

Um endurnýjanleika jarðhitans. Umfjöllun
málstofu Orkustofnunar

**Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson,
Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason,
Halldór Ármannsson, Helga Tulinius,
Ólafur G. Fóvenz, Sveinbjörn Björnsson,
Valgarður Stefánsson**

Um endurnýjanleika jarðhitans

Umfjöllun málstofu Orkustofnunar

1. Inngangur

Vorið 2000 var sett á fót málstofa á Orkustofnun, sem skyldi hafa eftirfarandi tvíþætt verkefni:

- 1) Að skilgreina hugtakið sjálfbær nýting jarðhita og
- 2) fjalla um endurnýjanleika jarðhitans ásamt því að ákvarða hvernig endurnýjanleikinn tengist sjálfbærri nýtingu hans.

Í málstofunni sitja Guðni Axelsson eðlisfræðingur, Ásgrímur Guðmundsson jarðfræðingur, Benedikt Steingrímsson eðlisfræðingur, Guðmundur Pálmason jarðeðlisfræðingur, Halldór Ármannsson efnafræðingur, Helga Tulinius jarðeðlisfræðingur, Ólafur G. Flóvenz jarðeðlisfræðingur, Sveinbjörn Björnsson eðlisfræðingur og Valgarður Stefánsson eðlisfræðingur. Málstofan hélt um 14 fundi á árunum 2000 og 2001 þar sem mismunandi sjónarmið voru rædd og reynt að komast að sameiginlegri niðurstöðu um nokkrar skilgreiningar. Í þessari greinargerð er tekið saman það helsta úr umfjöllun málstofunnar um seinna verkefnið, þ.e. endurnýjanleika jarðhitans. Fjallað er um fyrra verkefni málstofunnar í annari greinargerð (Guðni Axelsson o.fl., 2001).

Fundi málstofunnar má líta á sem upphaf mun stærra verkefnis, sem hefur það lokamarkmið að endurnýja jarðvarmamát Orkustofnunar fyrir Ísland frá 1985 (Guðmundur Pálmason o.fl., 1985) og svara um leið spurningunni hve mikla jarðhitaorku er unnt að vinna á sjálfbæran hátt á Íslandi? Í framhaldi af þeirri vinnu sem hér er fjallað um mun málstofan m.a. leggja drög að þeim aðferðum sem beitt verður við þetta stóra verkefni, en þar er m.a. horft til líkanreikninga, sem grundvallaðir verða á öllum tiltækum gögnum um jarðhitakerfin og viðbrögð þeirra við vinnslu.

Orkulindum heimsins er jafnan skipt í tvo meginflokka, endanlegar orkulindir eins og kol og olíu og endurnýjanlegar orkulindir eins og sólar- og vindorku. Að öllu jöfnu eru meginorkulindir okkar Íslendinga, jarðhitinn og vatnsorkan, flokkaðar sem endurnýjanlegar, m.a. af þeim alþjóðastofnunum sem orkumál varða. Segja má að vinnuhópurinn hafi þó ekki komist að niðurstöðu um í hvorn flokkinn væri eðlilegast að flokka jarðhitann. Er það vegna þess að jarðhitinn er í eðli sínu margþættari og flóknari en orkulindir eins og þær sem að ofan eru nefndar.

Hér á eftir verður birtur kjarninn í umfjöllun og niðurstöðum málstofunnar um endurnýjanleika jarðhitans (sjá einnig Guðna Axelsson o.fl., 2001a). Í viðauka A eru svo birtar fundargerðir hópsins fyrir þá sjö fundi á árinu 2001 sem tileinkaðir voru endurnýjanleikanum. Í viðauka B eru tekin saman ýmis skrif málstofumeðlima með hugrenningum þeirra og tillögum. Gögnin í viðaukunum eiga gefa nokkuð skýra mynd af líflegum rökræðum málstofunnar og þeim atriðum sem eru í vegi þess að hægt sé að flokka jarðhitann á einhlítan hátt sem endurnýjanlega orkulind.

2. Endurnýjanleiki jarðhitans

Endurnýjanleika og sjálfbærni er mjög oft ruglað saman og því brýnt að gera greinarmun þar á, að mati málstofunnar. Endurnýjanleiki lýsir eiginleikum orkulindar, en hugtakið sjálfbær tengist því hvernig nýtingu hennar er háttað, eins og lýst er nánar af Valgarði Stefánssyni (2000a og 2000b).

Eins og áður kemur fram er jarðhiti að öllu jöfnu flokkaður með öðrum endurnýjanlegum orkulindum. Ástæðan fyrir því er væntanlega sú að honum er viðhaldið af samfelldum náttúrulegum orkustraumi og því betur talinn eiga heima í þeim flokki, en í flokki endanlegra orkulinda. Þessu flokkun er þó ekki svo einföld því að jarðhiti er í eðli sínu tvíþættur, þ.e. samsettur af *orkustraumi* (með varmaburði og varmaleiðni) og *varmaforða*. Endurnýjun þessara tveggja þátta er mjög mismunandi þar sem orkustraumurinn er stöðugur (endurnýjast jafnóðum) en varmaforðinn endurnýjast tiltölulega hægt. Sá hluti varmaforðans, sem endurnýjast með varmaleiðni, endurnýjast reyndar svo hægt að á tímakvarða mannlegra athafna ætti hann frekar að teljast endanlegur en endurnýjanlegur. Vægi þessara tveggja þátta í jarðhitaorkuvinnslu er bæði háð jarðhitakerfi og vinnsluálagi. Í svokölluðum “Hot Dry Rock” kerfum er vægi forðans yfirgnæfandi, en í öflugustu háhitakerfunum í gosbelti Íslands er vægi orkustraumsins mikið.

Ef orkuvinnsla úr jarðhitakerfi er innan sjálfbærra marka, sbr. skilgreiningu málstofunnar (Guðni Axelsson o.fl., 2001a og 2001b), má reikna með að tiltölulega hægt sé gengið á orkuforðann og að endurnýjun jarðhitaorkunnar í kerfinu haldist nokkurn veginn í hendur við vinnsluna. Hér má nefna sem dæmi jarðhitakerfið í Laugarnesi, en þar virðist sem í kjölfar tífoldunar vinnslu úr kerfinu, með tilkomu djúpdælna í kringum 1960, hafi innstreymi í jarðhitageyminn einnig u.þ.b. tífoldast (Guðni Axelsson o.fl., 2001a og 2001b). Jarðhitageymirinn endurnýjar sig sem sagt nokkurn veginn í réttu hlutfalli við vinnsluna eins og hún hefur verið. Til þess að viðhalda þessu stöðuga ástandi, sem endurspeglast í nokkurn veginn óbreyttu vatnsborði í langan tíma, verður að vera fyrir hendi viss endurnýjanleiki í kerfinu. Þó er líklegt að að áhrifasvæði (rúmmál) jarðhitavinnslunnar sé mjög stórt og að endurnýjunin sé að einhverju leyti á kostnað orkuforða í ytri og dýpri hlutum jarðhitakerfisins.

Sennilegt er að núverandi vinnsla úr jarðhitakerfinu í Laugarnesi sé mjög nálægt mörkum sjálfbærrar orkuvinnslu (E_0). Ef vinnsla úr jarðhitakerfi er hins vegar mjög lítil miðað við E_0 er erfðara að greina hvort auðlindin er endurnýjanleg eða hvort hún á sér mjög mikinn orkuforða.

Líkanreikningar, byggðir á öllum tiltækum gögnum um jarðhitakerfi, eru það tæki sem okkur er helst tiltækt til þess að meta sjálfbæra vinnslu úr kerfinu skv. skilgreiningunni málstofunnar. Á sama hátt ætti að vera hægt að meta vægi hinna mismunandi þátta, orkustraums og varmaforða, fyrir sjálfbæra vinnslu úr sérhverju jarðhitakerfi, og þar með leggja mat á endurnýjanleika jarðhitakerfa.

Heimildir

Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur I. Haraldsson og Gísli K. Halldórsson, 1985: Mat á jarðvarma Íslands. Orkustofnun, OS-85076/JHD-10, 134 s.

Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson, 2001b: Um sjálfbæra vinnslu jarðhita. Erindi flutt á Orkuþingi 2001, 478-484.

Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson, 2001a: Um sjálfbæra nýtingu jarðhita. Umfjöllun málstofu Orkustofnunar. Orkustofnun, greinargerð GAx/ÁsG/BS/GP/HÁ/HTul/ÓGF/SvB/VS-2001/06.

Valgarður Stefánsson, 2000a: The renewability of geothermal energy. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2000*, Kyushu-Tohoku, Japan, maí - júní 2000, 6 s.

Valgarður Stefánsson, 2000b: Endurnýjanleiki jarðhita og sjálfbær nýting (ágrip). Staða jarðhita á Íslandi, ráðstefna Jarðhitafélags Íslands, Reykjavík, nóvember 2000. *Rit Jarðhitafélags Íslands 2000-1*, 29-32.

Viðauki A: Fundargerðir málstofunnar febrúar – maí 2001.

9. FUNDUR UM SJÁLFBÆRA NÝTINGU JARÐHITA 25/1 2001

Viðstaddir: Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tuliníus, Ólafur G. Flóvenz, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson.

Halldór lagði fram fundargerð fyrir síðasta fund og var hún samþykkt utan þess að innsláttarvillur þurfti að leiðrétta. Einnig lagði hann fram frumdrög að þýðingu á skilgreiningu sjálfbærrar nýtingar jarðhita er leggja skyldi fram sem ágrip fyrir Orkuþing. Guðni hafði breytt enska textanum og var ákveðið að þeir sæju um að ganga frá lokaútgáfu á þeim íslenska.

Guðni tók fram að aðalumfjöllunarefni hér eftir væri endurnýjanleiki. Þar eð hann vissi að þeir Guðmundur og Valgarður væru ekki sammála um skilgreiningu hans voru þeim gefnar nokkrar mínútur hvorum til að skýra mál sitt.

Guðmundur sagði að varmaleiðni úr möttli væri svo lítil að hún skipti ekki máli og varminn því ekki endurnýjanlegur. Á háhitasvæðum gæti varmagjafi verið endurnýjanlegur vegna kvikuinnskota. Ef um væri að ræða tímakvarða af stærðargráðunni 100 ár væri hann það varla þar sem yfirleitt liðu >100 ár milli innskota og yrðu þau ekki endilega á virkjunarstöðum. Hann varaði við því að rugla saman endurnýjuðum burði með vatni og varmaforða í bergi.

Valgarður vitnaði í mynd frá Gunnari Böðvarssyni af orkustreymi gegnum Ísland. Þar væri um tilflutning á u.þ.b. 30 GW að ræða. Mætti líta á jarðhita sem hreyfanlega orku í jarðskorpu + sem geymd er í bergi og jafngilti það 2 þáttum í ferli. Því verður skilgreining endurnýjanleika: Ný orka verður að koma í stað þeirrar sem tekin er á sama tímaskala og vinnsla ($Út_{100\text{ár}} = Inn_{100\text{ár}}$). Tilflutningi orku í jarðskorpu sé háttáð á 3 vegu, þ.e. sem massaflutningi vatns, massaflutningi kviku og varmaleiðni sem er hægt ferli sem ekki getur haft við vinnslu, en varmaflutningar með kviku eða vatni séu nægilega hraðir til að kalla megri orku þannig flutta endurnýjanlega.

Sveinbjörn minnti á að strangt til tekið væri engin varmaorka endurnýjanleg. Efni sem eyðast verða ekki endurnýjuð. Hins vegar kvaðst hann sammála Valgarði um pólitíska skilgreiningu. Draga mætti markalínur fyrir athugunarsvæði og athuga hvort svæði innan þeirra er endurnýjanlegt innan hugsanlegs nýtingartíma. Benti hann á að þannig væri endurnýjanleiki vatnsafls árstíðabundinn.

Ólafur gerði samanburð á nokkrum orkulindum, t.d væri vatnsafl ekki endurnýjanlegt á löngum tímaskala vegna veðurfarssveiflna, en lífmassi gæti verið það vegna ræktunar.

Guðni benti á að samkvæmt alþjóðlegri flokkun væri jarðhiti endurnýjanlegur og Valgarður dreifði grein um flokkun orkulinda eftir G.R. Grob og kom í ljós að allar endurnýjanlegar orkulindir skv. þeirri skilgreiningu lifðu á sólarljósi nema jarðhiti. Guðmundur varaði við alþjóðlegum skilgreiningum, heldur skyldum við líta á okkur sjálfa sem skilgreinendur.

