

Jarðhiti – mikilvæg auðlind

María J. Gunnarsdóttir, Samorku

Janúar 2002

Efnisyfirlit

Inngangur.....	3
Jarðhitanoftkun fyrir á tímum.....	3
Upphaf hitaveitna hér á landi	4
Eðli jarðhitans.....	4
Jarðhitaleit og virkjun jarðhita	6
Vinnslutæknileg vandamál við vinnslu jarðhita	7
Jarðhitanoftkun hér og annarsstaðar	8
Helstu nýtingarmöguleikar jarðhita	11
Hitunarkostnaður hér og á Norðurlöndunum	12
Endurnýjanleg og sjálfbær orkulind	12
Losun gróðurhúsalofttegunda frá jarðhita	13
Umhverfisáhrif jarðhitans	15
Niðurstöður.....	16
Helstu heimildir:.....	17

Inngangur

Jarðhiti er ein mikilvægasta auðlind okkar Íslendinga. Yfir helming orkuþarfar okkar er mætt með jarðhita, þegar hlutur frumorku er skoðaður. Og uppi eru stórfelld áform um frekari rafmagnsframleiðslu með jarðhita. Jarðhitinn er nú fyrst og fremst notaður sem orkugjafi fyrir hitaveitur. Nú búa um 87% af landsmönnum í húsum hituðum með jarðvarma og er þetta einsdæmi í heiminum. Jarðhiti finnst víða í heiminum og er nýttur a.m.k. í 67 löndum. Annars staðar þar sem er jarðhiti, hefur hann fyrst og fremst verið notaður til rafmagnsframleiðslu og til baða. Fræg er baðmenningin og heilsurækt í tengslum við jarðhita í Japan og víða í Evrópu. Og aðal notkun jarðhita í Bandaríkjunum, Ítalíu og á Nýja Sjálandi er til rafmagnsframleiðslu. Á síðustu árum hefur verið lögð aukin áhersla á að nýta jarðhitann til rafmagnsframleiðslu hér á landi. Jarðgufustöðvar eru nú reknar af Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja og Orkuveitu Húsavíkur og nú eru uppi stór áform til að mæta frekari raforkuþörf stóriðju.

Jarðhitanotkun fyrr á tímum

Jarðhitinn hefur verið nýttur frá því að land byggðist þó stundum væri hann talinn til óþurftar og til stórhættu fyrir menn og skepnur. Fyrstu aldirnar var hann fyrst og fremst notaður til baða og þvotta. Og er þess stundum getið í fornum ritum. Unga fólkið í Dalasýslu á tímum Laxdælu sýnir sig og sér aðra með því að fara til laugar í Sælingsdal. Snorri Sturluson lætur gera Snorralaug í Reykholti og situr þar löngum og hugleiðir um næstu fléttu í valdatafli Sturlungaaldar. Því hefur verið haldið fram að það að fara til lauga hafa ekki verið sérstaklega vegna hreinlætis heldur frekar félagsleg athöfn og ennþá hittast menn reglulega í heitu pottunum og ræða um landsins gagn og nauðsynjar. Á nokkrum stöðum á landinu voru baðhús svonefnd þurraböð þar sem fólk kom sér til heilsubóta, til að fá bót á gigt og kláða. Þurrabað var m.a. að Sturlureykjum í Borgarfirði, Jarðbaðshólum í Mývatnssveit og Þjórsárholti í Gnúpverjahrepp. Sjást ennþá merki þessara húsa á sumum stöðum.

Jarðhiti var snemma notaður til matseldar og var soðið slátur og kæfukjöt. Einnig bakað brauð. Á átjándu öld var salt unnið úr sjó á Reykjanesi við Djúp við hverahita. Og nokkuð snemma var farið að nota jarðhita til ræktunar með ylækt. Ingólfur Davíðsson segir í jólablaði Tímans árið 1949¹ í grein um upphaf ylæktar á Íslandi að ýmislegt bendi til að jarðhitinn hafi snemma verið hagnýttur til ræktunar. Orðið Hveragerði þýði í raun hverakur. Orðið *gerði* þýði akur í sænsku. Flatir við Bæ í Borgarfirði heita laukflatir og þar þrífist villilaukur þar sem gætu hafa verið fornir laukgarðar. Á Reykjum í Fnjóskadal var og er ennþá ræktað við volga garða. Þar eru leifar fornra garða. Og frá miðri nítjándu öldinni er víða farið að rækta kartöflur í volgum gördum. Í byrjun tuttugustu aldar var byrjað að reisa gróðurhús þar sem jarðhitinn var hagnýttur til hitunar og stofnaðar voru ylæktarstöðvar víða um land og í kringum þær þróuðust heilu þéttbýlin s.s. eins og Hveragerði, Flúðir og Laugarás. Héraðskólar voru reistir víða um land og þá í flestum tilfellum í grennd við jarðhita. Sundlaugar voru reistar og farið var að kenna ungi fólki sund í volgum laugum.

Fyrstu hugmyndir um að nýta jarðhita til hitunar komu fram á nítjándu öld. Í ágætri bók Auður úr iðrum jarðar sem kom út fyrir nokkru í flokknum Iðnsaga Íslendinga er rakin saga jarðhitanýtingar á Íslandi². Þar segir ítarlega frá fyrstu hugmyndum sem fram komu

um að nýta jarðhitann. Það eru ungir menn sem koma heim aftur frá Ameríku sem koma með ýmsar hugmyndir til framfara. Fyrsta hitaveitan í Ameríku sem nýtir jarðhita var lögð árið 1892 í bæinn Boise í Idaho. Það er reyndar til jarðvarmahitaveita í bænum Chaudes-Aigues í Frakklandi³, sem hefur verið starfrækt frá því á miðöldum og frá henni segir Jón Hjaltalín landlæknir í riti þegar hann er að hvetja landa sína til dáða um miðja nítjándu öldina. Stefán B. Jónsson brautryðjandi á nýrri tækni á Íslandi kemur heim frá Ameríku og kaupir jörðina Syðri Reyki í Mosfellssveit. Hann leggur leiðslu úr hvernum Amsterdam heim í hús sitt árið 1908. Erlendur Gunnarsson á Sturlureykjum í Borgarfirði nýtti gufu úr hver sem var neðan við bæinn og leiddi hana heim í bæ nokkru seinna. Rannsóknir á síðustu árum að Reykholti í Borgarfirði hafa leitt í ljós að hveragufa var leidd í rörum að gömlu bæjarhúsunum, og þá líklega til hitunar, á tímum Snorra Sturlussonar.

