

LV-2012-076



Landsvirkjun



# Jarðvarmi

Kynningarrit

## Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2012-076

Dags: 29.05.2012

Fjöldi síðna: 43

Upplag: 11

Dreifing:

- Birt á vef LV  
 Opin  
 Takmörkuð til

Titill: Jarðvarmi, kynningarrit

Höfundar/fyrirtæki: Snorri Björn Gunnarsson

Verkefnisstjóri: Bjarni Pálsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: Bjarni Pálsson, Ásgrímur Guðmundsson

**Útdráttur:** Rit þetta er hugsað sem kynningarrit um jarðvarma fyrir sumarvinnustarfsfólk Landsvirkjunar. Farið er yfir sögu jarðhita og jarðvarma á Íslandi. Skilgreind er merking orðanna jarðhiti og jarðvarmi. Farið er yfir jarðhitasvæði, skilgreiningar þeirra og þrjár megináferðir jarðhitarannsókna. Sögu jarðvarmavirkjanna á Íslandi með höfuðáherslu á Kröfluvirkjun er kunngjörð. Virkni jarðvarmavirkjanna og meginhluti þeirra skilgreind. Að endingu er farið lauslega yfir framtíð jarðvarmageirans og þá góðu stöðu sem Ísland er í þegar kemur að jarðvarma í heiminum.

**Lykilorð:** Jarðvarmi, jarðhiti, jarðhitavæði, Þvottalaugarnar, jarðboranir, jarðvarmavirkjanir, lághitasvæði, háhitasvæði, umhverfisáhrif jarðvarmavirkjanna, nýting jarðvarmans, jarðhitarannsóknir, Kröfluvirkjun, Bjarnarflagsvirkjun, Þeistareykir, virkni jarðvarmavirkjanna, Ísland leiðandi afl í jarðvarma, íslenska djúpborunarverkefnið.

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra  
Landsvirkjunar

LV-2012-076



# Jarðvarmi

Kynningarrit

## Efnisyfirlit

Formáli.....	2
Uppbygging.....	3
1 Upphaf og saga jarðhitánýtingar á Íslandi .....	4
1.1 Frá landnámi til miðalda.....	4
1.2 Saga Þvottalauganna í Reykjavík .....	5
1.3 Saga hitaveitna á Íslandi .....	6
1.4 Saga jarðborunar .....	6
1.5 Saga Jarðvarmavirkjana á Íslandi .....	7
2 Almenn um jarðhita .....	8
2.1 Hvað er jarðhiti? .....	9
2.2 Jarðhitasvæði .....	9
2.2.1 Lághitasvæði .....	10
2.2.2 Háhitasvæði.....	11
2.3 Umhverfisáhrif vegna vinnslu jarðhitans .....	12
2.3.1 Jákvæð umhverfisáhrif jarðhita.....	12
2.3.2 Neikvæð umhverfisáhrif jarðhita .....	13
3 Jarðhitarannsóknir.....	19
4 Jarðvarmavirkjanir á Íslandi og saga þeirra .....	21
4.1 Saga Kröfluvirkjunar .....	23
4.1.1 Raforkuskortur og harðar deilur á Norður- og Norðausturlandi.....	23
4.1.2 Undirbúnings- og framkvæmdartími .....	24
4.1.3 Gangsetning .....	25
4.1.4 Kröflueldar.....	25
5 Virkni jarðvarmavirkjana.....	27
5.1 Gufuveita .....	27
5.2 Rafstöð.....	30
5.4 Framleiðsluferli jarðvarmavirkjana .....	36
6 Framtíðin í jarðvarmageiranum .....	38
6.1 Tækifærin sem hlýst af jarðhita.....	38
6.2 Íslenska djúpborunarverkefnið (IDDP) .....	39
7 Ísland leiðandi afl í nýtingu jarðvarma í heiminum.....	40
7.1 Jarðhitaskóli Sameinuðu Þjóðanna .....	41
Heimildir .....	42

## **Formáli**

Rit þetta var gert sumarið 2011 þegar ákveðið var að gera kynningarrit um jarðhita fyrir starfsmenn Landsvirkjunar. Sérstaklega var hugsað til þá sumarstarfsmanna sem sjá um að kynna virkjanir fyrirtækisins. Umfang kynningaritsins var meira en upphaflega var áætlað. Efnið er yfirgripsmikið en reynt var eftir fremsta megni að hafa kaflana hnitmiðaða og eins stutta og hægt var.

Í lokin vil ég þakka Bjarna Pálssyni og Ásgrími Guðmundssyni fyrir stuðninginn og hjálpina við gerð þessa rits. Alltaf var hægt að leita til þeirra með spurningar og fá leiðbeiningar.

## Uppbygging

Megin umfjöllunarefni þessa bæklingis er jarðhiti. Reynt er að fara eins stuttlega og hægt er en á sama tíma reynt að fara gaumgæfilega í þá hluti sem skipta máli. Svo sem saga jarðhitans á Íslandi, hvað jarðhiti er, helstu jarðhitasvæði á Íslandi og helstu hluta jarðvarmavirkjanna.

Í fyrsta kafla verður farið yfir sögu jarðhitans á Íslandi. Kaflinn inniheldur 6 undirkafla og verður farið stuttlega yfir sögu Þvottalauganna í Reykjavík, hitaveitna á Íslandi, sögu sundbaða og sundstaða á Íslandi og sögu jarðvarmaorkuvera. Í síðasta kaflanum verður farið stuttlega í sögu borunar á heitu vatni á Íslandi.

Í öðrum kafla er reynt að skýra hvað jarðhiti sé. Skilgreint verður hver munurinn er á lág- og háhitasvæði en einnig verður farið yfir þau helstu jarðhitasvæði sem eru á Íslandi.

Í þriðja kafla bæklingisins, verður farið yfir þátt jarðhitarannsókna á jarðhitasvæðum. Einnig verður stuttlega farið yfir þær helstu tegundir sem eru notaðar við jarðhitarannsóknir hér á landi.

Farið verður yfir sögu Kröfluvirkjunar í fjórða kafla. Frá raforkuskorti á norðausturlandi í það hvernig framkvæmdir á Kröfluvirkjun gengu fyrir sig. Farið verður yfir hvernig skipulag svæðisins er eftir sameiningu Kröflu- og Laxárvirkjunar en einnig verður fjallað um Kröfluelda sem hófust síðla árs 1975 og voru allt til ársins 1984.

Fimmti kafli bæklingisins er yfirgripsmikill. Þar er fjallað um helstu hluta jarðvarmavirkjanna. Reynt er að útskýra, þó í stuttu og skiljanlegu máli, hvernig helstu hlutar hennar virka. Í þessum kafla er einnig reynt að útskýra hvernig framleiðsluferli í jarðvarmavirkjunum virka með orðum og myndum (kafla 5 – mynd 12).

Í sjötta kafla bæklingisins, verður farið yfir þau ófáu tækifæri sem hlýst af jarðvarma á Íslandi. Bæði varðandi þróunar á öðrum og nýjum atvinnugeirum eins og fiskeldi en einnig útrásar á þekkingu Íslendinga erlendis.

Í sjöunda og jafnframt næst síðasta kafla bæklingisins verður tekið fyrir nokkur atriði sem flokkast undir nýksöpun í jarðhitageiranum á Íslandi. Tekið verið fyrir íslenska djúpborunarverkefnið og Kalina aðferðina.

Í síðasta kafla bæklingisins verður fjallað um hið leiðandi afl sem Ísland er í heimi jarðhitageirans. Einnig verður fjallað um Jarðhitaskóla Sameinuðu Þjóðanna en hann hefur útskrifað fjöldann allann af nemendum sem orðið hafa sérfræðingar á sviði jarðhita í heimalandi sínu og hjálpað því að nýta varmann á sem hagkvæmastan máta.

# 1 Upphaf og saga jarðhitanytingar á Íslandi

Í þessum fyrsta kafla bæklingisins verður sögu jarðhitans gerð skil á Íslandi. Jarðhitinn hefur gert sitt við að hjálpa landinu að verða að því velferðarsamfélagi sem það er í dag. Þessi hjálp kemur t.d. fram í gerð hitaveitna, baðstaða og sundlauga og ræktun grænmetis ásamt því að jarðhitinn er nýttur til framleiðslu á raforku.

Á Íslandi hófst nýting jarðhitans til húshitunar á fyrri hluta síðustu aldar og hafa Íslendingar alla tíð síðan verið í fararbroddi á því sviði. Hins vegar tók 3 áratugi að koma nýtingu hans til raforkuvinnslu í gott horf. Þar kemur við sögu ýmsar mannlegar og þjóðfélagslegar ástæður.

Lítill 3 MW<sub>e</sub> jarðvarmavirkjun var reist í Bjarnarflagi. Hins vegar var það ekki fyrr en Kröfluvirkjun var sett á laggirnar að marktæk reynsla fékkst af virkjun jarðhita til raforkuvinnslu. Reyndist verkefnið vera margslungið. Eftir þriggja áratuga tíma aðlögunar, reynslu og þróunar hefur þessi tækni sem þarf til við virkjun jarðhitans verið hagkvæmari en gerist víða erlendis þar sem hann er unninn.

Hér verður skyggnt inn í sögu jarðhitans hér á Íslandi. Í Kafla 4.1 er saga Kröfluvirkjunar kunngjörð.

## 1.1 Frá landnámi til miðalda

Í Landnámu segir frá því þegar Ingólfur Arnarsson nam hér land árið 874, þar sem nú er Reykjavík. Fræðimenn telja að Ingólfur hafi nefnt staðinn Reykjavík vegna gufureykjarins sem kom frá laugunum í Laugarnesi<sup>1</sup>. Jarðhiti hefur alla tíð verið Íslendingum vel kunnur og hafa Íslendingar verið duglegir að nota hann til baða alla tíð síðan.



Mynd 1 Snorrallaug í Reykholti.

Í Landnámu, biskupasögum, Íslendingasögum og Sturlungu er getið um laugarferðir manna á ýmsum stöðum á landinu<sup>2</sup>. Snorri Sturluson lét hlaða upp laug í Reykholti, mynd 1, sem nefnd hefur verið Snorrallaug. Þar var heitu vatni leitt í laugina frá hver sem var þar skammt frá. Laugin var svo kæld niður í hæfilegan hita með köldum læk sem rann inn í farveg heita vatnsins. Talið er að laugin hafi verið það stór að allt að 50 manns gátu baðað sig þar á sama tíma<sup>3</sup>. Segja má að þetta hafi verið upphafið að þeirri hefð landsmanna að baða sig í sundlaugum allt til dagsins í dag.

<sup>1</sup> Jarðhitabók – Eðli og nýting jarðhitans, bls. 157.

<sup>2</sup> Auður úr iðrum jarðar – Saga hitaveitna og jarðhitanytingar, blaðsíða 39.

<sup>3</sup> Jarðhitabók – Eðli og nýting jarðhitans, bls. 157.

## 1.2 Saga Þvottalauganna í Reykjavík

Þvottalaugarnar í Laugardal hafa merka sögu og eru jafnframt stór hluti sögu Reykjavíkur. Þvottalaugarnar eru staðsettar í Laugardal, nálægt fyrrum stórbænum Laugarnesi.

Laugarnar eru dæmi um mikla erfiðisvinnu sem tíðkaðist þar. Þvottakonurnar gengu þriggja kílómetra leið frá miðbæ Reykjavíkur að þvottalaugunum með miklar byrðar.



Mynd 2 Þvottalaugarnar í Reykjavík

Byrðarnar sem þvottakonurnar þurftu að bera voru balar, fötur, þvottabretti, sápur, kaffikönnur, bollar og matarbakkar, til viðbótar við sjálfan þvottinn.

Ætla mætti að gangan að Laugarnesi hafi leitt til þess að þvottakonurnar væru frekar lúnar þegar á áfangastað var komið. Við tók mikið erfiðisverk að þvo þvottinn og í framhaldi af því erfið ganga heim með hann blautan. Vinnudagarnir stóðu í um 10-15 tíma við erfiðar aðstæður í mismunandi veðrum. Til marks um þá erfiðisvinnu og þá miklu hættu við að vinna við þvottalaugarnar létust 3 konur af brunasárum eftir að þær féllu í þvottahveranna á árunum 1894-1901. Eftir að barnshafandi kona hrasaði í eina laugina árið 1901 tóku bæjaryfirvöld öryggið í sínar hendur og gjörbreyttu aðstöðunni við þvottalaugarnar. Árið 1902 voru hlaðnar upp laugar og festar á þær bogalaga grindur til þess að koma í veg fyrir að fólk félli ofan í þær. Var þá vatnið úr hverunum látið renna í steiptan grunn þar sem þvottakonurnar gátu sinnt vinnu sinni.

Þessi lélega aðstaða sem var við laugarnar voru á manna vörum lengi en það var ekkert gert fyrir en árið 1932. Þá var safnað fé til að reisa þar lítið hús og var það gert til þess að bæta aðstöðu þvottakvennanna.

Í árána rás var sífellt verið að endurgera svæðið við Þvottalaugarnar og voru þar reist nokkur hús. Sum þeirra eyðilögðust vegna veðurs. Önnur voru færð til eða þau rifin. Nýtt þvottahús reis við Þvottalaugarnar árið 1942. Í húsinu gátu 24 konur unnið við þvotta í einu, en þar voru 12 heitir og kaldir kranar. Þetta hús nefndist Þvottahúsið<sup>4</sup>.

Árið 1961 keypti Reykjavíkurbær verkið Þvottakonuna eftir högglistamanninn Ásmund Einarsson. Í framhaldi á kaupunum fóru menn að huga að því að endurgera þvottalaugarnar en aldrei var þó byrjað á því fyrr en árið 1994. Þá var ráðist í að endurgera þær og svæðið þar í kring. Hitaveita Reykjavíkur lagði til fjármagn við endurgerðina og Árbæjarsafnið lagði til sérfræðinga sem önnuðust alla þá vinnu við að setja sögulegar heimildir upp á skiljanlegan máta fyrir almenning<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Auður úr iðrum jarðar – Saga hitaveitna og jarðhitanýtingar á Íslandi, bls. 196-207.

<sup>5</sup> Auður úr iðrum jarðar – Saga hitaveitna og jarðhitanýtingar á Íslandi, bls. 211-213.



### 1.3 Saga hitaveitna á Íslandi

Upp úr aldamótum 19. aldar voru menn farnir að huga að því að nýta betur þá auðlind sem jarðhiti hefur upp á að bjóða. Meðal annars átti að nota heita vatnið til upphitunar bygginga og sundlauga. Þetta var ekki síst vegna þess hversu hratt Reykjavík stækkaði.

Upphaf hitaveitna á Íslandi má rekja allt aftur til ársins 1908 þegar heitu hveravatni var leitt á bæ í Mosfellsbæ. Í nóvember árið 1924 var hitaveita tekin í notkun við Laugaskóla í Reykjadal og við Laugarvatnsskóla árið 1928.

Um mitt ár 1928 hófust boranir við Þvottalaugarnar og var það í umsjá Rafmagnsveitu Reykjavíkur (RR). Ætlaði fyrirtækið að nýta þann jarðhita sem var þar til staðar til að framleiða raforku en í upphafi hafði RR leitt rannsóknavinnu jarðhitans þar. Eftir 2 ár við borun höfðu verið boraðar samtals 14 holur á þessu svæði og sú dýpsta var 246 m. Ekki þótti nógu hagkvæmt að nýta jarðhitann þar til framleiðslu á rafafli. Segja má að með þessum borunum hafi tímabil jarðboranna hafist fyrir alvöru hér á landi.

Bortækið var haglabor sem áður var notaður við gulleit í Vatnsmýrinni á árunum 1923 til 1927 og var keyptur af Málmleitar hf. Félagið var stofnað árið 1923 til gulleitar í Vatnsmýrinni. Mikill hvati á að veita heitu vatni til íbúa Reykjavíkur myndaðist á árunum milli heimsstyrjaldanna. Má þar telja að það hafi verið vegna olúskorts sem varð á Íslandi í fyrri heimstyrjöldinni. Jón Þorláksson þáverandi borgarstjóri Reykjavíkur sem síðar varð forsætisráðherra varð fyrstur til að stofna hitaveitu sem fékk nafnið Hitaveita Reykjavíkur. Jón var mikill hvatamaður að stofnun þess fyrirtækis og þegar hann var í embætti borgarstjóra var það eitt af hans aðaláhugamálum að hrinda stofnun fyrirtækisins í framkvæmd<sup>6</sup>. Boranirnar við Laugarnes leiddu til stofnunar Hitaveitu Reykjavíkur þegar veituframkvæmdir hófust. Lögð var 3 km löng pípa frá Þvottalaugunum í Reykjavík að Austurbæjarskóla<sup>7</sup>.

Á þessum rúmum 80 árum hefur margt gerst. Allir landsmenn geta nú nýtt hitann til að hita upp húsinn sín, farið í bað/sturtu nú eða farið í sund. Sprottið hafa upp mörg orkufyrirtæki í öllum landshlutum sem hafa það að markmiði að nýta þær orkuauðlindir sem eru á nærliggjandi svæðum. Oftast eru þau í eigu sveitarfélaganna á viðkomandi svæði. Helstu fyrirtækin sem nýta jarðhita til raforkuframleiðslu eru Landsvirkjun, Orkuveita Reykjavíkur og HS Orka, áður Hitaveita Suðurnesja.

### 1.4 Saga jarðborunar

Talið er að fyrstu jarðborarnir hafi verið teknir í notkun í Kína í kringum 1200. Voru þeir ýmist handknúnir eða þeim snúið af dráttardýrum.

Í Toscanahéraði á Ítalíu voru handdrifnir borar notaðir í byrjun 19. aldar. Tilgangurinn var að bora niður í heitt vatn til þessa að vinna bór úr því.

Fyrstu tilraunir með boranir á Íslandi voru gerðar árið 1755. Fengu þeir Bjarni Pálsson, sem þá var landlæknir, og Eggert Ólafsson skáld og náttúrufræðingur, jarðnafar svonefndan sem var í eigu Konunglega danska vísindafélagsins, til landsins. Markmið með komu hans var að kanna brennisteinsnámur á jarðhitasvæðum en brennisteinn var gríðarlega verðmæt afurð á þessum árum og var seldur út fyrir landssteinanna í stórum stíl í mörg ár. Völdu þeir sér stað við Laugarnes í Reykjavík. Ári seinna fóru þeir með nafarinn til Krísuvíkur. Þar tókst að bora í 10 m dýpi og í lokin þegar borinn var tekin af holunni gaus þar upp sjóðandi leirblanda og náði hún

<sup>6</sup> Jarðhitabók – Eðli og nýting jarðhitans, blaðsíða 174.