Þá urðu umræður með ákveðnum dæmum svo sem rennsli Deildartunguhvers, vinnslu í Mosfellsbæ sem líta megri á sem námavinnslu þar sem berg kólnar og þar með spurninguna um hvort verið sé að vinna varma eða vatn. Aftur komust menn að raun um að eðlisfræðilegar og pólitískar skilgreiningar fara ekki endilega saman. Guðni lagði áherslu á að flokka þyrfti endurnýjanlegar orkulindir í hægt endurnýjanlegar og hratt endurnýjanlegar þar sem tímaskali skipti öllu máli. Helga taldi hins vegar að rúmmálið skipti öllu máli. Í lokin lagði Guðmundur áherslu á að við yrðum að gera okkur grein fyrir hvað við ættum við og vildi að unnið yrði að sameiginlegri skilgreiningu á endurnýjanleika fyrir næsta fund. Ákveðið var að næsti fundur yrði eftir hálfan mánuð.

8. febrúar 2001

Halldór Ármannsson

10. FUNDUR UM SJÁLFBÆRA NYTINGU JARÐHITA 8/2 2001

Viðstaddir: Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulínus, Ólafur G. Flóvenz og Valgarður Stefánsson.

Halldór lagði fram fundargerð fyrir síðasta fund og var hún samþykkt nema innsláttarvillur þurfti að leiðrétta og Guðmundur gerði eina athugasemd.

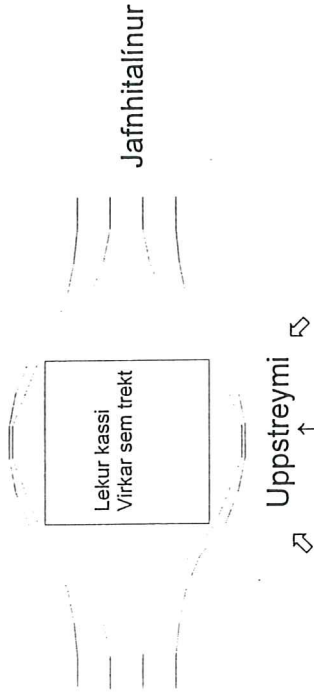
Guðni hafði sent mönnum umfjöllun um endurnýjanleika og fylgdi henni úr hlaði. Taldi hann marga á villigötum varðandi skilgreiningar sem teldu endurnýjanleika háðan vinnsluáferð. Sjálfbærni væri háð vinnsluáferð en ekki endurnýjanleiki, sem væri háður eðli auðlindar. Hvort orkan bærist úr jörðu eða fannst skipti ekki máli, hún bærist mishratt efir því hvort um geislun, burð eða leiðni er að ræða. Helgu umfjöllun um forða vanta en hann væri ekki til staðar í sólar- og vindorku. Valgarður taldi að tvö atriði kæmu til, þ.e. að um samfélðan náttúrulegan orkustraum væri að ræða og að orkuvinnsla mannsins hefði ekki áhrif á náttúrulega orkustrauminn. Guðmundur kvaðst sammála því að umfjöllun Guðna væri spor í rétta átt en ekki langt, t.d. taldi hann að kol og olía mundu falla í flokkinn ofurhægt endurnýjanlegar orkulindir. Guðni samþykkti það og kvað þetta atriði kalla á skilgreiningu, þar sem vissulega væru kol og olía ofurhægt endurnýjanlegar orkulindir en miklu hægar en t.d. jarðhiti. Guðmundur spurði við hvaða tímakvarða ætti að miða þ.e. þann tíma sem orkulindin er unnin eða lengri tíma. Á að miða við varmaleiðni á einum stað eða alls staðar? Ef jarðhitasvæði er notað upp á einum stað en orkan kemur upp annars staðar er hún ekki endurnýjanleg? Guðni sagði að finna þyrfti betri orð. Eitt og sama kerfið hitnar upp, og getur ekki talist á öðrum stað þó að varmi komi þar upp.

Ásgrímur taldi tíma og rúm skipta höfuðmáli, óháð nýtingu. Háhitakerfi breytast óháð nýtingu. Námur eru hins vegar takmarkaðar í rúmi. Helga vildi bera jarðhita saman við vind- og sólarorku sem ekki söfnuðu forða en það gerði á hinn bóginn vatnsorkan eins og braðnun jökla hér á Íslandi sýnir. Halldór vildi að eitt hvert mið væri tekið af þeim tíma sem sjálfbær vinnsla auðlindarinnar fer fram á þó að fræðilega sé endurnýjanleiki óháður vinnslu. Ólafur benti á að forðinn gæti endurnýjast. Nefndi hann lífmassa, t.d. groðursætingu trjáa. Sú orka væri endurnýjanleg þó að endurnýjunin geti farið fram í mismunandi heimsálfum og því fjarrí því að vera staðbundin. Einnig kom hann með tilfærslu árfarvega í sambandi við vatnsaflsvirkjanir sem dæmi. Ásgrímur kom aftur að háhitasvæðum. Yfirleitt væri hvert háhitasvæði tengt einni megineldstöð. Spurningin væri hvort líta ætti heildrænt á varmaorkuna eða skoða einstök svæði. Helga benti á að vindur hefði ferst til og strauamar í haf. Guðni lagði áherslu á að við yrðum að miða við tímaskala mannlægra athafna og miðað við hann endurnýjaði jarðhiti sig á sama stað.

Valgarður minnti á að hópurinn hefði í 9 mánuði farið um víðan völli í umræðum um sjálfbæra nýtingu jarðhita áður en að skilgreiningu kom og var ekki sammála Guðmundi að strax væri unnt að skilgreina endurnýjanleika. Meiri umræðu þyrfti til. Guðmundur svaraði til að skilgreining á endurnýjanleika hlýti að vera til. Okkar hlutverk sé að ákveða hvort jarðhiti sé endurnýjanleg orkulind. Valgarður minnti aftur á að endurnýjanleiki væri eiginleiki orkulindar en sjálfbærni væri háð vinnsluáferð, en að sú framsetning væri ekki nema ársögmul. Guðmundur sagði alla væntanlega sammála um það.

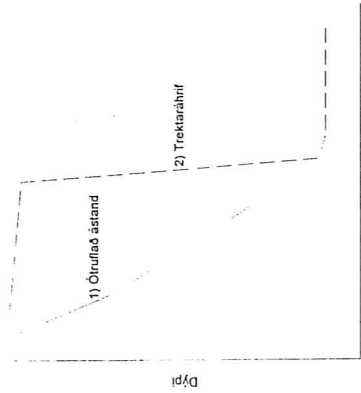
Valgarður taldi umfjöllun Guðna það eina nýja sem fram hefði komið í langan tíma. Hraðinn væri grundvallaratriði. Benti hann á að hraði endurnýjunar vatnsorku sé ekki eingöngu háður sólarljósi, þ.e. tímafasti sólarljóss ≠ tímafasti vatnsafls, og vindorka hefur sinn eigin fasta. Guðmundur féllst á að umræður vít og breitt gætu leitt til niðurstöðu. Benti hann t.d. á jöfnu Valgarðs frá síðasta fundi $U_{1000ar} = Inn_{1000ar}$, sem hann taldi geta nýst við skilgreiningu sem tæki mið af bæði tímaskala og staðsetningu en hvortveggja yrði að koma inn í skilgreiningu á endurnýjanleika. Ólafur tók aftur til umræðu lífmassa, t.d. skóg og einnig vindorku og sagði hvorugt miðast við tiltekinn stað eða rúmmál.

Valgarður vildi skilgreina jarðhitasvæði sem svæði þar sem ör kæling á jörðinni fer fram og Guðmundur bætti við að varmann mætti vinna vegna forða og vatnsengni. Valgarður vildi líkja jarðhitasvæði við trekt eins og sýnt er á mynd 1. Varmavinnsla sem fall af dýpi er sýnd á mynd 2.



Jafnhitalíniur

Mynd 1. Trektarlíkan af jarðhitakerfi



Mynd 2. Hiti með dýpi með og án trektar

Nokkuð var velt fyrir sér hvernig jafnhitalínumar á mynd 1. myndu hegða sér. Helga taldi fulla ástæðu til að gera stærðfræðilega úttekt á því.

Loks var samþykkt að allir meðlimir hópsins settu á blað sínar hugmyndir um skilgreiningu á endurnýjanleika jarðhitas og yrðu þær tilbúnar fyrir næsta fund sem haldinn verður 15. febrúar.

15. febrúar 2001

Halldór Ármannsson

Víðstaddir: Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz og Valgarður Stefánsson.

Halldór var með hálfkaraða fundargerð um 10. fund vegna tölvuvandamála en hún var lesin yfir og lofaði hann að koma þessari og fundargerð 9. fundar breyttum og leiðréttum til hópsins á næsta fundi.

Guðni þakkaði góð viðbrögð við að koma hugleiðingum um endurnýjanleika á blað. Ásgrímur, Guðmundur, Halldór og Valgarður höfðu lagt fram slíkar hugleiðingar og það Guðni þá að fylgjja þeim úr hlaði og yrðu umræður eftir hvern inngang.

Ásgrímur lagði áherslu á að söguleg nýting jarðhita hefði staðið yfir í langan tíma en eðli nýtingar hefði ekki skipt máli fyrr en á síðustu öld og því ekki hvort auðlindin væri sjálfbær og/öða endurnýjanleg. Guðni spurði hvort lokandiurstaða hans væri að jarðhiti væri endurnýjanleg orkulind og svaraði Ásgrímur þeirri spurningu játanndi. Valgarður gerði þá athugasemd að kjarnorka væri ekki talin endurnýjanleg orkulind og Ólafur velti fyrir sér hvers vegna það væri ef jarðhiti væri talinn endurnýjanlegur þar sem hann byggðist á kjarnorku. Valgarður sneri sér að jarðhita og gagnrýndi það orðalag Ásgrims að tala um að auka streymi til yfirborðs. Fannst honum að frekar ætti að tala um að breyta streymi til yfirborðs, þar sem ekki sé hægt að auka orkustraum einungis breyta färveggi hans. T.d væri mögulegt að slökkva á Dettifossi en ekki á vatnsorku hans. Ásgrímur taldi að unnt væri að tala um að kvikna og slökkna ef tekið væri tillit til tíma, t.d. gæti einstakt jarðhitakerfi endurnýjast á 0.5 miljón árum. Helga kvað hér um að ræða missmun á tímabundnum og æstæðum straumum en Valgarður sagði um hvortveggi að ræða og í heildina kviknaði hvorki né slöknaði á þeim straumum. Ólafur vildi halda áfram umfjöllun um jarðhitasvæði sem staðbundna truflun í varmatapi jarðar og þar með að einstakt afmarkað jarðhitasvæði væri orkulind sem væri endanleg á menningarlegum tímaskala. Ásgrímur kvaðst hafa verið að reyna að þrengja tímamörk með tilliti til umfjöllunar á þeim nótum. Guðmundur spurði þá á hvaða tímaskala orkulind væri endanleg. Ásgrímur svaraði til að um aldir væri að ræða en skoða yrði auðlindina sem staðbundna.

