongslagring. Förutom solfångarvärme kan med fördel även övriga naturvärmekällor användas.

Solfångarnas prestanda och kostnad blir också gynnsammare vid medeltemperaturfallet och det är också möjligt att utnyttja en eventuell värmepump i systemet för att konstruera solfångarsystemet för ren lågtemperaturdrift varigenom solfångarfältets investeringskostnad kan reduceras kraftigt samtidigt som prestanda ökar. Genom att låta värmepumpen arbeta mot lagret även för solfångardriften kan dess drifttid anpassas till låglasttid på elnätet med lägre kostnader som följd och värmepumpen behöver inte dimensioneras för solfångarfältets maxeffekt som är flera gånger högre än dygnsmedel-effekten.

För t ex spillvärmelagring kan det dock bli aktuellt med högtemperaturlager där flera omsättningar per år kan försvara en något högre investeringskostnad per lagrad kWh. Genom den kortare lagringstiden kan också mindre lagerstorlekar tillåtas utan oacceptabla värmeförluster. Detta minskar det ekonomiska risktagandet men inte rent proportionellt eftersom lagret blir dyrare per m³ genom att yta/volymförhållandet ökar.

Klart är att energitekniskt ger värmelagren en större frihet i valet av energitillförsel och reducerar effekt- och årsfördelningskraven på tillförselsidan radikalt även om vissa materialkostnadsbarriärer återstår att bryta igenom för en mera generell tillämpning för höga temperaturer.

Steget mot högre temperaturer är intressant eftersom lagret då kan anslutas direkt till befintliga fjärrvärmnät, och i många fall då även svara för en del av topplasten där temperaturkraven inte är extremt höga.

3. SOLVÄRMECENTRAL

(10 - 60 000 m³ lagervolym)

Den prototyp som utvärderats i Studsvik är av typen helisolerat gropmagasin med flytande, roterande lock där också solfångarna placerats för att öka deras energiproduktion.

Det flytande locket har visat sig fungera väl med god rotationsnoggrannhet. I full skala blir det dock mycket större krafter på locket och den runda formen reducerar omslutningsytan förhållandevis litet (10 %) så i denna nya grundkonstruktion är lagret av pyramidform för att få ett enklare byggnadstekniskt utförande.

I en fullskalig solvärmecentral ryms dessutom bara ca 20 % av solfångarytan på lagrets lockyta varför energivinsten med rotation av locket blir förhållandevis liten totalt sett. Denna lösning har därför frångåtts för lagrets del i stora system.

Lockytan på lagret kan dock med fördel användas som uppställningsplats för solfångare. Integrerade solfångare kan t ex bidra till reducerade värmeförluster genom att de under drifttid är varmare än lagret och då helt stoppar värmeflödet uppåt från lockytan. Lämpligt utformade kan också solfångarna fungera som klimatskärm för lockisoleringsringen. Prototypen har visat att denna konstruktionsbit är mycket viktig för totalfunktionen av lagret. Avtätning utifrån och vattendiffusion inifrån är viktiga parametrar.

Ett av grundproblemen med gropmagasinen är att uppnå rimliga förluster mot omgivande mark. Dokumenterat trycktåliga material för den nedre delen av lagret har varit svåra att få fram. Värmetekniska beräkningar har dock visat att lagret i

fullskala får en sådan geometri att marken utgör en acceptabel isolering i sig själv och att det är mera kostnadseffektivt att lägga isoleringen på lockytan och sidorna än botten.

Ytterligare skäl är att lagrets nedre del alltid får en lägre genomsnittstemperatur än överdelen både under laddning och urladdning. Vattnet i botten av lagret kan betraktas som ett dynamiskt isolerskikt.

3.1 Värmepump i systemet

Om en värmepump som arbetar mot lagret införs i systemet kan förlusterna nedåt från lagret i princip elimineras genom att låta värmepumpen ta värme från lagrets bottenskikt och skapa ett kallt gränsskikt i botten i temperaturbalans med omgivningen. Den erforderliga värmepumpeffekten beror på gränsskiktets tjocklek och temperaturnivåerna. Vid en meters gränsskiktstjocklek blir elförbrukningen för att driva värmepumpen ca 10 % av lagringskapaciteten och huvuddelen av denna energimängd avges direkt till lagret som värme. För det systemet behövs endast en relativt liten värmepump för att återföra värmeförlusten till lagret.

Ett ytterligare steg är att utnyttja värmepumpen även för laddning av lagret med hjälp av solfångare eller andra naturvärmesystem såsom konvektorer varigenom kostnaden för solfångarfältet kan reduceras kraftigt genom att det kan arbeta vid låga temperaturer. Integreras dessutom solfångarna i locket får man samtidigt en återvinning av värmeförlusterna uppåt från lagret. Återvinningsgraden beror på vilken solfångartemperatur man går ner till. Vid dessa temperaturer ökar också solfångarverkningsgraden så mycket att lockytan räcker för hela energibehovet vilket förenklar systemet avsevärt.

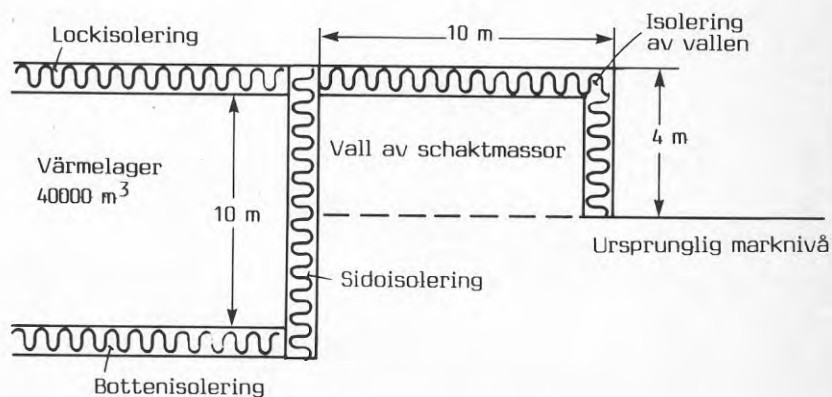
3.2 Beräkning av värmeförluster

För att grovoptimera lagerkonstruktioner har ett antal fall genomräknats med dataprogram framtagna vid Lunds Tekniska Högskola, se Figur 3. Resultatet visas i Figur 4. Där visas den årliga värmeförlusten uppdelad på lock, sida och bottenyta och värdena är tagna när insvängningsförloppen kan anses försumbara. Här syns att värmeförlusterna genom bottenytan på lagret är förhållandevis små även i det helt oisolerade fallet. När lagret får skikta sig blir bottenförlusterna närmast försumbara för alla varianterna.

Alla isoleringsvarianterna får acceptabla lager-effektivitetsvärden på omkring 80 %. Dessa värden kan förbättras genom en utökning av lockisolereringen utöver de här antagna 200 mm.

Vid fallet helt omrört lager minskar lockförlusterna avsevärt på grund av lägre medeltemperaturskillnad. Bottenförlusterna ökar inte i motsvarande grad varför totalförlusterna blir lägre.

Kraftig skiktning i lagret är därför inte givet den bästa strategin vid låg isoleringstjocklek. Vid lockisolering som överstiger 400 mm gäller motsatsen. Värmeförlusterna genom locket blir mindre än bottenförlusterna och kraftig temperaturskiktning utgör en bra strategi.



