

Endurnýjanleiki jarðhita

Valgarður Stefánsson

Greinargerð VS-98-04

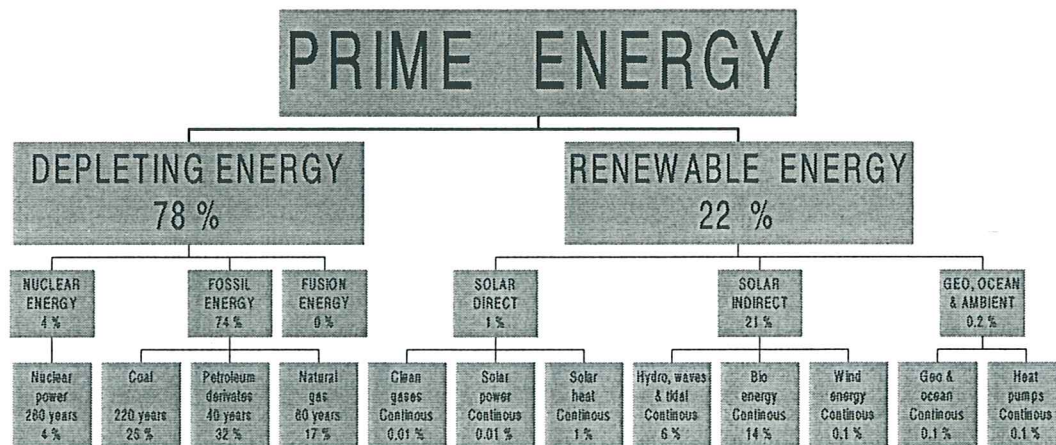


Endurnýjanleiki jarðhita

Inngangur

Alþjóðastofnanir hafa flokkað jarðhita sem endurnýjanlega orkulind. Þessi skilgreining á eðli jarðhitans hefur verið í gildi í alþjóðlegri umræðu og framkvæmd í marga áratugi og ég minnst þess ekki að hafa heyrt efasemdir um þessa skilgreiningu utan Íslands. Hér á landi hefur stundum verið fullyrt að jarðhitinn sé ekki eins endurnýjanleg orkulind og vatnsorkan og hefur jarðhitavinnslu m.a.s. verið líkt við námavinnslu. Ekki verður hér reynt að skýra af hverju þessi misskilningur um eðli jarðhitans hefur náð að skjóta rötum hér á Íslandi, en vera má að aðferðafræði við mat á jarðhitaorku hafi villt mönnum sýn.

Á mynd 1 er sýnd sú skipting á orkulindum sem ISO (International Standards Organization) notar við flokkun orkulinda. Á myndinni kemur fram að notkun endurnýjanlegra orkulinda í heiminum er nú um 22% en notkun endanlegra orkulinda 78%. Í reitum endanlegru orkulindanna er einnig gefið í árum hvað þekktar birgðir af viðkomandi orkulindum muni endast miðað við núverandi notkun.



Mynd 1.

Þó margt hafi verið rætt og ritað um íslenskan jarðhita minnst ég þess ekki að hafa séð sérstaka umfjöllun um endurnýjanleika hans. Flestir virðast ganga út frá því sem almennum sannindum að jarðhitinn sé endurnýjanleg orkulind þannig að ekki þurfi að ræða það mál frekar. Það er t.d. eftirtektarvert að í grein GB frá 1982, þar sem eingöngu er fjallað um jarðhitann sem *orkustrau*, er þess í raun hvergi getið að jarðhitinn sé

endurnýjanleg orkulind. Þessi grein (GB, 1982) er þó trúlega sú jarðhitagrein sem sýnir best að jarðhitinn er endurnýjanleg orkulind.

Ég mun hér reyna að draga fram atriði sem mér finnst að ættu að skýra þær aðstæður í náttúrunni sem leiða til þess að jarðhitinn er flokkaður sem endurnýjanleg orkulind. Meðal annars mun ég fjalla um þær hliðstæður í eðli vatnsorku og jarðhita sem sýna það að ef önnur orkulindin er endurnýjanleg, þá er hin það líka

Skilgreining hugtaka

Tvö hugtök, *endurnýjanlegur* og *sjálfbær* skipta máli í þessari umræðu. Þar sem ég minnst þess ekki að hafa séð almennt viðurkennda skilgreiningu á þessum hugtökum mun ég byrja á að gera grein fyrir þeim skilningi sem ég hef lagt í þau.