<sup>7</sup> Orkustofnun.

upp í rúma tveggja metra hæð. Þessar fyrstu jarðboranir á Íslandi báru þess merki að með borunum væri hægt að auka verulega rennsli vatns upp að yfirborði. En á þeirri staðreynd hvílir meðal annars öll jarðhitavinnsla í heiminum. Tveimur áratugum seinna var aftur borað við Krísuvík og fengust sömu niðurstöður og við boranir þeirra Bjarna og Eggerts.

Meira en öld leið þangað til Íslendingar fóru að gera tilraunir með boranir á jarðhitasvæðum. Byrjað var aftur að bora á jarðhitasvæðum árið 1904 þegar skortur var á neysluvatni í Reykjavík. Borað var í Vatnsmýrinni nálægt Öskjuhlíðinni. Varð niðurstaða vatnsleitarinnar ekki góð. Við borunina fundust eitthvað magn af gulli og varð það til þess að menn fóru að bora til gulls hér á Íslandi. Þótt enginn árangur náðist við gulleitina var sú leit upphaf jarðboranna á Íslandi og fékkst gríðarlega góð þekking manna á jarðborunum á Íslandi.

Á árunum 1928-1930 var borað við Þvottalaugarnar. Árangurinn þótti góður en hins vegar var vatnið þar ekki nógu heitt til framleiðslu á rafafli sem var megin markmið borunarinnar. Þessar jarðboranir leiddu til upphaf hitaveitna á Íslandi þegar heitu vatni var hleypt af á ofnakerfi Austurbæjarskóla í Reykjavík.

Við borunina á Íslandi var ýmist verið að nota þrjár tegundir bora; höggbora, snúningsbora og haglabora. Voru þeir allir mjög litlir í sniðum og hægvirkir. Tók stundum meira en ár að bora nokkra hundruð metra djúpa holu. Hitaveita Reykjavíkur var með nokkra slíka bora í sínum rekstri áður en Jarðboranir ríkisins, nú Jarðboranir hf., var stofnað.

Ein dýpsta hola á Íslandi í dag er 3.322 metra djúp. Er hún staðsett við Skarðsmýrarfjall á Hellisheiði. Hún boruð sumarið 2008 á vegum Orkuveitu Reykjavíkur og sá borinn Geysir, sem er í eigu Jarðboranna, um verkið. Als tók það 5 vikur fyrir borinn að bora svo djúpt niður.

Hægt er að nýta borholur til annarra nota en til jarðhita. Árið 1979 var boruð borhola sem var 1.919 m djúp. Er hún staðsett á Reyðarfirði. Hún var boruð til rannsóknna á jarðlögum á svæðinu<sup>8</sup>.

## 1.5 Saga Jarðvarmavirkjanna á Íslandi

Um 1920 varð mikill orkuskortur í Reykjavík. Vakti það áhuga meðal verkfræðinga að reyna að virkja þá auðlind sem var til staðar við Reykjavík, til framleiðslu rafafls. Höfðu menn vitneskju um virkjun jarðhitans í Larderello, skammt frá borginni Volterra á Ítalíu<sup>9</sup>. Ítalir voru á þessum tíma að virkja hveraorku til rafaflsframleiðslu. Reynsla Ítala var sú að eftir því sem dýpra væri borað kæmi meiri orka úr holunni.

Ekki náðist að virkja þann jarðhita sem var í Laugarnesi til framleiðslu á rafafli og voru hugmyndir um virkjun jarðhitans til framleiðslu rafafls sett á hilluna í ríflega þrjá áratugi.

Eins og sagt er í inngangi, var Bjarnarflagið við Mývatn virkjað árið 1967. Var hún nefnd Bjarnarflagsvirkjun. Raforkan sem virkjunin framleiddi var seld til Kísiliðjunnar sem var þá að hefja rekstur. Þetta var upphafið að beislun jarðhita til framleiðslu rafafls. Síðan þá hafa verið settar á laggirnar um 6 virkjanir á Íslandi. Sú stærsta verður Hellisheiðarvirkjun þegar hún verður komin í fullan rekstur (*sjá kafla 4*). Farið verður gaumgæfilega í sögu Kröfluvirkjunar í kafla 4.1.

<sup>8</sup> Jarðhitabók – Eðli og nýting auðlindar, blaðsíða 123.

<sup>9</sup> Auður úr iðrum jarðar – Saga hitaveitna og jarðhitanytingar á Íslandi, bls. 243.

## 1.6 Saga iðnaðar sem nýtir raforku úr jarðhita

Á síðari hluta 19. aldar var farið að gera tilraunir á stöðum til þess að nota heitt vatn til upphitunar á jarðvegi og auka þannig vaxtarhraða matjurta í görðum landsmanna. Eitt helsta vandamálið varðandi upphitunina var hvernig flutningur vatnsins og dreifing þess átti að vera. Seinna var vatnið flutt í opnum ræsum sem síðar var breytt í lokræsi svonefnd<sup>10</sup>. En opin rás leiðir til gríðarlegs varmataps, sérstaklega ef leiðin sem vatnið þarf að fara er löng.

Þau iðnfyrirtæki sem nýta sér raforku úr jarðhita eru fjölmörg. Fyrirtækin sem helst ber að nefna eru Bláa lónið og Jarðböðin við Mývatn, Þörungaverksmiðjuna, Íslenska lífmassafélagið, Grænar lausnir, garðyrkjubændur og margt fleira. Fiskiðnaðurinn á Íslandi hefur sífellt aukið nýtingu jarðhitans í sínum rekstri. Notar geirinn jarðhitann í fiskeldi en einnig til þurrkunar (sjá kafla 2.4).

Fjölmörg fyrirtæki sem notuðu jarðhita eða raforku framleidd úr jarðhita hafa þurft að hætta rekstri. Fyrirtækin sem helst ber að nefna eru Kísiliðjan við Mývatn og Saltvinnslan á Reykjanesi.

## 2 Almennt um jarðhita

Jarðhiti er ein af tveimur helstu orkuauðlindum landsins. Gegnir hann lykilhlutverki á móti vatnsorkunni. Báðar þessar orkulindir, þ.e. jarðhitinn og vatnsorkan, hafa sín séreinkenni. Dæmi um séreinkenni vatnsorkunnar er að það er tiltölulega auðvelt að mæta sveiflum á eftirspurn á raforkumarkaði með vatnsaflsvirkjunum. Jarðvarmavirkjanir krefjast mun meiri rannsókna og það tekur því meiri tíma að reisa þær. Báðir þessir orkugjafar eru grænir orkugjafar, þ.e. hægt er að virkja þá með sjálfbærum hætti. Orkuberinn í báðum orkugjöfunum er vatn. Í vatnsaflsvirkjunum er verið að nýta stöðuorkuna sem er í vatninu, en í jarðvarmavirkjunum er verið að nýta varmaorkuna.

Orka jarðhitans er endurnýjanleg orkulind. Vinnsla jarðhita er sjálfbær ef aðstreymi inn í jarðhitasvæðanna er í jafnvægi við vinnsluna. Það er þegar jafnvægi næst á milli þess magns vatns sem streymir inn í jarðhitakerfið og það magns sem tekið er út úr því. Það getur verið oft á tíðum mjög vandasamt að ákvarða efri mörk sjálfbærrar nýtingar í jarðhitakerfum. Hlutverk Orkustofnunar er m.a. að gæta þess að farið sé varlega með nýtingu jarðhitasvæða svo að nýtingu þeirra sé haldið í sem lengstan tíma og á sem hagkvæmastan máta.

Reynist svo að vinnslan sé of ágeng á viðkomandi jarðhitasvæði getur verið hagstætt að hvíla svæðið, þ.e. að minnka vinnsluna eða stoppa alveg. Þessi tími er álíka langur tími og vinnslan sem hefur staðið yfir á þeim tiltekna stað, svo að svæðið geti jafnað sig og staðið undir nýju vinnsluálagi<sup>11</sup>.

Í þessum kafla verður greint frá því hvað jarðhiti er. Einnig verður fjallað um þau svæði þar sem jarðhita er að finna á Íslandi. Svæðin eru skipt í tvennt, lág- og háhitasvæði.

<sup>10</sup> Jarðhitabók – Eðli og nýting auðlindar, blaðsíða 173.

<sup>11</sup> Guðni Axelsson o.fl., Orkuþing 2006.

## 2.1 Hvað er jarðhiti?

Bókstafleg merking orðsins jarðhiti er sá hiti í jörðinni sem er umfram þann hita sem mælist við yfirborð hennar. Hitinn hækkar eftir því sem neðar dregur og er oft talað um hitastigul í því sambandi. Hitastigullinn vex með vaxandi dýpi og vex hann mun hraðar á háhitasvæðum en á lághitasvæðum.

Með aukinni nýtingu og þekkingu á jarðhita hefur merking orðsins þrengst. Í dag er það notað um þau fyrirbæri þegar heitt vatn og gufa kemur upp á yfirborðið á jarðhitasvæðum.

Til þess að greina á milli jarðhita og þeirrar orku sem berst upp með vatni og gufu hefur orðið til nýtt orð, jarðvarmi. Jarðvarmi er notað um orkuna sem jarðhitinn gefur. Jarðvarmi er mældur í orkueiningum, ýmist í júlum [J], þá oft með forskeytunum kíló eða mega, eða í megavattstundum [MW].

Þær forsendur sem þurfa að vera til þess að jarðhiti sé til staðar er að jarðskorpan sé nægilega heit og að í henni séu nægar sprungur og vatnsgeng jarðlög svo vatn geti runnið þar um og flutt með sér hitaorku eða varma neðan úr djúpum og heitum jarðlögum til yfirborðsins. Aðstæður þessar eru að finna í eldfjallalöndum, eins og á Íslandi, þar sem jarðskorpuflekar snertast og myndast. Jarðskjálftar eru helstu merki þess þegar jarðskorpuflekar snertast. Þegar jarðskjálftar verða losnar frá gríðarleg orka. Langflest eldgos, ef ekki öll, eiga rætur að rekja til jarðskjálfta. Í jarðskjálftunum sumarið 2000 breyttust sprungurnar á Suðurlandi. Þær annað hvort víkkuðu eða þrændust. Kom það skýrt fram í fjölmörgum borholum á svæðinu.

Á Íslandi er jarðskorpan tiltölulega heit, einfaldlega vegna þess að neðri hluti hennar er að talsverðu leyti myndaður úr kvikuinnskotum. Þessi innskot hafa ekki náð upp til yfirborðs, heldur hafa storknað á leið upp. Jarðskorpan er heitust á gos- og gliðnunarbeltinu en þar fyrirfinnast helstu jarðhitasvæði á Íslandi. Það er því ekki mikil tilviljun að jarðhiti sé mikill á helstu jarðhitasvæðum landsins.

## 2.2 Jarðhitasvæði

Við rannsóknir á jarðhita á Íslandi hafa menn skipt svæðunum í tvennt. Lághitasvæði annars vegar og háhitasvæði hins vegar.

Mörg jarðhitasvæði eru hreinustu gersemar frá náttúrunnar hendi. Má þar nefna í því sambandi Torfajökulssvæðið, svæðið við Kverkfjöll, Námafjall, Þeistareyki og Gjástykki. eru svæðin litskrúðug og þar er fallega náttúru að finna. Flest ef ekki öll eru staðsett í óbyggðum landsins og er einkar fallegt þar að líta.

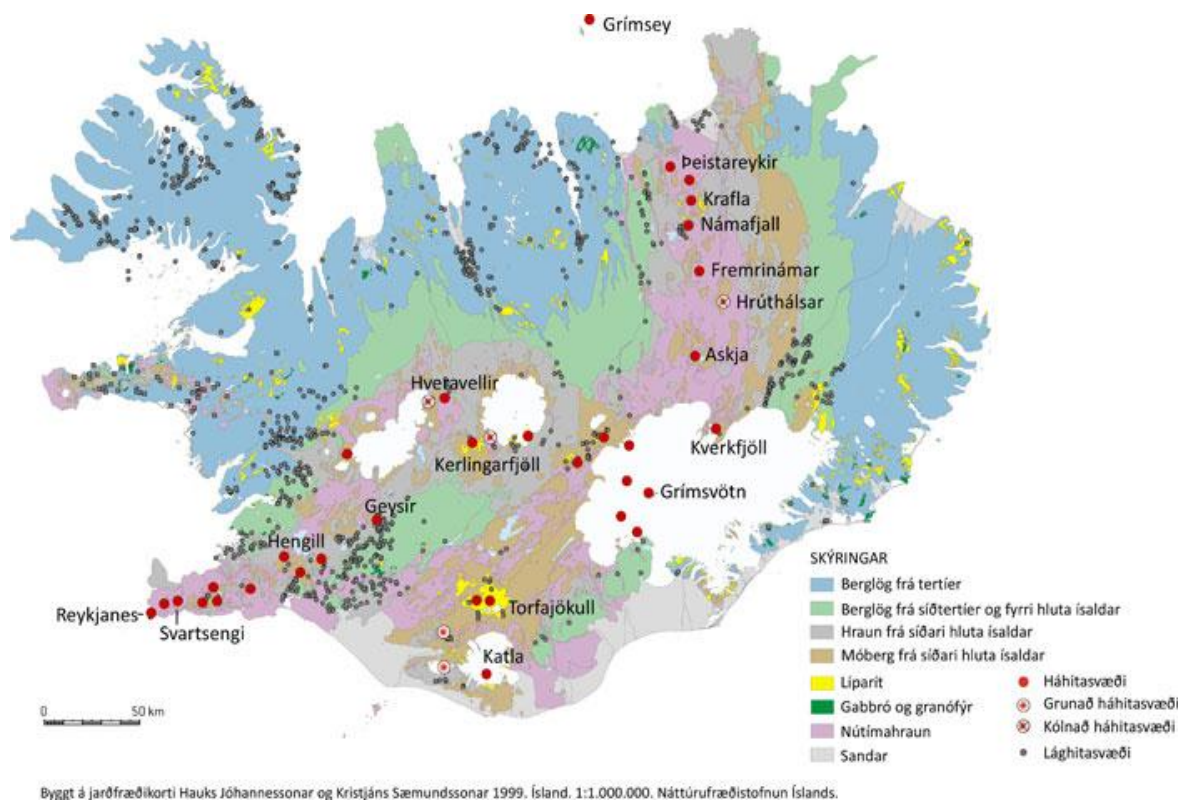
Þekktasta jarðhitasvæði Íslands er Geysissvæðið í Haukadal. Hefur erlendur sem og innlendir vísindamönnum fundist svæðið vera afar áhugavert rannsóknarefni síðustu áratugina.



Mynd 3 - Geysir í Haukadal.

Hið alíslenska nafn Geysir, hefur yfirferst yfir á fjöldamörg tungumál. Almennt er það notað á nafn á goshverum og á ensku hefur það breyst með tíð og tíma í orðið *geyser*. Þannig eru til dæmis til Geysissvæði í Kaliforníu í Bandaríkjunum og í Kamtsjatka austast í Síberíu.

Vel þekkt jarðhitasvæði eru þó nokkur erlendis. Til dæmis má nefna í því sambandi jarðhitasvæðið í Yellowstone þjóðgarðinum í Wyoming-fylki í Bandaríkjunum, en það er stærsta goshverasvæði heims. Pamukkale er jarðhitasvæði í vesturhluta Tyrklands en þar er að finna einstæða kalkútfellingastalla sem hafa myndast á löngum tíma. Að lokum skal minnst á Taupo gosbeltið á Nýja Sjálandi, þar sem til skamms tíma var einn öflugasti goshverinn í heimi. Mun hann hafa verið mun öflugri en Strokkur þegar hann var upp á sitt besta<sup>12</sup>. Einnig eru lönd eins og Indónesía, Eþíópía og Kenýa rík af jarðhitasvæðum.



Mynd 4 – Helstu jarðhitasvæðin á Íslandi<sup>11</sup>.

### 2.2.1 Lághitasvæði

Lághitasvæði á Íslandi eru 250 talsins. Skilgreiningin á lághitasvæðum er jarðhitasvæði þar sem hitinn er á bilinu 50-150°C á eins kílómetra dýpi. Lághitasvæðin eru að finna á jöðrum gosbeltisins en einnig út á landgrunninu. Raunar er hægt að finna lághitasvæði út um allt land, á þeim svæðum sem eru langt frá sjálfu gosbeltinu.

Þó er hægt að finna lághita á gosbeltinu og má nýta þau lághitasvæði til húshitunar, fiskeldis og garðyrkju. Þessi umræddu svæði eru, til að mynda, á Reykjanesskaganum og í Öxarfirði.

<sup>12</sup> ISOR. Birt með leyfi ISOR.

Lághitavatn keppir við aðra orkugjafa til húshitunar. Leit á heitu vatni til fyrrnefndra þriggja iðnaðargeira gengur út á að finna heitt vatn á sem ódýrastan hátt. Er það einfaldlega vegna þess að fjárveikir aðilar svo sem lítil sveitarfélög eða einstaklingar nýta sér lághitann. Þeir iðnaðargeirar sem um er rætt eru t.d. fiskeldi og garðyrkja. Því verður samanlagður leitar- og vinnslukostnaður vegna jarðhita að vera sem lægstur. Vegna betri tækni á jarðborum hefur ÍSOR á síðustu árum þróað nýja leitartækni til jarðhitaleitar á lághitasvæðum. Byggist þessi nýja leitartækni á leit á köldum svæðum, oft nefnt þurrsvæði. Gengur hún út á að gera fjölda viðnámsmælinga (sjá kafla 3 um jarðhitarannsóknir) eða bora margar 50-60 m djúpar ódýrar hitastigulsholur svokallaðar, á tilteknu svæði. Þannig er hægt að finna út hvar grynnt er á nýtanlegan jarðhita til húshitunar. Hitastig vökvans þarf að vera hærra en 60°C. Ef álitlegur kostur finnst sem telst vera hagkvæmur, þá er tekin ákvörðun um að bora dýpra niður með stærri bor. Þær vinnsluholur sem boraðar eru með þessari aðferð, með stærri bornum, eru nokkur hundruð metra djúpar<sup>13</sup>.