Upphaf hitaveitna hér á landi

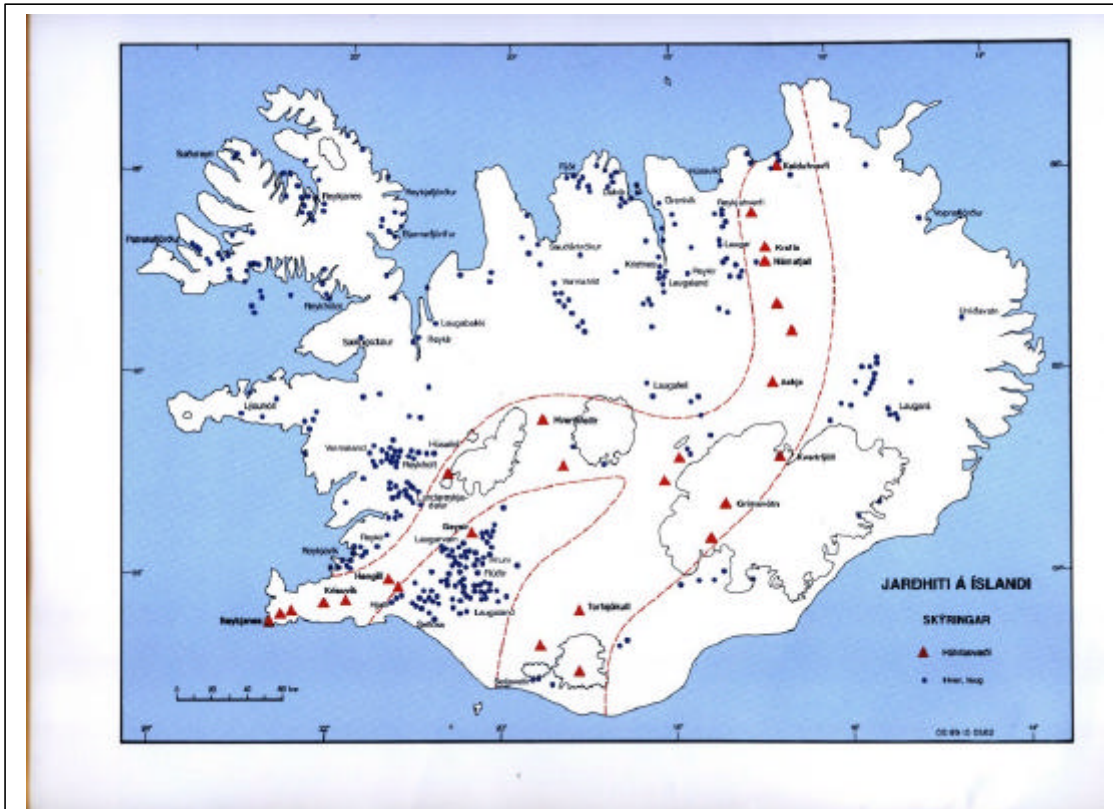
Hitaveituvæðing Íslands hófst upp úr 1920 þá voru lagðar nokkrar minni hitaveitur. Í Laugarási 1923, héraðsskólann á Laugarvatni 1928, í Mosfellshrepp 1929 og Flúðum 1929. Fyrsta jarðhitaholan var boruð í Laugardalnum við Þvottalaugarnar með Gullbornum svonefnda árið 1928. Hann er varðveittur á Árbæjarsafni. Árið 1930 var heitt vatn leitt úr Laugardalnum og niður í bæ og notað til upphitunar á 60 íbúðarhúsum auk Landspítalans og Austurbæjarskólans og er það upphafið að Hitaveitur Reykjavíkur. Hún tók síðan formlega til starfa 1943 þegar hitaveita var lögð frá Reykjum í Mosfellssveit. Fljótlega fylgdu fjórar bæjarhitaveitur í kjölfarið, Ólafsfjörður 1944, Hveragerði 1947, Selfoss 1948 og Sauðárkrókur 1950. En síðan liðu sextán ár áður en fleiri bæjarhitaveitur bættust í hópinn. Dalvík 1969 og Húsavík 1970. Þegar olíukreppan skall á upp úr 1970 var gert mikið átak víða um land í að finna jarðhita til að leysa af hólmi olíukyndingu og hlutur jarðhita við hitun jókst úr rúmlega 50% í 85% á tiltölulega skömmum tíma. Og eru nú um þrjátíu opinberar hitaveitur og nær tvö hundruð litlar sveitahitaveitur á landinu sem nýta jarðhita sem orkugjafa.

Hitaveituvæðingin í Reykjavík hafði jákvæð áhrif á heilsufar bæjarbúa. Árin fyrir hitaveituna var Reykjavík með tvöfalt fleiri kveftilfelli árlega en annarsstaðar tíðkaðist í landinu. Svart kolaský hékk yfir bænum sérstaklega á kyrrum frostdögum. Það hvarf alveg með tilkomu hitaveitunnar og kveftilfellum fækkaði um meira en helming.⁴ Það hvað virkjun jarðhitans gekk vel í Reykjavík í upphafi hafði mikið að segja fyrir framtíðarþróun jarðhitánýtingar á Íslandi. Ef þau vandamál sem komu upp seinna s.s. salt jarðhitavatn, útfellingar ofl. hefðu komið fram í upphafi er ekki víst að við hefðum nýtt þessa orkulind eins mikið og raunin er. Þetta má teljast mikið happ fyrir okkur Íslendinga og hversu mikið verður vikið að síðar.

Eðli jarðhitans

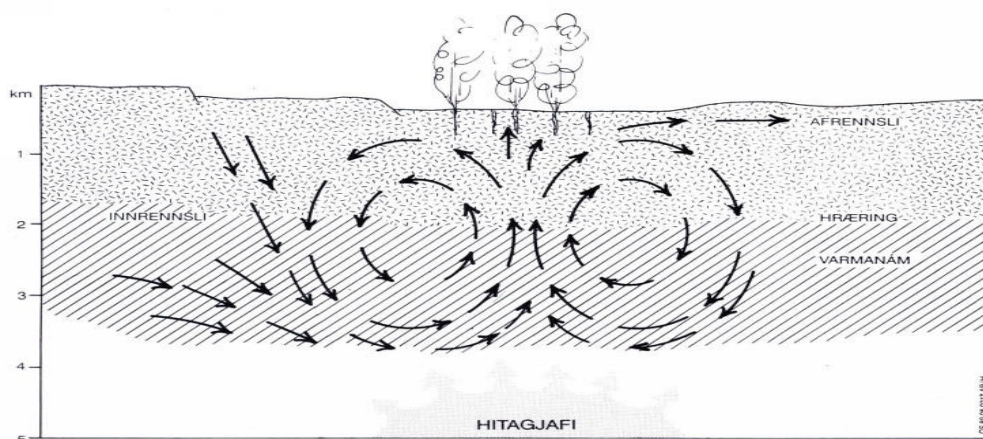
Ísland er á virku eldfjallasvæði. Það liggur á Norður-Atlantshafshryggnum, sem er á mót um Norður Ameríku og Asíuflekans. Flekana rekur hvorn frá öðrum en á milli þeirra er gliðnunarbelti þar sem hraun kemur upp og bætist við nýtt land. Rekbeltið eða gosbeltið eins og það er nefnt liggur um Ísland frá suð-vestri til norð-austurs og einkennist af skjálftavirkni og eldgosum. Tiltölulega stutt er niður á bráðið berg og hitastigull er hár.

Kalt vatn sígur niður í berggrunninn og hitnar upp vegna nálægðar við heitt bergið og stígur upp til yfirborðs í hverum og laugum. Til að jarðhitakerfi verði til, þarf einkum



Mynd 1 Jarðhiti og gosbeltið á Íslandi (Heimild: Axel Björnsson, Guðni Axelsson og Ólafur Flóvenz)

þrennt að vera til staðar; varmagjafi, vatn og vel sprungið eða vatnsleiðandi berg. Jarðhitasvæðum á Íslandi er skipt í lághitasvæði og háhitasvæði eftir hámarkshita í efstu jarðlögnum. Á lághitasvæðum er hámarkshiti lægri en 150°C á 1 km dýpi en yfir 200°C á háhitasvæðum. Háhitasvæðin raða sér á gosbeltin en lághitasvæðinu eru á jaðri þess og út frá því. Á mörkum gosbeltisins er farið að tala um sjóðandi lághitasvæði⁵. Með hugtakinu sjóðandi lághitasvæði er átt við svæði þar sem vinnsluhiti í borholum er yfir suðumarki en undir 200°C . Lághitasvæðin eru að mestu nýtt til hitunar en háhitasvæðin til rafmagnsframleiðslu og/eða hitunar og iðnaðar. Aðeins er búið að virkja lítinn hluta virkjanlegst jarðhita á landinu.



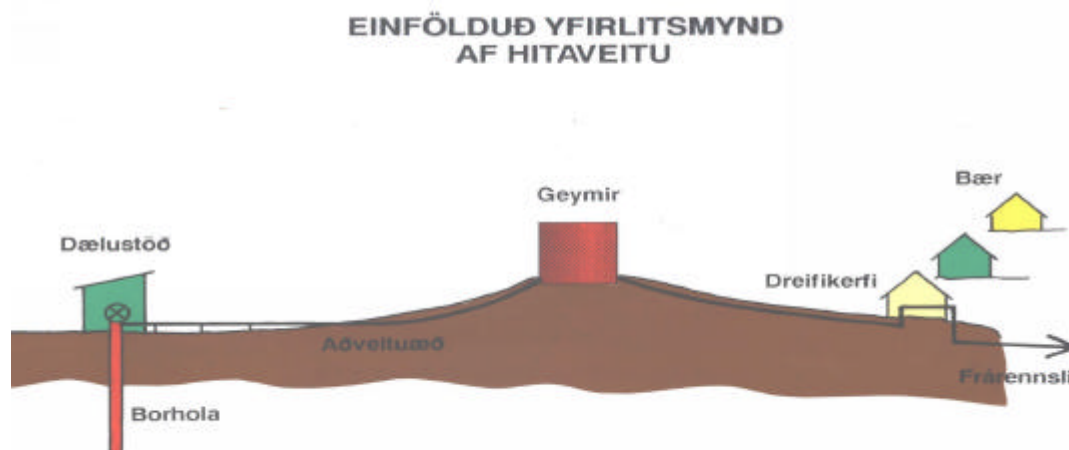
Mynd 2 Varmanám úr bergi

Jarðhitaleit og virkjun jarðhita

Þegar jarðhiti sést á yfirborði er yfirleitt byrjað á að kortleggja hann og tengsl hans við jarðfræði svæðisins. Hitastig lauga og hvera er mælt. Gert er nákvæmt jarðfræðikort af svæðinu, gerðar jarðeðlisfræðilegar mælingar, boraðar hitastigulsholur og tekin sýni til efnagreininga af jarðhitavatni og einnig af gasi og gufu, ef um háhitasvæði er að ræða. Efnarannsóknir á jarðhitavökva gefa upplýsingar um líklegt hitastig djúpt í jarðhitakerfinu þar sem jarðhitavatnið nær efnajafnvægi við herra hita í berggrunni, svonefndir efnahitamælar. Styrkur kísils SiO_2 og hlutföll Na, K, Mg er háð hita og segja því til djúphita. Sjáist ekki ummerki um jarðhita á yfirborði geta viðnámsmælingar gefið vísbendingar um hvort þar sé jarðhiti. Hitastigulboranir eru notaðar í auknum mæli til að leita að jarðhita þar sem ekki eru yfirborðsummerki.⁶