Hugtökin *endurnýjanlegur* og *sjálfbær* eru alls ekki sambærileg. *Endurnýjanlegur* lýsir eðli auðlindarinnar (til aðgreiningar frá endanlegum auðlindum), en *sjálfbær* lýsir því hvernig nýtingin fer fram. Ef við lítum t.d. á þorskinn þá er hann endurnýjanleg auðlind, en það er bæði hægt að haga nýtingunni (veiðum) þannig að nýtingin sé sjálfbær og að nýtingin sé ekki sjálfbær (ofveiði).

Samsvarandi dæmi um orkuauðlindir liggur ekki eins ljóst fyrir, en þó má vera að nýtingin á Geysers jarðhitasvæðinu í Bandaríkjunum sé sambærileg við þorskinn. Á sínum tíma voru reistar þar jarðhitavirkjanir sem höfðu samtals um 2000 MW afl til raforkuvinnslu. Reynslan af því að keyra þessar virkjanir á fullu í nokkur ár sýndi að jarðhitakerfið gat ekki staðið undir svo mikilli vinnslu. Nú eru þar í gangi um 1500 MW. Forðafræðilegar athuganir benda til að sjálfbær nýting jarðhitakerfisins (þ.e. jöfn nýting til langs tíma) sé um 1000 MW. Í þessu tilviki hefur nýtingin ekki beinlínis skemmt auðlindina (eins og yfirleitt er afleiðing ofnýtingar lífrænna auðlinda), en það eru takmörk fyrir því hvað auðlindin getur gefið af sér ef nýtingin er sjálfbær, þ.e. að haldið sé jafnri nýtingu í langan tíma.

Af þessum dæmum dreg ég þá ályktun að til þess að hægt sé að tala um sjálfbæra nýtingu auðlindar verði auðlindin að vera endurnýjanleg. Hins vegar sýnist mér að hagfræðingar útiloki ekki notkun endanlegra orkulinda innan ramma sjálfbærrar þróunar. Ekki verður farið inn á þá braut hér.

Eins og áður er sagt finnst mér að hugtakið endurnýjanlegur lýsi eiginleika, en að hugtakið sjálfbær lýsi aðgerð. Mér finnst því eðlilegt að tala um sjálfbæra orkunýtingu, en mér finnst ekki hægt að tala um sjálfbæra orkulind. Á sama hátt finnst mér eðlilegt að tala um endurnýjanlega orkulind, en að það sé meiningarleysa að tala um endurnýjanlega orkunýtingu. Eftir að hafa hlustað á umræður á 17. ráðstefnu WEC, verð ég þó að játa að mismunandi skilgreiningar virðast koma fram í umræðunni um þessi mál.

Sjálfbær aðgerð þýðir í mínum huga aðgerð þar sem jafnvægi ræður. Tekjur og gjöld þurfa að standast á, ekki er hægt að taka meira út úr kerfinu en það sem kemur inn í kerfið o.s.frv. Til þess að hægt sé að tala um sjálfbæra orkuvinnslu finnst mér það augljóst að orkulindin verði að vera endurnýjanleg, þ.e. að orkuaðstreymið inn í kerfið verði að vera a.m.k. jafn mikið og sú orka sem unnin er úr kerfinu.

Endurnýjanlegar orkulindir tengjast einhverju samfelldu orkuferli í náttúrunni. Aðstæður þurfa að vera þannig að orkuvinnslan sem slík hafi ekki áhrif á náttúrulega orkuferlið. Vinnsla vatnsorku hefur t.d. ekki áhrif á úrkomuna sem fellur á landið. Í flestum tilvikum má búast við að sú orka sem hægt er að vinna á sjálfbæran hátt úr náttúrulega orkuferlinu sé bara lítil hluti þess náttúrulega orkuflutnings sem á sér stað í kerfinu sem um ræðir.