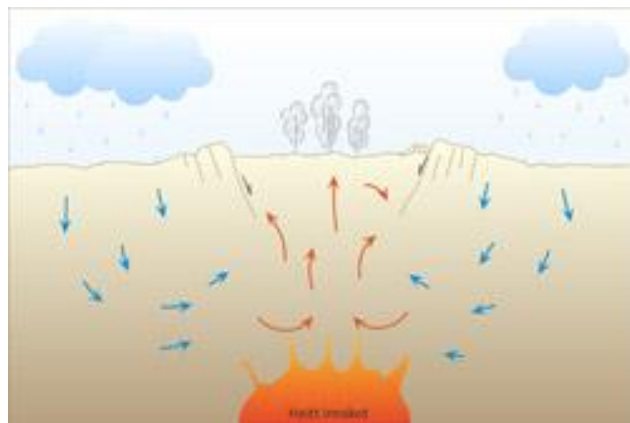
### 2.2.2 Háhitasvæði

Háhitasvæði myndast vegna heitra innskota djúpt í iðrum jarðar. Þetta eru svæði þar sem hitinn er um og yfir 200°C í efstu 1.000 metrunum. Talið er að um 20 háhitasvæði séu á Íslandi.

Uppruna allra megineldstöðva og eldstöðvakerfa á Íslandi og þar með háhitasvæða má finna út úr gos- og gliðnunarbeltinu. Kólna þar í fyllingu tímans og rofna niður af völdum jökla og vatns. Á leiðinni breytast háhitasvæðin í lághitasvæði.

Öflugustu háhitasvæðin eru einkum á þeim svæðum þar sem mesta eldvirknin

hefur verið á jarðsögulegum nútíma, þ.e.a.s. frá því að ísöld lauk fyrir rúmum 10.000 árum. Á því eru þó til nokkrar undantekningar. Þannig er sem dæmi svæðið í kringum Heklu ekki skilgreint sem háhitasvæði, þó hún sé ein öflugasta megineldstöð á landinu. Hins vegar er talið að í rótum hennar sé að finna háhitakerfi sem hefur ekki enn náð upp til yfirborðs og er dæmi um fleiri stórar, virkar megineldstöðvar. Þetta er vegna þess að háhitasvæðin, eins og við þekkjum þau, ná ekki upp til yfirborðs fyrir en tiltölulega seint á líftíma megineldstöðvanna, sérstaklega þegar öskjusig hefur orðið í þeim.



Mynd 5 – Einfölduð mynd af hringrásakerfi háhitasvæða<sup>13</sup>.

Í hinum djúpu innskotum sem nefnd voru hér á undan er þéttleiki þeirra hvað mestur í megineldstöðvum. Innskotin eru oftast í formi bergganga af ýmsum gerðum en einnig er þar að finna umfangsmeiri bergmassa sem er þá úr gabbróí, dóleríti, granófýri eða graníti.

Háhitasvæðin eru í upphafi um 1.000-1.200°C heit. Kalt grunnvatn hitnar upp í nálægð við svæðin. Vatnið léttist vegna hitans og leitar upp á við í átt til yfirborðsins. Hluti þess kólnar og leitar niður til jaðranna og hringrásakerfi myndast

<sup>13</sup> Lághitasvæði á Íslandi. Orkustofnun.

undir yfirborðinu. Þessi hringrásarkerfi eru eitt af helstu einkennum háhitasvæða, sjá mynd 5.

Á háhitasvæðum kringum Ísland er grunnvatn jarðhitakerfanna, öðru nafni djúpvatn, við suðumark. Af þessu leiðir að myndun hvera kemur til. Skiptast þeir í tvo flokka. Annars vegar svonefndir vatnshverir, þar sem djúpvatnið kemur upp á yfirborðið. Djúpvatnið er ríkt af kísilsýru og fellur hrúður út þar sem það kemur fram, oftast nokkrum tugum metra fyrir ofan sjálft grunnvatnsyfirborð umhverfisins. Hins vegar myndast svonefndir gufuhverir, þar sem djúpt er að grunnvatni jarðhitakerfanna. Þau efni sem eru í gufu- og gasfasa sjóða úr djúpvatninu og leitar því til yfirborðsins. Þessi efni blandast svo grunnvatni svæðisins og gufa upp. Þetta vatn er kallað þéttivatn. Í raun er þéttivatnið bara gufa. Það er notað til þess að efnagreina gufuna sem kemur upp úr borholunum. Þá er það leitt um þar til gerða pípu í gegnum varmaskipti þar sem gufan kælist og þéttist. Þar fær þéttivatnið nafn sitt. Á svæðum þar sem gufuhverir verða til eru heitar skellur með gufu og leirhverum. Fjölbreytni er mikil meðal þeirra, allt eftir gasinnihaldi gufunnar og því hvernig hún hittir yfirborðsvatnið.

Skýr mörk eru á milli eiginlegra gufuhvera, þar sem ekkert yfirborðsvatn er að finna og sísjóðandi vatnshvera þar sem mest er af yfirborðsvatni. Leirhverir eins og við Námaskarð við Mývatn eru þar á milli.

Eitt helsta einkenni þeirra háhitasvæða sem hafa kólnað er að þar verða til ölkeldur og kolsýrulaugar ýmist með eða án þeirra. Myndast það fyrst á jöðrum svæðanna.

Rennslið út úr háhitasvæðum kemur fram ýmist við jaðra þess eða jafnvel langt fyrir utan viðkomandi svæði, þá sem djúpvatnsblandað eða upphitað grunnvatn. Í hraunum sést stundum gufueimur sem stígur upp frá svæðinu<sup>14</sup>.

## 2.3 Umhverfisáhrif vegna vinnslu jarðhitans

Að mörgu leyti standa Íslendingar vel að vígi hvað varðar rannsóknir á umhverfismálum á jarðhita. Íslensku orkufyrirtækin hafa á undanförunum áratugum kostað og framkvæmt margs konar rannsóknir á sviði umhverfismála. Á ári hverju leggja raforkufyrirtækin umtalsverða fjármuni til ýmissa rannsókna og vinnu á þá ýmsu þætti sem hitaveitur og sérstaklega jarðvarmavirkjanir hafa áhrif á umhverfið. Landsvirkjun er enginn undantekning.

Þótt jarðhiti sé umhverfisvæn orkulind miðað við flesta aðra orkugjafa, þá hefur hann engu að síður áhrif á umhverfið. Þessi áhrif geta verið jákvæð og neikvæð. Umhverfisáhrifin eru mismikil eftir eðli jarðhitasvæðanna. Hins vegar er hægt að telja að sum þeirra umhverfisáhrifa sem talist gætu verið neikvæð, séu jákvæð í hnattrænum skilningi og þarf þá að meta meðal annars kostnað hvors um sig. Þurfa stjórnvöld að skera úr um hvað vegur þyngra.

Hér verður í stuttu máli gefið gaum að þeim neikvæðu og jákvæðu umhverfisáhrifum sem nýting og vinnsla jarðhita hefur á umhverfið.

### 2.3.1 Jákvæð umhverfisáhrif jarðhita

Vinnsla jarðhitans í formi raforku eða hitaveitu flokkast undir jákvæð umhverfisáhrif.

Stór hluti jarðhitaframkvæmda, svipaðs eðlis og annarra stórframkvæmda, eru talin hafa jákvæð áhrif á félagslegan og efnahagslegan þátt umhverfisins, þ.e. samfélagsins og nærsvæða þar sem viðkomandi virkjun er staðsett. Jarðvarmavirkjanir krefjast lítils rýmis ofanjarðar. Valda þær, í langflestum tilvikum, litlu raski og hægt

<sup>14</sup> Háhitasvæði á Íslandi. Orkustofnun. Birt með leyfi Orkustofnunar.

er að koma þeim fyrir á lítið áberandi hátt. Röskun ósnortinnar ásyndar landsvæða er því tiltölulega lítil og leggja íslensku raforkufyrirtækin mikla vinnu þegar kemur að staðsetningu virkjunar og velja þann stað þar sem fólk sér hana illa. Dæmi um þetta verður Bjarnarflagsvirkjun, sem Landsvirkjun hyggst reisa. Hún verður staðsett milli fjalla svo erfiðara er að sjá virkjunina frá þjóðveginum. Einnig verður reynt að hafa hana sem líkasta umhverfinu, þ.e. stöðvarhúsið og önnur mannvirki.

Lagning vega að virkjunarsvæðum eykur ferðamannastraum talsvert. Gott dæmi er lagning vegarins að Leirhnjúkum norðan við Kröfluvirkjun. Leiðir það til fjölbreytileika í ferðaþjónustu.

Varminn sem fæst úr affallsvatni jarðvarmavirkjana er notaður til húshitunar og í ýmsan iðnað svo sem ylrækt og fiskeldi (sjá kafla 2.4). Bláa lónið er dæmi um iðnað sem varð til vegna vinnslu jarðvarma.

Útblástur koltvíoxíðs og brennisteinsvetnis úr jarðvarmavirkjunum er mun minni en úr orkuverum kyntum með kolum. Einnig má nefna í þessu sambandi að í útblástri frá jarðvarmavirkjunum er ekkert ryk. Niðurstöður mælinga vísindamanna á brennisteinsgösum nálægt jarðvarmavirkjunum benda til að þau valdi ekki hnattrænni hlýnun sökum íslenskra loftslagsaðstæðna. Íslenskt jarðhitavatn er í flestum tilvikum efnasnautt og er því meinelítið.

### 2.3.2 Neikvæð umhverfisáhrif jarðhita

Hér verður farið yfir hin neikvæðu áhrif sem jarðvarmavirkjanir hafa á umhverfið. Í þessu sambandi má nefna útlitsbreytingar á yfirborði. Þar sem vökvanám veldur gjarnan minnkun eða leiðir jafnvel til þess að hverar og laugar, sem áður voru á svæðinu, hverfa. Hins vegar verður aukning á útstreymi gufunnar. Einnig ber að nefna að ef vegir og borholuverkið það sem sjást á yfirborðinu, svo sem lagning vega og borplanið. Hins vegar verður að nefna að jarðvarmavirkjanir teljast fremur hagstæð að þessu leyti miðað við aðra orkuvinnslu. Þetta er einfaldlega vegna þess að vinnslan fer að mestu leyti fram neðan jarðar. Aðeins sjást hin eiginlegu mannvirki fyrir sjónir manna.

Hávaðamengun af jarðvarmavirkjunum er talsverð. Mestur hávaði kemur frá borholum og frá stöðvarhúsi jarðvarmavirkjana. Nefna má í þessu sambandi að hávaði í 10 m fjarlægð frá óheftri, blásandi borholu er sambærilegur hávaði og frá stórri þotu í flugtaki.

Landsig, massabreytingar og breytingar á grunnvatninu eru jarðeðlislegar breytingar umhverfisins. Landssig á jarðhitasvæðum verður vegna vökvanáms. Slíkt er vel þekkt á jarðhitasvæðum á Íslandi. Fari svo að vinnslan verði meiri en náttúrulegt flæði vatns inn í jarðhitakerfið leiðir það til breytinga á grunnvatninu. Til þess að halda vökvanámi og efnamengun í lágmarki er affallsvatni oftast dælt niður í jarðhitakerfin. Þessar jarðeðlislegu breytingar geta leitt til þess að örverulíf í hverum breytist en einnig lífríki, gróður og dýralíf. Einnig verða þessar breytingar vegna efnalosunar jarðvarmavirkjana.

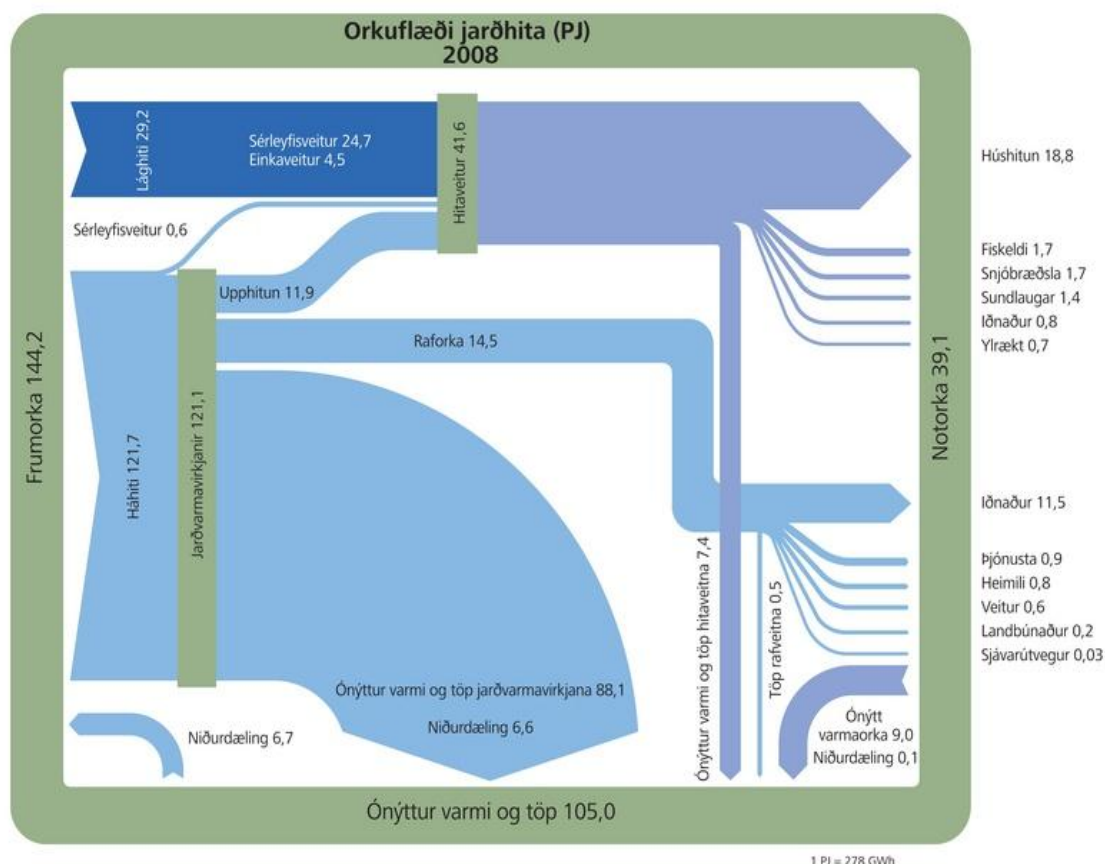
Við jarðhitavinnslu verður efnalosun í vatni og lofti. Í jarðhitagufu geta ýmis gös farið í andrúmsloftið og í grunnvatnið sem notað er til drykkjar. Gösin sem um ræðir eru koltvíoxíð ( $\text{CO}_2$ ), brennisteinsvetni ( $\text{H}_2\text{S}$ ), vetni ( $\text{H}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), nitur ( $\text{N}_2$ ) og argon (Ar). Í affallsvatninu frá jarðvarmavirkjunum er vatnið með hærri styrk uppleystra efna en í drykkjarhæfu vatni. Fjöldmörg önnur efni eru í þessum affallsvökva en í mun minna mæli en gösin. Þessi efni eru arsen (As), bór (B), flúor (F), kadmíum (Cd) og blý (Pb)<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannson, Orkuþing 2001.



## 2.4 Nýting jarðvarmans

Árið 2009 nam afl allra jarðvarmavirkjanna samtals 575 MW<sub>e</sub> en afl allra vatnsaflsvirkjanna var 1.883 MW<sub>e</sub>. Hér verður notkun jarðvarmans gerð skil. Notkun hans er fjölbreytt. Skiptist hún helst niður í húshitun, snjóbræðslu, sundlaugar, raforkuframleiðslu, ylraekt, ýmsan iðnað og fiskeldi<sup>16</sup>. Mynd 6 sýnir orkuflæði jarðhita á Íslandi árið 2008. Talið er að rafafli háhitasvæða til 50 ára sé metið um 4.300 MW<sub>e</sub>. Í kafla 4 verða gerð frekari skil á orkugetu á þeim jarðvarmavirkjunum sem eru í rekstri í dag. Mynd 7 gefur að líta hlutfall ýmissa orkutegunda sem er nýttur á Íslandi.



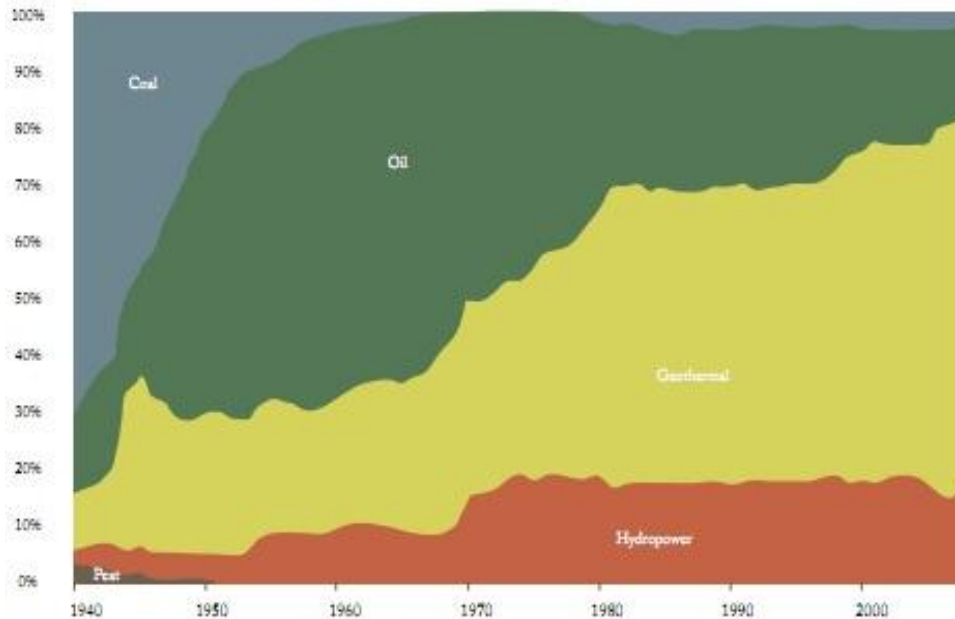
Mynd 6 – Myndin sýnir flæði jarðhita og skiptingu hans í ýmsa geira árið 2008

### Jarðhiti nýttur til snjóbræðslu

Notkun affallsvatns til snjóbræðslu eykur nýtingu heits vatns til muna. Töluverður varmi er eftir í vatninu eftir húshitun. Algengt er að hitastig affallsvatns sé í kringum 35°C og þar sem meira er af ofankomu og frost eru meiri yfir vetrinn. Krefst það svæði meiri varma en önnur. Meira vatn þarf fyrir minni fleti og er ekki sjálfgefið að alls staðar séu forsendur fyrir snjóbræðslu vegna mikillar orkuþarfar sem er til staðar. Yfir sumartímenn dregur jarðvegur einhvern hluta orku affallsvatnsins til sín og byggir þannig upp varmaforða fyrir vetrinn. Nýtingin er þó alls ekki mikil<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Orkustofnun. Birt með leyfi Orkustofnunar.