Figur 3

Beräkningsförutsättningar

Beräkningsfall 1 - 6 isoleringsplacering

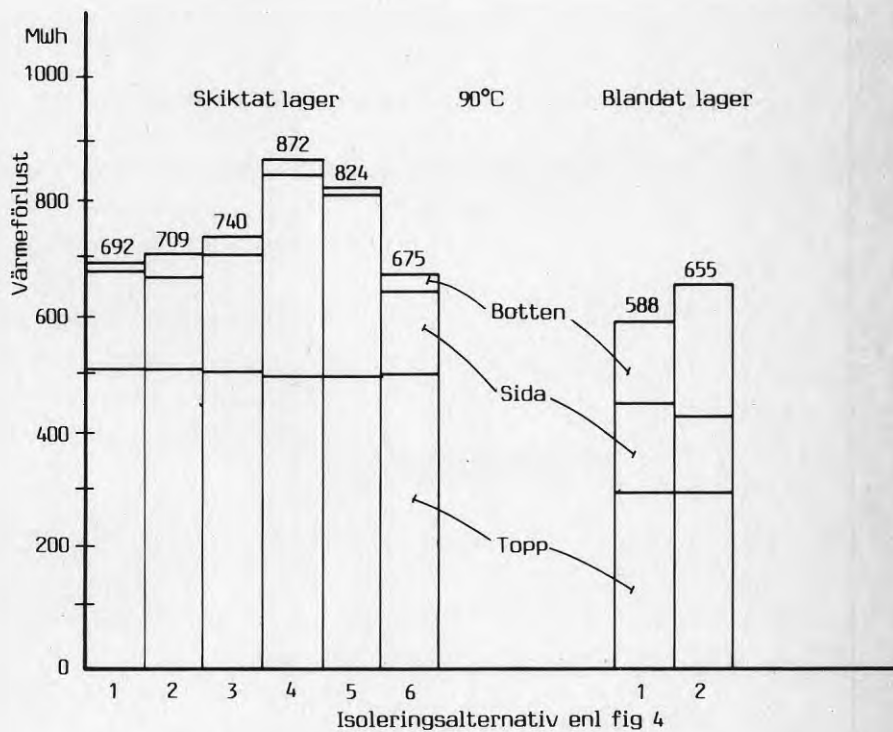
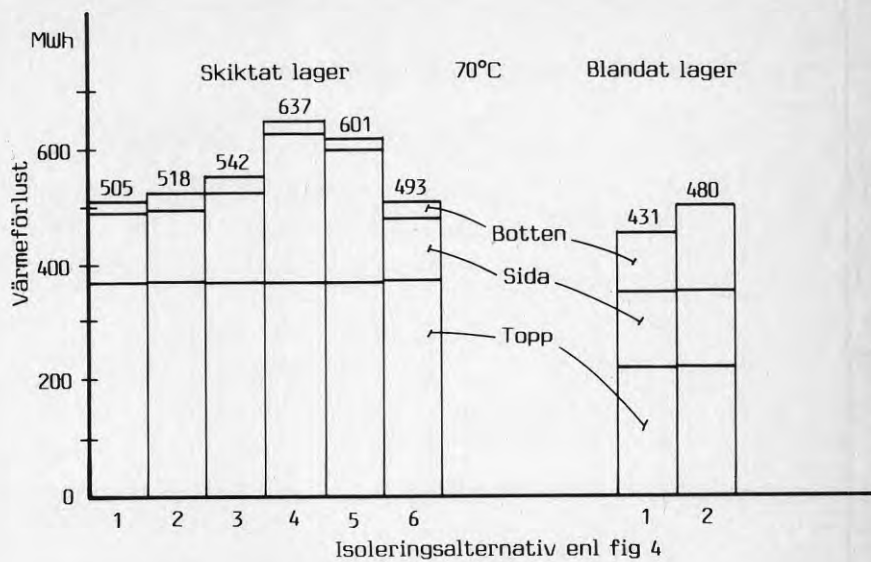
1. Helt isolerat
2. Lockyta och sida 10 m ner
3. Lockyta och sida 6 m ner
4. Lockyta och sida 2 m ner
5. Lockyta och vallens utsida
6. Lockyta och sida 10 m ner plus vallens utsida.

Isolertjocklek 20 cm

Värmeledningsstal isolering 0.05 W/mK

Värmeledningsstal mark 2.0 W/mK

Temperatursving i lägret 10 - 70°C



Figur 4

Värmeförlustberäkning 40 000 m³ grop

4. LAGER FÖR MEDELTEMPERATURDRIFT

Den principiellt enklaste varianten av solvärme-central består av enbart solfångare och lager. Ingen yttre energitillförsel krävs mer än till reglersystem och cirkulationspumpar. Solvärme-centralen i Studsvik byggdes upp på detta sätt och har fungerat väl i praktisk drift under 4 år.

Fördelen är att systemet kan göras mycket enkelt och att det blir okänsligt för svängningar i kostnader för andra energislag såsom el eller olja. Rätt konstruerat blir också underhållskostnaderna mycket låga. Jämfört med ett solvärmesystem med värmepump ställs dock större krav på komponenterna vad gäller högtemperaturprestanda och den totala investeringskostnaden blir högre med nu gällande komponent-priser.

Till viss del kan temperaturkraven reduceras med lågtemperaturteknik på distributions- och uppvärmningssidan. Lagret kan då urladdas till en lägre temperatur och maxtemperaturen i lagret kan hållas nere för en given lagringskapacitet.

Med lager av typ gropmagasin kan även små enheter byggas med säsongslagringskapacitet och anslutas till mindre lokala fjärrvärmesystem där lågsvavlig olja är det normala alternativet. Detta gör att alternativkostnaden för systemet är gynnsammare. Den totala investeringens storlek blir också begränsad jämfört med andra säsongslagringsystem.

Investeringskostnaden är dock så hög att återbetalningstider på ca 20 år blir aktuella och höga krav måste ställas på livslängd hos komponenterna. En solvärmecentral består också av

förhållandevis få olika komponenter varför miss- tag i konstruktion eller materialval blir mycket omfattande och kostsamma att åtgärda vilket ställer extra höga krav på anläggningens utförande.

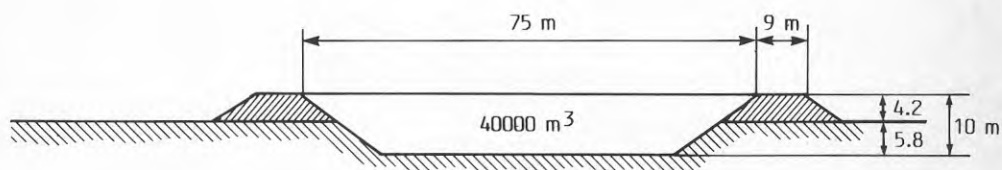
Genom att solfångarna här måste leverera energi vid direkt användbara lagertemperaturer kommer inte lockytan på lagret att räcka för solfångarfältet eftersom årsutbytet per m² solfångare sjunker med temperaturen.

Solfångare som integreras i lockytan är även här intressanta och förbättrar lagerfunktioner. Eventuellt kan även en del av krönet på lagrets jordvallar utnyttjas med samma teknik för uppställning av solfångare varigenom markytbehovet utanför lagret hålls nere.

4.1 Markbearbetning

Värmelagret utgörs av en ca 10 m djup bassäng delvis nedsänkt i marken, så mycket att massbalans uppnås mellan schaktmassor och volym i vallarna. Grundformen på lagret är en stympad pyramid. Slänternas lutning väljs efter schaktmassornas rasvinkel. Dräneringsanordningar behövs normalt inte eftersom isolering under grundvattennivån inte är nödvändig i grundutförandet. Under byggnadstiden kan dock dränering behövas för att hålla undan regn och grundvatten.

Slänterna jämnas av med grus som cementstabiliseras för att ge ett lämpligt underlag för tätningssduken.



