

Försöksfält för värmelagring

Byggnationsrapport

Marti Leht mets
Lovisa Bergenståhl
Anna Gabrielsson

November 1992

SGI Varia 372

FÖRORD

Denna rapport utgör delredovisning av Byggeforskningsrådets (BFR) projekt, nummer 900904-0 (SGI diarienummer 1-153/91). Rapporten omfattar översiktlig dokumentation från projektering och byggnation av vertikalt värmelager i lera avsett för högttemperaturlagring. Rapporten delger även ekonomiskt utfall och slutsatser.

Rapporten vänder sig främst till beslutsfattare i projektet samt till de som söker en beskrivande sammanfattning. För forskningsändamål hänvisas till SGI-Varia 373, "FÖRSÖKSFÄLT FÖR VÄRMELAGRING, Konstruktionsunderlag", som fylligare redovisar underlagen till konstruktionslösningarna.

Arbetena har utförts vid Statens geotekniska Institut. Projektledare är Ulf Bergdahl och Marti Lehtmets. Projektorganisationen består dessutom av Anna Gabrielsson och Lovisa Bergenståhl.

Under projektets gång har värdefull hjälp erhållits från SGI:s geotekniska fältverksamhet vid byggandet av värmelagret. Peder Dahlöf, NCC Teknik i Göteborg, har tagit fram VVS-underlagen. Samtlig VVS-utrustning med kringutrustning har byggts samman av NBN SYD AB / Installatör Östergötland.

Linköping november 1992

Marti Lehtmets

SGI Varia 372

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	SIDA
Förord	1
Innehållsförteckning	2
Sammanfattning och slutsatser	3
1 Bakgrund och syfte	4
2 Inledning	4
3 Projektering	6
3.1 Geoteknik	6
3.2 Instrumentering och provning	7
3.3 Lager	9
3.4 VVS-försörjningscentral	12
4 Byggnation	13
4.1 Lager	13
4.2 Installation av mätutrustning	15
4.3 VVS-försörjningscentral	17
5 Start av anläggning	18
6 Kostnader	19
7 Verksamhet i försöksfält	19
Referenser	21

SGI Varia 372

SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Statens geotekniska institut har byggt ett försöksfält för värmelagring i lera. Projektet omfattar projektering, byggande och drift av försöksfältet under tre år. Denna rapport redovisar de två första faserna. Syftet med projektet är att studera påverkan på lera i ett värmelager vid hög lagringstemperatur (70°C) och varierande frysning/tining av jorden.

Försöksfältet, som består av tre kubiska, 1000 m³ stora, värmelager och en referensyta, har byggts strax utanför Linköping. I varje lager har U-formade slangar (enkla U-rör) med diameter 25 mm tryckts ned vertikalt till tio meters djup. Lagervolymerna har satts samman av parallellkopplade slangslangor om vardera tio kontinuerligt installerade markvärmväxlare (U-rör). Totalt har 5500 meter slang installerats fördelade på 225 markvärmväxlare. Slangarna har anslutits till en traditionellt uppbyggd försörjningscentral inbyggd i en fraktcontainer. Genom att cirkulera varmt och kallt vatten i slangarna kommer jorden att värmas upp respektive kylas ned. Eftersom anläggningen inte har kopplats till ett "verkligt energisystem" kan den drivas kontinuerligt och oberoende av någon brukares krav.

För att kunna studera lagrets funktion har en omfattande geoteknisk och energiteknisk instrumentering/provtagning integrerats i lagervolymer. Driften i försöksfältet kommer att pågå under tre år. För att få ett snabbare provningsförlopp, än vad som motsvarar normal säsongslagring, kommer två uppvärmningscykler att genomföras per år vilket motsvarar drift under sex år.

Slutsatser efter projektering, byggande och driftsättning av försöksfältet:

Detaljplanering, projektering och byggnation har utförts under 1992.

Hela försöksfältet har färdigställts på tre månader. Efter drifttagning och justeringar har anläggningen fungerat planenligt.

Försöksfältet har blivit cirka 10% dyrare än budgeterat. Investeringen har omfattat kostnader för värmelager, försörjningsanläggning och instrumentering.

Sonderingar har visat att leran i lagren är homogen, utan dränerande skikt och relativt lös. Det senare har underlättat vid slanginstallationen. Geotekniska beräkningar har påvisat lagersättningar i storleksordningen 0,30 meter.

Installation av slangar i lagren har genomförts med en ny rationell metod, med gott resultat. Slangarna har provtryckts efter installation.

För att minska värmeförlusterna från lagren har toppytorna och en del av sidorna isolerats med 0,20 meter polystyrencellplast. Isoleringen närmast lagret har skyddats från fukt med en diffusionstät folie.

Integrering av mätutrustning i lagervolymer samt anpassning till höga drifttemperaturer har inneburit ett större merarbete än planerat.

SGI Varia 372

1 BAKGRUND OCH SYFTE

Energilagring i mark har förutsättningar att bli konkurrenskraftiga komplement till energiförsörjning av såväl nybebyggelse som befintlig bebyggelse. Motivet att bygga ett energilager är främst av ekonomisk grund. Men även möjligheten till en miljövänlig och resurssnål energi-produktion ökar intresset för värmelagring i mark.

Värmelagring vid hög temperatur är en förutsättning för att kunna utnyttja solfångare som värmekälla vid säsongslagring. Intresset för kombinerad lagring av kyla/värme har också blivit allt större.

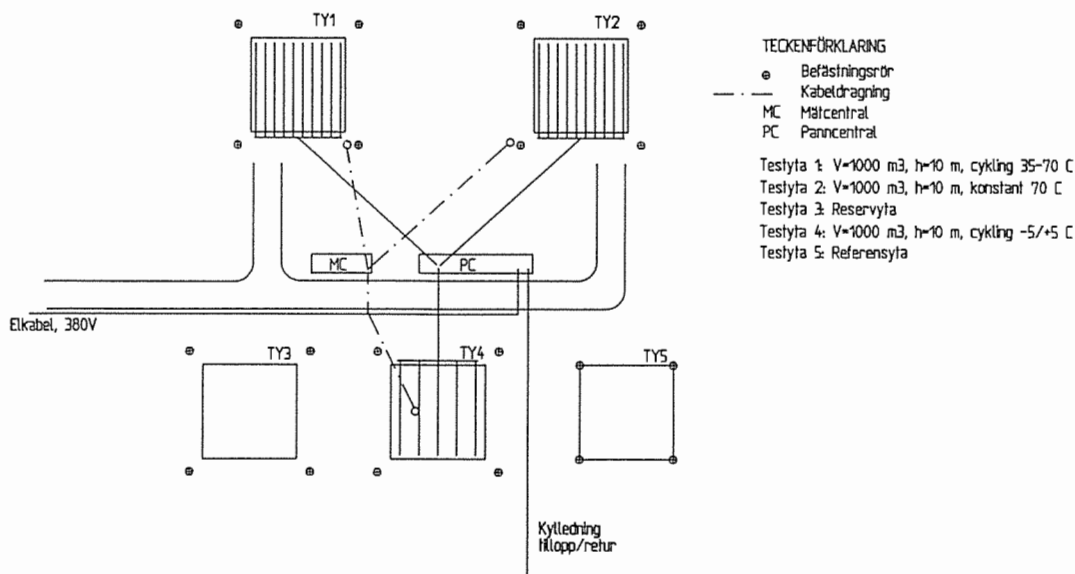
En möjlig teknik att utnyttja är energilagring i lera där ett vertikalt slangsystem används som värmeväxlare. Den ekonomiska potentialen bedöms som god relativt andra system för energilagring. Tillgången på lämplig mark nära användaren är ofta god. Lagertekniken är beprövad för lågtempererade system. Praktisk erfarenhet saknas dock från system som utnyttjar högre temperatur, upp mot 70°C, samt system som cyklas mellan kyla/värme drift.