<sup>17</sup> Snjóbræðsla. Orkustofnun.



Mynd 7 – Nettó orkunotkun á Íslandi frá árinu 1940 til 2008.

### Jarðhiti nýttur til ylræktar

Árið 1878 voru gerðar árangursríkar tilraunir með kartöflurækt í upphituðum jarðvegi. Þetta var á Hveravöllum í Reykjavhverfi í Suður Þingeyjarsýslu. Með tímanum varð til umfangsmikil kartöflu- og grænmetisræktun á svæðinu og er enn þann dag í dag umfangsmikill rekstur þar. Fyrsta gróðurhúsið þar sem jarðhiti var notaður til kyndingar á Íslandi leit dagsins ljós árið 1924. Ekki er vitað hvar það var á landinu. Árið 2008 var heildarflatarmálið gróðurhúsa á Íslandi, sem hituð voru með jarðhita tæpir 200 þúsund fermetrar. Rúmur helmingurinn er á Suðurlandsundirlendinu; 33% í uppsveitum Árnessýslu, 20% við Flúðir og 15% í Hveragerði<sup>18</sup>.

### Jarðhiti nýttur í fiskeldi

Jarðhitavatn má nota í eldi allra helstu fiskitegunda á þroskaskeiðum. Hins vegar er á seinni æviskeiðum fisksins hægt að nýta jarðhitann við strandeldisstöðvar en þær eru notaðar einna helst í bleikjueldisstöðvum og á þetta einnig við um lax að einhverju marki. Með því að hækka hitastig á hrognum, seiðum og matfiski eykst vaxtarhraði fisksins. Með notkun jarðhitavatns er hægt að stytta framleiðslutíma og auka framleiðni verksmiðjunnar. Mikilvægi jarðhitans í fiskeldi er þó mismikið eftir tegundum. Í bleikjueldi er jarðhiti nýttur bæði við seiðaframleiðslu og áframeldi í landkvíum. Lax- og þorskelldi byggja að mestu leyti á eldi sjókvía og þar liggur mikilvægi jarðhitans fyrst og fremst í seiðaframleiðslu. Á Íslandi eru samtals 25 fiskeldisstöðvar og nýta þær allar jarðhita við framleiðsluna. Fyrirtækið Matorka er dæmi um íslenskt fyrirtæki sem nýtir jarðhitann til fiskeldis<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> Ylrækt. Orkustofnun.

<sup>19</sup> Fiskeldi. Orkustofnun.

### Jarðhiti nýttur til raforkunotkunar

Notkun jarðhitans til framleiðslu raforku hefur vaxið töluvert síðustu árin. Nýtni flestra íslenskra jarðvarmavirkjana er mjög góð og liggur á bilinu 10-15%. Á Íslandi eru starfræktar 7 jarðvarmavirkjanir. Framleiða þær samtals 575 MW<sub>e</sub> í rafafli og 453 MW<sub>th</sub> í varmaafli. Árið 2008 nam raforkuframleiðsla jarðvarmavirkjana 4.038 GWh<sup>20</sup>.

### Jarðhiti nýttur til iðnaðar

Nýting jarðhitans til iðnaðar á Íslandi, mynd 8, er fyrst og fremst til þurrkunar á þörungum, fiski, steypu, timbri eða öðru en einnig má nefna ullarþvott og brauðbakstur við Bjarnarflag. Í dag er Þörungarverksmiðjan á Reykhólum stærsta iðnaðarfyrirtækið á Íslandi sem nýtir jarðhita í sína framleiðslu. Verksmiðjan nýtir 112°C heitt vatn úr þremur borholum nálægt henni. Jarðhiti er þó einnig nýttur til þurrkunar á fiskhausum og öðrum hlutum fisksins, en sú vara er að mestum hluta seld erlendis. Áður fyrr fór verkunin mest fram utandyra en hefur færst í auknum mæli inn í upphitað rými til skjóls frá veðrinu. Leiðir það til hraðari þurrkunar sem verður til þess að gæði vörunnar verða meiri.



Mynd 8 – Staðsetning jarðvarmavirkjana á Íslandi 2008<sup>20</sup>.

Jarðhiti er einnig notaður við annars konar

iðnaðarstarfssemi t.d. til þurrkunar á steypueiningum og límtrjám. Einnig var jarðhiti nýttur í Kísiliðjuna við Mývatn við þurrkun á kísilþörungum. Verksmiðjan var lögð niður árið 2004. Hún hafði þá verið starfandi allt frá árinu 1966. Verksmiðjan nýtti sér varmaorku og raforku frá Bjarnarflagsvirkjun til framleiðslunnar. Má segja að Kísiliðjan við Mývatn batt (að binda) samfélagið á nærliggjandi svæði saman enda var fyrirtækið lang stærsti vinnustaður sveitarinnar og lagði mikið fjármagn til hennar í formi skatts og styrkja<sup>21</sup>.

### Jarðhiti til húshitunar

Hér á landi fer langmestur hluti jarðhitans í húshitun. Jarðhitanoftkun til húshitunar sem og til annarra húsnæðis jókst gríðarlega um og eftir miðja síðustu öld. Notkunin jókst um 376% á árabílinu frá 1970-2008. Stærsti hluti varmans fer til upphitunar húsnæðis, eða um 82,4%. Einnig fer nokkur hluti hans í not við matseld, böð og þvotta<sup>22</sup>.

<sup>20</sup> Raforkunotkun. Orkustofnun.

<sup>21</sup> Iðnaður. Orkustofnun. Birt með leyfi Orkustofnunar.

<sup>22</sup> Húshitun. Orkustofnun.

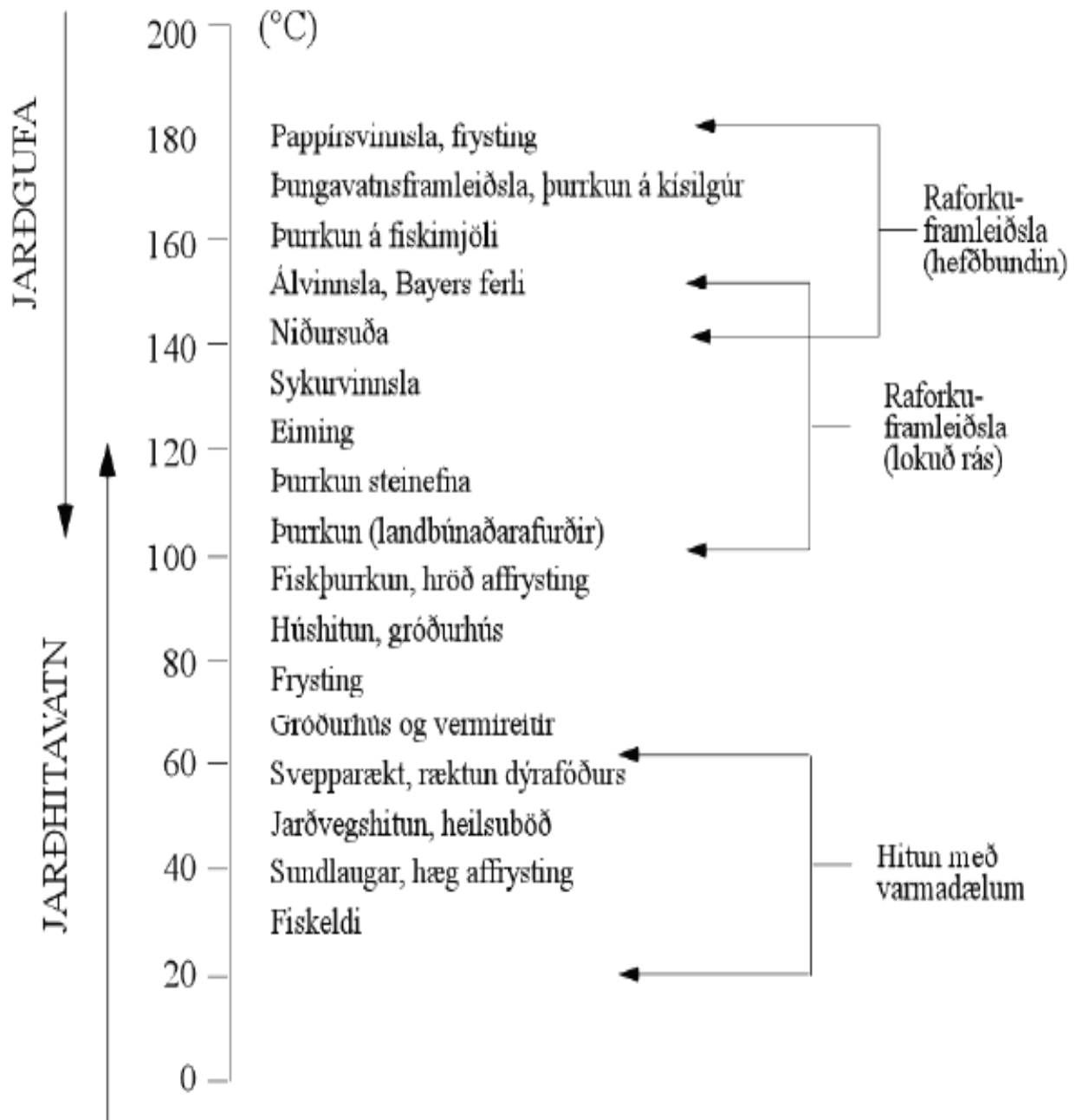
### **Jarðhiti nýttur hjá sundlaugum**

Eins og kemur fram í kafla 1.4 hér að framan voru á árinu 2009 starfræktar samtals 196 sundlaugar, þar af 163 sundstaðir á landinu öllu, þar sem sundstaður skilgreinist sem sá staður þar sem er heitt vatn en hefur ekki klefa og ekki þarf að borga gjald fyrir. Jarðhiti er ríkjandi orkugjafi þegar kemur að sundlaugum<sup>23</sup>.

Á línuriti Baldurs Línalds mynd 9 er hægt að sjá hvers konar iðnaður er við hvaða hitastig. Myndin skiptist í tvennt annars vegar í jarðhitavatn og svo í jarðgufu. Fiskeldi þarf lágan hita í sinni framleiðslu en þurrkun á kísilgúr (Kísiliðjan) og pappírsvinnsla þurfa hærri hita í sinni framleiðslu.

---

<sup>23</sup> Sundlaugar. Orkustofnun.



Mynd 9 – Línurit Baldurs Líndals

### 3 Jarðhitarannsóknir

Markmið hagnýtra jarðhitarannsókna er að rannsaka með ýmsum aðferðum þau svæði þar sem hagkvæmt er að nýta þá mikilvægu auðlind sem jarðhitinn er. Hitaveitur og jarðvarmavirkjanir eru mjög mikil og dýr mannvirki og því krefst öll undirbúnings- og hönnunarvinna mikils tíma og þar eru jarðhitarannsóknir engin undantekning. Borun eftir heitu vatni og gufu er nokkuð áhættusamt verk að því leyti að erfitt er að meta árangurinn fyrir en að borun lokinni. Einnig er borun borhola mjög dýr framkvæmd. Þess vegna er mikilvægt að ákvarðanir um boranir og tilhögun mannvirkja séu byggðar á vönduðum forrannsóknum. Vandaðar forrannsóknir minnka áhættuna við borun og geta lækkað kostnaðinn verulega við vatnsöflun og rekstur hitaveitna og jarðvarmavirkjanna.

Finna þarf þann kost sem er bestur hverju sinni. Hvernig vinna má svæðið, þannig að sú takmarkaða orkulind, sem jarðhitinn er, verði hvorki van- né ofnýttur.

Við vinnslu jarðhitarannsókna er þörf á jarð-, jarðefna- og jarðeðlisfræðingum. Verksvið jarðfræðinga er aðallega við rannsóknir á jarðhitasvæðum. Helst ber að nefna gerð ýmissa korta. Þessi kort sýna m.a. bergbygginguna, líklegustu rennslisleiðir heita vatnsins og grunnvatns. Þau sýna enn fremur hitastigið og rennslíð á vatninu. Einnig er athugað hvort einhver brot séu undir í berggrunninum en það getur haft stór áhrif á aðstreymi og uppstreymi heita vatnsins.

Jarðefnafræðingar rannsaka efnainnihald heita vatnsins við leit, borun og nýtingu þess. Aðferðirnar sem eru notaðar eru frekar ódýrar og veita þær ýmsar nauðsynlegar upplýsingar sem ekki er hægt að afla með öðrum hætti. Í forrannsóknum er efnafræðin notuð í fernum tilgangi. Í fyrsta lagi er hægt að nota efnafræðina til að meta hitastig vatnsins djúpt í jarðhitakerfinu út frá efnainnihaldi þess. Þá er efnajafnvægi og styrkur uppleystra efna háður hitastigi. Í öðru lagi er efnainnihald jarðhitavatns notað til að afmarka og greina í sundur mismunandi jarðhitakerfi. Þau geta legið nálægt hvort öðru eða jafnvel á sama stað en á mismunandi dýpi og ræðst það einkum af tvennu, mismunandi hitastigs og mismunandi bergtegunda í jarðhitakerfunum. Í þriðja lagi er hægt, með hjálp efnafræðinnar, að kanna uppruna heita vatnsins, rennslisleiðir þess og athuga hvort það hefur blandast köldu grunnvatni í uppstreymisrásum. Í fjórða lagi er hægt að meta eiginleika vatnsins með tilliti til fyrirhugaðrar nýtingar og um leið meta hættu á tæringu og útfellingum og jafnvel umhverfisáhrif jarðvarmavirkjanna.

Í jarðeðlisfræðilega hluta rannsókna eru jarðeðlisfræðingar að beita aðferðum eðlisfræðinnar til þess að mæla ýmsar stærðir sem lýsa eiginleikum jarðlaga á jarðhitasvæðum. Hægt er að skipta rannsóknum upp í tvo flokka, beinar og óbeinar aðferðir. Beinar aðferðir eru rannsóknir er tengjast grundvallareiginleikum jarðhitakerfisins eins og t.d. hitastigi í jarðvegi. Í óbeinum aðferðum, sem oftar eru notaðar, er aflað ýmissa upplýsinga um jarðlögin eins og til dæmis segulmögnum, rafleiðni eða eðlisþyngd og síðan er reynt að tengja þær grunneiginleikum jarðhitakerfisins. Þær rannsóknaraðferðir sem hafa gefið einna besta raun í könnun jarðhitasvæða eru eðlisfræðilegar stærðir svo sem hitastig, rafleiðni eða eðlisviðnám og segulmögnum. Viðnáms-, segul- og hitamælingar í jörðu hafa skilað bestum árangri við jarðhitaleit hér á landi. Verður þeim gerð skil hér<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Jarðhitarannsóknir – Yfirlit um eðli jarðhitasvæða, jarðhitaleit og vinnslu jarðvarma.

### Viðnámsmælingar

Viðnámsmælingar hafa gefið mjög góða raun við jarðhitarannsóknir hér á landi sl. áratugi. Með viðnámsmælingum er mælt eðlisviðnám berglaga; hversu vel eða illa jarðlög leiða rafstraum. Það sem einna helst ræður eðlisviðnámi jarðlaga, er vatnsinnihald í glufum í berginu, selta vatnsins; magn uppleystra efna, hitastigi og gerð bergsins; lögun og gerð sprungna og ummyndun. Jarðhitakerfi einkennast af brotnu og vatnsgengu bergi, herra hitastigi en er í umhverfinu og oft meiri seltu vatnsins. Öll þessi atriði auka rafleiðnina og þess vegna eru flest jarðhitakerfi á Íslandi með lágt eðlisviðnám. Við framkvæmd viðnámsmælinga er rafstraumur sendur niður í jarðlögin gegnum tvö skaut en rafskautin eru sett um hálfan metra niður í jörðina. Rafleiðnina er hægt að reikna út frá mældu stærðunum. Þetta er gert með því að breyta afstöðu skautanna innbyrðis á kerfisbundinn hátt og mæla straum og spennu í hvert skipti. Með þessu er hægt að afla upplýsinga um eðlisviðnám jarðlaga á mismunandi dýpi. Ekki verður farið ítarlega í fræðin bakvið viðnámsmælingar hér. Á Íslandi hafa verið notaðar tvær gerðir mælinga, sem falla undir viðnámsmælingar. Þær nefnast straumlykkjumælingar (e. Transient electro magnetic), sem fyrst var notast við og eftir 1980, og straumskautsmælingar<sup>24</sup>.

### Segulmælingar

Á Íslandi myndast svokallað hraunlaga þegar bráðin kvika storknar á yfirborði og þegar kvikan ryðst inn í jarðskorpuna myndast innskot. Kvika sem storknar í næstum lóðréttri sprungu myndar svokallaðan berggang. Bráðin kvika er ekki segulmögnuð en þegar hún storknar myndast varanleg segulmögnun í storkuberginu sem hefur sömu stefnu og segulsvið jarðar hafði þegar kvikan storknaði. Í segulmælingum er mældur styrkur og stefna segulmögnunar í bergi þannig að unnt er að nota þessar mælingar til þess að greina í sundur jarðmyndanir. Þetta nýtist vel til þess að kortleggja ganga, misgengi og hraunbrúnir sem huldar eru lausum yfirborðslögum. Á lágheitsvæðum stígur heita vatnið upp til yfirborðsins meðfram þessum hraungöngum. Við framkvæmd þessara mælinga er oftast notast við segulmæla á jörðu niðri. Þá er gengið í beinni línu og mælingar teknar á 5-10 m fresti. Niðurstöður segulmælinga eru teiknaðar á kort og sýna segulfrávik á svipaðan hátt og hæðarlínur á landakorti<sup>24</sup>.

### Hitastig í jarðvegi

Hitastig er sú eðlisfræðilega stærð sem tengist jarðhitakerfunum náíð. Til þess að kanna útbreiðslu jarðhitasvæðis og legu helstu uppstreymisrása jarðhitavatnsins má mæla hitastig í jarðvegi á u.þ.b. hálfm metra dýpi. Þessi gerð mælinga er fljótleg og einföld og gefur mikilvægar upplýsingar um megin uppstreymi jarðhitavatns upp úr berggrunninum<sup>24</sup>.