Figur 5

Principskiss av grop och vallar

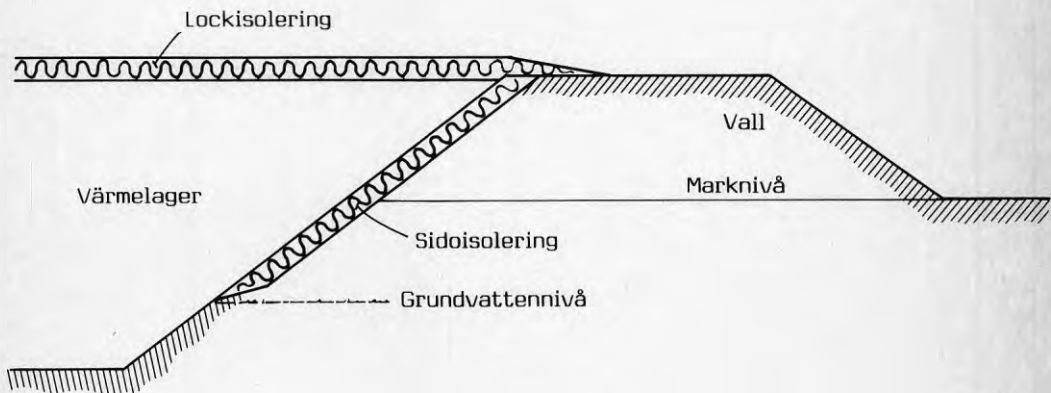
4.2 Isolering

Tidigare redovisade grovoptimeringar av värmelagret visar att det är viktigast att ha bra isolering på toppytan och en bit ner på sidorna, medan botten kan lämnas oisolerad.

Till lockisolering har valts polyuretan som skummas på plats med en teknik som tagits fram för takisolering. Detta ger ett vattentätt ytskikt upp till samtidigt som ångtransport kan ske underifrån och upp om t ex tätduken mot vattnet inte är tillräckligt diffusionstät som är fallet med de flesta polymermaterial.

Sidoisoleringen placeras i första hand utmed insidan av lagret. Genom att vallarna är så höga i denna skala kan minst halva lagerdjupet isoleras utan risk för grundvatteninverkan.

Den nedre delen av sidan är dock vanskelig att isolera med normala isolermaterial p g a vatten-trycket. Värmeförlustberäkningen visar dock att under 6 m djup ger isoleringen en mycket be- gränsad reduktion av förlusterna.



Figur 6

Principskiss av isoleringsplacering

4.3 In- och utmatningsanordningar

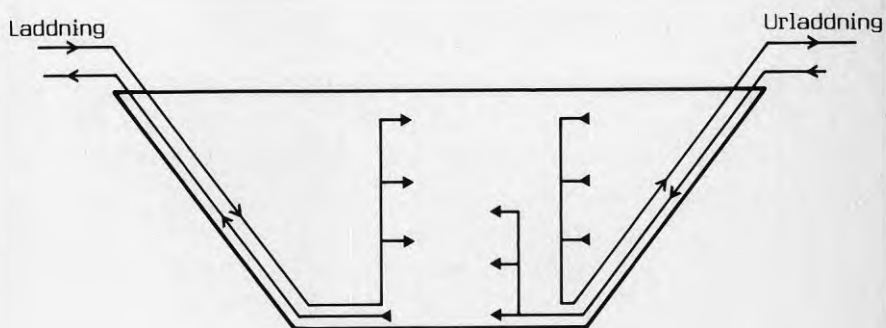
Värmeuttaget från lagret bör kunna styras efter olika strategier så att värmeinnehållet utnyttjas på bästa sätt.

En mycket stabil skiktning borde kunna uppnås i ett fullskaligt lager och detta kan då utnyttjas för att t ex under urladdningssäsongen upprätthålla en temperaturresev i toppen av lagret som kan utnyttjas som topplastkälla.

Värme bör därför hela tiden tas från så låg nivå i lagret som möjligt. Laddnings- och uttagsreglering sker med hjälp av ett antal ventiler förbundna med fasta rörledningar från olika djup i lagret.

Blandning mellan olika nivåer för finreglering av temperaturen kan krävas vid dellast om det utbildas ett för smalt temperatursprångskikt i lagret.

För att undvika genomföringar på linern under vattennivån dras alla rörledningar genom tätspalten mellan lock och sarg.



Figur 7

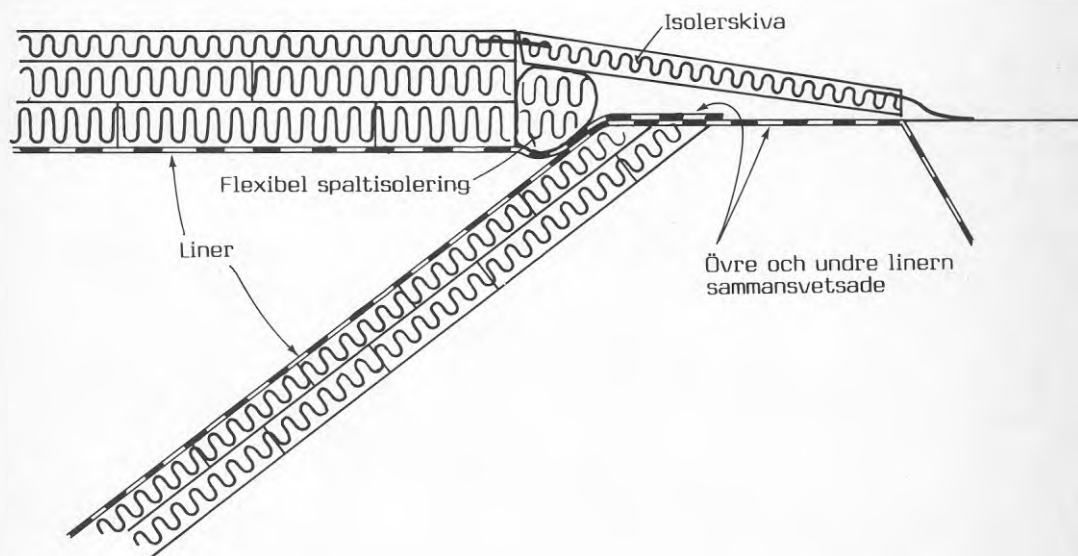
In- och utmatningsanordningar

4.4 Värmeexpansionselement

Värmeutvidgning förekommer i flera riktningar och delkonstruktioner. De får inte ge upphov till skador eller försämrad funktion hos lagret.

Vattnet i lagret utvidgas med temperaturen i lagret. Denna volymsförändring måste locket klara av att ta upp.

Dessutom uppstår värmeutvidgning av locket när lagrets topptemperatur ökar, men även omgivningstemperaturen inverkar och bromsar utvidgningen.



Figur 8

Spaltisolering vid övergången mellan lock och sarg

Dessa rörelser tas upp med en speciellt utformad spaltisolering mellan lock och sarg och begränsar värmeförlusterna utan att temperaturrörelserna hindras.

Linerns temperaturutvidgning kräver inga speciella åtgärder eftersom den är så tunn att utvidgningen kan tas upp genom lokal deformation. Genom att linern monteras i kallt tillstånd blir det främst fråga om tryckspänningar som är mindre riskabla för livslängden.

4.5 Linermaterial

Ett omfattande utvecklings- och utvärderingsarbete av linersystem för värmelager pågår vid Studsvik Energiteknik AB. Se Ref 4. Även andra tester har genomförts parallellt som direkta uppdrag från industrin, främst då på polyetenmaterial men även t ex polyester.

Speciella accelererade provningsmetoder har tagits fram för att uppskatta livslängden på polymermaterial för bl a liners. Det har visat sig att skarvtekniken är en viktig faktor för valet av material eftersom lagren är så stora att skarvning måste kunna ske på plats under fältmässiga förhållanden. Speciella tester har därför genomförts för att prova skarvarnas långtidshållfasthet.

