



# Geotermisk energi

- ett projektarbete inom energiteknik (FYP030)

Bengt Cederblad, Stefan Saxin, Sebastian Skoog

Göteborgs Universitet, 2005

Introduktion.....	3
Geotermisk energi idag.....	3
Den geotermiska gradienten.....	3
Därför är jorden varm.....	3
Hur jorden är uppbyggd.....	4
Ett geotermiskt system.....	4
Geotermisk energi - kort historik.....	4
Vad är Geotermisk energi?.....	5
Direkt användning - värme.....	5
Elproduktion – tekniken bakom.....	6
Traditionell teknik.....	6
Flash-teknik.....	6
Kylning.....	6
Binära kraftverk.....	7
Hybrider.....	7
Några länder i världen med geotermisk energi.....	7
USA.....	7
Asien.....	7
Europa.....	8
Island.....	8
Kort historik om Islands hantering av geotermisk energi.....	8
Hur utvinns energin?.....	9
Värmeväxlare.....	9
Avluftning.....	9
Överskottsvämet.....	9
Siffror och data för geotermiska kraftstationen Nesjavellir.....	10
Ventilation av administrativa byggnader.....	10
Källkapacitet för Nesjavellir.....	10
Ekonomi och investeringar.....	11
Geotermiska siffror.....	11
Sammanställning energislag på Island.....	11
Island först till vätgassamhället.....	12
Sverige.....	12
Geotermiska möjligheter och energiförbrukning.....	12
Geotermisk energi i Lund.....	13
Miljö.....	14
Kostnad - den ekonomiska aspekten.....	14
Framtid.....	15
Sammanfattning.....	15
Slutord.....	15
Källförteckning.....	16

## Introduktion

Idag är världens energibehov större än någonsin tidigare, och det fortsätter att stiga i takt med att allt fler länder når allt högre upp i välstånd och utveckling. Problemet kommer och går men växthuseffekten och hur man skall minska koldioxidutsläppen lär bestå många år framöver. Bara att bromsa ökningen kan vara problematiskt, än mindre minska utsläppen utan att hela världens ekonomier påverkas negativt. Å andra sidan kommer länder och människor oundvikligen att påverkas om klimatet ändras, och när den förändringen gör sig gällande kan det vara för sent att dra i bromsen.

Det är därför av vikt att framtida energiförsörjning kan garanteras utan att för stora mängder koldioxid genereras eller att andra miljöfaror gör sig gällande; kort sagt: vad som behövs är hållbar förnyelsebar energi, och det behövs i stora mängder till ett marknadsmässigt pris för att kunna konkurrera med traditionella fossila bränslen.

### Geotermisk energi idag

60 miljoner människor i över 20 länder får varje år sin el bland annat från geotermiska kraftverk; dessa anläggningar har en samlad effekt på 8200 MW (år 2000); c:a 50 TWh el produceras årligen. På värmesidan finns det en kapacitet på c:a 16 000 MW i 55 länder, den årliga produktionen värme ligger på cirka 45 TWh.

[University of Utah <http://www.utah.edu/>]

### Den geotermiska gradienten

Idag kan man borra ned till 10 km djupa hål. För att uttrycka hur värmen ökar med djupet talar man om den geotermiska gradienten som är en slags temperaturgradient. Jordens medelvärde på den geotermiska gradienten ger en temperaturökning med 2,5-3°C för varje 100 meter. Om jordens genomsnittliga ytemperatur är 15°C så uppskattas temperaturen på 2000 meters djup vara 65-75°C, på 3000 meters djup 90-105°C och så vidare. Jorden är dock långt ifrån helt symmetrisk; den geotermiska gradienten varierar kraftigt. Det finns områden där temperaturökningen endast är 1°C/100m och även områden där värdet kan vara det tiofaldiga. Ju högre den geotermiska gradienten är desto mer lämpat är området för utvinning av geotermisk energi.

[<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy>]

## Därför är jorden varm

Att jorden är varm inuti har man nog länge kunnat ana genom att iaktta vulkaner och heta källor. Men det var inte förrän på 1700- och 1800-talet då man grävt djupa gruvor ett par hundra meter ner i marken som man med en termometer kunde konstatera att temperaturen ökar med djupet. Det dröjde dock till 1900-talet innan man började förstå det radioaktiva sönderfallet och dess del i fenomenet. Alla moderna modeller av jordens termiska utveckling måste i beräkningarna ta med att det hela tiden nyskapas värme genom spontana sönderfall av långlivade instabila isotoper såsom uran ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ), torium ( $^{232}\text{Th}$ ), kalium ( $^{40}\text{K}$ ) och deras döttrar som alla finns naturligt på jorden, främst i jordskorpan. Mycket tyder på en annan möjlig orsak, nämligen att när jorden skapades och drog sig samman övergick en del av den potentiella energin till värmeenergi. Den fick därmed en hög utgångstemperatur. Det fanns inga realistiska modeller som tog hänsyn till båda dessa värmekällor förrän på 1980-talet. Man beräknade den totala utstrålade effekten från jorden ut i rymden till  $42 \cdot 10^{12}$  W. Uppskattningsvis nybildas drygt  $22 \cdot 10^{12}$  W genom radioaktiva sönderfall. Energiförlusten från jorden blir med andra ord ungefär  $20 \cdot 10^{12}$  W. Borde inte jorden vara kall då? Jordens totala innehåll av värmeenergi har uppskattats till  $12,6 \cdot 10^{30}$  J. Med en konstant energiförlust på  $20 \cdot 10^{12}$  W skulle det ta  $(12,6 \cdot 10^{30}) / (20 \cdot 10^{12}) = 20$  miljarder år innan jorden var helt avsväljad. Energiförlusten är i verkligheten inte konstant. Saker som påverkar energiförlusten och som inte har tagits i åtanke här är att de radioaktiva sönderfallen kommer att minska allt eftersom, och därmed minskar nybildningen av värme och jorden kyls av snabbare. Dessutom

minskar temperaturgradienten allt eftersom jorden svalnar och precis som i alla avsvältningsprocesser minskar avsvältningshastigheten med tiden. Till detta bör även tilläggas att modellerna blir avancerade även på grund av jordens komplexa uppbyggnad med konvektion och andra svårberäknade faktorer. För att få en bättre uppfattning om vilka tidsrymder det handlar om kan 20 miljarder år ändå ställas i proportion till vår sols ålder som är cirka 5 miljarder år. Mantelns temperatur har på 3 miljarder år sjunkit ungefär 300-350°C och ligger kring 4000°C.