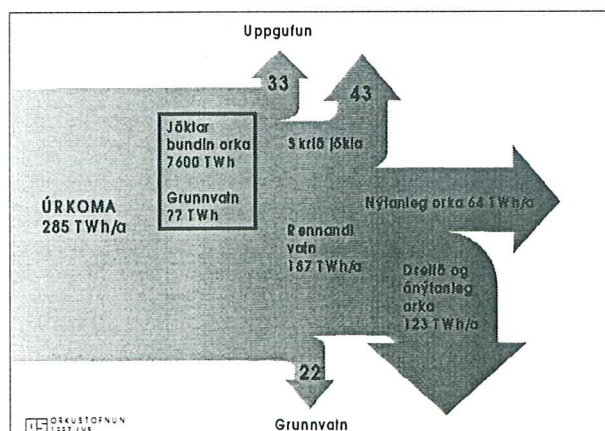
Einföld skýring á endurnýjanleika orkulindar er sú að orkulindin hafi þá eiginleika að það bætist alltaf við orka í stað þeirrar sem burt er tekin. Þessi tilfærsla á “nýrri” orku inn í orkukerfið verður einnig að fara fram á tímaskala sem er sambærilegur við tímaskala nýtingarinnar. Strangt tiltekið má segja að jarðolía sé endurnýjanleg, en í því tilviki er svo mikill munur á tímalengd nýtingar og þeim tíma sem þarf til að mynda olúna að jarðolía flokkast sem endanleg orkulind.

Það má vera að skilgreining mín á “sjálfbærri orkuvinnslu” gangi mun lengra en upphafleg umfjöllun um hugtakið “sjálfbær” sem gerð var í Bruntland skýrslunni. Mér er sagt (ég hef ekki lesið skýrsluna) að umfjöllunin þar taki bara á “sjálfbærri þróun í samfélaginu”, og að skilgreiningin á sjálfbærri þróun sé sú að aðgerðir okkar “skerði ekki lífsskilyrði komandi kynslóða”. Þetta er mjög víð og teygjanleg skilgreining á hugtakinu sjálfbær og það er augljóslega ekki nauðsynlegt að orkuvinnslan í samfélaginu sé sjálfbær þó þróunin í samfélaginu sé sjálfbær.

Um það má deila hvort ástæða sé til að nota strangari skilgreiningu á hugtakinu sjálfbær en þá sem notuð er í Bruntland skýrslunni. Mér sýnist hins vegar að *sjálfbær nýting* fiskistofna sé svo mikið grundvallaratriði í auðlindastýringu Íslendinga, að það sé ástæða til að nota svipuð hugtök fyrir allar auðlindir þjóðarinnar.

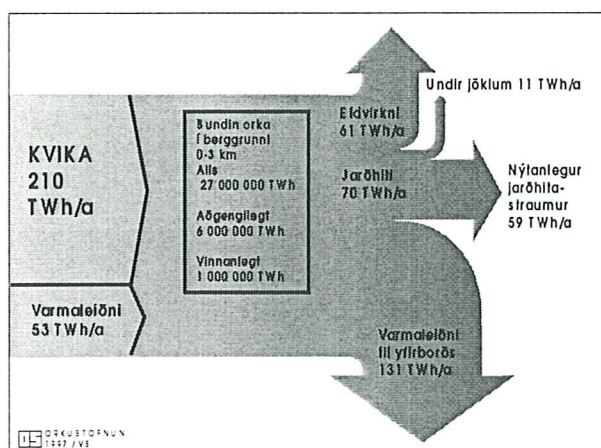
Endurnýjanleiki jarðhita og vatnsorku

Endurnýjanleiki vatnsorkunnar byggir á því að úrkoman sem fellur á fjöllótt landið sé (að meðaltali) jöfn frá ári til árs. Þannig hafa aðstæður verið í náttúrunni svo lengi sem elstu menn muna, og ekki eru teikn um að það muni breytast verulega í framtíðinni. Almennt má ætla að úrkoman á Íslandi hafi verið nokkuð jöfn síðan á ísöld, þ.e. síðastliðin tíu þúsund ár.