Alla polymermaterial har en viss vattenpermeabilitet som ökar med ångtrycksskillnaden. De fuktdiffusionsvärden som mätts upp är så höga att utanförliggande isolermaterial kan få reducerat värmemotstånd. Detta kan lösas genom ett diffusionsöppet skikt på isoleringens utsida så att ingen accumulering av fukt kan uppstå någonstans i isoleringen. Tester i hetvattenbassänger har visat att detta fungerar i praktiken. Det förutsätter dock att isolermaterialet kan släppa igenom vattenånga utan att ta skada.

De testresultat som hittills är klara kan sammanfattas med att de bästa kommersiellt tillgängliga polymermaterialen tål årsmedeltemperaturer av 55 - 60°C vid en livslängd av 25 år, med rimliga säkerhetsmarginaler och kostnader. För att säkert klara högre medeltemperaturer krävs för närvarande mycket dyra plastmaterial eller metalliska material.

Utveckling av billigare och alltmer varmvatten beständiga material pågår dock och "termoplastiska folier" med förbättrade stabilisatorsystem visar en lovande utvecklingstrend. Långtidsförsök med hårdplaster av typ polyester genomförs för närvarande vid Studsvik. Resultaten ser lovande ut, men förläggningstekniken är inte utvecklad. Dessutom finns fluorplast av typ PVDF men dessa material är idag alltför dyra.

Årsmedeltemperaturer omkring 55 - 60°C betyder att polymermaterial kan användas som liner i ett medeltemperaturlager med max 70°C medan det däremot är tveksamt om topptemperaturer nära 95°C kan tillåtas eftersom varaktigheten för maxtemperaturen är ca ett halvt år om skiktningen i lagret utnyttjas under urladdningssäsongen för att få maximal energileverans den kallaste delen av året.

Tätskikt som används i solar ponds skulle möjligen kunna bli en lösning för gropmagasin eftersom temperaturnivåerna är upp mot 100°C och livslängds- och kostnadskräven är snarast hårdare eftersom energin ofta utnyttjas med mycket låg verkningsgrad i lågtemperaturturbiner. Salthalten i solar pond tillämpningen är dock så hög att liners inte okritiskt kan användas för vatten med lägre jonkoncentrationer eftersom bl a risken för stresscracking i polymermaterial ökar ju renare vattnet är. En livslängdsskillnad på 25 - 50 % kan förväntas enligt polymerexperter (10) vid jämförelse med avjoniserat vatten som används vid tester i Studsvik.

Saltet kan även tänkas fungera som tätmassa i form av utfällningar utanför linern när omgivningen blir

mättad på salt efter ett läckage genom t ex en mikrospricka. Små vattenläckage kan troligen också tillåtas för solar ponds eftersom matarvatten ändå måste tillföras p g a avdunstningen från ytan. Detta kan möjligen förklara varför man i Israel sannolikt vågat använda polyeten som liner trots de höga temperaturerna. I gropmagasinstillämpningen ställs dock absoluta täthetskrav och som högtemperaturalternativ har endast metalliska tätskikt undersökts i denna designstudie (se avsnitt om spillvärmelager). Närmare undersökningar av de tätningstekniker som används för solar ponds är av stort intresse för den fortsatta utvecklingen.

4.6 Lockkonstruktion

Lockkonstruktionen måste göras flytande på grund av de stora spännvidder som blir aktuella. Detta för med sig att vattnets volymsändring med laddningsnivån måste tas upp av locket. Flera decimeters nivåändringar är aktuella. Även själva lockets dimensionsändring med temperaturen måste beaktas. Dessa rörelser tas upp av en speciell tätläpp som utprovats vid solvärmecentralsprototypen i Studsvik med gott resultat både termiskt och mekaniskt.

I medeltemperaturlagret är endast polymermaterial aktuella och då måste locket tillåta ångdiffusion uppåt från lagret utan att någon kondensation sker på vägen. Prov i lab miljö visar att det är tillräckligt att ha överytan ventilerad för att undvika fuktackumulering i isoleringen.

Samtidigt måste överytan effektivt stoppa regn och smältvatten från att tränga ner i isoleringen och dränera bort det utanför lagret.

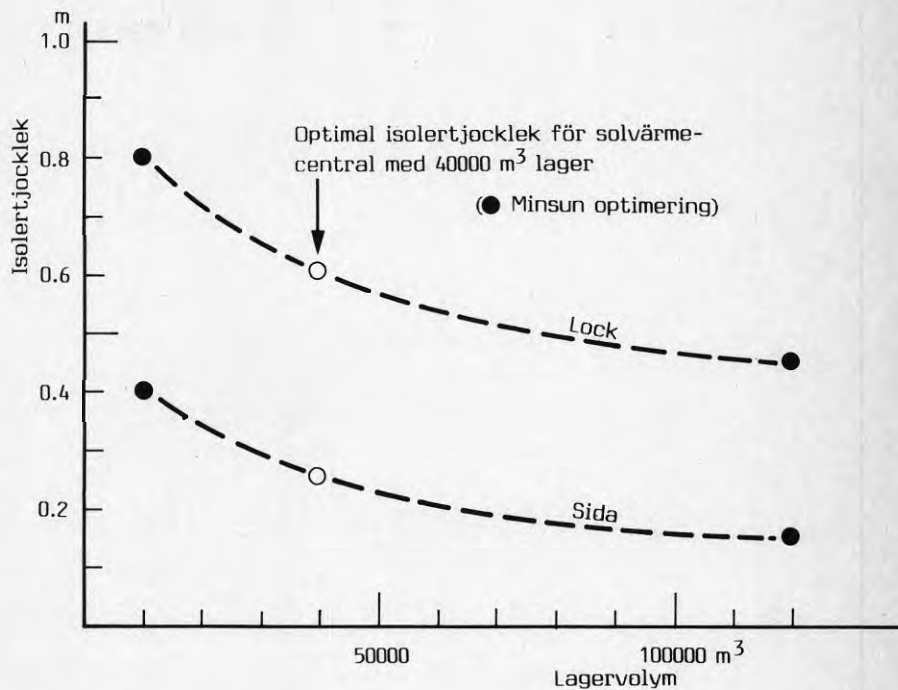
En radikal men sannolikt fullt acceptabel lösning är att platsskumma åtminstone det översta lagret av isoleringen med polyuretancellplast med en teknik som används för tak. I detta fall utesluts dock den coating som då används så att inte ångtransporten underifrån hindras. Polyuretancellplast med slutna celler har mycket låg fuktupptagning vid normala utomhustemperaturer och platsskumningen i flera skikt garanterar täthet ovanifrån. Oskyddad polyuretan bryts ner i ytskiktet av bl a UV-strålning men skiktet är mycket tunt och skyddar underliggande material. Eventuellt kan ytan täckas med ett tunt lager av singel för att ytterligare skydda ytan.

För att förbättra avrinningen från locket kan ytan utformas med kanalisationsprofiler. En risk finns annars att lokala ojämnheter ger en okontrollerad vattenansamling vid nederbörd och skadar locket.

4.7 Optimering av isoleringen

Av tidigare presenterade värmebalansberäkningar för lagret framgår att det är mest kostnadseffektivt att satsa på isolering av övre delen av lagret och främst locket. I detta fall har endast 20 cm isolering antagits för lock och övre delen av sidväggarna och då blir toppförlusterna en stor andel av totalförlusten speciellt om lagrets temperaturskiktningens förmåga utnyttjas. Bottenskiktet är oisolerat.

En ökning av isolertjockleken över 20 cm skulle kunna göras ekonomisk genom att bygga upp isoleringen av flera skikt med endast ett ytskikt av polyuretancellplast som diffusionsöppen klimatskärm.



Figur 9

Optimal isolertjocklek för solvärmecentral

För att uppskatta vilken isolertjocklek som kan anses ekonomiskt motiverad kan man utnyttja Figur 9. Där visas de optima på lock och sidoisolering som erhållits ur Minsun-beräkningar för solvärmecentraler inom IEA annex VII med 10 000 respektive 100 000 m³ lagerstorlek. Värdena för 40 000 m³ har framtagits genom en svagt olinjär interpolering med hänsyn till att omslutningsytan på lagret inte ökar linjärt med volymen.