Í flestum tilfellum þarf að bora eftir vatninu og hefur bortækni hér á landi að mestu þróast úr frá olúborunum og grunnvatnsborunum. Byrjað var að bora upp úr aldamótum og hafa verið boraðar á annað þúsund holur. Nú eru um 350 borholur virkjaðar. Ein borhola er mikið og dýrt mannvirki þó ekki sjáist mikið á yfirborði. Dýpsta háhitahola hér á landi er í Trölladyngju og er nýlokið við að bora þegar þetta er ritað. Hún er 2300 metra djúp. Dýpsta lághitahola er 3084 metrar og er boruð í jarðhitasvæðið í Laugarnesi norðaustan við Sjómannaskólann. Hæsti hiti sem mælst hefur í borholu er á Nesjavöllum 381°C ⁷. En hiti frá holum á Nesjavöllum er almennt um 300°C . Á síðustu tuttugu árum hafa verið boraðir yfir 600 km til að leita og virkja jarðhita bæði lághitavatn og háhitagufu. Yfirleitt er fóðrað niður á 150 til 300 metra dýpi með stálrörum og holurnar þurfa að vera nógu víðar til að hægt sé að setja niður dælu. Og því stærri dæla þeim mun meira er hægt að dæla upp þar sem aðstreymi vatns inn í holuna er ekki takmarkandi á afköstin. Steypt er niður með fóðringunni til að halda henni fastri. Steypan ver líka fóðurrörið fyrir tæringu að utan og hindrar rennsli úr kaldari vatnsæðum inn í holuna.

Það nýjast á bortækni hér á landi er stefnuborun. Þá er hægt að sveigja holuna frá lóðlínu og er yfirleitt byrjað við 400 metra og er með nýjustu tækni hægt að stýra því hversu hratt hallinn eru aukinn og í hvaða átt holunni er beint⁸. Þetta getur komið sér vel t.d. ef erfitt er að komast að s.s. undir fjall eða við gil. Einnig er hægt að bora nokkrar holur af sama borplani. Hægt er að fara í misheppnaðar holur og breyta um stefnu til að hitta á vatnsgæfar sprungur. Við borun þarf að skola borsvarfi upp úr holunum og þarf að gera ráð fyrir



Mynd 3 Einföld kerfismynd af hitaveitu

töluverðri kaldavatnsnotkun á meðan borun stendur. Boranir þurfa að fara í umhverfismat skv. lögum um mat á umhverfisáhrifum og er það vegna gerð borplana, vegagerðar í tengslum við boranir og annarra umherfisþátta.

Þegar borun er lokið þarf að setja upp mannvirki til að virkja holuna með dælu, dælumótor sem þarf þrífasa rafmagn, mælitækjum og síðan þarf að byggja yfir vélarnar. Vatnið er leitt í rörum, oftast einangruðum stálrörum, að byggð, og þaðan er því dælt um þéttbýli og inn í hús. Þar er sett upp grind þar sem vatnið fer í gegnum rúmmálmælir og er mælt (m^3), þrýstingur jafnaður og vatnið fer í gegnum síu. Þar taka notendur við því og leiða það í gegnum ofna sína og nýta úr því varmann og skila síðan út í frárennsliskerfið, helst a.m.k. $40^\circ C$ kaldar en þegar það kom inn, þaðan sem það fer og út í sjó eða viðtaka skólpsins. Nokkrar hitaveitur þ.á.m. Orkuveita Reykjavíkur og Norðurorka eru með hluta af dreifikerfinu tvöfalt þ.e. leiða vatnið eftir notkun til baka og endurhita með blöndu af heitara vatni eða þá með varmadælu eða kyndingu. Í Stykkishólmi og Hveragerði eru varmaskiptastöðvar sem dreifa vatninu um lokað kerfi.

Mikil þekking er hér á landi í að finna jarðhita og nýta hann. Og á því sviði höfum við þekkingu og reynslu að miðla umfram margar aðrar þjóðir eins og sést á því að hér er staðsettur Jarðhitaskóli Sameinuðu þjóðanna og hingað koma nemendur víða að til að læra að vinna þessa auðlind. Um 230 nemendur hafa útskrifast úr skólanum og eru margir þeirra orðnir leiðandi jarðhitasérfræðingar í sínum heimalöndum.

Vinnslutæknileg vandamál við vinnslu jarðhita

Ýmis vinnslutæknileg vandamál geta komið upp við rekstur á jarðhitavirkjun og nauðsynlegt er að fylgjast vel með áhrifum vinnslunnar með góðu vinnslueftirliti. Það eftirlit hefur fyrst og fremst Orkustofnun og orkuveiturnar haft með höndum og þar hefur safnast upp mikil reynsla við að reka slíkar virkjanir. Hjá lang flestum hitaveitum gengur reksturinn hnökralaust.

Vatnsborð lækkar yfirleitt í borholum fyrst eftir að vinnsla hefst en fljótlega dregur úr því ef ekki er tekið of mikið og afköst haldast stöðug eftir það. Þegar dælt er úr svæðinu og þrýstingur fellur er hætt á að grunnvatn leki inn í kerfið og það kólni og súrefni komist í vatnið. En yfirleitt er jarðhitavatn súrefnisnautt og er það ástæða þess að hægt er að nota stálrör án þess að þau tærist. Hinsvegar getur súrefni komist inn í gegnum rör, samskeyti og miðlunargeyma t.d. lekur súrefni inn í plaströr því þau eru ekki alveg þétt. Æskilegt er að nokkur brennisteinn sé í vatninu því að hann tekur upp súrefni og kemur því í veg fyrir tæringu. Miðað er við að hafa ekki minna en $0,1 \text{ mg/kg}$ af brennisteinsvetni í hitaveituvatni og er því sum staðar bætt í vatnið t.d. eins og á Nesjavöllum þar sem það er ekki náttúrlega til staðar þar sem hitað er upp kalt grunnvatn.

Annað vandamál er selta í jarðhitavatni. Salt eykur tæringahættu og eykur útfellingarhraða. Salt getur verið í vatninu af því sjór streymir inn í kerfið eða úr gömlu sjávarseti jafnvel langt inn í landi. Saltmagn sjávar er 19.800 mg/kg en yfirleitt er það $10\text{-}50 \text{ mg/kg}$ í jarðhitavatni. En nokkrar hitaveitur glíma við saltmagn yfir 200 og upp í 1600 mg/kg m.a.hitaveitur í Hrísey, Selfossi, Þorlákshöfn og Seltjarnarnesi. Lausnin hefur verið að setja upp varmaskipta.

Þriðja vandamálið eru útfellingar. Í jarðhitavatni er mikið um uppleyst steinefni sem leysast upp þegar heitt vatnið fer um bergið. Þegar vatnið kólnar þá getur efnið fallið út. Þær útfellingar sem mest ber á eru kísilútfellingar og kalkútfellingar. Þær stífla rör og loka, rýra varmaflæði í varmaskiptum og dælur standa á sér. Einnig er óheppilegt að blanda saman mismunandi vatni t.d. köldu upphituðu vatni og jarðhitavatni eins og raunin varð fyrir nokkrum árum þegar útfellingar urðu hjá Orkuveitu Reykjavíkur. Þá var upphituðu köldu vatni frá Nesjavallavirkjun, sem er magnesíumríkt, blandað við kísilríkt jarðhitavatn úr Mosfellssveit. Féll samband þessara efna út í dreifikerfinuog stíflaði síur hjá notenda á höfuðborgarsvæðinu. Lítið innstreymi þarf af köldu vatni í jarðhitavatn til þess að koma af stað útfellingu og því full ástæða til að fylgjast vel með breytingum á efnainnihaldi vatnsins⁹.