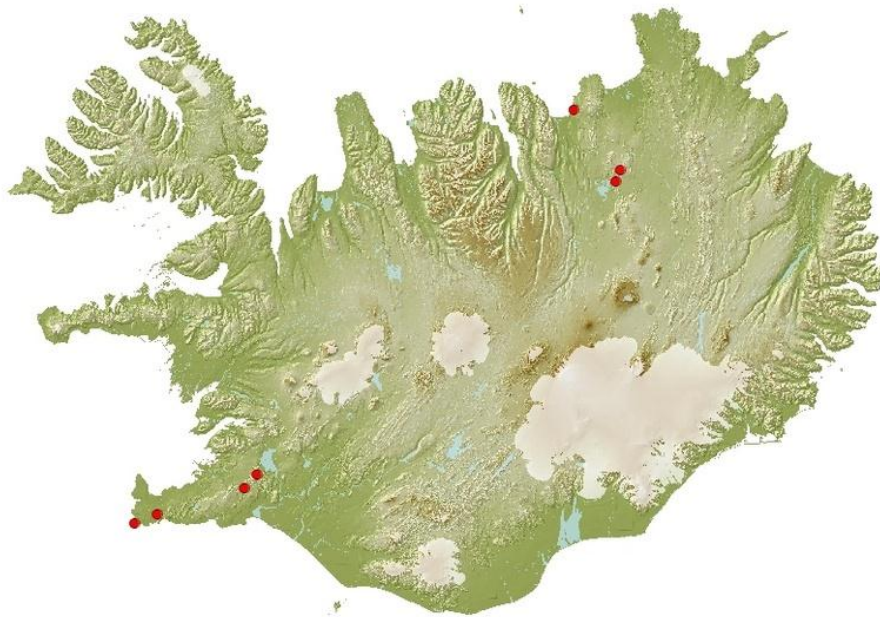
## 4 Jarðvarmavirkjanir á Íslandi og saga þeirra

Í dag reka fjögur raforkufyrirtæki jarðvarmavirkjanir. Starfsemi Orkuveitu Húsavíkur er lang minnst. Fyrirtækið hefur aðeins eina jarðvarmavirkjun í rekstri. Hún er mjög lítil og framleiðir aðeins 2 MW<sub>e</sub>. Virkjunin er staðsett rétt fyrir utan Húsavík. Hefur fyrirtækið unnið að þróun á aðferð sem kölluð hefur verið Kalina aðferðin en hún byggist á nýrri tækni (sjá kafla 7.3).

Þau fyrirtæki sem reka stærri jarðvarmaorkuver eru Landsvirkjun, Orkuveita Reykjavíkur og HS Orka sem áður hét Hitaveita Suðurnesja hf.

Orkuveita Reykjavíkur varð til árið 1999 við sameiningu Hitaveitu Reykjavíkur annars vegar og Rafmagnsveitu Reykjavíkur hins vegar. Megin hlutverk fyrirtækisins er að afla orku í formi varma og rafmagns til íbúa höfuðborgarsvæðisins. Orkuveita Reykjavíkur er stærsta fyrirtækið sem framleiðir raforku úr jarðvarma. Framleiðir fyrirtækið, um mitt ár 2011, samtals 333 MW<sub>e</sub> af raforku og allt á svæði í kringum Hengilinn<sup>25</sup>.

HS Orka, áður Hitaveita Suðurnesja, var stofnuð nokkuð áður, en bæði þessi fyrirtæki eiga rætur að rekja til áraanna þegar fyrst voru lagðar hitaveitur til húsa. Orkuveita Reykjavíkur rekur tvær jarðvarmavirkjanir, Nesjavallavirkjun og Hellisheiðarvirkjun. HS Orka rekur einnig tvær virkjanir en þær heita Reykjanesvirkjun og Svartsengi. Skiptist síðarnefnda virkjunin niður í 6 virkjanir<sup>26</sup>.



Mynd 10 – Staðsetning jarðvarmavirkjanna árið 2008.

- *Nesjavallavirkjun* er staðsett vestsuðvestur af Þingvallavatni og framleiðir hún nú 120 MW<sub>e</sub> af raforku og 300 MW<sub>th</sub> varmaorku í formi heits vatns. Raforkan sem virkjunin framleiðir er seld til orkufreks iðnaðar en einnig til íbúa á höfuðborgarsvæðinu. Varmaorkan er nýtt til

<sup>25</sup> Orkustofnun. Vefur Orkustofnunar.

<sup>26</sup> HS Orka hf. Vefur HS Orku hf.



húshitunar og til sundlauga en einnig er hún notuð við framleiðslu á grænmeti í gróðurhúsum á Suðurlandi. Framkvæmdir hófust 1987, varmastöðin hóf rekstur árið 1990 en raforkuverið hóf framleiðslu 1998<sup>27</sup>.

- *Hellisheiðarvirkjun* er staðsett við rætur Hengils. Framkvæmdir á Hellisheiðarvirkjun hófust í mars 2005. Rekstur raforkuhluta virkjunarinnar hófst í 4 skrefum. Jókst raforkuframleiðsla virkjunarinnar úr því að vera í upphafi 90 MW<sub>e</sub> árið 2006 í það að vera um 300 MW<sub>e</sub> árið 2011. Framleiðsluhluti hitavatns hófst lok árs 2010 og er framleiðslan 133 MW<sub>th</sub> af varmaorku. Áætlað er að heildar framleiðslan á varmaorku verði 400 MW<sub>th</sub><sup>28</sup>.
- *Reykjanesvirkjun* er virkjun sem framleiðir einungis raforku. Samanstendur virkjunin af tveimur túrbínnum sem geta framleitt um 100 MW raforku. Framkvæmdir við virkjunina hófust um mitt ár 2004 og tæpum 2 árum seinna hóf virkjunin rekstur. Yfirgripsmiklar rannsóknir voru þó gerðar allt frá 1998 áður en framkvæmdir hófust<sup>29</sup>.
- *Svartsengi* er staðsett fyrir austan Grindarvíkurveg. Nafn virkjunarinnar er dregið af áningarstað hestamanna til forna. Virkjunin er uppbyggð af 6 minni jarðvarmavirkjunum. Boranir á svæðinu hófust síðla árs 1971. Framkvæmdir á fyrsta áfanga virkjunarinnar (*orkuver I*) voru á árabílinu 1977-1979. Strax í byrjun fór að myndast stórt affallslón, þar sem í dag er Bláa lónið. Fyrsti hlutinn var notaður til hitaveitu. Síðasti áfangi virkjunarinnar (*orkuver VI*) var byggt á árunum 2006-2008. Í dag er framleiðslugeta virkjunarinnar samtals 75 MW<sub>e</sub> af raforku og 150 MW<sub>th</sub> af varmaorku<sup>30</sup>.

Tafla 1 sýnir samanburð á afli og raforkuvinnslu raforkuvera sem eru í notkun í dag.

Jarðvarmavirkjun	Uppsett rafafli [MW <sub>e</sub> ]
Húsavík	2
Bjarnarflag	3,2
Krafla	60
Svartsengi	75
Reykjanes	100
Nesjavellir	120
Hellisheiði	300

Tafla 1: Uppsett rafafli jarðvarmavirkjanna á Íslandi.<sup>31</sup>

<sup>27</sup> Orkuveita Reykjavíkur. Vefur OR.

<sup>28</sup> Orkuveita Reykjavíkur. Vefur OR.

<sup>29</sup> HS Orka hf. Vefur HS Orku hf.

<sup>30</sup> HS Orka hf. Vefur HS Orku hf.

<sup>31</sup> Virðisauki í jarðvarma – Íslenski jarðvarmaklasinn: Vegferð og vegvísir.

## 4.1 Saga Kröfluvirkjunar

Í þessum kafla verður sögu Kröfluvirkjunar gerð skil.

Kröfluvirkjun er í dag eina jarðvarmavirkjunin í eigu Landsvirkjunar ásamt Bjarnarflagsvirkjun. Hins vegar verður breyting þar á, þar sem Landsvirkjun hefur í hyggju að reisa 2 aðrar jarðvarmavirkjanir, annars vegar á Þeistareykjum og hins vegar í Bjarnarflagi. Að auki hefur Landsvirkjun verið að rannsaka þann kost að stækka virkjunina við Kröflu.

Samþætta á rekstur þeirra virkjana sem Landsvirkjun hefur í rekstri á Mývatnssvæðinu, það er Laxárvirkjun og Kröfluvirkjun. Taka þær breytingar gildi þann 1. október næstkomandi. Gert er ráð fyrir að nýju virkjanirnar, þ.e. Bjarnarflagsvirkjun og stækkuð Krafla muni tilheyra hlutar Mývatnssvæðisins.

Eftir að skipulagsbreyting tekur gildi verða á Mývatnssvæðinu samtals 24 starfsmenn í 21,25 stöðugildum. Á hvorri vakt verða þrjú vaktmenn á vakt og einn á bakvakt. Starfsmenn koma úr ýmsum áttum en flestir eru þó iðngreinamenntaðir; svo sem úr tré- og rennismíði, raf- og vélvirkar en einnig raffræðingar og einn verkfræðingur.

Yfir sumarið tvöfaldast starfsmannafjöldi svæðisins. Þá eru ráðnir krakkar sem lokið hafa grunnskóla, nemendur við verk- og menntaskóla en einnig stúdentar úr háskólum við ýmis störf sem tengjast virkjuninni.

Stöðvarstjóri Mývatnssvæðisins er Steinn Ágúst Steinsson. Hóf hann störf hjá Landsvirkjun um mitt ár 2009<sup>32</sup>. Landsvirkjun keypti Kröfluvirkjun af ríkinu árið 1986.

### 4.1.1 Raforkuskortur og harðar deilur á Norður- og Norðausturlandi

Um miðja 20. öld fór að bera á raforkuskorti á Norðurlandi. Óeðlilegt spennufall í dreifikerfinu tíðkaðist sífellt oftar. Datt kerfið út á álagstímum og stóð hvert stopp lengi. Talsverð röskun og óþægindi hlutust af þessu og var raforkuskorturinn að mati forystumanna svæðisins farinn að standa eðlilegri atvinnuþróun á svæðinu fyrir þrífum. Á þessum tíma voru 5 mjög litlar vatnsaflsvirkjanir starfandi á svæðinu. Þeirra stærst var Laxárvirkjun sem framleiddi þá um 12,6 MW<sub>e</sub> á ári sem var um 72% af uppsettu afli svæðisins. Fyrsta jarðvarmavirkjun landsins var í tilraunarekstri<sup>33</sup>. Bjarnarflagsvirkjun heitir hún og var reist á árunum 1967-1968. Framleiddi hún 3,2 MW<sub>e</sub> af raforku.

Ýmsar fyrirætlanir voru uppi til þess að auka aflgetu svæðisins. Helst ber að nefna í því samhengi stækkun Laxárvirkjunar upp í 40 MW<sub>e</sub> árið 1973 en það átti að gerast með því að hækka stíflu virkjunarinnar. Fékkst ekki góður hljómgrunnur meðal íbúa svæðisins. Mynduðust miklar deilur í fjölmiðlum milli hagsmunaaðila. Var sú deila kölluð Laxárdeilan. Deilan lauk með því að mikil skemmdarverk voru unninn á stíflunni í útfalli Laxár við Mývatn og á vinnuvélum framkvæmdaraðila. Varð það til þess að hætt var við verkið. Eftir þetta var áformað að aflgeta virkjunarinnar myndi aukast um aðeins helming í 20,5 MW<sub>e</sub>. Eftir að Laxárvirkjun hóf rekstur, eftir endurbæturnar, var gripið til byggingar dísildrifinna rafstöðva og gerðar voru ýmsar úrbætur á dreifikerfi svæðisins. Bætti það ástandið en reyndist ekki vera nóg. Í dag framleiðir Laxárvirkjun 27,5 MW<sub>e</sub> með ýmsum tækninýjungum og endurbótum. Eftir að Laxárvirkjun var stækkuð í 20,5 MW<sub>e</sub>, hófust möguleikar á því að virkja vatnsafl á svæðinu. Þessi vinna sýndi að rannsóknir voru ekki nægjanlega langt komnar til þess

<sup>32</sup> Steinn Ágúst Steinsson, samtal.

<sup>33</sup> bls. ???, síða 441.

að hægt væri að staðsetja vatnsaflsvirkjun sem hæfði áætlaðri orkuþörf svæðisins innan sex ára tímamarka. Hins vegar voru til mjög ítarlegar rannsóknir á háhitasvæðum á svæðinu. Þessar rannsóknir voru unnar á árunum 1960-1972 af Orkustofnun.

#### 4.1.2 Undirbúnings- og framkvæmdartími

Á árunum 1971-1973 gerði Orkustofnun forkönnun á hagkvæmni þess að byggja jarðvarmavirkjun á Norðausturlandi. Niðurstöður þeirrar vinnu sýndu að jarðvarmavirkjun staðsett í Kröflu eða við Námafjall, sem framleiddi 55-60 MW<sub>e</sub> af raforku, væri hagkvæmur kostur. Kostirnir sem Orkustofnun taldi vera besta voru tveir. Annars vegar við Bjarnarflag og hins vegar við Kröflu. Á endanum var Kröflusvæðið valið þar sem það var talið stærra. Einnig vegna þess að talið var ólíklegt að virkjun þar myndi valda umhverfisspjöllum við Mývatn.

Lög um jarðvarmavirkjun við Kröflu við Mývatn voru afgreidd frá Alþingi 4. apríl 1974. Í framhaldi af því var stofnuð nefnd af þáverandi iðnaðarráðherra Magnúsi Kjartanssyni. Fékk nefndin nafnið Kröflunefnd. Henni var falin vinna við hönnun og byggingu virkjunarinnar ásamt vali á ýmsum búnaði fyrir hana og kaupum á honum. Orkustofnun sá um að undirbúa mannvirki til vinnslu jarðhita fyrir virkjun í Kröflu.

Hönnunarsamningur við Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen hf. og bandaríska ráðgjafafyrirtækisins Roger Engineering Co. Inc. var undirritaður síðla árs 1974.

Á árabílinu frá lok árs 1975 til 1976 voru gerðir ýmsir samningar við byggingaverktaka, rafverktaka og verktaka við málsmíði, uppsetningu vélbúnaðar og fleira. Snemma árs 1975 var skrifað undir samning við Mitsubishi Heavy Industries Ltd í Japan um kaup á tveimur 30 MW túrbínnum og öðrum tilheyrandi búnaði.

Öll öflun gufu frá borholum var í höndum Jarðhitadeildar Orkustofnunar, nú ISOR. Boraðar voru tvær holur sem hver um sig voru 1.000 m á dýpt. Borunin á þessum tveimur holum var lokið síðla árs 1974. Í júní 1975 hófst borun á vinnsluholunum. Sú dýpsta var um 1.720 m djúp. Sagt er að þegar menn biðu eftir því að láta holuna blása voru þeir menn mjög spenntir hvort gufan kæmi af miklum krafti upp eða ekki vegna þess að sú hola hafði mikið að segja um framhaldið um vinnslu á svæðinu<sup>34</sup>. Alls voru boraðar 21 vinnsluhola með mjög misjöfnum árangri allt til ársins 1985.

Um mitt ár 1975 hófust framkvæmdir við byggingu sjálfs stöðvarhússins og lagningu vegar að húsinu frá þjóðveginum. Frágangur á fyrri vélasamstæðunni var unnin; aflvélar, aflspennar, dælur, eimsvalar, kæliturnar og öðrum þungum búnaði var komið fyrir á sínum stað. Í upphafi var aðeins önnur vélasamstæðan, sem fyrirhuguð var, sett upp, en þó voru báðir aflspennarnir, kæliturnar og búnaður því tengdu settur upp. Endanlegur frágangur á seinni vélasamstæðunni var ekki settur upp fyrir en í september 1977.

Framkvæmdir við rakaskilju og skiljustöð, þrýstistýringu og lagningu á gufulögnum að stöðvarhúsi, hófust um mitt sumar 1976 og lauk framkvæmdum í lok sama árs. Í framhaldi af því hófust framkvæmdir við holutoppsbúnað, lagningu safnæða og tengingu þeirra við skiljustöð. Upphleyting og ýmsar prófanir voru gerðar á fimm holum sem tengdar höfðu verið í framhaldinu.

Í fimmta kafla verður farið gaumgæfilega í búnað jarðvarmavirkjanna og ýmis búnaður skilgreindur.

<sup>34</sup> Auður úr iðrum jarðar – Saga hitaveitna og jarðhitanytingar, bls. 442.

### 4.1.3 Gangsetning

Fyrstu starfsmenn virkjunarinnar voru ráðnir í tveimur hollum. Fyrsta holtið var ráðið árið 1976 og níu til viðbótar voru ráðnir sumarið ári seinna. Voru allir starfsmenn með góða þjálfun að baki. Kröfluvirkjun var svo tekin í notkun þann 21. febrúar 1978 með pompi prakt. Þá var vélasamstæða sem framleiddi 10 MW<sub>e</sub> af raforku gangsett<sup>35</sup>.



Mynd 11 – Kröflueldarnir var tilkomumikil sjón.

### 4.1.4 Kröflueldar

Kröflueldar voru hrina eldgosa. Kröflueldar voru bæði hraun- og kvikugos og stóðu í níu ár, frá lok árs 1975 til septembermánaðar 1984. Gosin voru níu talsins og stóð lengsta gosið í tvær vikur. Kröflueldar voru í gangi þegar rannsóknir og framkvæmdir á svæðinu stóðu sem hæst.

Þann 20. desember 1975 hófst eldgos í Kröflu sem stóð stutt. Gosið var staðsett norðan við Leirhnjúk sem er í fárra kílómetra fjarlægð frá holi 4 sem þá var nýbúið að bora. Búið var að bora 3 holur til vinnslu og til viðbótar hafði verið lokið við að bora tvær rannsóknaholur þegar gosið hófst. Eldgosið var ekki ýkja stórt en það kom miklu róti á landsmenn, sérstaklega þá sem höfðu starfað við hönnun og rannsóknir á svæðinu. Eldgos eru ekki hversdagslegur hlutur og þá sérstaklega í nálægð við virkjunarframkvæmdir. Því var sett vinna og drifkraftur í að rannsaka hegðun eldvirkinnar. Að því verki komu flestir jarðvísindamenn landsins og varð árangur þeirrar vinnu ákaflega góður. Tókst að skýra hegðun eldvirkinnar á mjög sannfærandi hátt með streymi inn og út úr kvikuhólfi á þriggja til sjö metra dýpi undir Kröfluöskjunni. Ennfremur var gert líkan af eldvirkninni í Kröflu sem varð meðal annars til þess að hægt var að segja til um framgang hennar. Niðurstöður vísindamanna leiddu til aukins skilnings almennings á eldvirkni og leiddi það til jákvæðra viðhorfa almennings til eldsumbrota.