Detta visar att lockisoleringen bör vara mycket tjock, ca 60 cm, medan sidoisoleringen endast borde ökas marginellt till ca 25 cm.

Eftersom kostnadsoptimum var mycket flackt, har vi dock valt en isoleringstjocklek av 40 cm för locket respektive 20 cm för sidoväggarna. Denna lösning ger en något lägre investeringskostnad (men något högre kostnad på inlagrad energi).

4.8 Värmedistributionssystem

Medeltemperaturlagret kan endast fungera som säsongslager i befintliga fjärrvärmesystem om det kombineras med en värmepump. Systemet måste dessutom effekt/temperaturtoppas med en oljepenna.

Vid lägre temperaturkrav i nybyggda lokala fjärrvärmesystem skulle dock lagrets effektleveransförmåga kunna utnyttjas förutsatt att 70°C räcker som framledningstemperatur. Det bör nämnas att inom IEA-Solar Heating and Cooling-annex VII för solvärmecentraler utreds ett systemalternativt med 60°C framlednings- respektive 30°C returledningstemperatur. Alternativet lämpar sig särskilt för gruppcentraler. Det mest fördelaktiga systemet uppnås om vattnet i lagret direkt kan pumpas ut i nätet. Prototypen i Studsvik använder detta system fast i mycket liten skala. Några problem med korrosion eller vattenkvalitet uppstod inte. Troligen kan man uppnå en mycket låg syresättning i systemet. Förhållandet mellan yta och volym i lagret gör att syrediffusionen in i lagret ger mycket låga syrehalter totalt. Detta förutsätter dock också noggrann avluftning i alla cirkulationssystem så att inte luft kan sugas in och tas upp i systemet.

Värmeväxlare mellan lager och nät ger sämre lagertnyttjning och högre kostnader men måste tillgripas när distributionssystemet ej tål lagringsmediet.

En eventuell värmepump i systemet får gynnsammast möjliga driftbetingelser om den får arbeta mot lagret varför distributionssystemet ej behöver anpassas efter värmepumpens egenskaper. Låga distributionstemperaturer gynnar också värmepumpen.

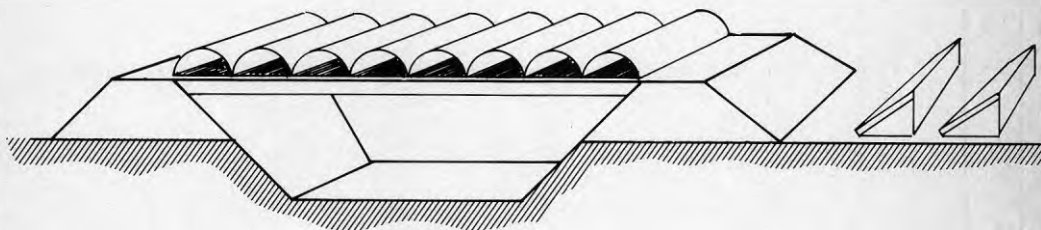
4.9 Solfångare

För stora solvärmecentraler ryms endast en mindre del av solfångarna på värmelagrets lockyta och den i och för sig bevisade fördelen med att rotera solfångarna på lagrets lock har svårt att kompensera för de extrakostnader som uppstår när ett fullskaligt lagers lockyta ska roteras. Billiga rotationsanordningar utgör därför en förutsättning för att roterande solfångarfält ska bli intressanta för stora system medan det i mindre system redan nu kan vara lönsamt. (Ref 11).

För denna designstudie koncentrerar vi oss på fast uppställda solfångarfält och nöjer oss med att utnyttja lockytan som uppställningsplats vilket ger vissa fördelar för lagerfunktionen. Genom den stora lagervolymen i systemet är det också intressant att välja dränerbara solfångare eftersom volymen i solfångarfältet lätt kan tas upp i lagret med några millimeters nivåändring. Därigenom kan man också utesluta värmeväxlare och expansionskärl, fryskyddet i solkretsen löses också automatiskt. Denna typ av solfångarfält har provats i solvärmecentralens prototypen i Studsvik med gott resultat. Risken för frysning och syresättningen av vattnet

elimineras i det närmaste samtidigt som temperaturfall och dynamiska förluster kan reduceras betydligt med bättre solfångarprestanda som följd. En mycket lämplig solfångare för detta ändamål är den lätt dränerbara vakuumsolfångaren från Philips.

De solfångare som placeras på lagrets lockyta kan vid lämplig utformning ge en betydlig sänkning av värmeförlusterna uppåt från lagret genom att solfångarna under drifttid är varmare än lagret och då teoretiskt helt eliminerar toppförlusterna. Någon utprovad konstruktionslösning för dessa solfångare finns dock inte, men solfångare av typen långa horisontella LOCIS under utveckling i Studsvik skulle ge många av de fördelar som en integrering med lockisoleringen pekar på utan kostnadsnackdelar (Ref 13). Locket utförs då med fall åt två håll och solfångarna monteras vinkelrätt från åsen så att dräneringen både av nederbörd och av cirkulationsmediet säkerställs.



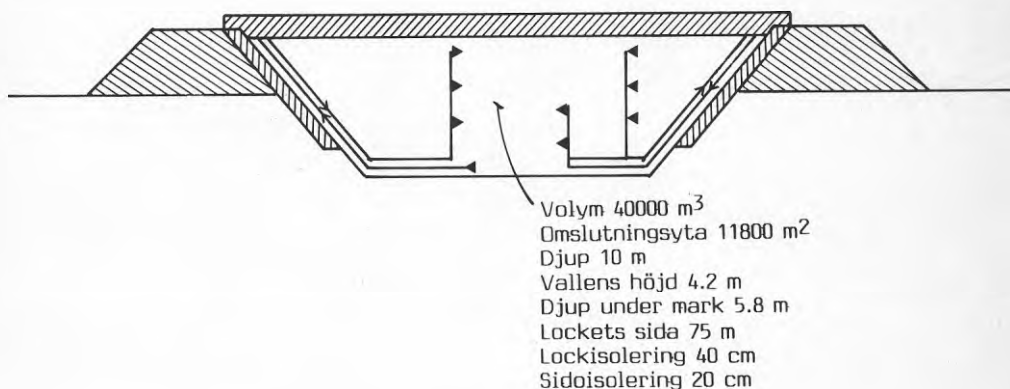
Figur 10

Principskiss av solfångarfälten

De solfångare som placeras utanför lagret kan lämpligen vara av typen långa storskaliga solfångare som är under utveckling på flera håll i Sverige. Någon speciell design för dessa har därför inte framtagits. Möjligen kan detta leda till att dräneringsprincipen inte direkt kan appliceras utan modifiering men kostnads- och prestandafördelarna med ökad modulstorlek är så stora att även glykolsystem med värmeväxlare troligen kan accepteras.

4.10 Kostnadsammanställning

De kostnadsuppgifter som redovisas här kommer i möjligaste mån från större firmor med praktisk erfarenhet av liknande arbeten. Helst också i samma skala så att storlekseffekter kommer med. Schakt- nings- och markberedningskostnader liksom linermon- tering i gropen bör ligga nära verkliga kostnader frånsett förhandlingsmarginaler i ett verkligt byggprojekt. Kostnaderna är framtagna för ett medelstort lager 40 000 m³ enligt Figur 11.