Guðmundur fylgdi sínum hugleiðingum úr hlaði með því að benda á að höfuðvandamálin sem við væri að glíma væru hver væri tímakvarði mannlgra athafna og hvort staðartilvisun þyrfti. Sagði hann allar hugleiðingar um endurnýjanleika til komnar vegna nýtingar. Ekki væri verið að ræða endurnýjanleika á jarðsögulegu tímabili heldur á því sem tekið er úr ákveðnu gegnumstreymi. Í sambandi við jarðhita væri tvennt endurnýjanlegt, þ.e. vatnið og orkan sjálf. Spurning væri hvortvarmaleiðnistráumar skiptu máli en skoðun sin væri að þeir skiptu ekki máli. Guðni spurði hvort hann teldi að jarðhiti væri hvorki endurnýjanleg né endurnýjanleg auðlind og svaraði Guðmundur því að í heild væri hann ekki endurnýjanlegur en ákveðinn geymir eða hluti geymis gæti verið endurnýjanlegur. Ólafur tók sem dæmi varmaleiðnistráum sem tekið væri af í 10.000 ár en síðan hætt. Varminn endurnýjaði sig þá aftur á sambærilegum tíma. Meginleiðsið væri hins vegar um 100.000 ár að kólna. Því taldi hann að á hnattrenum kvarða væri millistórt rúmmál ekki endurnýjanlegt. Guðni vildi að hópurinn heldi sig við tímakvarða mannlgra athafna sem væri um 100 ár og reyndi að takmarka sig í rúmi og spunnust út frá því umræður um tímaskala. Helga tók aftur upp umræðu um kol og olu og Guðni benti á að slíkar auðlindir endurnýja sig ekki á sama stað og tekið er af þeim. Guðmundur benti á að sú orka sem nýt væri á einu ári væri svipuð og sú sem endurnýjuð er með varmaleiðni á 1000 árum og lagði með því enn frekari áherslu á að varmaleiðni ætti ekki heima í þessari umræðu. Hins vegar væri varmaforði í yfirborði jarðar nýttur. Helga spurði hvort forðinn endurnýjaði sig ekki. Guðmundur kvað enn á um að sleppa skyldi umræðu um varmaleiðni en einbeita sér að ákvörðun tímaskala. Hver væri hann á staðbundnum og hnattrenum mælikvarða? Valgarður kvaðst sammála því að varmaleiðni inn í kassa skipti ekki máli en það væri ekki næg ástæða til að útioka varmaleiðni frá umræðunni. Ólafur benti á að verið væri að ræða hugtökin sjálfbær og endurnýjanlegur og væri eðlilegt að gera sömu tímakrófur til beggja. Guðni taldi að um þrjá tímaskala mannlgra athafna væri að ræða, þ.e. tímaskala hagfræði, sjálfberrar þróunar og endurnýjanleika. Helga taldi að um tímaskala skyldi gefa svar og þá væri hægt að fara að reikna. Guðmundur sagði forsendur rúmmáls- og tímaskala vera hlutfall náttúrulegt rennsli og hámarks sjálfbæra nýtingu. Benedikt benti á að afl í vatnsafvirkjun væri talið endurnýjanlegt ef lón sem er tómt að vori er orðið fullt að hausti. Guðmundur sagði lón misfull en endurnýjanleg á tímakvarða nýtingar. Ólafur taldi lón aðferð til jöfnunar

og mætti sleppa slíku í þessari umræðu. Benedikt benti á að um forða væri að ræða. Guðmundur kom aftur að spurningunni: Til hvers er verið að ræða hvort jarðhiti sé endurnýjanlegur? Er um að ræða spurninguna um hvort einstök virkjun, t.d. Nesjavellir, verður orkulaus? Helga áleit í þessu sambandi að lítið jarðhitakerfi mætti vinna sjálfbært væri það endurnýjanlegt og viðurkenndi Guðmundur að það gæti vel verið. Dró Helga þá ályktun að endurnýjanleiki væri fremur hnatttrétt en staðbundið fyrirbæri meðan sjálfbær nýting væri staðbundið fyrirbæri.

Halldór kvaðst hafa reynt að miða við þau markmið sem sett voru um vinnu hópsins í upphafi þegar leitað skyldi skilgreiningar á hugtökunum sjálfbær nýting og endurnýjanleiki. Með þau markmið í huga lagði hann til skilgreiningu á endurnýjanleika sem tók mið af þeirri skilgreiningu sem hópurinn hafði þegar sett fram um sjálfbæra nýtingu jarðhita og þurfti þá bæði að taka tillit til tíma- og staðsetningarþátta. Valgarði fannst ekkert nýtt koma fram í skilgreiningunni og fannst hún helst vera skilgreining á sjálfbærri nýtingu margfölduð með tímabættinum 10. Halldór var ekki alveg sammála þar sem þessi skilgreining væri óháð nýtingu meðan skilgreining á sjálfbærri nýtingu hefði eðleiga byggt á henni. Guðmundi þótti staðartilvisun ekki skýr. Valgarður minnti á að tvö skilyrði þyrfti í slíkri skilgreiningu, þ.e. samfelldan orkustraum og vinnslu orku úr honum. og klykkti út með því að segja að umræðan væri ekki komin nógu langt fyrir slíka skilgreiningu, fyrst þyrfti almenna skilgreiningu á endurnýjanleika sem tæki til allra orkulinda, ekki eingöngu jarðhita. Akveðið var að halda umræðunum áfram á næsta fundi eftir hálfan mánuð.

28. febrúar 2001

Halldór Ármannsson

12. FUNDUR UM SJÁLFBÆRA NÝTINGU JARÐHITA 1/3 2001

Viðstaddir: Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson.

Halldór lagði fram fundargerð síðasta fundar auk leiðréttra fundargerða næstu tveggja funda á undan. Urðu nokkrar umræður um fundargerðirnar sem sumum þykja of ýtarlegar en samþykkt var að hreyfa ekki við þeim hér eftir.

Guðni þakkaði enn góð viðbrögð við að koma hugleiðingum um endurnýjanleika á blað. Borist höfðu 3 umfjallanir til viðbótar, frá Valgarði, Guðna og Guðmundi og vildi hann að þeir gerðu grein fyrir þeim. Guðmundur sagði um stöðuplagg að ræða hjá sér en ekki endanlega niðurstöðu. Guðni spurði hvort einhver vildi segja að jarðhiti væri óendurnýjanleg orkulind. Guðmundur taldi ekkert unnt að segja um það algilt Sannleikurinn um jarðhita lægi einhvers staðar á milli endurnýjanleika og óendurnýjanleika (endanleika). Taldi hann mega miða við nýtingu þar sem ekki kæmi til umræða um endurnýjanleika fyrr en við nýtingu. Ásgrímur vildi halda því fram að orkulind væri annaðhvort endurnýjanleg eða ekki. Væri hún að einhverjum hluta endurnýjanleg þá væri hún endurnýjanleg. Helga vildi skipta orkulindum í þrennt, þ.e. sjálfkrafa endurnýjanlegar (t.d. vindorku, þar enginn forði safnast fyrir), námur (t.d. brennanleg efni, forði safnast fyrir) og millistig (t.d. jarðhita, straumur og forði). Guðmundur tók undir það en benti á að endurnýjanleika yrði að skilgreina. Ásgrímur var ekki sammála og sagði jarðhita ekki þvinganlegan inn í slíka skilgreiningu. Valgarður ræddi hvort ekki væri þá unnt að leggja mælikvarða á að hve miklu leyti orkulind væri endurnýjanleg í % talið. Orkuforði safnaðist fyrir á ákveðnum stað en líta þyrfti á endurnýjanleika orkulindarinnar sem heildar. Sveinbjörn sagði að varmaleiðingu of hæga til að teljast endurnýjanlega en varmaburð nógu hraðan til að kallast endurnýjanlegan. Því væri háhiti með vatni endurnýjanlegur en ekki með heitu, þurru bergi ("HDR") eingöngu. Valgarður sagði að skipta mætti jarðhitakerfum í endurnýjanleg og endanleg ef kerfin væru þekkt. Sveinbjörn benti á að í byrjun vinnslu svæðis væri ekki hægt að vita hvort kerfið væri endurnýjanlegt. Guðmundur vildi halda því fram að jarðhitakerfi væru hlutendurnýjanleg en ekki hægt að meta endurnýjanleikann í % talið. Til þess sé ekki nóg vitað. Hann minnti á rit Gunnars Böðvarssonar sem hefði talið að sá hluti jarðhita sem fælist í samfelldum orkustraumi væri endurnýjanlegur en varmi í bergi (= forði) væri ekki endurnýjanlegur á tímakvarða mannlegra athafna. Við vinnslu skipti orkumagn í geymi mestu máli en hinn hlutinn væri óumdeilanlega til og endurnýjanlegur.

Valgarður taldi staðartilvísun brýna. Ólafur taldi að til þess að geta skilgreint endurnýjanleika orkulindar þyrfti að vera til skilgreining á orkulind og spurði hver hún væri. Urðu nokkrar umræður um hvar slíkar skilgreiningar væru til og var Sveinbirni falið að verða sér úti um þær er hann færi til Brüssel á næstu dögum. Ákveðið var að næsti fundur yrði 15. mars.

15. mars 2001

Halldór Ármannsson

13. FUNDUR UM SJÁLFBÆRA NÝTINGU JARÐHITA 15/3 2001

Viðstaddir: Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz og Sveinbjörn Björnsson.

Halldór lagði fram fundargerð síðasta fundar. Sveinbjörn dreifði drögum að álitum IEA um sjálfbærni, og skýrði frá þeirra starfsemi. Kom fram að Joel Renner hefði tekið við sæti Philips Wright í sjálfbærnihópi. Er starfsemin fremur á nótum upplýsingamiðlunar milli þátttökubjóða en samvinnu. Voru menn sammála um að á þessum vettvangi skyldi skýra frá niðurstöðum hópsins. Fram kom hjá Guðmundi og Ásgrími að ekki væri til skilgreining á endurnýjanleika hjá þjóðverjum. Töluverðar umræður urðu um skilgreiningar einkum hvort unnt væri að setja fram hugtak á borð við "hlutendurnýjanlegur" eða hvort miða ætti við tíma og nota "hægt endurnýjanlegur" eða jafnvel reyna að koma inn í skilgreiningu tvíeðli jarðhita. Sveinbjörn benti á að fyrra jarðvarmamati hefði verið byggt á rúmmáli heits bergs en fannst að nú þyrfti að velta fyrir sér hvort miða mætti við fleira, t.d. vinnsluaðferð, setja mörk o.s.frv. Guðmundur taldi hollt að rífa upp tilgang umræðunnar. Guðni sagði að meta ætti hver væru mörk sjálfbærrar nýtingar á Íslandi og hópurinn væri kominn á það stig að geta gert reikninga varðandi skilgreiningu á sjálfbærri nýtingu. Fyrir næsta fund var ákveðið að reyna að semja skilgreiningu um endurnýjanleika á ensku og skoða drög þau er Sveinbjörn lagði fram.

Reykjavík 3. maí 2001

Halldór Ármannsson

14. FUNDUR UM SJÁLFBÆRA NÝTINGU JARÐHITA 3/5 2001

Viðstaddir: Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Halldór Ármannsson og Valgarður Stefánsson.

Halldór lagði fram fundargerð síðasta fundar. Guðni lagði áherslu á að e-u yrði komið á blað og reikningar gerðir. Rædd voru líkön er til greina kæmu og reiknuð yrðu til 30 ára. Minnst var á líkön fyrir Kröflu eða Hvíthóla eingöngu, ímynduð svæði eða eitthvert lághitasvæði, t.d Botn í Eyjafirði. Byrja mætti á litlu líkani en margfalda síðan með 10 og framlengja. Valgarður benti á reikninga Pritchards fyrir ýmis nýtingarskilyrði í langan tíma en í algerlrga einöngruðu kerfi.

Rætt var um bréfaskipti við Marcello Lippmann v/sjálfbærrar nýtingar og frest til að skila Orkuþingsgrein. Einnig var minnt á greinargerð sem gera þyrfti til að standa við samning við ALD. Raunhæf markmið voru talin að koma greinargerð frá og ganga frá Orkuþingsgrein á næstunni og ætti þá að vera kominn fram grunnur að sjálfri klausunni um endurnýjanleika. Ákveðið var að hópurinn hittist 24. maí og hefðu Valgarður og Guðni þá tilbúinn texta að Orkuþingsgrein sem menn færu yfir á þeim fundi.

Reykjavík 30. maí 2001

Halldór Ármannsson

Viðauki B: Ýmis skrif málstofumeðlima tengd endurnýjanleika.

ENDURNÝJANLEIKI JARÐHITANS SEM ORKULINDAR

Hugleiðingar GAx í byrjun febrúar 2001

Orkulindirnar sem jarðarbúar nýta í dag eru almennt flokkaðar sem endurnýjanlegar (“renewable”) eða óendurnýjanlegar (“non-renewable”). Á alþjóðavettvangi, þar sem orkumál eru til umfjöllunar og meðferðar, er jarðhitinn nær undantekningarlaust flokkaður með endurnýjanlegu orkulindunum (sjá VS t.d.). Því mætti halda að ekki væri þörf á sérstakri umræðu hér á landi um þessa skilgreiningu. Ef betur er að gáð þá er þessi skilgreining þó ekki eins sjálfgefín og í fyrstu mætti halda og hafa sumir viljað halda því fram að jarðhitinn væri ekki endurnýjanlegur nema í tilfellum virkustu háhitakerfa (sjá skrif GP og einnig skrif JB?). Mín skoðun er þó sú að eðlilegast sé að flokka jarðhitann sem endurnýjanlega orkulind, með smávægilegum tilbrigðum þó. Hér að neðan reyni ég að færa nokkur rök fyrir því.

Þær orkulindir, sem eru óumdeilanlega endurnýjanlegar, þ.e. sólarorkan, vindorkan, vatnsorkan, hafstraumaorka, o.s.frv., eiga upptök sín í varmaorkustraumnum frá sólinni. Jarðhitaorkan á hins vegar upptök sín í varmaorkustraum úr “iðrum” (miðað við þá þunnu skel sem við búum á) jarðar. Miðað við tímaskala mannlegra athafna, og jafnvel tímaskeið mannkynssins sem tegundar, þá eru þessir orkustraumar næsta stöðugir. Munurinn á þeim er aðallega sá að varmaflutningurinn frá sólinni er með geislun (“radiation”), en varmaflutningurinn innan úr jörðinni er með varmaburði (“convection”) og varmaleiðni (“conduction”). Þess vegna er spurning af hverju orkulind, eða náttúrufyrirbæri, sem á rætur að rekja til einnar gerðar stöðugs varmaflutnings telst endurnýjanleg, en orkulind sem á rætur að rekja annarra gerða stöðugs varmaflutnings ætti ekki að teljast endurnýjanleg?

