

## Setning málþings Jarðhitafélags Íslands og Orkuveitu Reykjavíkur til minningar um Jóhannes Zoëga

Ingvar Birgir Friðleifsson  
formaður Jarðhitafélags Íslands

Ágætu málþingsgestir!

Það er mér ánægja að setja þetta málþing sem haldið er til minningar um Jóhannes Zoëga, fyrrum hitaveitustjóra. Þetta er áttunda ráðstefnan eða málþingið sem Jarðhitafélag Íslands heldur, en félagið var stofnað í maí árið 2000. Að þessu sinni höldum við málþingið í samvinnu við Orkuveitu Reykjavíkur.

Jóhannes Zoëga var einn af stofnfélögum Jarðhitafélagsins og tók mjög virkan þátt í málþingum þess. Hann taldi Jarðhitafélagið upplagðan vettvang til faglegra umræðna og skoðanaskipta um jarðhitamálefni og kom með ábendingar um fundarefni. Hann var kjörinn heiðursfélagi á aðalfundi Jarðhitafélagsins 23. apríl 2001. Í þakkarávarpi sínu óskaði hann félaginu góðs gengis sem baráttu- og vísuöflunartækis hér á landi sem annar staðar (skv. fundargerð aðalfundar).

Á aðalfundi Jarðhitafélagsins 15. apríl 2004 s.l. flutti Jóhannes stórfróðlegt erindi undir heitinu “Borholudælu Hitaveitu Reykjavíkur – Þróunarsaga” ([www.jardhitafelag.is](http://www.jardhitafelag.is)). Þar lýsti hann sögu dælingar á heitu vatni á vinnslusvæðum Hitaveitunnar allt frá því fyrst var dælt með lofti úr borholu í Laugardalnum árið 1937 þar til Jóhannesi og samstarfsmönnum hans hafði í samvinnu við dæluframleiðendur í Bandaríkjunum tekist árið 1967 að þróa djúpdælu sem þoldi hitann í borholunum á Laugarnessvæðinu. Það var ekki að sjá að eldhuginn í ræðustólnum væri tæplega 87 ára gamall. Þarna kom fram enn einu sinni hin mikla skerpa og áhugi sem einkenndi Jóhannes bæði meðan hann var hitaveitustjóri og í umræðum á jarðhitaráðstefnum og í blaðagreinum eftir að hann fór á eftirlaun.

Fyrsti formaður Jarðhitafélags Íslands, Guðmundur Pálmason, fór nokkrum orðum um starfsferil Jóhannesar við afhendingu heiðursfélagaskjalsins vorið 2001. Hann sagði m.a.: “Jóhannes hefur ekki sest í helgan stein eftir að hann hætti störfum sem hitaveitustjóri. Hann fylgist vel með og er óragur við að segja yngri kollegum sínum til syndanna í fjölmiðlum ef honum þykir þeir vera að fara út á full áhættusamar brautir í vinnslu jarðhitans. Vonandi fáum við lengi enn að njóta hollráða Jóhannesar á þessum vettvangi”.

Og Jóhannes gerði það svo sannarlega ekki endasleppt. Í ágústlok 2004, stuttu áður en hann lagðist banaleguna, kom hann handriti að grein til Guðna Axelssonar til yfirlstrar. Greinin nefnist “Hvernig á að nýta jarðhitann í Henglinum”. Guðni mun flytja erindi Jóhannesar hér á eftir. Jafnframt verður flutt erindi um hönnunarsögu Hitaveitu Reykjavíkur þau ár sem Jóhannes stýrði henni, erindi um kosti og hönnunarforsendur jarðhitavirkjana í Henglinum, erindi um varmafræði jarðgufuvirkjana og hitaveitna, svo og erindi um sjálfbæra nýtingu jarðhitasvæða. Allt voru þetta Jóhannesi mikil hjartans mál.

Í upphafi mun Guðmundur Þóroddsson, forstjóri Orkuveitu Reykjavíkur, flytja minningarorð um Jóhannes, og Benedikt sonur Jóhannesar mun kynna endurminningar hans, sem gefnar verða út í vor.

Fyrir hönd Jarðhitafélagsins vil ég þakka börnum Jóhannesar, Orkuveitu Reykjavíkur og fyrirlesurum fyrir samstarfið við að halda þetta málþing til minningar um Jóhannes Zoëga.

Að svo mæltu set ég málþingið og bið Sveinbjörn Björnsson, fv. rektor Háskóla Íslands, að taka við fundarstjórn.

## Jóhannes Zoëga 14. ágúst 1917 – 21. september 2004

Guðmundur Þóroddson, orkuveitustjóri

Heiðursfélagi Jarðhitafélagsins, Jóhannes Zoëga, féll frá á árinu sem leið. Þessi mikilhæfi verkfræðingur, kennari og brautryðjandi markaði djúp spor í nýtingarsögu jarðhita hér á landi og víðar og tel ég að á engan sé hallað, þótt Jóhannes verði talinn faðir hitaveitunnar hér á landi.

Jóhannes var frá Norðfirði og lauk prófi í vélaverkfræði frá Technische Hochschule í Berlín árið 1941. Hann starfaði síðan í Þýskalandi öll styrjaldarárin, vann við smíði flugvélahreyfla hjá BMW 1941-42 og við kennslu og rannsóknir í varmafræði í Munchen til stríðsloka.

Hann kom heim strax að loknu stríði, - starfaði sem verkfræðingur hjá Hamri 1945-52 og var síðan forstjóri Landssmiðjunnar í tíu ár. Hann kenndi við verkfræðideild Háskólans og var prófdómari þar löngum síðan, allt til ársins 1977.

Fram hefur komið að Jóhannes Zoëga lagði stund á rannsóknir í varmafræði í Þýskalandi að námi loknu. Sú reynsla gat komið Hitaveitu Reykjavíkur að notum en fyrirtækið var ungt og átti við byrjunarörðugleika að stríða. Ekki leið heldur á löngu þar til Jóhannes var kvaddur til starfa. Allmikið bar á tæringu í ofnum á árunum 1944 – 46. Jóhannes var skipaður í nefnd sem rannsaka skyldi þetta fyrirbæri. Nefndin komst að þeirri niðurstöðu að orsökina væri súrefnisupptaka í hitaveitugeymi í Öskjuhlíð og ylli hún sveppvöxnum ryðgróðri í pípum. Nefndin lagði síðan á ráðin um efni sem hindrað gætu slíka súrefnisupptöku.

Vatnsskortur var annað vandamál Hitaveitunnar á þessum árum. Rétt rúmlega helmingur bæjarbúa naut hitaveitu árið 1951 og hinir knúðu á um lausn. Ekki bætti úr skák að vatnið þraut á hitaveitusvæðinu í kuldaköstum og þurftu margir íbúar þess að þola kulda undir slíkum kringumstæðum.

Bæjarstjórn Reykjavíkur vildi ráða bót á þessu og skipaði á árinu 1954 nefnd sem skyldi leita lausna og setti henni erindisbréf.

Hún skyldi leita að heitu vatni í bæjarlandinu, nágrenni þess og nágrennasveitum og undirbúa kaup á nýjum jarðbor og stórvirkari þeim sem fyrir voru. Árni Snævarr verkfræðingur var formaður þessarar nefndar. Hann hvarf til annarra starfa árið 1958 og var Jóhannes skipaður í hans stað og tók við formennsku.

Það voru skiptar skoðanir í nefndinni. Sumir nefndarmenn töldu kleyft að afla nægilegs vatns með djúpborunum og borholudælum til að hita upp öll hverfi bæjarins en aðrir töldu þetta vera allósennilegt. Jóhannes fyllti fyrri flokkinn. Bæjarstjórn aðhylltist einnig þetta sjónarmið og samþykkti á árinu 1961 að lokið skyldi við að leggja hitaveitu í öll skipulögð hverfi vestan Elliðaáa fyrir árslok 1965.

Bæjarstjórn og Jóhannes Zoëga voru sammála um þetta atriði og mun það orsök þess, að borgarstjóri lagði að Jóhannesi að taka að sér starf hitaveitustjóra. Jóhannes féllst á þetta og tók við starfinu vorið 1962. Í hans hlut kom því að framkvæma samþykkt bæjarstjórnar frá árinu 1961. Djúpboranir hófust í bæjarlandinu árið 1958 og nokkru síðar fóru tilraunir með borholudælur á bera árangur.

Vatnsmagn veitunnar jókst verulega og í desembermánuði árið 1966 var ráðin bót á vatnsskortinum og hefur hans ekki gætt síðan. Samþykktinni frá 1961 var lokið fyrir árslok 1965 eins og til stóð og hitaveita síðan lögð í hverfi innan Elliðaáa. Árið 1973 var svo komið að 98% borgarbúa naut hitaveitu.

Á áttunda tug 20. aldar var ráðist í að endurvirkja jarðhitasvæðin á Norður- og Suður Reykjum. Við þetta jókst vatnsmagn það sem Hitaveitan hafði yfir að ráða verulega og hún

varð aflögufær. Hitaveita Reykjavíkur tók þá að semja við nágrannasveitarfélög um lagningu hitaveitu og upp úr 1980 var svo komið að hún sá þeim öllum nema Seltjarnarnesi fyrir heitu vatni, - Hitaveita Reykjavíkur var orðin hitaveita höfuðborgarsvæðisins.

Jafnframt var farið að búa í haginn fyrir framtíðina. Borgin keypti Nesjavelli árið 1964 og hefur síðan keypt fleiri jarðir sem jarðhiti fylgir á þessum slóðum. Borgarstjórn samþykkti að ráðast í virkjun jarðhitasvæðisins á Nesjavöllum árið 1986 og það ár hófust framkvæmdir þar fyrir alvöru.

Jóhannes Zoëga lét af störfum í árslok 1987 og hafði þá gegnt stöðu hitaveitustjóra í aldarfjórðung. Óhætt er að segja, að hann hafi látið sér mjög annt um fyrirtækið og viljað hlut þess mikinn og hag þess góðan. Jóhannes náði því einnig að verða eins konar persónugerfingur Hitaveitunnar í hugum borgarbúa.

Jóhannes Zoëga gegndi ýmsum fleiri trúnaðarstörfum tengdum hitaveitumálum en hér hafa verið talin. Hann átti sæti í stjórn Gufubors ríkisins og Reykjavíkurborgar og Jarðborana, var formaður starfshóps Rannsóknarráðs ríkisins um orkumál og sat í stjórn Sambands íslenskra hitaveitna, um tíma sem formaður. Hann var ráðgjafi Sameinuðu þjóðanna um nýtingu harðhita í Tyrklandi og Kína.

Hann var sæmdur gullmerki Verkfræðingafélags Íslands, - hafði setið þar í stjórn og verið formaður. Þá var hann sæmdur gullmerki Ferðafélags Íslands, enda mikill áhugamaður og útivist og náttúru Íslands. Jóhannes hlaut Geothermal Pioneer Award frá Geothermal Resources Council og var heiðursfélagi í Lagnafélagi Íslands.

Góðir fundarmenn. Við lok þessara fátæklegu orða um Jóhannes Zoëga bið ég ykkur að heiðra minningu hans með því að rísa úr sætum.

# Úr endurminningum Jóhannesar Zoëga

Kaflarnir hér á eftir eru úr óbirtum endurminningum Jóhannesar Zoëga þar sem hann segir frá lífshlaupi sínu, æsku og uppvexti á Norðfirði, menntaskólaárum á Akureyri og í Reykjavík, námsárum og dvöl í Þýskalandi frá 1937-45. Hann rekur líka störf sín hjá Hamri, Landsmiðjunni og Hitaveitunni og ýmsar minningar af fjölskyldu og vinum. Minningarnar eru að stofni til byggðar á spjalli Jóhannesar við Ólaf Hannibalsson.

## Doktorsverkefnið springur í loft upp

*Sagan hefst í Þýskalandi árið 1943 þar sem Jóhannes vinnur við Tækniháskólann í München. Þjóðverjar fara halloka í stríðinu og sprengjum rignir á borgina.*

Við vinnufélagarnir hittumst stundum utan vinnutíma. Það vorum við þrír sem unnum við læristólinn og einn sem var að ljúka doktorsverkefni þegar ég byrjaði þarna, Schneider. Hann vann í rannsóknarstofunni að hitamælingum í spöðum þotuhreyfla. Dr. Schneider hvarf út í iðnaðinn ári seinna eða svo. En meðan hann er enn þarna, það mun hafa verið vorið 1943, herði ég mig upp í það að fara til prófessorsins og tala við hann um hvort ég geti ekki fengið að vinna að doktorsverkefni. Það var auðsótt og hann úthlutaði mér verkefni. Það var því miður bundið við tilraunir að miklu leyti. Verkefnið var að mæla svokallað kveikjuhik (*Zündverzug*) við brennslu á gastegundum. Þetta er sá tími sem líður frá kveikingu (rafmagnsneista) þar til brennslan (efnabreytingin) í blöndunni byrjar. Til þessara mælinga þurfti mikinn búnað og nákvæm mælitæki, þar sem mælistærðin er aðeins nokkrir þúsundustu hlutar úr sekúndu. Dr. Schneider var mér hjálplegur við þetta þar sem hann var kunnugur mælitækjum rannsóknarstofunnar.

