



**Háskólinn
á Akureyri**
University
of Akureyri

Viðskipta- og raunvísindadeild
LOK 1223



Hámarksnýting og framtíðarmöguleikar Hitaveitu Seltjarnarness

Snævar Már Gestsson
2012

Háskólinn á Akureyri- Auðlindadeild- Umhverfis- og orkulína	
Fag	Lokaverkefni 1126
Heiti verkefnis	Hámarksnýting og framtíðarmöguleikar Hitaveitu Seltjarnarness
Verktími	nóvember 2011 til maí 2012
Nemandi	Snævar Már Gestsson
Leiðbeinandi	Hrefna Kristmannsdóttir og Stefán Eiríkur Stefánsson
Upplag	5 eintök
Blaðsíðufjöldi	57
Útgáfu- og notkunarréttur	

Yfirlýsing

Ég undirritaður, lýsi því með yfir að ég er einn höfundur þessa verkefnis og að það er afrakstur eigin rannsókna.

Nemandi:

Snævar Már Gestsson

Það staðfestist að verkefni þetta fullnægir að mínum dómi kröfum til B.Sc -prófs við auðlindadeild Háskólans á Akureyri

Leiðbeinandi:

Hrefna Kristmannsdóttir

Abstract

From early settlement geothermal energy has played an important role for Icelanders. Geothermal water has been used for bathing, laundry and house heating, easing our lives for decades and even centuries. Earthquakes and volcanic activity have had great impact on the quality of life for the Icelanders. It is quite clear that technology, experience and courage has led Iceland to excellence in usage of geothermal energy to the countries advantage: for house heating, electricity production and fish drying e.g., despite its small population.

Seltjarnarnes has a geothermal field and that is classified as a boiling low-temperature area since the reservoir temperature is 120 to 140°C. At present, the area is used solely for heating, but binary production of electricity and cascade utilization is possible with today's technology. Around 0,5- 1 MW of electricity can be produced at Seltjarnarnes by using binary production ORC as used at Svartsengi or Kalina technology such as used in Húsavík.

Geothermal bath industry has been growing rapidly in the past years around the world and in Iceland. Many tourists travel to enjoy such entertainment. The Blue Lagoon in Iceland has more than 400.000 visitors each year and it is becoming one of the most famous geothermal spas in the world. There are good possibilities to open a geothermal spa at Seltjarnarnes. The chemical composition of the Seltjarnarnes geothermal water is very similar to the water at the famous geothermal spa Baden Baden in Germany.

Keywords: Geothermal energy, Seltjarnarnes, cascade use, balneology, binary production of electricity, tracer test.

Þakkarorð

Fyrir það fyrsta vil ég þakka leiðbeinanda mínum Hrefnu Kristmannsdóttur fyrir þá miklu aðstoð sem ég fékk hjá henni til að vinna þetta verkefni. Ég vil þakka Stefáni Eiríki Stefánssyni fyrir góða aðstoð og fyrir heimsóknina suður til Seltjarnarness og kynningu á svæðinu. Þá vil ég þakka Hrefnu fyrir að leyfa mér að vera með í sýnatöku á vinnsluhölnum. Ég þakka Áslaugu unnustu minni fyrir þolinmæðina og þrautseigju að lesa og lagfæra klaufavillur. Einnig vil ég þakka fjölskyldu og vinum fyrir stuðninginn í náminu í gegnum árin.

Útdráttur

Á síðastliðinni öld hefur jarðhiti verið ein af mikilvægustu auðlindum Íslendinga. Jarðhiti hefur verið nýttur til baða, þvotta og húshitunar og hefur auðveldað líf Íslendinga í gegnum aldirnar og verið stór partur í velgengni okkar sem lítil þjóð. Jarðskjálftar, eldgos og öskufall hafa haft mikil áhrif á lifnaðarhætti Íslendinga og valdið þónokkrum erfiðleikum og rýrt lífsgæði okkar. Nokkuð ljóst er að forvitni, reynsla, tækni og þekking hafa gert okkur Íslendingum kleyft að nýta jarðhitann til margskonar ávinnings m.a. til húshitunar, raforkuframleiðslu og fiskþurrkunar.

Á Seltjarnarnesi er jarðhitasvæði og það flokkast undir sjóðandi lághitasvæði þar sem hiti í jarðhitageymnum er 120-150°C. Möguleikar á nýtingu jarðhitans eru töluverðir og mun fjölbreyttari en núverandi nýting á svæðinu, þ.e. vinnsla á heitu vatni til hitaveitu. Meðal þess sem til greina kemur auk vinnslu á heitu vatni er raforkuframleiðsla og heilsutengd ferðaþjónusta.

Með nýtingu jarðhitans til raforkuframleiðslu er þörf á sem hæstu mögulegu hitastigi svo nýting verði sem ákjósanlegust. Núverandi vinnsluholur gefa af sér vatn sem er um 120°C og með því væri hægt að framleiða um 0,5-1 MW af rafmagni með ORC tvívökvatækni eða Kalina tækni. Líklega væri þörf á að auka dælingu ef fara ætti í meiri raforkuframleiðslu og gæti það haft neikvæð áhrif á vinnslu jarðhitasvæðisins.

Heilsutengd ferðaþjónusta er sívaxandi afþreying í heiminum og hefur verið að vaxa hægt og rólega hér á landi. Mikið af erlendum ferðamönnum sækja í slíka þjónustu ár hvert hér á landi þá hjá Bláa Lóninu. Möguleikar væru fyrir opnun slíks heilsuhælis á Seltjarnarnesi því efnasamsetning jarðhitavatnsins er svipuð og frægt heilsuhæli Baden Baden í Þýskalandi.

Lykilorð: Jarðhiti, Seltjarnarnes, raforkuframleiðsla, heilsutengd ferðaþjónusta, fjölnýting, ferilprófanir.

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
2. Seltjarnarnes	3
2.1. Áhugaverðir staðir	4
2.2. Nesstofa	4
2.3. Lækningaminjasafn Íslands	4
2.4. Gróttta	5
3. Jarðhitasvæði Seltjarnarness	6
4. Almenn t eðli jarðhita	7
4.1. Hitastigull	7
4.2. Lekt	8
4.3. Háhitasvæði	9
4.4. Lághitasvæði	10
4.5. Fjölnýting jarðhita	11
5. Uppruni jarðhitavatnsins	12
5.1. Efni í jarðhitavatni	14
6. Saga Hitaveitu Seltjarnarness	15
6.1 Boranir og vinnsluholur	15
6.2 Vinnslueiginleikar svæðisins	17
7. Vinnslusaga	19
7.1. Núverandi vinnsla	20
8. Nýtingarmöguleikar	21
9. Raforkuframleiðsla	22
9.1. Raforkuframleiðsla Seltjarnarness	23
9.2. Hagkvæmni	25
9.3. Möguleg umhverfisáhrif	26
9.4. Niðurstaða	27
10. Niðurdæling	28
10.1. Niðurdæling Hitaveitu Seltjarnarness	29
11. Ferilprófanir	30
11.1. Ferilprófanir á Seltjarnarnesi	31

12. Heilsutengd ferðaþjónusta.....	33
12.1. Flokkun jarðhitavatns	34
12.2. Markhópar	35
12.3. Möguleikar á uppbyggingu heilsutengdrar ferðaþjónustu á Seltjarnarnesi.....	36
12.4. Niðurstaða	38
13. Niðurstöður rannsóknarverkefnisins	40
13.1. Vinnslueiginleikar	40
13.2. Raforkuframleiðsla.....	41
13.3. Heilsutengd ferðaþjónusta.....	42
14. Umræður.....	43
15. Lokaorð	44
Heimildaskrá	45

Myndaskrá

Mynd 1 (Landmælingar Íslands, e.d.)	3
Mynd 2 (Seltjarnarnesbær, e.d.)	5
Mynd 3 (Hrefna Kristmannsdóttir, 2011)	6
Mynd 4 Hitastigulskort (Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson og Ólafur G. Flóvenz, 2003). 7	
Mynd 5 Varmagjafi háhitasvæða (Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson, Guðni Axelsson, o.fl., 2010).....	9
Mynd 6 Varmagjafi lághitasvæða (Axel Björnsson, 1990).....	10
Mynd 7 Línurit Baldurs Línalds (Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson, 2001).....	11
Mynd 8 (Freysteinn Sigurðsson, Kristinn Einarsson, 1988).....	12
Mynd 9 Tvívetriskort af Íslandi (Bragi Árnason, 1976).....	13
Mynd 10 Breyting á klóríðstyrk frá 1972-1998 (Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Jón H. Björnsson, 2001)	18
Mynd 11 (Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson, 2001)	24
Mynd 12 Hóla SN-03 Mynd úr einkaeigu.....	29
Mynd 13 Stjórnþúnaður vegna niðurdælingar. Mynd úr einkaeigu.	29
Mynd 14 Fjarlægð holu SN-03 frá vinnsluholum á Seltjarnarnesi.	31
Mynd 15. Styrkur ferilefnisins fluorescein með tíma í holu SN-04 (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2012)	32
Mynd 16. Styrkur ferilefnisins fluorescein með tíma í holu SN-12 (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2012)	32

Töfluskrá

Tafla 1 Borholur á Seltjarnarnesi (Hrefna Kristmannsdóttir; Helga Tulinius; Jón H. Björnsson, 2001).....	16
Tafla 2 Samanburður á efnainnihaldi jarðvarmavatnsins á Seltjarnarnesi og Baden Baden Þýskalandi	37

1. Inngangur

Miðað við erlendar þjóðir þá er Ísland framarlega hvað varðar nýtingu jarðvarma. Hægt er að rekja það til þess að Íslendingar nýttu sér jarðhitann á höfuðborgarsvæðinu og víðsvegar um Ísland til baða og þvotta allt frá upphafi landnáms en nýting datt niður á miðöldum og var ekki óslitin. Ekki eru mörg lönd sem hafa jafnhátt hlutfall af heildarorkunýtingu sinni frá endurnýjanlegum orkugjöfum og Ísland. Nauðsynlegt þykir að halda slíkri þróun áfram og vera ávallt tilbúin að prófa nýjungar sem eiga við hverju sinni. Það er mikil auking á lífsgæðum að hafa aðgang af nægilegu heitu vatni. Ef litið er yfir landið sést augljóslega hvar jarðhita er að finna og hversu miklu máli hann skiptir fyrir svæðin þar sem byggð hefur vaxið og dafnað. Nýting jarðhita til upphitunar, baða og rafmagnsframleiðslu er orðin sjálfsögð mannréttindi í því velmegunarsamfélagi sem við lifum í og nauðsynlegt er að gera sem flestum kleyft að nýta sér þessa auðlind eftir bestu getu að hverju sinni.

Seltjarnarnes er þekkt fyrir að vera fallegur staður og kenndur við að vera landminnsti kaupstaður Íslands eða rétt um 2 km². Á yfirborði er ekki vart við jarðhita og því engin sjáanleg ummerki líkt og hverar eða heitar laugar. Eftir að borun hófst 1965 og fyrsta húsið var tengt við hitaveituna í desember 1971 hefur Hitaveita Seltjarnarnesar dafnað vel og hefur gefið vel af sér. Komin er meira en 41 ára reynsla af hitaveitunni og mikil reynsla hefur fengist í gegnum árin, líkt og hvernig er tekið á tæringu á lögnum og ofnum vegna hás hlutfalls seltu í vatninu. Nýting jarðhitakerfisins er sjálfbær eins og staðan er í dag því það tekur jarðhitakerfið frekar stuttan tíma að jafna sig eftir að mikil vinnsla hefur átt sér stað janfvel á álagstímum líkt og á köldum vetrardögum (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2011).

Aðalmarkmið þessa verkefnis er að reyna að leggja mat á það hvort þeir möguleikar séu fyrir hendi að nýta jarðhitasvæði Seltjarnaness til frekari vinnslu líkt og rafmagnsframleiðslu, auka vinnslugetu borholana, auka niðurdælingu og langtímaáhrif niðurdælingar. Helstu þættir þessarar athugunar er að meta hagkvæmni og bestu nýtingu svæðisins út frá rannsóknum sem gerðar hafa verið á svæðinu í gegnum árin ásamt forðafræðilegum eiginleikum frá niðurstöðum ferilprófana. Er

hagkvæmt að fara í raforkuframleiðslu með því að nýta vatnið á annan hátt og gert er í dag en samt stuðla að sjálfbærri notkun?

Eftir að búið er að fara í gegnum öll gögn sem snúa að hagkvæmni og hugsanlega möguleika á frekari nýtingu verður hægt að draga ályktanir í þeim efnum.

Helstu rannsóknarspurningarnar eru:

- Er núverandi vinnsla sú ákjósanlegasta eða má bæta hana?
- Er unnt að dæla affallsvatni niður í svæðið og þá hve miklu magni?
- Er hættu á verulegri kólnun jarðhitasvæðisins með niðurdælingu?
- Eru möguleikar á rafmagnsframleiðslu samhliða hitaveiturekstri?
- Er þörf fyrir nýrri vinnsluholu?
- Mun vinnslan haldast sjálfbær komandi ár miðað við mismunandi forsendur?