Syftet med projektet är att studera den energitekniska och geotekniska funktionen hos lerlager avsedda för hög lagringstemperatur och cyklisk frysning/tining. Föreliggande delrapport förmedlar resultaten och erfarenheterna från projekteringen och byggandet av försöksanläggningen.

Riktlinjerna för genomförandet av projektet har arbetats fram i en BFR-stödd förprojektering (890862-1) under våren 1990. Med detta underlag, SGI Varia 278, har handlingarna uppdaterats och en detaljprojektering utförts till grund för konstruktionsarbetet. Projektet har drivits av SGI.

2 INLEDNING

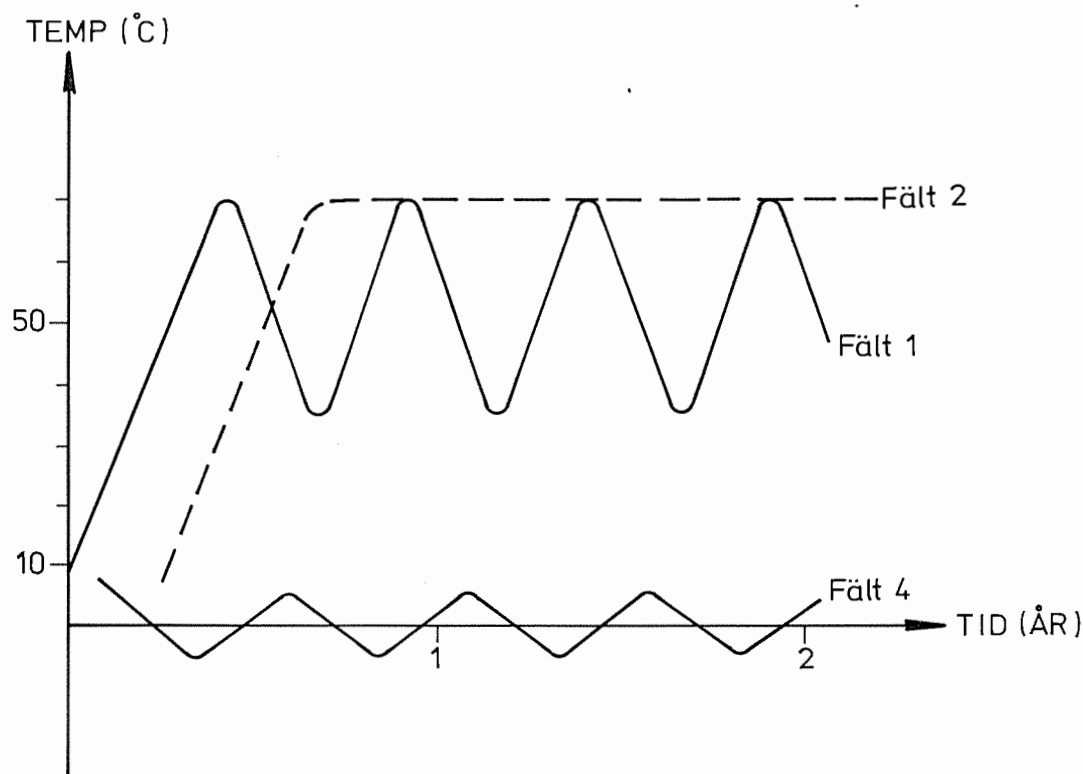
SGI har byggt ett försöksfält för energilagring i lera (BFR-projekt 900904-0) vid segelbåtshamnen i Linköping. Försöksfältet består av fem olika lager. Varje lager är 10*10*10 (l*b*h) m³ stort.



Figur 1. Utformning av försöksfält.

SGI Varia 372

I tre av de fem lagren har U-formade slangar (enkla U-rör), med 25 mm i diameter, tryckts ned vertikalt till 10 meters djup med cirka 1 meters c/c-avstånd. Totalt har 5500 meter slang installerats. Slangarna har anslutits till en försörjningscentral. Genom att cirkulera varmt och kallt vatten i slangarna kommer marken att värmas upp respektive kylas ned. I lager 1 och 2 kommer värme att lagras in så att jordtemperaturen höjs till cirka 70°C. Lager 1 kommer att värmas och kylas mellan 70°C och 35°C i jordtemperatur medan lager 2 kommer att värmas och konstanthållas vid 70°C. För att minska värmeförlusterna har lagrens toppytor isolerats. Lager 4 kommer att arbeta runt fryspunkten, det vill säga omväxlande frysning (-5°C) och tining (5°C). Lager 3 och 5 är reservyta respektive referensyta.



Figur 2. Lageryornas driftscyklar.

Försörjningscentralen består av en elpanna och en kylmaskin inrymd i en flyttbar container. Kylanslutning har dessutom anordnats till ett närliggande vattendrag.

För att kunna studera lagrets funktion har en omfattande geoteknisk och energiteknisk instrumentering integrerats i lageryorna. Driften i försöksfältet kommer att pågå under tre år. För att få ett snabbare provförlopp än vad som motsvarar normal säsongslagring kommer två cykler att genomföras per år vilket motsvarar drift under 6 år.