[<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy>]

## Hur jorden är uppbyggd

Seismiska mätningar visar att jordens inre kan delas upp i olika skikt med olika egenskaper. Längst ut finns den fasta jordskorpan som är mellan fem och femtio kilometer tjock. Innanför den finns manteln som är runt 2900 kilometer tjock. Den brukar delas in i den yttre och den inre manteln. Innanför den finns i sin tur kärnan som har en radie på ungefär 3470 kilometer. Den delas ofta in i den yttre och den inre kärnan. Man talar också om litosfären som består av jordskorpan och den översta delen av manteln, totalt 80 till 200 kilometer tjock, som ses som fast. Under den finns astenosfären 200 till 300 kilometer tjock och är mindre fast. Astenosfären rör sig likt en vätska, bortsett från att den bara rör sig någon centimeter per år. I astenosfären uppstår konvektion på grund av att sval materia sjunker ner mot kärnan samtidigt som varm materia stiger upp mot ytan. Detta får jordens kontinentalplattor att röra sig mot eller från varandra. Det är främst i dessa skarvar som värme från jordens inre kan ta sig upp till ytan så att vi kan utnyttja energin. Exempel på sådana områden är Island, Japan, Filippinerna och Nord- och Sydamerikas Stillahavskust.

[<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy>]

## Ett geotermiskt system

Varje geotermiskt system består i sin grund av tre saker: en värmekälla, en reservoar och en vätska (och/eller gas). Värmekällan består ofta av varm magma som tagit sig upp till ytligare djup på kanske 5-10 kilometer. En sådan värmekälla har en mycket hög temperatur (över 600°C). En annan typ av värmekälla är jordens normala temperatur som ökar med djupet. Reservoaren är ett område i berggrunden som är poröst så att vatten kan cirkulera i det och ta till sig värmeenergi. På grund av värmeenergin och jordens gravitationsfält uppstår konvektion. Det uppvärmda vattnet stiger mot ytan medan kallt regn- och grundvatten från ytan sjunker ner genom marken. Det är det varma vattnet som kommer upp till ytan som vi ser som varma källor eller gejsrar.

Sedan 1970-talet har man i Los Alamos gjort försök med artificiella reservoarer. Genom att borra djupt ner i marken och pumpa ned vatten under mycket högt tryck har man lyckats skapa sprickor i berggrunden som kan användas som en reservoar. Har man två borrhål kan man pumpa ner kallt vatten till den konstgjorda reservoaren genom det ena och pumpa upp varmt vatten genom det andra. Då behöver man inte heller förlita sig på någon naturlig tillströmning av vatten. Dessa insprutningsbrunnar används även ofta vid naturliga geotermiska system för att säkra tillgången på värmetransporterande vätska.

[<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy>]

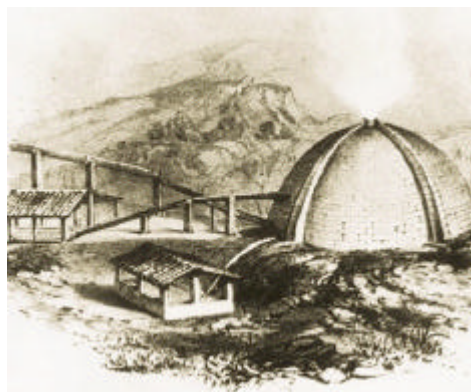
## Geotermisk energi - kort historik

Sedan urminnes tider har våra förfäder använt varma källor till avslappnande bad. Allt eftersom tiden gick började man finna andra tillämpningar.

Redan för 10 000 år sedan använde urbefolkningen i Amerika vatten från heta källor för att tillreda mat och till vissa medicinska tillämpningar. Romarna använde geotermiskt vatten för att bota ögon-

och hudsjukdomar. Än mer anmärkningsvärt var att vattnet även användes till att värma upp byggnaderna i Pompeji.

Det var dock inte förrän i början av 1800-talet som man började se mer avancerade tillämpningar. 1827 startades en kemisk industri i Larderelloområdet i Italien där man framställde borsyra ur det heta och borhaltiga källvattnet. Dessutom användes värmen i vattnet i framställningsprocessen och man slapp använda ved från de illa åtgångna skogarna.



*Borsyreanläggningen i Larderelloområdet*

1904 genomfördes det första lyckade försöket med att generera elektricitet ur geotermisk ånga, även detta i Larderelloområdet. Det blev ett genombrott och tekniken spridde sig, främst till USA och Japan. Efter andra världskriget växte intresset, dels för att tekniken var ekonomiskt sett ganska konkurrenskraftig och dels för att man inte behövde importera elektricitet och blev därmed mindre beroende av andra. En annan faktor var att det i vissa fall var den enda energikällan som var lokalt tillgänglig. Så har en världsomspännande utbyggnad av el-producerande geotermiska kraftverk lett till att det i slutet av 2003 fanns en total kapacitet på 8400 MW.

Andra tillämpningar än elproduktion är exempelvis värmepumpssystem, uppvärmning av badanläggningar och växthus. Här fanns år 2000 en total kapacitet på 15 100 MW.

[<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy>]

[<http://geothermal.marin.org/pwrheat.html#Q2>]

## Vad är Geotermisk energi?

Geotermisk energi är som namnet skvallrar (grekiska: *gea* - jord, *termia* – värme; ihopsatt blir det *geothermo*) värme från jorden. Av värme kan man göra elektricitet genom att låta vatten koka och leda den heta ångan genom en turbin som driver en elgenerator som genererar elektricitet ur rörelse i ett magnetfält.