Mynd 2.

Samanburður á jarðhita og vatnsorku getur verið mjög heppilegur til að skýra betur endurnýjanleika þeirra og til þess að undirstrika það sem er líkt og það sem er ólíkt með þessum orkulindum. Myndir 2 og 3 sýna á einfaldan hátt orkustrauma jarðhitans og vatnsorkunnar á Íslandi, Þau tölugildi sem sýnd eru á þessum myndum eru annars vegar teknar úr ritum Hauks Tómassonar (HT,1982; HT+SP, 1987) og hins vegar úr grein Gunnars Böðvarssonar (GB,1982) og jarðvarmamati Guðmundar Pálmasonar (GP o.fl.,1985). Að öðru leyti er vísað til greinar Valgarðs Stefánssonar og Elíasar B. Elíassonar um Samnýtingu orkulinda (VS+EBE, 1997) og greinar Valgarðs Stefánssonar og Guðna Axelssonar um eðli íslenskra orkulinda (VS+GAx, 1996).



Mynd 3.

Úrkoman og mishæðir landsins skapa þann orkustraum sem vatnsorkan hvílir á (mynd 2). Meðalaflið í þessum orkustraum hefur verið áætlað 285 TWh/a. Hér er valið að nota frekar afleininguna TWh/a frekar en GW til þess að undirstrika það að tímaeiningin 1 ár er heppilegri til þess að lýsa fyrirbærinu frekar en 1 s. Sumt af úrkomunni gufar upp og aðrir hlutar vatnsins eru svo dreifðir að ekki svarar kostnaði að safna því saman í virkjanir. Þegar upp er staðið er talið að um 64 TWh/a af vatnsorku séu tæknilega nýtanlegir á Íslandi.

Úrkoman er mjög breytileg frá degi til dags, en á leið sinni í gegnum jarðlög jafnast vatnsrennslið mikið út þannig að rennsli fallvatna er mun jafnara en úrkoman. Með miðlunum er síðan hægt að jafna rennsli gegnum virkjanir enn frekar þannig að orkuvinnsla geti verið samfelld allt árið. Fyrir vatnsorkuna er heppilegt að miða við tímastuðullinn 1 ár. Miðað við þann tímaskala er vatnsorkan endurnýjanleg orkulind, en ef við tökum tímalengdina 1 dagur eða 1 vika seinni part vetrar þegar miðlunarlonin eru að tæmast, eru eiginleikar vatnsorkunnar mjög líkir eiginleikum endanlegrar orkulindar.

Undirstaða jarðhitans er orkustraumur úr iðrum jarðar eins og sýnt er á mynd 3. Sömu einingar eru notaðar fyrir jarðhitann eins og fyrir vatnsorkuna. Er það bæði gert til þess að einfalda samanburð, en einnig er heppilegt að nota sama tímakonstant fyrir vatnsorku og jarðhita eins og nánar verður fjallað um síðar.

Orkustraumurinn að neðan, sem viðheldur jarðhitann, er varmaorka úr iðrum jarðar sem flyst upp í gegnum jarðskorpuna og hverfur að lokum út í andrúmsloftið eða til sjávar. Flutningur á varma fer fram á þrennan hátt í jarðskorpunni:

- kvikustreymi
- streymi vatns
- varmaleiðni

Orkutilflutningur í jarðskorpunni tekur tiltölulega skamman tíma með kvikustreymi og með hræringu vatns. Tímakonstantar á bilinu dagar til mánuðir eru heppilegir til þess að lýsa þessum fyrirbærum. Orkutilflutningur með varmaleiðni er hins vegar mjög hægfara ferli þar sem tímakonstantar upp á hundruð ára eru heppilegri til viðmiðunar. Það getur því orkað tvímælis að nota einhvers konar “meðalgildi” fyrir langa og stutta tímastuðla jarðhitans. Hins vegar skiptir hinn langi tímakonstant varmaleiðinnar svo litlu fyrir nýtingu jarðhitans að það er réttlætanlegt að velja sama tímakonstant, 1 ár, bæði fyrir vatnsorku og jarðhita.