SGI Varia 372

3 PROJEKTERING

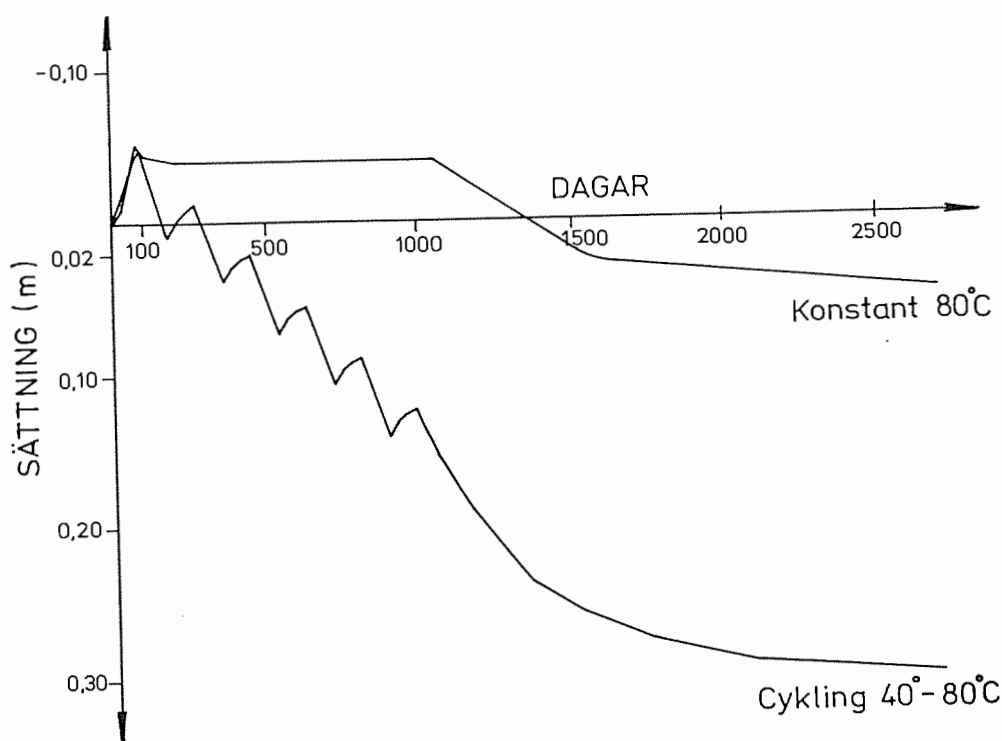
3.1 Geoteknik

Jordprofilen i försöksfältet består överst av cirka 2 m torrskorpele-
ra, underlagrad av lera med växtdelar vilken nedåt övergår till ren
lera på cirka 8 m djup. Under 8 m uppträder sulfidfläckar i leran ner
till 11-12 m djup. I djupare skikt finns siltinslag i leran vilka
finns ner till fast botten, cirka 18 m under markytan.

Sonderingar har genomförts som visar att leran är relativt homogen och
att inga dränerande skikt finns ner till 18 m. Vattenkvoten under
torrskorpan varierar mellan 70 och 85%. Denna jordprofil har bedömts
som mycket lämplig för ett värmelager eftersom den inte innehåller
några dränerande skikt där vatten kan rinna och därmed ge stora värme-
förluster. Dessutom har leran relativt lös konsistens vilket underlättar
vid slanginstallationen.

I första hand ska utvecklingen av sättningar och portryck studeras
noga i försöksfältet. Med resultatet skall man i framtiden bland annat
kunna göra en bedömning av hur nära bebyggelse ett värme- eller kyl-
lager kan placeras. För att kunna uppskatta sättningarna för något annat
område med en annan typ av lera krävs att man även vet orsakerna till
uppkomsten av sättningar. Detta är orsaken till att även temperaturut-
veckling samt portrycksförändringar kommer att studeras.

Sättningarna i fält 1 och 2 antas vara beroende av portrycksutveck-
lingen vilken sannolikt kommer att vara direkt proportionellt mot tem-
peraturen dock med tendens att avta med tiden. Sättningen kommer att
inträffa med en viss tidsfördröjning vilket gör att topparna avrundas
kraftigt. Resultatet av datorbaserade sättningsberäkningar visas i
figur 3.



Figur 3. Beräknade sättningar.

SGI Varia 372

I fält 4 kommer sättningarna till största delen att uppkomma i de frysta delarna, det vill säga det frysta området kring slangarna beräknat till cirka 0,3 meters radie. Fryszonens storlek har beräknats med hjälp av Fouries lag. Det blir alltså 10m långa frusna pelare som till största delen består av lera som aldrig förr varit frusen vilket gör att sättningen efter 1:a tiningen förväntas bli mycket stor. Med referens Vähäaho 1989 [1] har sättningarnas storlek uppskattats till cirka 25%, det vill säga 2,5 meter lerpelare. Efter sättning kommer pelarnas övre del till stor del att vattenfyllas.

För analys i laboratorium undersöks ostörda lerprov med avseende på vattenkvot, densitet och finlekstal. Proverna besiktigas okulärt för att upptäcka eventuella sprickplan eller vattenbildningar. Vattenkvoten i de uppvärmda fälten antas sjunka medan densiteten antas öka. Finlekstalet avser det värde på vattenkvoten där leran övergår från fast till flytande konsistens. En förändring av detta tal skulle innebära att lerans konsistens har ändrats.

Skjuvhållfastheten undersöks i fält 1 och 2 för att klarlägga hur mycket denna förändras vid uppvärmning. Resultatet är av avgörande betydelse för värmelagers placering i bebyggda områden. Skjuvhållfastheten antas minska vid ökad lagertemperatur. Skjuvhållfastheten mäts in situ dels under 1:a uppvärmningen, dels vid 70°C under följande cykler.

3.2 Instrumentering och provning

För att kunna utvärdera olika geotekniska parametrar som påverkar leran vid uppvärmning och frysning krävs en mängd mätinstrument. Mätinstrumenten har projekterats för fyra olika nivåer i lagren och en nivå under lagren. Nivåerna har valts så att de väl ska representera jordprofilen och samtidigt ge ett tillräckligt underlag för utvärdering av temperaturförändringarna. Dessutom har mätinstrument projekterats utanför lagren med hänsyn tagen till hur snabbt temperaturfronten rör sig. Temperaturfrontens utbredning har beräknats utifrån referens Hellström 1991 [2] och är cirka 3 m från lagrens kant efter 3 år.

Huvuddelen av undersökningarna i fälten görs inom en yta 4x4 meter i mitten av varje fält. Inom denna yta antas påverkan från randen vara näst intill försumbar. På grund av det omfattande mät- och undersökningsprogrammet och de täta raderna med slangslingor var det nödvändigt att noggrant dokumentera var mätningar och undersökningar skulle utföras i lagerytorna. Med hjälp av ett datorbaserat ritprogram (AUTOCAD) har en plan ritats över de olika lagren med mätare och givare samt provtagnings- och sonderingspunkter utplacerade. För varje parameter, förutom temperaturen, har det valts mer än en typ av mätinstrument eller provningsmetod, dels för att få en bättre tillförlitlighet i resultaten eftersom tillämpningsområdet med lera vid hög temperatur är nytt, dels för att mätinstrumenten normalt är anpassade för normal marktemperatur. Temperaturmätarna, en typ av porttrycksmätare samt en typ av totalsättningsmätare har projekterats för automatisering.

Vid konstruktion av mätsystemet har erfarenheter utnyttjats från tidigare liknande projekt, bland annat utvärderingsprojektet av värmelagret i Söderköping. Mätsystemet är uppbyggt av en mätdatainsamlingsenhet (logger), persondator och ett program för databehandling och redovisning av insamlade mätdata. Insamlade mätdata presenteras grafiskt på skärm eller skrivare. Datoranläggningen är flexibel och kan ändras utan specialistkunskaper. Samtliga temperaturgivare kan dessutom

SGI Varia 372

mätas upp med handinstrument på en kopplingsplint. Samtliga inkommande givarsignaler har anpassats till sin omgivning för att ge en signal med rätt kvalitet. Temperaturgivarna korrosinsskyddas, mätfel på grund av lång kabelanslutning kompenseras och givare kalibreras vid olika temperaturer upp till 70°C. Givare och mätdatainsamlingsenhet skyddas från blixtnedslag. Kablar i marken skall kunna skyddas mot gnagare genom svag strömmatning i skyddsskärm.

För att mäta portryck har två olika typer av mätare valts. Ett öppet system med KADO filterspets och en rördiameter på 13 mm. Det öppna systemet gör det möjligt för eventuella gasbubblor att avgå. Den stora rördiametern gör dock systemet relativt långsamt. Ett slutet system med BAT-spets installeras också som kan reagera vid eventuella snabba portrycksökningar. Temperaturgivare, PT 100, installeras på varje nivå med portrycksmätare.