## Direkt användning - värme

Det mest spridda sättet att utnyttja den geotermiska energin är inte att generera elektricitet utan att använda värmeenergin direkt. Det används till uppvärmning inom badverksamheter, städer och lokaler, jordbruk, industri etc.

Av värmen används i snitt en tredjedel direkt till att värma upp hus. Ett annat valigare sätt, här i Sverige t.ex., är att ta tillvara energin med hjälp av en värmepump – sk bergvärme; bergvärmeanläggningar står för 12% av värmeutvinningen från jorden totalt sett. Främst i USA och Europa är bergvärme populärt. I Sverige finns omkring 200 000 geotermiska värmepumpar med en sammanlagd termisk effekt på 2000 MW. Det är bara USA som har en större sammanlagd effekt. En avgörande faktor till Sveriges stora användning är sannolikt den stora övergången från oljeuppvärmning till eluppvärmning som pågått sedan 1970-talet. Många installerade bergvärme för att öka verkningsgraden på värmepumpen. Det som tas tillvara i Sverige kan dock ses som en geotermisk energi med låg kvalitet. I Sverige är den geotermiska gradienten liten och vattnet som används har sällan hög temperatur. Ofta utnyttjas grundvattnet som endast har en temperatur på 4°C, men den hålls å andra sidan relativt konstant även på vintern. På många andra platser i världen finns dock betydligt större möjligheter.

Inom jordbruket kan geotermiskt uppvärmt vatten användas till konstbevattning och uppvärmning av jorden. De tre största fördelarna med den här sortens temperaturkontroll är att man kan skyddar växterna mot kylskador, man förlänger säsongen och därmed produktionen och dessutom så steriliseras jorden som en positiv bi-effekt. Det vanligaste området för geotermisk varmvatten inom jordbruket är dock uppvärmning av växthus. Detta har de senaste åren utvecklats snabbt i många länder. Man kan odla grönsaker och andra växter året runt eller i ett klimat som annars inte är lämpligt större delen av året. Genom att i växthuset variera bland annat temperaturen, mängden solljus, andelen koldioxid i luften, fuktigheten i luft och jord och även hur mycket luften rör sig kan man optimera förhållandet för en viss växt och på så sätt få en kraftigt ökad produktion. Det finns många olika sätt att sprida ut den geotermiska värmen i växthuset, både med och utan påtvingad konvektion.

De industriella tillämpningarna är många och alla temperaturområden, såväl i vatten som i gasform kan utnyttjas. Exempel på användningsområden är processuppvärmning, evaporation, torkning, destillering, sterilisation och avisning. Det finns också industrier som utnyttjar det geotermiska vattnets föroreningar. Till exempel används en källa i Japan med höga halter av H<sub>2</sub>S för att bleka textilier.

[<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy>]

## Elproduktion – tekniken bakom

### Traditionell teknik

För att generera elektricitet ur geotermiska källor måste man anpassa sig efter källan. Ångan från källan kan vara fullständig förångad (sk "dry steam") eller fuktig ("wet steam", alltså inte helt förångat). I kraftverk som har tillgång till ett fält med fullständigt förångad gas drivs turbinen direkt av ångan, efter att ha passerat ett filter som samlar upp sten och smuts. Detta är den äldsta och enklaste typen av geotermisk elproduktion. Ett problem är dock att källor med rena ångutsläpp, utan vatten, är mycket ovanliga.

### Flash-teknik

För att kunna ta tillvara källor med fuktigare ånga eller rent av vattenkällor används en något annorlunda teknik baserad på explosionskokning, sk flash-teknik, ("flash plants"). Man låter först vätskan sugas in i en behållare med mycket lågt tryck i förhållande till vätsketrycket i marken. På grund av tryckförändringen förgasas snabbt vätskan och kan användas på vanligt sätt i turbinen. För att förgasa så mycket som möjligt kan den vätska som eventuellt blivit över efter första förgasningen föras över till en annan tank där processen upprepas. Den här tekniken uppfanns i Nya Zeeland och är idag den dominerande av den enkla orsaken att de flesta geotermiska källor är varmvattenskällor.

### Kylning

Kraftverken använder sig främst av två kylmetoder. Den ena är att helt enkelt låta den använda ångan släppas ut i atmosfären, vilket är en enkel och billig metod. Den andra - kondenserande kraftverk, använder sig av exempelvis kyltorn för att kondensera ångan och sedan återföra vattnet ner i marken. På så sätt får man en betydligt lägre ångkonsumtion (ungefär hälften i förhållande till de kraftverk som släpper ut ångan i atmosfären). Då får man en stabilare tillförsel av vatten. Vattnet behövs ju för att föra upp värmen till ytan, som en värmetransportör. Börjar vattnet sina, minskar också värmen som kommer upp till ytan. Vatten tillförs även naturligt genom att regn och grundvatten sipprar ner genom den porösa berggrunden. En fördel med kraftverk som släpper ut ångan är just det att de är billiga och enkla. De används därför flitigt vid test av geotermiska fält och som temporära anläggningar. De har ofta en ganska liten effekt runt 2,5-5 MW.

Kondenserande kraftverk är ofta större satsningar och effekter på 50-60 MW är inte ovanliga. Den största kapaciteten för ett enskilt kraftverk ligger på 110 MW.

## **Binära kraftverk**

Konventionella ångturbiner kräver en ångtemperatur på över 150°C vilket begränsar möjligheterna eftersom långt ifrån alla källor är så heta. För att även utnyttja källor med lägre temperatur används Rakine-cykeln. Det varma källvattnet går genom en värmeväxlare där den värmer och förgasar en arbetsvätska, som i sin tur driver turbinen. Efter det kyls vätskan ned och kondenseras och processen kan starta igen. Arbetsvätskan är ofta en organisk vätska, exempelvis n-pentan. Vätskans egenskaper som efterfrågas är att den ska ha en låg kokpunkt och även högt gastryck vid låga temperaturer i förhållande till vattenånga.