Ég byrjaði svo á þessu af fullum krafti. Af því að þetta var samhliða minni daglegu vinnu, þá varð ég oft að vinna við tilraunirnar og undirbúning þeirra á kvöldin. Ég var oft fram á nætur að baksa við tilraunirnar í rannsóknarstofunni. Ég þurfti að láta smíða tilraunavél, bombu svo kallaða. Það var gert í glerverkstæði úti í bæ sem blés fyrir mig alls konar flókin listaverk sem á þurfti að halda við mælingarnar. Einnig var ég mikið í sambandi við *Bosch*-verksmiðjuna sem útbjó kveikibúnaðinn (kertin). Þeir voru mér einnig mjög hjálpsamir. Allur þessi undirbúningur var erfiðari og tók miklu lengri tíma en verið hefði á friðartímum. Leyfi hernaðaryfirvalda þurfti fyrir nokkrum tækjum og efnum og það tók tíma og fyrirhöfn. Mestum erfiðleikum ullu þó loftárásirnar sem fóru mjög vaxandi frá hausti 1943 til stríðsloka, einkum var erfitt sumarið 1944. Oft varð hlé á tilraunum mínum vegna rafmagnsleysis eftir loftárás, en þrisvar eyðilögðust tilraunataekin að meira eða minna leyti, í síðasta skiptið svo til algjörlega þegar stór sprengja gjöreyðilagði vélasafnið og rannsóknastofuna að miklu leyti í janúar 1945. Þar með lauk tilraun minni til doktorsprófs. Ekki sá ég neina leið til þess að taka upp þráðinn aftur að stríðinu loknu því að í Þýskalandi var allt í rúst næstu árin eftir stríðslok.

## Síðasta hitaveitunefndin

*Jóhannes varð formaður Hitaveitunefndar árið 1958. Nefndin lagði til að hitaveita yrði lögð í öll hús í Reykjavík en Helgi Sigurðsson hitaveitustjóri leggst gegn því.*

Áðan minntist ég á það að hitaveitustjórinn var einn á móti ályktun nefndarinnar. Helgi var varkár maður. Hann var búinn að ganga í gegnum ansi miklar þrengingar vegna vatnsskorts hjá Hitaveitunni. Reykjavatnið var í raun minna heldur en gert hafði verið ráð fyrir. Mælingarnar höfðu verið ónákvæmar og meira vatn fór í sveitina á jarðhitasvæðinu en reiknað var með. Notkunin hafði farið vaxandi. Þetta leiddi til vatnsleysis í vissum hverfum bæjarins þegar kalt var í veðri. Allt þetta gerði Helga varkárari í öllum áætlunum. Hann hafði lagt svo fyrir að hitaveitunotendur skyldu loka fyrir heita vatnið að kvöldi í sparnaðarskyni svo að geyrnir gætu fyllst um nóttina. Gunnar Böðvarsson reiknaði út að hagkvæmara væri að láta vatnið renna allan sólarhringinn til þess að losna við hið mikla álag sem færi í það að hita húsin upp á morgnana og við minna álag á ofnana ykist nýting jarðhitans með meiri kælingu hitaveituvatnsins. Helgi féllst ekki á þetta og olli það miklum deilum á nefndarfundum. Allt þetta gerði Helga svartsýnan og vildi hann ekki fallast á rökstuðning annarra nefndarmanna og tillögur þær sem nefndin skilaði til borgarráðs og borgarstjórnar í febrúar 1961.

Geir Hallgrímsson borgarstjóri trúði nefndinni og hitaveitumálið var það sem brann heitast á borgarbúum á þessum árum. Þrátt fyrir vatnsleysi sums staðar í kuldaköflum var eftirsóknarvert að eiga heima á hitaveitusvæðum. Menn borguðu helmingi minna fyrir hitann og losnuðu við kola- og olíukyndinguna og eldhættuna. Auðveldara var að selja hús á hitaveitusvæði en utan þess. Borgarstjórnarkosningar áttu að fara fram árið eftir og þetta gat orðið gott stefnumál fyrir ungan borgarstjóra.

Geir var nýkominn í þá stöðu, varð borgarstjóri 1959. Það var auðvitað erfitt að fara af stað með þetta mál sem hitaveitustjórinn sjálfur var mjög andvígur og borgarstjórinn samdi við Helga um það að hann skyldi hætta. Geir lagði hart að mér um að gerast hitaveitustjóri af því að ég hafði verið formaður Hitaveitunefndarinnar og var í forsvari fyrir nefndarálitinu. Ég var lengi tregur til þess. Að vísu var ég búinn að ákveða það að fara að hætta í Landssmiðjunni, en hafði hugsað mér að setja upp eigin verkfræðistofu og vinna sjálfstætt og var byrjaður að undirbúa það nokkuð. En ég hafði alls ekki ætlað mér að halda áfram í hitaveitumálunum, ég taldi þeim lokið með þessari skýrslu. En Geir hélt því fram að útilokað væri að hrinda málinu af stað með Helga, sem væri algjörlega á móti framkvæmdunum, andstaða væri í borgarstjórninni og ekki bætti úr að nefndarformaðurinn sjálfur treysti sér ekki til þess að fylgja málinu eftir. Ég dróst loks á þetta og við sömdum um það að ég tæki við þessu ef ég gæti losað mig frá Landssmiðjunni á næstu þrem mánuðum, því að þetta var í desember sem saman gekk með okkur Geir. Þá var Bjarni Benediktsson atvinnumálaráðherra. Hann var tilbúinn að sleppa mér frá Landssmiðjunni ef ég gæti útvegað annan í staðinn á þessum tíma því að ég þurfti að byrja sem fyrst eftir nýjárið. Mér tókst loksins að finna mann sem hann gat samþykkt, ungan vélverkfræðing, Guðlaug Hjörleifsson.

Við þessa sögu bættist reyndar smá kafli því að eftir að ég hafði samþykkt að taka að mér starfið hringdi Geir í mig og spyr hvort mér sé ekki sama hvort starfið sé auglýst, það verði bara til málamynda en hann vilji gera það vegna pólitíkurinnar. Ég sagði að mér væri svosem sama, en þá myndi ég ekki sækja um. Mér fannst það bara skollaleikur. Geir sagði þá að ég hefði verið þeim svo erfiður að best væri að hafa þetta eins og ég vildi og það varð. Auðvitað varð svolíttill hvinur út af þessu hjá minnihlutanum en það leið hjá eins og annað.

## Kuldaboli

*Árið 1967 er byrjað að leggja hitaveitu í ný hverfi en miklir kuldar herja á landið og ekki er nóg vatn í gömlu hverfunum.*

Það var á þessum vetri sem ég var kallaður *kuldaboli*. Það nafn fékk ég einmitt í seinustu kuldaköstunum þegar við vorum að ganga frá nýju dælunum. Í desember 1967 kom vondur frostakafli með 5-10 stiga frosti, sem er óvenjulegt svo snemma vetrar. Hann stóð í viku og var dúndrandi vatnsskortur. Á sama tíma vorum við að reisa kyndistöðina í Árbæ og allt í hálofti. Til að kóróna allt fékk ég vírusgigt í öxlina og gat ekki sofð á nóttinni fyrir kvölum. Í öllu þessu var ég dreginn fárveikur og ósofinn á heljarmikinn mótmælafund í Sjálfstæðishúsinu, sem Húseigendafélagið stóð fyrir. Þetta var óskemmtilegt. Það var vatnsskortur í gamla bænum og síminn þagnaði ekki heima hjá okkur á kvöldin þegar fólk var að kvarta undan kulda. Sumir spöruðu ekki skammirnar og kölluðu mig hinum verstu nöfnum. Við vorum óheppin að einmitt á þessum tíma skyldu koma mestu kuldaköst sem verið höfðu í áratugi. Þess var ekki að vænta að fólk gerði sér grein fyrir því að þá væri ég loks eftir margra ára baráttu að hrekja kuldabola úr bænum. Að vísu vissi ég að þetta stóð allt til bóta. Það þótti kokhreysti mikil þegar ég fullyrti að ekki mundi fara svona í næsta kuldakasti. Tíminn og Þjóðviljinn voru sannarlega ekkert að draga úr þessu. Dælurnar voru komnar á hafnarbakkann í New York. Við gátum samið við Pan Am flugfélagið um að millilenda á Keflavíkurlflugvelli með tiltölulega góðum kjörum ef við hefðum 5-6 tonna flutning. Flutningabílar voru mætti úti á flugvelli og við drifum dælurnar í. Því var lokið fyrir jól og Reykvíkingar áttu hlý og notaleg jól.

Eftir áramótin 1968 gerði svo mjög skarpt kuldakast 8. janúar með 12 stiga frosti og roki. Þá tæmdust geymarnir að vísu, en þetta varð ekki tilfinnanlegt miðað við það sem á undan var gengið. Síðan hefur aldrei orðið vatnsskortur hjá Hitaveitu Reykjavíkur og geymarnir aldrei tæmst. En fram að því höfðu þeir tæmst allt að 100 sinnum á ári. Gufuborinn og teflonlegurnar í borholudælunum eru stærstu framfaraskrefin í þróunarsögu Hitaveitunnar.

# Hvernig á að nýta jarðhitann í Henglinum?

Jóhannes Zoëga

Hitaveitustjóri í Reykjavík 1962 - 1987

## Formáli

Jóhannes Zoëga lauk við þessa grein rétt rúmum mánuði áður en hann lést 21. september s.l., en hann hafði þá unnið að henni í u.þ.b. ár. Honum var nýting jarðhitans á Nesjavöllum hugleikin þó langt væri liðið frá því hann hætti sem hitaveitustjóri í Reykjavík. Jóhannes fékk undirritaðan til að lesa greinina yfir og gagnrýna og hef ég nú lagfært hana lítillega og bætt frekari skýringum inn á nokkrum stöðum. Að mestu leyti stendur grein Jóhannesar þó óhögguð. Valgarður Stefánsson og Jónas Matthíasson lásu greinina einnig yfir.

Reykjavík 7. febrúar 2005  
*Guðni Axelsson*

## 1. Rannsóknir jarðhitasvæðisins

Hitaveita Reykjavíkur keypti jörðina Nesjavelli 1964. Áætlanir um virkjun voru gerðar strax á næstu árum, þar sem Laugarnessvæðið varð fullnýtt um þær mundir. Með tilkomu borholudælna og endurvirkjunar jarðhitasvæðanna í Mosfellssveit var framkvæmdum á Nesjavöllum slegið á frest, en Orkustofnun hóf brátt undirbúningsrannsóknir þar og 1972 var fyrsta holan boruð með Gufubornum. Hitaveitan sá um efnarannsóknir og komið var upp rannsóknarstöð með 300 kW gufufafstöð við borholuna. Á árunum 1982 – 1986 voru síðan boraðar tólf viðbótarholur með Gufubornum og Jötni. Árið 1984 var samið við þá Dr. Guðmund Böðvarsson í Berkeley í Kaliforníu, og Dr. Gunnar Böðvarsson prófessor í Corvallis í Oregon, um að meta afl og orku jarðhitasvæðisins á Nesjavöllum. Þeir skiluðu matsgerðum sínum síðari hluta sumars 1987.

Mat Guðmundar<sup>1</sup>, endurskoðað 1992<sup>2</sup>, hljóðaði uppá 800 MW hráafl (vermi × massastreymi) í 30 ár, sem síðan færi minnkandi. Afl hveirrar borholu taldi hann minnka um 60% að meðaltali á 30 árum við 800 MW álag á svæðið. Við minna álag endast þær hlutfallslega lengur. Guðmundur reiknaði með 135 MW stöðugu uppstreymi frá djúpgeymi.

Gunnar var bjartsýnni í sínu mati<sup>3</sup> sem var rýmra en mat Guðmundar. Gunnar taldi að virkja mætti 400-800 MW hráafl í ekki skemmri tíma en 100 ár. Hann taldi enn fremur „eðlisafll“ Nesjavalla vera 200 – 300 MW og líkur á auknu uppstreymi varma úr djúpgeymi eftir því sem hiti og þrýstingur lækkaði í grunngeymi.

Í báðum álitum kemur fram að meginhluti jarðhitans er í námuformi sem eyðist eftir því sem af er tekið. Sumir álíta að þessi náma sé endurnýjanleg, en að vísu á svo



löngum tíma – þrýstingur endurheimtist á tugum ára og hitastig á tugum alda – að það hefur lítil áhrif á hagnýta vinnslu jarðhitans. Þess vegna þarf að nýta hann sem allra best. Guðni Axelsson og fleiri<sup>4,5,6</sup> hafa innleitt hugtakið „sjálfbær nýting jarðhitans“ sem þýðir að álagi á virkjað jarðhitasvæði verður að haga í samræmi við eðli þess: „Jarðhitakerfin eru þess eðlis að lítil vinnsla hefur svo „litla“ 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“. Með þetta í huga eru hér á eftir bornar saman tvær mismunandi virkjunaraðferðir jarðhitans á Nesjavöllum.

## 2. Virkjanir á Nesjavöllum

Fyrsta Nesjavallavirkjunin var tekin í notkun haustið 1990. Þar sem ekki var hægt að nota holuvökvann beint í dreifikerfum höfuðborgarsvæðisins voru boraðar grunnar holur í hraunið við Grámel, niður við Þingvallavatn, og 4°C vatn frá þeim hitað yfir 80°C og síðan dælt til borgarinnar. Þetta krafðist aukavarma, til þess að hita vatnið frá 4°C upp í bakrennslishita sem þá var talinn um 40°C. Þessi varmi nýtist engum og þess vegna var jafnan talað um helming hrávarmans sem nýtanlegt afl jarðhitans. Aðalhlutverk virkjunarinnar var orkuöflun fyrir hitaveituna, en jafnframt var gert ráð fyrir framleiðslu rafmagns, þó aðeins því sem til félli samhliða hitavinnslunni. Hitaveitan var aðalverkefnið, rafmagnsvinnslan aukabúgrein.

