

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Ny generation underjordiskt värmelager	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska New generation underground heat storage	
Universitet/högskola/företag Hydroc Energy Storage AB	Avdelning/institution
Adress Erik Dahlbergsgatan 11A	
Namn på projektledare Jan Bergland	
Namn på ev övriga projektdeltagare Henrik Lindståhl, Tekniska verken i Linköping AB	
Nyckelord: 5-7 st Värmelagring, säsongslager, berggrundsbaserat, spicklagerteknik,	

## Förord

Projektet har finansierats av Hydroc Energy Storage AB, Tekniska verken i Linköping AB och Energimyndigheten. Det har genomförts i Linköping på Akademiska hus mark.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	1
Summary .....	3
Inledning/Bakgrund .....	4
Genomförande .....	5
Resultat .....	6
Diskussion.....	6
Publikationslista.....	7
Referenser, källor.....	8
Bilagor .....	8

## Sammanfattning

Att kostnadseffektivt kunna lagra värmeenergi med temperaturer upp mot 100 °C över längre tid är ett av problemen/utmaningarna med energiomställningen. Syftet med vårt projekt var att påvisa att Hydrocs spricklagerteknik lämpar sig för att lagra stora mängder värmeenergi i berggrunden från sommar till vinter. En teknisk innovation som har stora möjligheter att bidra och är en del av lösningen till samhällets energiomställning.

Resultatet från testerna vid Pilotanläggningen i Linköping visar att det fysiska spricklagret möter uppsatta mål, teoretiska beräkningar och föresatser. Det går att använda den befintliga berggrunden och där skapa en spricklager som kan

användas som ett värmebatteri. Dessutom med en effekt vida överstigande idag gängse använda metoder.

För att bestämma fysisk plats och optimal konfiguration för energilagret genomfördes först omfattande geologiska analyser. Baserat på resultatet från dessa analyser togs exakta positioner för de fem brunnarna fram, en i centrum och fyra perifera med ett inbördes avstånd av 15 meter. Borrhålen har alla en diameter av 165 mm och djup av cirka 100 meter.

Därpå skapades sprickplan på tre olika djup mellan brunnarna för att genom sprickorna förbinda brunnarna med varandra. Teknisk specialutrustning utvecklades för att placera sprickorna vid optimala djup.

En rad olika tester har genomförts för att verifiera Hydrocs spricklagerteknik, däribland:

- Flödestester och vattenförlusttester genomfördes kontinuerligt för att mäta hur vattenflödet i det orörda berget versus berg med sprickor i ökade-. Från tätt berg med låga flöden fram till att nå målvärdet på 1 l/s i centrumbrunnen.
- Termiska tester indelas i tre faser: Uppvärmning, Vila och Återtagning.  
Först värmdes bergskroppen upp genom att varmt vatten (45 °C) pumpades ner i centrumbrunnen och upp i periferibrunnarna under ett antal dagar.  
Därpå en viloperiod under några dagar.  
Slutligen återtogs värme genom att pumpa ner kallt vatten i periferibrunnarna och ta upp detta i centrum. Detta vatten uppvärmdes av omgivande berg på sin färd i berggrunden, och kom alltså upp uppvärmt.

Projektet har genererat en stor mängd ny kunskap om tekniker, utrustning och processer kring skapandet av spricklager. Kunskap som har stort värde i den fortsatta utvecklingen av berggrundsbase energi lager i allmänhet och för spricklager i synnerhet. Likaså vilka analyser av bergskroppen som bör göras före, under och efter spräckningsoperationen för att förstå resultatet och bättre kunna prediktera storlek och effektivitet av energilagret.

Nästa steg i Pilotanläggningen blir att använda befintliga brunnar och sprickor och uppgradera tekniskt material vilka skall tåla höga temperaturer (90°C). och testa uthållighet/prestanda vid höga temperaturer (högtemperaturtester). Syftet med högtemperaturtester är genomföra så kallade stresstest av främst material/utrustning men även vattenkemi med målet att optimera tekniska funktioner och arbetssätt för att analysera möjligheterna att optimera systemet gentemot användning i fjärrvärmesystem.

Därpå följande steg blir att skala upp den aktiva berggrundskroppen, alltså själva energilagrets storlek med nya brunnar och fler sprickor samt teknisk utrustning cirka fem gånger med målet att använda bergskroppen för att värma upp stadsdelen Vallastaden i Linköping under en flerårig utvärderingsperiod.