Segja má að ofangreindar orkulindir séu í **eðli sínu** sambærilegar, en það sem aðgreini þær sé fyrst og fremst mismunandi tímaskali, þ.e. hversu hratt endurnýjun þeirra gerist. Eins og við vitum þá berst sólarokan til jarðar með hraða ljóssins, en varmaleiðni úr iðrum jarðar er ofurhæg. Munurinn á umræddum orkulindum er því ekki í grunneðli þeirra heldur í því hversu hratt þær endurnýjast. Er því ekki rétt að flokka þær frekar eftir því hversu hratt þær endurnýjast en sem annað hvort endurnýjanlegar eða óendurnýjanlegar?

Því geri ég að tillögu minni að jarðhitinn verði flokkaður sem **hægt endurnýjanleg orkulind**, eða **ofurhægt endurnýjanleg orkulind**, eftir því hvort endurnýjunin gerist með **varmaburði** eða **varmaleiðni**. Þetta þarf að útfæra betur/nánar. Orkulind sem endurnýjast með varmageislun mætti þá kalla hratt endurnýjanlega. Á þennan hátt þarf ekki að skilgreina ákveðið rúmmál jarðhitakerfis hvers endurnýjanleika þarf að meta (sbr. umræðu á síðasta fundi) orkulindin er í eðli sínu endurnýjanleg. Aftur á móti er mögulegt að nýta jarðhitaorkuna í þessu rúmmáli hraðar en hún endurnýjast. Sama gildir í raun um allar auðlindir sem safna forða (vatnsorka, fiskistofnar, jarðhiti).

Samkvæmt ofangreindri tillögu er ekki nauðsynlegt að orkulind, eða náttúruauðlind, enurnýjist á sama tímaskala og hún er nýtt til þess að flokkast sem endurnýjanleg (sjá skrif VS). Jafnvel setlagajarðhiti og “hot dry rock” jarðhiti teljast þá endurnýjanlegir,

en reyndar ofurhægt endurnýjanlegir. Þar ræður varmaleiðni ferðinni. Í virkustu háhitakerfum er endurnýjunin aftur á móti fyrst og fremst með varmaburði. Á þessu stigi væri áhugavert að framkvæma líkanreikninga til þess að meta hve lengi jarðhitakerfi, sem hafa verið nýtt í ákveðinn tíma (og kólnað e-ð niður), væru að “jafna sig” fyrir nokkur mismunandi tilfelli (eingöngu varmaleiðni, eingöngu varmaburður og einhver blandtilfelli).

Hafa þarf í huga að til mjög langs tíma litið þá þróast jarðhitakerfin, kólna og deyja út. Þannig eru einstök kerfi ekki eilíf. En önnur jarðhitakerfi taka við af þeim sem hafa kulnað og líta má á jarðhitakerfin sem e.k. aðferð jarðskorpunnar til að kæla sig niður, hraðar en hægt væri með varmaleiðni einni saman. Orkulindirnar sem eiga upptök sín í varmageisluninni frá sólinn, þ.e. vatnsorka, vindorka o.fl. eru líka háð verulegum sveiflum í náttúrunni, sérstaklega til langs tíma litið, en einnig á mun styttri tímaskala (frá ári til árs).

GAX 5. febrúar 2001

Skilgreining

Í greininni **THE RENEWABILITY OF GEOTHERMAL ENERGY**, sem lögð var fram á WGC-2000, hef ég notað eftirfarandi skilgreiningu:

Renewable energy sources are in one way or another linked to some continuous energy processes in nature. The conditions must be such that the action of extracting energy from the natural process will not influence on the process or energy circulation in nature. Construction of a power plant in a river will not influence the rate of the precipitation, which is the source of the flow of water in the river.

A simplified description of renewability could be that the energy extracted from a resource is always replaced by additional amount of energy. Furthermore, we require that the replacement takes place on a similar time scale as that of the extraction. It could be argued that oil and gas are renewable energy sources on a geological time scale. For the human time scale this time is so long that there is a common agreement to classify oil and gas as finite energy sources.

Þarna eru tvö atriði sem ég hef gert að aðalatriðum:

- samfelldur náttúrulegur orkustraumur
- orkuvinnsla mannsins hefur ekki áhrif á náttúrulega orkustrauminn

Spurning er hvort þessi tvö atriði eru ekki nægjanleg til þess að skilgreina hugtakið endurnýjanleg orkulind.

Í greininni hef ég bætt við þriðja skilyrðinu:

- að endurnýjun orkunnar eigi sér stað á svipuðum tímaskala og vinnslan

Þetta þriðja skilyrði er að mörgu leyti veikara en hin tvö fyrri og það væri að mörgu leyti gott ef hægt er að komast hjá því að hafa það með. Ég hef hins vegar ekki fundið aðra leið en þriðja skilyrðið til að losna við olúna úr flokki endurnýjanlegra orkugjafa.

13. febrúar 2001

Valgarður Stefánsson

Nokkrar hugleiðingar um endurnýjanleika jarðhitans

(sett á blað til umræðu í vinnuhópi um málið)

Almennt um hugtakið endurnýjanleiki jarðhitans.

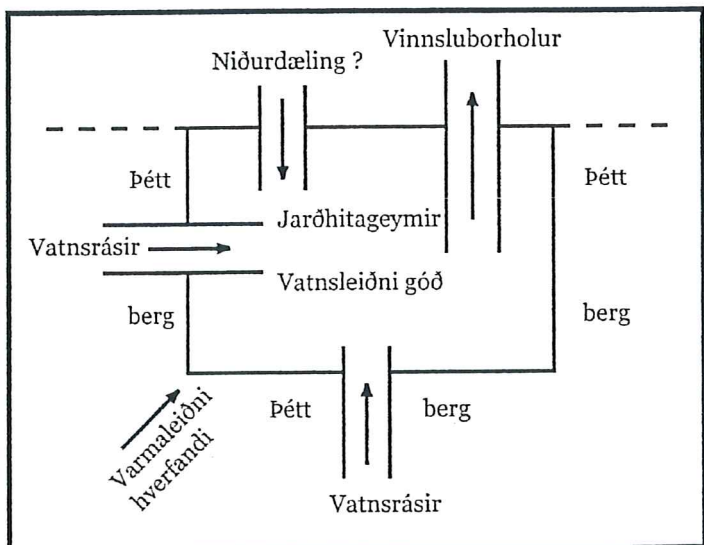
Í sumum bókum stendur að orkulindir teljist endurnýjanlegar þegar átt er við vinnslu úr meira eða minna samfelldum náttúrulegum orkustraumum (t.d. sólgeislun, vindi, öldum, fallandi vatni, hafstraumum, og flóði og fjöru) eða töku af náttúrulegum orkubirgðum sem endurnýjast jafnhvatt eða hraðar en af er tekið (t.d. lífmassa og uppistöðulónum vatnsvirkjana) (Holdren, J.P. o.fl. 1980. Environmental aspects of renewable energy sources. Ann. Rev. Energy 1980, v. 5: 241-91). Jarðhitinn er þarna hvergi nefndur enda fellur hann varla undir skilgreininguna að ofan.

Ef reyna á að yfirfæra hugtakið á jarðhitann felur það í mínum haga í sér bæði tímatilvísun og staðartilvísun. Á þessu geta menn haft mismunandi skoðanir. Ég hygg þó að flestir séu sammála um tímatilvísunina, og að orkulindin þurfi að endurnýja sig á sama tímakvarða og nýting á sér stað til að hún geti talist endurnýjanleg. Um staðartilvísunina minnst ég ekki að hafa séð mikið ritað. Það er þó staðreynd að jarðhitinn er mjög staðbundin orkulind og nýting hans, að undantekinni raforkuframleiðslu, er einnig staðbundin. Því finnst mér eðlilegt að endurnýjunin þurfi að eiga sér stað nokkurn veginn á sama stað og vinnslan til að orkulindin geti talist endurnýjanleg.

Jarðhitinn hefur þá sérstöðu meðal orkulinda að hann felur í sér tvo þætti sem hvor um sig geta fræðilega séð verið endurnýjanlegir eða ekki. Hér á ég við annars vegar vatnið sem er nauðsynlegur miðill til að flytja varmann upp til yfirborðs, og hins vegar varmaorkuna í berginu (og vatninu sem í því er). Í umræðunni held ég að gott geti verið að ræða þessa þætti hvorn um sig. Meðfylgjandi skissu er ætlað að sýna hugmyndalikanið sem ég nota hér.

Jarðhitageymirinn er sýndur sem kassi og örvarnar sýna vatnsrennsli inn í hann eða út úr honum. Umhverfis er þétt berg að öðru leyti en því að einstaka vatnsrásir koma þar fyrir og eru dregnar saman í því sem á myndinni er kallað „vatnsrásir“. Jarðhitageymirinn sjálfur einkennist

af mjög góðri vatnsleiðni, af annarri stærðargráðu en í berginu í kring. Áður en nokkur nýting hefst ríkir ákveðið hitaástand í geyminum sem getur verið með ýmsu móti en þó alltaf verulega heitara en við yfirborð jarðar. Hitinn getur verið stöðugt vaxandi niður á við, hann getur verið meira og minna konstant, eða hann getur verið viðsnúinn á köflum. Ég geri ráð fyrir að varmaflutningur inn í geyminn með leiðni sé svo líftill að hann skipti ekki máli í þessari umræðu. Til einföldunar er hér gert ráð fyrir að um einfasa kerfi sé að ræða, þ.e. að einungis vatn sé í geyminum.



Endurnýjanleiki vatnsins

Þegar vinnsla hefst úr borholum lækkar þrýstingurinn í geyminum og rennsli fer á stað inn í geyminn eftir „vatnsrásunum“. Ef borholurnar eru láttnar vera sjálfrennandi kemst á jafnvægisþrýstingur í geyminum sem ákveður rennslið úr holunum. Sé hins vegar dælt úr holunum er engan veginn gefið að jafnvægisþrýstingur náist og þá er gripið til þess að dæla affallsvatni niður í geyminn gegnum sérstakar niðurdælingarholur til að halda við þrýstingnum í geyminum.

Til að um endurnýjun vatnsins í geyminum verði að ræða þarf augljóslega útrennsli að vera jafnt og innrennsli. Þessu er fræðilega hægt að ná með niðurdælingunni ef vatnsrásirnar duga ekki til. Vert er að hafa hér í huga að vatnsleiðni bergsins í geyminum setur því takmörk hve miklu rennsli hægt er að ná gegnum

vinnsluborholur upp til yfirborðs, m.ö.o. hámarks“afl“ geymisins er takmarkað.

Í Svartsengi hafa frá upphafi verið teknir um 160 milljón rúmmetrar af vatni upp úr jarðhitageyminum, eða 0,16 km³. Ef grop-hlutfallið er 5% svarar þetta til 3,6 km³ rúmmáls, eða eins ferkílómeters niður á 3,6 km dýpi. Á Laugarnessvæðinu í Reykjavík hafa verið teknir frá upphafi um 0,2 km³ af vatni eða heldur meira en af Svartsengissvæðinu.

Endurnýjanleiki varmaorkunnar

Að því gefnu að jafnvægi ríki í vatnsbúskap geymisins má setja upp jöfnur fyrir orkubúskap hans. Ef litið er á hinar þrjár aðrennslisrásir geymisins er ljóst að niðurdælingin flytur að vatn sem er kaldara en útrennslið. Þar er því um varmatöku að ræða. Lárétt aðrennsli er væntanlega líka eitthvað kaldara en útrennslið og því er þar einnig um varmatöku að ræða. Aðrennsli úr dýpri jarðlögum er minna vitað um en getur væntanlega verið með sama eða eitthvað hærri hita en geymisinn. Þar getur því verið um viðbót við varmaorku geymisins að ræða. Summan af þessum liðum gefur síðan til kynna hvort um endurnýjun orkunnar í geyminum er að ræða að einhverju eða öllu leyti.

