

# Um sjálfbæra vinnslu jarðhita

**Guðni Axelsson ofl, Orkustofnun**

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

**Orkustofnun, Reykjavík**

## ÁGRIP

*Sjálfbær þróun er skilgreind þannig að þörfum okkar á liðandi stund sé fullnægt án þess að gengið sé á möguleika komandi kynslóða að fullnægja sínum þörfum. Eitt veigamesta atriðið í slíkri þróun er sjálfbær auðlindanýting, en þó hefur lítið farið fyrir markvissri umræðu um sjálfbæra vinnslu jarðhita. Lögð er fram tillaga að einfaldri skilgreiningu á hugtakinu, sem byggir á því að fyrir sérhvert jarðhitasvæði séu til einskonar vinnslumörk þannig að ef vinnsla er undir þeim sé hægt að halda henni í jafnvægi í mjög langan tíma. Ekki má rugla hugtökunum sjálfbær og endurnýjanlegur saman þar sem það fyrra lýsir því hvernig orkulind er nýtt, en það seinna eðli hennar. Jarðhiti er að öllu jöfnu flokkaður sem endurnýjanleg orkulind. Hann samanstendur af orkustraumi, sem endurnýjast svo til jafnóðum, og miklum orkuforða sem reyndar endurnýjast mjög hægt á timakvarða mannlegra athafna.*

## 1. INNGANGUR

*Hugtakið sjálfbær þróun kom fyrst fram á sjónarsviðið við útgáfu Bruntland-skýrslunnar árið 1987, og hefur það mjög verið í tísku síðan. Þar er sjálfbær þróun skilgreind þannig að þörfum okkar á liðandi stund sé fullnægt á þann hátt að ekki verði gengið á möguleika komandi kynslóða til að fullnægja þörfum sínum. Þessi skilgreining er í eðli sínu loðin og er algengt að menn leggi mjög mismunandi merkingu í hugtakið. Einkum hefur það vafist fyrir mönnum hvern skilning eigi að leggja í “þarfir komandi kynslóða”. Hvernig getum við vitað hverjar verða þarfir komandi kynslóða frekar en þeir Ingólfur Arnarson og Snorri Sturluson gátu gert sér í hugarlund þarfir kynslóðanna á tuttugustu og fyrstu öldinni?*

Eitt veigamesta atriðið í umræðunni um sjálfbæra þróun er *auðlindanýting*. Hvernig getum við nýtt auðlindir jarðarinnar án þess að takmarka möguleika niðja okkar til afnota af heimsins gæðum? Í umræðunni um auðlindanýtingu er heppilegt að skilgreina hugtakið *sjálfbær nýting auðlindar*. Slík skilgreining þarf að vera nægilega nákvæm, og almenn samstaða um merkingu hugtaka, til þess að umræða og samanburður fari fram á sömu nótum. Ekki hefur farið mikið fyrir umfjöllun um *sjálfbæra nýtingu jarðhita* á þeim 13 árum sem liðin eru síðan Bruntland-skýrslan kom út, þó að endingartími jarðhitavinnslu hafi lengi verið í brennidepli meðal nýtenda jarðhita. Nákvæm skilgreining hefur t.d. ekki verið sett fram. Nokkuð er þó af skrifum, sem nýta þetta hugtak í umfjöllun um jarðhita, en án nákvæmra skilgreininga, eða þá fyrst og fremst vegna þess að hugtakið er í tísku. Þetta kom í ljós á Alþjóðlegu jarðhitaráðstefnunni í Japan árið 2000 (WGC 2000), en þar

voru ekki gerðar neinar tillögur um skýrar skilgreiningar og nokkur hugtakaruglingur kom þar fram. Þó er rétt að benda á skrif Valgarðs Stefánssonar (2000a, 2000b) og Wright (1999).