## Summary

Being able to cost-effectively store heat energy with temperatures up to 100 °C over a longer period of time is one of the problems/challenges with the energy transition. The purpose of our project was to demonstrate that Hydroc's crack bearing technology is suitable for storing large amounts of heat energy in the bedrock from summer to winter. A technological innovation that has great potential to contribute and is part of the solution to society's energy transition.

The results from the tests at the pilot plant in Linköping show that the physical crack layer meets set goals, theoretical calculations and intentions. It is possible to use the existing bedrock and create a crack layer that can be used as a heating battery. In addition, with an effect far exceeding the methods commonly used today.

To determine the physical location and optimal configuration of the energy storage, extensive geological analyses were first carried out. Based on the results of these analyses, exact positions were obtained for the five wells, one in the center and four peripherals with a distance of 15 meters. The boreholes all have a diameter of 165 mm and depths of about 100 meters.

Crack planes were then created at three different depths between the wells to connect the wells with each other through the cracks. Technical special equipment was developed to place the cracks at optimal depths.

A variety of tests have been conducted to verify Hydroc's crack bearing technology, including:

- Flow tests and water loss tests were conducted continuously to measure how the water flow in the pristine rock versus rock with cracks in increased. From dense rock with low flows to reach the target value of 1 l/s in the center well.
- Thermal tests are divided into three phases: Heating, Rest and Recovery. First, the mountain body was heated by pumping hot water (45°C) down the center well and up into the periphery wells for a number of days. Then a rest period for a few days. Finally, heat was recovered by pumping cold water into the peripheral wells and bringing this up to the center. This water was heated by surrounding rock on its journey in the bedrock, and thus came up heated.

The project has generated a large amount of new knowledge about techniques, equipment and processes around the creation of crack bearings. Knowledge that has great value in the continued development of bedrock-based energy layers in general and for fracture layers in particular. Likewise, which analyses of the rock body should be done before, during and after the fracturing operation to understand the result and better predict the size and efficiency of the energy storage.

The next step in the pilot plant will be to use existing wells and cracks and upgrade technical materials that will withstand high temperatures (90°C). and test endurance/performance at high temperatures (high temperature tests). The purpose of high-temperature tests is to carry out so-called stress tests, primarily of materials/equipment, but also water chemistry, with the goal of optimizing technical functions and working methods to analyze the possibilities of optimizing the system for use in district heating systems. The next step will be to scale up the active bedrock body, i.e. the size of the energy storage itself, with new wells and more cracks as well as technical equipment about five times with the goal of using the rock body to heat the Vallastaden district in Linköping during a multi-year evaluation period.

## Inledning/Bakgrund

Tekniska verken i Linköping AB (TvAB) har sommartid, som många andra energibolag, överskottsvärme de idag inte kan nyttiggöra (överskottsenergin i Linköping är >100 GWh/år). TvAB har under många år arbetat aktivt för att finna och utveckla lösningar för att lagra detta överskott. En sådan teknik skulle kunna användas både av TvAB och andra energibolag för att förbättra energi- och miljöarbetet. Dagens gängse använda tekniker och lösningar för långtidslagring av termisk energi når inte upp till TvABs krav avseende kostnad, temperatur och effekt.

Hydrocs forskare har utvecklat en ny teknik att spara värme i berggrunden som bygger på att skapa stora sprickplan (spricklager) som hydrauliskt förbinder borrhållsbrunnar med varandra. I systemet cirkuleras det befintliga grundvattnet. Sprickplanens stora ytor fungerar som värmeöverföringsytor mot berggrunden. Vattnet blir då transportör av energin och berget ett värmebatteri.

Tekniken att under längre tid lagra och spara värme i berggrunden passar väl in med fjärrvärmesystem som ofta har överskottsvärme under den varmare delen av året eller för lagring av industriell spillvärme.

Värmelager ger större flexibilitet, ökar prestandan och möjliggör flexibel elproduktion i det totala energisystemet, därför blir stora termiska lager viktiga i framtidens energisystem.

I fjärrvärmesystem utan överskott från avfallsförbränning kan stora solfångaranläggningar tillsammans med Hydroclager bidra till ökade energieffektivitet och minskad mängd utsläpp vid produktion av värme under vintertid.