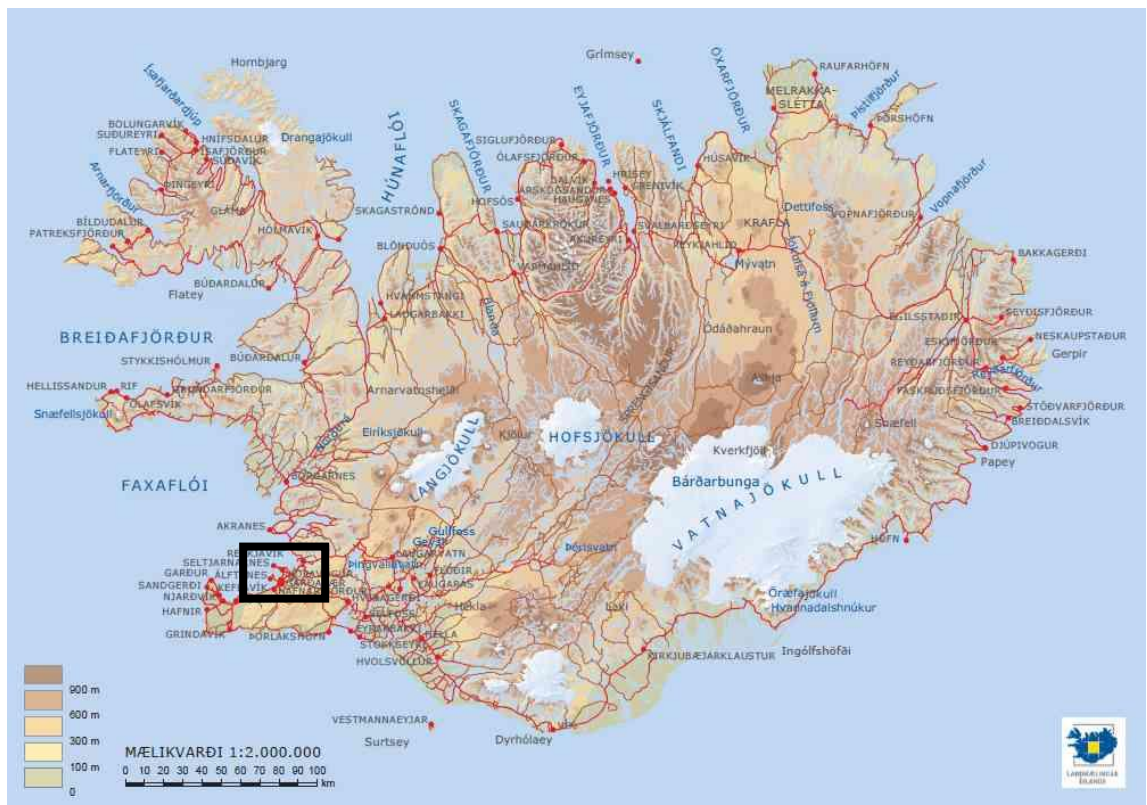
Hitaveita Seltjarnarness hefur verið rekin á kostnaðargrundvelli í eigu bæjarins sem sameignarfélag en ekki sem eiginlegt fyrirtæki. Hitaveitan í dag er að skila veltu upp á 100-110 milljónir ár hvert og er hagnaðurinn tæpar 30 milljónir. Erfitt er að vita hver langtímaáhrifin verða ef farið er í frekari boranir og til að sinna aukna eftirspurn eftir heitu vatni á svæðinu. Slíkt þarf að meta og gera áætlanir, framtíðarplön (Stefán Eiríkur Stefánsson hitaveitustjóri, 2011).

Í upphafi ritgerðarinnar er samantekt um jarðhita á Íslandi, hvaðan jarðhitavatnið kemur, vinnsla hitaveitu Seltjarnarness í dag og hér á árum áður. Fjallað verður um þá möguleika sem eru fyrir hendi með frekari nýtingu jarðhitans. Tekið verður ítarlega á rannsóknum á jarðhita í gegnum árin, nýtingu jarðhita á svæðunum á höfuðborgarsvæðinu og veitunum þar í kring.

Helstu heimildir sem notaðar eru í verkefninu eru ritaðar heimildir og bækur auk netheimilda sem notaðar voru við ritun fræða- og heimildakafla um jarðhita og bakgrunnsefni við umfjöllun um verkefnið. Meginheimildir við úrvinnslu verkefnisins sjálfs voru að mestu ýmsar greinargerðir, útgefnar skýrslur um vinnslueftirlit hitaveitu Seltjarnarness allt frá árunum 2000 til dagsins í dag.

2. Seltjarnarnes

Seltjarnarnes er kaupstaður staðsettur á höfuðborgarsvæðinu og er talið landminnsta sveitarfélag Íslands. Heildarstærð svæðisins er rétt í kringum 2 km². Það sem einkennir nesið er að það er mjög lágrent, rétt í kringum 31 metra yfir sjávarmáli. Öll ströndin er mjög vogskorinn og það hefur orðið mikið landrof vegna sjógangs undanfarna áratugi. Stórir og miklir varnargarðar hafa verið hlaðnir á flestum stöðum í kringum nesið. Seltjarnarnesbær heldur sínu fallegu umhverfi við og hægt er að segja að bærinn sé til fyrirmyndar í þeim málum. (Seltjarnarnesbær, e.d) Öll þjónusta er til staðar í bænum og lífsgæði eru mjög góð. Fallegur gólfvöllur er suðvestur af Seltjarnarnesi nefnt Suðurnes og er mikil ásókn á hann ár hvert vegna staðsetningar og fallegs umhverfis. Seltjarnarnes fékk kaupstaðaréttindi 29. mars 1974. Íbúarfjöldi Seltjarnarnes er rétt í kringum 4500 (4.313) (Hagstofa Íslands, e.d.).



Mynd 1 (Landmælingar Íslands, e.d.).

2.1. Áhugaverðir staðir

Seltjarnarnes býður upp á mjög marga staði sem vert er að skoða og farið verður yfir þá helstu hér fyrir neðan.

2.2. Nesstofa

Nesstofa er talin vera meðal elstu steinhúsa landsins byggð í kringum 1761 undir fyrsta landlækni Íslands, Bjarna Pálsson (Nordic Adventure Travel, e.d). Nesstofa er staðsett á Seltjarnarnesi við Neströð og er í umsjón Þjóðminjasafns Íslands. Þegar komið er inn í safnið er hægt að ganga á yfir 250 ára gömlu timburgólfi skyggnast í búsetu í Nesi allt frá landnámsöld til dagsins í dag, einnig er þar staðsett Lækningaminjasafn Íslands (Seltjarnarnesbær, e.d).

2.3. Lækningaminjasafn Íslands

Frumkvöðull að Lækningaminjasafni Íslands er Jóni Steffenen prófessor sem safnaði að sér læknamunum allt frá árinu 1940 þar til hann lést sumarið 1991. Munir safnsins eru frá miðri 18. öld og koma frá skólum, einstaklingum rannsóknarstofum, lyfjasölum og sjúkrahúsum víðs vegar af landinu. Safnið samanstendur af tækjum og tólum sem falla undir lækningartæki og einstaka muni. Hægt er að skyggnast inn í sögu lækninga Íslands, þróunina og sögu þjóðarinnar. Safnið inniheldur ljósmyndir, skjöl, hvers kyns muni, hljóðrit og myndbandsupptökur sem varpa ljósi á sögu íslenskra lækninga (Seltjarnarnesbær, e.d).

Safnið vinnur að því í dag að safna að sér öllum þeim minjum sem tengjast lækningum á fyrri árum á einn eða annan hátt.

Í dag hefur safnið aðsetur á nesinu við Seltjörn sem er safnaðarhús í umsjón Þjóðminjasafn Íslands. Skóflustunga að nýju Lækningaminjasafni Ísland var tekin árið 2008, 1400 fermetra hús með safnaaðstöðu og þjónustumiðstöð. Safnið er samstarfsverkefni Seltjarnarnesbæjar, menntamálaráðuneytisins, Þjóðminjasafns Íslands, Læknafélags Reykjavíkur og Læknafélags Íslands. Framkvæmdir hófust í september 2008 og standa enn yfir. Reiknað er með að safnið verði tilbúið í lok ársins 2013 (Læknaminjasafn Íslands, e.d).

2.4. Gróttta

Gróttta er lítil eyja, staðsett vestur af Seltjarnarnesi. Gróttta er tengd við land með mjóum granda sem fer á kaf á flóði. Eyjan var friðlýst árið 1974. Mörk friðlandsins ná frá stórstraumsflóði landmegin á eiðinu og allt að 115 metra á sjó út frá fjöru umhverfis eyjuna (Seltjarnarnesbær, e.d). Mikið hefur brotnað af eyjunni undanfarna áratugi en með hleðslu á grjóti umhverfis eyjuna hefur verið komið í veg fyrir áframhaldandi brot og landsig. Öll umferð um svæðið er bönnuð frá 1. maí til 15. júlí vegna fuglaverndunar. Eyjan setur mikinn svip á svæðið í kring og er mjög gróin og gróskuleg. Að auki er hún rík af fjölbreyttu fuglalífi og rannsóknir benda til að allt að 450 kríupör séu í Grótttu hvert sumar. Í Grótttu stendur fallegur og tignalegur viti sem var fyrst reistur árið 1897 og bjó þar lengi vitavörður að nafni Albert Þorvarðarson. Vitinn fær mikla athygli ár hvert (Umhverfisstofnun, e.d).

Haustið 2000 var opnað fræðasetur í Grótttu með aðstöðu á funda- og námsaðstöðu í óhefðbundnu umhverfi. Markmið Fræðasetursins er að náttúra og umhverfi nýtist á hvað fjölbreytilegasta hátt fyrir unga sem aldna. Ferðir í Fræðasetrið eru háðar flóði og fjöru að hverju sinni (Seltjarnarnesbær, e.d).

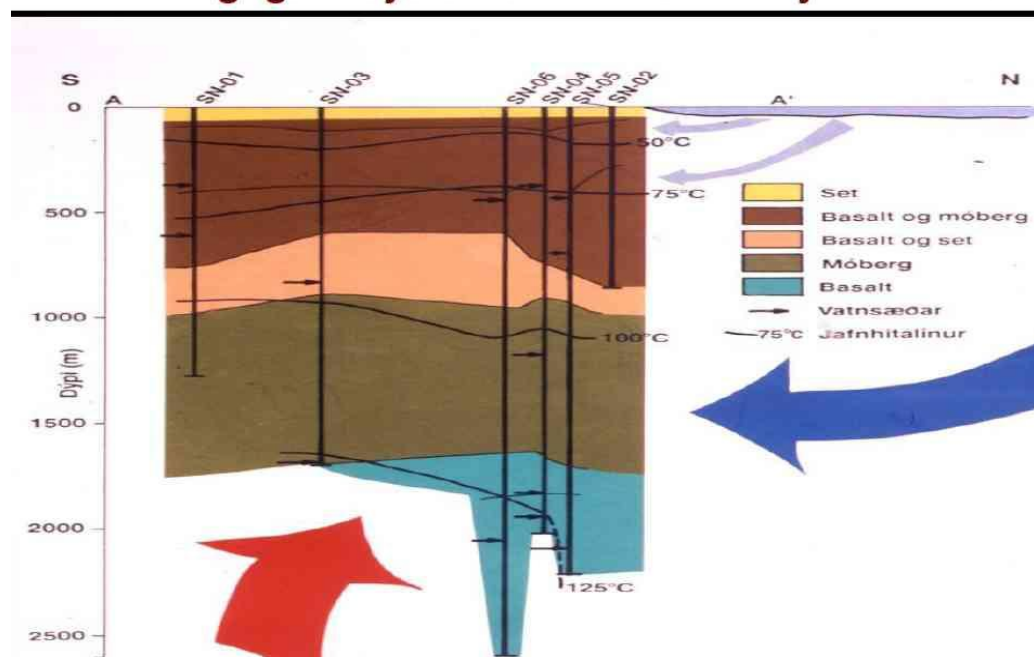


Mynd 2 (Seltjarnarnesbær, e.d).

3. Jarðhitasvæði Seltjarnarness

Jarðhitasvæði Seltjarnarness er aðallega byggt upp af berggrunni móbergs og hraunlögum sem eru um 2,5-3 milljón ára gömul. Hitastig í jarðhitageymi er allt að 140°C. Staðsetning svæðisins er innan Kjalarneseldstöðvarinnar líkt og hin jarðhitasvæðin á og við höfuðborgarsvæðið. Einkennandi jarðmyndun úr súrum og ísúrum hraunlögum má rekja þvert yfir svæðið og hallar frá um eins kílómetra dýpi á Seltjarnarnesi allt að tveggja kílómetra dýpi undir Elliðaársvæðinu (Guðmundur Ómar Friðleifsson, 1990).