Við upphaf eldvirkinnar lýstu jarðvísindamenn þeim skoðunum sínum að hætta ætti við allar framkvæmdir. Ekki er hægt að segja með fullri vissu hvað hefði skeð ef það hefði verið gert. Það má þó fullyrða að þróun á beislun jarðhitans á Ísland hefði verið mun hægari en raunin varð. Ákvörðun var tekin um að einbeita sér að því að halda áfram verkinu sem byrjað var á, að reisa jarðvarmavirkjun við Kröflu. Finna átti leiðir til að leysa þau vandamál og erfiðleika sem eldvirknin á svæðinu hafði á allar framkvæmdir á svæðinu.

Rannsóknirnar sem gerðar voru meðan eldvirknin var mikil á svæðinu leiddu til aukins skilnings og þekkingar á sambandi jarðhitans við eldvirkni. Sú vitneskja hefur haft gríðarleg áhrif á jarðhitarannsóknir síðan. Segja má að Kröflueldarnir hafi skapað erfiðleika við virkjun í Kröflu í fyrstu en síðar borið þá gæfu að auka þekkingu manna á eðli jarðhitans við rannsóknir á öðrum jarðhitasvæðum.

<sup>35</sup> Auður úr iðrum jarðar – Saga hitaveitna og jarðhitanytingar, bls. 442.

Kröflueldar breyttu öllum vinnslueiginleikum svæðisins. Öll efnasamsetning í borholunum breyttist mjög til hins verra. Eldarnir ollu einnig nokkrum skemmdum á Kísilverksmiðjunni við Mývatn<sup>36</sup>.

#### 4.1.5 Vandamál á framkvæmdartíma

Bygging og framkvæmd Kröfluvirkjunar var sett til þriggja sjálfstæðra aðila sem sáu hver um sig um mismunandi verkhluta verkefnisins. Orkustofnun sá um jarðhitaráðgjöf og borun. Lögbundið hlutverk Orkustofnunar var að rannsaka en ekki að bora. Hins vegar hafði Orkustofnun mestu reynsluna við að bora og hafði nokkru áður borað nokkrar borholur vegna Bjarnarflagsvirkjunar. Rafmagnsveita ríkisins sá um byggingu Kröflulínu til Akureyrar og Kröflunefndin sá um byggingu stöðvarmannvirkja. Iðnaðarráðuneytið sá svo um alla yfirstjórn verkefnisins. Fjármagni til hvers verkhluta var veitt sjálfstætt til fyrrnefndra framkvæmdaraðila. Fljótlega fór ýmissa vandamála að gæta er sneru að skorti á samræmingu og áherslustýringu á verkefninu í heild. Vegna þessa riðluðust framkvæmdir því mikið, oft vegna þess að fjármunum var ekki nógu vel stýrt og ekki í samræmi við framvindu og þarfir verkefnisins. Þetta kom að mestu niður á öflun gufu til virkjunarinnar. Pólitísk ósamhæfra fjárveitinga til einstakra verkþátta verkefnisins ollu m.a. tortryggni og gagnrýni meðal landsmanna í garð verkefnisins. Leiddi það til vantrúar landsmanna á háhita og bar það keim af því í mörg ár. Tafði þetta fyrir eðlilegum og sjálfsögðum framgangi jarðhitanýtingar til raforkuvinnslu hér á landi<sup>36</sup>.

Þekking þeirra sem sátu í Kröflunefndinni var eðlilega mjög takmörkuð. Einhverra hluta vegna voru ekki allir fulltrúar frá öllum stjórnsmálaflokkum. Komst það til umræðu á Alþingi þar sem það fyrirkomulag að útiloka einn þingflokkinn frá nefndinni varð til þess að sá flokkur beitti sér sérstaklega gegn starfi nefndarinnar. Með þessu öllu saman varð öll virkjunarframkvæmdin strax pólitískt bitbein innan þings og utan þess<sup>37</sup>.

Í dag hefur rutt sér til rúms fag sem nefnt er Verkefnastjórnun. Samræmir það alla verkhluta og sér til þess að allir vinni saman sem ein heild og að þeir standi réttum megin varðandi tíma og kostnað.

<sup>36</sup> Auður úr iðrum jarðar – Saga hitaveitna og jarðhitanýtingar, bls. 444.

<sup>37</sup> Virkjun jarðhita til raforkuvinnslu – Reynslusaga frá Kröfluvirkjun.

## 5 Virkni jarðvarmavirkjana

Jarðvarmavirkjanir er mikið og dýrt mannvirki. Í þessum kafla verður farið yfir helstu hluti jarðvarmavirkjana. Má setja þá í þrjá flokka; gufuveita, rafstöð og rafbúnað.. Byggingatími jarðvarmavirkjana er um 2-3 ár. Hönnunar- og rannsóknatími er þó lengri, þar sem rannsóknartími þeirra tekur mjög langan tíma; allt upp í 1-2 áratugi.

### 5.1 Gufuveita

Þau mannvirki sem mynda gufuveituhluta jarðvarmavirkjana eru safnæðar, gufuskiljur, stjórnlokar, aðveita og niðurrennsli sveita.

Gufuveita tekur við vökvanum sem kemur upp úr jarðhitasvæðinu frá borholunum og skilar jarðgufunni af fullnægjandi gæðum áleiðis til stöðvarhúss til raforkuframleiðslu. Einnig heldur gufuveitan þrýstingi á jarðhitakerfinu stöðugum með því að blása umfram gufu út úr því. Að auki veitir gufuveitan skiljuvatni í niðurrennslisholu<sup>38</sup>.

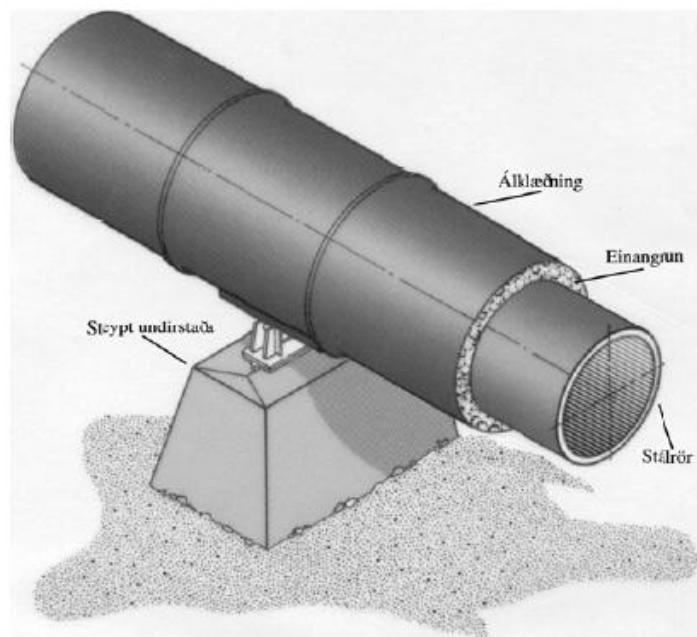
#### 5.1.1 Safnæðar

Safnæðar liggja frá borholum, sem eru boraðar á borteigum, að skiljustöð. Safnæðar eru sameinaðar í svokallaðar stofnlagnir sem liggja að skiljustöð og sameinast svo skammt frá skiljustöð virkjunarinnar. Safnæðar og stofnlagnir eru gerðar úr rörum. Mynd 11 sýnir dæmigerðan frágang safnæða og stofnlagna.

Streymi í safnæðum er blanda tveggja fasa, þ.e. blanda vatns og gufu.

Vatnið getur streymt sem úði í gufunni, sem kápa innan á rörinu eða á botni lagnarinnar. Flæðið sem verður í æðunum ræðst af ýmsum þáttum eins og hlutfalli milli vatns og gufu, þvermáli lagnar, þrýstingi og hraða hennar. Ef safnæðar liggja upp á móti getur verið hætt á að streymið í lögnum verði óstöðugt og myndað högg- eða byljustreymi (e. slug flow).

Með því að láta safnæðarnar halla niður á við í streymisátt er ekki hætt á þessu óstöðuga streymi í lögnum og er því leitast við í hönnun safnæða að þær liggi niður á móti að skiljustöð<sup>38</sup>.



Mynd 12 – Dæmigerður frágangur röralagna í gufuveitu<sup>37</sup>.

<sup>38</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar, bls. 46.

### 5.1.2 Gufuskilja

Skiljustöðin er myndað af stálgrindarhúsi. Helstu hlutar skiljubúnaðarins, mælar og stjórnubúnaður svo sem hæðargler og skynjarar undir þaki stálgrindarhússins. Í nýjustu skiljustöðvum er herbergi fyrir raf- og stjórnubúnaður geymdur. Þetta rými er þétt og loft í því hreinsað af brennisteinsvetni.

Gufuskiljur geta verið bæði lóð- og lárréttar. Góð reynsla er af notkun láréttra skilja hér á landi og er gert ráð fyrir að það verði notað láréttar skiljur fyrir Bjarnarflagsvirkjun.

Blanda vatns og gufu streymir inn í skiljuna þar sem hægir á streyminu. Vegna mismunar á eðlisþyngd fellur vatnið niður en gufan leitar upp. Vatni er hleypt út um pott á botni skilju en gufa streymir í gegnum dropasíu og síðan upp úr skiljunni.

Gufuskiljur virka með þeim hætti að ekki er hægt að útiloka að lítilsháttar skiljuvatn eða raki nái að komast með gufunni frá skiljum. Í þessum raka eru uppleyst steinefni, sem ná að falla út, einkum og sér í lagi á þeim stöðum í gufukerfinu þar sem snöggt þrýstifall verður, eins og í hverfli. Hús er byggt utan um skiljubúnaðinn<sup>39</sup>.



Mynd 13 – Á myndinni sést skiljustöð fyrir Kröfluvirkjun og stofnæðar<sup>38</sup>.

### 5.1.3 Stjórnlokar

Gufustjórnlokar í lokahúsi stjórna þrýstingi í gufuveitu með því að hleypa umframguðu út í gufuhljóðdeyfi. Við hönnun á Bjarnarflagsvirkjun sem ráðgert er að byggja á næstu árum er gert ráð fyrir að settir verði upp tveir gufustjórnlokar fyrir hverja túrbínu.

Stjórnlokar og búnaður þeirra er sérhannaður við vissar aðstæður með tilliti til hávaða og titrings. Hús er byggt utan um stjórnlokanna<sup>40</sup>.

<sup>39</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar, bls. 46.

<sup>40</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar, bls. 47.

### 5.1.4 Aðveita

Aðveita er röralögn sem liggur frá skiljustöð að rafstöð. Þar er gufunni veitt að rafstöðinni. Aðveituæð er hönnuð í grunnatriðum eins og um safnæð væri að ræða. Aðveituæðarnar enda í rakaskiljum við stöðvar og frá rakaskiljunum liggja gufulagnir að hverflum. Til þess að hreinsa steinefnin úr gufunni þarf hún að vera rök af þéttivatni í aðveituæð frá skiljustöð að rafstöð. Rakinn skolar steinefnunum úr gufunni í tæmipottum og þaðan streymir gufan þurr og steinefnalaus að hverfli. Til þess að ná þessari virkni þarf aðveituæðin að vera hæfilega löng og ennfremur þarf þrýstifall í æðinni að vera hæfilegt til þess að gufan nái vissum þrýstingi áður en hún fer inn í hverfilinn. Þessi tækni er að finna í Kröflustöð en einnig er ráðgert að nota þessa tækni við Bjarnarflagsvirkjun.

Gæði gufunnar eru mjög mikilvæg fyrir hverfilinn. Ef steinefni, sem berst með gufunni, setjast sem útfellingar á blöð og innstreymisstúta í hverfli minnkar nýtni hans mjög. Miklar útfellingar geta auk þess orsakað titring og jafnvel valdið því að blöð brotni, sem gæti haft miklar afleiðingar í för með sér. Aðferðir eru til ið að hreinsa útfellingar úr hverfli, t.d. efnafræðilegar eða sprauta þéttivatni inn í gufuna fyrir framan hverfilinn í stuttan tíma í senn og sverfa þannig útfellingar í burtu með raka. Þessi aðferð hefur gefið nokkuð góða raun. Hins vegar hefur þessi aðferð í för með sér áraun fyrir hverfilinn og því verður telja heppilegustu lausnina að koma í veg fyrir að útfellingar myndist.

Í rakaskiljum streymir gufa í gegnum dropasíu og dropar, sem eru stærri en 10  $\mu\text{m}$  eru hreinsaðir úr gufunni. Rakaskiljan gegnir einnig mikilvægu hlutverki við að verja hverfil fyrir vökvagusum, þar sem slík gusa safnast í rakskiljum og tími gefst til að slá hverfil út<sup>41</sup>.

### 5.1.6 Frárennslisveita

Frárennslis frá jarðvarmavirkjun er aðallega fólgið í skiljuvatni frá skiljustöð, þéttivatni frá virkjuninni og útskolun (e. blow down) kæliturni. Hægt er að skipta losun frárennslis frá jarðvarmavirkjunum í þrennt<sup>41</sup>:

- *Yfirborðsförgun* er förgunin á yfirborði, þar sem frárennslisþéttivatnið eftir farvegum og ofan í sprungur og niður í grunnvatn. Dæmi um yfirborðsförgun er í Kröflustöð, í Bjarnarflagi, á Nesjavöllum og í Svartsengi.
- *Grunnförgun* er þegar frárennslisþéttivatnið streymir út í jarðlögin neðan grunnvatnslaga. Um tiltölulega grunnar borholur er um að ræða (~500 m).
- *Djúpförgun* er þegar förgun frárennslisvatns niður í nokkuð djúpar borholur (~1.500 m), sem ná niður í jarðhitageyminn. Ef vel tekst til með að veita frárennslisþéttivatnið ofan í jarðhitageymi getur það dregið úr þrýstilækkun í honum.

Vel er hægt að nota frárennslisvatnið til hitaveitu og er það oftast reynt að gera það. Með því er verið að nýta betur virkjunina<sup>42</sup>.

<sup>41</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar, bls. 47.

<sup>42</sup> Verkönnun Bjarnarflagsvirkjunar, bls. 49.



### 5.1.5 Niðurrennslisveita

Niðurrennslisveita samanstendur af niðurrennslisholu og -lögn. Niðurrennslislögnin liggur frá skilju í skiljustöð að niðurrennslisholu. Þrýstingur má ekki falla niður fyrir suðumarksþrýsting þar sem þá myndast gufa og streymi í lögninni verður óstöðugt með höggum, þar sem lagnir þola ekki slíkt álag. Við niðurrennslisholu er stjórnlokar sem stjórna streymi ofan í holurnar<sup>43</sup>.

### 5.1.6 Vatnsveita

Við rekstur jarðvarmavirkjana er þörf á köldu vatni. Sú nýting er fólgin í eftirfarandi<sup>41</sup>:

- Neysluvatn.
- Upphafleg áfylling á kælivatnskerfi.
- Til kælingar, þar sem sérstakur ávinningur er af því að nota kaldara vatn en kemur frá kæliturni jarðvarmavirkjana.
- Til að viðhalda vatni í kælivatnskerfi.

Hægt er að fá ferskt vatn sem jarðvarmavirkjanir nýta sér frá vatnsveitum og vötnum sem eru nálægt virkjuninni. Neysluvatn fyrir Kröfluvirkjun fæst frá vatnsveitu Reykjahlíðar og mun Bjarnarflagsvirkjun einnig nýta sér vatnsveitu Reykjahlíðar í framtíðinni<sup>44</sup>.

## 5.2 Rafstöð

Í þessum kafla verða gerð skil nokkrir mikilvægir hlutir jarðvarmavirkjana sem tilheyrja rafstöð hennar. Þetta eru hverfill (e. turbine), eimsvalinn (e. condenser), kæliturninn og kælikerfi. Að endingu verður farið yfir stöðvarhúss jarðvarmavirkjana. Efni í þessu kafla er byggt á verkhönnun á Bjarnarflagsvirkjun en einnig Kröfluvirkjun við gerð.

Við ákvörðun á staðsetningu rafstöðvarinnar er reynt að minnka rask hennar á umhverfið sem minnst. Einnig þarf að athuga hvort nægt svæði sé til stækkunar í framtíðinni á þeim stað sem rafstöðin á að vera staðsett.

### 5.2.1 Hverfill

Hlutverk hverfilsins er mikilvægur. Gufan, sem hefur verið hreinsuð, kemur inn í hverfilinn við ákveðið massaflæði og þrýsting og hreyfir hverfilöxulinn sem snýr rafalinn sem framleiðir rafmagnið.

Hverflar fyrir jarðvarmagufu eru sömu gerðar og hefðbundnir gufuhverflar. Þetta eru ásstreymishverflar með nokkrum þrepum, sem ýmist eru af spyrnu (e. impuls) eða gagnspyrnu (e. reaction) gerð. Hafa framleiðendur hverflanna hver sinn háttinn á. Áhersla er lögð á góða hönnun gufustraumsrása í hverflum og getur ísentrópísk nýtni þeirra náð yfir 80%. Hverflarnir eru beintengdir rafala og er snúningshraðinn oftast nálægt 3000 rpm – 3000 snúningar á mínútu. Stærð hverfla ræðst af lengd blaða í síðasta þrepi þeirra þar sem þrýstingurinn er lægstur. Þróun undanfarinna ára er að blöð hverflanna hafa farið stækkandi. Hér þarf þó að hafa varann á því reynsla af rekstri hverflanna gefur til kynna að lengri blöð eu viðkvæmari fyrir sliti.

<sup>43</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2000, bls. 21.

<sup>44</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 48.

Vanda þarf til efnisvals í jarðgufuhverflum og vîkur það frá efnisvali í hefðbundnum hverflum. Taka þarf tillit til óþéttanlegra lofttegunda, sem fylgja gufunni og geta valdið til að mynda myndun tæringar vegna spennu og sprungumyndunar. Er þetta kallað á fagmáli „stress corrosion cracking“. Vatn sem þéttist í hverflinum er slítandi. Velja þarf vel það efnisval á þeim hlutum sem mest mæði á með tillits til slits. Til að mynda eru stýriblaðahringi að vera ryðfrír, a.m.k. þeir hlutir sem gufan streymi um til að sporna við tæringu.