Hydrocs lösning har i princip två unika egenskaper:

- Dels de höga effekter som de stora ytorna mellan vatten och berg för att överföra värmen mellan vattnet och berget ger.
- Dels att den absoluta huvudmängden av materialet som behövs för att skapa ett lager redan är på plats, det vill säga själva berggrunden. Tekniken arbetar med naturen och utgår helt från hur berggrunden ser ut.

Projektet har genomförts från början på 2021 till våren 2023.

## Genomförande

Första fasen i arbetet är att bedöma geologin genom bland annat ytkartering och underlag från SGU, för att välja rätt geologiskt lokal. Ett antal initiala platser togs fram tillsammans med TvAB, dessa reducerades till tre lokaler för att slutligen landa i en fårhage nära stadsdelen Vallastaden i Linköping. I fårhagen genomfördes en borrhning där man tog ut borrhärnor ner till 100 meters djup. Kärnproverna analyserades och bedömdes av Hydrocs geologer och placering av centrumbrunn bestämdes.

När centrumbrunnen borrats till 150 meters djup analyserades denna på flera sätt, bland annat optiskt av GeoSigma AB. En 150 meter lång fotografisk bild togs fram som visade hur väggarna i borrhålet ser ut, geologiska formationer och hur omgivande sprickor breder ut sig. Hydrocs geologer och hydrogeologer analyserade materialet och bestämde var och hur de fyra kransbrunnarna skulle borraras.

Efter kransbrunnarna borrats till förutbestämt djup och riktning började spräckningsmomentet förberedas. Tillsammans med ledande tekniska bolag inom bergsutrustning, både inom Sverige och internationellt, utvecklade vi ett flertal speciella verktyg och mekanisk utrustning för att kunna etablera sprickplanen på de djup vi ville.

För att skapa själva sprickorna/sprickplanen vid valda brottanvisningar användes högtryckspumpar med vanligt vatten och en så kallad dubbelmanschett. Vi genomförde fem spräckningar. Datorstyrda kontinuerliga tryck- och flödesmätningar under pumpningsoperationerna gav värdefull kunskap och information om sprickutbredning och framdrift.

Resultaten före och efter spräckningarna mättes med vattenförlustmätningar som visade på ökad hydraulisk kontakt mellan de olika brunnarna efter spräckning, jämfört med före spräckningarna.

I nästa steg byggdes hela systemet upp med pumpar i varje brunn, slangar och mätinstrument. Ett stort antal termometrar, flödes-, djup- och tryckgivare monterades och kopplades till ett datoriserat mätsystem som samlade in data under alla tester.

Parallellt med testerna i Linköping genomfördes hydrogeokemiska analyser i samarbete med universitetet i Zaragoza som har expertis inom området, syftet var att öka förståelsen och kunskapen kring hur vatten och mineraler påverkas av höga och växlande temperaturer.

De första flödestesterna genomfördes för en laddcykel. I denna pumpar man vatten i sekvens från kransbrunnarna till centrumbrunn. De olika egenskaperna från spräckningarna mättes upp för varje brunn och utvärderades av hydrogeologer och geologer. Efter slutförd laddcykel genomfördes samma

operation med omvända flödesriktningar i en urladdningscykel. Pumpning upp från centrumbrunnen och pumpning ner i kransbrunnarna.

Dessa serier av flödestester gav information och kunskap om egenskaperna i systemet för olika pumpningscykler. Därmed kunde de termiska testerna genomföras. Under några dagar tillsattes 45 gradigt vatten i centrumbrunnen. Därefter vilade systemet i tre dagar och efter detta vändes flödet så att vi laddade ut värme ur systemet under ytterligare några dagar.

Ökad förståelse och kunskap har genererat två patentansökningar som lämnats in under projektets genomförande. Tekniska verken har ansvarat och skött kontakter och hanterat tillstånd från bland annat kommun och länsstyrelse.

## Resultat

Testerna på Pilotanläggningen vid Vallastaden i Linköping visar laddning/urladdning på i storleksordningen 100 kW ur en brunn vid flödet 1 l/s. Temperaturen vid urladdning steg omedelbart efter start vilket visar att värmen kommer från bergmassan i direkt anslutning över och under de mekaniskt skapade sprickorna mellan brunnarna.

Vidare visar försöken att kontinuerliga och systematiska geologiska och hydrogeologiska mätningar och analyser är viktiga vid skapandet av spricklagersystemet. Förarbetet styr borrh tekniska metoder, konfiguration av sprickplan och är grunden för lagrets termiska kapacitet och effektivitet.

Ett annat resultat är djupare förståelse för vilken utrustning som krävs för att framgångsrikt etablera sprickplan i berggrunden.