Þversnið gegnum jarðhitasvæðið á Seltjarnarnesi



Mynd 3 (Hrefna Kristmannsdóttir, 2011).

Svo virðist sem að flest öll jarðhitasvæðin á Reykjavíkursvæðinu séu í þrýstisambandi, en hafi staðbundna hitagjafa og aðstreymissvæði og eru vinnslueiginleikar þeirra oft ekki frábrugðnir hver öðrum. Seltjarnarnes er eina jarðhitasvæðið á höfuðborgarsvæðinu þar sem ekki var sjáanleg hveravirkni á yfirborði fyrir borun (Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Ingvar Birgir Friðleifsson, 1977). Jarðhitasvæðið var fyrst talið tengjast Álftanesi en hitastigulsboranir 1993-1994 sýndu fram á annað (Kristján Sæmundsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Jens Tómasson og Hilmar Sigvaldason, 1993). Uppruni jarðhitavatsins hefur verið rakið að suðurparti af Langjökli sem er um 80 km frá svæðinu (Bragi Árnason, 1976).

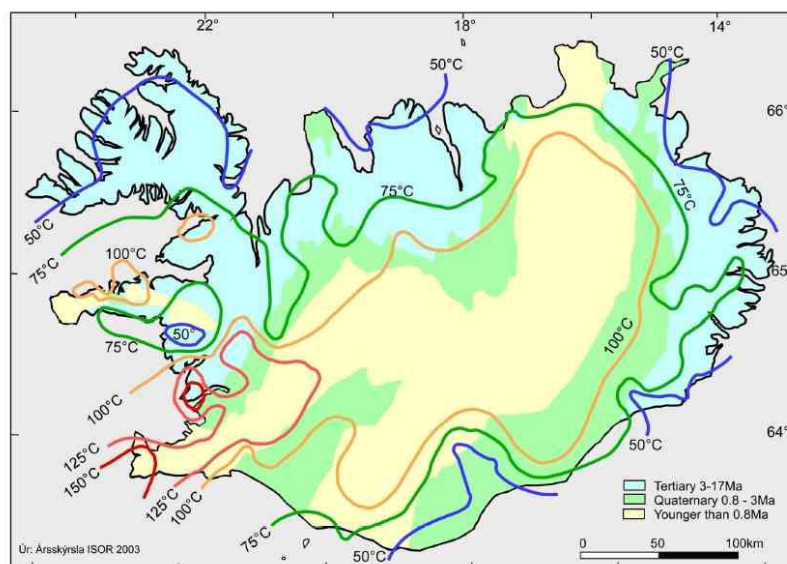
4. Almennt eðli jarðhita

Ísland er staðsett á skilum Evrasíu (Evrópu og Asíu flekanum) og Ameríkuflekanum. Varmaleiðni kemur frá heitum kjarnanum upp í gegnum möttul og skorpu. Varmaflæði flyst upp möttulstrókin í skorpunum. Aðalvarmaburðurinn í jarðhitasvæðum er vatnið. Forsenda jarðhita er heitt berg og gnægð vatns sem Ísland býr yfir að (Guðmundur Pálmason, 2005).

4.1. Hitastigull

Við mælingar á hitastigi í jörðu er notað hugtakið hitastigull og er honum lýst sem vaxandi hitastig með auknu dýpi í °C/km. Ísland hefur mjög háan hitastigull og er hann hærri en meðalhitastigull jarðar (Axel Björnsson, Guðni Axelsson og Ólafur G, Flóvenz, 1990).

Háan hitastigull hér á Íslandi má hægt að rekja til staðsetningar Íslands á Mið-Atlantshafshryggnum sem aðskilur Evrópu og Ameríku flekana. Þessi flekar reka sinn í hvora áttina, austur og vestur, sem veldur því að Ísland er tiltölulega ungt nær miðju, en eldra því sem fjær dregur miðju. Hitastigullinn er allt að 100°C/km við miðju virku gosbeltanna en rétt um 50°C/km við austur og vesturströndina (Axel Björnsson, Guðni Axelsson og Ólafur G, Flóvenz, 1990).



Hitastigulskort, tölur sýna hitastigul í °C / km (samsvarar hitastigi á 1 km dýpi)

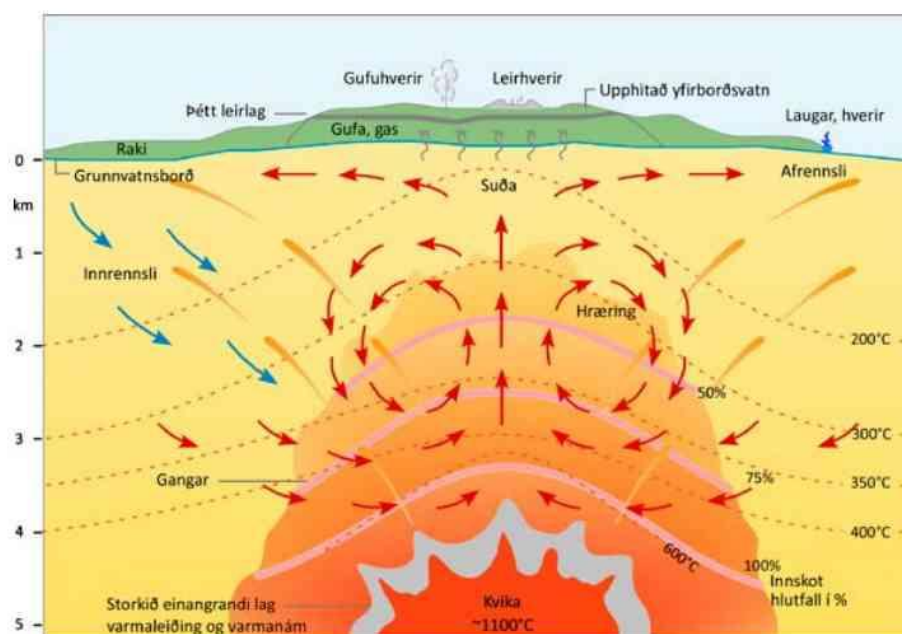
Mynd 4 Hitastigulskort (Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson og Ólafur G. Flóvenz, 2003).

4.2. Lekt

Mælikvarði á hversu vel berg leiðir vatn er kallað lekt. Því hærri lektrastuðul sem bergið hefur því auðveldara er fyrir vatnið að streyma í gegnum sprungur og gloppur í berginu. Eldra berg er þéttara í sér og leiðir vatnið í flestum tilfellum verr. Ef mikið er um jarðhræringar á svæðinu og stöðug myndun á nýjum sprungum og bergi frá gosbeltum verður lektin hærri. Nýtt hraun er samsett úr gropnum berglögum og virkum sprungum. Varmaleiðni bergs er sá varmi sem flyst til yfirborðs með berginu og varmaburður er flutningur varma með gasi og vökva. Varmaburður er töluvert virkari flutningsleið en varmaleiðni og það útskýrir muninn á há- og lághitasvæðum og farið verður nánar í skilgreiningu á þeim og mismun hér fyrir neðan (Guðmundur Pálmason, 2005).

4.3. Háhitasvæði

Skilgreiningin á háhitasvæði er sú að hiti á 1 km dýpi sé yfir 200°C. Í flestum tilfellum er hitastig vatnsins á milli 250 og 320 °C. Bergvatnið sem rennur niður að kólnandi kvikuinnskotum kemur að mestu frá úrkomu. Sjórinn gegnir sama hlutverki við ströndina og grunnvatnið hærra í landinu. Næst ströndinni eru háhitakerfin sölt eða ísölt. Vegna hás hita eru háhitasvæðin heppileg til raforkuframleiðslu. Helstu háhitasvæðin hér á landi eru Reykjanes, Svartsengi, Krísuvík, Hengill, Torfajökulssvæði, Grímsvötn, Námaskarð og Krafla (Guðmundur Pálmason, 2005).



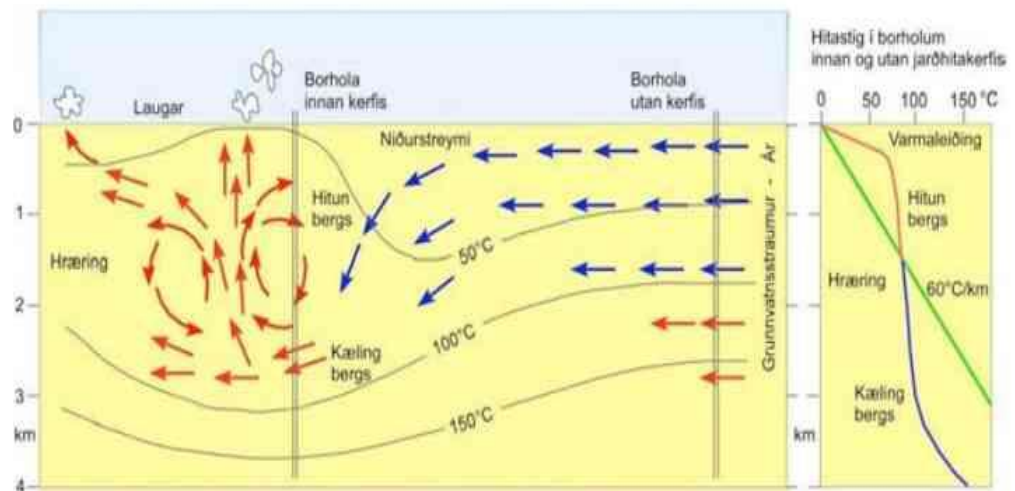
Mynd 5 Varmagjafi háhitasvæða (Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson, Guðni Axelsson, o.fl., 2010).

Mynd 5 gefur til kynna að háhitakerfið er flókið samspil á staðbundni hringrás, þar sem kalt grunnvatn rennur niður í jarðskorpuna og nemur á brott varmann úr heitri kvikunni eða bergi. Við það hitnar vatnið og það stígur upp til yfirborðsins og mjög stór hluti þess kemur upp á yfirborðið um glufur í gropnu bergi eða sprungur. Við þetta nemur vatnið stöðugt varma úr iðrum djúprar hringrásar og flytur varmann upp á yfirborð jarðskorpunar.

Háhitavatn hefur hátt hlutfall af uppleystum efnum sem veldur því að ekki er hægt að nýta vatnið beint vegna hættu á útfellingu og tæringu (Hrefna Kristmannsdóttir, 2008).

4.4. Lághitasvæði

Laugar og hverir eru eitt af yfirborðseinkennum lághitasvæða með hitastig á bilinu 15-100°C. Talið er að það séu í kringum 600 til 700 laugar og hverir hér á landi. Fjöldi lághitasvæða eru í kringum 250 um allt land en einna fæst á Suðausturlandi og Austurlandi (Guðmundur Pálmason, 2005).



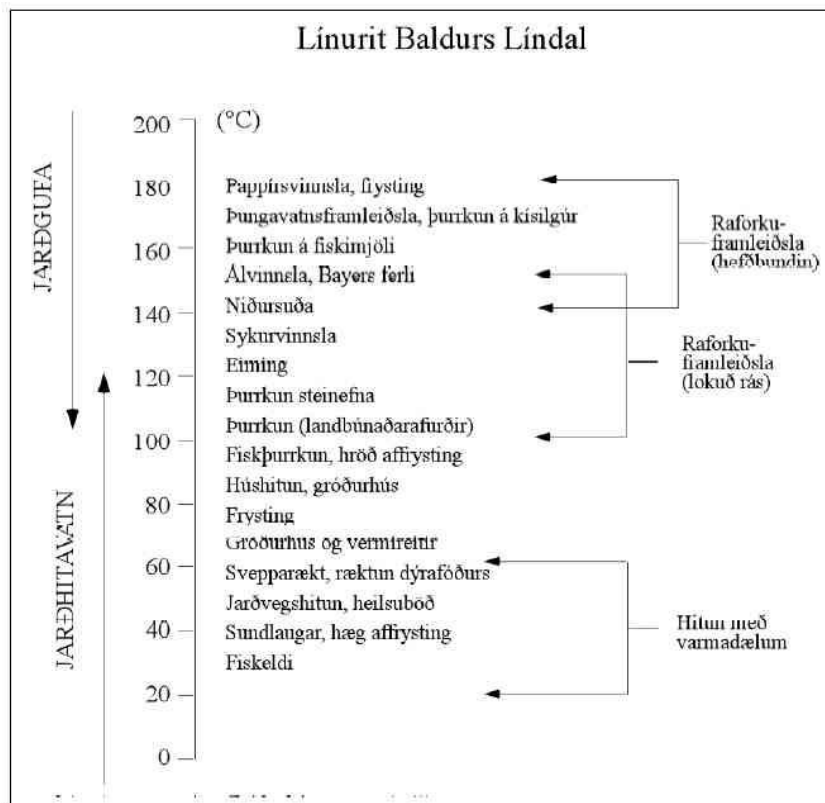
Mynd 6 Varmagjafi lághitasvæða (Axel Björnsson, 1990) Það á sér stað staðbundin hræring grunnvatns í lekum sprungum þar sem heitt vatn stígur upp til yfirborðs og kalt grunnvatn sekkur niður og dregst að þeim. Hægra megin er sýndur ótruflaður hitastigull, 60°C/km (grænn) og hitaferill í borholu (rauður og blár).