Mestur hluti af varmaorkunni sem kemur inn neðst í jarðskorpuna undir Íslandi er í formi kvikustreymis. Á leiðinni til yfirborðs er fyrir hendi stöðug víxlverkan milli “orkubera” þannig að við yfirborð skiptist orkustraumurinn til helminga milli varmaleiðni annars vegar og kvikustreymis (eldgos) og hræringar vatns (jarðhiti) hins vegar. Hér er rétt að benda á að þó orkan birtist í þremur myndum við yfirborð jarðar eru þessi orkuform hluti af einum og sama varmastraumnum upp í gegnum jarðskorpuna. Áætlað hefur verið að um 1/3 af þeirri kviku sem kemur inn í jarðskorpuna undir Íslandi komi upp til yfirborðs. Hinn hluti kvikunnar (2/3 hlutar) myndar innskot og varminn sem þau innihalda berst síðan til yfirborðs sem jarðhiti og/eða sem aukin varmaleiðni.

Það er einkennileg tilviljun að innan skekkjumarka eru orkustraumarnir að neðan og að ofan jafn stórir. Það er líka einkennileg tilviljun að nýtanlegur hluti þessara strauma eru jafnir, 64 TWh/a af vatnsorkunni og 59 TWh/a af jarðhitnum.

Auk samfellda orkustraumsins að ofan og að neðan safnast fyrir orka á vissum stöðum í þessum orkukerfum. Jöklar, stöðuvötn og grunnvatnsgeymar eru dæmi um orkugeymslu vatnsorkunnar, en varminn í berggrunni landsins er gífurlegur orkuforði fyrir jarðhitanytingu. Þessi orkugeymsla í náttúrunni skiptir miklu máli fyrir nýtinguna, fyrst og fremst fyrir jarðhitann.

Til þess að benda á mikilvægi orkugeymslunnar fyrir jarðhita og vatnsorku má benda á að orkugeymsla í jöklum landsins (7600 TWh) samsvarar öllum orkustraum úrkomunnar í 27 ár og vinnanleg jarðhitaorka í berggrunninum (1 000 000 TWh) samsvarar öllum orkustraumnum að neðan í 3800 ár. Öll varmaorkan (vinnanleg og óvinnanleg) í berggrunninum samsvarar öllum orkustraumnum að neðan í 100 000 ár.

Orkugeymslan hefur aðeins óbein áhrif á vinnslu vatnsafls. Orkuforðinn í jöklum landsins er talinn óvinnanlegur en tilvera þeirra hefur áhrif á rennsli fallvatna. Grunnvatnsgeymar gegna mikilvægu hlutverki í því að jafna rennsli fallvatna.

Þýðing orkuforðans í berggrunninum er nokkru flóknara fyrirbæri og þarfnast sérstakrar umræðu vegna þess að varmaflutningurinn í berginu getur farið fram á þrennan hátt: með kvikustreymi, vatnsstreymi og varmaleiðni. Streymi vatns (og kviku) flytur varmaorkuna svo hratt til í berggrunninum að jarðhitinn uppfyllir öll skilyrði endurnýjanlegrar orkulindar, þ.e. að orkan endurnýjast á sama tímaskala og þeim sem vinnslan fer fram á. Ef varmatilflutningurinn í berginu fer eingöngu fram með varmaleiðni er hins vegar varla