Jarðhitaholur eru endingargóð mannvirki. Afköst þeirra breytast sjaldan með aldri og ef það er má yfirleitt rekja þá afkastarýnun til dælu eða niðurdráttar. Algengt er að hrun komi í holur eða að fyrirstaða myndist á meðan borun stendur en nær óþekkt að þær hrynji eftir að dæling hefst. Og við Suðurlandsskjálftana sumarið 2000 (R 6,4) skemmdist engin jarðhitahola, þrátt fyrir að stór hluti þeirri sé á Suðurlandi og sumar í næsta nágrenni við upptök skjálftanna¹⁰.

Það varð hinsvegar skemmd á asbestleiðslu hjá Hitaveitu Rangæinga við jarðskjálftana og þrýstingur féll á jarðhitasvæðum og vatnsborð féll tímabundið niður fyrir dælur. Mesta þrýstifallið var 100 metrar. Þetta jafnaði sig þó mjög fljótlega og vatnsborð var komið í sömu hæð að fáum mánuðum liðnum.¹¹ Jarðskjálftinn sendi öflugar átaksbylgju um jarðskorpuna og kom hún fram sem þrýstipúlsar í jarðhitakerfum sem víða gerðu uslaog skemmdu borholumannvirki. Í kjölfar jarðskjálftans hefur afkastageta sumra jarðhitasvæða aukist við að losnað hefur um sprungur og leiðandi berg enda vatnsleiðandi jarðskjálfta-sprungur undirstaða jarðhitanýtingar t.d. á Suðurlandi.

Hitaveituvatn er ekki skilgreint í reglugerðum sem neysluvatn, eingöngu til hitunar og þvotta og því þarf ekki að gera sömu kröfur um neysluhæfni þess og kalda vatnsins. Ekki er gert ráð fyrir að þess sé neytt og ef það er gert þá er það í mikið minna mæli en kalda vatnið. Ef hinsvegar eru varasöm efni í vatninu þarf að tilkynna það notendum. Jarðhitavatn hér á landi er í flestum tilfellum vel neysluhæft en þó eru dæmi um of mikið magn af flúor t.d. á Blönduósi, Varmahlíð og Hvammstanga. Þar er fólki ráðlagt að nota ekki jarðhitavatnið til neyslu. Flúorstyrkurinn mælist þar hæstur 5,8 mg/l en skv. neysluvatns-reglugerð (nr.536/2001) er hámarksgildi á flúor í neysluvatni 1,5 mg/l og er þá verið að miða við að vissa vatnsneyslu á dag.

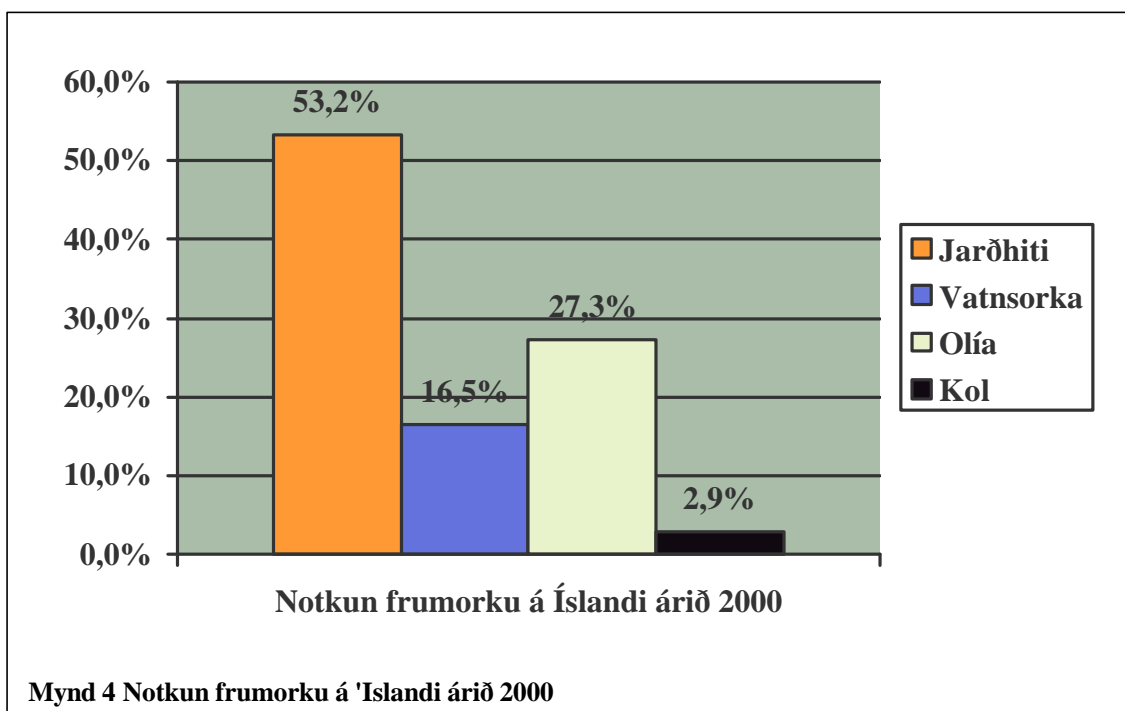
Jarðhitanotkun hér og annarsstaðar

Vitað er um nýtanlega jarðhita í 80 löndum og einhverja notkun er að finna í a.m.k. 67 löndum. En hlutur jarðhita í orkunotkun heimsins er mjög lítill, það lítill að hans er ekki getið sérstaklega í alþjóðasamantektum um orkunotkun. Í töflu 1 er sýnd rafmagns-framleiðsla og bein nýting jarðhita í heiminum árið 1999 og þar sést að á jarðhitasviði er Ísland með yfir 10% af beinni nýtingu á jarðhitaorku í heiminum og 2,3% af raforku-framleiðslu með jarðhita.

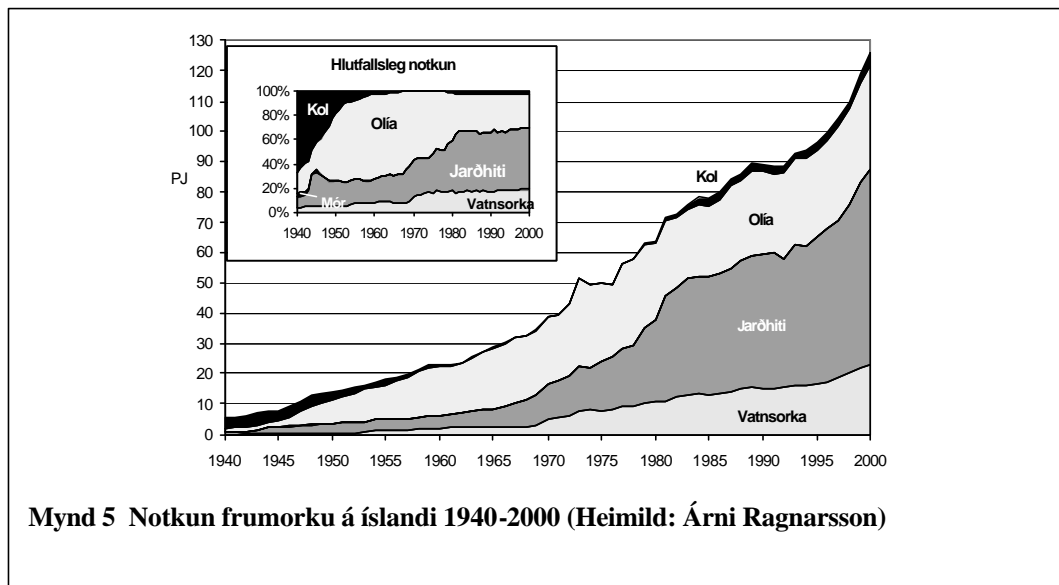
	Raforka Uppsett afl MWe	Raforku- framleiðsla GWh/ári	Bein nýting Uppsett afl MWt	Bein nýting Orkunotkun GWh/ári
Ísland	170	1.138	1.469	5.603
Í heiminum	7.974	49.263	15.144	52.979
Hluttur Íslands		2,3%		10,6%

Tafla 1; Rafmagnsframleiðsla og bein nýting jarðhita i heiminum og á Íslandi árið 1999¹²

Hér á landi hefur jarðhitinn mikla þýðingu og eins og áður hefur komið fram bar okkur gæfu til að nýta þessa orkulind tiltölulega snemma og tileinkuðum okkur tækni til að virkja jarðhitann og nýta til hitunar hýbýla. Hluttur jarðhitans í frumorkunotkun okkar þ.e.a.s. náttúrulegu orkulindinni er árið 2000 53,2%, vatnsorku 16,5% og jarðefnaeldsneytis 30,2% (sjá mynd 4). Um 70% af orkuþörf okkar er mætt með endurnýjanlegum orkugjöfum.