Hiti er hæstur á þeim lághitasvæðum sem liggja næst eldvirka sprungusvæðinu en fer lækkandi eftir því sem fjær dregur. Stærstu lághitasvæðin liggja sunnan- og vestanlands, svo sem Reykir í Mosfellssveit, sem er stærst, og Reykholtssvæðið í Borgarfirði, svo að einhver séu nefnd. Lághitasvæði Íslands finnast bæði í og við jaðra gosbeltanna. Varminn kemur frá heitu bergi líkt og kólnandi innskotum og vatn í jörðu hitnar smám saman upp þegar það rennur um heitt bergið.

Uppruni vatnsins er yfirleitt regnvatn frá hálandinu og er því búið að ferðast langa vegalengd niður að láglandinu. Mikið vatn og hratt rennsli þess gerir það að verkum að ekki er mikið af uppleystum efnum í því. Lághitavatnið hefur lágan styrk af uppleystum steinefnum og gösum, venjulega um 200-400mg/L. Við aukinn hita berggrunnss eykst hlutfall uppleystra efna í vatninu líkt og kísill, en karbónat og magnesíum hafa minnkandi styrk við hækkandi hitastig. Þær gastegundir sem uppleystar eru í vatni eru t.d. brennisteinsvetni og það eyðir súrefni í vinnsluvatni ef það er til staðar. Ósalt vatn lághitasvæða hefur pH gildið á milli 9-11. Salt jarðhitavatn hefur lægra pH (Hrefna Kristmannsdóttir, 2008).

4.5. Fjölnýting jarðhita

Með fullri nýtingu á jarðhita er verið að leitast við að nýta allan þann varma sem mögulegt er og láta sem minnst fara til spillis áður en affallsvatnið er losað út í umhverfið. Háhitasvæði sem gefur af sér yfir 150°C heita gufu er hægt að nýta til raforkuframleiðslu og einnig til iðnaðar eða margskonar þurrkunar. Eftir að gufan þéttist og hitastig lækkar verður hún á formi vatns. Þegar komið er á þetta stig er hægt að nota vatnið til húshitunar með varmaskipti. Íslendingar hafa verið mjög framalega í nýtingu á jarðvarma og hefur átt sér stað áratuga þróun í vinnslu hans, sem haft hefur mikil áhrif á uppbyggingu jarðvarmavirkjana hér á landi og einnig erlendis (Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson, 2001).

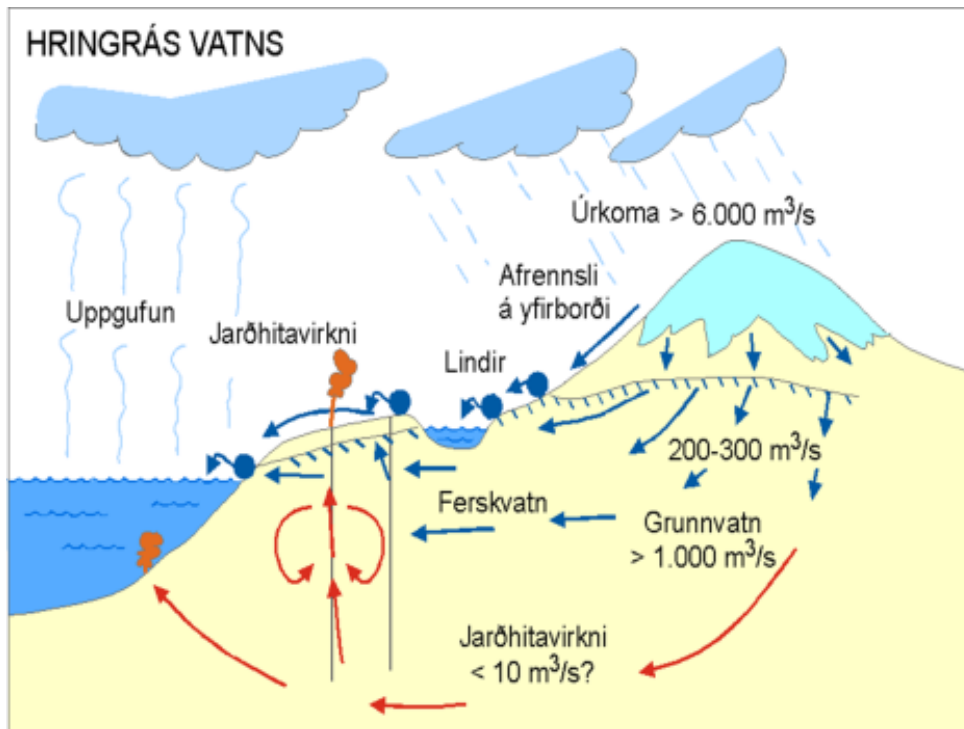


Mynd 7 Línurit Baldurs Líndals (Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson, 2001)

Á mynd 7 sést hversu fjölbreytileg nýting á jarðhitanum getur orðið með því að nýta hann áfram samfara hitafalli. Raforkuframleiðsla er mjög ofarlega í fjölnýtingar ferlinu og með nýlegri tvívökvatækni er möglegt að framleiða rafmagn með góðu móti úr lághitasvæðum (Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson, 2001).

5. Uppruni jarðhitavatnsins

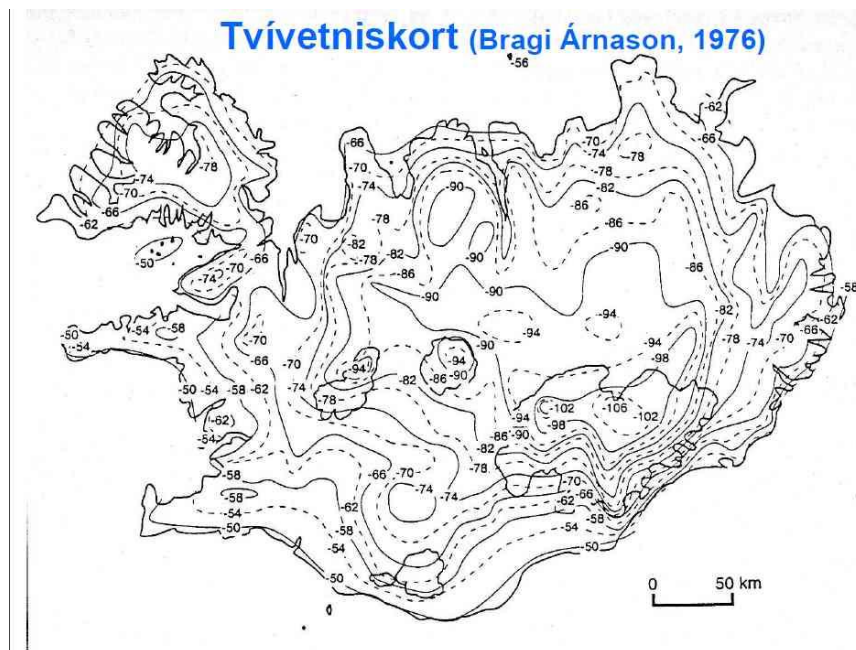
Mest allt jarðhitavatn á uppruna sinn úr regnvatni, þó dæmi séu um sjávaruppruna að hluta til (Hrefna Kristmannsdóttir, 2004). Á Íslandi er mesta afrennsli allra landa í Evrópu, eða um $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ (úrkomun). Afrennslið fer allt til sjávar, en líttill hluti úrkomunnar fer niður í berggrunninn og myndar grunnvatnið (Mynd 8).



Mynd 8 (Freysteinn Sigurðsson, Kristinn Einarsson, 1988).

Þegar rannsaka á uppruna jarðhitavatns er kannað tvívætnisinnihald jarðhitavatns og úrkomunnar. Með tvívætnisinnihaldi er átt við hlutfall mismunandi samsætna vetnis í vatnssameindinni, það er að segja vetnis með massatölu 1 eða 2. Regnvatn sem fellur við ströndina hefur hærra hlutfall vetnissamsæta með massatöluna 2 en í regnvatni sem fellur á hálendið. Stafar það af því að við þéttingu vatnsins verður auðgun á einvetni, þ.e. vatnið léttist (Bragi Árnason, 1976).

Hitastig hefur reyndar einnig talsverð áhrif á þetta ferli. Hægt hefur verið að kortleggja líklegustu rennisleiðir grunnvatns með mælingum á vetnissamsætum hér á landi. Á mynd 9 er sýnt tvívætniskort sem Bragi Árnason (1976) útbjó, byggt á niðurstöðum rannsókna sinna. Á því er hægt að rekja uppruna vatnsins frá tvívætnisstyrk þess. Rannsóknir hér á landi sýna að mjög mörg ólík vatnskerfi eru á mjög litlu svæði víðs vegar um landið, en í stórum dráttum sést að léttasta vatnið fellur sem regn á hálendinu (Bragi Árnason, 1976).



Mynd 9 Tvívætniskort af Íslandi (Bragi Árnason, 1976).

5.1. Efni í jarðhitavatni

Eins og kom fram hér að ofan er jarðhitavatn á Íslandi er að mestu leyti regnvatn að uppruna. Vatnið seytlar um berggrunninn eftir að það fellur á jörðina og leitast við að komast í efnajafnvægi við berggrunninn við það hitasig sem er á viðkomandi dýpi. Við það hvarfast vatnið við bergið og það losnar efni úr berginu út í vatnið og eftir því sem vatnið er heitara verður styrkur flestra efna hærri og efnabreytingarnar hraðari, en fyrir sum efni lækkar styrkurinn (Hrefna Kristmannsdóttir, 2008). Í vatninu er tiltölulega lítið af uppleystum efnum vegna þess hversu lekt bergið er og vatnsrennsli mikið og því stuttur hvarftími (Guðmundur Pálmason, 2005).

Þegar regnvatn fellur á yfirborð jarðar er það súrefnisríkt en um leið og vatnið byrjar að seytla um berggrunninn binst súrefnið berginu og eyðist úr vatninu. Þetta gerir það að verkum að mest allt jarðhitavatn sem hefur hitastig yfir 70°C er súrefnissnautt. Dæmi eru þó um að ef kalt grunnvatn kemst í jarðhitakerfið getur það valdið súrefnistæringu og útfellingum í jarðhitamannvirkjum. Algengast er þó að súrefnistæring í lögnum stafi af því að súrefnið kemst inn um tengingar og geymslutanka. Að auki eru dæmi um tæringu, einkum við ströndina ef jarðhitakerfi verður saltmengað, það veldur hraðri tæringu og aukningu í útfellingum, líkt og gerðist á Seltjarnarnesi. Það olli talsverðum skemmdum á ofnakerfum í flestöllum íbúðarhúsum áður en settir voru upp forhitarar í hvert hús (Hrefna Kristmannsdóttir, 2008).

Jarðhitavatninu er skipt upp í sjö flokka: salt háhitavatn, saltmengað háhitavatn, ósalt háhitavatn, salt lághitavatn, saltmengað lághitavatn, ósalt lághitavatn og kolsýruvatn (Hrefna Kristmannsdóttir, 1990). Vatnið sem notað er í flestallar hitaveitur á Íslandi er ferskt lághitavatn, það hefur lágan styrk uppleystra efna, er alveg ósalt og hentar því einstaklega vel til hitaveitunýtingar. Sýrustig er frekar hátt og vatnið er yfirleitt í jafnvægi við kísil og kalk. Hitaveituvatn getur einnig innihaldið brennisteinsvetni, en það er af því góða þar sem það binst súrefninu og virkar sem tæringarvari (Hrefna Kristmannsdóttir, 1990).

6. Saga Hitaveitu Seltjarnarness

Seltjarnarnesbær rekur Hitaveitu Seltjarnarness, sem nýtir jarðhitasvæðið. Er jarðhitasvæðið eitt af mörgum jarðhitasvæðum í nálægð við höfuðborgarsvæðið. Þegar vinnsla hófst á svæðinu kom fljótt í ljós að hún væri nokkuð ólík því sem gerist á höfuðborgarsvæðinu þar sem vatnið er töluvert saltara. Eftir því sem vinnsla jókst jafnt og þétt með árunum kom í ljós að innstreymi frá sjónum hefði aukist til muna. Ástæða seltuaukningar er sú að svæðið er staðsett mjög nálægt sjó. Eftirlit með vinnslu hefur verið mjög gott undanfarin þrjátíu ár (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2011).