För att få en klar bild av sättningarna i fält 1 och 2 används fyra olika typer av sättningmätare. Bälgslang mäter sättningens storlek i olika skikt längs djupet. Horisontalslang mäter totalsättningen längs en profil genom lagret. Automatisk sättningsskruv, utvecklad och tillverkad av SGI, mäter totalsättningen på en punkt med mycket stor noggrannhet. Markpegel mäter totalsättningen på markytan. Som referens används en fixpunkt som drivs ned till fast botten.

I fält 4 används bälgslang och horisontalslang mellan de frusna pelarna för att mäta sättningarna. Sättningarna i pelarna mäts genom avvägning på en stång överst försedd med en platta. Stången placeras vertikalt mitt i en pelare, mellan två slangparter. För att mäta portryck ska endast BAT-spetsar användas eftersom portrycket förväntas bli negativt samt ge snabba förändringar i frysögonblicket. För att mäta upp frysfronten, i leran runt slangarna, placeras horisontella slangar genom den tänkta fryszone. I den horisontella slangen skjuts en tjälgränsmätare in. Tjälgränsmätaren påvisar 0°C-isotermer genom att en blandning av destillerat vatten och metylenblått skiftar färg vid fasomvandling.

Skjuvhållfastheten undersöks in-situ genom vingsondering och dilatometerförsök. Resultatet från dilatometerförsök kan även utnyttjas för utvärdering av andra geotekniska parametrar.

Ostörda prover på leran upptagna med kolvprovtagare används för undersökning i laboratoriet.

Vid termiska beräkningar av leran och isoleringen ansätts ofta värmeledningsförmågan. Om detta är relevant vid höga temperaturer är ej undersökt. Man kan förvänta sig att det övre skiktet av lerlagret torkar ut vilket kan påverka lagrets kapacitet och värmeförluster. Hos isoleringen kan man med tiden förvänta en försämrad funktion på grund av fuktupptagning och åldring.

För att fastställa lerans och isoleringens termiska förändringar placeras två värmemängdsmätare under isoleringen i lager 2. Värmemängdsmätarna köps direkt från tillverkare. Tillsammans med temperaturgivare med fixerat avstånd kan materialets termiska konduktivitet beräknas.

SGI Varia 372

Laboratorieresultat från fältprover på lera och isolering används dels för teoretisk beräkning av lerans termiska konduktivitet, dels för undersökning av isoleringens vatteninnehåll.

3.3 Lager

Att projektera ett värmelager optimalt kräver kunnskap om bland annat värmeöverföring, material och uppbyggnad av lager i fält. Arbetet är komplext varför det blir nödvändigt att göra vissa tekniska och ekonomiska avvägningar.

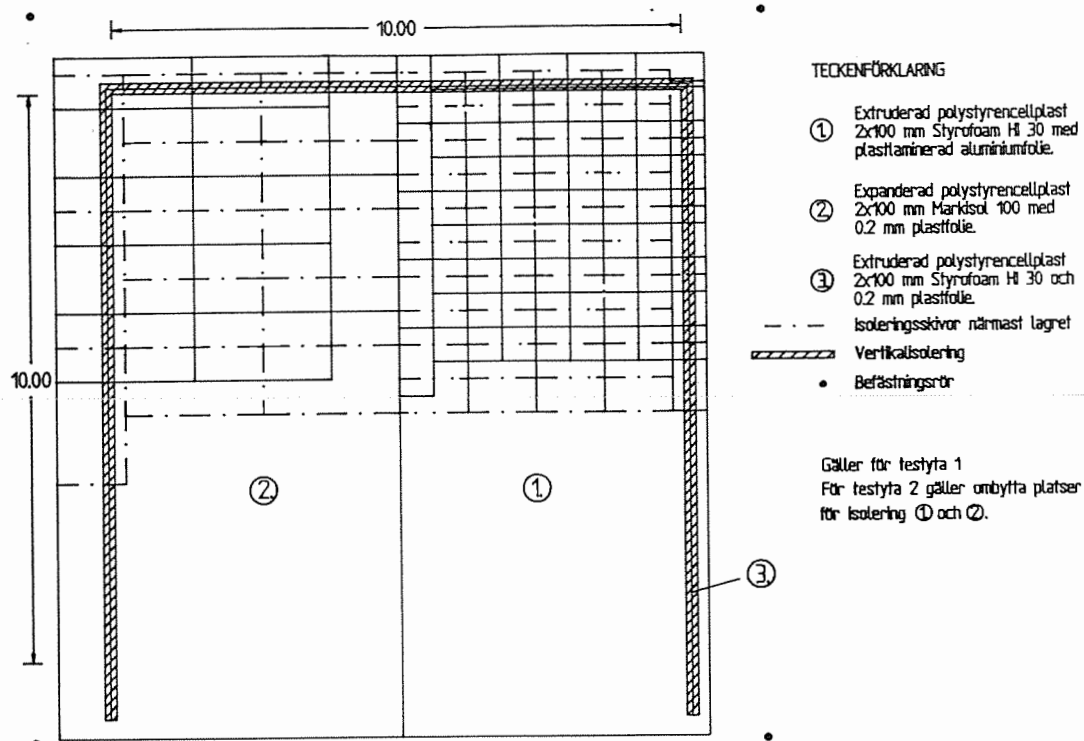
Energilagren har byggts samman av ett slangsystem i en lervolym. I det aktuella fallet har slangen en hög hållfasthet även vid höga temperaturer. Slangen har dessutom anpassats till installationsarbetet vad gäller formbarhet och styrka. Syrediffusion genom slangen har konstruktivt minimerats för att skydda övrig VVS-utrustning mot korrosion. Slangleverantörer har kontaktats och besökts för detaljerad produktinformation.

Utifrån energi- och effektbehoven för energilagret har antal markvärmewäxlare och mängden slang datorberäknats. Slangmängden har konfigurerats på ett lämpligt sätt så att turbulent strömning garanteras samtidigt som tryckfallet i ledningarna ej blivit för högt. Som bivillkor har en klen slangdimension eftersträvat för att reducera materialkostnaden.

Slanginstallationen genomförs med en ny metod utvecklad på SGI. Slanginstallation och sammankoppling av slangsektioner integreras i ett moment. Metoden innebär att längre slangsektioner, om upp till tio markvärmewäxlare, installeras kontinuerligt utan skarvpunkter. Vid installationsarbetet används en geoteknisk undersökningsutrustning monterad på en jeep. Slangarna trycks ned hydrauliskt med ett stångsystem varpå ett verktyg anbringats. För att minska risken för driftstörningar vid eventuella sättningar i lervolymen installeras slangarna med en liten vertikal avvikelse från lodlijen. För att kontrollera tätheten hos de installerade slangarna tas en provtryckningsmetod fram.

För att minska värmeförlusterna från de uppvärmda lagren isoleras toppytorna och en del av lagrens sidor. Storleken på förlusterna har räknats fram med hjälp av dator. Isoleringstjockleken har optimerats med avseende på minskad energikostnad respektive ökad kostnad för isolering. Under arbetet med isoleringskonstruktionen har flera isoleringstillverkare kontaktats. De har utifrån givna förutsättningar och krav lämna förslag till isoleringsuppbyggnad. Efter diskussioner med isoleringstillverkare och sakkunnig på Boverket har två typer av isoleringsuppbyggnad valts. Fungerar den enklare isoleringstypen, expanderad polystyrencellplast med enkelt diffusionsskydd, kan kostnaden för isolering reduceras med en faktor två, vilket avsevärt reducerar totala lagerkostnaden.