Skömmu eftir að Nesjavallavirkjun var tekin í notkun kom í ljós að blöndun upphitaðs yfirborðsvatns frá Nesjavöllum og jarðhitavatns gömlu veitunnar olli útfellingum í leiðslum. Var þá dreifikerfinu skipt í tvær veitur, sem eru aðgreindar og reknar hvor í sínu lagi. Nær ómögulegt er að jafna álagi milli kerfanna við snöggar veðrabreytingar. Toppafl er svo til eingöngu tiltækt í lághitakerfinu (geymar, varastöð og tímabundin lækkun vatnsstöðu á jarðhitasvæðunum) og blöndun vatns milli kerfanna veldur útfellingum. Hámarksafl Nesjavallavirkjunar þarf því ávallt að miðast við ákveðið dreifikerfi sem henni er ætlað að þjóna.

Árið 1996 var samið við Landsvirkjun um framleiðslu og sölu á 400 GWh af rafmagni á ári fyrir Norðurál á Grundartanga. Hafist var handa um 60 MW rafmagnsvirkjun á Nesjavöllum, og tók hún til starfa síðla árs 1998. Orkuverið hefur síðan verið í fullum rekstri nær allan ársins hring. Í lok árs 2001 bættist við þriðja 30 MW gufutúrbínan.

*Tafla 1* sýnir nýtingu hrávarmans til rafmagns- og hitaframleiðslu frá byrjun virkjunar til og með árinu 2003. *Mynd 1* sýnir hlutfallslega nýtingu varmans þetta sama tímabil. Ein ástæða þeirrar lélegu nýtingar jarðhitans sem taflan og myndin sýna er sú, að hitaveitan þarfnast ekki nema hluta þeirrar varmaorku sem óhjákvæmilega fylgir rafmagnsframleiðslunni. Auk þess fer mikil orka í að hita ferskvatnið frá 4°C upp í bakrennslishita.

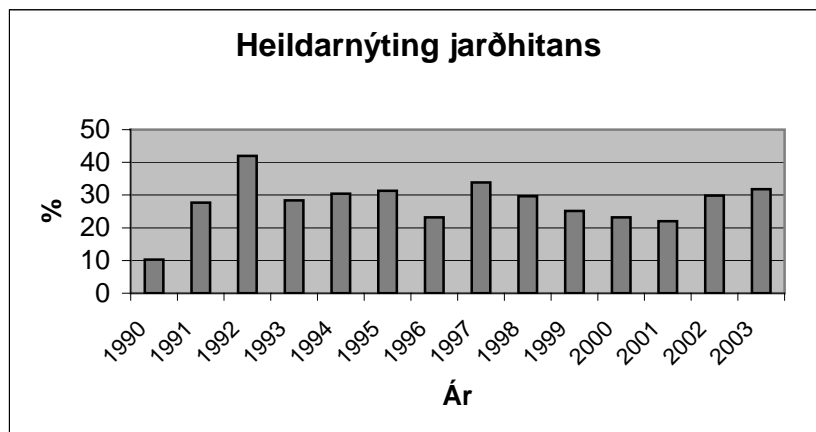
Ákveðið hefur verið að auka rafaflíð í 120 MW á árinu 2005. Til þess þarf að virkja um 900 MW af jarðhita. Notkun hitaveituvatns breytist ekki af þessum sökum og má því búast við auknum töpum. Og enn minnkar nýting jarðvarmans þegar 120 MW gufufastöð tekur til starfa á Hellsheiði. Með niðurdælingu verður þó hægt að bæta nýtinguna.

## Ferskvatnskerfið

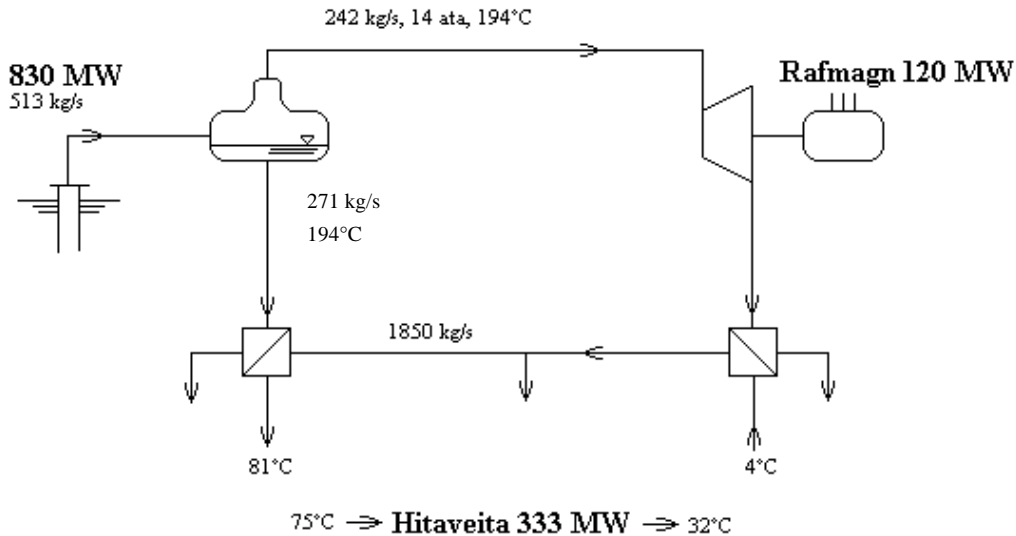
Sá virkjunarháttur sem nú er hafður á Nesjavöllum verður hér kallaður **ferskvatnskerfi**, þar sem ferskvatn er notað til þess að flytja hitaveituvarmann til notenda. Rafmagn, að mestu fyrir álver, er framleitt af fullu afli mestan hluta ársins, en hluti kælivatnsins fer til hitaveitunnar eftir því sem þörf krefur.

Á mynd 2 er þetta kerfi sýnt í grófum dráttum og tölurnar fengnar úr rekstrinum á undanförunum árum. Hitaveituaflíð er miðað við kælingu vatnsins úr 75°C í 32°C hjá notendum. (Ath bæta inn tilvísun í töflu (Nesjavallaskýrsla OR))

Tafla 1. Orkunýting á Nesjavöllum								
Vermi holuvökva yfir 32°C, skv. Nesjavallaskýrslu OR,								
meðtaldar holur í reynslublæstri								
Nýting hitaveituvatns frá 75°C í 32°C = 50 kWh/m <sup>3</sup>								
Rafmagn = Sala + 1/3*eigin notkun								
Ár	Holuvökvi		Hitaveituvatn		Rafmagn		Heildarnýting	
	GWh	GWh	%	GWh	%	GWh	%	
1990	1.977	204	10			204	10	
1991	1.895	524	28			524	28	
1992	1.810	759	42			759	42	
1993	2.540	720	28			720	28	
1994	2.312	703	30			703	30	
1995	2.553	800	31			800	31	
1996	3.344	774	23			774	23	
1997	2.288	774	34			774	34	
1998	2.069	520	25	94	5	614	30	
1999	4.678	727	16	448	10	1.175	25	
2000	4.850	685	14	441	9	1.126	23	
2001	5.085	614	12	507	10	1.121	22	
2002	5.365	1.052	20	549	10	1.601	30	
2003	4.604	899	20	564	12	1.463	32	



**Mynd 1.** Heildarnýting jarðhitans á Nesjavöllum 1990 – 2003.



**Mynd 2.** Einfölduð mynd af ferskvatnskerfinu, þ.e. núverandi virkjunarhætti á Nesjavöllum.

Í töflu 2 er sýnt hvernig afl holuvarmans skiptist milli hitaveitu, rafmagns og tapa. Nýtanlegt afl rafstöðvar er reiknað sem heildarafl að frádræginni eigin notkun rafstöðvar (kælivatnsdæling, lofttæming þéttis og fleira). Ársnýting mesta afls er reiknuð 8000 h/a fyrir rafmagn og 5000 h/a fyrir hitaveitu. Meðalaflið er fundið með því að deila með 8760 stundum ársins í ársorkuna. Reiknað er með að rafmagnið sé selt til stóriðju.

Tafla 2. Ferskvatnskerfi: 120 MW rafmagn + 333 MW hitaveita í 30 ár.								
	Mesta afl		Ársorka		Meðalafli	Heildarorka	Áætlað söluverð	
	MW	%	GWh	%	MW	TWh	Milljarðar króna	
Hitaveita	333	40	1665	25	190	50	Hitaveita	<b>40</b>
Rafmagn	112	13	896	13	102	27	Rafmagn	<b>32</b>
Töp	385	46	4079	61	466	122		
Hrávarmi	830	100	6640	100	758	199	Samtals	<b>72</b>

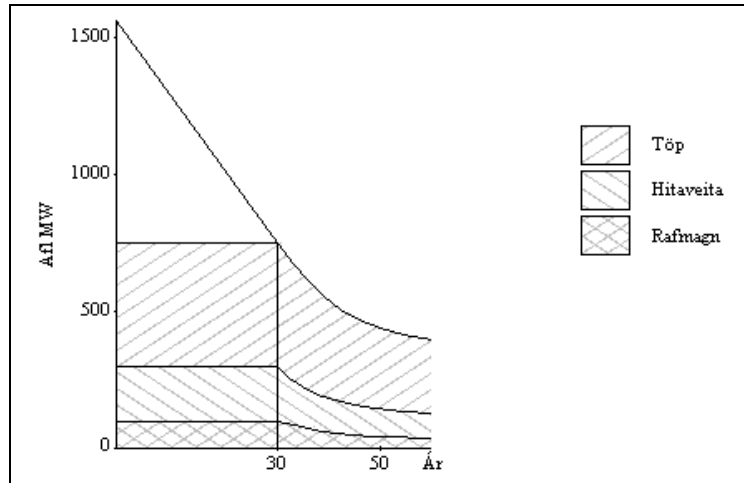
$$\text{Árshrávarmi} = 830 \text{ MW} \times 8000 \text{ h/a.}$$

$$\text{Töpuð ársorka} = \text{árshrávarmi} - \text{ársorka í rafmagni} - \text{ársorka í hitaveitu.}$$

$$\text{Heildarorka} = \text{ársorka} \times 30 \text{ ár.}$$

Áætlað söluverð er 0,8 kr./kWh fyrir hitaveitu og 1,2 kr./kWh fyrir rafmagn.

*Mynd 3* sýnir aflferil þessarar virkjunar samkvæmt endurskoðuðu mati Guðmundar Bøðvarssonar á afkastagetu jarðhitasvæðisins á Nesjavöllum, þ.e. fyrir 758 MW hrávarmavirkjun í 30 ár (meðalafli, sbr. *töflu 2*). Eftir þann tíma er reiknað með að dragi úr afkastagetu svæðisins, eins og myndin sýnir.

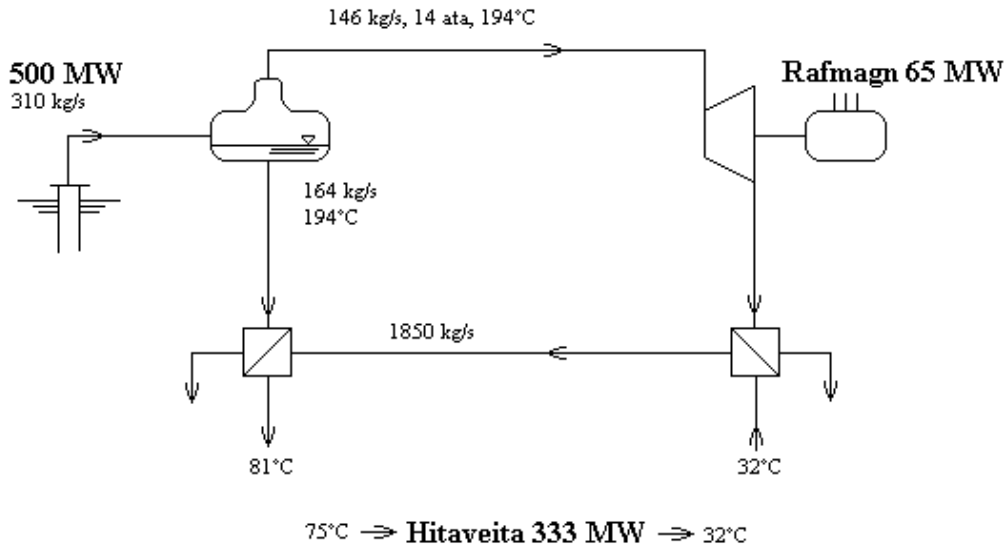


**Mynd 3.** Áætlaðir aflferlar Nesjavallavirkjunar, skv. endurskoðuðu mati Guðmundar Böðvarssonar frá 1992<sup>2</sup>, ef 758 MW hrávarma ferskvatnskerfi er lagt til grundvallar (meðalafl, sjá töflu 2). **ATH)**

### Hringrásarkerfið

Eftir að í ljós kom að útfellingar í leiðslum útilokuðu blöndun á Nesjavallavatni við lághitavatnið lagði höfundur til<sup>7</sup> að bakrennslisvatni dreifikerfisins yrði safnað saman og dælt austur að Nesjavöllum þar sem það yrði hitað upp í stað kalda vatnsins frá Grámel. Skilyrði fyrir því að það sé hægt er að bakrennslisvatn dreifikerfisins sé nægjanlegt. Fyrir 333 MW hitaveitu frá Nesjavöllum þarf um 60% dreifikerfisins að vera með tvöföldum leiðslum. Þessi aðferð verður hér kölluð **hringrásarkerfi**, þar sem bakrennslisvatn hitaveitunnar er endurhitað í orkuverinu og veitt inn í framrennslið. Á þann hátt stjórnar hitaveitupörfin heildarframleiðslunni og rafmagnið verður aukaafurð.