Það virðist nokkuð ljóst, ef þetta hugmynda-líkan af jarðhitageyminum er eitthvað nálægt réttu, að endurnýjun orkunnar í geyminum getur verið með ýmsu móti allt eftir því hve orkuríkir hinir ýmsu innrennslisstraumar í geyminn eru og hve mikið álagið er á geyminn (gegnum vinnsluborholurnar). Þegar vatnstakan er óveruleg er líklegt að um endurnýjun sé að ræða á tímakvarða vinnslunnar. Þegar vatnstakan er hins vegar þarin að nálgast hámark sjálfbærrar vinnslu, er líklegt að innstreymi orku í geyminn sé verulega minna en útstreymið gegnum vinnsluborholurnar, og því ekki um endurnýjun að ræða nema að einhverjum hluta til. Þetta þarf þó allt að prófa með líkanreikningum á hugmyndalíkaninu til að niðurstaðan teljist marktæk. Í framhaldi af því þarf að gera svipaða reikninga á flóknari geymi þar sem hluti vökvans er á gufuformi.

Jarðhitakerfið í heild

Umræðan hér að framan hefur takmarkast við ákveðinn jarðhitageymi sem orka er unnin úr. Jarðhitakerfið í heild sinni nær hins vegar yfir bæði jarðhitageyminn, varmagjafann og innrennsli kalds úrkomuvatns inn í kerfið en tvennt hið síðarnefnda er utan við þá mynd sem

hér er gefin af geyminum. Óbeint má þó segja að úrkoman sé tengd gegnum lárétta og lóðrétta innstreymið. Einnig má segja að varmagjafinn sé óbeint tengdur gegnum innstreymið að neðan. Varmagjafinn getur verið annaðhvort heitt berg jarðskorpunnar á talsverðu dýpi eða kvikuinnskot í gosbeltinu. Í báðum tilvikum er varmagjafinn mjög stór á mælikvarða líklegar hámarksvinnslu og þótt um varmanám sé að ræða er ekki víst að áhrif þess komi fram í jarðhitageyminum á tímakvarða vinnslunnar. Þessi þáttur varmabúskapar geymisins getur því verið nokkuð stöðugur á þeim tímakvarða sem um ræðir, fyrst og fremst vegna þess hve varmagjafinn er stór.

Mér sýnist vera gagnlegt í umræðunni að líta á hina tvo þætti endurnýjunarinnar hvorn í sínu lagi, þ.e. flutningsmiðilinn annars vegar og orkuinnihald hans hins vegar. Spyrja má um hvorn þáttinn fyrir sig hvort hann sé endurnýjanlegur. Í fljótu bragði sýnist mér vatnið fremur vera endurnýjanlegt upp að vissu marki en varmaorkan í jarðhitakerfinu síður.

Eitt og annað til umhugsunar

Mér finnst svolítið vanta inn í umræðuna um endurnýjanleikann eitthvað um tengsl milli stærðar orkulindarinnar og þess orkustraums sem vinnsluaðilar eru að taka úr henni á ákveðnu vinnslutímabili, t.d. 50 árum. Spyrja má t.d. hvort orkulind teljist endurnýjanleg ef engin mælanleg merki dvínunar koma fram við hámarks sjálfbæra vinnslu í t.d. 50 ár. Slík hegðun getur stafað af tvennu. Annars vegar að orkulindin endurnýji sig, en hitt er líka hugsanlegt að orklindin sé svo stór á mælikvarða vinnslunnar að einskis verði vart þótt í raun hafi verið tekið af námunni. Í síðara tilvikinu myndi ég ekki vilja tala um endurnýjanlega orkulind, heldur lýsa henni á einhvern annan hátt.

Mér sýnist af framansögðu að það sé mikil einföldun að segja jarðhitann vera endurnýjanlega orkulind án frekari skýringa. Málið er miklu flóknara en svo. Ljóst þarf að vera t.d. hvort verið er að tala um jarðhitageymi í tengslum við aðra hluta jarðhitakerfis eða jarðhitakerfið allt því að niðurstaðan getur orðið sitt hvor eftir því hvað verið er að tala um. Þá þarf einnig að tilgreina hvort verið er að leggja mikið eða lítið á geyminn (kerfið?), hámarks sjálfbært álag eða eitthvað verulega minna.

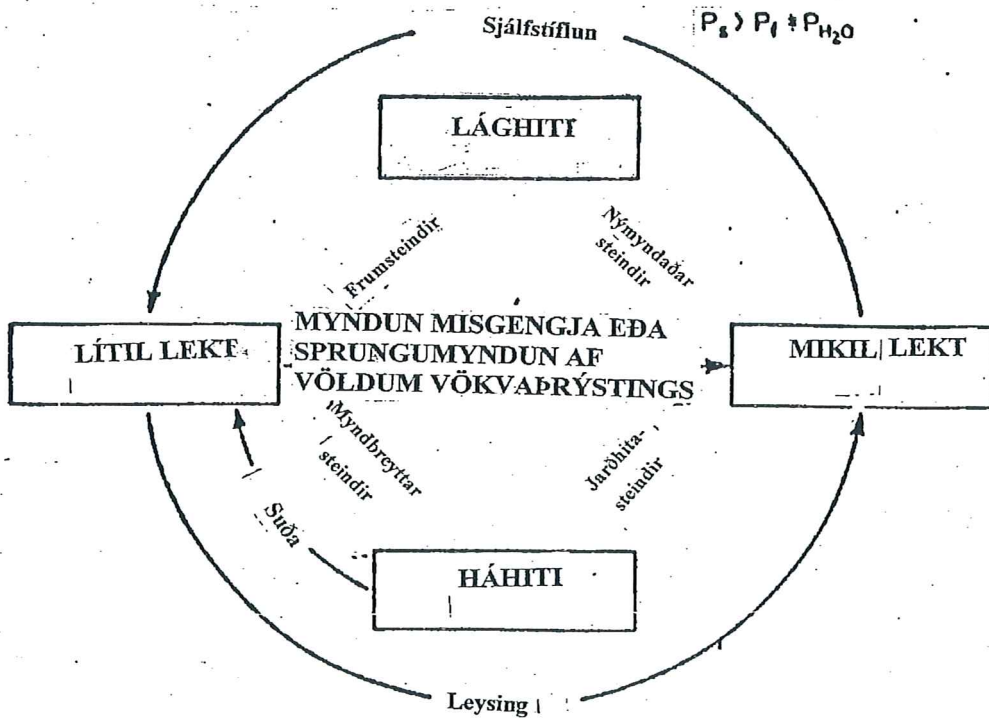
Læt þetta nægja í bili.

13. febrúar 2001. Guðmundur Pálmason

ENDURNÝJANLEIKI JARÐHITA

Sé leitað hinna hinstu raka er allt forgengilegt og ekkert endurnýjanlegt. Þó má gera ráð fyrir að t.d. vind- og sólarorka hafi verið fyrir hendi án mikilla breytinga á endurnýjanleika um langa hríð. Hversu langur sem tímabátturinn er verður að taka tillit til hans þegar endurnýjanleiki er skilgreindur. Einnig er vitað að breytingar verða á náttúrunni og hámarksorkuinnihald hinna ýmsu orkulinda færast til, veðrakerfi breytast, o.s.frv. Eigi skilgreining að vera praktísk verður því einnig að taka tillit til staðsetningar. Vatnsorka getur t.d. verið mjög háð ytri skilyrðum. Við kólnandi veðurfar (ísöld) getur hún lagst í klakabönd. Ekki er þar með sagt að hún hverfi eða sé ekki lengur endurnýjanleg heldur er hún ekki nýtanleg um stundarsakir. Með nýju hlýskeyði verður unnt að nýta þann forða sem safnast fyrir. Hafstraumakerfi færast til og breytast og sólrík svæði geta orðið að rigningsröðum. Því má segja að ýmsa varnagla þurfi við praktískar skilgreiningar á endurnýjanleika jafnvel fyrir orkulindir sem rekja má til hinnar hröðu sólargeislunar. Gera verður ráð fyrir að sólarorka og varmi í jörðu séu praktískt séð óendanlegir orkugjafar.

Jarðhitakerfi fá orkustraum sinn ekki frá sólu heldur jörðu (ekki endilega úr iðrum jarðar því að næstum 20% orkustraumsins eru ætluð úr jarðskorpu) með hinum tiltölulega hægu ferlum varmaleiðni og varmaburði. Þau eiga sitt upphaf og sinn endi og virkni þeirra er hrinubundin. Líkt og jökjar geta þau safnað í sig forða. Til glöggvunar fylgir hér mynd af hringrás jarðhitakerfis (Elders 1977).



Hringrás jarðhitakerfa. Breytingar á lekt vegna steindahvarfa og sprungumyndunar í bergi.

P_s = þrýstingur bergs; P_f = þrýstingur rennis (fluid); P_{H_2O} = Þrýstingur vatns

Lokatakmark vinnu þessa hóps er að svara spurningunni: Hve mikla jarðhitaorku er unnt að vinna á sjálfbæran hátt á Íslandi, þegar hugtakið sjálfbær nýting jarðhita hefði verið skilgreint og tengt skilgreiningu á endurnýjanleika jarðhitaorku? Því finnst mér að skilgreining á endurnýjanleika þurfi að tengjast þeirri skilgreiningu sem við höfum þegar sett fram um sjálfbæra nýtingu jarðhita. Þá þarf í raun að taka bæði staðsetningarþátt og tímabátt með í skilgreininguna. Ef vinna á orku á sjálfbæran hátt úr endurnýjanlegri orku jarðhitakerfis verður jarðhitakerfið að vera staðsett innan ákveðinna marka og orkustraumurinn sem um það fer að vera endurnýjanlegur a.m.k. á meðan sjálfbær nýting fer fram og helst nokkuð lengur. Í skilgreiningu okkar á sjálfbærri nýtingu jarðhita notuðum við orðalagið “mjög langt tímabil” um nýtingartímamann og stungum upp á að um væri að ræða 100-300 ár. Þar sem mér virðist óhjákvæmilegt að tími endurnýjanleika verði lengri sting ég upp á að orðalagið “langt tímabil (100-300 ár)” verði notað í skilgreiningu á sjálfbærri nýtingu jarðhita en orðalagið “mjög langt tímabil (t.d. 500-1000 ár)”

í skilgreiningu á endurnýjanleika jarðhitaorku. Skilgreining á endurnýjanlegri jarðhitaorku gæti þá orðið eitthvað á þessa leið:

“Orka afmarkaðs jarðhitakerfis telst endurnýjanleg ef varmáinnihald þess, Q , helst jafnt eða meira en varmáinnihald þess á ákveðnum tíma, Q_0 , yfir mjög langt tímabil (500-1000 ár).”

Heimild

Elders, W.A. 1977: Petrology as a practical tool in geothermal studies. Geoth. Resourc. Counc. Trans., 1, 85-87.

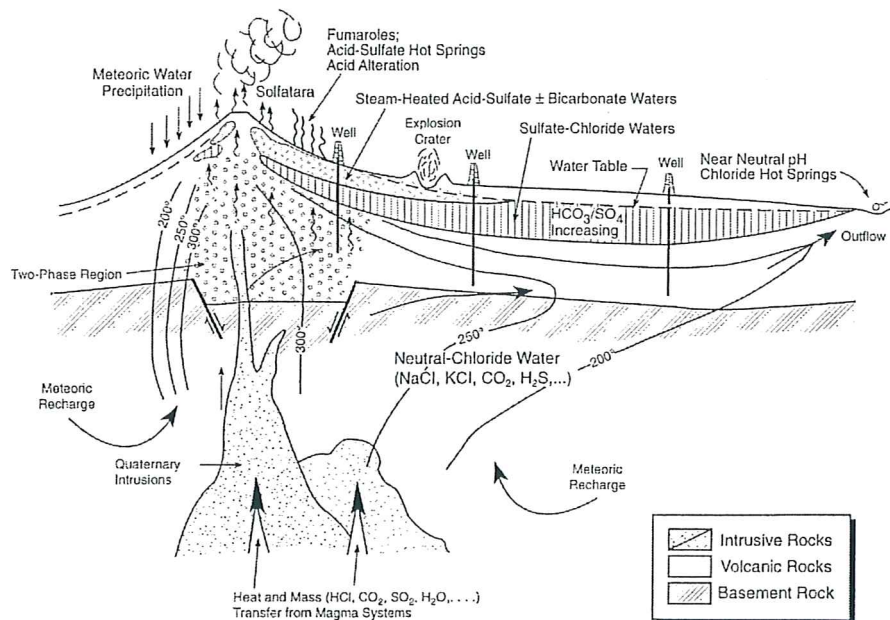
14. febrúar 2001

Halldór Ármannsson

Hugleiðingar um jarðvarmamat Endurnýjanleg orka

ENDURNÝJANLEG ORKA

Endurnýjanleg orka eins og hún er almennt skilgreind er frá uppsprettu orku, sem er í stöðugri endurnýjun, eins og lífrænn massi, sólar geislun, vindur, vatn, hiti úr iðrum jarðar, sjávarföll og kjarnorka. Þessir orkugjafar eru endurnýjanlegir eins og þeir eru hugsaðir og notaðir í dag.