Dessa kraftverk kallas binära kraftverk ("binary plants"). Tekniken fungerar bra i intervallet 85-170°C. Över 170°C blir det problem med arbetsvätskan (den termiska stabiliteten når sin gräns) och den undre gränsen på 85°C beror på att värmeväxlaren då behöver vara väldigt stor och det blir inte ekonomiskt hållbart. Kraftverk av den här typen brukar ha en effekt på några hundra kilowatt till några få megawatt. Flera enheter kopplas dock ofta samman för att på så sätt få en pool med en sammanlagd effekt på några tiotal megawatt.

## **Hybrider**

I så kallade hybridkraftverk kombineras ett vanligt geotermiskt kraftverk med ett binärt. Det binära kraftverket tar tillvara det varma spillvattnet som huvudkraftverket ger ifrån sig innan det pumpas ner i marken igen. På senare tid har man utvecklat en ny typ av binärt system som bygger på Kalina-cykeln istället. Detta är effektivare än Rakine-cykeln men mer avancerat att konstruera.

*[<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy>]*

*[<http://geothermal.marin.org/>]*

## **Några länder i världen med geotermisk energi**

### **USA**

I USA produceras en mycket hög del geotermiskt genererad el, dock har utbyggnadstakten planat ut. År 2000 fanns en kapacitet på drygt 2,2 GW för elproduktion (har förmodligen ökat något lite fram tills idag).

Andelen kapacitet för elproduktion i USA var 2000 0,25%, men 0,4% genererades. Detta kanske inte låter speciellt mycket men då ska man komma ihåg att USA är stora energikonsumenter. Man kan ta ett annat exempel: det (energikrisdrabbade) Kalifornien tar 5% av sin elektricitet från geotermiska anläggningar – det är mycket med tanke på att om Kalifornien vore ett eget land så skulle det vara den sjätte största ekonomin i världen.

### **Asien**

#### **Japan**

Landet hade år 2000 en kapacitet på nästan 550 MW (elektricitet) i 19 anläggningar. 1998 stod geotermiska kraftverk för 3,5 TWh eller 0,4% av den producerade elen i Japan.

På värmesidan finns det installerat 270 MW, varav c:a hälften används till att värma utrymmen. Läger man därtill till att 1998 fanns det nästan 3000 span, 5500 offentliga badhus och över 15000 hotell och vandrarhem som använde sig av geotermiskt uppvärmt vatten (med 14,5 miljoner gäster) så motsvarar det ytterligare 925 MW, inalles för hela Japan: 1167 MW värme.

Fastän den japanska regeringen satsade 467 miljoner US \$ för perioden 1995-1999 så har ändå anslagen sjunkit jämfört med föregående perioder. Detta till trots anses den geotermiska energin vara viktig för regeringen.



**Indonesien** hade år 2000 över 500 MW geotermisk kapacitet för att producera el (egentligen hade de 770MW men vissa anläggningar hade ej tagits i bruk). De har satt som mål att vid år 2005 (i år) att ha en kapacitet på närmare 2 000 MW, och därmed komma upp i 7% av den nationella energiförsörjningen. Det finns goda möjligheter att bygga ut den geotermiska energiförsörjningen: c:a 20 000 MW ytterligare kapacitet i elektricitet finns i reserver som är redo att nyttjas bara anläggningar byggs.

**Filippinerna** är den näst största producenten i världen av elektricitet som kommer från geotermiska kraftverk. År 2000 fanns en installerad kapacitet på 1,9 GW som kom från sex fält, varav det största med kapacitet på 700 MW. (endast 1 MW användes till värme).

Fram till 2008 har man planerat bygga ut sin kapacitet med ytterligare 500 MW, och man kommer då upp i en produktion på nära 14 TWh per år (jämfört med strax under 10 TWh år 2000).

Att andelen geotermisk energi kommer att minska i landet från 23,1% till 18,47% beror på att Filippinerna sätter stort hopp till energiutvinning från naturgas.

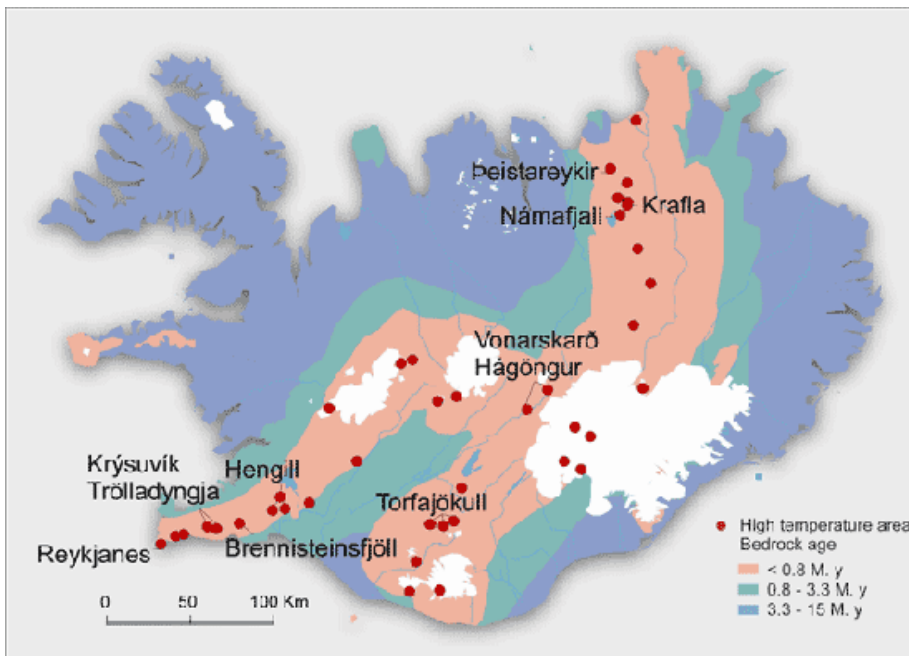
Enligt Världsbanken är det 27% av deras producerade elektricitet som kommer från geotermiska kraftverk.