Á mynd 4 er sýnd einfölduð mynd af þess háttar hringrásarkerfi, þ.e. 333 MW hitaveituvirkjunar þar sem 32°C bakrennslisvatn hitaveitunnar er hitað upp í 81°C og jafnframt notað sem kælivatn fyrir gufupétti rafstöðvarinnar í stað Grámels-vatnsins í núverandi virkjun.



**Mynd 4.** Einfölduð mynd af nýtingu jarðhitans á Nesjavöllum skv. hringrásarkerfi.

Tafla 3 er sett upp á sama hátt og tafla 2, en með sama nýtingartíma 5000 h/a fyrir bæði hitaveitu og rafmagn. Rafmagnsframleiðslu, sem engin áhrif hefur á orkunýtinguna, má nýta alla hjá Orkuveitunni sjálfri á verði sem er mun hærra en stóriðjan getur borgað (3,0 kr./kWh í töflu 3 í stað 1,2 kr./kWh í töflu 2).

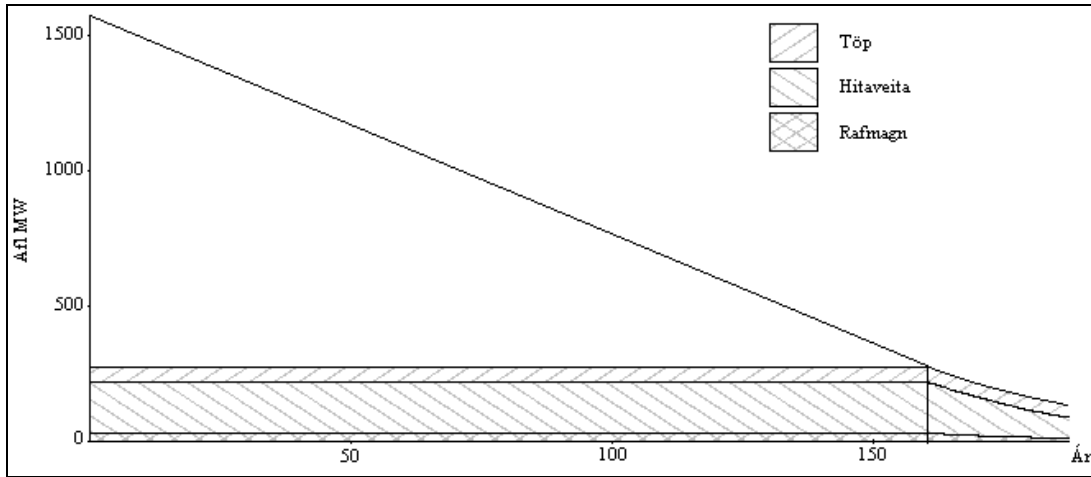
Tafla 3. Hringrásarkerfi: 333 MW hitaveita + 65 MW rafmagn í 160 ár.								
	Mesta afl		Ársorka		Meðal afl MW	Heildarorka TWh	Áætlað söluverð milljarðar króna	
	MW	%	GWh	%			Hitaveita	Rafmagn
Hitaveita	333	67	1665	67	190	266	Hitaveita	213
Rafmagn	60	12	300	12	34	48	Rafmagn	144
Töpp	107	21	535	21	61	86		
Hrávarmi	500	100	2500	100	285	400	Samtals	357

Heildarorka = ársorka × 160 ár.

Áætlað söluverð er 0,8 kr./kWh fyrir hitaveitu og 3,0 kr./kWh fyrir rafmagn

Mynd 5 sýnir aflferil hringrásarvirkjunar á Nesjavöllum. Niðurstöður Guðmundar Böðvarssonar fyrir 30 ára nýtingartíma hafa þá verið framlengdar í 160 ár, en þá má áætla að jarðhitasvæðið hætti að standa undir 285 MW hrávarmavirkjun (meðal afl sbr. töflu 3). Ástæðan fyrir því að áætlað er að jarðhitakerfið standi þetta miklu lengur undir hringrásarkerfisvirkjun en ferskvatnskerfisvirkjun er sú að í mati Guðmundar er reiknað með 135 MW stöðugu uppstreymi í jarðhitakerfið.

Þessar niðurstöður sýna að áætlaðar tekjur af hringrásarvirkjun eru margfalt meiri en tekjur af ferskvatnsvirkjun, fyrst og fremst vegna betri orkunýtingar og margfalt lengri nýtingartíma. Einnig skilar hærra raforkuverð meiri tekjum. Hafa þarf í huga að hægt verður að framleiða orku á Nesjavöllum lengur en í þau 30 ár sem reiknað er með fyrir ferskvatnskerfið í töflu 2, einkum fyrir hitaveitu. Það verður þó í mun minna mæli en fyrstu 30 árin. Í ofangreindum útreikningum hefur ekki verið tekið tillit til mismunandi kostnaðar við þessar tvær útfærslur.



**Mynd 5.** Áætlaðir aflferlar Nesjavallavirkjunar fyrir 285 MW hrávarma hringrásarvirkjun (meðalafl, sjá töflu 2). Byggt á framreiknuðum niðurstöðum Guðmundar Böðvarssonar frá 1992<sup>2</sup>.

### 3. Niðurstöður

Jarðhitinn í Henglinum er langhagkvæmasti kosturinn fyrir stækkunarþörf hitaveitu höfuðborgarsvæðisins í framtíðinni. Hér hefur verið sýnt fram á að kostir hringrásarkerfis umfram ferskvatnskerfi við nýtingu jarðhitans í Henglinum eru ótvíræðir. Helst má nefna:

1. Endingartími jarðhitaaflsins fimmfaldast vegna betri orkunýtingar.
2. Framleiðsluverðmætin fimmfaldast einnig, eins og sjá má af töflum 2 og 3.
3. Dreifikerfið verður eitt, með sameiginlegum lághitasvæðum, geymum og kyndistöð fyrir topphitun.
4. Engin hættu er á útfellingum í leiðslum vegna blöndunar á ferskvatni og jarðhitavatni.
5. Varmaorkuverið á Nesjavöllum verður einfaldara, þar sem kaldvatnskerfið og afgasarar falla burt.
6. Heildarnýting jarðhitans eykst og hrávarmaþörf minnkar.

Ekki skal fullyrt að nýting skv. hringrásarkerfinu sé sjálfbær, en þessi samanburður sýnir þó að með hringrásarkerfinu næst miklu betri nýting jarðhitans en með núverandi virkjunarmáta, sem fullyrða má að ekki sé sjálfbær<sup>6</sup>. (Þó er rétt að ítreka það að hægt verður að framleiða orku á Nesjavöllum lengur með núverandi virkjunarkerfi en í þau 30 ár sem hér hefur verið reiknað með, einkum fyrir hitaveitu. Það verður þó í mjög skertum mæli. Þá hefur í ofangreindum útreikningum ekki verið tekið tillit til mismunandi kostnaðar við útfærslurnar tvær.) Spurning hvort þarf að endurtaka þessa varnagla í niðurstöðunum, það er nýbúið að segja þetta? Ég læt ykkur um að meta það. Svo má segja það á fundinum þótt það komi ekki fram í

ráðstefnuritinu – þú metur þetta.) .....Mér finnst reyndar fara betur á því að sleppa þessu í hinni skriflegu útgáfu erindisins.

Reykjavík 12. ágúst 2004  
*Jóhannes Zoëga*

## Heimildir

1. Guðmundur S. Böðvarsson, 1987: The Nesjavellir Geothermal Field, Iceland, Vol. 1, júlí 1987.
2. Guðmundur S. Böðvarsson, 1993: Recalibration of the three-dimensional Model of the Nesjavellir Geothermal Field, janúar 1993.
3. Gunnar Böðvarsson, 1987: Líkanreikningar fyrir jarðhitakerfi Nesjavalla, Safn greina Gunnars Böðvarssonar, September 1987.
4. Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson, 2001: Um sjálfbæra vinnslu jarðhita, Orkuþing 2001, Reykjavík.
5. Guðni Axelsson and Valgarður Stefánsson, 2003: Sustainable management of geothermal sources, International Geothermal Conference IGC-2003, Reykjavík.
6. Guðni Axelsson, Valgarður Stefánsson og Grímur Björnsson, 2004: Sustainable utilization of geothermal resources for 100 - 300 years, Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, 26. - 28. janúar, 2004.
7. Jóhannes Zoëga, 1994: Tvöföldun Nesjavallaæðar, Fréttabréf SÍH, 2. tbl., 1994.

## **Málþing til minningar um Jóhannes Zoëga Hönnunarsaga Hitaveitu Reykjavíkur 1960 – 1987 Sigþór Jóhannesson, Fjarhitun hf.**

Upphafið að Hitaveitu Reykjavíkur má rekja til ársins 1930 þegar 70 hús ásamt Sundhöll Reykjavíkur og gömlu sundlaugunum voru tengd hitaveitu frá borholu við Þvottalaugarnar. Næsti stóri áfangi var árið 1943 þegar hitaveita frá Reykjum í Mosfellssveit tók til starfa 1. desember það ár. Náði sú hitaveita til meginhluta þáverandi byggðar í Reykjavík.

Eftir 1943 stækkaði hitaveitan nokkuð. T.d. var vatn frá Reykjahlíð og fleiri jörðum í Mosfellsdal leitt að dælustöðinni á Reykjum og þaðan áfram eftir Reykjaæðinni til bæjarins. Nokkrar holur voru boraðar innan bæjarmaka, einkum eftir 1955. Hitaveitan stækkaði þó ekki í takt við byggðina þannig að sífellt fleiri nýbyggingar voru kynntar með olíu. Árið 1961 voru íbúar Reykjavíkur um 72.000. Þar af höfðu um 40.000 hitaveitu, en yfir 30 þúsund eða 44% voru án hennar.

Frá árinu 1954 starfaði nefnd á vegum bæjarstjórnar Reykjavíkur, sem hafði það hlutverk að leita leiða til að stækka hitaveituna. Árið 1958 tók Jóhannes Zoëga við formennsku í nefndinni. Nefndin lauk störfum árið 1961 þegar borgarstjórn Reykjavíkur samþykkti tillögu hennar um að hitaveita yrði lögð í öll skipulögð svæði vestan Elliðaá fyrir árslok 1965. Árið hafði borgin að undirlagi nefndarinnar og í samvinnu við ríkið keypt nýjan jarðbor, Gufuborinn (Dofri).

Ákvörðun borgarstjórnar árið 1961 markar upphafið að þróun sem leiddi til að innan 15 ára áttu öll hús á Höfuðborgarsvæðinu kost á hitaveitu og síðan hefur hitaveita verið lögð í öll ný hverfi samhliða öðrum veitukerfum áður en byggingar rísa.

Til þess að ákvörðun borgarstjórnar yrði að veruleika þurfti fleira að koma til en nýr og stór jarðbor. Nauðsynlegt var að gera verulegar breytingar á vinnslu jarðhitans og hönnun veitukerfisins. Þessar breytingar voru helstar:

- Hönnunarálag lækkað
- Dæling úr borholum
- Tvöföld dreifikerfi að hluta
- Nýjar pípugetur
- Breytt tilhögun framkvæmda.

Hér á eftir verður fjallað stuttlega um hvert þessara atriða.

### **Hönnunarálag**

Í skýrslu Hitaveitunefndar frá árinu 1961, [1], eru settar fram byltingarkenndar tillögur um hönnunarálag hitaveitu. Þar er lagt til að hámarksvatnþörf hitaveitunnar miðist við  $-6^{\circ}\text{C}$  æstæðan útihita og  $20^{\circ}\text{C}$  innihita. Leidd eru rök að því með m.a. tilvísun í grein Gunnars Böðvarssonar í tímariti VFÍ frá 1954 og erlenda reynslu “*að varmanotkun húsa er verulega minni en sú sem fæst með venjulegum varmatapsreikning*”. Einnig er vísað til athugunar sem hitaveitunefnd lét gera á olíunotkun húsa í Reykjavík árið 1958. Í skýrslunni er einnig var hvatt til að hús séu hituð allan sólarhringinn, en ekki lokað fyrir hita á nóttunni eins og áður var alengt.

Tillaga Hitaveitunefndar leiddi til að hönnunarálag hitaveitunnar var lækkað um nær helming frá því sem áður var. Hönnunarálagið sem lagt fram til í greinargerðinni 1961 var notað við hönnun hitaveitukerfa næstu 40 árin.

### **Kerfishönnun**

Árið 1960 var nánast allt vatn fengið úr borholum með sjálfrennsli og nær allt hitaveitukerfið var einfalt. Vatnið úr borholun fór inn á hitakerfi húsa án nokkurrar hitastýringar og breyttist vatnshitinn eftir notkun. Þetta hentaði þó ágætlega meðan meginhluti vatnsins kom frá Mosfellssveit þar sem vatnið var  $80^{\circ}$ - $90^{\circ}\text{C}$  heitt. Unnt var þó að hækka hitann vatninu í Reykjaæðinni í toppstöðinni við Elliðaár. Sá annmarki var þó á að það var aðeins hægt þegar ekki þurfti að nota stöðina til rafmagnsframleiðslu.

Á árunum 1956 – 1961 var lagt tvöfalt kerfi í Hlíðahverfi og í hluta Laugarneshverfis. Bakvatn frá þessum litlu dreifikerfum var notað til að blanda saman við heitara vatn úr borholum á Laugarnessvæðinu og þegar toppstöðin var notuð til að hita Reykjavatn.



Veruleg breyting verður þó ekki á kerfishönnun fyrr en farið er að vinna allt að 130°C heitt vatn með dælingu úr borholum á Laugarnessvæðinu, um 1965, og síðar með endurvirkjun í Mosfellssveit og dælingu úr borholum þar, eftir 1970. Eftir að þessum framkvæmdum lauk er dælt úr borholum 80°C vatni (Reykir), 93°C vatni (Reykjahlíð), 84°C (Ellidaársvæði) og 127°C vatni (Laugarnessvæði). Vatnið er leitt að dælustöðvum þar sem það er blandað með 25°- 35°C bakvatni frá tvöföldum dreifikerfum og sent 80°C inn á framrás dreifkerfisins.