6.1 Boranir og vinnsluholur

Boraðar hafa verið 12 holur á svæðinu og 5 þeirra hafa verið ætlaðar til vinnslu (Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Jón H. Björnsson, 2001). Fjórar af þeim eru enn í notkun, það eru SN-04, SN-05, SN-06 og SN-12. Tafla 1 sýnir þær holur sem hafa verið boraðar allt frá fyrstu holunni (1965) til þeirrar nýjustu (1994). Árið 1965 var fyrsta hitastigulsholan boruð. Frá árunum 1966-1967 voru tvær fyrstu hitastigulsholurnar boraðar aftur til víkkunar og dæluþrófana. Árið 1970 var fyrsta vinnsluholan boruð. Tveimur árum síðar var Hitaveita Seltjarnarness formlega stofnuð og þá var vatnið úr holu SN-03 og SN-04 nýtt. Þessar holur gáfu af sér að meðaltali um 105°C heitt vatn og rennsli þeirra var frá 15 l/s upp í 35 l/s. Báðar holurnar voru grunnt fóðraðar og námu vatn úr misheitum vatnskerfum, sem olli miklum sveiflum á vinnsluhitastigi við mismikla dælingu. Eftir því sem byggðin stækkaði á Seltjarnarnesi þá jókst vinnslan til muna, við aukna vinnslu lækkaði vatnsborð í hverri holu fyrir sig og var mjög sveiflukennt í þeim í nokkur ár. Eftir að skipt var úr hemlum í mæla í dreifikerfinu hækkaði vatnborðið aftur og hefur verið nær stöðugt s.l. rúm tuttugu ár (Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Jón H. Björnsson, 2001).

Tafla 1 Borholur á Seltjarnarnesi (**Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2001**).

Hola nr.	Borun lokið árið	Borholudýpt (metrar)	Dýpt vinnslu fóðringar(metrar)	Gerð borholu
SN-01	1967	1282	18,5	Eftirlitshola
SN-02	1965	856	81,5	Eftirlitshola
SN-03	1970	1715	99	Eftirlitshola*
SN-04	1972	2025	172	Vinnsluhola
SN-05	1981	2207	168	Vinnsluhola
SN-06	1985	2701	414	Vinnsluhola
SN-07	1993	154	#	Rannsóknar- hola
SN-08	1993	153	#	Rannsóknar- hola
SN-09	1994	132	#	Rannsóknar- hola
SN-10	1994	132	#	Rannsóknar- hola
SN-11	1994	145	#	Rannsóknar- hola
SN-12	1994	2714	791	Vinnsluhola

*Fyrverandi vinnsluhola, # Engin vinnslufóðring

Þegar kom að rannsókn jarðhitasvæðisins og námkvæmri staðsetningu á vinnsluholum var ekki hægt að notast við hefðbundnar jarðeðlisfræðimælingar til vegna þéttar byggðar og því byggist staðsetning vinnsluholna á hitastigulsborunum og reynslu af fyrri vinnsluholum.

Áður en hafist var handa við að bora síðustu vinnsluholuna árið 1994, SN-12, voru boraðar á svæðinu 5 hitastigulsholur til að ná kortleggja og afmarka nánar legu jarðhitasvæðisins og geta staðsett nýju vinnsluholuna (Kristján Sæmundsson, o.fl., 1993). Við boranir á svæðinu kom í ljós að aðaluppstreymi jarðhitasvæðisins væri nyrst á nesinu, eða öllu heldur rétt norðan við nesið við sjávarbakkann. Við lok borunar á síðustu vinnsluholunum á Seltjarnarnesi hefur þurft að örva þær með þrýstidælingu með pakkara svo hægt er að auka vinnslugetu þeirra. SN-12 stóð sig hvað best í þrýstidælingu og er í dag lang gjöfulegasta vinnsluholan (Hrefna Kristmannsdóttir, o.fl., 2001).

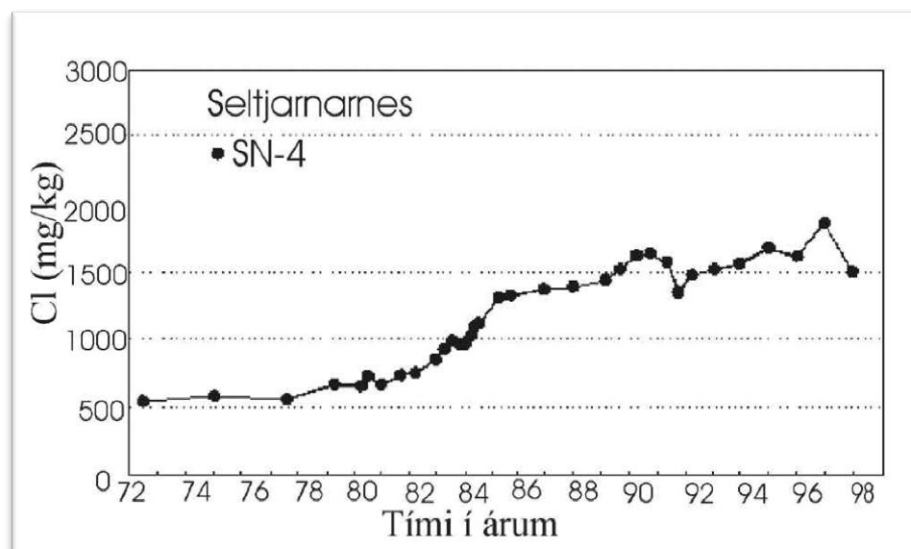
6.2 Vinnslueiginleikar svæðisins

Eftir að vinnsla hófst þá kom í ljós að selta vatnsins jókst stöðugt með aukinni vinnslu frá því sem hún var í fyrstu (Hrefna Kristmannsdóttir, 1983).

Önnur jarðhitasvæði á höfuðborgarsvæðinu eru með miklu lægri seltu. Venjulegur sjór hefur meðalseltu upp á 35‰ sem tilsvavar u.þ.b. 19800 mg/L af klóríði (Cl) og jarðhitavatnið á Seltjarnarnesi hafði upprunalega um 1‰ seltu og um 550 mg/L af klóríði (Cl). Núverandi selta vatnsins er hins vegar um 3,5‰. Salt vatn verður mjög tærandi fyrir stál ef ögn af súrefni kemst í snertingu við það. Stuttu eftir að hitaveitan jók vinnslu sína eftir að byggðin stækkaði komu upp tæringarvandamál og ofnar entust mjög stutt (Hrefna Kristmannsdóttir, o.fl., 2001). Komið var á fót óformlegum samstökkum „Ofnavinafélag“ sem sá bæjarbúum fyrir viðgerðum á þeim ofnum sem skemmdust vegna tæringar. Félagið var einnig í farabroddi í því að þrýsta á stjórn hitaveitunar um að það yrðu gerðar umbætur og róttækar aðgerðir á kerfinu til að koma í veg fyrir áframhaldandi vandamál. Oftast kom lítið nálarauga gegnum stálið, sem gerði það að verkum að ofnarnir fóru að leka. Varð þetta mikið hitamál í bænum þegar ástandið var sem verst. Allt frá 1975 til 1985 voru ítrekuð vandamál vegna tæringa. Efnaþblöndun var hafin í því skyni að hækka sýrustig vatnsins til að minnka tæringuna en sú aðgerð var ekki heppileg þar sem hún kom af stað útfellingu og var hætt fljótlega. Árið 1984 var það sett í byggingarreglugerð að nota ætti forhitara á hitakerfi og þá dró verulega úr tæringavandamálum (Seltjarnarnesbær, e.d).

Hitastig og selta eru mjög breytileg eftir staðsetningu holnanna og dýpi vatnsæða. Æðarnar taka vatn sitt úr þremur mismunandi vatnskerfum og mismikið úr hverju kerfi. Hægt er að skipta upp jarðhitageymnum í þrjú meginvatnkerfi út frá dýpt og hitastigi. Ofarlega í kerfinu rennur úr heitum vatnsæðum 60-75°C heitt vatn sem nær niður á 400-600 metra dýpi. Vatnið er með 15 % af sjávarseltu. Fyrir miðju er að finna jarðhitakerfi með 80-100°C heitum vatnsæðum sem ná niður á um 1500 metra dýpi. Neðst í flestum vinnsluholum eru heitar vatnsæðar þar sem hitastigið er um 120-140°C. Selta vatnsins er talin vera mest í efstu æðunum. Vísbendingar eru um að enn neðar sé jarðhitakerfi með hitastig yfir 150°C og það sé með mun minni seltu en hin eða rétt í kringum 1% af sjávarseltu (Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Guðrún Sverrisdóttir, 1994).

Eftir að vinnsla jókst jafnt og þétt með árunum lækkaði vatnsborðið í vinnsluholunum og þar með þrýstingur í kerfinu sem leiddi til að selta vatnsins jókst (Hrefna Kristmannsdóttir, 1983). Á mynd 9 er hægt að sjá breytingar á klóríðstyrk, sem er mælikvarði á setlu úr holu SN-04 frá upphafi vinnslu 1972 til 1998. Eftir að vinnsluhola SN-12 var gangsett var vinnsla minnkuð í hinum holunum þremur, SN-04, SN-05 og SN-06.



Mynd 10 Breyting á klóríðstyrk frá 1972-1998 (Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Jón H. Björnsson, 2001).

7. Vinnslusaga

Vinnsla hófst úr holu SN-02 í ágúst 1966 og var til október 1971. Heildarmagn sem unnið var úr holunni nam hátt í 400 milljón lítra. Hóla SN-03 hóf vinnslu í ágúst 1970 með dælingu upp á 2-3 l/s. Um veturinn 1971-1972 var vinnsla úr holu SN-03 aukin í hámarks afköst og náði dæling mest 17 l/s. Heildarmagn sem dælt var sumarið 1972 nam 29 l/s úr öllum þáverandi vinnsluholum. Næstu níu árin var vinnsla nokkuð stöðug eða um 26 l/s og í kringum 40 l/s um hörðustu vetur mánuðina úr holum SN-03 og SN-04. Hóla SN-05 tók til vinnslu í október 1981 og jók vinnsluna á sumartíma upp í 39 l/s og um vetrarmánuðina í 60 l/s. Heildarmagn frá 1966 til 1983 nám um $1,47 \cdot 10^{10}$ kg (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2011).

Vinnsla jókst ört frá 1980 til 1988. Eftir að sölukerfi veitunnar var breytt kom mjög fljótlega fram minnkun á vinnslu í fáein ár en hefur nú aukist nokkuð aftur. Þegar mest var dælt úr svæðinu 1988 nam það í kringum 57 l/s en í dag er dæling um 47 l/s að meðaltali. Á sumrin er vinnslan að meðaltali 30 l/s, en vinnsla fer mikið eftir því hversu kaldir vetur mánuðirnir eru. Á köldustu mánuðum má gera ráð fyrir allt að 60-70 l/s vinnslu (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2011).

Mælingar á vatnsborði í vinnsluholunum sýna beint samband við vinnsluna og strax eftir að sölukerfisbreyting átti sér stað þá hækkaði vatnsborðið í öllum holunum og hefur það verið í miklu jafnvægi síðastliðin ár. Núverandi vinnsla veldur ekki árstíðarbundnum sveiflum á vatnsborði, jafnvel á álagstímum líkt og um hávetur. Eftirlit með vinnslu frá því að hún hófst bendir til að jarðhitakerfið hafi ekki kólnað né vatnsborð lækkað á undanförunum árum.

7.1. Núverandi vinnsla

Í dag er að meðaltali dælt nálægt 50 l/s úr vinnsluholunum. Vinnslan er sjálfbær, það er að segja að hún veldur ekki lækkun á vatnsborði né kólnun svæðisins. Vinnsludæling hefur staðið nánast í stað undanfarin ár og vatnsborðið náði jafnvægi í kringum 1990 þegar sölukerfisbreytingar áttu sér stað. Búast má við 10-15 % aukning á dælingu næstu 10 árin ef áætlaðar framkvæmdir ganga eftir. Gerðar hafa verið áætlanir um 2% aukningu dælingu ár hvert og hafa þær að mestu gengið eftir (Hrefna Kristmannsdóttir, o.fl., 2001).

Á Seltjarnarnesi hefur jarðvarminn verið nýttur úr jarðhitakerfinu síðan 1966 þegar vinnsla hófst. Íbúar bæjarinns borga lægsta verð fyrir hvern rúmmeter af heitu vatni í þéttbýli á Íslandi eða 66,1 kr/m³. Aftur á móti hefur Orkuveita Reykjavíkur þurft að hækka verðskrá sína í samhengi við hækkandi rekstrarkostnað frá því að bankahrunið var 2008. Í dag kostar heitt vatni 119,1 kr/m³ samkvæmt gjaldskrá Orkuveitu Reykjavíkur (Orkuveita Reykjavíkur, 2012).

Allt jarðhitavatn sem dælt er upp af svæðinu er nýtt til húshitunar og snjóbræðslu víðsvegar um bæinn. Jarðhitakerfið er frekar flókið og vinnsluholurnar vinna vatn úr misheitum og söltum vatnsæðum. Selta veldur miklum breytingum á vinnslueiginleikum vatnsins, og vegna nálægðar vinnsluholnanna við sjávarbakka eru miklar líkur á því að innstreymi sjávar komist í snertingu við jarðhitakerfið.