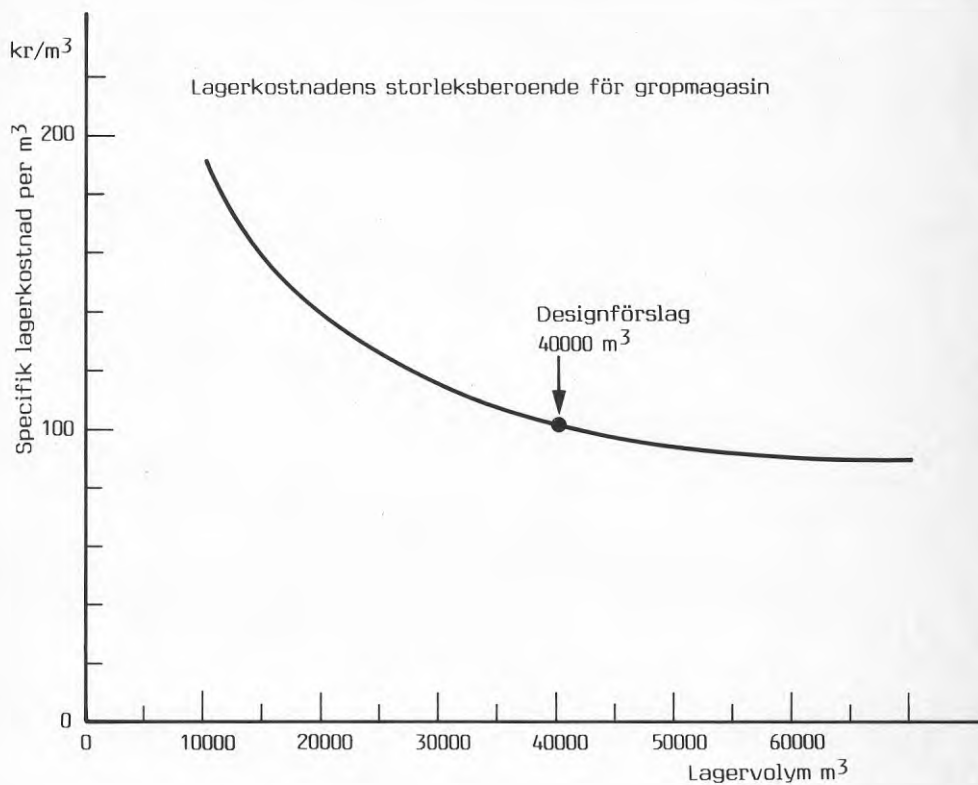
Figur 11

Specifikationsritning av värmelager 40 000 m³

Kostnadssammanställning för medeltemperaturlager och solvärmecentral

Medeltemperaturlager 40 000 m³

| | | |
|--|----------------|-----------------------|
| Schaktning av grop, uppläggning och komprimering av vallar inklusive betongelement | 750 000 | |
| Singel 100 mm tjockt på botten och sidor inkl slamning av ytan för bättre stabilitet | 150 000 | |
| Dräneringsbrunn med pumpledning $\varnothing 200$ | 10 000 | |
| Liner av 2.0 mm tjock polyeten PEMD | 630 000 | |
| Installation av liner | 160 000 | |
| Vatten 40 000 m ³ | 120 000 | |
| Sidoisolering ca 1 500 m ² markskiva 200 mm tjock | 140 000 | |
| Lockisolering av mineralull plus polyuretan-cellplast sprutad på plats 400 mm tjock | 1 520 000 | |
| Centralbyggnad med styr- och reglerutrustning och in- och utmatningsanordningar för energin | 400 000 | |
| Projektering och konstruktion inkl oförutsett (ca 10 % av anläggningskostnaden) | <u>500 000</u> | |
| <u>Totalkostnad värmelager (medeltemperatur)</u> | 4 380 000 | 110 kr/m ³ |
| Lagringskapacitet lågtemperatursystem 40 000 m ³ x 1.16 kWh/(m ³ x K) x (70-30) | 1.86 GWh | |
| Investeringskostnad per kWh lagringskapacitet | 2.4 kr/kWh | |
| Lagringskapacitet vid användning av värmepumpssystem 40 000 m ³ x 1.16 kWh/(m ³ x K) x (70-5) | 3.02 GWh | |
| Investeringskostnad per kWh lagringskapacitet (exkl värmepump) | 1.4 kr/kWh | |
| Kostnadernas variation med lagerstorleken omkring 40 000 m ³ visas i Figur 12. | | |



Figur 12

Lagerkostnadens variation med lagerstorleken

Kostnadsanalys för tre olika alternativ till
solvärmecentral

Förutsättningar (grundsystemet M1)

Solvärmecentral för 220 lägenheter å 15 MWh/år.

System: 60°C framledningstemperatur

30°C returtemperatur

| | |
|-------------------------|------------|
| Värmebehov | 3.3 GWh/år |
| Lagringsbehov (65 %) | 2.2 GWh/år |
| Lagerförluster (totalt) | 0.3 GWh/år |
| Övriga förluster | 0.1 GWh/år |
| Netto från lagret | 2.0 GWh/år |

Direkt från solfångare 1.3 GWh/år.

Total solfångarproduktion 3.7 GWh/år.

Solfångarsystemkostnader (totalt installerat)

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Högeffektiva, plana solfångare | 1 200 kr/m ² |
| oglasade solfångare | 600 kr/m ² |

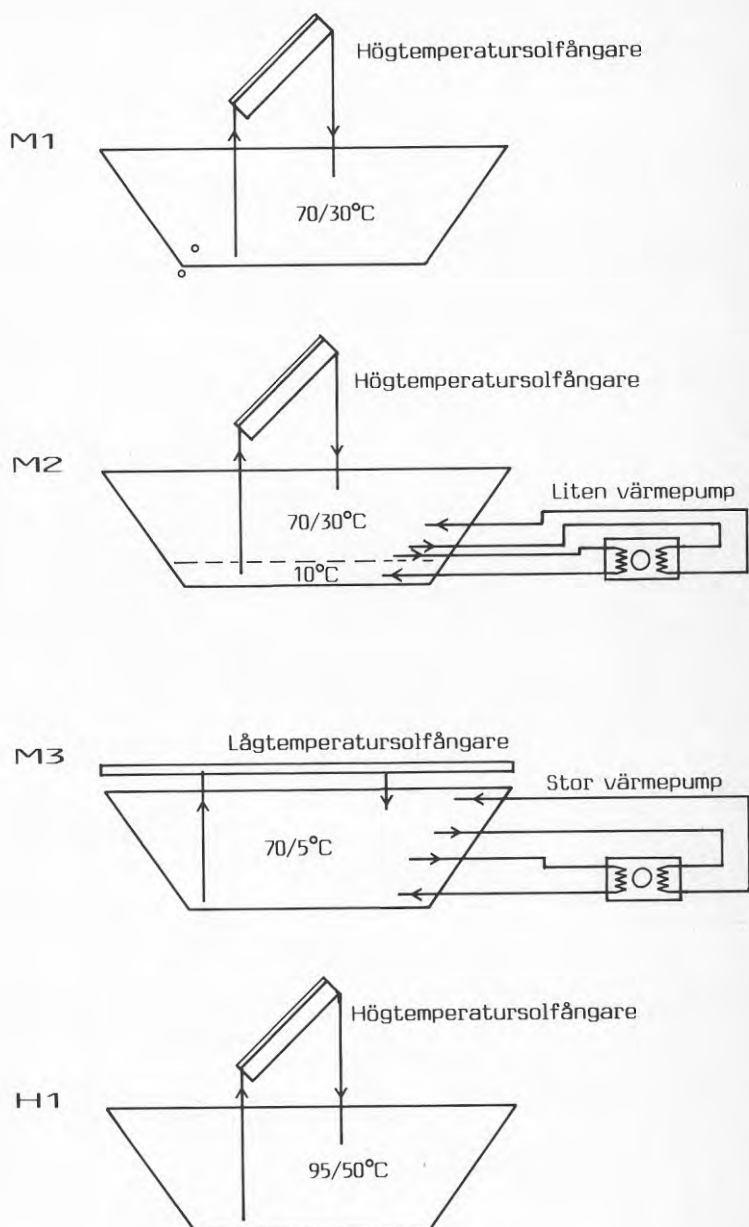
Värmepumpskostnad (installerat)

| | |
|----------------------|-------------|
| Små VP (< 100 KW) | 3 000 kr/KW |
| Större VP (> 100 KW) | 2 500 kr/KW |

Följande systemlösningar undersöks

- Fall M1: Högtemperatursolfångare med lager 70 - 30°C.
- Fall M2: Högtemperatursolfångare med lager 70 - 30°C och liten värmepump för återvinning av värmeförluster.
- Fall M3: Lågtemperatursolfångare med värmepump som arbetar på lagret 70 - 5°C.
- Fall H1: (Högtemperatursolfångare för högtemperaturfjärrvärmesystem 95°C/50°C, ingen värmepump se avsnitt 5.)