Jarðhitinn er fyrst og fremst nýttur til húshitunar, vatnsorkan til rafmagnsframleiðslu og olían í samgöngur. Kolanotkun er fyrst og fremst í Járnblandiverksmiðjunni á Grundartanga og Sementsverksmiðjunni á Akranesi. Framundir 1950 var töluverð notkun á kolum og á stríðsárunum var um 70% af orkuþörf okkar mætt með þeim. Einnig var þá notaður mór til hitunar. Síðan tekur við olíutímabilið í hitun og það varir fram yfir orkukreppuna í byrjun áttunda áratugarins þegar landið var endanlega hitaveituvætt að mestu með jarðhita.



Raforkuvinnsla úr jarðhita eru nú 1,3 TW_eh/ári (200 MW) og talið er að núverandi vinnslugeta án niðurdælingar á afgangsvarma bendir til vinnslugetu 6 TW_eh/ári. Með bættri vinnslutækni og niðurdælingu mætti auka getuna upp í 26 TW_eh/ári en þá er ekki tekið tillit til náttúruverndarsjónarmiða.¹³ Þannig að skv. þessu erum við einungis búin að virkja um 5% af nýtanlegum jarðhita. Hitt er svo annað mál hvað við viljum vernda af jarðhitasvæðum ósnert sem náttúruauðlind.

	Uppsett afl MW	Orkunotkun		Hlutfallsleg skipting %
		TJ/ár	GWh/ári	
Húshitun	1.200	15.800	4.389	62,9
Raforkuvinnsla	172	4.763	1.323	19,0
Iðnaður	65	1.600	444	6,4
Sundlaugar	65	1.100	306	4,4
Gróðurhús	45	790	219	3,1
Fiskeldi	25	650	181	2,6
Snjóbræðsla	65	410	114	1,6
Alls	1.637	25.113	6.976	100

Tafla 2; Jarðhitanýting á Íslandi árið 2000 (Heimild Árni Ragnarsson)

Um 63% af jarðhitanotkun er til hitaveitu og raforkuframleiðsla kemur næst með um 19%. Næst eru iðnaðarnot 6,4%, þar er stærst kísilgúrverksmiðjan í Mývatnssveit og Þörungarverksmiðjan á Reykhólum. Sundlaugar eru með 4,4%. Hér á landi eru um 160 sundlaugar og af þeim eru um 130 hitaðar með jarðhita. Aðsókn að sundstöðum hefur aukist á undanförunum árum og nú jafngildir hún því að hver landsmaður fari um 15 sinnum í sund á ári. Gróðurhúsaræktun er með 3,1%. Einhver mikilvægasta og elsta notkun jarðhita, fyrir utan húshitun, er hitun gróðurhúsa. Alls eru um 180 þús m² (18 hektarar) undir gleri. Þar af eru

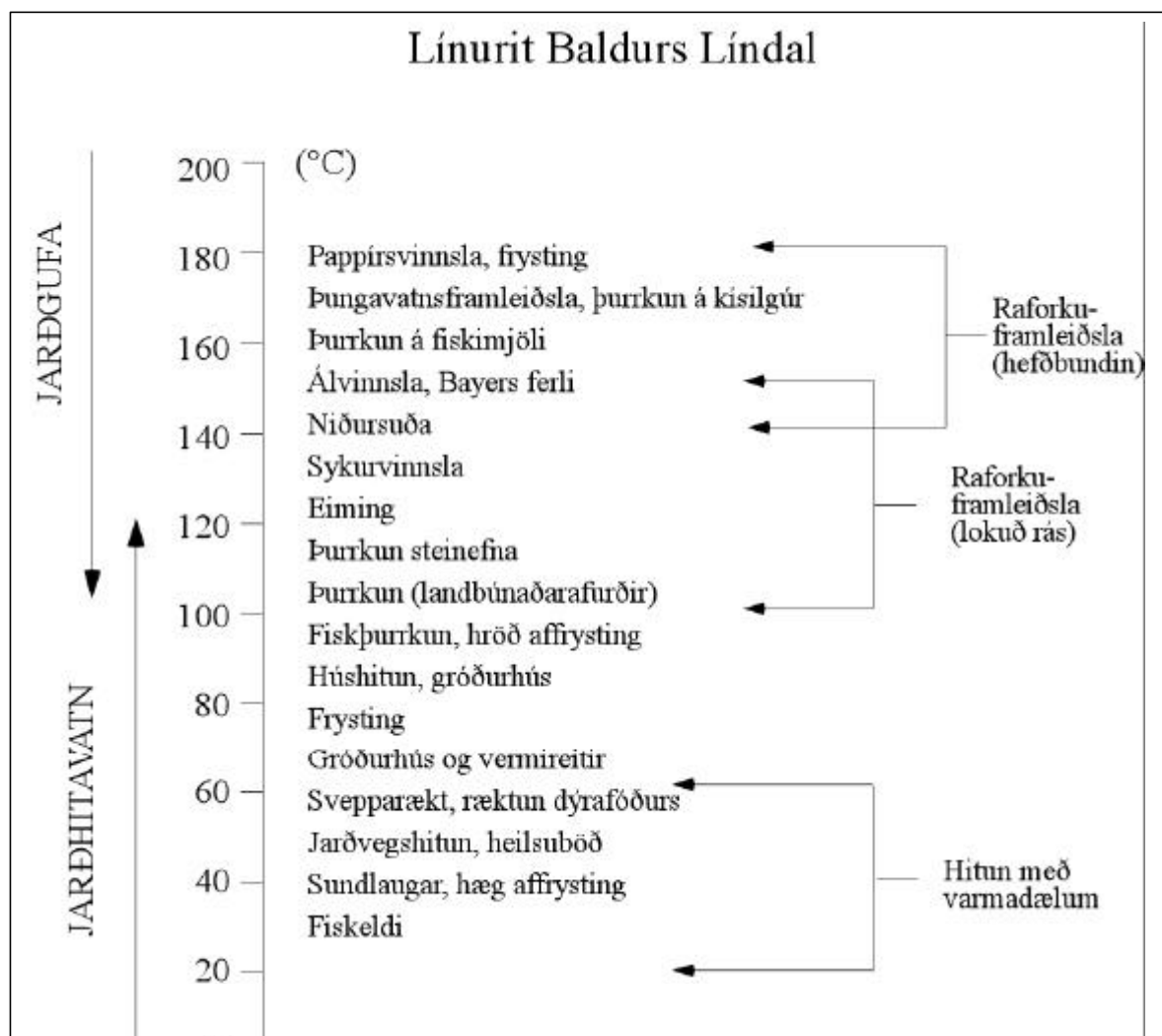
um 55% nýtt til ræktunar grænmetis og 45% til ræktunar blóma. Fiskeldi er með 2,6%. Jarðhitinn er þar fyrst og fremst notaður til seiðaeldis. Heildarframleiðsla í fiskeldi er nú um 4000 tonn á ári. Snjóbræðsla er með 1,6%. Jarðhiti hefur verið nýttur til snjóbræðslu undanfarin 20 ár. Algengast er að notað sé bakrásarvatn, um 35°C heitt, stundum blandað með fullheitu framrásarvatni. Við endurnýjun gatna í miðbæ Reykjavíkur fyrir nokkrum árum var lagt snjóbræðslukerfi í götur og gangstéttir sem þekja alls um 40 þús.m². Heildarflatarmál snjóbræðslu er áætlað á landinu um 350 þús.m².