## Europa

Hela central-Europa ligger praktiskt taget ovanför ett varmt område, men mest nytta av värmen har ett annat land i Europa:

## Island

*Här behandlas Islands användning av energi från geotermiska källor samt något om vilka möjligheter vi hittills har sett i Sverige.*



*Bild: Geografisk framställning av skillnaden i förekomst av geotermisk energi på Island.*

## Kort historik om Islands hantering av geotermisk energi

Traditionen går långt tillbaka. När Ingolfur Arnarson, som betraktas som den allra första islänningen, siktade land för ca 2000 år sedan så slängde han i stolparna till sitt högsäte för att låta gudarna styra var han skulle landa och bosätta sig. Stolparna flöt iland i en rökig vik, som sedan kallades Reykjavik. Men röken kom inte från någon eld utan bestod av ånga från varma källor.



Även om vissa arabiska källor har beskrivit vikingarnas hygien och sättet att tvätta sig och sina familjer kollektivt i samma tvättfat så användes dessa varma källor för tvätt och bad redan från början . Källorna kallas idag för Laugardalur. (Det ser ut som lögardalen!)

De första källorna för hett vatten borrades eller iordningställdes i Thvottlaugar mellan 1928 och 1930 av två av Islands vetenskapliga pionjärer, Eggert Olafsson och Bjarni Pálsson .

Det varma vattnet fördes i en pipe line ca 3 km och värmdes där upp en skola i Reykjavik. Vattnet höll en temperatur på 87°C.

Snart därefter anslöts en del förvaltningsbyggnader och också ett sextiotal vanliga bostadshus.

Idag används 52 källor som förser hela Reykjavik och angränsande områden med geotermisk uppvärmning. Källorna producerar varmvatten med temperaturer mellan 62 och 132°C med ett flöde av ca 2,5 kubikmeter vatten per sekund och försörjer 35 000 hushåll med 150 000 invånare, vilket motsvarar halva Islands befolkning.

Totalt utnyttjad energi är 660 MWh som bärs av ett årligt flöde av 55 miljoner kubikmeter varmvatten.

## Hur utvinns energin?

Den geotermiska källan ger inte ren vattenånga utan en blandning av vattenånga och föroreningar av olika salter. Ångan transporteras därför till en separationsanläggning för att få bort saltvattnet och vattenångan och sedan till en värmeväxlare där ånga för elgenerering produceras. Den geotermiska ångan passerar alltså inte direkt genom ångturbinen. Den är inte tillräckligt ren.

Efter turbinen tas återstående värmeinhåll i ångan tillvara genom värmeväxling för tillverkning av varmvatten för uppvärmningsändamål. Det separerade saltvattnet och vattenångan leds också genom värmeväxlare och producerar färskt varmvatten. En problem här är att det mineralrika källvattnet gärna lagrar av mineraler i värmeväxlaren. För att lösa detta tillsätts små stålkulor som blåstrar bort mineralerna.

Överförande medium för både ång/elproduktion och varmvattentillverkning är färskvatten mättat med löst syre som är högst korrosivt. Detta tas bort av avluftare där vattnet kokas vid lågt tryck innan det börjar processas.

## Värmeväxlare

Olika fabrikat av värmeväxlare har testats eftersom miljön är krävande. På den geotermiska sidan används titanplattor för att undvika stress-korrosion. Syrafast rostfritt stål har visat sig inte räcka till för störningsfri drift. Avlagringar av lösta mineraler är ett uppenbart problem och vissa tillverkare blandar in 1,5 mm stålkulor som kontinuerligt blåstrar de inre ytorna.

Detta medför att även den separerade mineralsoppans värmeinhåll kan tas tillvara via värmeväxlare.

## Avluftning

Det kalla källvattnet är mättat med syre och blir mycket korrosivt när det värms upp. Vattnet avluftas genom att det får koka i vakuum. Det kalla vattnet har pH- värde mellan 7,5 och 8,5. Avluftningen höjer pH- värdet till 9,0- 9,5 och syreinhållet reduceras till 50 ppm. Återstående syre tas bort genom att små mängder geotermisk ånga injiceras. Denna innehåller bla H<sub>2</sub>S och CO<sub>2</sub> som reagerar med syret.

Det är viktigt att inte pH- värdet är för högt. Vid uppstart av kraftverket i Nesjavellir fick man problem med avlagringar av amorft Mg- Si i Reykjaviks distributionsnät eftersom levererat varmvatten hade för högt pH- värde.

## Överskottsvärmet

Geotermiska kraftverk använder energin indirekt genom att förånga och värma kallt färskvatten. Efter att den geotermiska ångan och mineralvattnet har passerat kraftverket måste den deponeras eller släppas ut någonstans utan att miljön skadas; två metoder används.

En är att pumpa tillbaka vattnet ner i den geotermiska källan eller på lämpligt sätt ner under jord i närheten; detta har visat sig vara dyrare än ytdisponering.

I de flesta fall ligger kraftverken i aktiva områden där ånga och vatten spontant kommer upp och rinner av. Ytdisponering innebär då att processvattnet går ut till naturlig avrinning. Mycken forskning har bedrivits för att undersöka skadeverkningar men resultaten visar att detta är en acceptabel metod. Avfallsvattnet innehåller en rik mineralflora som arsenik, kvicksilver, bor etc.

## **Siffror och data för geotermiska kraftstationen Nesjavellir**

Kraftstationen består av fem huvuddelar:

- Kallvattenförsörjning.
- Geotermisk källa
- Upphetning och behandling av kallt grundvatten
- Transmissionsledning för fjärrvärme till Reykjavik
- Produktion av elektricitet

Stationen består av två kraftstationer som färdigställdes i början av och under 90- talet.