Principskisser av dessa systemvarianter visas i Figur 13.



Figur 13

Systemlösningar för solvärmecentraler

Kostnadssammanställning

| | M1 | M2 | M3 |
|--|--------|--------|--------|
| 1. Lagerkostnader kkr | 4 380 | 4 380 | 3 500* |
| 2. Solfångare m ² | 9 280 | 8 500 | 4 000 |
| 3. Solfångarkostnader kkr | 11 136 | 10 200 | 2 400 |
| 4. Värmepumpeffekt kW | - | 30 | 700 |
| 5. Värmepumpkostnad kkr | - | 90 | 1 750 |
| 6. Driftel till värmepump GWh/år | | 0.26 | 1.3 |
| 7. Driftkostnad till värmepump kkr (30 öre/KWh, 20 år) | | 1 560 | 7 800 |
| 8. Totala kostnader 1 + 3 + 7 | 15 516 | 16 230 | 15 450 |
| 9. Kostnader per levererad års-KWh kr/KWh, år | 4.70 | 4.92 | 4.68 |
| 10. Energiproduktionskostnad öre/KWh (7.2 % annuitet) | 34 | 35 | 34 |

* 30 000 m³ lagervolym

5. GROP FÖR VÄRMELAGRING VID HÖGA TEMPERATURER

Spillvärme produceras helt utan koppling i tiden till behovet av värmeenergi och därför krävs värmelager för att effektivt utnyttja dessa energiflöden.

Lagringstiderna är kortare än i ett solvärmesystem, från dygnsutjämning till veckolagring. De relativa värmeförlusterna per omsättning i lagret blir låga på grund av den kortare lagringstiden och isoleringskraven kan reduceras. Till området hör även lagring för effektutjämningsändamål för fjärrvärme eller kraftvärme.

Antalet omsättningar under lagrets livstid blir då väsentligt större och därmed kan en något högre investeringskostnad accepteras så att högre temperaturer än 70°C lättare kan tillåtas i lagret vilket ökar lagrets användbarhet och effektleveransförmåga.

De väsentliga konstruktiva skillnaderna är att in- och utmatningsanordningarna måste dimensioneras upp för den snabbare omsättningen av energinnehållet. Tätningstekniken är också annorlunda i det fall att energin lagras vid över 70°C. Då är det främst rostfritt stål som kan bli aktuellt men polymermaterial är på väg att bryta igenom temperaturkostnadsvallen vid 70°C bl a på grund av det stora intresset för solar ponds internationellt där temperaturer upp mot 95°C är normala och kostnadskraven och bassängvolymerna är av samma storleksordning som för värmelager. Bl a finns en intressant tätningsteknik under utveckling som är självtätande samtidigt som den inte kräver fogning av linerelementen (Ref 12). Även positiva långtidsegenskaper i praktiska försök har

rapporterats för befintliga polymermaterial vid normal linerteknik men våra långtidstester hittills under kontrollerade laboratoriebetingelser visar att säkerhetsmarginalerna är för små ännu för en storskalig tillämpning vid lagertemperaturen över 70°C (Ref 10).

Linerteknik med rostfritt stål finns redan för simbassänger och t ex vattentorn och med de kostnadsuppgifter vi har är det fullt möjligt att utnyttja rostfritt stål till spillvärmelager med i övrigt samma lagerkonstruktion som för solvärme-centraler. Lockkonstruktionen förenklas också något av att metall-linern helt stoppar vattendiffusion ut i isolermaterialet, vattenångan måste annars ventileras bort på översidan av isoleringen. Kostnadsberäkningen bygger på samma förutsättningar som på medeltemperaturlagret utom för tätskiktet i rostfritt, som dock också baseras på offertunderlag från industrin. Materialtjockleken är 1.5 mm för att garantera säkra svetsar och klara spänningar vid temperaturvidgning.

Genom den kortare lagringstiden kan även mindre lager byggas utan att de relativa energiförlusterna ökar. Storleken kan därför lättare anpassas till spillvärmekällan och förbrukningens storlek.

Kostnadssammanställning, högtemperaturlager för upp till 95°CHögtemperaturlager volym 40 000 m³

| | | |
|---|----------------|-----------------------|
| Schaktning, dränering, (enl medeltemperaturlager) | 910 000 | |
| Liner av rostfritt stål 1.5 mm tjockt | | |
| a) botten och sidor: | 1 580 000 | |
| b) toppyta: | 1 300 000 | |
| Installation av liner | 1 040 000 | |
| Vatten 40 000 m ³ | 120 000 | |
| Sidoisolering (enl medeltemplager) | 140 000 | |
| Lockisolering (enl medeltemplager) | 1 520 000 | |
| Centralbyggnad med styr- och reglerutrustning och in- och utmatningsanordningar för energin (förhöjd effekt jämfört med medeltemperaturlager) | 500 000 | |
| Projektering och konstruktion (ca 10 % av anläggningskostnaden) | <u>700 000</u> | |
| <u>Totalkostnad värmelager</u> | 7 790 000 | 195 kr/m ³ |
| Lagringskapacitet fjärrvärmesystem 50°C returtemp | | |
| 40 000 m ³ x 1.16 kWh/(m ³ x K) x (95-50) | 2.09 GWh | |
| Investeringskostnad per kWh lagringskapacitet | 3.73 kr/kWh | |

Kostnadssammanställning för solvärmecentral

(Alternativ H1 95°C)

| | |
|---|--------|
| 1. Lagerkostnader (35 500 m ³) kkr | 6 923 |
| 2. Solfångare (330 kWh/m ²)m ² | 11 811 |
| 3. Solfångarkostnader (11 800 m ²) kkr | 14 173 |
| 8. Totala kostnader 1 + 3 | 21 096 |
| 9. Kostnader per levererad års-KWh (kr/KWh, år) | 6.39 |
| 10. Energiproduktionskostnad öre/KWh (7.2 % annuitet) | 46 |

6. SLUTSATSER

- Gropmagasin kan byggas för säsongslagring även i liten skala jämfört med andra säsongslagringssystem fränsett rena värmepumpssystem.
- Genom att vatten används som lagringsmedium kan även stora effekter levereras för korttids utjämnning i t ex ett fjärrvärmenät vilket ökar lagrets värde.
- Beräkningar har visat att värmemotståndet i marken är så stort i full skala att bottnen på lagret inte behöver isoleras. Det är mera lönsamt att utöka lockisoleringen.
- Skillnaden mellan konisk och pyramidform på lagret är så liten ur värmeteknisk synpunkt att pyramidformen valts för att få ett enklare byggnadstekniskt förfarande.
- Roterande solfångare ger avsevärt mera energi än fasta, upp till 80 % mer men för en fullskalig solvärmecentral ryms bara ca 20 % av solfångarna på locket varför vi frångått lockrotationen för att förenkla lagerkonstruktionen så mycket som möjligt. För mindre lager där större andel solfångaryta kan göras roterande är fortfarande idéen mycket intressant.
- Trots att idéen med roterande solfångare på locket slopats för större lager är fortfarande integrationen med lockisoleringen mycket intressant eftersom isolertjockleken späds på samtidigt som värmeflödet bromsas av att solfångarna är varmare än lagret under drifttid. Solfångarna kan också utnyttjas som klimatskärm för lockisoleringen.
- Materialkostnadströskeln vid 70°C lager-temperatur kvarstår fortfarande om rimliga säkerhetsmarginaler på livslängden ska kunna bibehållas. Det är främst liner-kostnaden som orsakar detta. Kostnadsgynn-sammare liner-material för högre temperaturer är dock under utveckling. I Studsviks materiallaboratorium pågår också lovande tester av nya material men ännu är livslängdsbedömningarna alltför osäkra för gropmagasinstillämpningar.