Á níunda áratugnum voru gerðar tvær tilraunir til þess að gera einhvers konar stærðarmat á jarðhita Íslands. Annars vegar mat Gunnars Böðvarssonar frá 1982, sem var endurskoðun á eldra mati hans (Gunnar Böðvarson; 1954, 1982), og hins vegar mat Orkustofnunar frá 1985 (Guðmundur Pálmason o.fl., 1985). Í hvorugu tilfellinu er talað um sjálfbæra nýtingu, enda hugtakið ekki komið í tísku. Reyndar voru áherslur mismunandi í þessum tveimur tilfellum því Gunnar metur heildarorkustrauminn í gegnum landið en í Orkustofnunar skýrslunni er stuðst við svokallaða rúmmálsaðferð (“volumetric-method”) til þess að meta orkuforðann í jarðskorpunni niður á ákveðið dýpi. Til einföldunar má segja að í fyrra tilfellinu sé lítið á jarðhitann sem æstæðan orkustraum, en í því seinna sem orkuforða (eða námu). Munurinn felst þó í áherslum á mismunandi eðlisþætti jarðhitans (í öðrum skrifum leggur Gunnar áherslu á mikilvægi orkuforðans og í Orkustofnunar skýrslunni er jafnframt lagt mat á varmastrauminn).

Í þessari grein er birt tillaga höfunda að einfaldri skilgreiningu á hugtakinu sjálfbær vinnsla jarðhita auk þess sem fjallað er um endurnýjanleika jarðhitans og hvernig þessi tvö hugtök tengjast. Til gamans má benda á eftirfarandi klausu í Innansveitarkróniku Halldórs Laxnes (1970, bls. 166), en í þeirri bók kemur jarðhiti töluvert við sögu: “Jarðhiti er að því leyti ólíkur kolánámu að náman eyðist eftir því sem tekin eru meiri kol uns hún fer á hausinn, en sjóðandi hverir hafa óbreytt vatnsmagn í miljón ár, hvort sem tekið er mikið eða lítið vatn.”

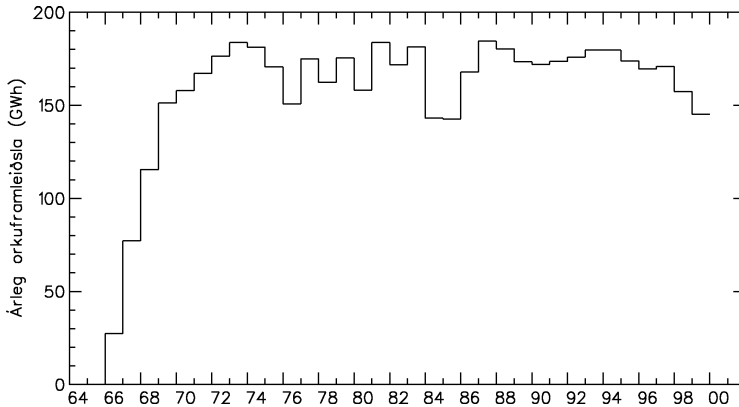
## 2. UM VINNSLU JARÐHITA

*Jarðhiti er unninn sem heitt vatn og/eða gufa úr jarðhitakerfum í iðrum jarðar og koma áhrif vinnslunnar aðallega fram sem lækkun vatnsþrýstings í kerfunum. Jarðhitakerfin eru þess eðlis að “lítill” vinnsla hefur svo líta truflun í för með sér að hægt er að halda vinnslunni óbreyttri í mjög langan tíma (hundruð ára), en áhrif “mikillar” vinnslu eru svo mikil að ekki er hægt að viðhalda henni til lengdar. Það fer svo eftir eðli og eiginleikum hvers jarðhitakerfis hvað telst “lítill” og hvað telst “mikil” vinnsla. Mikil vinnsla tæmir reyndar ekki jarðhitakerfi (auðlindina) heldur kemur það til með að jafna sig eftir vissan tíma ef vinnslan er minnkuð eða henni hætt.*