Reglulegt eftirlit með efnainnihaldi vinnsluholnanna er nauðsynlegt og að skoða samspil holnanna við breytingar á vinnslu og mögulegar breytingar á vinnslueiginleikum vatnsins. Einna helst er fylgst með mettun kalksteindarinnar kalsít í vatninu vegna þess að kalkútfellingar eru þær útfellingar sem helst eru til vandræða í íslensku lághitavatni. Kalsítýfirmettun í vinnsluvatni á Seltjarnarnesi hefur gjarnan verið á mörkum þess sem reynsla sýnir að hætta getur verið á útfellingu. Að auki þarf að fylgjast með mögulegu innstreymi súrefnis í vinnsluvatnið þar sem súrefni er hvati fyrir efnabreytingar í söltu vatni og eykur líkur á súrefnistæringu (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2011).

8. Nýtingarmöguleikar

Nokkrar forsendur þarf að uppfylla áður en jarðhitinn er nýttur til upphitunar. Nauðsynlegt er að kæla jarðhitavatnið niður í viðráðanlegt hitastig, oftast niður í 75°C sem er svo leitt beint til notanda.

Allmargir nýtingarmöguleikar eru í boði á jarðvarmanum og hver og einn hefur sína kosti og galla og henta efnainnihaldi jarðhitavatsins misvel.

Hár styrkur salts í jarðhitavatni á Seltjarnarnesi gerir það að verkum að ekki er hægt að nýta það beint til upphitunar eða venjulegrar neyslu, en þó má nefna að sundlaug Seltjarnarnesbæjar nýtir jarðhitavatnið beint. Til hægt sé að nýta vatnið er notast við forhitara í hverju íbúðarhúsi og hitað er upp kalt neysluvatn sem kemur frá Orkuveitu Reykjavíkur.

Þrátt fyrir hættu á tæringu eru margir möguleikar fyrir hendi með nýtingu á jarðhitavatni. Til þess að fá hagkvæmstu nýtinguna úr jarðvarmanum þarf að raða nýtingarkostunum í rétta röð eftir mismunandi hitastigi. Hitastig heitustu holunar á Seltjarnarnesi er í kringum 118°C á yfirborði en það eru vísbendingar um að hitastig geti verið allt að 150 °C á meira dýpi í kerfinu. Djúpsýni sem tekið var úr holu SN-06 bendir til þess (Hrefna Kristmannsdóttir, 1994).

Vatnið á Seltjarnarnessvæðinu gæti mögulega hentað vel til raforkuframleiðslu með tvívökvatækni líkt og gert hefur verið í Svartsengi, en þar hefur verið notast við Ormat vélasamstæður frá Ísrael. Á Húsavík var byggt upp raforkuver með Kalina tækni (Hreinn Hjartarson, 2002), en rekstur þess hefur ekki gengið vel og því ekki lagt til að reyna þann kost. Sú aðferð sem verður fjallað um í þessu verkefni er því Ormat tæknin. Til raforkaframleiðslu þarf hæsta mögulega hitastig þar sem nýtnin eykst verulega með hærri hitastigi. Síðar koma nýtingarmöguleikar sem þarfnst lægra hitastigs líkt og hitaveita, heilsulind og fiskeldi. Hér verður fjallað um nokkra helstu möguleikana sem koma til greina í fjölnýtingu jarðvarmans á Seltjarnarnesi. Fjallað verður einnig um hvern nýtingarkost sitt í hvoru lagi, kosti og galla hvers og eins.

9. Raforkuframleiðsla

Raforkuframleiðsla með jarðhita hefur aukist verulega á Íslandi undanfarin ár. Mikil þróun hefur orðið frá því að jarðhiti var fyrst virkjaður hér á landi til raforkuframleiðslu í Bjarnaflagi 1969. Mestöll raforka Íslands sem framleidd er með jarðhita nýtir orkuna frá háhitasvæðum og má þar nefna: Bjarnaflag, Kröfluvirkjun, Svartsengi, Reykjanesvirkjun, Nesjavellir og á Hellsheiðarvirkjun (Árni Ragnarsson, 2010).

Á Húsavík var gangsett 2 MWe túrbína árið 2000. Virkjunin notast við Kalina binary tvívökva kerfi og er fyrsta sinnar tegundar í heiminum. Tvívökvatæknin gefur möguleika á nýtingu á sjóðandi lághitasvæðum til raforkuframleiðslu. Virkjunin notast við 124°C heitt vatn sem hitar upp blöndu af vatni og ammóníaki og er sú blanda notuð sem vinnuvökvi sem knýr túrbínuna. Skilar virkjunin síðan frá sér 80°C heitu vatni sem notað er til húshitunar í bænum, sundlaug og fiskeldi. Vegna vinnsluerfiðleika sem komu upp síðla árs 2009 og enn hefur ekki verið unnt að lagfæra hefur raforkuframleiðslan legið niðri í næstum 3 ár. Verið er að finna lausn á þeim vandamálum. Vegna bankahruns og tregðu framleiðanda Kalina binary búnaðar, hefur lítið gerst í þeim málum. Jarðhitasvæðið sem er nýtt er staðsett á Hveravöllum í um 20 km fjarlægð frá Húsavík (Hreinn Hjartarson, 2002).

9.1. Raforkuframleiðsla Seltjarnarness

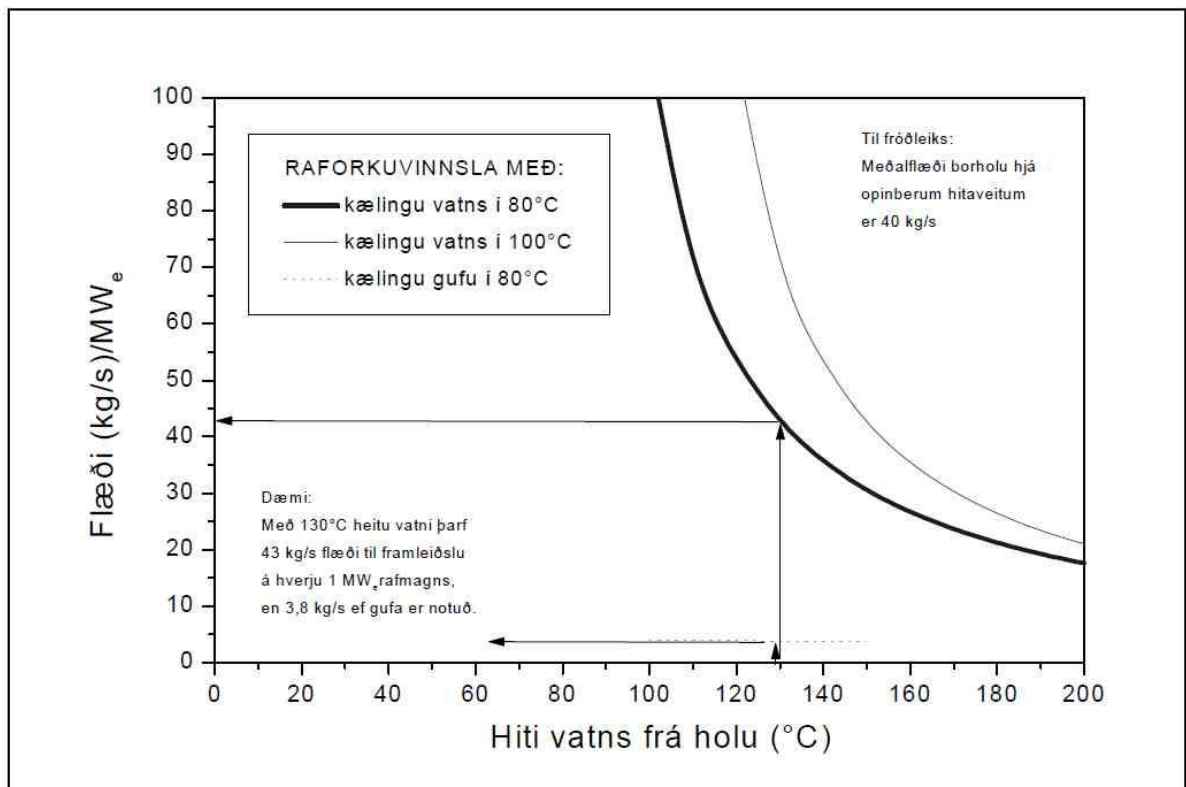
Fyrsta skref við nýtingu á jarðhita er raforkuframleiðsla. Möguleiki er á raforkuframleiðslu með jarðhitnum á Seltjarnarnesi. Hitastig vatnsins er við það að vera nægilega hátt og líklega væri hægt að finna hærra hitastig ef holurnar yrðu dýpkaðar eða ný holuð boruð í nánd við holu SN-12 sem er staðsett við meginupptök jarðvarmans á svæðinu. Vísbendingar eru um að hitastig geti verið allt að 150 °C á meira dýpi í kerfinu. Djúpsýni sem tekið var úr holu SN-06 bendir til þessa (Hrefna Kristmannsdóttir, 1994).

Kalina orkuveri, líkt og reist var á Húsavík á vegum Orkuveitu Húsavíkur býður upp á möguleika að nýta lægra hitastig jarðhitavatnsins allt niður að 120°C og ætti því sú tækni að vera hvað ákjósanlegust vegna líkinda jarðhitasvæðana. Það er líka vel mögulegt að nýta aðra vinnsluvökva við þessi hitastig, en kosturinn við Kalina var talinn betri nýtni. En vegna mikilla rekstrarvandamála undanfarin ár hefur raforkuframleiðsla legið niðri í þónokkurn tíma, miklum tíma hefur verið varið í endurbætur og viðgerðir og ekki er vitað hvenar orkuverið fer í fullan rekstur að nýju (Hreinn Hjartarson, 2002).

Vegna þeirri reynslu sem fengist hefur af ORC tækni með framleiðslu á rafmagni með bæði gufu líkt og á Svartsengi og lághitavatni eða affallsvatni frá háhitavirkjunum væri sú tækni líklega hentugust til raforkuframleiðslu hjá Hitaveitu Seltjarnarness. Gera má þó þann mun að í Svartsengi býr jarhitageymirinn yfir um 260°C heitri gufu en á Seltjarnarnes eru líkur til að jarðhitageymirinn búi yfir allt að 140-150°C heitu vatni undir þrýstingi. Þess vegna er orkuinnihald jarðhitageymis Seltjarnarness töluvert minna og að auki þá er nánast engin gufa til staðar. Þegar horft er á þær holur sem eru í gangi í dag eru tvær holur hvað álitlegastar hvað varða hitastig og vinnanlegt magn; Holur SN-06 og SN-12, einnig má nefna SN-04 en hún er heitari en SN-12 en vinnanlegt magn ekki jafn mikið.

Ef sett yrði upp einfalt dæmi fyrir jarðhitakerfið á Seltjarnarnesi sem gerði ráð fyrir dýpkun á holu SN-06 og borun nýrrar holu við SN-12 og að þá myndist um 120-140°C heitt vatn í nægu magni væri hægt að framleiða 1 MW af rafmagni. Hins vegar er spurning hvort slík raforkuframleiðsla yrði sjálfbær og hagkvæm. Hætta yrði á of miklum niðurdrætti vegna mikillar dælingar.

Á mynd 12 er útskýrt hversu mikið flæði l/s af vatni þarf til að framleiða 1 MW af raforku með kælingu jarðhitavats ýmist í 80°C eða 100°C.



Mynd 11 (Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson, 2001)

Miðað við skýringarmynd þá væri hægt að gera ráð fyrir 1 MW framleiðslu ef horft er á núverandi aðstæður. Með aukinni dælingu og jafnvel með dýpri holum yrði unnt að ná upp jafnvel meira magni af vatni og hærra hitastigi. En við það er möguleiki á að nýting á svæðinu yrði ekki sjálfbær og hætta á kólnun svæðisins. Farið verður yfir hættuna af of mikilli dælingu, kólnun svæðis og áhrif niðurdælingar síðar (Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson, 2001).

Kælivatnið sem yrði um 80°C væri unnt að nota beint á núverandi hitaveitukerfi. Þá væri hægt að sleppa að nota affallsvatnið sem notað er í dag við kælingu á núverandi vinnsluvatni frá borholunum vegna of hás hitastigs þess. Þörf yrði fyrir að fá kælivatn og ef miðað er við það kælivatn sem 1,2 MWe virkjun notar og er 140l/s notar 1MWe virkjun í kringum 116 l/s (HS Orka, e.d). Slíkt kælivatn yrði fengið frá Orkuveitu Reykjavíkur líkt og gert er í dag með dreifingu á ferskvatni á íbúa svæðisins. Einnig væri unnt að nota sjó til kælingar. Affallsvatn frá raforkuframleiðslu væri síðan hægt að blanda við bakrásarvatn frá húsum bæjarinnis og leiða í hugsanlegt heilsuhæli sem notaðist við 35-42°C heitt jarðhitavatn.