Helstu nýtingarmöguleikar jarðhita

Almennt má flokka nýtingu jarðhita í fjóra höfuðflokka. Þeir eru:

- ?? Heitt vatn til upphitunar eða þurrkunar
- ?? Gufunotkun í iðnaðarferla
- ?? Raforkuframleiðsla hefðbundin með gufu eða í tvöföldu kerfi (lokaðri rás)
- ?? Efnavinnsla úr jarðhita

Á Íslandi flokkast stærstur hluti jarðhitanothunar í fyrsta flokkinn, bein notkun á heitu vatni til hitunar húsa, sundlaugavatns, gróðurhúsa, fiskeldis, snjóbræðslu og jarðvegshitun. Í matvælaíðnaði er jarðhiti notaður til þvotta, suðu, uppgufunar, gerilsneyðningar, eimingar



og þurrkunar á fiski og korni. Raforkuframleiðsla með jarðgufu er í nokkrum mæli. Efnavinnsla úr jarðhita er á Hæðarenda í Grímsnesi þar sem er unnin kolsýra (CO₂) úr jarðhitagufu sem nægir innanlandsmarkaði, í Svartsengi er kísilleðja notuð í snyrtivörur Bláa lónsins og til skamms tíma var salt unnið í Saltverksmiðjunni á Reykjanesi úr heitum jarðsjó. Úr jarðhita var fyrr á öldum unninn brennisteinn til púðugerðar og á Ítalíu er unnin bórsýra úr jarðhita.

Á Línaldslínuriti (sjá hér fyrir framan) sem kennt er við Baldur Línald, efnaverkfræðing sem látinn er fyrir nokkrum árum, og hann setti upp, eru sýndir nýtingarmöguleikar við hin ýmsu hitastig. Þar kemur fram að möguleikarnir í iðnaðarferlum eru margir sérstaklega þegar komið er í hærri hitastig og í gufufasa.

Það eru ýmsir möguleikar fyrir hendi við nýtingu jarðhitans til atvinnusköpunar sem við höfum ekki ennþá nýtt (sbr. tilvitnun nr. 17). Til dæmis mætti auka nýtingu í heilsurækt og ferðaþjónustu. Við lífræna ræktun, eimingu og þurrkun á jurtum. Mikið er flutt inn af þurrkuðum heilsujurtum. Við gerilsneiðingu á mjólkurvörum og ostagerð. Sótthreinsun á jarðvegi í stað eiturefna. Fullvinnslu á ýmsum afurðum. Þar er best að hafa að leiðarljósi frumlega hugsun og hagfræði hinnar hagsýnu húsmóður.¹⁴

Hitunarkostnaður hér og á Norðurlöndunum

Jarðhitinn er oftast seldur eftir rúmmálmæli (m³) og er gjaldskráin þá krónur á hvert tonn vatns, því fyrir vatn gildir nokkurn veginn að 1 m³ = 1 tonn. Húshitunarkostnaður er mjög mismundandi hjá hitaveitum landsins og er það eftir aldri veitnanna og hvað það hefur verið kostnaðarsamt að koma þeim á fót. En þrátt fyrir það er í flestum tilfellum mikið ódýrara að kynda með jarðhita en að kynda með rafmagni eða olíu. Við að kæla hitaveituvatn í ofni um 40°C (t.d. úr 75°C í 35°C) losna um 50 kWh úr hverju tonni. Ef gefnar eru ákveðnar forsendur þá kostar orkueiningin við hitun á 430 ferm. einbýlishúsi 0,44 kr/kWh og upp í 2,60 kr/kWh hjá dýrustu jarðvarmaveitunum. Vegið meðaltal húshitunar á landinu hjá hitaveitum er um 1,60 kr/kWh.

Ef litið er til hinna Norðurlandanna sem hafa hitaveitur í stórum stíl sem nýta aðra orkugjafa en hér á landi t.d. kol, jarðgas, olíu, sorpbrennslu, hálm, tréflís eða mó, þá er orkuverð þar mun hærra í flestum tilfellum. Meðalverð þar er frá um 2,50 kr/kWh í Finnlandi og upp í um nær 5 kr/ kWh í Danmörku.

Endurnýjanleg og sjálfbær orkulind

Hér á landi er óvenju háu hlutfalli af orkunotkun mætt með endurnýjanlegum orkugjöfum bæði vatnsorku og jarðhita. Við stöndum þar vel að vígi, en það þýðir ekki að við þurfum ekki að taka tillit til umhverfisins og vanda okkur þegar við hugum að nýtingu. Hugtökin endurnýjanleg og sjálfbær eru bæði í umræðunni þegar rætt er um orkuauðlindir og brynt er að greina þar á milli. Endurnýjanleiki lýsir eiginleikum orkulindarinnar en sjálfbær nýting er um hvernig vinnsla er háttáð og orkulind getur verið endurnýjanleg án þess að nýting hennar sé sjálfbær. Jarðhitinn er flokkaður á alþjóða vettvangi með endurnýjanlegum orkulindum. Hann verður til vegna orkustraums sem endurnýjast svo til jafnóðum og miklum orkuforða sem endurnýjast mjög hægt á tímakvarða manna. Lítil vinnsla hefur litla truflun í för með sér og hægt er að halda óbreyttri vinnslu í langan tíma á meðan mikil

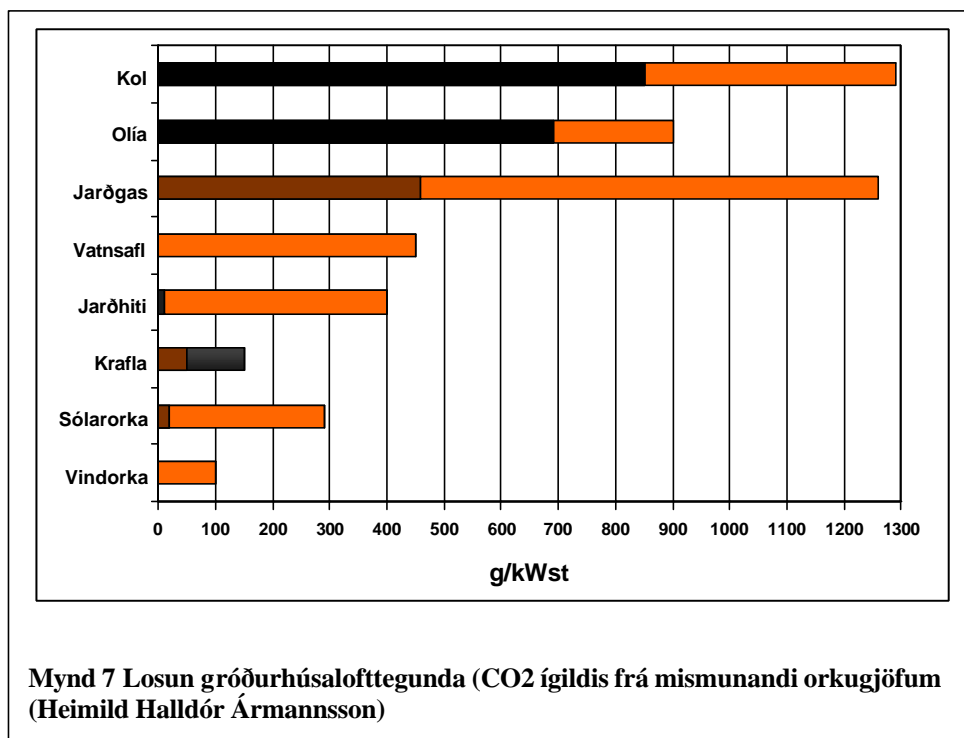
vinnsla getur haft áhrif til minnkunar. En það tæmir ekki jarðhitakerfið og það kemur til með að jafna sig í flestum tilfellum ef vinnsla er hætt.

Á Orkuþingi 2001 settu Guðni Axelsson ofl¹⁵. fram tillögu að einfaldri skilgreiningu á hver væri sjálfbær vinnsla jarðhita “Fyrir sérhvert jarðhitasvæði, og sérhverja vinnsluaðferð, er til ákveðið hámarksvinnslustig, E_o , sem er þannig háttað að með lægra vinnslustigi en E_o er unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu frá kerfinu yfir mjög langt tímabil, (100-300 ár). Sé vinnsluálag meira en E_o , er ekki unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu svo lengi. Jarðvarmavinnsla minni en eða jöfn E_o er skilgreind sem sjálfbær vinnsla en vinnsla umfram E_o er ekki sjálfbær.

Losun gróðurhúsalofttegunda frá jarðhita

Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á Íslandi árið 2000 var 3,3 milljónir tonna CO₂ ígildi¹⁶ og er losun hér á hvern íbúa 11,7 tonn á íbúa sem er í hærri lagi miðað við það sem gerist annars staðar í Evrópu. Útblástur frá jarðhitavinnslu ber einungis ábyrgð á 5% af þessari losun þrátt fyrir að 53% af frumorkunotkun komi þaðan. Losun gróðurhúsalofttegunda frá jarðhita er fyrst og fremst CO₂ og aðeins hverfandi lítil hluti af CH₄.