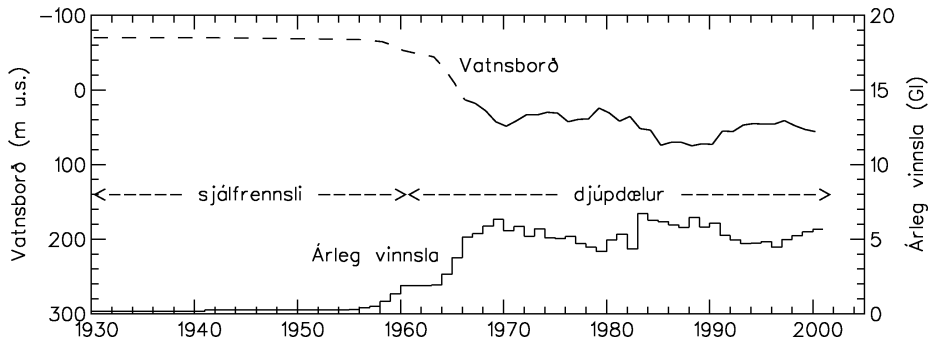
*Nú er komin nokkurra áratuga reynsla á vinnslu jarðhita úr fjölmörgum jarðhitakerfum bæði hér á Íslandi og víðar á jarðarkringlunni, auk þess sem reiknilikön hafa verið sett upp fyrir fjölda þeirra. Reynslan frá mörgum þessara svæða, eða þá líkanreikningar, hafa sýnt að með því að halda vinnslu innan ákveðinna marka er hægt að halda jarðhitakerfinu nokkurn veginn í jafnvægi í mjög langan tíma. Nefna má ýmsa hveru og laugar, eins og hinn vatnsmikla Deildartunguhver í Borgarfirði, sem dæmi um jarðhitavinnslu sem lítið hefur breyst í mjög langan tíma. Þá eru Laugarnessvæðið í Reykjavík og Matsukawa í Japan dæmi um jarðhitavinnslusvæði þar sem vinnslan hefur lítið breyst í áratugi. Mynd 1 sýnir 35 ára vinnslusögu í Matsukawa, en fjallað verður nánar um Laugarnessvæðið hér á eftir.*

Gott dæmi um jarðhitavinnslu, sem náð hefur nokkurn veginn jafnvægi, er vinnslan á Laugarnessvæðinu í Reykjavík. Mynd 2 sýnir að þrýstingur í jarðhitageyminum var óbreyttur fyrstu 30 árin þegar vinnsla takmarkaðist við sjálfrennsli úr borholum. Á sjöunda tug síðustu aldar var farið að nota djúpdælur í Laugarnesi og á þann hátt var vinnsla tífölduð, eins og fram kemur á myndinni. Við þessa breytingu á vinnslutillögun lækkaði

vatnsborð (þrýstingur) í jarðhitageyminum um eina 120 m. Síðastliðin 30 ár hafa þrýstingur og meðalvinnsla hins vegar haldist nokkuð stöðug. Þetta dæmi sýnir að jarðhitakerfið hefur fundið sér nýtt jafnvægi þó að vinnslan úr kerfinu hafi verið aukin tífalt frá því sem var lengst af. Þetta þýðir einnig að aðstreymi inn í jarðhitageyminn er nú u.þ.b. tíu sinnum meira en í upphaflegu ástandi. Jarðhitakerfið í Laugarnesi virðist vera í nokkurn veginn jafnvægi, þrátt fyrir þessa aukningu í vinnslu, og allt bendir til að hægt sé að viðhalda vinnslunni 5-6 GJ á ári í mjög langan tíma.