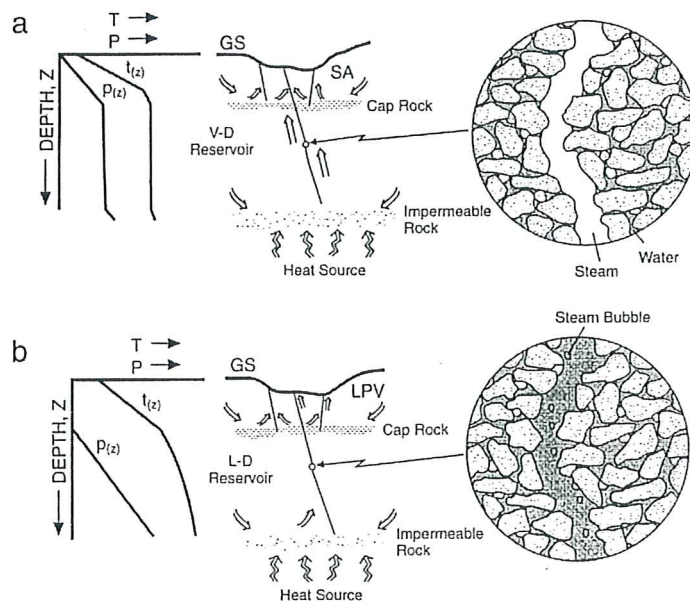


Mynd 1. Skematísk mynd af megineldstöð og uppbyggingu jarðhitakerfis

Orkugjafi jarðhitans er frá innri hita jarðar. Hitinn er í bergi og vökva á breytilegu dýpi og það má auka streymið til yfirborðs með nýtingu eins og borunum og auk þess í fjölmörgum tilfellum með hjálp dælingar. Hitinn er ýmist notaður til framleiðslu raforku eða beint eða óbeint sem varmaorka.

Orka ættuð frá hitagjafa undir yfirborði jarðar kallast jarðhiti.

Jarðhiti byrjar með kviku kílómetrum undir yfirborði jarðar, sem hitar upp hluta skorpunnar. Hitinn frá kvikunni hitar upp grunnvatnið og við það verður til jarðhitageymir (mynd 1). Vatnið hitnar og fer í sumum tilfellum yfir í gufufasa. Eðli hitagjafans, jarðhitageymisins og yfirborðsummerki, þar sem jarðhitavökvinn streymir upp, gefur til kynna hvers konar orkulind er undir niðri (mynd 2).



Mynd 2. Tvenns konar eðlisástand jarðhitakerfis.

Vitað er um nýtingu og tilveru jarðhita hér á landi og víðar frá örófi alda. Til er í skráðum heimildum að jarðhitavatn hafi verið nýtt til baða og þvotta yfir mörg hundruð ára tímabil jafnvel árpúsund. Aukin nýting (massataka) á síðustu öld hefur síðan valdið því innstreymi virðist ekki halda þeim þrýstingi sem var við upphaf nýtingar og lækkandi þrýstingur leitar eftir nýju jafnvægi. Þegar hlé er síðan á nýtingu þá hækkar þrýstingur á nýjan leik. Mörg tilbrigði eru á þessum breytingum og eru þau háð eðlisástandi viðkomandi jarðhitasvæða. Nýting getur einnig haft áhrif á efnainnihald jarðhitavökva með því að fella út uppleyst efni úr vökvanum, sem smám saman þéttir uppstreymisrásir.

Ekki er nauðsynlegt að kalla til tækni og hugvit mannsins til áhrifa á jarðhitasvæði, því vel má lesa í jarðsögunni áður en maðurinn kom til sögunnar að jarðhitasvæði kviknuðu og slokkuðu af náttúrulegum ástæðum. Þar af leiðandi er tími endurnýjanleikans alltaf afstæður. Jarðsögulega má leggja út frá því að líftími megineldstöðva, sem jafnframt eru orkugjafar jarðhitakerfa, geti verið nálægt 500 þúsund ár. Það er líklega annað tíma viðmið heldur en nú er lagt til grundvallar endurnýjanlegri orkulind. Aftur á móti gefur það til kynna mögulegan líftíma jarðhitasvæða. Frá því að orkugjafinn tendrast og þar til slokknar á honum.

Í ofnagreindum hugleiðingum er lagt til grundvallar að orkulindin sé nokkuð vel afmörkuð í tíma og rúmi. Nýtingin er þess eðlis að hún getur verið ofnýtt um stundarsakir án þess að hún tæmist heldur dofna tímabundið. Því má ráðleggja sjálfbæra nýtingu innan endurnýjanlegrar orkulindar innan vissra tímamarka til þess að viðhalda þeirri gerð nýtingar sem stofnað var til. Af því má draga þá ályktun að endurnýjanleg orkulind er háð uppsprettu orkunnar, en ekki nauðsynlega nýtingu.

Staðartilvísun

Það er nokkuð ljóst í mínum huga að nákvæm staðartilvísun gildir ekki almennt um endurnýjanlegar orkulindir, en nákvæm staðartilvísun er hins vegar einkenni á endanlegum orkulindum. Það væri hægt að hugsa sér að gera þennan mun að skilgreiningu á endanlegum og endurnýjanlegum orkulindum, en mér þætti betra að þessi munur væri bein afleiðing af þeirri skilgreiningu sem menn velja, frekar en að gera muninn að skilgreiningaratriði.

Endurnýjanlegar orkulindir

Ef við tökum aðrar endurnýjanlegar orkulindir en jarðhita, sýnist mér ljóst að nákvæm staðartilvísun gildir ekki. Ef við veitum Jökulsá á Fjöllum austur í Fljótsdal hefur vatnsorkan í Dettifossi minkað, en við höfum ekki breytt vatnsorkunni sem orkulind. Við höfum beint orkustraumnum í annan farveg, í aðra trekt. Vatnsorkan á NA-landi hefur ekki nákvæma staðartilvísun.

Á sama hátt sýnist mér ekki hægt að gefa upp nákvæma staðartilvísun fyrir vindinn og sólarorkuna.

Mér sýnist þannig að það gildi ekki að allar endurnýjanlegar orkulindir hafi nákvæma staðartilvísun. Ég veit ekki hvort það er til dæmi um endurnýjanlega orkulind sem hefur nákvæma staðartilvísun. Ég man ekki eftir að hafa rekist á slíkt dæmi.

Endanlegar orkulindir

Kol, olía og gas hefa þann eiginleika að þessar orkulindir eru á ákveðnum stað í jarðskorpunni og þær hreifast ekki til. Þessar orkulindir hafa því nákvæma staðartilvísun eins og aðrar námur.

Til er sérstök aðferðafræði til þess að meta stærð á námum og öðrum auðlindum sem hafa fasta staðartilvísun í jarðskorpunni. Oft er vitnað í svo kallað McKelvey graf sem skilgreinir hugtök eins og “reserve” og “resource”. Nýlega (1997) hafa Sameinuðu þjóðirnar beitt sér fyrir fjölbjóðlegri samþykkt um þessi efni (UNITED NATIONS INTERNATIONAL FRAMEWORK CLASSIFICATION FOR RESERVES/RESOURCES – Solid Fuels and Mineral Commodities. UN-ECE Committee on Sustainable Energy, 1997) og mér sýnist að ríki EC séu að koma sér upp svipuðum skilgreiningum (**EUROPEAN CODE FOR REPORTING OF MINERAL EXPLORATION RESULTS, MINERAL RESOURCES AND MINERAL RESERVES (THE EUROPEAN CODE)**, draft October 2000).

Í lok áttunda áratugs síðustu aldar gerðu þeir Muffler og Cataldi átak til þess að beita aðferðum námumanna á jarðhita. Árangur þeirrar vinnu var svo kölluð rúmmálsaðferð sem náði allmiklum vinnældum við mat á stærð jarðhitaauðlinda. *Mat á jarðvarma Íslands*, sem kom út 1985 byggir á þessari aðferðafræði.

Þó það komi ekki fram í umfjöllun um þessi fræði, þá er það forsenda þessarra fræða að umfjöllunaratriðið hafi nákvæma staðartilvísun. Ef fyrirbærið getur hreyfst til í jarðskorpunni fer allt í vitleysu, einfaldlega vegna þess að teorían gildir ekki um þannig fyrirbæri.

Reynslan frá Sovietríkjunum

Á árunum 1992-1995 lennti ég í því að fjalla um jarðhita á Kamtsjakka og í Georgiu. Í þeirri vinnu komst ég að því að Sovietríkin höfðu beitt McKelvey aðferðinni út í ystu æsar við mat á jarðhita. Þetta var í svo föstum skorðum að í Moskvu sat sérstök nefnd sem “úrskurðaði” hver væri vinnslugeta jarðhitasvæða allstaðar í Sovietríkjunum. Úrskurður nefndarinnar var svo hátt skrifaður í þjóðfélaginu að það var ígildi lögbrots að nefna aðra tölu um vinnslugetu jarðhitasvæðis en þá sem nefndin hafði úrskurðað um. Það var því vissum vandkvæðum háð fyrir erlendan sérfræðing að fjalla um jarðhita í þessu umhverfi.

Í sumum tilvikum tókst mér að finna út hvernig menn höfðu ákvarðað þessar opinberu tölur fyrir hin ýmsu jarðhitasvæði. Rennsli úr borholum var mjög hátt skrifuð í þessu mati, og “reserve” var yfirleitt skilgreind sem summa af rennsli úr öllum borholum á svæðinu. Farið var með rennsli úr borholu sem fasta stærð (sjálfrennsli) og ekki var fyrir hendi sá möguleiki að rennslið mundi breytast með tíma (vegna niðurdráttar) eða að hægt væri að breyta rennslinu t.d. með dælingu. Það kom líka fram í gögnunum að rennsli úr hverri holu var yfirleitt mælt þegar allar aðrar holur á svæðinu voru lokaðar. Þessar aðstæður höfðu m.a. þær afleiðingar að vinnslugeta jarðhitasvæða stóð í beinu hlutfalli við þann fjölda borhola sem búið var að bora á viðkomandi jarðhitasvæði. Ég átti alltaf erfitt með að skilja af hverju menn boruðu á milli 80 og 90 holur á Mutnovski svæðinu áður en menn fóru að huga að nýtingu þar, en e.t.v. var þetta “eðlilegur” framgangsmáti í stjórnkerfi sem skilgreindi vinnslugetu í beinu hlutfalli við fjölda boraðra hola á svæðinu.

Það er rétt að geta þess að meðhöndlun gagnanna í sovetska kerfinu var í öllum tilvikum (sem ég skoðaði) samvisskusamlega unnin “eftir bókinni” þ.e. þeim aðferðum sem notaðar eru þegar stærð náamu er ákvörðuð. Hver borhola hefur nákvæma staðartilvísun og aðferðarfræðin gerir ráð fyrir að hægt sé að nota einfalda algebraíska samlagningu til að meta heildarrennsli úr tveim borholum.

Ég hafði möguleika á að ræða þessi mál lítillega við jarðhitamenn í Georgiu 1995, en ég er hræddur um að þeir hafi ekki skilið alveg af hverju mér líkaði ekki við þá aðferð sem hafði verið notuð þar. Hins vegar voru þeir orðnir vanir því að vesturlandabúar væru að setja út á þær aðferðir sem voru notaðar í Sovietríkjunum sálugu og þeir hafa kanski tekið aðfinnslur mínar sem hluta af því nöldri.

UN ECE

Þegar UN-ECE var að undirbúa skilgreiningu á reserve/resource var ég í bréfasambandi við formann þeirrar nefndar sem fjallaði um þessi mál. Ég hafði á þessum tíma áhuga á að koma jarðhita fyrir í þessarri skilgreiningarvinnu, og ég fékk í hendur viss vinnugögn sem nefndin hafði til umfjöllunar. Ég velti þessum málum nokkuð fyrir mér á þessum tíma, en komst svo að þeirri niðurstöðu að ekki væri hægt að koma jarðhitinum fyrir í þessu skilgreiningarferli sem nefndin væri að vinna með “vegna þess að jarðhitinn væri hreifanlegur í jarðskorpunni”. Í rauninni var ég þá að halda því fram að jarðhitinn hefði ekki nákvæma staðartilvísun, þó svo að það sé fyrst nú sem ég geri mér ljóst það sjónarhorn á málinu.