Tvær gerðir eru af hverflum. Annars vegar hverflar þar sem gufan streymir inn í annan enda þeirra og út um hinn (e. single flow) og hins vegar hverflar þar sem gufan streymir inn í miðjuna og síðan til beggja átta (e. double flow). Kostir fyrrnefnda hverfilsins eru þeir að þá er hægt að velja um hvort gufuúttak snúi upp, niður eða í ásstefnu hans (beint áfram). Með því að hafa gufuúttastreymi í ásstefnu má lækka hæð stöðvarhúsins og jafnframt að auðvelda viðhaldsvinnu. Einnig hefur útstreymisúttak það í för með sér að það eykur á nýtni hverfilsins.

Flutningur hverfilsamstæða er sérhæfður, m.a. vegna þess hversu þungar einingarnar eru. Hverfillinn er þyngsta einingin. Þó er þyngd hans breytileg eftir framleiðendum. Til dæmis vegur 30 MWe hverfill, sömu stærðar og er í Kröfluvirkjun, vegur nærri 80 tonnum en 45 MWe hverfill vegur 100 – 120 tonnum. Vegna þess hversu þungir hverflarnir eru, þarf að fá leyfi Vegagerðarinnar fyrir flutningnum hverfileininganna og nota verður sérhannaða margása flutningavagna. Við byggingu Bjarnarflagsvirkjunar þarf að óska eftir slíku.

Samkvæmt verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar er gert ráð fyrir að hverflar virkjunarinnar verði single flow hverflar og verður gufuúttak í ásstefnu<sup>45</sup> eins og er í Kröflu.



Mynd 14 – Á myndinni sjást báðir hverflar Kröfluvirkjunar. Hvor um sig framleiðir 30 MW<sub>e</sub><sup>42</sup>.

<sup>45</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 53.

### 5.2.2 Eimsvali

Í eimsvala (e. condenser) er gufa, sem streymir frá hverfli, þétt og er til þess notað kælt vatn sem streymir frá kæliturni.

Eimsvali er röravarmaskiptir þar sem gufan streymir utan um rörin og kælivatn streymir inn í rörunum. Nægilega rúmt verður um eimsvalan til að skipta megi um rör í þeim. Oftast er eimsvallinn gerður úr ryðfríu stáli, enda getur hiti verið um 50 °C heitur.

Til eru eimsvalar, sem eru kældir með lofti, en í hefðbundnum jarðvarmavirkjunum eru þeir óhagkvæmir vegna þrýstifalls, stærðar, orkunotkunar og kostnaðar og er ekki fjallað frekar um þá hér.

Beint samband er á milli hita og þrýsting í eimsvala. Því lægri hiti þeim mun lægri þrýstingur og meira afl frá hverfli. Eimsvali getur verið með beinum varmaskiptum þar sem kælivatni er úðað inn í gufuna. Hann getur einnig verið óbeinn, þar sem gufan þéttist utan á rörum sem kælivatnið streymir í. Dæma um beina eimsvala er að finna í Kröflustöð en óbeinir eimsvalar eru í öðrum jarðvarmastöðvum á Íslandi. Kostir beins eimsvala eru virkari kæling og lægri stofnkostnaður. Ókostir hans eru hins vegar að loft losnar í kæliturni eimsvala og mengar frárennsli frá kæliturninum og hreinsun á H<sub>2</sub>S úr gasi verður mun erfiðari. Til þess að leysa þetta vandamál er hægt bæta efnum eins og NaOH (natríumhydroxíð) inn í kælivatnshringrásina. Fyrir óbeina eimsvala gildið hið gagnstæða og á við um beina eimsvala. Þeir eru dýrari og ekki eins virkir og beinir eimsvalar. Þeir eru dýrari og ekki eins virkir og beinir eimsvalar. Hins vegar losna menn við vandamál sem tengjast brennisteinsútfellingum án efnaþblöndunar. Einnig verður meðhöndlun á gasi auðveldari og aflþörf kælivatnshringrásardæla mun lægri. Skorður verða ef settur er upp beinn eimsvali og setur það ákveðnar skorður og skilyrði fyrir afstöðu kæliturns, eimsvala og kælivatnshringrásardæla, þar sem tryggja verður að vatn streymi inn í eimsvala frá kæliturni og að nægilegur þrýstingur sé á vatni frá eimsvala að dælum. Ef óbeinn eimsvali er notaður eru þessar skorður minni og t.d. má staðsetja hringrásardælur hvort sem er við kæliturna eða inni í stöðvarhúsi virkjunarinnar. Ennfremur er hægt að blanda þéttivatni frá eimsvala við skiljuvatn frá gufuskiljum. Við hönnun Bjarnarflagsvirkjunar er gert ráð fyrir að eimsvali verði óbeinn<sup>46</sup>.

### 5.2.4 Gastæmikerfi

Óþéttanlegar lofttegundir safnast fyrir í eimsvalanum og þarf að dæla þeim jafnóðum úr honum. Ef það er ekki gert hækkar þrýstingur í eimsvalanum og afköst hverfils lækka. Útblásturinn er leiddur upp í kæliturninn, þar sem hann blandast loftblæstri upp úr kæliturninum og dreifist.

Til að dæla gasinu er notaðar oftast nær rafknúnar lofttæmidælur eða gufuknúna þeysa. Þessi aðferð hefur verið notuð í Kröfluvirkjun og er gert ráð fyrir, samkvæmt verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar, að það sama verði gert þar<sup>47</sup>.

### 5.2.3 Kæliturn og kælikerfi

Við hönnun Bjarnarflagsvirkjunar er gert ráð fyrir að kæliturnin verði reistur um 30 m frá stöðvarhúsinu og að kæliturninn sé mótstreymisgerð. Gert er ennfremur ráð fyrir því að turninn standi heldur hærra í landi. Með þessu fæst hæfileg þrýstihæð að hringrásardælum. En þær eru oftast nær staðsettar við hlið eimsvala inn í vélarsal.

<sup>46</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 54.

<sup>47</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 54.

Kæliturninn er oftast af svonefndri mótstreymisgerð og er gert ráð fyrir að Bjarnarflagsvirkjun noti þá gerð. Í mótstreymisgerð er vatni úðað yfir fyllingu og undir henni er steipt þró, þar sem vatninu er safnað. Loftið er dregið í gegnum op á hliðum turnsins, upp í gegnum fyllinguna og blásið upp úr turninum með rafdrifnum viftum. Hluti kæliturnsins gufar upp og mettar loftið úr kæliturninum og er þá hægt að nota þéttivatn frá eimsvala til að bæta við vatnið, sem hverfur úr hringrásinni. Uppgufun kælivatns í kæliturni er mismunandi háð veðri og álagi en áætlað er að þéttivatn verði ávallt nægjanlegt til að vatnsmagni í hringrásinni stöðugu. Umframvatni er þá hleypt úr þrónni og tryggir það að jafnvægi kemst á styrk uppleystra efna í kælivatni. Nauðsynlegt er að losa uppleystar lofttegundir úr þéttivatninu áður en því er blandað í kælivatnið. Er það gert með því að hvellsjóða þéttivatnið í svokölluðum aflloftara. Aflloftið er það af gæðum eins og eimað vatn og hentar það ágætlega í kælivatnshringrásina. Verður þetta gert í Bjarnarflagsvirkjun<sup>48</sup>.

### 5.2.5 Stöðvarhús

Stöðvarhús jarðvarmavirkjana geta verið margskonar að stærð og lögun en oftast er reynt að hafa lögunina sem þægilegust og ódýrust, er þá átti við að reynt er að hafa bygginguna hornrétt og beina en einnig að hún raski sem minnst umhverfinu. Sem dæmi um stærð stöðvarhúsa jarðvarmavirkjana hefur Kröfluvirkjun þrjár hæðir en hönnun Bjarnarflagsvirkjunar gerir ráð fyrir að hún verði á einni hæð. Stöðvarhúsið er oftast skipt í tvennt. Annars vegar vélasalur og aðstaða fyrir starfsmenn virkjunarinnar og þjónustubygging sem hýsir allan raf- og stjórnbúnað virkjananna, svo sem háspennu-, millispennu- og lágspennukerfi, stjórnherbergi, rafgeyma og annað sem við kemur rekstri jarðvarmavirkjana. Hins vegar er í hluta stöðvarhússins gestamóttaka. Í Kröfluvirkjun eru allir þessir þrír hlutar settir í eitt hús. Öðru sætir varðandi Bjarnarflagsvirkjun. Stöðvarhús þeirrar virkjunar hýsir vélasalinn og það sem viðkemur daglegum rekstri en nálægt er svo ráðgert að byggja hús fyrir gestamóttöku virkjunarinnar.

Í vélasal virkjunarinnar er hverfillinn staðsettur. Sérstakt loftræstikerfi þarf að vera í stöðvarhúsinu til þess að halda yfirþrýstingi í byggingunni. Í loftræstisamstæðunni eru síur, sem hreinsa  $H_2S$  úr loftinu. En það er gert til þess að vernda rafbúnað gegn tæringu af völdum  $H_2S$ . En styrku þess efnis má ekki vera meiri en 3 ppb. Því er nauðsynlegt að loftinntak fyrir loftræstikerfi dagi inn loft, sem er sem minnst mengað  $H_2S$ <sup>49</sup>.

<sup>48</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 57.

<sup>49</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2000, bls. 23.



Mynd 15 – Stöðvarhús Kröfluvirkjunar<sup>44</sup>.

### 5.3 Rafbúnaður

Í þessum kafla verður farið yfir þá hluti rafbúnaðarins sem er í jarðvarmavirkjunum. Þeir eru rafalar, spennar, lág-, milli- og háspennukerfi, vararafstöð og jafnstraumskerfi.

#### 5.3.1 Rafali

Rafali er beintengdur við öxul hverfilsins. Við hönnun Bjarnarflagsvirkjunar er gert ráð fyrir að öxullinn snúist 3000 snúninga á mínútu, eða 50 snúninga á sekúndu.

Í leiðara sem verður fyrir áhrifum breytilegs segulsviðs spanast spenna. Til að vinna rafmagn þarf því annaðhvort að hreyfa leiðarann í segulsviði, eða hreyfa segulsvið framhjá leiðaranum. Nýtni rafala er yfirleitt rúmlega 98%. Framleiða þeir riðstraum, þriggja fasa, á spennu milli 6-15 kV.

Rafall samanstendur af sátri (e. stator), snúð (e. rotor), legum og ásum. Hverfillinn snýr snúðnum en á honum eru rafseglar eða pólur sem spana upp rafstraum í spólum sátursins með segulsviði sínu. Spólurnar eru yfirleitt kallaðar vefjur (e. stator winding). Sátrið er samsett úr sáturstamma (e. stator frame) sem heldur blikkpakka (e. stator laminations, stator core) og vefjum. Vefjurnar eru formaðar úr einöngruðum kopar leiðurum, og er þeim haldið föstum í raufum (nótum) í blikkpakkanum.

Snúðurinn er samsettur úr nafi (rotor spider) sem heldur blikkpakka og pólum.

Jafnstraumur inn á pólana er leiddur inn á efsta hluta ássins um kolbursta og svokallaða sleituhringi<sup>50</sup>.

<sup>50</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 56.

### 5.3.2 Spennar

Spennar hafa það hlutverk, í stuttu máli, að auka riðspennuna sem rafallinn myndar í hærri riðspennu áður en rafmagnið fer á netið. Með þessu fæst betri nýting á rafmagninu þegar það ferðast frá virkjuninni að áfangastað.

Spennar jarðvarmavirkjanna eru, eins og hönnun Bjarnarflagsvirkjunar gerir ráð fyrir, staðsettir utandyra og eru með búnaði fyrir strengtengingu á báðum hliðum. Vegna þess að þeir eru utandyra er þarf ekki að kæla spennanna með vatni heldur nægir loftkælingin. Vélaspennir hverrar vélar verður 132/11 kV með kælingu án olfudælingar en verður þó með viftum á kælum<sup>51</sup>.

### 5.3.3 Millispennukerfi

Millispennukerfi Bjarnarflagsvirkjunar er samsett úr tveim 11 kV teinum, svokölluðum línuenda rafals, stöðvarnotkunarteinn, rafalarofa, skammhlaupsrofgetu, þéttar, yfirspennuvarar, spennumælar fyrir rafalinn og varnarbúnaði. Einnig inniheldur millispennukerfið skammhlaupsþolbúnaður sem staðsettur er á línuenda rafalsins. Getur sá búnaður þolað allt að 50 kA riðstraum.

Hönnun Bjarnarflagsvirkjunar gerir ráð fyrir að millispennukerfið eigi að vera á 11 kV spennu fyrir notkun stöðvarinnar. Rafalrofi sé með 3.150 A straum og 40 kA skammhlaupsrofgetu. Við alla útganga verður rofastýrieining með varnarbúnaði og á teinum verður spennumæling<sup>51</sup>.

### 5.3.4 Háspennukerfi

Háspennukerfið eins og gert er ráð fyrir í verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar er sett saman úr rofabúnaði sem er gaseinangraður og verður loftræstur með hreinsuðu lofti. Verður hann staðsettur í þjónustubýggingu virkjunarinnar. Háspennukerfið inniheldur einnig þol vegna skammhlaups og vegna straums. Einnig verður háspennukerfi jarðvarmavirkjanna að vera með framhjáhlaupsteins og framhjáhlaupsrofa<sup>52</sup>.

### 5.3.5 Lágspennukerfi

Allir partar jarðvarmavirkjanna sem þurfa lága spennu við notkun nota lágspennukerfi virkjunarinnar. Lágspennukerfi jarðvarmavirkjanna er byggt af spennu sem tengist inn á innkomandi rofa aðaldreifingar með svokallaðri skinnutengingu, . Í Bjarnarflagsvirkjun verður aðaldreifingarnar tvær með hólfuðum skápum og skammhlaupsþoli 80 kA. Notkun þeirra skiptist þannig að önnur þeirra sinnir kælivatns- og þrýstidælum, gasgælum og annarri noktun en hin viftum í kæliturnum, olfudælum og annarri notkun, þ.m.t. lágmarks lýsingu og vinnurafmagni við rafmagnsleysi<sup>53</sup>.

### 5.3.6 Vararafstöð

Hlutverk vararafstöðvarinnar er að tryggja að hægt verði að gangsetja stöðina þó að spenna frá landskerfinu bregðist. Er þá varavél sem tengist beint inn á aðaldreifinguna en undirdreifingin er þá höfð frátengd og ennfremur er að vararafstöðin samanstandi af 1.000 kW dieselvél og 400 V, 1.250 kVA rafala.

Hönnun Bjarnarflagsvirkjunar gerir ráð fyrir að ekki verði sett vararafstöð þar. Ef neyðartilvik koma upp verður hægt að tengja stöðina við dreifikerfi RARIK í Mývatnssveit á 11 kV spennu<sup>54</sup>.

<sup>51</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 61.

<sup>52</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2000, bls. 24.

<sup>53</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 61.

<sup>54</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 62.

### 5.3.7 Jafnstraumskerfi

Jafnstraumskerfi jarðvarmavirkjanna eru mikilvæg, þar sem hjálparkerfi vélasamstæðu virkjunarinnar þarfnast jafnstraum. Við hönnun Bjarnarflagsvirkjun er gert ráð fyrir að öll jafnstraums drifin tæki verði fyrir 110 V eða 24 V spennu.

Ennfremur nota helstu stjórnþæki jarðvarmavirkjanna s.s. gangráður, spennustillir og stjórnþæki jafnstraum. Þessi fyrrnefndu tæki fá svokallaða spennufæðingu<sup>54</sup>.

## 5.4 Framleiðsluferli jarðvarmavirkjanna

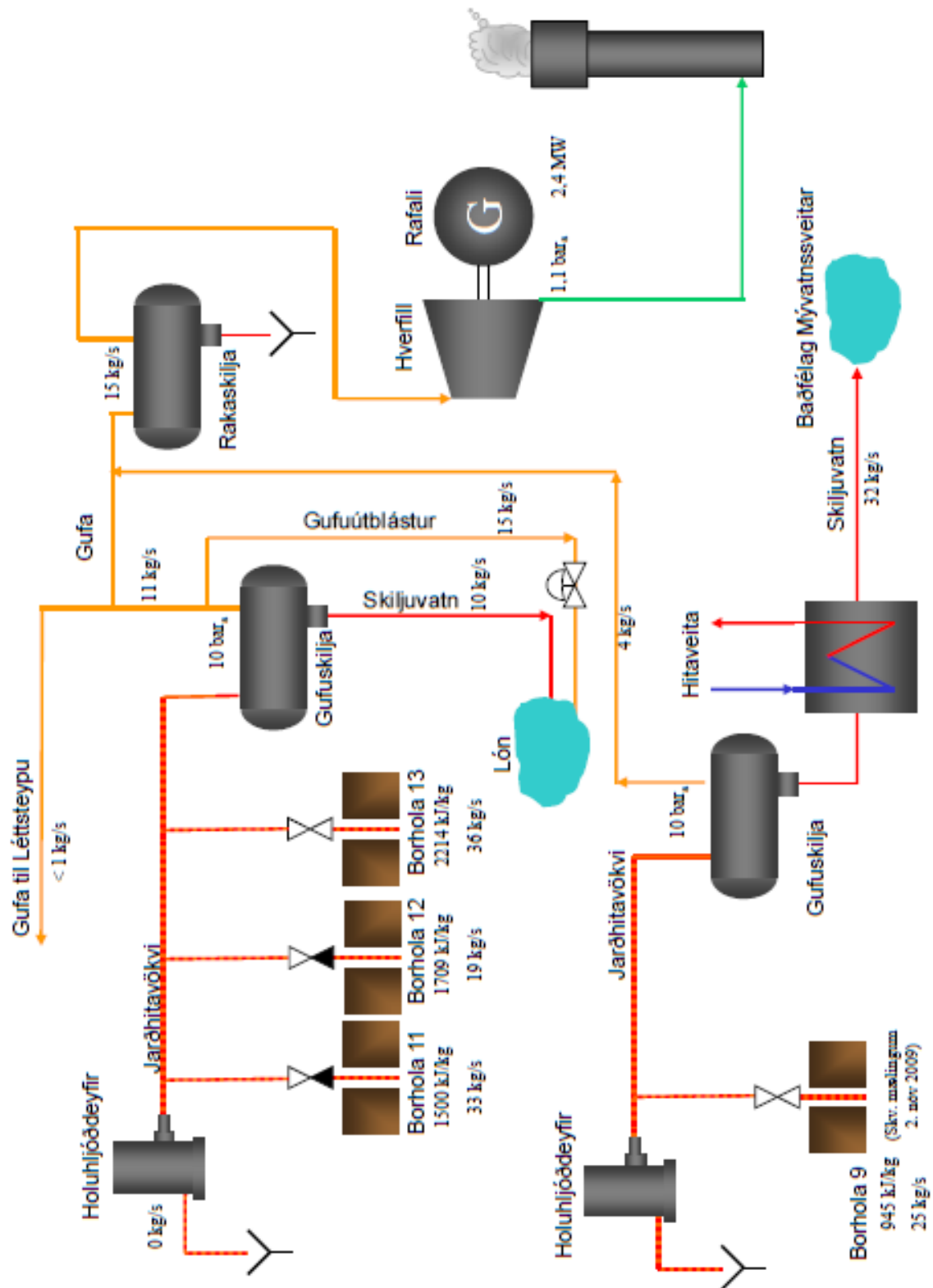
Á mynd 12 sést hvernig framleiðsluferli jarðvarmavirkjanna lítur út. Frá því að gufan kemur upp úr borholunum sem tiltölulega óhrein gufa og þangað til hún fer út í andrúmsloftið úr kæliturninum.