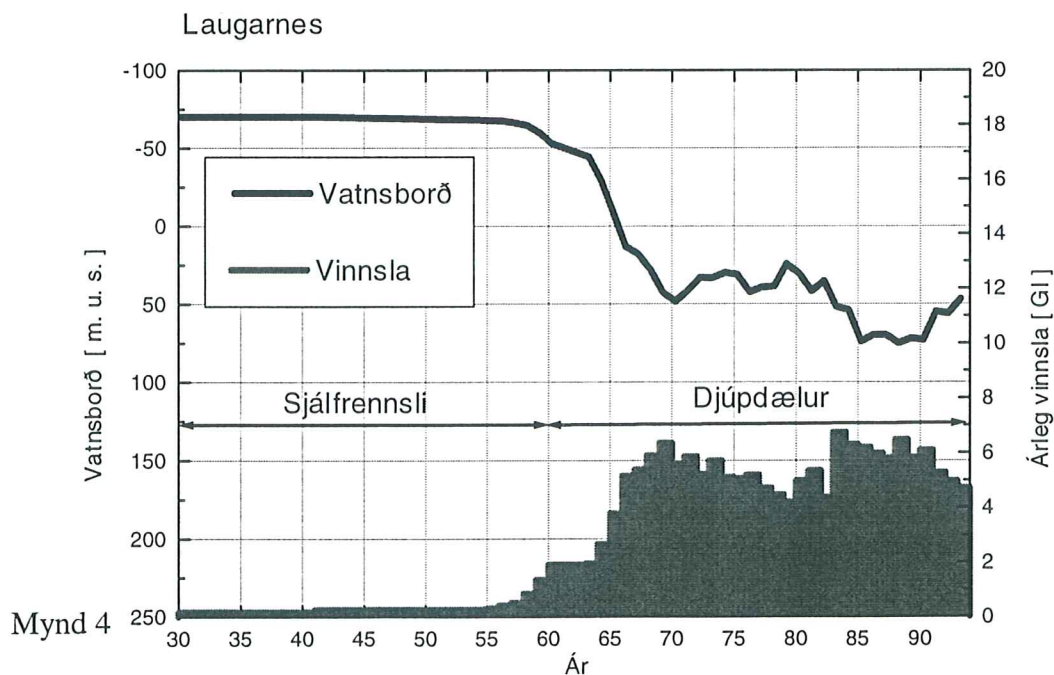
hægt að tala um “endurnýjanlega” orkulind vegna þess að tímakonstant endurnýjunarinnar er miklu lengri en tímakonstant nýtingarinnar.

Nú ber að geta þess að öll hefðbundin jarðhitavinnsla fer fram úr “náttúrulegum” jarðhitakerfum þar sem vatn er orkuberi, þ.e. vatn flytur varmann til innan jarðhitakerfisins og vatn flytur varmaorkuna úr jarðhitakerfinu upp til yfirborðs. Við vinnslu lækkar þrýstingur í jarðhitakerfi og þá eykst aðstreymi af vatni og varma til jarðhitakerfisins. Allar þessar aðstæður eru dæmigerðar fyrir endurnýjanlega orkulind og endurnýjunin fer fram á sama tímaskala og notaður er við vinnslu.

En það er líka til undantekning frá þessari reglu og það er jarðhitavinnsla úr heitu og þurru bergi (hot dry rock). Í því tilviki er verið að reyna að búa til jarðhitakerfi (í tiltölulega vatnslitlu bergi) með því að dæla niður vatni í eina holu og fá síðan upp heitt vatn úr annarri holu. Þess háttar orkuvinnsla er ennþá á tilraunastigi og samfelld tilraunavinnsla hefur aðeins farið fram í nokkra mánuði. Hér verður ekki um það dæmt hvort eða hvenær jarðhitavinnsla úr heitu og þéttu bergi verður talin fýsileg, en varmaflutningurinn að þessum “varmaskipti” hlýtur að verða fyrst og fremst í formi varmaleiðni. Vegna þess hve varmaleiðni er hægfara ferli má því líkja þessari vinnsluaðferð við námavinnslu. Öll hefðbundin vinnsla úr náttúrulegum jarðhitakerfum flokkast hins vegar sem nýting endurnýjanlegrar orkulindar.

Jarðhiti á Íslandi

Öll jarðhitavinnsla á Íslandi fer fram úr náttúrulegum jarðhitakerfum og flokkast því sem nýting endurnýjanlegrar orkulindar samkvæmt umfjöllun hér að ofan. Nú eru nýtt um 200 jarðhitakerfi á Íslandi, stór og smá. Lengsti samfelldi nýtingartími á einstöku jarðhitasvæði er um 70 ár (Laugarnes í Reykjavík). Í engu þessara tilvika hefur þurft að hætta vinnslu vegna þess að jarðhitinn “væri búinn”. Hins vegar er reynslan frekar sú að jarðhitakerfin standa undir samfelldri vinnslu í svo langan tíma að réttlætandi er að tala um “sjálfbæra vinnslu”. Vinnslan á Laugarnessvæðinu er ágætt dæmi um slíkt.