**Mynd 1.** Vinnslusaga jarðhitakerfisins í Matsukawa í Japan.



**Mynd 2.** Vinnslusaga jarðhitakerfisins í Laugarnesi í Reykjavík.

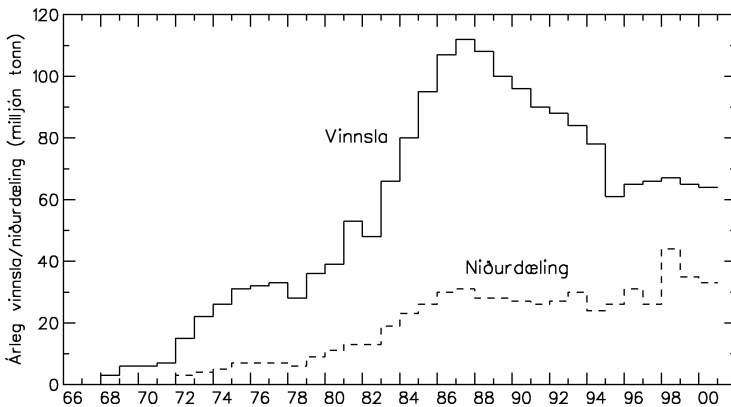
*Ekki er vitað hve miklu meira er hægt að draga niður í jarðhitakerfinu í Laugarnesi án þess að kerfið beri skaða af, en auðsjáanlega er fyrir hendi eins konar jafnvægisástand við mun meiri vinnslu en samsvarar náttúrulegu afrennsli. Á hinn bóginn eru til dæmi þess að vinnsla úr jarðhitakerfum hafi verið svo mikil að jafnvægi hafi ekki náðst og þrýstingur í viðkomandi jarðhitageymi hafi lækkað stöðugt með tímanum. Þannig aðstæður hafa t.d. komið upp á Geysers svæðinu í Kaliforníu. Þar voru á sínum tíma settar upp 20 jarðhitavirkjanir, sem gátu framleitt samtals um 2000 MW af raforku. Hins vegar varð niðurdráttur í jarðhitakerfinu til þess að ekki var hægt að vinna eins mikla gufu og þurfti fyrir allar virkjanirnar og vinnslan minnkaði jafnt og þétt fram til ársins 1995, eins og*

kemur fram á mynd 3. Aðstreymi til jarðhitageymisins á Geysers svæðinu takmarkar þá vinnslu sem hægt er að viðhalda til langs tíma. Nú hefur verið lagt í mikla fjárfestingu til að auka niðurdælingu í jarðhitageyminn (mynd 3) og er vonast til að hún, ásamt minni vinnslu, muni stuðla að því að viðhalda u.þ.b. 1000 MW vinnslu um nokkurt skeið.

### 3. SKILGREINING Á SJÁLFBÆRRI VINNSLU JARÐHITA

Umfjöllunin um vinnslu jarðhita hér að framan sýnir að fyrir sérhvert jarðhitakerfi ætti að vera til einskonaar vinnsluþröskuldur þess eðlis að ef vinnslan er undir þessum þröskuldi þá er hægt að halda henni stöðugri í mjög langan tíma. Hins vegar eru takmörk fyrir því hve mikinn jarðhita er hægt að vinna úr hverju jarðhitakerfi ef jafnvægi á nokkurn veginn að haldast. Fyrir hvert jarðhitakerfi eru þannig til mörk sem skilja á milli þeirrar vinnslu sem hægt er að viðhalda óbreyttri í mjög langan tíma og vinnslu sem hefur svo mikil áhrif á jarðhitakerfið að hún muni óhjákvæmilega minnka með tíma.

Einfaldast er að líta á sjálfbæra nýtingu auðlindar sem sömu nýtingu í langan tíma, en spurningin er hve langan tíma ber að miða við. Í sumum tilfellum hefur verið stuðst við afskriftartíma jarðhitavirkjana (30 ár) sem viðeigandi tímakvarða. Þá hefur jarðhitavinnslu stundum verið líkt við námuvinnslu, sem ásamt þessum stutta tímakvarða hefur sáð efasemdum um að hægt sé að nýta jarðhita á sjálfbæran hátt inn í umræðuna. Á hinn bóginn má hugsa sér tímakvarða með jarðsögulega tilvísun, t.d. tímann frá lokum síðustu ísaldar (10.000 ár). Segja má að það sé einnig óraunhæfur tímakvarði, borinn saman við tímakvarða mannlegra athafna. Viðeigandi tímakvarði liggur því einhver staðar þarna á milli.