Veigamesta kerfisbreytingin var sú að í kringum 1960 var farið að dæla vatni úr borholum í stórum stíl. Dælt hafði verið úr borholu við Rauðará, 4 l/s af 91°C heitu vatni, allt frá árinu 1946 og reynd hafði verið loftdæling úr borholum í Reykjadal. Þessi dæling var í mjög litlum mæli og meginhluti vatnsins fékkst með sjálfrennsli. Lykillinn að aukinni vinnslu jarðvarma í Reykjavík og nágrenni var að tækist að útvega hentugar borholudælar.

### **Borholudælar**

Á árunum 1959 til 1963 voru settar í borholur á Laugarnessvæðinu sænskar borholudælar, samskonar og dælan í Rauðarárhöluunni sem hafði verið í notkun frá 1946. Þessar dælar reyndust illa, stilling krafist mikillar nákvæmni, og legur þoldu illa óhreinindi í vatninu. Árið 1963 voru svo boðnar út borholudælar. Ákveðið var að taka tilboði í dælar frá Floway í Kaliforníu. Þessar dælar voru með gegnumboruðum mótöröxli og lokuðum hjólum, sem auðveldaði hæðarstillingu þeirra. Fyrir árslok 1963 voru komnar Floway dælar í 3 holur á Laugarnessvæðinu. Dælurnar voru settar á 60 m dýpi. Þó menn teldu sig hafa fundið rétta dælugerð voru erfiðleikar ekki að baki. Öxullegur voru opnar grafitlegur sem smurðar voru með vatninu í dælurörinu. Grafitlegurnar slitnuðu vegna óhreininda í vatninu, gúmmilegur voru reyndar, en þær þoldu ekki hitann. Næst voru fengnar dælar með lokuðum olíusmurðum öxullegum. Þær reyndust ágætlega í allt að 120°C, en í meiri hita vildu þær festast. Olían olli talsverðum óþægindum við upptekt á dælunum.

Erfiðleikarnir með borholudælar stóðu allt fram til ársins 1967 og ollu Hitaveitunni, starfsmönnum og neytendum miklum óþægindum. Eftir margra ára tilraunir og prófanir kom lausnin sem fólst í því að nota dælu með lokuðum öxullegum, en í stað olíusmurðra lega voru notaðar teflonlegur. Legurnar eru inni í hlífðarröri, smurröri, sem er utan um dæluöxulinn. Síðu hitaveituvatni er dælt niður um hlífðarrörið og í gegnum rásir í teflonlegunum. Hugmyndina að notkun teflons í öxullegur átti Jóhannes Zoëga, en þær voru síðan þróaðar í nánú samstafi við bandaríska dæluframleiðendur. Skemmst er frá því að segja að frá árinu 1968 hafa ekki verið borholudælar Hitaveitunnar reynst öruggar og dælugerðin sem þróuð var á þessum árum hefur nú verið í notkun í nær 40 ár og dæla nú vatni af allt að 200 m dýpi. Fyrst voru dælurnar settar í borholur á Laugarnessvæðinu og því næst á Ellidaársvæðinu. Upp úr 1970 var ákveðið að endurvirkja jarðhitasvæðin í Reykjadal og Mosfellsdal, bora þar nýjar holur og dæla úr þeim. Við það margfaldaðist vatnsvinnslan þar. Í erindi sem Jóhannes Zoëga flutti á fundi Jarðhitafélagsins 15. apríl 2004 [4] er gerð ítarleg grein fyrir þróunarsögu borholudælna Hitaveitunnar.

Þróun borholudælna sem leiddi til hagkvæm lausn fannst á dælingu úr jarðhitasvæðunum í Reykjavík og nágrenni á tvímælalaust mestan þátt í að nýting jarðhita til upphitunar varð jafn almenn hér á landi og raun varð á margfaldaðist.

### **Tvöföld dreifikerfi**

Þegar farið var að nýta jarðhitavatn sem var heitara en hentaði að senda til notenda kom óhjákvæmilega að því að hluti kerfana þurfti að vera tvöfaldur. Bakvatni frá tvöföldu dreifikerfunum er blandað saman við vatn sem er heitara en 80°C. Nauðsynlegt hlutfall tvöfaldr kerfa fer eftir meðalhita vatnsins sem nýtt er þ.e. jarðhitavatsins að viðbættri hækkun hita í kyndistöð, ef hún er notuð á álagstímum. Um þriðjungur hitaveitudreifikerfisins á Höfuðborgarsvæðinu er nú tvöfaldur.

### **Nýjar pípuogerðir**

Frá upphafi Hitaveitunnar hafa verið notaðar venjulegar stálpípur í nánast öllu veitukerfinu. Efnasamsetning jarðhitavatsins á vinnslusvæðinu er sérstaklega hagstæð fyrir stálpípur og eru pípur sem hafa verið í rekstri í 50 verið sem nýjar að innan. Á tímabili komu þó upp vandamál vegna súrefnisupptöku í geymum á Öskjuhlíð og við loftdælingu á Reykjum. Vandamál við stálpípur í veitukerfinu hafa nær eingöngu verið vegna utan að komandi raka. Steyptir stokkar um hitaveitupípur voru notaðir frá upphafi veitunnar og fram yfir 1990. Einangrun pípa í stokkum var margvísleg, rauðamöl, reiðingur, glerull, frauðsteypa og steinull. Hitaveitustokkar verða aldrei fullkomlega þéttir þannig að hönnun þeirra byggist á að vatn sem kemst inni í þá þarf að eiga greiða leið út. Á stokkum þarf að vera góður halli og þeir þurfa að vera loftræstir. Elstu stokkarnir voru hriplekir. Einangrun var hinsvegar svo léleg að vegna hita frá pípum héldust þeir þurrir. Pípur úr Reykjaæðinni sem tekin var í notkun 1943 voru óskemmdar þegar notkun æðarinnar var hætt 50 árum síðar, enda voru stálpípurarnar nánast óeinangraðar og um þær lék heitt loft þannig

að þar voru nánast kjöraðstæður fyrir stálpípur. Vandamál við steypa stokka verða fyrst veruleg þegar farið var að nota betri einangrun.

Vegna mikils kostnaðar við steypa stokka var fljótlega farið að þróa aðrar pípugerðir, fyrst fyrir heimæðar og grennri götuæðar. Heimæðar voru einangraðar með glerullarhólkum og vafðar pappa eða striga. Þessar pípur eins og stokkarnir reyndust misjafnlega en hér sem annars staðar gildi að engin pípugerð er svo léleg að hún dugi ekki í þurrum jarðvegi og engin svo vönduð að hún dugi í bleytu. Draumur manna var því að þróa pípugerð sem væri í fullkomlega vatnsheldri kápu. Um 1960 er byrjað að þræða hitaveitupípur inn í plaströr, PEH. Í fyrstu voru pípurarnar einangraðar með frauðplasthólkum, en fljótlega var farið að nota polyurethan sem með freyðingu fyllti rýmið milli stálpípu og hlífðarkápu. Þessi pípugerð hefur verið í þróun frá því á 7. áratugnum. Lengi voru samsetningar á hlífðarkápu mikið vandamál og var framför ekki mikil frá eldri pípugerðum. Þessi pípugerð hefur smám saman verið notuð í víðari og víðari pípur og frá því skömmu eftir 1990 eru varla notaðar aðrar pípugerðir í hitaveitu með allt að 130°C heitu vatni. Allar eldir pípugerðir og einnig fyrstu gerðir foreinangraðar pípa voru þannig að stálpípan var laus frá einangrun og ytri hlíf. Stálpípan lengdist og styttist því eftir vatnshita og þurfti að sjá fyrir búnaði til að taka upp þessar lengdarbreytingar. Stálpípan var því fest með ákveðnu millibili og þenslubúnaði komið fyrir á milli festa. Þenslubúnaðurinn var ýmist lykkjur eða sérstakir þenslubelgir, þanar. Nú er undantekningarlítið stálpípan steypst föst í einangrunina sem yfirferir krafta vegna hitaþenslu í gegnum einangrun og hlífðarkápu til jarðvegins umhverfis pípana og stálpípunni þannig haldið fastri. Til að koma í veg fyrir of háar hitaspennur í stálinu er pípan hitaforþennt með ýmsum aðferðum þannig að í henni myndast togspennur þegar hún kólnar og þrýstispennur við upphitun. Hitaveitupípur eru nú nánast í lokaðri samfeldri plastkápu og engin hreyfing á sér stað.

### Framkvæmdatilhögun

Fyrir 1960 var öll hönnun og allar framkvæmdir unnar af starfsmönnum Hitaveitu Reykjavíkur. Í samþykkt borgarstjórnar frá 1961 um stækkun hitaveitunnar fólst einnig að taka lán til verksins hjá Alþjóðabankanum. Láninu fylgdu þau skilyrði að óháð ráðgjafafyrirtæki hannaði kerfið og hefði eftirlit með framkvæmdum og að framkvæmdir yrðu boðnar út. Þetta var ekki algengt á þessum tíma og var ekki full sátt í borgarstjórn um að taka lánið með þessum skilyrðum. Það var þó gert og má fullyrða að Hitaveita Reykjavíkur hafi verið frumkvöðull að útboðum framkvæmda hér á landi. Eftir samþykkt borgarstjórnar 1961 voru nánast allar framkvæmdir Hitaveitu Reykjavíkur boðnar út.

### Stækkun Hitaveitu Reykjavíkur 1960 - 1987

Þær breytinga sem gerðar voru á hönnun og rekstri hitaveitunnar á 7. og 8. áratugnum leiddu til þessa að hitaveitukerfið margfaldaðist og náði til alls höfuðborgarsvæðisins. Í töflunni hér að neðan eru nokkrar tölulegar upplýsingar sem sýna vel þessar breytingar. Ekki er vafi á að nýjar öruggar borholudælur áttu mestan þátt í þeim ávinningi sem náðist á þessu tímabili.

**Hitaveita Reykjavíkur – Stækkun 1960 - 1987**

	1960	1987	Hlutfall
Fjöldi íbúa sem átti kost á hitaveitu	40.000	134.000	3,4
Hámarksvinnsla úr jarðhitasvæðum, l/s	360	2.540	7,1
Varmaafli Hitaveitu Reykjavíkur, MW	75	640	8,5
Árleg vatnssala, Gl	7	50	7,1

### Heimildir:

- [1] Greinargerð um lagningu hitaveitu í Reykjavík vestan Elliðaáa, Hitaveitunefnd Reykjavíkur og Almenna byggingarfélagið hf., febrúar 1961.
- [2] Hitaveita Reykjavíkur – Yfirlit 1964
- [3] Hitaveita Reykjavíkur Framkvæmdaáætlun árin 1966 – 1968, mars 1966.
- [4] Borholudælur Hitaveitu Reykjavíkur – Þróunarsaga. Erindi Jóhannesar Zoëga flutt á fundi Jarðhitafélagsins 15. apríl 2004.
- [5] The District Heating System in Reykjavík, Iceland, Jóhannes Zoëga, Klamath Falls, Oct. 1974.
- [6] Hitaveita í Reykjavík – Vatnsvinnslan 2003, Grétar Ívarsson, mars 2004..
- [7] Karl Ómar Jónsson, munnlegar upplýsingar

## **Jarðhitavirkjanir í Henglinum**

### **Kostir sem skoðaðir voru við undirbúning Helligheiðarvirkjunar.**

Ingólfur Hrólfs­son  
Orkuveitu Reykjavíkur

Jarðhitasvæði Helligheiðarvirkjunar liggur sunnan við Hengilinn milli Stóra Skarðsmýrarfjalls og Stóra Reykjafells. Þarna er talið að virkja megi 120 MW í rafmagni og 400 MW í varma. Með tengingum inn á samliggjandi svæði bendir margt til að stækka megi virkjunina verulega. Í erindi hjá Jarðhitafélaginu 2002 gerðum við Einar Gunnlaugsson grein fyrir undirbúningi virkjunar á Helligheiði.

Árið 1985 var boruð rannsóknarhola kennd við Kolviðarhól, en hún er rétt við Valskálann. 1994 var boruð hola á Ölkelduhálsi. Þessar holur gáfu báðar ákveðnar vís­bendingar en nægðu engan vegin til ákvarðanatöku. Árið 2001 voru boraðar tvær holur á Helligheiði og 2002 þrjár til viðbótar. Á grundvelli upplýsinga frá þessum borunum voru forsendur virkjunarinnar fengnar. Í upphafi var stefnt að áfangaskiptri virkjun með 1.áfangi 80 MW í rafmagni, 2. áfangi verði 267 MW í varma, 3.áfangi 40 MW rafmagns og loks 133 MW í varma. Ég mun koma að því síðar að líklegt er að þessi áfangaskipting riðlist eitthvað.

Til að meta forsendur og koma með fyrstu tillögur að lausnum voru stofnaðir vinnuhópar. Í vinnuhópnum voru fulltrúar frá orkuveitunni og ráðgjöfum hennar, en í ráðgjafahópnum eru Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns, Rafteikning, Fjarhitun, Rafhönnun, TARK og Landslag. Auk þess er ÍSOR Orkuveitunni til ráðgjafar um jarðhitasvæðin og í borunum.