SGI Varia 372

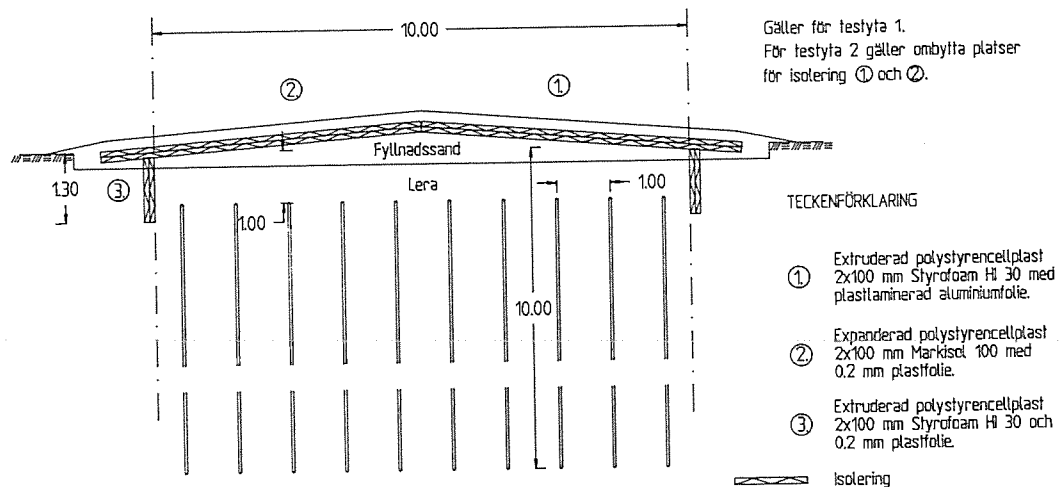


Figur 4. Projektering av värmeisolering.

Värmeisoleringen har projekterats så att halva ytan av fält 1 och 2 täcks med isoleringsskivor av extruderad polystyrencellplast, Styrofoam HI30. Skivan närmast lagret förses med ett diffusionsskikt av plastlaminerad aluminiumfolie. På den andra halvan har isoleringsskivor av expanderad polystyrencellplast, Markisol 100, valts. Diffusionsskiktet utgörs av en 0,2 mm plastfolie. Diffusionsskiktet limmas på med övermått 0,05-0,10 m på en kort- och långsida i syfte att även skarvarna mellan skivorna ska täckas. Genom att limma folien på fabrik bör läggingsarbetet kunna utföras mer rationellt.

De extruderade skivorna har konstruktivt fixerats mot varandra med ledade fästbleck av plast. Fästblecken håller ihop isolerlagret samtidigt som skivorna kan röra sig i vertikalled i förhållande till varandra. 2x100 mm skivor läggs ut med förskjutna skarvar på ett avjämnat och dränerat underlag. Underlaget får utgöras av fyllnadssand som läggs ut med fall från en linje längs lagrens mitt till motstående lagerkanter. Fallets storlek har bestämts med hänsyn till att vattnet ska kunna rinna av även när större delen av sättningarna utbildats. Med ledning av de beräkningar som gjorts har den dimensionerande sättningen valts till 0,5 m.

SGI Varia 372



Figur 5. Sektion lager.

Med hänsyn till den korta driftstiden har det visat sig vara ekonomiskt försvarsbart att vertikalisolera lagren. Lagren isoleras längs tre sidor med 2*0,1 m tjock extruderad polystyrencellplast, Styrofoam HI30. Isolerdjupet motsvarar en skivlängd, 1,2 m. Närmast lagret läggs ett skikt av 0,2 mm diffusionstät plastfolie. Slangarnas anslutningar till VVS-försörjningscentralen har koncentrerats till respektive lagers fjärde sida, vilket gör det arbetstekniskt svårt att isolera den sidan.

För att underlätta för sonderingar och provtagningar som senare kommer att utföras har isoleringen projekterats med genomföringar. Genomföringarna får utgöras av korta markrör, diameter 110 mm.

SGI Varia 372

FAKTARUTA

Datordimensionering av lager och lagerförluster för tre driftsår.

	Indata		Utdata
Lager 1			
Energibehov	270 MWh	Antal värmepumpar	100 st
Effektbehov	29 kW	Effektkapacitet	34 kW
Energiförlust	255 MWh	Antal slingor	10 st
		Slinglängd	250 m
		Tryckfall	40 kPa
		Turbulent flöde	13000 -
		Isoleringstjocklek	0,20 m
		Sidoisolering, djup	1,2 m
Lager 2			
Energibehov	70 MWh	Antal värmepumpar	100 st
Effektbehov	32 kW	Effektkapacitet	34 kW
Energiförlust	355 MWh	Antal slingor	10 st
		Slinglängd	250 m
		Tryckfall	40 kPa
		Turbulent flöde	27000 -
		Isoleringstjocklek	0,20 m
		Sidoisolering, djup	1,2 m
Lager 4			
Energibehov	45 MWh	Antal värmepumpar	25 st
Effektbehov	4 kW	Effektkapacitet	6 kW
Energiförlust	-	Antal slingor	2 st
		Slinglängd	300 m
		Tryckfall	100 kPa
		Turbulent flöde	3000 -

3.4 VVS-försörjningscentral

Detaljprojektering av VVS-försörjningscentral har upprättats av extern konsult som också skrivit förfrågningsunderlag för upphandling av anläggningen. Anläggningen producerar vattenburen värme respektive kyla till samtliga lagerenheter. El används som primärenergi. Mät- och styrutrustningen har anpassats för forskningsändamål. För att undersöka värmeövergången i marken går det bland annat att ladda ett av lagren med konstant effekt. Levererade energimängder mäts med speciellt anpassade värmemängdsmätare. Projektering av kylanslutning från närbeläget vattendrag har utförts av SGI.

SGI Varia 372

4 BYGGNATION

Försöksfältet är beläget mellan småbåtshamn och segelbåtshamn på kommunal stadsäga (2537) utmed Stångån/motorväg, norr om Linköping.

Byggprocessen har avslutats i slutet av januari 1992 efter drygt tre månaders arbete. Marklager, extern kylanslutning, geoteknisk och energiteknisk instrumentering samt system för mätdatainsamling har byggts av personal från SGI. Grävning/schaktning samt tillverkning av VVS-försörjningscentral har utförts av Ögräf respektive NBN Syd AB. Tekniska Verken i Linköping AB har svarat för elanslutningen.

4.1 Lager

För att förhindra luktavgång, vid uppvärmning, har lagerytornas matjords schaktats bort. Genom att installera slangarna i parallellt grävda slitsar har slangen skonats från torrskorpeleran samtidigt som övergången till efterföljande markvärmväxlare blivit följsam. Vid installation av slangen har installationsmaskinen körts grensle över slitsarna. Eftersom slangarna har installerats tätt var det omöjligt att arbeta med närliggande öppna slitsar. På en släpvagn framför fordonet har en vinda placerats varifrån slangen matades till installationsverktyget. Före återfyllning av slitsarna har varje slinga provtryckts och befunnits vara utan anmärkning. Samtliga slangslingor från respektive lager har dragits till försörjningscentralen i ett grävt dike. I diket har tillopp- respektive returslangar förlagts isolerade och åtskiljda.