- Kapacitet fjärrvärme: 400 MWt, (Fullt utbyggt)

- Kapacitet elproduktion: 80 MWe, (Fullt utbyggt)

- Grundvattnet kommer från borrade källor i Gramelur och transporteras i 6 km långa pipe lines till Nesjavellir. Källorna är 30 m djupa och vattnet är 4- gradigt när det pumpas upp. Vattnet mellanlagras i en 1000 kubikmeters tank vid kraftstationerna.

-Värmeväxlarna av titan har verkningsgraden ca 82 %. Ångtemperaturen hålls vid 120°C av korrosionsskäl. Varje värmeväxlare består av 329 plattor med en yta av 312 kvadratmeter. Värmeöverföringskoefficienten är 4300 W/m<sup>2</sup>xgrad K.

- Kondensationsvärmeväxlare sänker sedan den kondenserade ångans temp ner till 20°C.

Kontaktytan är 190 kvadratmeter. Dessa värmeväxlare kan vara uppbyggda av rostfritt stål.

- Den geotermiska ångan är blandad med en viss andel mineralrikt vatten. Även detta processas genom värmeväxlare. Det bidrar emellertid bara med ca 4 % till det totala resultatet men används som test av material etc. i värmeväxlare.

## **Ventilation av administrativa byggnader**

Luften vid Nesjavellir är förorenad med H<sub>2</sub>S gas från det geotermiska fältet. Koncentrationen varierar med vädret men en genomsnittlig koncentration bedöms vara ca 100 ppm. Vätesulfid H<sub>2</sub>S är mycket korrosivt speciellt för koppar och silver vilka ingår t.ex. i datorer och kontrollsystem, elledningar etc. Känslig utrustning är därför placerade i lufttäta byggnader med luftlås och kolfilter som absorberar vätesulfiden. Fordringar på inomhusmiljön är mindre än 3 ppm sulfid och relativ luftfuktighet 40 %. Viktiga byggnader är satta under övertryck där 85% av ineluften recirkuleras med luftintagen på ca 20 meters höjd.

## **Källkapacitet för Nesjavellir**

18 geotermiska källor har borrats varav 13 kan producera och 5 har tagits i bruk.

I genomsnitt är kapaciteten för en källa 60 MWt värme per år vilket ger effektivt 30 MWt.

Vekningsgraden är alltså ca 50 %. Idag producerar Nesjavellir effektivt 150 MWt per år.

Livslängden beräknas vara 30 år.

Parallell elproduktion uppgår till 80 MWe där hälften kommer från mottrycksturbinkraft och den andra hälften från kondensångturbin. Nesjavellirs eget elbehov är 14 MWe.

Transport av fjärrvärme till Reykjavik sker med gravitationen som drivkälla i en 27 km lång pipeline med 90 cm diameter. Den transporterar 1870 liter per sekund. Vattentemperaturen kan vara upp till 96°C och förlusten i transporten är ca: 2 grader. God isolering och högt flöde är viktiga för små förluster. Rockwool och polyetylen används som isoleringsmaterial.

## Ekonomi och investeringar

Värmeproduktion.

Fas 1 vid Nesjavellir innebar produktion av 100MWt geotermisk fjärrvärme.

Investeringskostnad inkl forskning och borrningar 97 milj US dollar.

Avskrivningstid 25 år.

Årlig drifttid 8000 timmar. (Nästan dygnet runt).

Årlig driftskostnad beräknas till 2 % av investeringskostnaden dvs runt 2 milj US dollar.

Energipris vid lagringstank 0.014 USD/kWh ungefär 10 öre/kWh.

Detta kan jämföras med elpriset från Hitaveita Reykjavíkur på 0,013 USD/KWh.

Fas 2 för 100 MWh ger bättre värden eftersom infrastruktur och byggnader etc redan finns.

Pipelinen till Reykjavík är från början dimensionerad för produktion av 400 MWh/år.

Fas 2 ger därför energipriset 0,008 USD/kWh ungefär 6 öre.

Elproduktion.

Investeringskostnad för ett 30 MWe elkraftverk i anslutning till värmekraftverken är 15 milj USD.

Produktionskostnad per kWh blir 0.008USD. Detta kan jämföras med motsvarande

investeringskostnad för ett vattenkraftverk med samma effekt (på Island) som beräknas till 0,018

USD ungefär 13 öre per kWh.

## Geotermiska siffror

- 32 Värmekraftbolag
- Inget oljeeldat kraftverk!
- Max värme output 1,4 GW
- Värmelevererat till pipe lines 18,0 PJ
- Värme sålt till konsumenter 16,6 PJ.
- Majoriteten av elektriciteten genereras av vattenkraft

## Sammanställning energislag på Island

Kraftslag	TWh	%
Hydro	7,0	17,4
Geotermisk	21,8	54,7
Petroleum	9,9	24,9
Kol	1,2	3,0
<b>Total</b>	<b>39,9</b>	<b>100</b>

Tabell: *Energikonsumtion olika energislag.*

Energikonsumtion per capita ca 500 GJ, bland den högsta i världen.

- kraftintensiv industri
- Fisket, fiskebåtar
- Uppvärmningskostnader pga klimatet.

Inom högtemperaturområden kommer de geotermiska fluiderna upp till ytan antingen som hett förorenat 100- gradigt vatten och kan då bilda geisrar eller som ånga där vattnet övergått till ånga i djupare lager. Fluiderna innehåller en stor andel silikater. På sin väg upp till ytan kan fluiderna blandas med ytvatten varvid ång- och ”mud pots” kan bildas.

När ett högtemperatur område börjar kylas ner uppstår mineralrika källor med högt innehåll av CO<sub>2</sub> och med eller utan karbonater.

## Island först till vätgassamhället

1874 skrev Jules Verne att vatten så småningom kommer att ersätta kol som energibärare.

Det går ännu inte att driva bilar, bussar och fiskebåtar med geotermisk energi.

70 % av Islands inkomster kommer från fiskeindustrin.

Trots all geotermisk energi och vattenkraft produceras mer växthusgaser per capita än någon annanstans på detta klot.