Ég tilkynnti nefndarformanni þessa niðurstöðu mína og málinu var þar með lokið. Hins vegar er ég enþá á mailing list hjá þeim í Gefn og fæ tilkynningar um fundi sem Committe on

Sustainable Energy heldur árlega. OS hefur hins vegar ekki séð ástæðu til að taka þátt í því samstarfi.

Eftir á að hyggja geri ég ráð fyrir að reynsla mín frá Mutnovski og Georgiu hafi haft mikil áhrif á afstöðu mína í þessu máli.

Endurnýjanleikinn hjá Muffler og Cataldi

Þó Muffler og Cataldi geri sér fyllilega grein fyrir því að aðferðarfræði þeirra fjallar eingöngu um varma sem er geymdur í berginu hafa þeir sérstakan kafla *HEAT RESUPPLY TO GEOTHERMAL SYSTEMS* um þá “truflun” sem verður við það að varmi streymir inn í rúmmálið sem notað er við jarðvarmamatið.

Þeir félagar greina á milli “resupply” og “recharge” á þann hátt að recharge eigi aðeins við innstreymi af vatni (heitu eða köldu) en að resupply taki til innstreymis af varma inn í rúmmálið. Resupply getur átt sér stað bæði með varmaleiðni og recharge segja þeir Muffler og Cataldi.

Muffler og Cataldi skoða nokkur dæmi (módel) sem hafa það markmið að fá fram hvaða aðstæður þurfi að vera fyrir hendi til þess að endurnýjanleikinn (resupply) hafi merkjanleg áhrif á niðurstöður rúmmálsreikninganna, þ.e. að endurnýjanleikinn (resupply) hafi truflandi áhrif á rúmmálsaðferðina. Þeir gefa sér þann þröskuld að þessi áhrif séu merkjanleg ef innkominn varmi á tímabilinu 10-100 ár er 10% eða meiri en augnabliksgildið fyrir varmann í rúmmálinu. Þeir skoða svo eftirfarandi dæmi:

- a) Resupply from regional heat flow
- b) Resupply from a subjacent intrusion
- c) Concentration of heat by fluid transport from surrounding rocks

Í öllum þessum tilvikum reikna þeir fram aðstæður sem geta haft truflandi áhrif á rúmmálsaðferðina samkvæmt þeirra skilgreiningu á “truflun”. Í tilviki a) þarf flöturinn sem safnar upp varmastraumnum að vera 10-20 sinnum stærri en botnflötur jarðhitageymisins til þess að varmainnstreymið hafi þröskuláhrif á jarðhitageyminn á 25-50 ára tímabili. Kvikuinnskot má ekki vera meira en 500 m undir jarðhitageymi til þess að hafa áhrif ef toppflötur innskotsins hefur sama flatarmál og botnflötur jarðhitageymisins. Ef toppflötur innskotsins er hins vegar 5 sinnum stærri en botnflötur jarðhitageymisins hefur innskotið áhrif þó það sé 2-3 km neðan við botn jarðhitageymisins. Mestri truflun veldur þó tilvik c) í umfjöllun þeirra félaga. Náttúrulegt aðstreymi úr grannbergi með sama rúmmál og jarðhitageymirinn hefur truflandi áhrif, þó að endurheimtustuðull (recovery factor) í grannberginu sé tíu sinnum lægri en endurheimtustuðull jarðhitageymisins.

Eina tilvikið sem þeir Muffler og Cataldi telja að truflist ekki af endurnýjanleikanum eru gufusvæði (vapor dominated fields) eins og Larderello og The Geysers. Ekki eru lagðir fram beinir reikningar því til stuðnings, heldur vitnað í tvær greinar eftir Nathenson frá 1975. (Prithett gerði hermiteikninga 1998 sem styðja þessa ályktun).

Niðurstöður þeirra Muffler og Cataldi um “heat resupply” eru athyglisverðar, en þeir segja orðrétt: “The simple models discussed above suggest that resupply of heat to hot-water systems of high natural discharge should not be neglected (ie., that resupply heat can be

greater than 10% of the recoverable heat calculated from storage alone).”

Sporgöngumennirnir virðast hafa gleymt þessum varnaðarorðum frumkvöðlanna.

25. febrúar 2001

Valgarður Stefánsson

ENDURNÝJANLEIKI JARÐHITANS SEM ORKULINDAR

Nokkrir punktar í lok febrúar 2001

Í framhaldi af mjög líflegum umræðum um endurnýjanleika jarðhitans á síðustu fundum langar mig að reyna að draga fram meginatriðin í því sem fram hefur komið (einkum því sem lagt hefur verið fram skriflega). Það mun vonandi auðvelda okkur að finna einhvern ásættanlegan “flöt á málinu”.

Valgarður leggur fram þá spurningu hvort (1) það að orkulind sé hluti af samfelldum náttúrulegum orkustraumi, og (2) það að orkuvinnslan hafi ekki áhrif á orkustrauminn, nægi ekki til að skilgreina hugtakið endurnýjanleg orkulind. Hann bætir þó við að e.t.v. þurfi að bæta við því skilyrði (3) að endurnýjunin eigi sér stað á svipuðum tímaskala og orkuvinnslan.

Guðmundur hefur bent á að til grundvallar umræðunni þurfi að leggja viðeigandi skilgreiningu á hugtakinu endurnýjanleg orkulind, en að oft sé notuð sú skilgreining að orkulind teljist endurnýjanleg ef vinnslan er úr meira eða minna samfelldum orkustraumi. Hann vill halda því fram að til þess að jarðhitinn geti talist endurnýjanlegur verði hann að endurnýjast (1) á sama tímakvarða og nýtingin á sér stað og jafnframt (2) á nokkurn veginn sama stað. Þá bendir Guðmundur á þá sérstöðu jarðhitans sem orkulindar að hann feli í sér tvo þætti, þ.e. flutningsmiðilinn (vatnið) og varmaorkuna. Það þýði að endurnýjanleiki þessara tveggja þátta geti í raun verið mismunandi. Væntanlega megi líta svo á að “vatns-hlutinn” sé endurnýjanlegur, en síður orkuhlutinn (ath. varmanám). Þá bendir Guðmundur á að endurnýjanleikinn geti verið háður því hve mikið álagið sé á viðkomandi kerfi (lítil/mikil vinnsla).

Í sínum skrifum heldur **Guðni** því fram að ekki sé munur á grunneðli þeirra orkulinda sem fá orku sína úr varmaorkustraum frá sólinni eða úr iðrum jarðar. Þær séu allar endurnýjanlegar. Munurinn felist fyrst og fremst í hraða endurnýjunarinnar. Hann leggur til flokkun endurnýjanlegra orkulinda í hægt- og ofurhægt endurnýjanlegar, eftir því hvort endurnýjunin verði með varmaburði eða varmaleiðni.

Haldór telur óhjákvæmilegt að tengja skilgreininguna á endurnýjanleika fyrri skilgreiningu okkar á sjálfbærni. Þar sé miðað við ákveðinn nýtingartíma (og nýtingarstað) og það þurfi líka að gera fyrir endurnýjanleikann. Þar leggur hann til tímaskalann 500 – 1000 ár.

Ásgrímur telur að í umfjöllun um endurnýjanleikann þurfi að hafa í huga að líftími jarðhitakerfa geti verið af stærðagráðunni 500 þúsund ár, þ.e. margfalt lengri en tímaskali mannegra athafna. Nýting jarðhitans sé í versta falli þannig að orkulindin sé ofnýtt um stundarsakir.

Mér sýnast nokkur atriði standa upp úr:

- 1) Endurnýjanleg orkulind eða óendurnýjanleg. Ég held að engum í vinnuhópnum hugnist að flokka jarðhitann sem óendurnýjanlega orkulind, hvernig

sem á málin er litið. Þá er hinn kosturinn að flokka hann sem endurnýjanlega orkulind, en með því að hengja frekari skýringar á væntanlega skilgreiningu. Skv. umfjöllun Guðmundar mætti segja að jarðhitinn væri að hluta endurnýjanleg, eða *hlutendurnýjanleg*, orkulind (t.d. að ákveðið jarðhitakerfi væri 60% endurnýjanleg orkulind, en 40% óendurnýjanleg, hvernig sem það svo sem væri metið). Tillaga Guðna gerir ráð fyrir því að afgreiða málið með flokkun í hraðan, hægan og ofurhægan endurnýjanleika.

- 2) **Tenging við vinnslu.** Ég vil enn forðast að tengja endurnýjanleikan vinnslunni, sbr. það sem við gengum útfrá í upphafi. Ástæðan er meðal annars sú að við getum séð fyrir okkur sama jarðhitakerfið, annars vegar við svo litla vinnslu að orkan nái að endurnýjast, en hins vegar við mikið álag í stuttan tíma þannig að það taki orkuna miklu lengri tíma að endurnýjast. Sama jarðhitakerfi getur ekki verið endurnýjanlegt í fyrra tilfellinu en óendurnýjanlegt í því seinna. Sama gildir í raun um ýmsar aðrar endurnýjanlegar auðlindir, þ.á.m. fiskinn í sjónum, vatnsorku í lónum og lífmassa.
- 3) **Tímaskalinn.** Ég held að flestum finnist eðlilegt að miða við einhvern skynsamlegan tímaskala í skilgreiningu á endurnýjanleika. En eigum við þá við að orkan sem tekin sé endurnýjast jafnóðum, eða á föstum tímaskala óháðum tímaskala vinnslunnar? Þetta má komast í kringum með því að segja að endurnýjunin verði að gerast á tímaskala mannlegra athafna (100 - 300 ár), en ekki á tímaskala vinnslunnar (1 - 30 ár).
- 4) **Líkanreikningar.** Ég held að við séum komnir á það stig að framkvæma þurfi einhverja líkanreikninga til þess að kafa dýpra í vandamálið. T.d. til þess að meta hve stór hluti orku sem við vinnum úr jarðhitakerfi á 100 - 300 ára tímabili kemur úr samfellda orkustraumnum og hve stór hluti úr varmanámi innan kerfisins. Niðurstöðurnar verða eflaust jafn ólíkar og forsendurnar (minni t.d. á reikninga Pritcetts).
- 5) **Fleiri sundurlausir punktar.** Getum við þá kannske sagt að jarðhitinn sé í eðli sínu endurnýjanleg orkulind, sem megi þó ekki ofgera, þ.e. álagið má ekki til lengdar vera umfram *sjálfbæra nýtingu* (þetta á líka við fiskistofna og lífmassa)? Ég held við getum að mestu leyti verið sammála því að jarðhitinn sé endurnýjanlegur sem náttúrufyrirbæri! Er endurnýjanleiki hans sem orkulindar þá takmarkaðri? Þ.e.a.s. vegna þeirra takmarkana í tíma og rúmi sem orkuvinnslu eru settar.

ENDURNÝJANLEIKI JARÐHITANS SEM ORKULINDAR

Vísir að skilgreiningu

Hér að neðan set ég fram vísi að skilgreiningu B (VS á skilgreiningu A) á því hvað felist í endurnýjanleika jarðhitans. Þið takið viljann fyrir verkið:

Jarðhiti sem orkulind flokkast með öðrum endurnýjanlegum auðlindum, enda viðhaldið af samfelldum náttúrulegum orkustraumi sem jarðhitaorkuvinnsla hefur ekki áhrif á. Jarðhitinn er þó tvíþættur, þ.e. hann samanstendur af orkustraumi (með varmaburði og varmaleiðni) og varmaforða. Endurnýjun þessara tveggja þátta er mjög mismunandi þar sem orkustraumurinn er stöðugur (endurnýjast jafnóðum) en varmaforðinn endurnýjast tiltölulega hægt. Vægi þessara tveggja þátta í jarðhitaorkuvinnslu er bæði háð jarðhitakerfi og vinnsluálagi. Ef orkuvinnsla úr jarðhitakerfi er innan sjálfbærra marka, á tímaskala mannglegra athafna (100 – 300 ár), má reikna með að tiltölulega hægt sé gengið á orkuforðann og að endurnýjun jarðhitaorkunnar í kerfinu haldist nokkurn veginn í hendur við vinnsluna. Reyna má að meta vægi hinna mismunandi þátta fyrir sjálfbæra vinnslu úr einstökum jarðhitakerfum.

GAX 28. febrúar 2001

Eitt og annað úr ritum Gunnars Böðvarssonar sem að gagni má koma í umræðu um endurnýjanleika jarðhitans.

Mér til upprifjunar og vonandi einhverjum fleirum til fróðleiks hef ég farið lauslega í gegnum ýmis rit Gunnars í fórum mínum til að leita sérstaklega að efni sem fróðlegt væri fyrir hópinn að rifja upp. Eitthvað fleira sem ekki tengist verkefni okkar beint hefur slæðst með en þið lítið framhjá því. Tilvitnanir eru í tímaröð.