Figur 6. Slanginstallation.

SGI Varia 372

Slanginstallationen har generellt fungerat mycket väl. Vid några enstaka tillfällen har slangen skadats på grund av veckbildning. Skadorna har åtgärdats dels genom omformning av slangen (uppvärmning), dels med skarvkoppling. Vid nederbörd har installationsarbetet uppskjutits eftersom installationsmaskinen hade svårt att ta sig fram i den blöta leran.

Vertikalisoleringen har placerats i grävda slitsar utmed tre av lagrens sidor. Genom att väga av slitsarna och fylla upp med grus har isoleringsskivorna hamnat på rätt nivå. Skivorna, av extruderad polystyrencellplast, har ställts på högkant i dubbla skikt med förskjutna skarvar. För att skydda isoleringen har en diffusionstät plastfolie applicerats mellan lagret och isoleringen. Vertikalisoleringen har slutligen fixerats på plats genom att med en traktorgrävare bakfylla slitsarna med fyllnadssand.

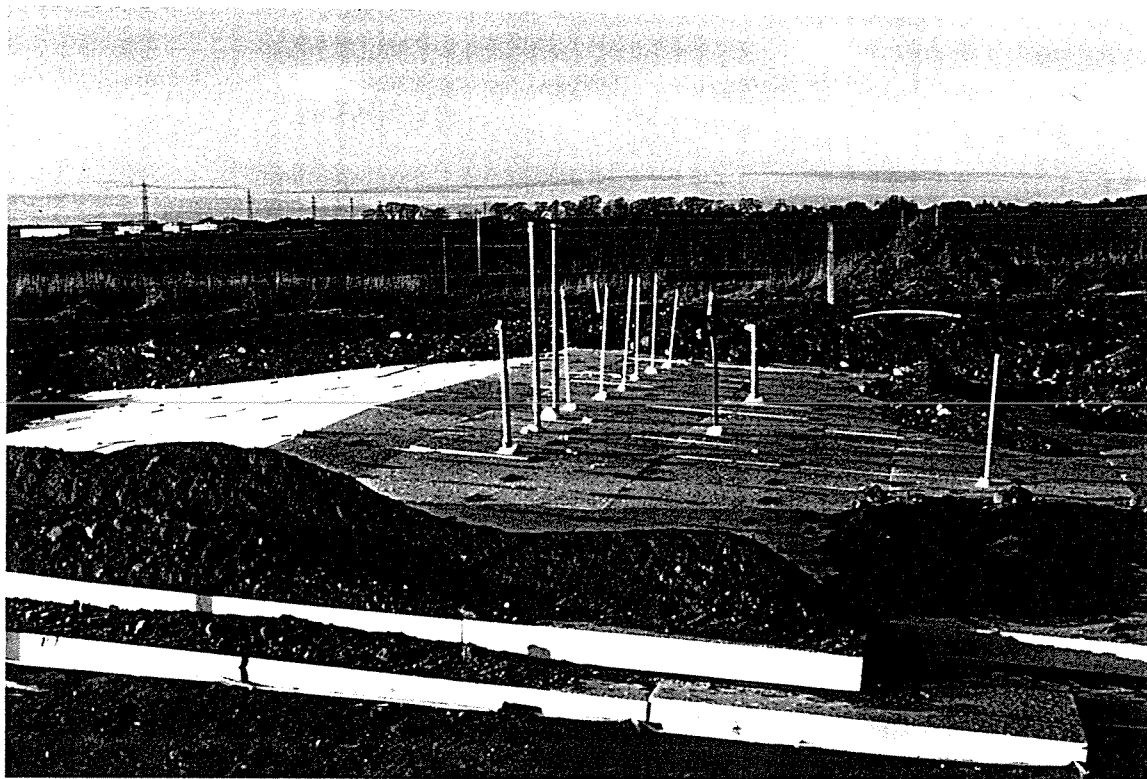
På lager 1 och 2 har fyllnadssand lagts ut med hjälp av en traktorgrävare. Sanden har jämnats av manuellt i en jämn lutning från en linje i lagrets mitt till motstående lagerkanter. Därefter har sanden packats med en packningsmaskin. På så vis har ett jämnt underlag erhållits dels för det geotekniska installationsarbetet, dels för toppisoleringen som lagts ut efter avslutad instrumentering.

Respektive toppisolering har lagts ut skikt för skikt med förskjutna skarvar från en linje i fältets mitt till motstående lagerkanter. Sista skivan har lagts med god marginal så att hela vertikalisoleringen täckts över. Isoleringsskivorna har fixerats med ledade fästbleck av plast.

På grund av omfattande håltagning för fast mätutrustning har lägningsarbetet varit tidskrävande. Arbetet har komplicerats ytterligare av att folien (diffusionstät skiktet) lossnade på den expanderade isoleringen. Foliens överlapp, på den extruderade isoleringen, "rullade ihop sig" och har därför varit svår att lägga med tät förslutning. Vid ett tillfälle har vinden tagit tag i och slitit sönder en mindre del av den redan monterade toppisoleringen.

I ett lager utan instrumentering är det sannolikt enklare och billigare att rulla ut folien direkt från rulle. De extruderade skivorna fästes mot varandra med hjälp av ledade fästbleck av plast. Blecken, tillverkade för extruderad isolering HI30, var lätta att montera och visade sig vara en tillgång vid lägningsarbetet. Även på den expanderade isoleringen prövades fästblecken. Isoleringen var emellertid för "lös" varför blecken ofta lossnade.

SGI Varia 372



Figur 7. Toppisolering av lageryta 1.

En uppenbar skillnad mellan isoleringstyperna är formatet på skivorna. De extruderade och expanderade cellplastskivorna är av olika format, $1,2 \times 0,6 \text{ m}^2$ respektive $2,4 \times 1,2 \text{ m}^2$. Små skivor är lätta att hantera. Värmetekniskt är det sämre med mindre skivor eftersom skarvarna blir fler. Vid blåst försvåras lägningsarbetet, speciellt med de större skivorna. För att inte isoleringen skall blåsa bort är det viktigt att omedelbart efter läggning av skivorna belasta dem.

Genomföringar, för provtagningar, har tagits upp i isoleringen på inmätta punkter. Hålen har borrats med ett markrör som försetts med sågtänder. Genomföringarna som utgörs av korta markrör med lock har tätats med ursprungligt isoleringsmaterial och tätskum. Isoleringen har slutligen täckts med cirka $0,2 \text{ m}$ fyllnadssand som packats.

4.2 Installation av mätutrustning

Installation av mätutrustning har gjorts med en lätt geoteknisk bandvagn. Tätt placerade givare samt risken att skada installerade slangar har förutsatt noggrann avvägning av installationspunkterna samt precis installation.

Lagren har totalt instrumenterats med 12 st portrycksmätare, 18 st öppna rör, 28 st temperaturgivare, 2 st automatiska sättningsskruvar, 6 st bälgslangar, 3 st horisontalslangar, 2 st inklinometerrör och 6 st markpeglar. Därtill har specialutrustning installerats för mätning av sättningar och temperatur i fält 4. Arbetet med instrumenteringen har utförts i huvudsak under 3 veckor i månadsskiftet november-december 1991.