- Faghópur 1 skyldi kanna lausnir á vinnslurás virkjunarinnar
- Faghópur 2 kannaði ytri aðstæður vegna rafmagnsframleiðslu,
- Faghópur 3, lausnir vegna hitaveitu,
- Faghópur 4, þjónusturými og rekstur virkjunarinnar,
- Faghópur 5, önnur starfsemi, óháð framleiðslu,
- Faghópur 6, ytri áraun,
- Faghópur 7, rannsóknir,
- Faghópur 8, niðrrennsli skiljuvatns á Reynisvatnsheiði,
- Faghópur 9, nýungar í borplönnum.

Lögð var áhersla á það frá byrjun að nálgast verkef­nin með opnum huga og að engar lausnir væru fyrirfram gefnar. Í hópnum fór fram mjög frjó og gagnleg hugmyndavinna. Ég mun hér á eftir styðjast að verulegu leyti við það sem fram kom í hópnum svo og það sem unnið hefur verið af ráðgjöfum og starfsmönnum Orkuveitu Reykjavíkur.

Höfuðforsendur.

Höfuðforsendur fyrir virkjunina voru samþykktar í stýrihópi vegna virkjana 6. nóvember 2003. Vegna mjög breyttra forsendna hvað varðar stærð og tímasetningar virkjanaáfangi þarf að endurskoða þær. Ég mun því ekki tunda þær frekar hér.

Rafstöð.

Stíllt var upp fjórum mismunandi tæknilausnum vélbúnaðar í rafstöð. Allar miðuðu þær við að í orkuverinu yrði framleitt rafmagn og heitt vatn. Niðurstaða þessara athugana var lausn sem er hliðstæð Nesjavöllum. Meginfrávikið er að eimsvalinn er tvískiptur þannig að hægt er keyra hann alveg á kæliturnum eða eingöngu á köldu grunnvatni. Oftast má þó reikna með að bæði kerfin verði notuð samtímis. Skiptingin fer þá eftir álagi á hitaveituna.

Hitaveita.

Hvað varðar þennan þátt hafa margir kostir komið til skoðunar, enda er kerfið allt mjög flókið og breytistærðirnar margar. Fyrst er til að taka að tímasetningar eru erfiðar. Hvenær þarf stækkun að koma inn á markaðinn? Hversu nærri lághitasvæðunum megum við ganga áður en ný virkjun kemur inn? Hver er vatnspörfin “kuldaveturinn mikla”? Á að taka mark á spám um hlýnandi veðurfar? Það er ljóst að Orkuveitan er ekki tilbúin til að taka áhættu varðandi hitaveituna, en flýtkostnaðurinn er líka mikill. Niðurstaðan varð að haga undirbúningi með þeim hætti að tvö ár nægðu frá ákvarðanatöku til gangsetningar. Í upphafi var miðað við að varmastöðin kæmi inn 2007, en því hefur síðan verið frestað til 2008 og verulegar líkur eru á að fresta megi því enn frekar.

Miðað við þekkingu okkar á jarðhitasvæðinu var í upphafi talið að 400 MW varmaframleiðsla mundi falla vel að 120 MW rafmagnsframleiðslu. Af ýmsum ástæðum hafa menn talið að þetta væri hæfilega stór áfangi miðað við markaðinn. Virkjun af þessari stærð á að geta fullnægt aukningu í heitavatnspörf í u.þ.b. 15 ár. Umreiknað í vatnsmagn eru 400 MW 2400 l/s af 80 °C heitu vatni. Þetta er gríðarlegt vatnsmagn og hreint ekki sjálfgefið hvaðan á að taka það eða hvað á að gera við það eftir notkun. Þeir kostir sem skoða þurfti voru ferskvatnsöflun á virkjunarsvæðinu, ferskvatnsöflun í Reykjavík og nýting bakrennslis. Ferskvatnsöflun í Reykjavík var fljótlega útilokuð m.a. vegna þess að ekki þótti ljóst hversu auðvelt væri að afla svo mikils vatns í nágrenni bæjarins. Til að kanna ferskvatnsöflun á virkjunarsvæðinu voru boraðar 23 könnunarholur niður í grunnvatn. Grunnvatnskerfið reyndist mun flóknara en við gátum séð fyrir. Það einkennist af stóru grunnvatnsstöðuvatni vestan Hellisheiðar. Frá þessu stöðuvatni renna straumar til suðurs í átt til Selvogs, til norðurs og síðan austurs til Þingvallavatns og einnig er straumur til vesturs en hann er sínu minnstur. Boraðar voru holur til þrjúfaldinga í Þingvallastrauminn hjá Engidalskvísl vestan Húsmúla. Niðurstaðan var að talið er að taka megi þarna nægilegt vatn fyrir hitaveitu.

Selvogsstraumurinn, sem er stærstur, var talinn nægilega vatnsmikill til að taka við skiljuvatni frá virkjuninni væri það losað á 400 m dýpi. Líkanareikningar sýndu að uppblöndun vatns væri það mikil að áhrif skiljuvatns yrðu ekki mælanleg. Í umhverfismati varð niðurstaðan að grunnvatnið ætti að njóta alls vafa og að losa skyldi skiljuvatnið niður í jarðhitakerfið.

Talsverð vinna var lögð í að skoða lausn sem fólst í að flytja skiljuvatn til Reynisvatnsheiðar og nota það þar til að hita upp bakrennslisvatn. Sérstakur faghópur skoðaði möguleika á losun skiljuvatns á þessum slóðum. Það reyndist talsverðum erfiðleikum háð m.a. vegna langtíma hættu á skaða á lághitasvæðunum í Mosfellsdal. Meginástæða þess að fallið var frá þessari hugmynd var þó að hún gefur ekki kost á að nýta þéttvarma gufunnar í virkjuninni. Þetta hefði þýtt um 30 % minni afköst varmastöðvar og var ekki talið ásættanlegt. Megináherslan var nú lögð á að bera saman “Nesjavallamódelið” og “bakvatnsleiðina”. Þ.e. lausn með upphituðu köldu vatni frá Hellisheiði annarsvegar og með að fara með uppsafnað bakvatn frá Reykjavík á Hellisheiði og hita það þar upp. Eins og oft vill verða hafa báðar þessar leiðir kosti og galla. Hitaveituhópurinn komst að þeirri niðurstöðu að kostnaðarmunur væri það verulegur að eðlilegast væri að nýta upphitað ferskvatn fyrir hitaveituna. Niðurstaða faghóps um hitaveitu er svohljóðandi:

*Skv. grein 4 verður stofnkostnaður 2.361 Mkr eða um 21% hærri ef lághitabakvatn er leitt upp á Hellisheiði, en ef ferskvatn er hitað þar í 100°C. Ennfremur er árlegur rafmagnskostnaður um 80 Mkr hærri ef bakvatn er notað. Sá munur fellst þó eingöngu í lægra rafmagnsverði á Hellisheiði en í bænum, en óvíst er að sú forsenda standist. Þó talsverð óvissa sé í áætlun stofnkostnaðar er munurinn örugglega marktækur.*

*Þó mismunur á beinum stofnkostnaði sé marktækur eru nokkur atriði sem vert er að hafa í huga þegar ákvörðun er tekin um fyrirkomulag varmaframleiðslu. Hér á eftir verður gerð grein fyrir nokkrum kostum og göllum við að nota lághitabakvatn miðað við ferskvatn.*

***Kostir við að hita lághitabakvatn í stað ferskvatns***

□ Minni líkur eru á útfellingum þegar lághitabakvatn er notað.  
□ Samspil Hellisheiðarvirkjunar við lághitasvæði er einfaldara þar eð ekki þarf að skipta um vatn á kerfunum. Ónógt bakvatn takmarkar þetta samspil, en með því að lækka framrennslishita frá virkjuninni, þegar þess þarf, er unnt að samkeyra svæðin að vild eftir álagi.

□ Minna vatnsmagn er tekið upp úr jörðu og því verður losun minni en ella, sjá viðauka 2.  
8

#### **Gallar við að hita lághitabakvatn í stað ferskvatns**

□ Tvær varmastöðvar á Hellisheiði og á Reynisvatnsheiði leiða til hærri rekstrarkostnaðar.

□ Vöntun á bakvatni getur takmarkað notkun kyndistöðvar.

□ Samspil Hellisheiðarvirkjunar og Nesjavallavirkjunar verður takmarkaðra en ella. Með breytilegu álagi á varmastöð á Reynisvatnsheiði og breytilegum framrennslishita frá Hellisheiði má þó auka það.

*Ekkert af þeim atriðum, sem talin eru hér að ofan eru það afgerandi, að þau breyti þeirri niðurstöðu að*

*lausn I, "Ferskvatn hitað í 100°C" er marktækt ódyrari en "Bakvatn hitað í 130°C". Önnur atriði en kostnaður veða ekki það þungt að breyti þeirri niðurstöðu að ganvart hitaveitukerfinu er hagkvæmast lausnin að afla vatns á Hellisheiði og hita það í 80-100°C eftir álagi og aðstæðum".*

Núverandi staða:

Það er mjög mikil eftirspurn eftir rafmagni. Orkuveita Reykjavíkur hefur því horft mjög til þess að hraða nýtingu jarðvarmans á Hellisheiði. Unnið er að undirbúningi að stækkun Hellisheiðarvirkjunar með því að stækka svæðið sem vinnsla fer fram á og jafnframt verða boraðar rannsóknarholur í Hverahlíð og á Ölkelduhálsi. Þetta hefur í för með sér að endurskoða verður uppbygginguna á orkuverinu til að auka nýtingu jarðvarmans frá því sem óbreytt uppsetning hefði gefið. Stjórn Orkuveitunnar hefur samþykkt að hefja undirbúning að því að setja upp lágþrýstihverfil á Hellisheiði. Hugmyndin er að láta skiljuvatnið sjóða niður í um 120°C og nota gufuna til að framleiða rafmagn. Talið er að framleiða megi u.þ.b. 25 MW í lágþrýstihverfli fyrir hver 90 MW í hefðbundnum hverflum. Að sjálfsögðu dregur þetta úr getu til að framleiða heitt vatn en hún minnkar úr 267 MW í um 150 MW miðað við tvær vélar. Þetta kemur þó ekki að sök gagnvart hitaveitunni því aukinn hraði á uppbyggingu rafmagnsframleiðslu kemur til með að tryggja að næg orka verður til heitavatsframleiðslu.

Tilvitnanir:

Hellisheiðarvirkjun, verkhönnunarskýrsla, lokadrög. Mars 2004. Hönnunarhópur Hellisheiðarvirkjunar.  
Helisheiðarvirkjun. Áfangaskýrslur 1 og 2, faghópur nr. 3.

# VARMAFRÆÐI JARÐGUFUVIRKJANA OG HITAVEITNA

Jónas Matthíasson, Varmaverk ehf  
Febrúar 2005

Í þessu erindi er jarðgufuvirkjun skilgreind sem hagnýting á jarðvarma til framleiðslu á raforku og varmaorku til húshitunar.

Varmafræðin (thermodynamics) skilgreinir m.a. hámark tiltæks hreyfiafls í gefnu varmaorkustreymi. Hreyfiafli er unnt að breyta í hvaða annað aflform sem vera skal, þ.á.m. rafafl og varmaafll. Sá hluti sem umbreytanlegur er með þessum hætti nefnist exergi. Afgangurinn er anergi og getur aldrei orðið exergi.

ENERGI = EXERGI + ANERGI

Anergi eða anergía (sbr. exergía og energía ?) er þannig hinn ónothæfi hluti varmaorkunnar, þegar raforkuframleiðsla er annars vegar.

Þegar sóst er til raforkunýtingar á tilteknum orkugjafa er keppikefli að nýta exergíu orkulindarinnar sem best, glata sem minnstu í anergíu.

Hafandi þetta að leiðarljósi er unnt að hefjast handa og spyrja:

1. Hvernig reiknast anergía ?
2. Hver er umgjörð þess orkukerfis sem verið er að skoða, hvar byrjar það og hvar endar það eða er það endalaust, hvar kemur massi inn og hvar fer hann út o.s.frv. ?

Til þess að geta reiknað anergíu þarf fyrst að skilgreina viðmiðunarhitastig hennar t.d. vatnshita í á eða stöðuvatni, kæli loftshita eða sjávarhita, þegar um raforkuframleiðslu eina sér er að ræða. Skilgreiningin er sem sé sú að varmaorka undir þessu “kælimiðilshitastigi” sé hrein anergía, ónýt. Þetta eru hin hefðbundna skilgreining varmafræðinnar.

Í erindi Jóhannesar Zoega, sem Guðni flutti hér áðan, skilgreinir hann sín “anergíumörk” við 32 °C, eða 305 °K. Allt vatn undir þessum mörkum er ónýtanlegt fyrir hitaveitu.

Þetta gerir hann út frá því sjónarmiði að hitaveituvatn sé nýtt niður í 35-40°C í híbýlum manna og berist til baka (tvöföld kerfi) eða sé fargað í skólperfi og Nauthólsvík við ca. 32°C.

Hliðstætt lítur hann á exergíunotkun (varmi ofan 32°C) til forhitunar á Þingvallavatni frá t.d. 5°C í 32°C sem töp. Þessi upphitun gagnast engum, en er engu að síður nauðsynleg þar sem enginn annar, heitari og/eða hagkvæmari varmaberi er talinn tiltækur.

Svo geta menn velt því fyrir sér, eins og Jóhannes gerir, hvað sé hagkvæmt og hvað tiltækt.

Jóhannes bendir á kosti þess að tvöfalda dreifikerfið og gera bakrásarvatnið (32°C) tiltækt sem varmabera á Nesjavöllum. Útgangspunktur hans og meginröksemd er að varmavinnslan sé nánast námuvinnsla sem gangi til þurrðar eða verði tæknilega ótiltæk og því sé um að gera að fara sparlega og rétt með hana. Í þessu styðst hann við módelreikninga jarðhitavísindamanna.