9.2. Hagkvæmni

Ef nýtt væri einungis vatn úr heitustu holunum við raforkuframleiðslu yrði raforkuframleiðsla minni. Minna vatni yrði þá dælt upp úr jarðhitakerfinu sem veldur meira bakrásarvatni, hækkun vatnsborðs og dæling verður því ódýrari. Jafnframt verður kæling minni á svæðinu og svæðið sjálfbærara. Með raforkuframleiðslunni gæti möguleg niðurdæling komið í veg fyrir mikinn niðurdrátt, en þá væri meiri kæling í jarðhitakerfinu. En þar sem ekki eru komnar neinar beinar niðurstöður um ferilprófanir er ekki unnt að segja nákvæmlega til um áhrifin, einungis að, efnið dreifist mjög vel og því líklegt að kæling verði ekki mjög hröð með aukinni niðurdælingu (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2011).

Á Laugarlandi í Eyjafjarðarsveit hefur verið dælt niður í jarðhitakerfið um 10 l/s í nokkurn tíma og langtímaáhrif niðurdælingar eru ekki talinn valda meiri kólnun en nemur um 1°C á 10 ára tímabili. Bráðabirgðaniðurstöður sýndu fram á að hægt væri að auka dælingu um 60-70% án þess að eiga á hættu að svæðið kólni né hættu á útfellingu (Norðurorka, e.d).

Í skýrslu sem kom út árið 2009 eftir Sinclair Knight Merz var tekinn saman kostnaður við uppsetningu á raforkuverum. Kom þar meðal annars fram að uppsetning á hverja 1 kW í Organic Rankle Cycle orkuveri kostar rúmar 240 þúsund krónur. Samkvæmt slíkum reikningum myndi 1 MW orkuver kosta rúmar 240 milljónir króna (Merz, 2009).

Seltjarnesbær notar að meðaltali 2 GWh á ári, þ.e. dælustöðvar, ljósastaurar, skólarnir, en ekki íbúðarhúsin og með því að framleiða 0,5 MW væri hægt að sinna þeirri eftirspurn. Líklegast yrði það hvað hagkvæmast með minni hættu á kólnun svæðis vegna minni vinnslu af svæðinu og minni niðurdælingu. Að auki væri hagkvæmast að leiða affallsvatnið frá raforkuvirkjun í rás og til heilsuhælis sem gæti byggst upp á komandi árum. Kostnaður gæti verið verulegur af því að kaupa vatn frá Orkuveitu Reykjavíkur til kælingar og því væri áhugavert að skoða kælingu með sjó, sem síðan mætti nýta í heilsuhæli.

Með uppsetningu á 1 MW raforkuveri þyrfti að auka dælingu um gróflega 30% sem myndi mæta raforkuþörf um 1500 manns sem yrði um 20% af raforkuþörf Seltjarnarnesbæjar. Slík aukning í dælingu yrði líklega þess valdandi að vatnsborð borholanna myndi lækka, hætta yrði á meiri innstreymi sjávar og seltuaukningar

vinnsluvatnsins vegna of mikil niðurdráttis og mögulega breytinga á efnainnihaldi jarðvarmans sem gætu leitt til útfellinga.

Venjulegar djúpdælar með mótörinn niðri eru yfirleitt ekki reknar á meira dýpi en 250 m og því mætti niðurdráttur ekki verða meiri en það. Ef innrennsli verður af vatni af annarri samsetningu eða hitastigi ólíku vatninu sem fyrir er á jarðhitasvæðinu þá getur sú hætta verið fyrir hendi að útfellingar verði. Innrennsli kalds vatns með herra magnesíuminnihaldi getur valdið útfellingu magnesíumsilíkata og innrennsli mjög misheits vatns inn í borholur getur valdið kalkútfellingu vegna öfugs uppleysanleika kalks (Hrefna Kristmannsdóttir, 2008).

9.3. Möguleg umhverfisáhrif.

Þótt jarðhiti sé umhverfisvæn orkulind þá fylgir virkjun hans eins og öllum framkvæmdum engu að síður áhrif á umhverfi, sem bæði geta verið jákvæð og neikvæð og þarf að veita og meta áhrif framkvæmda áður en ráðist er í virkjun jarðhitans. Umhverfisáhrif eru mismikil eftir eðli jarðhitasvæða og gerð virkjunar. Sumar virkjanir valda staðbundnum umhverfisáhrifum sem geta talist neikvæð, en virkjun getur þó haft jákvæð umhverfisáhrif í hnattrænum skilningi (Stefán Arnórsson, 2011).

Bygging raforkuvers á Seltjarnarnesi myndi valda umhverfisáhrifum meðan á framkvæmdatíma stæði, líkt og gerist þegar verið er að bora eftir heitu vatni. En rask vegna virkjunar og borana er lítið miðað við t.d. rask við byggingu vatnsaflsvirkjana. Landnotkun jarðhitavirkjana er einnig lítil miðað við hvert framleitt MW samanborið við flestar aðrar virkjanir. Samanborið við vatnsaflsvirkjanir er það mjög lítið. Áhyggjuefni væri röskun á umhverfi svæðisins og félagslegra áhrifa þar sem svæðið sem raforkuver yrði væntanlega staðsett, í nálægð við borholur SN-12 og SN-06.

9.4. Niðurstaða

Helsta breytingin sem yrði á vinnslunni er að hitastig affallsvatnsins frá raforkuverinu væri um 80°C, sem myndi duga vel beint á hitaveitukerfi bæjarinn. Þá yrði hægt að minnka blöndun á núverandi vinnsluvatni með bakrásarvatni frá húsum bæjarins og stuðla að bættri nýtingu. Bakrásarvatn frá húsum bæjarinn hefur meðalhitastig í kringum 25°C. Hægt yrði að blanda bakrásarvatnið með affallsvatni og jafnvel með upphituðu köldum sjó og leiða í heilsuhæli og við það fengist önnur efnasamsetning og meiri breytileiki í meðferðarvatni á heilsuhælinu.

Með ORC tvívökva tækni væri mögulegt að framleiða um 0,5-1 MW af rafmagni úr álitlegustu borholunum með því jarðhitavatni sem þær gefa af sér í dag. Með aukinni dælingu væri líklegast hægt að fá ennþá meiri vatn upp úr þeim og sömuleiðis ef farið væri í dýpkanir á holum og borun viðbótarholna. Er þar einkum litið til dýpkunar á SN-06 og viðbótarholu í grennd við SN-12. Við slíkar framkvæmdir væru möguleikar á heitari vatni sem myndi geta aukið hugsanlega raforkuframleiðslu að nokkru marki.

Raforkunotkun íbúa Seltjarnarnesbæjar er í kringum 31 GWh ár ári. Þar af eru 2 GWh sem eru einungis fyrir dælur, skóla, ljósastaura o.fl í eigu bæjarinn. Til þess að sinna raforkunotkun í öllum bænum væri þörf á 3,5-4 MW raforkuveri. Með byggingu á 0,5 MW orkuveri væri hægt að anna allri notkun bæjarinn fyrir skóla, stofnanir og ljósastaura. Með því væri hægt að spara raforkukaup af Orkuveitu Reykjavíkur að hluta.

Helstu gallarnir felast í kostnaði við uppsetningu raforkuversins auk röskunar á umhverfi með byggingu slíks marnnvirkis sem tengjast virkjunni.

10. Niðurdæling

Með vinnslu á jarðhitavatni er varmaorka þess nýtt til að framleiða rafmagn eða til húsupphitunar. Eftir notkun er jarðhitavökvanum í flestum tilfellum fargað. Með dælingu á jarðhitavatni úr kerfinu lækkar þrýstingurinn í kerfinu og sú þrýstingslækkun getur takmarkað vinnslugetu svæðisins. Til að koma til móts við þrýstingslækkun, viðhalda vinnslugetunni og til að farga jarðhitavatninu eftir notkun er hluta þess dælt aftur niður í borholur í nálægð við kerfið til þess að jarðhitavatnið geti skilað sér aftur í jarðhitakerfið (Orkustofnun, e.d.).

Í dag er niðurdæling orðin stór partur í rekstri fjölmargra jarðhitakerfa víðsvegar um allan heim, en lítið hefur farið fyrir niðurdælingu í íslensk jarðhitasvæði fram á síðustu ár. Með niðurdælingu er unnt að koma affallsvatninu frá jarðhitavirkjunum og bakrásavatni vegna beinni notkunar aftur niður í jarðhitakerfi. Til að byrja með var jarðhitavatninu dælt niður í jarðhitakerfin af umhverfisástæðum en síðar urðu menn varir að hægt væri að nýta það einning til að viðhalda þrýstingi á kerfinu og sækja meiri varma í berg þess (ÍSOR, 2004).

Fyrst var byrjað að prófa niðurdælingu í El Salvador í Mið-Ameríku, á fræga Geyserssvæðinu í Kaliforníu og í Larderello á Ítalíu fyrir u.þ.b. 30 árum síðan. Í dag er mestöllu affallsvatni dælt niður í jarðhitakerfin erlendis. Á Íslandi hófst niðurdæling við Svartsengi á Reykjanesi 1984 og hefur niðurdæling einnig verið hafin á Nesjavöllum, á Laugalandi í Eyjafirði, á Laugalandi í Holtum og við Kröfluvirkjun. Nokkur vandamál hafa sprottið upp vegna niðurdælinga hér á landi og einna má nefna: of hröð kólnum vinnslusvæðisins og útfellingar í niðurdælingarholum (ÍSOR, 2004).

Rannsaka þarf langtímaáhrif niðurdælingar á jarðhitakerfin á hverjum stað fyrir sig. Jarðhitakerfin eru einnig mjög mismunandi og horfa þarf til þess hvernig gerð hvers svæðis er þegar magn niðurdælingarvatns er ákveðið.

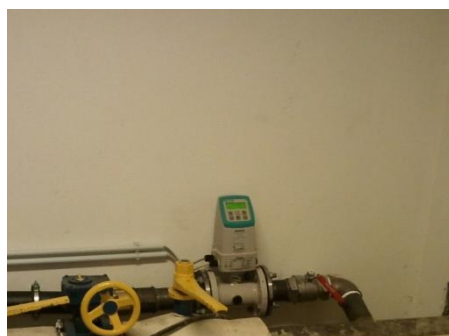
10.1. Niðurdæling Hitaveitu Seltjarnarness

Niðurdæling samfara ferilprófun hefur verið í gangi hjá Hitaveitu Seltjarnarness í nærfellt ár (tíu mánuði). Vatni hefur verið dælt niður í mjög litlu magni eftir að prófunin hófst aðallega vegna þess að menn vissu ekki fyrir víst hvernig kerfið myndi bregðast við slíkri niðurdælingu. Vinnsla er í kringum 45-50 l/s að jafnaði og í dag er einungis um 1,5 l/s dælt niður í holu SN-03 (mynd 13), en vonir standa til að unnt sé að auka þá dælingu. Þá væri hægt sé að minnka það magn sem fer í hreinsikerfið hjá Orkuveitu Reykjavíkur og jafnframt viðhalda hærri þrýstingi á kerfinu. Ef niðurstöður ferilprófana sem hafa verið í gangi frá síðasti ári verða hagstæðar má gera ráð fyrir því að unnt sé að auka niðurdælingu í 5-10 l/s (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2011).



Mynd 12 Hóla SN-03 úr einkaeigu

Þeir 1,5 l/s sem dælt er niður eru um 8% af bakrásarvatninu sem notað er til að kæla niður vatnið sem leitt er til íbúðarhúsana. Núna eru um 17 l/s sem fara aftur inn á kerfið af bakrásavatni og restin fer í hreinsikerfið. Eins og staðan er í dag er um 40 % af vatninu sem kemur inn sem bakrásavatn og hitt vatnið, það vatn sem ekki er tengt inn á bakrásarkerfið fer beint í skolpið frá húskerfunum. Á mynd 13 er hægt að sjá stjórnþúnað sem ákvarðar hversu mikið er dælt niður í holu SN-03 og hægt er að auka við þá dælingu ef þess er kosið í framtíðinni.



Mynd 13 Stjórnþúnaður vegna niðurdælingar. Mynd úr einkaeigu.

11. Ferilprófanir

Í jarðhita eru oft notaðar svokallaðar ferilprófanir til að kanna lekt og rennislisleiðir vatns. Ef til stendur að dæla vatni niður í jaðra kerfisins er oft gerð ferilprófun fyrst til að meta áhrif niðurdælingarinnar, eins og kælingu, með tíma. Við ferilprófanir eru notuð svokölluð ferilefni. Ferilefnin eru ýmis efnasambönd, oft sölt eða litarefni, sem eru hentug til að rekja rennsli í grunnvatni eða mæla rennsli í vatnsföllum þar sem erfitt er að koma við hefðbundum mæliaðferðum, t.d. vegna hringiðu rennslis. Ferilefni eru líka oft notuð til að kanna dreifingu spilliefna. Æskilegir eiginlegikar ferilefna eru að þau séu vel vatnsleysanleg, komi ekki fyrir í náttúrunni eða í litlum styrk, séu mælanleg í mjög litlum styrk, séu ódýr og ekki eitruð eða mengandi á neinn hátt (Jón Benjamínsson, 1984).