SGI Varia 372

Delar av mätutrustningen har installerats innan slangarna trycktes ned i lagren. I juni -91 har portrycksmätare och öppna rör installerats i referensytan på sammanlagt 5 nivåer. Portrycken mäts sedan dess en gång i månaden. I fält 2 har två portrycksmätare och en bälgslang installerats bland annat för att studera påverkan av slanginstallationen. Bälgslangen har inte fungerat tillfredsställande (se även under kapitel 5). Ytterligare en bälgslang har därför installerats vid ett senare tillfälle.

I samband med slanginstallationen har horisontalslangar av temperaturtålig kvalitet placerats i en öppen slits i mitten av fält 1, 2 och 4 med en utsträckning av cirka 10 m utanför vardera lagersida. Portrycksmätare som sitter i nära anslutning till en markvärmväxlare har installerats medan slitsen fortfarande stod öppen, det vill säga då toppen av markvärmväxlaren var väl synlig. Portrycksmätarna har tryckts ned manuellt till rätt nivå i den lösa leran, med samma lutning som markvärmväxlaren.

Temperaturgivarna för mätning av temperaturens horisontella utbredning från en markvärmväxlare har satts på plats genom att man först grävde sig ner till installationsnivån, två meter under markytan. Temperaturgivarna har sen monterats utanpå ett elrör som därefter fixerats på plats ut från den vertikala slangen.

Huvuddelen av mätutrustningen i fält 1 och 2 har installerats efter att slangtryckningen avslutats och ett lager fyllnadssand lagts ut på ytorna. För att mätare och givare skulle komma på rätt nivå har lagerytan vägts av i förhållande till omgivande markyta. Temperaturgivare inklusive kablar har tejpats fast utanpå elrör som därefter manuellt trycktes ned i förborrade hål till aktuell nivå. Vid större djup har bandvagnen tagits till hjälp för att få ner givarna. Där temperaturen skulle mätas på flera nivåer har flera temperaturgivare tejpats på samma elrör med inbördes rätt avstånd. Öppna rör försedda med KADO filterspets har också tryckts ned manuellt i förborrade hål. Dessutom har rör utan filterspets installerats. Dessa rör har fyllts med vatten för att man senare ska kunna få en uppfattning om avdunstningens eventuella betydelse.

En automatisk sättningskruv, utvecklad och tillverkad av SGI, har satts i vardera fält 1 och 2. Inklinometerrör av temperaturtålig kvalitet har tryckts ned i fält 1 och 2:s lagerkanter. Vidare har bälgslangar och markpeglar installerats i och på bestämda avstånd från lagerytorna.

För att kunna iaktta händelseutvecklingen vid frysning, ovanpå markvärmväxlarna, har 3 betongringar placerats genom torrskorpan i fält 4 eftersom slangarna installerats 1 m under markytan. I betongringarna har en typ av markpeglar satts, bestående av en skruv, i botten kopplad till en platta på markytan, via en stång. Horisontalslangar har lagts mellan markvärmväxlarens skänklar, på 2,5 meters djup under markytan, så att frysfrontens horisontella utbredning skall kunna följas med tjälgränsmätare.

I samband med att toppisoleringen har lagts i fält 2 placerades två värmemängdsmätare mot undersidan av den undre isoleringsskivan i de olika isoleringshalvorna. I nära anslutningen har också temperaturgivare fixerats ovanpå, mellan och under isoleringen.

SGI Varia 372

Kablar från temperaturgivare, BAT portrycksmätare och automatiska sättningskruvar har dragits till en samlingspunkt, placerad något utanför varje lager, och därefter in till mätvagnen. Huvuddelen av kablar från temperaturgivare har lagts ut under isoleringen. Övriga kablar har lagts ut ovanpå isoleringen i skyddande kabelrör. Från samlingspunkten har kablarna lagts i kabelrör dels för att skydda kablarna, dels för att underlätta ett byte om någon givare skulle sluta fungera. Efter kontrollmätning med kalibrering av samtliga givare har konstaterats att samtliga givare installerats utan skada och fungerar som avsett. I mätcentralen har portrycksmätarna, huvuddelen av temperaturgivarna och de automatiska sättningskruvarna kopplats till ett automatiskt system för mätdatainsamling.

Insamlingsystemet består av 2 st 24-kanalers logger (AAC-2) med anpassat utvärderingsprogram (GL) anslutna till en persondator.

Som skydd har temperaturgivarna (PT 100) förslutits i en rostfri kapsel fylld med fett. Samtliga givare har anpassats för mätning med fyra trådar vilket ger rätt mätsignal oberoende av kabellängd. Anläggningen har åskskyddas med gasurladdningsrör kopplade till lokal jordanslutning. Samtliga temperaturgivarna är även möjliga att läsa av med ett handinstrument.

4.3 VVS-försörjningscentral

Entreprenören har installerat VVS-utrustningen i en 40 fots container inom egna lokaler samt efter färdigställande levererat den kompletta energicentralen till försöksfältet. Entreprenaden har utförts under tiden 9112 till 9201. Energicentralen består i huvudsak av elpanna, kylmaskin, shuntgrupper, värmeväxlare samt pumpar. För kontroll och drift av anläggningen ingår även säkerhetsutrustning, givare och reglerutrustning. Arbetet har omfattat beställning av komponenter, montage i container, sammankoppling av komponenter via ventiler och ledningsrör genom svetsning och gängning, isolering av ledningsrör samt elektrisk ledningsdragning och anslutningsarbeten. Avslutningsvis har anläggningen provtryckts och justerats in. Arbetet har följts med regelbundna byggmöten.

300 meter kylledning mellan container och vattendrag har förlagts på frostfritt djup. Intag och utlopp har placerats väl åtskiljda samt tillräckligt djupt för att undvika skador vid sträng kyla. På ledningens högsta och lägsta punkt har ventiler monterats i brunnar för att kunna avlufta systemet vid påfyllning samt tappa systemet när kylsystemet är avställt.

Tekniska Verken har grävt ner serviskabel till containern. SGI har samordnat anslutningspunkter i containern för upplag av container, anslutning av el, slangar till/från lagren samt extern kylledning från vattendrag.

SGI Varia 372

5 START AV ANLÄGGNING

Hela anläggningen har startats upp på tomgång under vecka 9205. Funktionsprovning under belastning har utförts under veckorna 9206 och 9207. Funktionsprovning har utgjort underlag inför slutbesiktning 910311.

Funktionsprovningen har genomförts tillsammans med beställare och samtliga entreprenörer. Samtliga provningsmoment och anmärkningar har protokollförts.

Vid uppfyllning av vattensystemet visade det sig att slinga 15 i lager 2 blivit punkterad. Eftersom varje slinga ansluts parallellt har kretsen kopplats ur med minimal påverkan av driften i lager 2. Slangen har sannolikt gått sönder vid installationsarbetet vid sammanstötning med en tidigare monterad bälgslang (sättningsmätare). Mätaren har installerats bland annat för att påvisa sättningar vid nedtryckning av slang. Efter slanginstallationen har det ej gått att avläsa bälgslangen på djupare nivåer. Det är ej känt om slangen eller mätaren installerats snett.