Losun brennisteinssambanda, sem eru loftmengunarefni en ekki gróðurhúsalofttegund, árið 2000 var 36.000 tonn eða um 77 kg/íbúa og er losun mun meiri en annars staðar í Evrópu. Stærsti hlutinn er vegna jarðhitavinnslu, eða 75%. Jarðhitafólk hefur gert athugasemdir við þessa útreikninga þar sem það H₂S sem kemur upp með jarðhita kemur ekki frá brennslu eins og í öðrum löndum. Hann fellur í stað þess að mestu út á jarðhitasvæðum eða í næsta nágrenni þeirra sem brennisteinn en oxast ekki í brennisteinsdíoxíð og veldur því ekki súru regni. Það kom fram í umræðum um málið á Orkuþingi 2001 að önnur lönd telji ekki þennan útblástur í sínu bókhaldi s.s. eins og Ítalía og Grikkland. Væri losun vegna jarðhitanýtingar undanskilin væri losun á hvern íbúa héraðs sambærileg við það sem gerist í öðrum löndum Evrópu eða um 19 kg/íbúa á ári.



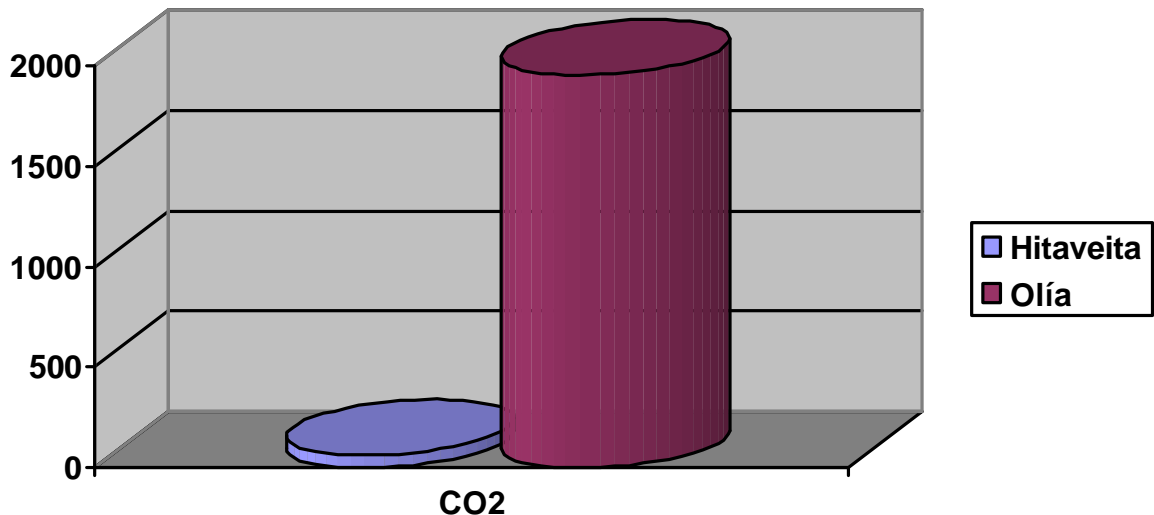
Á Orkuþingi fjallaði Halldór Ármannsson um gasútblástur frá jarðhitasvæðum og sýndi m.a. þessa mynd (birt hér með leyfi höfundar) með samanburði á losun gróðurhúsalofttegunda frá mismunandi orkugjöfum. Þar kemur fram að jarðhitinn er í flokki með vatnsorku, sólarorku og vindorku hvað varðar lítinn útblástur og vistvæna framleiðslu.

Losun frá nýtingu er mismunandi innan sömu orkugjafa. Losun sem sýnd er á mynd 7 fyrir jarðhita er langt fyrir ofan það sem er hér á landi og er sýnd losun í Kröflu sem er með mestan gasútblástur virkjaðra íslenskra jarðhitasvæða. Ástæðan fyrir háum gildum hjá vatnsaflsvirkjunum er að víða hefur miklu gróðurlendi verið drekkt í lónum og aðgerðin veldur miklu metanútsreymi. Minna gróðurlendi hefur verið drekkt hér á landi og eru gildi fyrir íslenskar vatnsaflsvirkjanir lág¹⁷.

Sem dæmi um samanburð má nefnda að útblástur frá jarðhita, sem er fyrst og fremst frá háhitasvæðum, er um 100 g/kWh og frá olíu um 800 g/kWh eða átta sinnum meiri. Það eru því umtalsverðir sparnaður í útblæstri við notkun jarðhita miðað við orkuframleiðslu með olíu. Útblástur af CO₂ frá hitaveitum er 62 þús.tonn árið 1999.¹⁸, sem er 12 g/kWh. Sá útblástur sem skrifast á hitaveitur kemur að mestur frá háhitavirkjunum á Nesjavöllum og Svartsengi en flestar hitaveitur fá orku frá lágghita með nær engann útblástur. Samsvarandi væri útblástur ef öll hitaorka kæmi frá olíuhitun 1320 þúsund tonn á ári ef miðað er við CO₂ útblástur frá olíubrennslu 264 gCO₂/kWh og orkan væri 5 TWh.

Tryggvi Felixsson, framkvæmdastjóri Landverndar, sagði í viðtali í sjónvarpi fyrir stuttu, þegar rætt var um losunarkvóta og virði hans, að hægt væri að tala um 1000 kr á tonnið. Það væri hófleg tala og samsvaraði um 2 kr. á bensínlítra. Ef ávinningur jarðhitans til húshitunar er skoðaður út frá þeim tölum þá myndi það kosta um 18,9 milljarða að kaupa losunarkvóta fyrir þá olíu sem við spörum með því að hita hús okkar með jarðhita.

Á mynd 8 er sýnt myndrænt hver sparnaðurinn á losun gróðurhúsalofttegunda er mikill við hitun með jarðhita í stað olíuhitunar. Og er þá ónefndur sá fjárhagslegi sparnaður sem er við að nýta þennan innlenda orkugjafa.



Mynd 8 Losun CO₂ í þús.tonn frá hitaveitum og sambærileg frá olúhitun

Umhverfisáhrif jarðhitans

Jarðhitinn er jákvæð orkulind þegar hann er borinn saman við jarðefnaeldsneyti. En nýting hans hefur áhrif á umhverfið sem nauðsynlegt er að leggja mat á og reyna að minnka eða vinna gegn þegar farið er út vinnslu hans. Jarðhitasvæði eru falleg og litfögur og gildi þeirra þeim mun meira þar sem þau eru sjaldgæf í heiminum. Þau eru viðkvæm og auðvelt er að spilla þeim.

Eftirfarandi eru möguleg umhverfisáhrif jarðhitanýtingar¹⁹:

- ?? Boranir – við boranir er vegagerð, vélahávaði frá borum, frárennsli af skolvatni, þungavinnuvélar og olúmengun frá þeim.
- ?? Minnkun á jarðhitavirkni á yfirborði á lághitasvæðum og oft hverfa hverir og laugar. Erlendis er farið að leiða yfirfallsvatn frá virkjun í hverina aftur. Á háhitasvæðum verður aftur á móti oft aukning á gufuústreymi og virkni hvera.
- ?? Hávaði frá blásandi háhitaholum. Hávaði í 10 m fjarlægð frá óheftri, blásandi gufuborholu er sambærilegur við hávaða frá þotu í flugtaki²⁰. Nú eru hljóðdeyfar hafðir við holur og mestur hávaðinn bundinn við þann stutta tíma sem holan er ekki nýtt til virkjunar.
- ?? Við ofnýtingu er hætt á að eyðileggja svæðið varanlega og kalt vatn fari að renna niður í kerfið.
- ?? Hitakærar plöntur sem lifa í og við jarðhitasvæði missa búsvæði sín. Þessar plöntur eru oftast ekki fágætar og hér á landi eru 10 af 52 íslenskum plöntum á valista yfir plöntur sem vaxa aðeins við jarðhitasvæði.
- ?? Áhrif á vistkerfi í ám og vötnum. Sjóðheitt frárennsli sem rennur í læki, vötn og sjó drepur fiska og plöntur við útfallið. Og ef mikið heitt vatn fer í frárennslið fyrir slysi þá getur það haft áhrif langt frá slystað.
- ?? Áhrif á landið geta verið m.a. landnotkun undir virkjun og leiðslur. Oftast eru jarðhitavirkjanir ekki fyrirferðamiklar miðað við aðrar orkustöðvar en það þarf samt að huga vel að hönnun og fella þær að umhverfinu.
- ?? Landsig – vökvanám veldur jarðsigi og er það vel þekkt hér á landi