Fyrstu 25 árin byggðist vinnslan í Laugarnesi á sjálfrennsli úr borholum, en í lok sjötta áratugarins eru djúpdælur teknar í notkun við jarðhitavinnsluna. Breytt vinnsluáferð gerði það mögulegt að tífalda jarðhitavinnsluna eins og fram kemur á mynd 4. Viðbrögð jarðhitakerfisins urðu þau að þrýstingur í kerfinu (vatnsborð) lækkaði en nýtt jafnvægisástand komst á í kerfinu, þar sem að meðaltali er vatnsborð um 120 m neðar en það var þegar vinnsla hófst árið 1930. Þar sem jarðhitakerfið í Laugarnesi er nokkurn veginn í jafnvægi miðað við þá 6 GJ/a (160 l/s) vinnslu sem þar hefur verið að meðaltali á síðastliðnum 30 árum, þýðir það að með þrýstingslækkun í jarðhitakerfi hefur innstreymi í jarðhitakerfið aukist og að innstreymið í kerfið er (að meðaltali) jafnt og það vatnsmagn sem unnið er úr kerfinu. Núverandi vinnsla í Laugarnesi er því augljóslega sjálfbær og jarðhitakerfið sem unnið er úr er endurnýjanleg orkulind.

Næsta skrefið er að reyna að skýra hvernig jarðhitaorkan í Laugarnesi endurnýjast. Mér sýnist tveir möguleikar vera fyrir hendi, sem e.t.v. eru bara tvær hliðar á sama fyrirbærinu. Þessar skýringar eru:

- ◆ Þrýstingslækkun í jarðhitakerfinu verður til þess að stærri hluti af almenna jarðhitastraumnum (í formi heits vatns) leitar í gegnum jarðhitakerfið í Laugarnesi á leið sinni til yfirborðs heldur en hann gerði áður en vinnsla hófst á svæðinu. – Vinnslan beinir orkustraumnum (streymi jarðhitavatns) inn í jarðhitakerfið, en jarðhitakerfið er rás orkunnar til yfirborðs.
- ◆ Aukið aðstreymi (að hluta til kaldara) vatns til jarðhitakerfisins getur unnið varma (með varmaleiðni) úr mjög stóru rúmmáli bergs, og þar sem mikil varmaorka er geymd í berginu “utan” við jarðhitakerfið verður varmavinnslan á hverjum einstökum stað mjög lítil. -- Vinnslan beinir því orkustraumnun, sem annars hefði leitað eitthvað annað (varmaleiðni) inn í jarðhitakerfið.

Að öllum líkindum er raunveruleikinn einhvers konar sambland af þessu tvennu. Það er skemmtileg tilhugsun að gera ráð fyrir því að hægt sé að beina orkustrauminum að neðan inn á ákveðnar brautir með því að haga jarðhitánýtingunni á ákveðinn hátt.

Með tilvísun í mynd 3 sést að orkustraumurinn að neðan berst til yfirborðs í þremur rásum: með eldvirkni, jarðhita og varmaleiðni. Ef aukin varmavinnsla á vissum stað í kerfinu verður til þess að orkustraumurinn fer frekar í gegn um þá rás en eitthvað annað er komin á óbein stýring á orkustrauminum. T.d. má hugsa sér að aukin jarðhitavinnsla í Kröflu verði til þess að minni hluti af orkunni að neðan þarf að fara í gegn um eldgosarásina. Ef það reynist rétt er komin viss nýting á orku eldgosa. Á sama hátt má hugsa sér að aukin vinnsla í Laugarnesi verði til þess að minna af orkustrauminum á því svæði þarf að fara í gegnum varmaleiðnirásina.