## □ Módel

Sé námuhugtakið og/eða fyrirsjáanleg hrönnun jarðhitasvæðis viðurkennt sem staðreynd, verður ekki hjá því komist að huga að líftíma og fjárhagslegum afleiðingum þess að virkjun verði fyrirsjáanlega ónýtt og önnur þurfi að koma í staðinn, þ.e.a.s. ef umræddur líftími svæðis er talinn í árum/áratugum fremur en öldum. Jóhannes hikar ekki við að telja 30 ár (óhæfilega) stuttan tíma, en 160 ár kanski eitthvað sem menn gætu sætt sig við.

Tökum nú dæmi til gamans:

Jarðhitasvæðinu er líkt við kastarólu með vatni og brennheitri steinvölu. Kastarólunni er lokað með sémilega þéttu loki. Neðan vatnsborðs þessa íláts liggur svo pípustubbur, í þrengra lagi, upp í kaffitrekt. Fyrst um sinn, jafnvel lengi vel, er þetta í góðum gír, gufuþrýstingur knýr vatnið upp í vélina, en svo kemur að því að halla fer á ógæfuhliðina; vatnið verður sífellt kaldara og þrýstingur þverr. Einng getur komið upp sú staða að vatnsborðið fari undir pípuendann og þá er allt í einu ekki annað að hafa en gufu sem kaffitrektin getur ekki hagnýtt sér, og skipta þyrfti yfir í expressóvél með búnaði til að flóa mjólk og ferskvatnsinntaki sem notar gufu til upphitunar.

Þetta gengur þokkalega um stundarsakir, en á endanum klárast vatnið og/eða hvað:

1. Steinvalan kann enn að vera brennheit, þótt vatnið sé búið.
2. Fleiti heitar steinvölur eru tiltækar og/eða fleiri kastarólur með vatni í.
3. Vatnið í kastarólunni kann að hafa verið óhreint, kanski með korg sem stíflar pípuþegar í upphafi og þá er sjálfhætt, nema við þessu séu einhver ráð, pípuhrensari eða eitthvað annað haldbetra.

Þessi samlíking á við um námuna, takmarkað, lokað jarðhitakerfi af óvissri stærð.

Skoðum aðra samlíkingu, sem gengur út á það að kastarólan standi á eldavélarhelli, sem kveikt er á og er gervingur hinnar óendanlegu orku í iðrum jarðar, en gæti samlíkingarinnar vegna eins verið rafmagn frá Landsvirkjun (að Kröflu frátalinni, því annars væri eilífðarvélina á næsta leyti).

Þetta módel sem t.d. dregur dóm af djúpbörnunum, dugar skammt, nema séð sé fyrir nýju vatni.

Það gæti svo komið úr regnvatnstank, gegnum slöngu og/eða kanski enn betra:

Það gæti verið sama vatnið og fór í kaffigerðina upphaflega og freistandi að grípa það strax og það fellur fyrst til, ilvolgt, svo ekki þurfi að koma til óparfa exergíusóunar í upphitun regnvatns. Hreinsun á vatni er þekkt tækni, korg eða kísl má ýmist fjarlægja eða þynna út þannig að ekki hljótist stíflur af.

Hér er sem sé horfið frá námuhugtakinu og gegnumrennslismódel eða lokuð hringrás komin í staðinn og er þá farið að stytta í hið hefðbundna Rankine-kerfi, sem gas-, olíu- og kolakynnt gufuorkuver byggja á.

Um leið gjörbreytist allt sem snertir varmanýtnihugtakið og mun framhald þessa erindis grundvallast á því að niðurdæling í jarðhitageymi sé ígildi ketilfæðivatns, þ.e. sé ekki reiknuð sem hvert annað frárennsli, alfarið sóað í anergíu og massatap, heldur sé hluti hringrásarkerfis með fullgildri exergíu og massa.

Valgarður mun fjalla um sjálfbæra nýtingu jarðhitasvæða hér á eftir og mun þá koma í ljós hvað kastarólan góða hefur í raun að geyma.

#### □ **Anergían**

Þegar um gufuforkuver er að ræða, ræðst viðmiðunarhiti anergíuhugtaksins,  $T_{\min}$ , af tiltækum kælimiðli, lofti, sjó eða vatni frá á eða stöðuvatni, svið sem spannar  $0 - 15^{\circ}\text{C}$  segjum  $285^{\circ}\text{Kelvin}$ .

Fyrir hitaveitu er ef til vill rétt að miða við bakrennslishita húsa, t.d.  $30 - 35^{\circ}\text{C}$ , en á hinn bóginn má líka líta til þess að  $30-35^{\circ}\text{C}$  vatn er ekki ónýtanlegt með öllu; tókum snjóbræðslu, fiskeldi, sundlaugar og heita potta sem dæmi.

Með þetta í huga er ekki út í hött að álykta sem svo að  $285^{\circ}\text{K}$  sé ekki alvitlaus viðmiðun fyrir virkjun til rafmagns og/eða hitaveitu.

Með hringrásarmódelið að ofan og  $T_{\min} = 285^{\circ}\text{K}$  er hægt að velta fyrir sér möguleikunum.

Áður en haldið er af stað í exergíunýtniskoðun á jarðhitamódelinu, er áhugavert að skoða fyrst aðeins tvö önnur virkjunarform, vatnsaflsstöð og eldsneytiskynta stöð.

#### □ **Vatnsafl**

Nýtni vatnsaflsvirkjunar má t.d. skilgreina sem hundraðshluta rafafls af virkjuðu fallafli:

$$\eta = W / (Q \times H) \times 100$$

W = rafafl

Q = rennsli

H = fallhæð

Nýtni, reiknuð með þessum hætti, liggur gjarnan á bilinu  $80 - 90\%$

Önnur nýtniskilgreining er hundraðshluti unninnar raforku við tiltekna fallhæð og rennsli í meðalvatnsári t.d. og er þá miðlunarlón gjarnan með í spiliinu.

Í báðum tilvikum er litið á vatnsaflsvirkjun sem opið ferli sem byrjar í tilteknu lóni í tiltekinni hæð og lýkur í útrás vatnshverflanna.

Til þess að átta sig á því hve gjörólík nýtnihugtök eru notuð, vatnsafl versus gufa, þarf að útvíkka vatnsvirkjunarmódelið í hringrásarkerfi, hliðstætt gufukerfinu.

Sólarorkan, höf og vötn verða þá samsvörun eldsneytisins/jarðvarmans og hafið og vötnin ketillinn, sem umbreytir vatni í gufu og himingeymurinn verður eimsvallinn sem breytir gufu í ský og úrkomu á ný.



Gufuhverfilinn vantar hins vegar alveg, hliðstætt því að ketilgufu væri hleypt framhjá hverfli beint í eimsvalann, auk þess sem þetta ferli fer næstum allt fram neðan við anergíumörkin.

Það sem hins vegar bjargar því sem bjargað verður í þessu Rankine orkuveri náttúrunnar er lega eimsvalans, t.d. 200-400 m ofar en ketillinn. Áin er fæðivatnið sem fellur til hafsins, ketilsins.

Til þess að framleiða 1 kW vatnsafls með 85% fallorkunýtni og 300 m fallhæð þarf 0,4 l/s . Sólaraflið sem þarf til að breyta þessu vatni í gufu er 990 kW.

Nýting sólarorkunnar til vatnsaflsframleiðslu er því í besta falli um 0,1 %, reiknuð á kvarða varmafræðinnar.

### □ Raforkuver sem byggir á brennslu jarðefna

Nýtni er hér skilgreind sem hundradshluti rafafls af tiltæku brunaafli viðkomanadi jarðefnis, sett fram með sömu bókstöfum og fyrir vatnsaflið:

$$\eta = W / (Q \times H) \times 100$$

W = rafafli

Q = massastreymi eldsneytis

H = brunagildi eldsneytis (sem er mjög nálægt raunverulegu exergíuinnihaldi)

Reiknuð á þessum nótum er nýtnin á bilinu 35 – 55 %, háð fullkomnunarstigi viðkomandi orkuvers, eldneyti sem notað er og, síðast en ekki síst, hitastigum og þrýstingi vinnumiðla (reykgasa og/eða gufu) og kælikerfa.

Ekki verður reynt að draga samlíkinguna til enda með því að finna út nýtni náttúrunnar í því ferli að ummynda sólarorku í jarðefnaeldsneyti.

Því er skotið inn hér, í tilefni af lagalegri gildistöku Kyoto-sáttmálans í síðustu viku, að raforkuver af þessu tagi losar um það bil 0,5-1 kg CO<sub>2</sub> fyrir hverja framleidda kWst. raforku.

### □ Jarðvarmavirkjun, raforkuframleiðsla

Til þess að halda samlíkingunni við það sem á undan er gengið, er litið á jarðhitasvæði sem ketil sem framleiðir gufu og/eða heitt vatn með bráðið hraun sem varmagjafa eða eldsneyti.

Ketillinn þarf sitt fæðivatn, hvaðan sem það kemur.

Í hringrásarkerfi, sem tekur við tilteknum varma við tiltekið hitastig, T<sub>max</sub>, skilgreinir varmafræðin fræðilegt hámark t.d. raforku sem unnt er að vinna:

$$\text{Carnot-nýtni} = (1 - T_{\min} / T_{\max}) \times 100$$

Í reynd er útilokað að ná þessu hlutfalli og því hefur hugtakið aðeins fræðilegt gildi, en vísar samt veginn.

Tökum dæmi:

Dæmi 1: Núverandi boranir á Reykjanesi:  
Hitastig í jarðhitasvæði 300°C, 573°K  
Hámarksnýtni Carnot = 50% eða 673 kW pr. kg/s holurennis  
Nýja virkjunin: 130 kW pr. kg/s

Dæmi 2: Djúpbörun á Reykjanesi (yfirkritiskar aðstæður)  
Hitastig í jarðhitasvæði t.d. 500°C, 773°K  
Hámarksnýtni Carnot = 63% eða 2000 kW pr. kg/s  
Yfirkritískur hverfill: 1000 kW pr. kg/s

Sleppum hendinni af Carnot og lítum á exergíuna og nýtingu hennar í þessum sömu dæmum.

### **300°C jarðhitasvæði, gufuskiljuhiti 210°C:**

Exergía í 1 kg/s jarðsjó við 300°C, tekin inn í borholu:

$$E = (i'_{573} - i'_{285} - 285 (s'_{573} - s'_{285})) \times 1 = 1345.50 - 285 (3.25 - 0.18) = 420 \text{ kW}$$

$i'$  er vatnsvermi (enthalpía) og  $s'$  er vatnsentropía.

0,77 kg/s af jarðsjó skilað niður í jarðhitageyminn aftur, 210 °C heitum:

$$E = (i'_{483} - i'_{285} - 285 (s'_{483} - s'_{285})) \times 0,77 = (898.50 - 285 (2.42 - 0.18)) \times 0,77 = 162 \text{ kW}$$

Nettóupptaka exergíu úr svæðinu = 420 – 162 = 258 kW (exergíu í þéttivatni, sem dælt væri niður líka er sleppt; hún er hverfandi).

$$\text{Exergíunýtni} = 130/258 \times 100 = 50 \%$$

Skjótum Kyoto inn:

CO<sub>2</sub> innihald gufu ca. 1 %, sem þýðir 0.06 kg CO<sub>2</sub>/kWst. samanborið við 0,5– 1 kg í eldsneytiskyntu raforkuveri; innan við 1/10, en telur samt og væri betur skilað niður í svæðið aftur með niðurdælingunni.

## 500°C jarðhitasvæði, yfirkrítískar aðstæður, djúpborun:

Exergía í 1 kg/s jarðsjó við 500°C, tekin inn í borholu:

$$E = (i'_{873} - i'_{285} - 285 (s'_{873} - s'_{285})) \times 1 = 3200 - 50 - 285 (6,1 - 0,18) = 1463 \text{ kW}$$

Niðurdæling á allri upptökunni í vatnsformi við 45°C inniheldur aðeins 7 kW exergíu.

$$\text{Nettoupptaka exergíu úr svæðinu} = 1463 - 7 = 1456 \text{ kW}$$

Exergíunýtni =  $1000/1465 \times 100 = 68 \%$ , umtalsverð hækkun frá fyrra dæmi.

Í nýtnilegu tilliti er djúpborun vissulega framför. Ávinningurinn skilar sér ekki síður þegar afkastageta hvernar borholu er metin. Hvert kg/s holurennis gefur fyrirheit um 7-8 falt meiri raforku en núverandi holur gefa og væntanlega gefur hver hola auk þess meira renni, þannig að munurinn gæti orðið miklu meiri.

Mikilvægast af öllu yrði þó sönnun þeirrar tilgátu eða væntinga að jarðhitasvæðin séu miklu stærri í lóðréttum skilningi, þ.e. að undir þeim sé eldavélin og þangað sé vatnsgengt.

Erfiðu hliðarnar snúast m.a. um tækni til að ráða við svona framkvæmd og, ekki síður, óvissan um hvað upp kemur í efnafræðilegum skilningi.

Yfirkrítískt vatn er m.a. notað til að leysa ýmis efni (extraction), málma (gull) og þvíumlíkt, þannig að sú spurning hlýtur að vakna, hvort þessi mjöður sé ekki fullur af kísil og klóri og öðru góðgæti, sem við kólnun/þrýstilækkun, og ekki seinna en við fyrstu vatnsdropamyndun (mettun), steypist út og stífla alla ganga hverfilsins. Síðan er spurningin um gasinnihald.