Trots att slangen har provtryckts efter installation upptäcktes ej läckan. Vid kontroll av provtryckningskurvorna har man efter jämförelse mellan felfria slingor och slinga 15 kunnat se att kurvorna avviker något från varandra. Läckaget tycks vara mycket begränsat och har därför inte uppenbarats vid enskilt studium av slinga 15:s tryckförlopp. För att med säkerhet upptäcka ett litet läckage måste alltså tryckkurvor från olika slingor jämföras med varandra.

Vid funktionsprovningen har det ej gått att få igång kylanslutningen mellan containern och vattendraget. Utredning pågår om orsaken. Sannolikt beror driftstörningen på för stora förluster i sugledningen. Kvarbliven luft i sugledningen, vilket är svårt att avlägsna, är troligen orsaken till driftstörningarna. Denna del av VVS-entreprenaden kommer att funktionprovas efter slutbesiktning. Enligt planerna skall kylanslutningen sättas i drift i juni 1992 efter avslutad uppvärmning av lager 1.

Anläggningen har besiktigats och godkänts 920311 av förrättare från Ångpanneföreningen (ÅF) Energikonsult Syd AB i Linköping. Garantitiden för anläggningen är två år med början från 920311. Protokollförda brister och fel har blivit avhjälpna senast 920408.

Lager 1 och 4 körs som planerat. Uppvärmning av lager 1 pågår sedan 920203 och skall pågå till och med juni månad. Lager 4 körs i fryscykel sedan 920304. Värmning av lager 4 påbörjas efter 3 månaders drift. Uppvärmning av lager 2 påbörjas i maj när värmepannans kapacitetsbehov för lager 1 avtar.

SGI Varia 372

6 KOSTNADER

Investeringskostnaden för projektet har kalkylerats till 1975 tkr i 1991 års kostnadsläge.

Utfall och budgeterade kostnader för investeringen redovisas i efterföljande uppställning.

	Utfall (tkr)	Budget (tkr)
Lagerkostnad	500	730
VVS-försörjningscentral	895	480
Instrumentering	785	485
Övrigt, projektering/ <u>projektledning</u> /oförutsett	50	280
-----	-----	-----
Summa	2230	1975
-----	-----	-----
Underskott, investering	- 255	

Den största delen av underskottet har utgjorts av tillkommande personalkostnader. Upphandling och entreprenad av rörarbeten har utfallit cirka 200 tkr över budget. Dessutom har kostnader för elservis (60 tkr) och besiktningkostnader (40 tkr) tillkommit. Underskottet för instrumentering har påverkats av att konstruktionerna ofta är av special- och engångskaraktär (högtemperaturanpassning) och därför svårkalkylerade.

7 VERKSAMHET I FÖRSÖKSFÄLT

Verksamheten i försöksfältet är indelad i fyra huvudprogram för undersökning av:

- temperaturpåverkan på lerans geotekniska egenskaper
- markvärmewäxlarnas effektkapacitet
- isoleringens termiska funktion
- termiska egenskaper i mark

FoU-verksamheten i försöksfältet har planerats utifrån huvudprogrammen med hänsyn tagen till budgeterade kostnader. Driften av försöksfältet kommer att styras så att sex årscykler genomförs under tre kalenderår (2 cykler/år). Första uppvärmningscykeln beräknas ta cirka 5 månader. En tidplan för undersökning, provtagning och sondering, samt mätning av portryck, temperatur och sättningar har utarbetats för de närmaste tre åren. FoU-verksamheten har inletts med referensmätning av alla mätare och givare. Referensprover på isolering och jordmaterial närmast isoleringen har också tagits.

För undersökning av temperaturpåverkan på lerans geotekniska egenskaper kommer i första hand sättningsutvecklingen i fälten att följas. Förutom automatisk mätning av totalsättningen mäts denna i och utanför lagren genom avvägning av peglar och mätning i horisontalslangar. Sättnings fördelning i djupled mäts i bälgslangar ned till 15 meters djup. Undersökningarna utförs 1 gång/månad första driftsåret och därefter var tredje månad.

För att förstå sättningarnas uppkomst är det viktigt att mäta portrycket och eventuell portrycksökning beroende av temperaturen. Portrycket mäts dels automatiskt med BAT portrycksmätare, dels manuellt i öppna rör 2 gånger/månad vid första uppvärmningen av fält 1 och 2. Därefter glesas mätningarna ut till en gång var tredje månad andra och

SGI Varia 372

tredje driftsåret. Temperaturen mäts automatiskt men kan också mätas manuellt i mätvagnen med ett handinstrument.

Kolvprover kommer att tas på samma nivåer där porttrycksmätare och temperaturgivare finns installerade. Målsättningen är att utföra laboratorieförsök dels på avsvalnade prover, dels på prover som inte tillåts svalna utan får behålla den temperatur som rådde vid provtagnings-tillfället. Provtagning kommer att utföras 1 gång/år i varje fält.

Vingsondering för in-situbestämning av skjuvhållfastheten utförs 3 gånger under första uppvärmningen i fält 2 därefter 1 gång/år. Varannan gång utförs kompletterande undersökning med dilatometer.

Markvärmeväxlarnas effektkapacitet kommer att undersökas i fält 1 under två veckor första och andra driftsåret. Genom att tillföra konstant effekt och samtidigt mäta den tid det tar att höja temperaturen i lagret kan markvärmeväxlarens effektkapacitet utvärderas. Vid utförandet mäts flödet av den cirkulerande fluiden, fluidens och lagrets temperatur samt temperaturen på bestämda avstånd från en markvärmeväxlare.

Isoleringens termiska funktion undersöks främst i fält 2 där värmefflödet ut från lagret är jämnare (stationärt driftsfall) än i fält 1. Temperaturgradienten är riktad åt samma håll och konstant hög. Värmemängdsmätare och temperaturgivare för utvärdering av isoleringens termiska funktion har därför placerats i fält 2. Genom att mäta temperaturfallet över isoleringen och värmefflödet genom densamma kan värmeledningsförmågan beräknas. För jämförande studier kommer prover att tas på de olika isoleringstyperna i både fält 1 och 2 samt strax ovan och under isoleringen för bestämning av vatteninnehållet. Provtagning kommer att ske 1-2 gånger/år.

Termiska egenskaper i mark vid hög temperatur undersöks främst i fält 2. Vid hög temperatur kan bland annat ångdiffusion få ett betydande inflytande på värmetransporten i inte helt vattenmättad jord. Ångdiffusion kan leda till en uttorkning av lagren. Prover tas på jordmaterialet i lagrets övre delar för undersökning av vatteninnehåll och densitet. Ur resultaten kan lerans värmeledningsförmåga och värmekapacitet beräknas. Förändringar i värmekonduktivitet undersöks i lagrets övre delar genom att mäta temperaturen längs en sektion med noggrant fixerade avstånd mellan temperaturgivarna. Värmeledningsförmågan kommer också att mätas med en termisk sond som har utvecklats av SGI. Provtagning/mätning samt beräkningar kommer att ske 1-2 gånger/år.

SGI Varia 372

REFERENSER

- [1] Vähäaho, I.(1989). The effects of thaw consolidation on geotechnical properties of clay. Geotechnical department, city of Helsinki real estate office, Finland.
- [2] Hellström, G.(1991). Ground heat storage - Thermal analyses of duct storage systems. Dep. of mathematical physics, University of Lund, Sweden.