Ef við lítum á jarðhitann sem kælingu á jarðskorpunni er það ljóst að aukin jarðhitavinnsla eykur kælinguna (eins konar niðurdráttur í varma) þar sem jarðhitavinnslan fer fram. Varmastraururinn leitar því inn í þá kælingarrás (jarðhitakerfi) þar sem kælingin er áhrifameiri. Það ætti að þýða það að minna fer í gegn um aðrar varmsflutningsrásir. Sú einkennilega staða gæti komið upp að um það þyrfti að fjalla í umhverfismati jarðhitavirkjana í framtíðinni hvort jarðhitavinnslan gæti dregið úr tíðni eldgosa.

Áhrif jarðhitavinnslu á tíðni eldgosa er ekki eins fjarlægur möguleiki og ætla mátti í fljótu bragði. Heildarrúmmál gosefna í síðustu Kröflueldum var 0,35 km³. Varminn í þessum

gosefnum hefur verið um $2 \cdot 10^{18}$ J. Ef við jöfnum út þeirri orku á 250 ár, sem er tíminn á milli eldgosu, samsvarar þetta 250 MW varmavinnslu.

Jarðhiti heimsins

Umfjöllunin hér að ofan tengist aðeins íslenskum aðstæðum og spurningin er þá að hve miklu leyti er hægt að yfirfæra þann reynsluheim á allan jarðhita heimsins. Mér finnst það nokkuð ljóst að erlend háhitakerfi eru svo lík háhitakerfunum á Íslandi að öll háhitakerfi heimsins geti flokkast sem endurnýjanlegar orkulindir. Ég er hins vegar dálítið efins um hluta erlendra lághitakerfa, þ.e. heitt vatn sem finnst í setlagatrogum. Mér skilst að talið sé að slíkur jarðhiti lifi á stiglinum sem kallað er, þ.e. að varmatilfærslan inn í jarðhitakerfið sé fyrst og fremst í formi varmaleiðni. Þá verður vinnsla úr slíkum jarðhitakerfum lík vinnslu úr heitu og þurru bergi að því leytinu að varmaleiðni stjórnar orkuflutningi að jarðhitavinnslustað. Vegna þess hve varmaleiðnin er hægfara ferli getur verið rétt að flokka heita vatnið í setlagatrogum sem endanlega orkulind.

Þakkir

Þeir Guðni Axelsson og Sveinbjörn Björnsson lásu yfir frumgerð þessarar greinargerðar og bentu á margt til bóta. Ég þakka þeim kærlega fyrir hjálpinu.

Heimildir

- VS+GAx,1996: Valgarður Stefánsson og Guðni Axelsson, *Eðli íslenskra orkulinda* Grein í Morgunblaðinu 22. maí.
- VS+EBE,1997: Valgarður Stefánsson og Elías B. Elíasson, *Samnýting orkulinda*. Erindi flutt á afmælisráðstefnu Orkustofnunar "Orkuvinnsla í sátt við umhverfið" í október 1998. Skýrsla Orkustofnunar OS-98005, 12 blaðsíður.
- VS+IBF,1998: Valgarður Stefánsson and Ingvar B. Friðleifsson, *Geothermal energy. European and worldwide perspective*. Paper presented at Expert hearing on "Assessments and Prospects for Geothermal Energy in Europe" in the framework of Sub-Committee on Technology Policy and Energy of the Parliamentary Assembly of the Council of Europe, 12 May 1998, Salle 10, Palais de l'Europe, Strasbourg.
- GB, 1982: Gunnar Böðvarsson, *Terrestrial energy currents and transfer in Iceland*. In Continental and oceanic rifts, ed. G.Pálmason, Geodynamic Series Vol. 8, pp.271-282, American Geophysical Union, Washington D.C.
- GP o.fl.,1985: Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gísli Karel

Halldórsson, *Mat á jarðvarma Íslands*. Skýrsla Orkustofnunnar OS-85076/JHD-10, 134 bls.

HT,1982 Haukur Tómasson, Vattenkraft I Island och dess hydrologiska förutsättningar. Skýrsla Orkustofnunnar OS-82059/VOD, 17 bls.

HT+SP,1987 Vatnsorka á Íslandi. Skýrsla Orkustofnunnar OS-87030/VOD-02, 50 bls.