- För närvarande finns endast alternativet rostfri stålplåt för varaktiga temperaturer över 90°C. Monteringsteknik för simbassänger och vattentorn t ex finns och kan tillämpas för botten och sidor. En teknik för montering ovanpå vattenytan har framtagits.
- Livslängden för polymermaterial vid förhöjda temperaturer ökar vid saltinblandning i vattnet genom att risken för stresscracking reduceras. Skillnaden är av storleksordningen 25 - 50 % i livslängd.
- Förutsatt att elenergikostnaden är tillräckligt låg kan en värmepump i systemet bli ett effektivt sätt att reducera investeringskostnaden för en solvärmecentral genom att sänka temperaturnivån i systemet och samtidigt öka temperatursvinget i lagret. Både lagret och solfångarfältet kan därigenom reduceras i storlek.
- Solvärmecentraler kräver extra stora säkerhetsmarginaler när det gäller konstruktionslösningar eftersom den består av förhållandevis få storskaliga komponenter och ekonomin idag är sådan att några reparations- eller ombyggnadskostnader inte kan accepteras samtidigt som livslängden bortåt 20 år krävs. Ett konstruktionsfel får betydligt större konsekvenser i en solvärmecentral än i ett normalt energiproduktionssystem. Ett mera noggrant utvecklingsarbete krävs därför på prototypstadiet innan fullskaliga anläggningar kan byggas med rimlig säkerhetsmarginal både ekonomiskt och tekniskt.
- De kostnadsuppgifter som kunnat fås fram i dagens läge visar att solvärmecentraler kräver en teknisk och ekonomisk vidareutveckling för att ge konkurrenskraftiga energipriser utan orimligt risktagande, men som ett mellansteg kan t ex lagerdelen introduceras som spillvärmelager eller elvärmelager med kortare lagringstider där storleken också kan reduceras i proportion till lagringstiden och det större antalet omsättningar per år kan motivera en något högre investeringskostnad per kWh lagringsskapacitet. Förutsatt att temperaturkraven är måttliga kan även lagret utnyttjas som effektkälla om in- och utmatningsanordningarna dimensioneras därefter.

- Vattendiffusionen genom linern varierar betydligt mellan olika material och kan ge kraftig reduktion av isoleringsprestanda. Metalliska material ger en försumbar ångtransport men de polymera materialen får en ökande genomsläpplighet med temperaturen och vid de lagertemperaturer som är aktuella 70 - 90°C måste speciella åtgärder vidtas för att bibehålla isolerförmågan. Detta gäller speciellt för lockisoleringen där översidan måste vara vattentät mot regn och smältvatten men samtidigt tillåta ångtransport uppåt från lagrets vattenyta för att inte isoleringen ska accumulera vatten och långsamt förlora isolerförmågan.
- Grundvatten utgör inte något stort problem om inte stora rörelser förekommer eftersom bottenytan inte har någon isolering som kan bli skadad av fukt och någon extra värmeförlust genom konvektion eller ångtransport kan inte ske neråt från lagret på grund av grundvattenförekomst. Bara halva lagerdjupet är dessutom under marknivå i full skala. Under byggnadsprocessen måste grundvattennivån sänkas under bottennivån men sedan lagret fyllts balanserar vatteninnehållet i lagret ut grundvattentrycket.
- Regn och smältvatten utgör ett stort hot för lockets isolerförmåga. Även mycket små läckor kan dränka isoleringen på kort tid. Den platsskummade lockytan har förutsättningar att ge ett gott skydd, det kan sedan kompletteras med ett tunt lager av singel eller grus som skydd mot UV-nedbrytning.
- Angrepp av djur skulle kunna orsaka allvarliga skador. En viss risk finns att markvärmens lockar till sig råttor, möss och sorkar t ex. Vid solvärmecentralen i Studsvik har inga sådana effekter kunnat märkas och eftersom inga konstruktionsmaterial kan utgöra föda för några djur kan man inte förvänta sig några oväntade problem av detta slag.
- Den stora avtätade lockytan på lagret ger stora vattenflöden runt kanterna vid regn och avsmältning som kräver åtgärder för att inte ge skador och sättningar på lagrets vallar. Dräneringen måste därför planeras omsorgsfullt.

ACKNOWLEDGEMENT

Författarna vill särskilt tacka Bengt Eftring vid Lunds Tekniska Högskola för hjälp med databeräkningar av värmeförluster från lagret och utvärdering av resultaten. Vidare vill vi uttrycka vår uppskattning till Mats Ifwarson och hans polymergrupp i Studsvik som försett oss med ovärderliga resultat från långtidsprovning av intressanta material för solvärmecentraler.

Sist men inte minst vill vi tacka Statens Råd för Byggnadsforskning som finansierat denna designstudie liksom de projekt angående solvärmecentraler som genomförts de senaste åren och utgör en viktig bas för denna rapport.

REFERENSER

1. ROSEEN, R och PERERS, B
Solvärmecentralen i Studsvik.
BFR-rapport 770929-5.
2. PERERS, B och ROSEEN, R
Solvärmecentralen i Studsvik.
BFR-rapport 800069-3.
3. PERERS, B
Fyra års drifterfarenheter från Studsviks
solvärmecentral.
Studsvik/EI-83/118, Nov 1983.
4. IFWARSON, M
Utveckling och utvärdering av material för
stora varmvattenmagasin.
Studsvik/EI-81/142.
5. HANSEN, P och LAWAETZ, H
Saesonlagring af varme i store vand-
bassiner.
DTH. Energiministeriets værmelagerprojekt,
Rapport nr 2, November 1979.
6. KIELSGAARD HANSEN, K, NORDGAARD, HANSEN, P,
USSING, V
Seasonal heat storage in underground warm
water stores Construction och testing of
a 500 m³ store.
Meddelelse nr 134 DTH, July 1983.
7. CHA, J S, SHA, W T and HULL, J R
Design, construction and initial operation
of the ANL Research Salt Gradient Solar
Pond.
ANL-81-55, August 1981.
8. CHUARD, P, HADORN, J-C and partic subtask
1C of IEA Task VII
Central Solar Heating Plants with Seasonal
Storage Heat Storage Systems: Concepts,
Engineering data and compilation of pro-
jects, June 1983.
9. GUSTAFSON, G
Nordiskt Samarbete om säsongslagring av
värme.
NBS-seminarium 5 - 6 oktober 1983.
BFR-rapport R21:1984.
10. IFWARSON, MATS
Polymerexpert vid Studsvik Energiteknik AB
ansvarig för polymermaterialgruppen i
Studsvik.

11. WALLETUN, H, ERIKSSON, L, HOLST, P och PERERS, B
Experimentgården för solfångarsystem i Studsvik. Resultatrapport för ett driftår. Studsvik/EI-84/25.
12. Föredrag av H TABOR vid EC konferens maj 1984.
13. LUTHMAN, K
LOCIS solfångaren.
STU-projekt 1984.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790940-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik
Energiteknik AB, Nyköping.**

R77: 1985

ISBN 91-540-4404-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705077

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirkapris: 30 kr exkl moms