Ett vidare resultat är att spricklagerteknik ger unika möjligheter att lagra stora mängder termisk energi och att ta ut höga effekter, ett resultat som kan ge svensk energi- och miljöindustri internationella affärsmöjligheter.

Vi ser även en stor möjlighet till ett flertal patent inom olika tillämpningar varav flera nya.

## Diskussion

Skapandet av spricklager är ett nytt teknikområde i världen, flera av våra planerade aktiviteter är direkt banbrytande som krävde omtag och utveckling av nya metoder och ny tekniskt avancerad utrustning. Uppbyggnaden av hela systemet, procedurer, verktyg och utrustning kring borring, fräsning och spräckning tog mer tid, pengar och resurser i anspråk än planerat.

Systemet som skapades nådde uppsatta mål för flöden och termisk kontakt mellan brunnarna. Teorierna bakom tekniken visades stämma. Men vissa av de metoder och tekniker som testats i föreliggande projekt har visat sig rymma en klar förbättringspotential. Vidare förutsätter nästa steg i demonstrationsprojektet att kapacitet och prestanda ökas, vilket innebär att strukturens flödeskapacitet och effekt måste öka, och för detta behöver fler och bättre sprickplan skapas.

Nästa steg är därför att utveckla effektivare metoder och utrustning för skapandet av sprickor samt för mätning och analys av resultaten, då båda dessa har direkt påverkan på tid och kostnader för att bygga kostnadseffektiva sprickvärmelager.

De numeriska beräkningsmodellerna visar på att de goda egenskaperna (hög effekt och temperatur) för spricklager gör att de passar väl in, och är ett bra komplement som kan användas i fjärrvärmesystem för att balansera effektefterfråga på kort sikt (dagar) och lång sikt (månader) tid. Detta innebär att spricklagringstekniken passar väl in i fjärrvärmesystem med stora variationer i marginalkostnaden över året, t.ex. system som har betydande inslag av energiutvinning ur avfall, vilka alla har stora överskott av värme under sommartid.

I Sverige finns det i nuläget drygt 30 avfallskraftvärmeverk utan säsongslagring av värme. Potentialen för spricklager i Sverige uppskattas till >1 000 GWh. Internationellt är marknaden mycket stor och växande. Norge står inför stor utbyggnad av fjärrvärme och därmed termiska lager då de ser möjligheten att exportera elektrisk energi till Europa och på så sätt bidra till minskad förbränning i Europa.

Med lagring av termisk energi ökas möjligheten för dagens kraftvärmeproducenter att producera el under tider under året när det inte finns avsättning för värme. Denna överskottsvärme kan sparas och lagras i spricklager för att återanvändas när behovet av värme ökar. En direkt konsekvens av storskalig termisk lagring är att elproduktion kan öka från kraftvärmeverk, vilket stärker upp elproduktionen lokalt samt ökar den nationella elproduktionen. Båda delarna är bra ur försörjningssynpunkt.

Sprickvärmelager ger energibolag och större fastighetsägare en möjlighet att etablera stora solvärmeparker och från sommaren lagra solvärme till naturens berglager under vintern. En solfångarpark som arbetar ihop med ett spricklager (och eventuell värmepump) är ett kostnads- och energieffektivt cirkulärt sätt att ta till vara på en ”fri” värmekälla. Potentialen i Sverige uppskattas i dagsläget till större än 9.000 GWh till år 2030 för solfångarparker.

Det finns fler områden för spricklager som behöver utvecklas och testas. En av dessa tillämpningar är att skapa frikyla direkt från ett spricklager. De stora värmeöverföringssystemen ger fördelar för och lämpar sig för processer med begränsade temperaturskillnader, vilket det är i kyltillämpningar. Marknaden för energismart frikyla är stor och växande, både nationellt och internationellt.

## Publikationslista

IGSHPA Research Track 2022 (Las Vegas) via Bengt Dahlgren Geo AB ” Modeling and performance evaluation of fractured thermal energy storage (FTES)

Energi&Miljö 19-sept-2022 ”Geotermisk utveckling i Linköping”  
<https://www.energi-miljo.se/geotermisk-utveckling-i-linkoping/>

Östgöta Correspondenten 11-juli-2021 ”Pilotanläggning för värmelagring vid Vallastaden – en världsnyhet”

## **Referenser, källor**

[Klicka här och skriv]

## **Bilagor**