Professor Bragi Arnason vid Reykjaviks Universitet har ända sedan 1970- talet pläderat för att Island skall basera sin ekonomi på egenproducerad vätgas. Han har tom fått öknamnet Professor väte. I början betraktades han med överseende men numera lyssnar politikerna på honom.

Island har redan kompetens och en lång tradition att dela upp vatten i väte och syre med billig elkraft. De har redan producerat ammoniak för tillverkning av gödningsmedel för jordbruket.

Det första konkreta steget blir att ersätta alla dieselbussar i Reykjavik ca 80 stycken med vätgasdrivna bussar.

Vätgasstationen i staden kommer att byggas av Shell som deltar i projektet.

Nästa steg är konverteringen av Islands alla privata bilar till drift med bränsleceller och vätgas.

Fiskebåtsflottan är nästa så snart praktiska lösningar finns.

Tidsskalan är från Professor Arnason till hans barnbarn dvs. övergången väntas ta ca 30 år.

Det handlar om att vara oberoende och själva kunna styra sin vardag och hur man vill leva.

[<http://news.bbc.co.uk/1/low/sci/tech/1727312.stm>]

## Sverige

### Geotermiska möjligheter och energiförbrukning

	TWh	%
Kärnkraft	69	14,3
Olja	199	41,1
Förnelsebar energi	166	34,3
Andra energikällor	50	10,3
<b>Totalt</b>	<b>484</b>	<b>100</b>

*Sveriges totala energiförbrukning i TWh år 2002*

Förnyelsebara \ år	1970	2002
Biobränsle, avfall	40	98,2
Vattenkraft	52	66,7
Vindkraft	-	0,6
Solenergi	-	0,05
<b>Total</b>	<b>92</b>	<b>166</b>

*Förnyelsebara energikällor i TWh*

## Geotermisk energi i Lund

Att använda geotermisk energi är ingenting nytt för Lund. Redan 1984 startades den första kraftproduktionen med värmepumpsteknik. 1986 installerades en andra värmepump.

Värmekraftverket producerar årligen 930 TWh. Av detta är 42 MWt geotermisk energi.

Det geotermiska vattnets temperatur är vid jordytan 22°C. Efter passage av värmepumparna har temperaturen på invattnet sänkts till mellan 2- 4°C och utvattnet som levereras till värmenätet har fått temperaturen höjd till ca 80 grader. Kapaciteten räcker för att försörja Lund med varmvatten 6-7 månader på året. Resten av året stöds med gas och oljeeldad produktion.

Från 1984 och upp till dagens datum beräknas man ha sparat 500 000 kubikmeter olja.

Projektet anses mycket framgångsrikt tekniskt, ekonomiskt och miljömässigt.

Lunds Energi AB har nu gått vidare med ett projekt för att expandera användningen av geotermiska resurser.

I mitten av 2000 startades verksamhet för att borra ner till 3500 meters djup och på så sätt kunna komma åt 100 gradigt vatten. Under Lund på 3500 meters djup finns en tektonisk fraktionszon med förväntat innehåll av varmvatten. Denna tillhör den så kallade Tornquists Zon som är en av huvudstrukturerna i norra. Europa.

Under 2001 genomfördes omfattande seismiska undersökningar för att bestämma de mest lämpliga platserna för borrhål. I stora drag består de första 2400 metrarna av berggrunden av sedimentära avlagringar som vilar på en bas av gnejs. Temperaturgradienten i området är ca 35 grader per km. På 3500 meters djup kan därför förväntas en temperatur omkring 125°C.

Olika borrhäntekniker måste användas för de olika djupen.

Målet är att kunna pumpa upp 100 kg hett vatten per sekund med temperatur 110- 125°C. Detta innebär att 250 GWh per år kan fås från högtemperaturdelen och 140 GWh från lågtemperaturdelen i kraftverket. Lunds fjärrvärmesystem kan då täcka 65 % av sitt energibehov via geotermiska källor.

Det minskade oljebehovet reducerar koldioxidutsläppen med ca 54 000 ton per år vilket är en 50 procentig minskning för Lund. Svavel reduceras med 70 %, eller med 10 ton /år.

Investeringskostnaden uppskattas till 240 MSEK.

Samhällets stöd 43 MSEK till projektet och 7,7 MSEK till LTH för forskning, management och problemlösning.

Tidsplan.

Borring av första hål 18 okt 2002.

Tester klar i först borrhål 2003.

Produktionsstart oktober 2003.

Andra borrhål för retur av kallt vatten under våren 2003.

Facit 2005: Flödeskapaciteten var för låg.

## Miljö

Det finns många aspekter på miljösidan som är värda att ta in och beakta; den mest aktuella - koldioxidproblematiken - löses elegant med extremt låga utsläpp (se diagram), och NO<sub>x</sub> utsläppen är lika med noll. Detta kan så göras eftersom ingen förbränning sker och därmed bildas inga kväveföreningar. Detsamma kan sägas gälla för svavel: med snittutsläpp av bara några få procent av vad en motsvarande fossilanläggning ger ifrån sig (den senaste generationen geotermiska kraftverken släpper ut 0,14 kg / producerad MWh el). Allt detta är möjligt tack vare att man i de här kraftverken återför avfallet från var man hämtade det ifrån, det enda som inte återförs är värmen.

En annan positiv miljöaspekt är att geotermiska anläggningar tar upp väldigt liten plats och därmed stör de inte naturliga scenerier nämnvärt.