Mynd 3. Vinnslusaga Geysers-jarðhitakerfisins í Kaliforníu

Höfundar þessarar greinar leggja til eftirfarandi skilgreiningu á hugtakinu “sjálfbær vinnsla jarðhita á einu jarðhitasvæði.” Skilgreining þessi tekur hvorki til hagrænna atriða, umhverfismálefna né tæknipróunar, en búast má við að slíkir þættir sveiflist mikið í tímans rás.

**Fyrir sérhvert jarðhitasvæði, og sérhverja vinnsluáferð, er til ákveðið hámarks-vinnslustig,  $E_0$ , sem er þannig háttað að með lægra vinnslustigi en  $E_0$  er unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu frá kerfinu yfir mjög langt tímabil (100-300 ár). Sé**

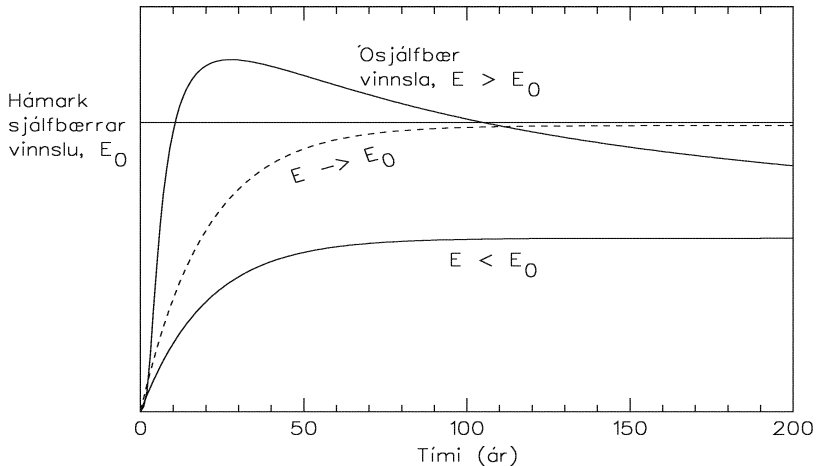
**vinnsluálag meira en  $E_0$ , er ekki unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu svo lengi. Jarðvarmavinnsla minni en eða jöfn  $E_0$  er skilgreind sem *sjálfbær* vinnsla en vinnsla umfram  $E_0$  er ekki sjálfbær.**

Skilgreining þessi tekur til allrar vinnanlegrar orku, og er því í raun háð eðli kerfis þess sem um er fjallað, en ekki álagsþáttum eða nýtni. Hún er og háð vinnsluáðferð sem getur falið í sér sjálfrennsli, dælingu, niðurdælingu eða vinnslu með hléum. Gildi  $E_0$  er óþekkt fyrirfram en það má meta út frá þekktum gögnum, þ.e. með líkanreikningum. Mynd 4 sýnir meginrættina í ofangreindri skilgreiningu.

*Hér má nefna að aðferð Gunnars Böðvarssonar (1982) við mat á orkustraumi jarðhita fyrir Ísland gefi e.k. lágmarksmat á því hve mikla jarðhitaorku er unnt að vinna á sjálfbæran hátt á landinu öllu, ef hægt er að meta hve stóran hluta orkustraumsins er hægt að nýta.*

#### 4. ENDURNÝJANLEIKI JARÐHITANS

Orkulindum heimsins er jafnan skipt í tvo meginflokka, endanlegar og endurnýjanlegar orkulindir. Að öllu jöfnu eru meginorkulindir okkar Íslendinga, jarðhiti og vatnsorka, flokkaðar sem endurnýjanlegar, m.a. af þeim alþjóðastofnunum sem láta sig orkumál varða. Reyndar er endurnýjanleika og sjálfbærni mjög oft ruglað saman og því brýnt að gera greinarmun þar á. Endurnýjanleiki lýsir eiginleikum orkulindar, en hugtakið sjálfbær tengist því hvernig nýtingu hennar er háttað.