Öll gufan sem fæst við framleiðslu raforkunnar fæst úr borholum á nærliggjandi svæði virkjunarinnar. Ekki er hægt að nota sömu borholur allan tímann og því þarf að skipta á þeim borholum sem eru í notkun hverju sinni. Við notkunina á borholunum, leiðir til þess að aflið sem borholurnar gefa frá sér minnkar með tímanum. Því þarf að leggjast í boranir á nokkurra ára fresti. Gæði gufunar sem kemur frá borholunum er ekki oftast 100%. Gufan er samsett úr ýmsum efnum og eru þessi efni tæra hverfilinn ef þau komast inn í hann á annað borð. Því fer gufan í tvær skiljur. Fyrst í svokallaða gufuskilju (kafla 5.1.2) og því næst í rakaskiljuna (kafla 5.1.4). Hönnun Bjarnarflagsvirkjunar gerir ráð fyrir að lítill partur gufunnar sem kemur út úr gufuskiljunni fari til iðnaðarnota.

Þegar gufan hefur farið í gegnum þessar fyrrnefndu skiljur fer gufan því næst í hverfil virkjunarinnar. Með því að gufan streymir inn í gufuna á vissum þrýstingi snýst hverfilöxullinn sem snýr svo rafalnum og framleiðir rafmagnið. Rafmagnið fer þaðan í spenninn þar sem hann breytir spennunni í þá spennu sem best er að flytja raforkuna að áfangastað<sup>55</sup>.

---

<sup>55</sup> Verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar – 2011, bls. 33.



Mynd 16 – Fyrirhuguð jarðvarmavirkjun í Bjarnaflagi<sup>47</sup>.



## 6 Framtíðin í jarðvarmageiranum

Framtíðin í jarðvarmageiranum er mjög björt. Mörg verkefni eru á hönnunar- og rannsóknarstigi. Hjá Landsvirkjun ætla menn að reisa virkjanir í Þeistareykjum og í Bjarnarflagi á næstu árum. Einnig ætlar Landsvirkjun að stækka Kröfluvirkjun en það er allt á frumstigi.

Þann 28. júní var stofnaður hinn íslenski jarðvarmaklasi. Þar eru samankominn öll helstu þekkingarfyrirtæki á sviði jarðvarma, menntastofnanir og önnur fjármálafyrirtæki.

Samkvæmt skilgreiningu á klasasamstarfi, þá felst það í að leiða saman ólíka aðila innan viðkomandi klasa, hér er það jarðvarmi. Dæmi um ólíka aðila eru til dæmis ríkisvald, opinberar stofnanir, framleiðslufyrirtæki, birgjar, þjónustu- og dreifingaraðilar, rannsóknaraðilar, menntastofnanir, fjármálastofnanir, samtök og aðrir sem styrkja samstarfið að öðru leyti. Í klasanum verður til ákveðin samvinna milli meðlima klasans sem leiðir meðal annars til aukinnar þekkingar innan hans. Auk þess myndu fyrirtækin sem mynda klasann í sameiningu fá aukna innsýn, skilning, færni og tækni á mismunandi sviðum er tengjast jarðhita. Megin hlutverk klasans er því í raun að sameina kraftanna sem væri mun sterkara en að einstakir aðilar vinni hver í sínu lagi.

Í nóvember kom Michael Porter, prófessor við Harvard, til Íslands og hélt erindi á ráðstefnu um jarðhita. Í erindi hans á ráðstefnunni kom fram að framtíð Íslands liggi í jarðvarmageiranum. Hann sé óslípaður demantur. Ennfremur telur hann að framtíðin sé afar björt fyrir Ísland í þessum geira. Michael greindi frá hugmyndinni um að stofnað yrði til jarðvarmaklasans og var einn af drifkröftum hennar. Michael er einn fremsti og virtasti prófessor í heiminum í dag. Því er það mikill heiður fyrir Ísland að svo virtur maður hafi áhuga á jarðvarmageiranum á Íslandi. Sýnir það vel hvaða stöðu Ísland hefur innan jarðvarmageirans<sup>56</sup>.

### 6.1 Tækifærin sem hlýst af jarðhita

Tækifærin sem hlýst af jarðhita eru gríðarlega mörg og er sagan um jarðhitann hér á Íslandi gott dæmi um þau fjölda tækifæri sem gefast ef menn á annað borð hafa þekkingu til að nýta hann. Fjöldi fyrirtækja nýta sér jarðhitann í framleiðsluferlum sínum.

Eins og fjallað var um í kafla 2.4 er hægt að nýta jarðhita á marga vegu. Mörg fyrirtæki, horfa til Íslands til þess að nýta jarðhitann við fiskeldi. Íslenska fyrirtækið Matorka hyggst reisa fiskeldi á Reykjanesi og myndi verksmiðjan nýta varmann frá Reykjanesvirkjun til framleiðslunar.

Jarðhitinn er ekki aðeins hægt að nýta til að hita upp hús. Heldur er hægt að nýta hann einnig til þess að kæla hús í hitabeltislöndum. Lönd eins og Arabísku Furstadæmin horfa á jarðhitann til þess að

<sup>56</sup> Virðisauki í jarðvarma – Íslenski jarðvarmaklasinn; Vegferð og vegvísir, 2011.

## 6.2 Íslenska djúpbörunarverkefnið (IDDP)

Menn hafa lengi haft mikinn áhuga á að bora dýpra en almennt gerist. Bæði hagnýtar og vísindalegar ástæður liggja að baki því.

Djúpbörun á sér stað á háhitasvæðum, þar sem menn telja að varmagjafinn sé kólnandi kvikuinnskot í nokkurra kílómetra dýpi. Fyrir tæpum fimm áratugum voru borholur hér á landi um 1.000 m djúpar. Nú er algengt að þær séu 2.000-2.500 m djúpar þar sem bestu vatnsæðarnar eru oftast á 1.000-2.000 m dýpi.

Íslenska djúpbörunarverkefnið (e. Iceland Deep Drilling Project) var stofnað árið 2000 af Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur og Orkustofnun. Árið 2008, kom Hitaveita Suðurnesja, nú HS Orka hf. inn í verkefnið. Alcoa Inc. kom inn í verkefnið 2007 og Statoil árið 2008.

Markmið djúpbörunarverkefnisins er að bora 4-5 km djúpa borholu í einum af háhitasvæðum Íslands. Til þess að ná í 400-600°C heitan yfirhitaðan vökva og við yfirþrýsting, yfir 200 bar.

Árið 2003 var lokið við gerð skýrslu um hagkvæmnigreiningu á verkefninu. Þar kom fram að verkefnið yrði hagkvæmt til að mæta þeirri raforkuþörf sem menn gera ráð fyrir. Verkefnið væri hátæknilegt og myndi það taka 1-2 áratugi í rannsóknir og annað því tengdu. Árið 2003 var tekin ákvörðun um að bora fyrstu borholu verkefnisins. Átti holan að vera 3.082 m djúp. Hrundi holan og varð ónýtt<sup>57</sup>.

Á árunum 2008-2009 var boruð fyrsta hola verkefnisins. Holan er rétt austan megin við Leirhnjúk, fyrir norðan Kröfluvirkjun. Sumarið 2009 boraði borinn í kvikuinnskot í u.þ.b. 2.070 m dýpi. Því þurfti að hætta að bora. Þar sem borað var í kvikuinnskot í fyrsta sinn í heiminum, er holan með mjög hátt sýruinnihald og gríðarlega heit – líklega heitasta hola í heimi. Þessi efni, hitinn og þrýstingurinn gera það að verkum að erfitt er að ná tókum á holunni. Þessi borhola er gríðarlega orkurík og er talið að hún geti, ein og sér, framleitt allt upp í 35-40 MW. Ef hægt er að ná tókum á sýrunni sem er í holunni, er hægt að nýta þessa holu og vonandi verða borðaðar fleiri í framtíðinni til framleiðslu á raforku.

Allt pípu- og borholuverkið er hannað með það að leiðarljósi að þola hitann og þrýstinginn sem er í holunni. Háþróuð broholutækni þurfti til borunarinnar á þessu mikla dýpi, í svona miklum þrýstingi og hita.

### 6.2.1 IDDP-01 og framtíð verkefnisins

Verkefnið er hugsað til margra ára og er í senn nýsköpunarverkefni á svið jarðvarma. Aldrei hefur verið borað jafn djúpa holu og verða næstu árin nýtt til rannsókna til þess að virkja þann gríðar mikla orku sem hlýst af borholunni. Ef það næst hagkvæm leið að skilja frá sýrunni og öðrum efnum sem eru í borholunni er áætlað að bora fleiri holu í framtíðinni. En það er meiri framtíðarplön.

<sup>57</sup> Íslenska djúpbörunarverkefnið, 2011.

### 6.3 Kalina aðferðin

Kalina aðferðin er kennd við Dr. Alexander Kalina. Fluttist hann búferlum til Bandaríkjanna um 1980 til þess að þróa betur tæknina sem hann hafði fundið upp. Tæknin hefur síðan þá verið þróuð. Markaðssetning aðferðarinnar hófst fyrir alvöru ekki fyrr en um og eftir 1995.

Aðferðin byggist á því að framleiða raforku með því að nýta varma úr lághitna, þar sem blanda af ammoníaki og vatni streymir í lokaðri rás. Þekkt er að vatn og ammoníak eða aðrir svokallaðir einþátta miðlar sjóða og þéttast við stöðugt hitastig. Sérstæða Kalina tækninnar felst í því að blanda ammoníaks og vatns, sem verður tvíþátta miðill, sýður og þéttist við breytilegt hitastig. Með þessu opnast möguleikar til þess að nýta betur tilfallandi varma en með einþátta miðlum, t.d. aðeins vatni.

Þær varmahringrásir sem notaðar eru á lágheatasvæðum sýna að með Kalina tækninni má auka vinnsluafköst rafstöðvanna um 20-50%.

Þegar átti að endurnýja orkuveituna á Húsavík fóru menn að leiða hugann að því að nýta Kalina aðferðina til að nýta betur varmann sem kemur úr orkuveitunni. Þar var reist 2 MW<sub>e</sub> rafvirkjun sem byggir á Kalina tækninni. Var orkuverið gangsett í júlí árið 2000. Er það fyrsta Kalina orkuverið í heiminum sem nýtir jarðvarma frá lágheatasvæði til raforkuframleiðslu<sup>58</sup>.

## 7 Ísland leiðandi afl í nýtingu jarðvarma í heiminum

Á tæpri öld, sem Íslendingar hafa nýtt jarðhita til vinnslu, hefur gríðarleg þekking orðið til í landinu. Helst ber að nefna aukna þekkingu og reynslu við gerð jarðhitarannsóknna

þar sem t.d. mæliaðferðir hafa verið þróaðar og ný vitneskja orðið til sem hefur nýst á öðrum jarðheatasvæðum. Einnig erum við mjög framarlega þegar kemur að nýtni jarðvarmavirkjanna. Er sú nýtni talinn vera sú hæsta í heiminum. Íslendingar voru fyrsta þjóðin sem nýtti jarðhita til að hita upp íbúðarhús. Má segja, eins og fyrr er sagt, að jarðhitinn hafi, að meðtöldum sjávarútvegsiðnaðinum, gert okkur að því samfélagi sem við erum í dag. Bæði í formi raforku og heits vatns nýtum við okkar auðlindir til fulls. Við kaupum sem dæmi jarðefnaeldsneyti ekki nema að mjög litlu leyti. Verður það að teljast mjög gott, sérstaklega í ljósi þess að talið er að nýtt kolaorkuver opnast a.m.k. í hverjum mánuði í Kína.

Íslensk fyrirtæki sem starfa í jarðvarmageiranum eru mjög þekkt fyrir sína sérfræðiþekkingu á sviði jarðhitans. Verkfræðistofur eins og Mannvit, Efla og Verkís hafa verið og eru með verkefni erlendis á sviði jarðvarma. Einnig hafa verið stofnuð nýlega fyrirtæki eins og Geysir Green Energy og Reykjavík Geothermal en þau taka nöfnin sín úr vel þekktum orðum í jarðhitageiranum. Orkuveita Reykjavíkur og HS Orka hf. eru einnig vel þekkt á sviði jarðhita.

Á undanförunum árum hafa íslenskir vísindamenn fengið sífellt meiri viðurkenningu og athygli fyrir þekkingu og reynslu sína sem hefur myndast á Íslandi á undanförunum árum og áratugum. Koma til dæmis hingað til lands margir vel metnir einstaklingar til þess að kynnast því sem hefur áunnist hér á landi. Því með herra heimsmarkaðsverði á olíu og grænni vitund fólks sjá sífellt fleiri lönd not sín í jarðhita. Hvort sem það er til hitunar, kælingar, garðyrkju eða framleiðslu á rafmagni.

---

<sup>58</sup> Orkuveita Húsavíkur. Raforkuframleiðsla úr heitu vatni – útflutningur á tækniþekkingu. X-Orka 2002.

## 7.1 Jarðhitaskóli Sameinuðu Þjóðanna

Jarðhitaskóli Sameinuðu þjóðanna hóf starfsemi árið 1979. Öll starfsemi skólans er á Íslandi, nánar tiltekið í húsi Orkustofnunar. Er skólinn hluti af háskóla Sameinuðu þjóðanna sem hefur höfuðstöðvar í Tokyo og er með rekstur í ýmsum löndum. Á Íslandi eru þrjú útibú. Jarðhitaskóli Sameinuðu Þjóðanna, skóli á sviði sjávarútvegs og landsgræðslu. Jarðhitaskóli SP er þeirra stærstur.

Um mitt ár 2011, voru 30 manns í sérfræðinámi hjá Jarðhitaskóla Sameinuðu Þjóðanna, tólf í meistaranámi og tveir í doktorsnámi. Háskóli Íslands hefur umsjón með þeirri kennslu. Nú hafa um 480 sérfræðingar verið útskrifaðir frá skólanum, frá því að hann var stofnaður. Nemendur koma hvaðanæva úr heiminum en helst frá þróunarlöndum. Fjöldi þessara landa er um 50. Eru þau í Afríku, Asíu og mið-Ameríku. Flestir nemendur skólans koma frá Kenía og Kína.

Helstu markmið skólans er að aðstoða og mennta sérfræðinga þróunarlanda við nýtingu jarðhita. Öll þessi lönd, þaðan sem nemendur skólans koma frá, eiga það sameiginlegt að þar fyrirfinnst orkulind í formi jarðhita, hvort sem það er í litlu eða stóru magni. Ennfremur hefur reynslan í þessum löndum, við að beisla þá orku sem fyrirfinnst, ekki verið mikil og því hafa margir sérfræðingar á þessu sviði í þessum löndum hafið nám við skólann. Námið tekur um 6 mánuði og er sérfræðinám. Allir nemendur jarðhitaskólans eru vel menntað fólk. Fólknið er allt sérfræðingar á sínu sviði og starfa sem slíkir í jarðhitinum í sínu landi. Starfar það s.s. hjá stofnunum eða fyrirtækjum er lúta að jarðhita.

Segja má að jarðhitaskóli Sameinuðu þjóðanna sé hluti af þróunaraðstoð Íslands.

Bakhjarlar jarðhitaskóla Sameinuðu Þjóðanna eru Orkustofnun, Utanríkisráðuneytið, ÍSOR og Háskóli Íslands. Er skólinn aðili að alþjóðlegu jarðhitasamtökunum IGA.

## Heimildir

- Guðmundur Pálsson. 2005. *Jarðhitabók – Eðli og nýting auðlindar*. Reykjavík, Hið íslenska bókmenntafélag.
- Sveinn Þórðarson. 1998. Auður úr iðrum jarðar – Saga hitaveitna og jarðhitanytingar á Íslandi. Reykjavík, Hið íslenska bókmenntafélag.
- Hákon Gunnarsson og Þóra Margrét Þorgeirsdóttir. 2011. Virðisauki í jarðvarma – Íslenski jarðvarmaklasinn; Vegferð og vegvísir. Reykjavík, Gekon ehf.
- Kristján Einarsson. 2011. Bjarnarflagshönnun – Verkhönnun. Reykjavík. Landsvirkjun.
- Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns hf., Rafteikning hf., Orkustofnun og Almenna Verkfræðistofan hf.2000. Bjarnarflagshönnun – Verkhönnun. Reykjavík. Landsvirkjun.
- Axel Björnsson. 1990. Jarðhitarannsóknir – Yfirlit um eðli jarðhitasvæða, jarðhitaleit og vinnslu jarðvarma. Reykjavík, Orkustofnun, jarðhitadeild.
- Valgarður Stefánsson. 2000. Virkjun jarðhita til raforkuvinnslu – Reynslusaga frá Kröfluvirkjun. Reykjavík, Orkustofnun.
- Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson. 2001. Gaslosun jarðvarmavirkjana á Íslandi 1970-2009. Reykjavík, Orkustofnun – Orkuþing 2001.
- Guðni Axelsson og fleiri. Erindi á Orkuþingi 2006.
- Vefur Orkustofnunar. 2011. [www.orkustofnun.is](http://www.orkustofnun.is). Sótt sumarið 2011.
- Vefur Íslenskra Orkurannsókna (ISOR). 2011. [www.isor.is](http://www.isor.is). Sótt sumarið 2011.
- Vefur HS Orku hf. 2011. [www.hsorka.is](http://www.hsorka.is). Sótt sumarið 2011.
- Vefur Orkuveitu Reykjavíkur. 2011. [www.or.is](http://www.or.is). Sótt sumarið 2011.
- Vefur Orkuveitu Húsavíkur.
- Steinn Ágúst Steinsson. 2011. Samtal



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68  
103 Reykjavík  
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is  
Sími: 515 90 00