Böðvarsson, G., 1951. Skýrsla um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni, árin 1947-1949. Fyrri hluti. Tímarit V.F.Í., v.36; 1-48.

“Hitapenslustraumar (convection) hljóta að vera orsök jarðvatnsstraumanna, og nægir hér að vísa til hinnar öru lækunar núningstuðuls (viscosity) og eðlisþunga vatns með hækkandi hita” (bls. 6).

“Ein mikilvægasta niðurstaða þessara athugana er ... sú staðreynd að varmainsihald bergsins getur haft mikla hagnýta þýðingu ef skilyrði eru hagstæð” (bls. 23).

“Hér er tekinn upp sá háttur að nota orðin krónubor fyrir fræsibor og meitilbor fyrir höggbor. Þau orð, sem hingað til hafa verið notuð, þ.e. fræsibor og höggbor eru að ýmsu leyti óheppileg. Kemur þetta m.a. fram í því, að hin svokallaða fræsikróna (roller bit) gerir mikið meira af því að höggva bergið en skafa það, og mætti því með vissum rétti telja þá bora, sem vinna með þessum krónum til höggbora. Þessi tegund borkróna verður því hér nefnd keflíkróna, en orðið fræsikróna notað yfir allar sköfukrónur (drag bits) m.a. tannakrónur.” (bls. 39).

Böðvarsson, G., 1961. Physical characteristics of natural heat resources in Iceland. Jökull, v.11; 29-38. (248).

Athuga betur.

Böðvarsson, G., 1962. An appraisal of the potentialities of geothermal resources in Iceland. Sixth World Power Conference, Melbourne, 20-27 Oct. 1962. (Conference proof); 1-15. (70).

“The heat that can be recovered in a thermal area is ... the sum of a certain power, represented by the quasi-stationary heat discharge, and a fixed amount of stored heat. The latter factor is of main importance.” (bls. 6). Annars staðar lætur Gunnar þess getið að rennsli úr einni holu á háhitasvæði geti verið eins mikið og allur náttúrulegur varmastraumur til yfirborðs á svæðinu í heild.

“It is probable that the integrated power which can be extracted from a thermal area is limited mainly by the available flow of ground water which is necessary for the extraction of the stored heat.” (bls. 6).

Böðvarsson, G., 1963. Jarðvarmavinnsla á Reykjavíkursvæðinu. Handrit; 12 bls. (2226).

Í þessari fyrstu greinargerð af fjórum til Hitaveitu Reykjavíkur bendir Gunnar á þá athyglisverðu athugun að grunnvatnskerfi í jarðskorpunni á Íslandi virðast vera tvö. Annars

vegar hið kalda grunnvatnskerfi í yfirborðslögum og hins vegar hið dýpra heitavatnskerfi. Þessi kerfi eru að verulegu leyti aðskilin. Telur hann myndun neðra kerfisins stafa af efnisflutningi með heita vatninu. Það leysir upp berg dýpra við hærri hita og fellir úr efni í glufum við lægri hita nær yfirborði. Með þessu telur hann vera skýrðan yfirþrýsting (artesiskan þrýsting) laugarvatns í borholum.

Gunnar ræðir hér einnig varmann í bergi á Reykjavíkursvæðinu í ljósi vinnslunnar, og kemst að þeirri niðurstöðu að varmi sé fyrir hendi í ríkum mæli. Einnig að vinnsla varmaberans, þ.e. vatnsins, sé meira vandamál en sjálf varmavinnslan.

Böðvarsson, G., 1964. Jarðvarmavinnsla í Reykjavík. Handrit, Vermir sf; 15 bls. (2227).

Hér ræðir Gunnar áfram um tvískiptingu grunnvatnskerfisins í jarðskorpunni. Telur hann lítið samband milli þessara kerfa nema á stöðum þar sem djúpar sprungur ná niður í gegnum bæði. Sem dæmi tekur hann sigspilduna frá Krýsuvík norður að Kaldárseli. Annað dæmi er væntanlega sigspildan við Þingvelli.

“Orka jarðhitasvæða byggist á rúmmáli heits bergs, sem vatn getur leikið um. Afl þeirra er hins vegar háð tiltækilegu vatnsrennsli, en rennslið fer eftir leka bergsins.” (bls. 9).

Böðvarsson, G., 1964. Jarðvarmavinnsla í Reykjavík III. Handrit; 22 bls. (2228).

Í þessari þriðju greinargerð heldur Gunnar áfram að ræða það grundvallaratriði jarðvarmavinnslunnar að orka jarðhitasvæða byggðist á nýtanlegu rúmmáli heits bergs, en afl þeirra væri háð tiltæku vatnsrennsli, og hugsanlegum möguleikum á skammhlaupi kalds vatns úr efri berglögum. Hann ræðir nokkuð tveggja geyma líkan, þ.e. geymi (1) sem er undir sjálfu jarðhitasvæðinu og næsta nágrenni þess, og geymi (2) sem hann kallar bakgeymi eða bakgrunnsgeymi svæðisins. Leiðir Gunnar út jöfnur til að lýsa hegðun slíkra kerfa.

Böðvarsson, G., 1965. Jarðvarmavinnsla í Reykjavík, greinargerð IV. Handrit; 22 bls. (2229).

Aðallega fræðilegir reikningar á hnykluðum kerfum.

Böðvarsson, G., 1975. Estimates of the geothermal resources of Iceland. (handrit); 11 pp. (334).

Í þessari handritsgrein ræðir Gunnar um aðferðir við jarðvarmamát í svipuðum dúr og áður og endurskoðar fyrri tölur sínar í ljósi nýrrar þekkingar. Hann áætlaði annars vegar vinnanlega raforku úr rúmmálseiningu í geymi undir háhitasvæði, og hins vegar vinnanlega varmaorku úr rúmmálseiningu heits bergs á lágðhitasvæði. Síðan áætlaði hann heildarstærð geymanna og þar með þá orku sem úr þeim mætti vinna. Hann lagði áherslu á að afl svæðanna væri takmarkað af vatnsaðgengi og rennsliseiginleikum bergsins. Hann notaði hugtak sem jafngildir því sem við köllum sjálfbæra vinnslu, kallaði það “maximum power that can be maintained” og var þá með í huga tímakvarða mannlegra athafna.

Böðvarsson, G., 1982. Terrestrial energy currents and transfer in Iceland. ; 271-282. (2760).

Í þessari grein gerir Gunnar úttekt á heildarvarmastraumum gegnum jarðskorpu Íslands og tekur saman niðurstöður sínar í línuriti sem sýnir stærð hinna ýmsu tegunda varmastreymisins. Hér er um að ræða meðaltöl í tíma og summur í rúmi. Ástæða er til að nefna að ein forsenda Gunnars hefur ekki staðist tímans tönn (bls. 275). Hann notar birta niðurstöðu um orkuústreymi frá Grímsvötnum og flokkar það allt sem jarðhitaústreymi. Nýrri niðurstöður Magnúsar Tuma og Helga Björnssonar sýna hins vegar að verulegur hluti þessa útstreymis tilheyrir kólnun kviku á botni Grímsvatna og tilheyrir því orkuflutningi með eldgosum. Gunnar ofmetur því orkuústreymi háhitasvæðisins í Grímsvötnum og þar með heildina fyrir háhitasvæði í þessari grein.

Margt forvitnilegt kemur fram í þessari grein. Gunnar ræðir varmaskipti milli vatns og bergs og reiknar nokkur einföld dæmi þar að lútandi. Hann kemst að þeirri niðurstöðu (bls. 279) að “the rock/water heat transfer is a rather local process that is unlikely to interfere with the overall subsurface temperature field. Excepting a few local anomalies such as in the region around Reykjavik in the South-west, it would thus appear that the temperature gradient data of Palmason and Saemundsson (1979) give a fairly representative picture of the subsurface conduction temperature field in the crust of Iceland”. Þetta er nokkuð athyglisverð niðurstaða með tilliti til þess að jarðskjálftafræðingar sem rannsaka jarðskorpuna með seismiskum mælingum telja sig geta ályktað, án þess að þekkja umfjöllun Gunnars, að jarðskorpan sé tiltölulega “köld” og afskrifa hitastigulsmælingar á þeirri forsendu að hitaástandið sé svo truflað af vatnsrennsli að ekki sé að marka þær.

Böðvarsson, G., 1986. Afl og orka jarðhitakerfis Nesjavalla. Greinargerð til Hitaveitu Reykjavíkur, sept.1986; 25 bls.. (1629).

Þessi greinargerð er m.a. umsögn um hermun Nesjavallasvæðisins eftir GSB og félaga. Ekki verður farið nánar út í það hér, heldur nefnt hugtakið djúpgeymir sem Gunnar notar þarna og ég hef ekki séð áður með þessu nafni. Áður hefur hann notað hugtakið bakgeymir eða bakgrunnsgeymir.

Böðvarsson, G., 1987. Vinnslulíkön fyrir jarðhitakerfi Nesjavalla. Skýrsla til Hitaveitu Reykjavíkur; 33 bls. (1736).

Fyrri hluti þessarar skýrslu er almenn umfjöllun um jarðhitakerfi og jarðhitageyma. Hann er vel þess virði að lesa hann vandlega. Margt ef ekki flest sem þar kemur fram er úr eldri ritgerðum Gunnars. Ekki er hér tími til að rekja það nánar. Síðari hlutinn er svo áframhaldandi umfjöllun um Nesjavelli sérstaklega, í framhaldi af fyrri skýrslum þar um.

28. febrúar 2001
Guðmundur Pálmason

Endurnýjanleiki jarðhitans sem orkulindar

Drög að skilgreiningu

Jarðhitinn hefur þá sérstöðu meðal orkulinda að hann er að hluta til endurnýjanlegur og að hluta til ekki. Um þetta er varla deilt. Hann fellur því strangt tekið hvorki í flokk endurnýjanlegra né óendurnýjanlegra orkulinda. Hvert hlutfallið er milli hinna tveggja hluta fer eftir aðstæðum, en almennt séð má gera ráð fyrir á núverandi þekkingarstigi að endurnýjanlegi hlutinn á vinnslusvæði sé verulega minni en sá óendurnýjanlegi. Eðlilegt sýnist mér vera að skilgreina jarðhitann þannig að hann sé **hlutendurnýjanleg orkulind**.

Þessi skilgreining hefur þann kost að vera einföld og auðskiljanleg, leggur áherslu á séreðli jarðhitans, og segir ekki meira en hægt er að standa við. Hún skilur einnig eftir svigrúm til að bæta við upplýsingum um áður nefnt hlutfall eftir því sem reynsla af vinnslu og þekking á jarðhitakerfum eykst. Hugsanlega má einnig halda því fram að hún örvi til nánari rannsókna á eðli jarðhitans með því að benda á hvar þekkingu skorti.

13. mars 2001
Guðmundur Pálmason

Endurnýjanleiki jarðhita

Nýtanleg orka úr náttúrunni getur verið í ýmsu formi, s.s. varmaorka (jarðhiti), stöðuorka (vatnsafl), hreyfiorka (vindur), rafsegulorka (sól) eða efnaorka (olía, kol, gas). Sumir þessara orkustrauma eru það kröftugir (hraðir) að hægt er að nýta þá beint, s.s vind, sól og vatn. Til að nýta varmaorkuna og efnaorkuna þarf að koma til forðamyndun. Þegar um olíu, kol eða gas er að ræða verður til ákveðinn forði á hverjum stað, þ.e. ekki er stöðugur straumur orkunnar. Þó að alltaf séu í gangi ferlar sem mynda olíu, kol og gas, þá gerist það á öðrum stað. Því er þarna um námur að ræða. Varmaorkan sem myndar jarðhitann er samfelldur (endurnýjanlegur) straumur, en það hægur að ef ekki kæmi til forðamyndun eða/og varmaburður með vatni frá stærra svæði, væri jarðhitinn ekki nýtanlegur í dag. Hann er samt að uppistöðu endurnýjanlegur, en vegna forðans og aðstreymi vatns er hægt að vinna hann hraðar tímabundið, en hann endurnýjast með varmaleiðni.

Ég vil því skilgreina jarðhita sem endurnýjanlegan, í versta falli hægt endurnýjanlegan. Gæta þarf varúðar við hvernig hann er skilgreindur þar sem ég hef orðið vör við það hjá almenningi að þar sem jarðhitinn sé endurnýjanlegur megi sóa honum. Þess vegna er mikilmægt að koma forðanum að í skilgreiningunni og að hægt sé að ofnýta auðlindina tímabundið.

HTul mars 2001