Ef ekki gengi að hagnýta “gufuna” neðar en niður undir mettun, rýrnar raforkuframleiðslan í dæminu að framan úr 1000 kW í 300 kW og þá fer líklega mesti glansinn af djúpborun.

Hverju spá jarðefnafræðingar um þetta ?

Í þessu erindiskorni verður ekki farið nánar út í þá möguleika sem tiltækir eru til að hámarka raforkuframleiðslu á Reykjanesi við þau jarðhitaskilyrði sem Dæmi 1 tekur til.

Látið er nægja að nefna 2-þrýstikerfi (Krafla), sem eykur gufuhlutfall og Binary-kerfi sem t.d. varmanýtir borholuvökvann (skiljuvatnið) til raforkuframleiðslu. Þeim sem vilja kynna sér Binary-kerfi, er bent á meistaraverkefni Geirs Þórólfssonar, unnið við H.Í. 2002.

Það skondna í þessu er hins vegar að aukning raforkuframleiðslu, t.d. með Binary-viðbót, veldur verri exergíunýtingu.

Dæmi: 0,77 kg/s jarðsjór í Binary kerfi, úr 210°C í 110°C og dæla svo niður 110°C sjó í stað 210°C áður.

Raforkuviðbót = 45 kW

Exergía í niðurdælingu:

$$E = (i'_{373} - i'_{285} - 285 (s'_{373} - s'_{285})) \times 0,77 = (419 - 50 - 285 (1,31 - 0,18)) \times 0,77 = 36 \text{ kW}$$

Nettoupptaka exergíu:  $420 - 36 = 384 \text{ kW}$

Exergíunýtni:  $(130 - 45) / 384 = 46 \%$  samanborið við 50% án Binary-kerfis.

Karlinn í neðra þarf sem sé að fira meira fyrir þessa 45 kW viðbót en ef við hefðum skrúfað meira frá holunni.

#### □ Jarðvarmavirkjun, raforkuframleiðsla + hitaveita

Orkuverin í Svartsengi og á Nesjavöllum framleiða í senn rafmagn og hitaveituvatn. Bæði eiga það sammerkt að hitaveitan skilar ekki bakrennsli og því þarf að byrja á upphitun ca. 5°C ferksvatns.

Í Svartsengi er blanda ýmissa aðferða, jarðsjávarflössun, úttakshverfill, mótþrýstihverflar, Binary-kerfi o.s.frv..

Með hliðsjón af dæmunum hér að framan, sóttum á Reykjanes, er einni mynd brugðið upp, úttakshverfli með gufuvarmaskipti fyrir hitaveitu.

Í dæminu er helmingur gufunnar tekinn út við 100°C.

Rafafl: 105 kW pr. kg/s holurennis.

Hitaveita: 80°C framrás - 255 kW -1,5 l/s ef bakrennsli kæmi 40°C heitt

Hitaveita: 80°C framrás - 145 kW -0,85 l/s ef hita þarf upp 5°C ferksvatn

Exergía úr holu: 420 kW

Exergía niðurdæling: 162 kW

Nettó upptaka exergíu: 258 kW

Exergía til hitaveitu: 60 kW

Heildarnýtni exergíu í orkuveri: 64 %

Ef öll gufan væri tekin út úr hverflinum við 100°C fengjust um 85 kW raforka og tvöfalt meiri hitaveituorka.

Heildarnýtni exergíu í orkuveri hækkar við þetta í 79 %.

Ofnakerfið veitir 1,5 l/s og 38 kW exergíu í húsið, ef bakrennsli fer til endurhitunar, en 0,85 l/s og 22 kW ef ferksvatn er hitað. Í húsinu verður exergían svo að lokum að anergíu og það gerir raforkuframleiðslan svo sem líka, á endanum.

Málið er hins vegar það að manni hitnar ekki sérlega af exergíunni; það er anergían sem velgir, svo hún er ekki sem verst, þegar allt kemur til alls.



# Sjálfbær nýting jarðhita

Valgarður Stefánsson  
Skrifstofu Alþjóðajarðhitasambandsins  
[iga@samorka.is](mailto:iga@samorka.is)

Sjálfbær nýting auðlinda er afsprengi umræðunnar um sjálfbæra þróun sem komst í tísku eftir útgáfu Brundtlandsskýrslunnar árið 1987. Sjálfbær þróun hefur náð svo miklum vinsældum að forsætisráðherrar Norðurlanda og pólitískir leiðtogar sjálfstjórnarsvæðanna á Norðurlöndum samþykktu í nóvember 1998 yfirlýsingu um sjálfbær Norðurlönd. Skilgreining þeirra er þannig:

*Sjálfbær þróun er . . . þróun sem uppfyllir þarfir núlifandi kynslóða án þess að stefna í hættu möguleikum seinni kynslóða á að uppfylla þarfir sínar. – Þegar allt kemur til alls er sjálfbær þróun þó ekki endanlegt jafnvægisástand heldur fremur ferli breytinga þar sem nýting auðlinda, stýring fjárfestinga, stefna í tækniþróun og kerfisbreytingar eru bæði í samræmi við þarfir nútímans og framtíðarinnar (Sjálfbær þróun, 2001).*

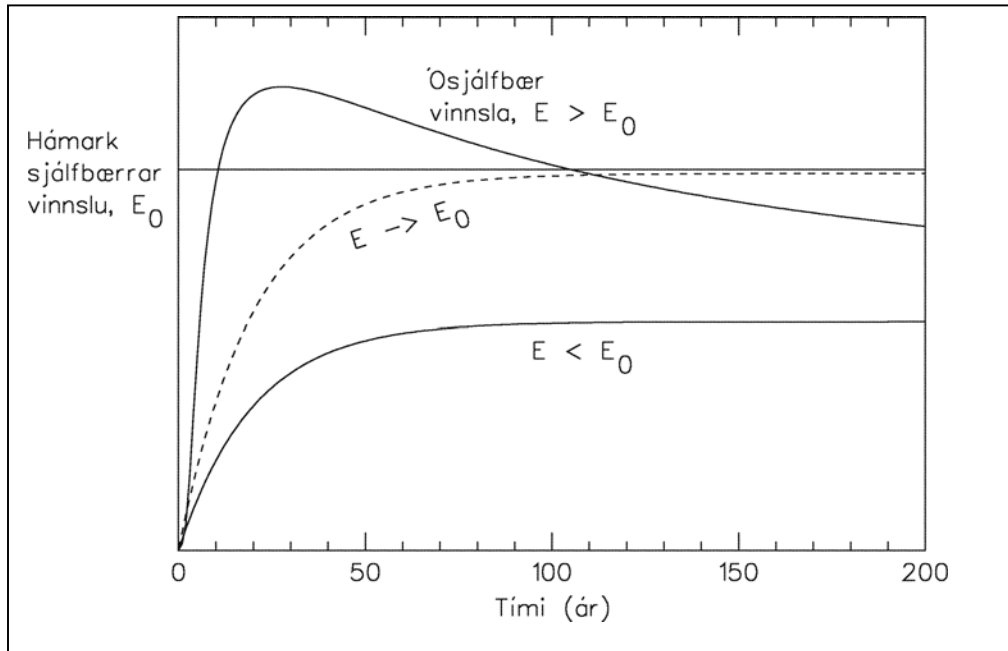
Í Brundtlandsskýrslunni er talað um *sustainable development* sem á íslensku er yfirleitt kallað *sjálfbær þróun*. Sumir telja þó að heppilegra væri að nota hugtakið *haldbær þróun* en hér verður ekki lagt mat á þau atriði. Skilgreiningin á sjálfbærri þróun er tiltölulega loðin og er það e.t.v. ástæða þess að hugtakið hefur náð miklum pólitískum vinsældum.

Mismunandi skoðanir eru á því hverjar verða þarfir komandi kynslóða og hvernig hægt er að taka tillit til þeirra þarfa á líðandi stund. Það getur verið ásættanlegt fyrir pólitíska markmiðssetningu, en þegar kemur hins vegar að því að skilgreina sjálfbæra nýtingu auðlinda þarf að velja það nákvæma skilgreiningu að almenn samstaða sé um merkingu hugtaka til þess að skilgreiningin nýtist við auðlindastýringu. Sjálfbær nýting jarðhita hefur verið skilgreind þannig (Guðni Axelsson og fl., 2001):

*Fyrir sérhvert jarðhitasvæði, og sérhverja vinnsluaðferð, er til ákveðið hámarksvinnslustig,  $E_0$ , 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.*

Þessi skilgreining tekur til sjálfbærrar vinnslu jarðhita á einu jarðhitasvæði. Skilgreiningin tekur hvorki til hagrænna atriða, umhverfismála né tækniþróunar. Sjálfbær nýting jarðhita er háð eiginleikum þess jarðhitakeris sem um er fjallað en ekki álagsþáttum eða nýtni. Sjálfbær nýting er lýsing á hvernig auðlindin er nýtt. Hámarksvinnslustig auðlindarinnar  $E_0$  er beinlínis háð þeirri vinnsluaðferð sem notuð er. T.d. er  $E_0$  yfirleitt hærra ef niðurdæling er notuð við vinnsluna heldur en í þeim tilvikum þar sem ekki er dælt niður.

Mynd 1 er ætlað að skýra nánar hugtakið sjálfbær vinnsla jarðhita.



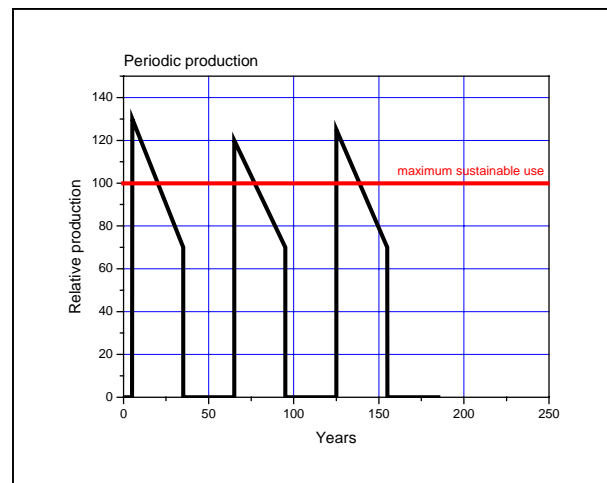
Mynd 1. Skýringarmynd fyrir hugtakið sjálfbær vinnsla jarðhita.

Hámarksvinnslustigið  $E_0$  segir til um hvaða samfellda vinnsla er möguleg til langs tíma lítið. Það er vissulega hægt vinna tímabundið meiri orku úr auðlindinni en  $E_0$ , en þannig ósjálfbær vinnsla hefur í för með sér að á seinni stigum vinnslunnar verður vinnslan minni en  $E_0$ .

Þessi eiginleiki jarðhitans gefur sveigjanleika í auðlindastýringu innan þeirra marka sem sjálfbær nýting setur vinnslunni. T.d. gæti vinnsla með hléum verið heppilegt vinnsluáðferð í sumum tilvikum.

Mynd 2 sýnir mögulega jarðhitavinnslu þar sem vinnslan er tímabundið meiri en hámarksvinnslustigið  $E_0$ , en þar sem auðlindin er síðan hvíld í vissan tíma á eftir.

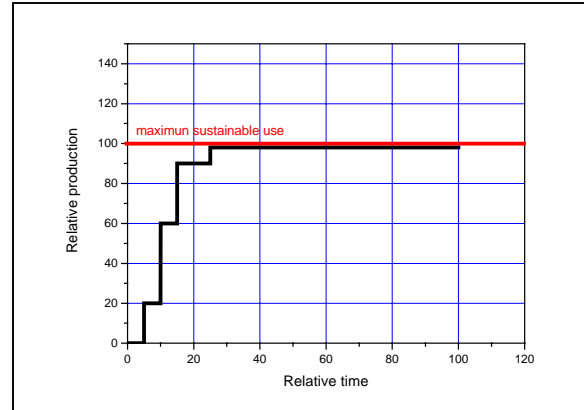
Ef reynt er að viðhalda vinnslu sem er mun meiri en  $E_0$  í langan tíma verður kostnaðurinn við að viðhalda þessu háa vinnslustigi mjög hár, svo hár að það reynist ekki hagkvæmt að viðhalda vinnslustigi sem er hærra en  $E_0$  nema í takmarkaðan tíma. Að þessu leyti hefur náttúran vit fyrir græðgi manna. Það er



Mynd 2. Vinnsla með hléum.

ekki hagkvæmt til langs tíma litið að vinna meira úr auðlindinni en sem samsvarar sjálfbærri nýtingu.

Virkjun í þrepum fellur mjög vel að sjálfbærri nýtingu jarðhita. Með þeirri aðferðarfræði er auðlindin virkjuð í þrepum og viðbrögð jarðhitakerfisins könnuð fyrir hvert virkjunarþrep. Með þessu móti er hægt að fíkra sig áfram upp að hámarki sjálfbærrar vinnslu sem er síðan er hægt að viðhalda í mjög langan tíma.



Mynd 3. Virkjun í þrepum

Mynd 3 sýnir að virkjun í þrepum gefur einfalda og örugga leið að því markmiði að fullnýta auðlindina til mjög langs tíma litið. Í mörgum tilvikum er þessi leið líka sú hagkvæmasta þegar til langs tíma er litið.

## Heimildir

Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson: Um sjálfbæra vinnslu jarðhita. *Orkuþing 2001*, bls. 478 - 484.

Sjálfbær þróun. Ný stefna fyrir Norðurlönd. *TemaNord 2001:506*

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.

Valgardur Stefansson and Gudni Axelsson: Sustainable Utilization of Geothermal Resources Through Stepwise Development. *Proceedings World Geothermal Congress 2005* Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

World Commission on Environment and Development, 1987: Our Common Future. *Oxford University Press*, Oxford. 400 p.