- ?? Varmi verður afgangur við vinnslu. Varmi er illa nýttur (10-15%) við rafmagnsframleiðslu og er best að dæla affallsvatninu aftur niður í jarðhitageyminn eða að nýta hann fyrir hitaveitu.
- ?? Efnalosun í vatni og loft fylgir oftast vinnslu jarðhita og þá umfram það sem er við náttúrulegt útstreymi þessara lofttegunda s.s. CO₂, H₂S og CH₄. Þó er það lítið í samanburði við losun frá brennslu jarðefnaeldsneytis eins og kom fram í fyrri kafla.
- ?? Náttúruhamfarir – Komið hefur fyrir að stórar jarðhitavirkjanir valdi hamförum eins og sprengigosum. Vitað er um nokkra slíka atburði t.d. sprakk hola skyndilega í Krýsuvík árið 1999 og litlu mátti muna að ekki yrði mannskaði
- ?? Heilsufar starfsmanna sem starfa við virkjanir þarf að hafa í huga t.d. geta safnast fyrir jarðhitagöms í borholukjöllum og gæta þarf varúðar við meðferð heitrar gufu og vatns.

Niðurstöður

Það er ljóst að jarðhiti er ein af okkar mikilvægustu auðlindum. Við lærðum snemma að nýta hann okkur til hagsbóta. Og þá sérstaklega til hitunar, sem er mjög mikilvægt hér á okkar breiddargráðu. Við höfum ennþá virkjað tiltölulega lítinn hluta af virkjanalegum forða og rétt er um raforkuframleiðslu í stórum stíl fyrir stóriðju. Jarðhitinn hefur það fram yfir vatnsaflíð að hentugra er að virkja hann í smærri þrepum t.d. um 30 MW og þannig er hægt að aðlaga hann að vaxandi þörf hins almenna raforkumarkaðs²¹ og ekki þarf að vera með mikið uppsett afl sem engin not eru fyrir sbr. Blöndu fyrir nokkrum árum. Einnig mætti huga að nýtingu í smáum stíl til að auka atvinnuuppbyggingu í dreifbýli og þar eru ýmsir möguleikar t.d. í ferðamannaíðnaði og heilsurækt. Töluvert hefur verið leitað að jarðhita á svonefndum köldum svæðum og hefur t.d. hitaveita í Stykkishólmi verið lögð sem árangur af þeirri leit. Ríkissjóður hefur veitt um 30 Mkr. á ári í átak í leit að jarðhita á köldum svæðum og er þá fyrst og fremst verið að leita nærri þéttbýlissvæðum sem ekki hafa jarðvarma hitaveitu t.d. á Austfjörðum.²²

Það er einnig ljóst að jarðhitinn er okkur ákaflega hagstæður þegar litið er til losunar gróðurhúsalofttegunda og værum við mikið ver stödd hvað það varðar ef við hefður ekki haft þessa auðlind. Varlega áætlað er virði á losun 1,9 milljarðar kr á ári í kolsýruskatt eða kvóta, yrði hann settur á, bara vegna hitunar.

En ef við ætlum að fara út í frekari nýtingu þá þarf að huga vel að umhverfisáhrifum jarðhitans og er þá sérstaklega eyðileggingu hvera og lauga og búsvæða fyrir sjaldgæfar plöntur. Einnig þarf að huga vel að varmamengun og er það stærsta verkefni sem bíði orkugeirans er varðar jarðhitanytingu, að finna lausnir sem koma í veg fyrir að vatni sé fleygt í sjó og vötn allt að 40°C heitt. Það er alltof mikil sóun á orku. Þar eru möguleikar á niðurdælingu, sem hefur nú þegar verið reynd á Laugalandi á Þelamörk hjá Norðurorku og í Svartsengi eða frekari nýtingu orkunnar.

Helstu heimildir:

Sveinn Þórðarson; Auður úr iðrum jarðar; Saga jarðhitanýtingar og hitaveitna á Íslandi, Safn til Iðnsögu Íslands 1998.

María J. Gunnarsdóttir, Helga Tulinius og Ragnar Karlsdóttir; Jarðhitanýting til smáíðnaðar í dreifbýli, verkefni styrkt af Smáverkefnasjóði landbúnaðarins

Sverrir Þórhallsson; efni frá Borholunámskeiði um endurvirkjun og viðhald borhola; Samorka 3.-4. maí 2001.

Hrefna Kristmannsdóttir; Útfelling í hitaveitum; ritið Sveitarstjórnarmál.

Árni Ragnarsson; Orkunotkun á Íslandi, Orkuþing 2001

María J. Gunnarsdóttir; óbirt gögn um orkuverð hitaveitna hér á landi og á Norðurlöndum Hitaveituhandbók Samorku

Fréttabréf SÍH um sögulegar staðreyndir um jarðhitanýtingu

Fréttabréf Samorku; 4. tbl. 2000 um umhverfisáhrif jarðhitanýtingar

Tilvitnanir

¹ Ingólfur Davíðsson; Jólblað Tímans 1949

² Sveinn Þórðarson; Auður úr iðrum jarðar – Saga jarðhitanýtingar og hitaveitna á Íslandi, Safn til Iðnsögu Íslands

³ John W. Lund ofl.; Stories from a Heated Earth – our Geothermal Heritage, Geothermal Resources Council

⁴ Baldur Johnsen; Fréttabréf um heilbrigðismál 1962

⁵ Ingvar Birgir Friðleifsson; Sjóðandi lághitasvæði; erindi á Orkuþingi 2001

⁶ Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Sverrir Þórhallsson; Hitaveituhandbók Samorku

⁷ Munnlegar upplýsingar frá Sverri Þórhallssyni, efnaverkfræðingur á Orkustofnun

⁸ Sverrir Þórhallsson, Borholunámskeið- virkjun og viðhald; Haldið á vegum Samorku 3.-4. maí 2001

⁹ Hrefna Kristmannsdóttir, Útfellingar í hitaveitum, grein í Sveitarstjórnarmál.

¹⁰ Ólafur Flóvenz ofl. Tjón á mannvirkjum og rekstrartruflanir árið 2000, erindi á Orkuþingi 2001

¹¹ Grímur Björnsson ofl. Áhrif jarðskjálftanna 2001 á jarðhitakerfi, erindi á Orkuþingi 2001

¹² Ingvar Birgir Friðleifsson; Staða Íslands meðal jarðhitaþjóðanna, Ráðstefna Jarðhitafélags Íslands 8.11.2000

¹³ Sveinbjörn Björnsson, Orkulindir og umhverfi – rammaáætlun, erindi á Orkuþingi 2001

¹⁴ María J. Gunnarsdóttir, Helga Tulinius og Ragnar Karlsdóttir; Jarðhitanýting til smáíðnaðar í dreifbýli, verkefni styrkt af Smáverkefnasjóði landbúnaðarins

¹⁵ Guðni Axelsson ofl. Um sjálfbæra vinnslu á jarðhita; erindi á Orkuþingi 2001

¹⁶ Birna Hallsdóttir, Útstreymi loftmengunarefna og útstreymisbókhald; erindi á Orkuþingi 2001

¹⁷ Halldór Ármannsson, Gasútstreymi frá jarðhitavirkjunum, erindi á Orkuþingi 2001

¹⁸ María J. Gunnarsdóttir ofl. Miljö i Nordisk fjernvarme – udslip, andel fornybar energi og miljøarbejde; skýrsla Nordvarme í janúar 2001.

¹⁹ Tervor Hunt, jarðvísindamaður frá Nýja Sjálandi; fyrirlestur um jarðhita og umhverfismál á vegum Jarðhitaskólans haustið 2000 og útdráttur úr þeim fyrirlestri í Fréttabréfi Samorku 3. tbl. okt. 2000

²⁰ Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson, Umhverfismál jarðhitavirkjana, erindi á Orkuþingi 2001

²¹ Valgarður Stefánsson, Stofnkostnaður jarðvarmavirkjana; erindi á Orkuþingi 2001

²² Helgi Torfason, Átak í leit að jarðhita á köldum svæðum; erindi á Orkuþingi 2001.