Dock finns det nackdelar även med denna

teknik: i och med att man utnyttjar en resurs så tar ju resursen förr slut, i det här fallet så har naturliga fenomen såsom gejsrar avtagit eller försvunnit från vissa platser pga den aktiva energiutvinningen (vattennivåerna har ändrat sig och därmed omöjliggjort regelbundna utbrott). <http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/renewable.energy.annual/appd.html>

## Kostnad - den ekonomiska aspekten

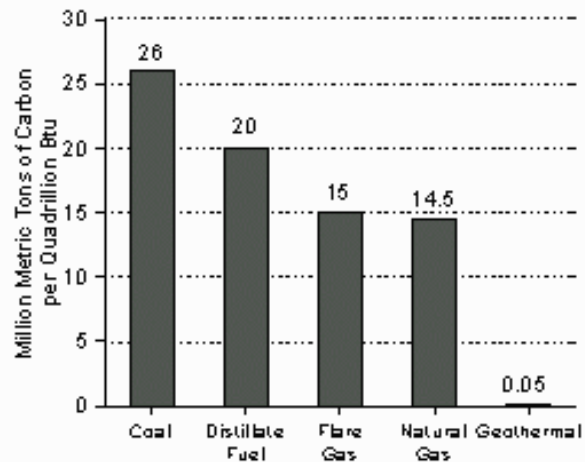
Det är givet att om en sak kostar mycket så tänker man sig för både en och två gånger innan man slår till. Kostnaden för borrhning och letande är ganska stora och ligger naturligtvis detta energialternativ i fatet eftersom många andra sorters anläggningar kan byggas varsomhelst i princip.

Enligt Världsbanken kostar elen genererad från ett geotermiskt kraftverk från ett medelstort kraftverk i ett u-land mellan 4 och 7 cent per kWh. Generellt kan man säga att ju större anläggning desto billigare el; och varmare vatten ger också en billigare el. Det är en mängd olika faktorer som spelar in i priset och uppgifter skiljer sig beroende på vem man frågar – och var etc. I tabellen nedan anges ändå priser som kan ge ett någorlunda hum om geotermiskt genererad el förhåller sig prismässigt till andra energislag.

Kapacitetsgrad	40%	60%	80%
Vattenkraft	3,9	3,3	3
GeoTermisk	5,8	3,9	2,9
Natargas	6,1	4,9	4,3
Kol-eldade kraftverk	7,8	6	5,1
Kärnkraft	10,6	7,6	6

Tabell: Kostnad i US cent / kWh för olika energislag. Källa: [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)

Figure D1. Carbon Emissions from Energy Production by Fuel



Sources: Geothermal: China Lake Naval Air Weapons Station, Geothermal Program Office (China Lake, CA, 1996). Other Fuels: Energy Information Administration, *Emissions of Greenhouse Gases in the United States 1995*, DOE/EIA-0573(95) (Washington, D.C., October 1996), Table B1, p. 98.

Den amerikanska energimyndigheten, DOE, har som mål att år 2010 reducera kostnaden ned till mellan 3 och 5 cent per kWh, varför den egentliga kostnaden måste vara något högre (om målet redan är uppnått...).

## Framtid

Många tror att framtiden för geotermisk energi ligger i u-länderna, och man är över det hela väldigt optimistisk när det gäller möjligheterna<sup>1</sup>. Men vi undrar varför man ska begränsa sig endast till dessa länder. I takt med att tekniken utvecklas så kommer man att kunna bygga fler, bättre och billigare anläggningar som bättre kan utvinna elektricitet ur vatten som är medelhögtemperatur, vi ser redan detta idag på sk Binary Plants.

Ett framtidsscenario är att bygga ut världsproduktionen av geotermiskt genererad el till 1300TWh per år (jämfört med dagens dryga 50TWh) till år 2020. I samma scenario så kommer värmeproduktionen i världen att tiofaldigas jämfört med år 1994. Mer info finns på:

[http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech\\_papers/17th\\_congress/3\\_1\\_10.asp](http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/3_1_10.asp)

## Sammanfattning

Värmeenergi ur jordens inre har använts av människor i alla tider för att t.ex. bada i och tvätta sig. Mycket geotermisk energi tas upp och används som värme direkt och detta görs på många ställen (eftersom det finns fler platser mellan- och lågtempererade platser på jorden än högtempererade), och användningsområdena är många och varierade. Island är på god väg mot sitt mål (att bli kvitt oljeberoendet) tack vare den myckna värmen i marken. Man har också i vissa delar av världen en förhållandevis stor elproduktion – störst är den i USA följt av Filipinerna, där detta möjliggjorts av ländernas geografiska belägenhet och medvetna satsning.

Det finns otroligt mycket energi lagrat i jorden - bråkdelar räcker för att hålla en modern mänsklig civilisation gående under lång tid. Problemen är flera: det kan vara riskabelt rent ekonomiskt att ge sig ut och leta efter en källa (det behövs dyr avancerad utrustning etc.), nya sorters miljöskador kan uppkomma. Men många anser att riskerna är små eller rent av ej jämförbara med det allestädes närvarande hotet av växthuseffekten. Geotermiskt genererad energi kan mycket väl bli ett kraftfullt vapen i den samlade arsenalen mot detta klimathot.

## Slutord

Det som är problematiskt idag kan lösas imorgon; redan har åtskilliga problem lösts. Om viljan att lösa de återstående problemen är större än oviljan att satsa på något hållbart så finns det goda möjligheter för den geotermiska kraftförsörjningen att på allvar konkurrera med traditionella bränslen i ett antal länder.

---

<sup>1</sup> På t.ex. IGAs hemsida står: "Geothermal power could serve 100% of the electrical needs of 39 countries (over 620,000,000 people) in Africa, Central/ South America and the Pacific."



## Källförteckning

Energy Information Administration

<http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/renewable.energy.annual/appd.html>

University of Utah:

<http://www.utah.edu/>

Framtidsscenario:

[http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech\\_papers/17th\\_congress/3\\_1\\_10.asp](http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/3_1_10.asp)

International Geothermal Association (Mary H. Dickson, Mario Fanelli. 2004)

<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy>

Geothermal Education Office (Marilyn Nemzer. 2001):

<http://geothermal.marin.org>

Svenska Institutet:

[www.sweden.se](http://www.sweden.se)

District Energy in Iceland:

[www.energy.rochester.edu/is/](http://www.energy.rochester.edu/is/)

BBC News (Vätgassamhället)

<http://news.bbc.co.uk/1/low/sci/tech/1727312.stm>

Geotermisk värme i Lund:

[www.geothermie.de/egec-geothernet/ci](http://www.geothermie.de/egec-geothernet/ci)