**Mynd 4.** Skýringarmynd fyrir hugtakið sjálfbær vinnsla jarðhita.

Ástæða þess að jarðhitinn er flokkaður með öðrum endurnýjanlegum auðlindum, í þeim tilfellum sem að ofan greinir, 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 flokki er þó ekki svo einföld því að jarðhiti er í eðli sínu tvíþættur, þ.e. samsettur af *orkustraumi* (með varmaþurði 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 að ofan) 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 aftur nefna dæmið frá Laugarnesi, sem sýnir að við tífoldun vinnslunnar hefur innstreymi í jarðhitageyminn einnig u.þ.b. tífoldast. 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  $E_0$ . Ef vinnsla úr jarðhitakerfi er hins vegar mjög lítil miðað við  $E_0$  er erfiðara 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 tiltækt til þess að meta sjálfbæra vinnslu úr kerfinu skv. skilgreiningunni hér að framan. Á sama hátt ætti að vera hægt að meta vægi hinna mismunandi þátta, orkustraums og varmaforða, fyrir sjálfbæra vinnslu úr sérhverju jarðhitakerfi.

## 5. LOKAORÐ

Hér að framan var birt tillaga að einfaldri skilgreiningu á hugtakinu sjálfbær nýting jarðhita. Hún byggir á því að fyrir sérhvert jarðhitakerfi séu til eins konar vinnslumörk þannig að hægt sé að halda vinnslunni nokkurn veginn í jafnvægi í langan tíma sé hún undir þeim. Reynslan frá mörgum jarðhitasvæðum síðustu áratugi styður þetta, en hún hefur sýnt að með því að halda vinnslu innan ákveðinna marka er hægt að halda viðkomandi jarðhitakerfum í nokkurn veginn jafnvægi í mjög langan tíma.

Hugtakið endurnýjanleg orkulind er náskyld hugtakinu sjálfbær vinnsla. Fyrri hugtakið lýsir þó eiginleikum orkulindarinnar, en það seinna hvernig hún er nýtt. Að öllu jöfnu er jarðhiti flokkaður sem endurnýjanleg orkulind. Þar er þó um fullmikla einföldun að ræða því hann er í eðli sínu tvíþættur. Hann samanstendur af orkustraumi, sem endurnýjast svo til jafnóðum, og orkuforða sem endurnýjast mjög hægt á tímakvarða mannlegra athafna. Vægi þessara tveggja þátta er mjög mismunandi og bæði háð jarðhitakerfi og vinnsluálagi.

Segja má að þær hugleiðingar sem fjallað hefur verið um í þessari grein séu upphafið að mun viðameiri vinnu, sem hefur það lokatakmark að meta hve mikla jarðhitaorku sé unnt að vinna á sjálfbæran hátt á Íslandi. Ætlunin er að vinna að þessu verkefni næstu árin.

## 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.

- Gunnar Böðvarsson, 1954: Terrestrial heat balance in Iceland. *Timarit Verkfræðinga-félags Íslands*, **36**, 1-49.
- Gunnar Böðvarsson, 1982: Terrestrial energy currents and transfer in Iceland. Í Guðmundur Pálmason (ritstj.): *Continental and oceanic rifts, Geodynamic Series*, **8**, Am. Geophys. Union, 271-282.
- Halldór Laxnes, 1970: *Innansveitarkrónika*. Helgafell, Reykjavík, 182 s.
- Philip Michael Wright, 1999: The sustainability of production from geothermal resources. Fyrirlestur við Jarðhitaskóla Sameinuðu þjóðanna, Reykjavík, september 1999, 42 s.
- 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 (ágríp). Staða jarðhita á Íslandi, ráðstefna Jarðhitafélags Íslands, Reykjavík, nóvember 2000. *Rit Jarðhitafélags Íslands 2000-1*, 29-32.