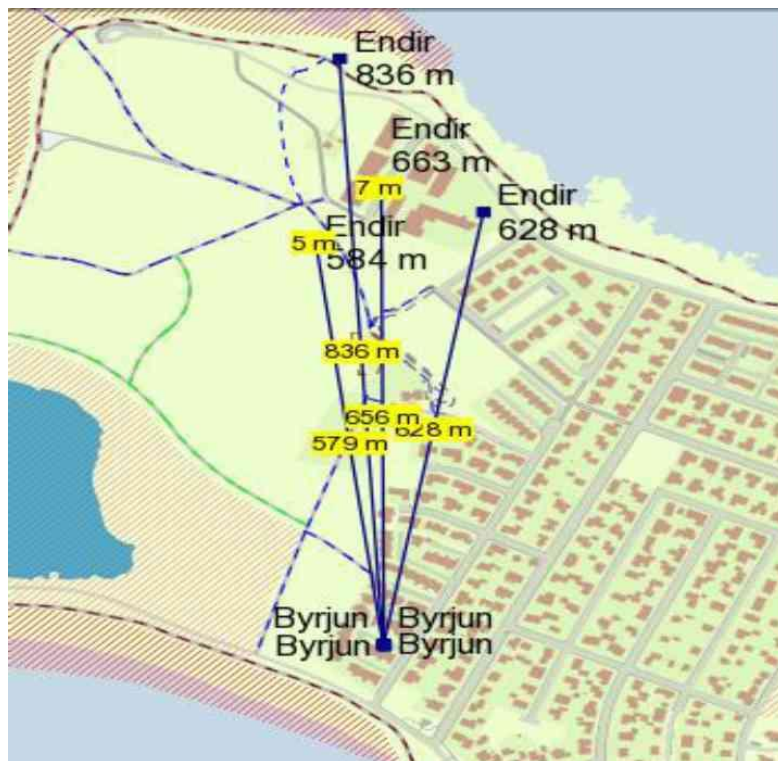
Einn flokkur ferilefna eru flúrljómandi efni, þau hafa þá eiginlega að soga í sig ljós af ákveðinni bylgjulengd og geisla síðan ljósorkunni frá sér sem ljós af lengri bylgjulengd. Þetta er kölluð flúrljómun, eða ljómun. Flúrljómandi efni hafa sum ágæta eiginlega sem ferilefni. Þau hafa þann kost að vera mælanleg í litlu magni, eru vatnsleysanleg, ódýr og einfalda mælitækni þarf til að nema ljómunina. Algengustu efnin eru fluorescein og rhodamin WT (Jón Benjamínsson, 1984).

Fluorescein er grængulleitt í lausn, en rhodamin WT er rauðbrúnt. Bæði mælast við mjög lágan styrk, niður í 10-20 ng/L. Algengast er að nota Na salt af fluorescein- oft kallað uranine. Mælt er með því að geisla lausnina með ljósi með bylgjulengdina 420 til 480nm. Styrkur endurvarpaðs gulgræns ljóss með bylgjulengd 530-540 nm er mælikvarði á styrk efnis í lausninni (Jón Benjamínsson, 1984).

Notast var við ferilefnið natríumfluorescein við ferilprófanir á Seltjarnarnesi vegna þess hversu sterkt flúrljómandi litarefnið er, unnt að mæla það við lágan styrk og greining á styrk efnisins er fljótleg og ódýr (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2012). Natríumfluorescein hefur fremur lítið hitaþol og er ekki heppilegt að nota það á háhitasvæðum. Ekki er vitað nákvæmlega hvar hitastigsmörkin liggja né heldur tímamörk á stöðugleika þess við gefið hitastig. Efnið aðsogast einnig minna við jarðveg og berg en rhodamín WT (Jón Benjamínsson, 1984).

11.1. Ferilprófanir á Seltjarnarnesi

Farið var af stað með ferilprófanir á jarðhitasvæði Seltjarnarness í byrjun ágúst 2011. Þó svo að vinnsla jarðhitasvæðisins sé að mestu sjálfbær þá er stór hluti bæjarins með tvöfalt kerfi og talsverðum hluta affallsvatnsins er fargað í klóakið sem bæði er slæmt fyrir umhverfið og aukinn kostnaður fyrir bæjarfélagið, þar sem greiða þarf fyrir hvern líter skolps sem dælt er í skolphreinsunarkerfi Orkuveitu Reykjavíkur. Kom því upp sú spurning hvort mögulegt væri að dæla affallsvatninu aftur niður í jarðhitakerfið sem myndi auka þrýsting á kerfinu og gera vinnsluna enn sjálfbærari. Var því sett niður ferilefni í holu SN-3. Styrkur litarefnisins var síðan mældur í holum SN-04, SN-05, SN-06 og SN-12, fyrst þrisvar á dag, síðan var mælingum fækkað í tvisvar á dag og loks með eins dags millibili. Á meðfylgjandi mynd 14 er hægt að sjá hvernig lega svæðisins er og vegalengd frá holunni sem litarefnið var sett í og að þeim holum sem sýni voru mæld úr (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2011).

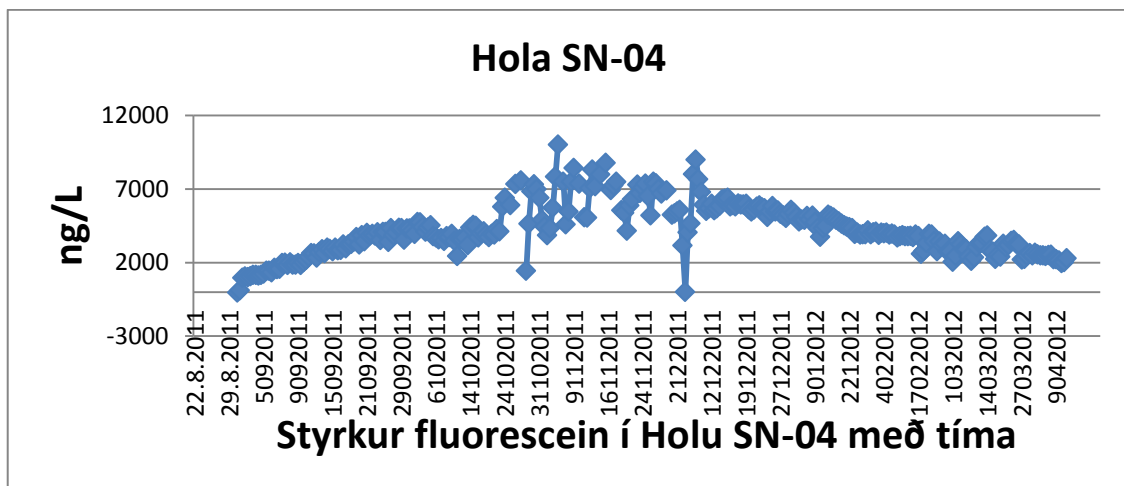


Mynd 14 Fjarlægð holu SN-03 frá vinnsluholum á Seltjarnarnesi.

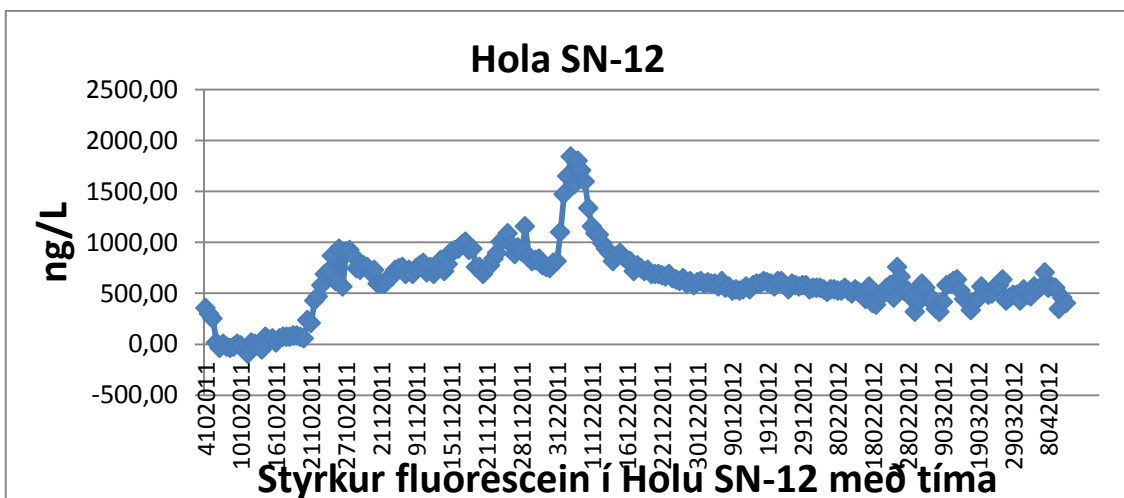
Stefán Eiríkur Stefánsson hitaveitustjóri teiknaði myndina.

Eftir að búið var að koma ferilefninu niður í holu SN-03 voru tekin þrjú sýni daglega til að byrja með til mælinga, en þeim var síðan fækkað niður í tvö og loks eitt þegar leið á prófunina. Fyrst varð vart við litarefni í holu SN-04 22 dögum eftir að litarefnunum var komið niður í holu SN-03 og tveimur vikum síðar varð vart við litarefni í holu SN-06. Tveimur mánuðum eftir niðurstöðu var vart við litarefni í holu SN-12 sem er hvað lengst frá holu SN-03.

Nánari niðurstöður um hversu miklu má dæla niður í jarðhitakerfið með ásættanlegri kælingu koma ekki ljós fyrr en síðar á árinu. Núverandi niðurstöður gefa til kynna að efnið dreifist vel um kerfið og það hversu lengi það er að skila sér er af hinu góða og talið að unnt væri að dæla niður a.m.k. 5-10 l/s til lengri tíma niður í jarðhitakerfið (Hrefna Kristmannsdóttir, 2012).



Mynd 15. Styrkur ferilefnisins fluorescein með tíma í holu SN-04 (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2012).



Mynd 16. Styrkur ferilefnisins fluorescein með tíma í holu SN-12 (Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir, 2012)

12. Heilsutengd ferðapjónusta

Ferðapjónusta á Íslandi hefur vaxið á síðustu árum og gera má ráð fyrir áframhaldandi vexti á komandi árum. Í dag er heilsutengd ferðapjónusta mjög að ryðja sér til rúms á Íslandi og eru möguleikar taldir á að mikil aukning eigi eftir að verða á henni næstu árin. Enn sem komið er hafa Íslendingar ekki byggt upp mikið af heilsuhælum byggðum á nýtingu jarðhitavatns en íslenskt „heilsuvatn“ er mjög sambærilegt því sem notað er á öðrum heimsfrægum heilsuhælum víðsvegar um heiminn (Hrefna Kristmannsdóttir, Ólafur Grímur Björnsson og Steinunn Hauksdóttir, 2000).

Undanfarin ár hefur verið mikill áhugi að nýta jarðhita Íslands til þess eins að efla ferðapjónustu til muna og hefur verið uppi sú hugmynd að byggja í stórum stíl heilsuhæli til nýtingar á jarðhitavatni. Að auki hefur verið rætt mikið um lækningarmátt vatnsins og gerðir hafa verið staðlar um flokkun jarðhitavatnsins eftir efnainnihaldi þess sem miðast við baðlækningar. Þau lönd sem eru hvað fremst í heilsutengdum geira eru lönd í Asíu, einkum Japan og svo mið-evrópulönd.

Ísland hefur mikla sérstöðu miðað við önnur lönd. Við búum yfir gnægð af hreinu vatni, jarðhita, hreins lofts, og stórkostlega náttúru ef tekin eru nokkur dæmi. Ísland hefur í aldanna rás verið markaðsett erlendis sem heilsuland með ósnorta náttúru og ferskleika sem önnur lönd búa ekki yfir. Á Íslandi eru 175 sundlaugar og 150 þeirra nota jarðhita beint (Árni Ragnarsson, 2010). Þó að á Íslandi sé mikill fjöldi sundlauga eru tveir heilsustaðir sem eru þeir stærstu og nota þeir háhitavatn það er Bláa lónið, Hveragerði og Jarðböðin í Mývatnssveit. Á Laugarvatni er nýbúið að opna heilsustað og þar eru notast við lághitavatn. Það þykir mikilvægt að skilgreina baðstaði annað hvort sem „ Thermal bath“ eða „Health SPA“ í staðinn fyrir „Swimming pool“ sem eru nokkuð algengara á Íslandi. Reykjavíkurborg hefur kallað sig „Spa“borgina (Samgönguráðuneytið, 2007).

12.1. Flokkun jarðhitavatns

Við flokkun á jarðhitavatninu í heilsuvatnsflokka árið 2000 var unnið úr gagnagrunni Orkustofnunar sem geymir gögn um efnasamsetningu jarðhitavatns af flestum jarðhitasvæðum landsins. Könnuð var efnagreining á vatninu og það flokkað. Stuðst var við flokkunarkerfi sem þýska heilsuþaðsambandið notast við, að auki var notast við flokkunarkerfi frá heilsuþaðum í Japan. Þýska flokkunarkerfið byggist upp af styrk mismunandi efna í vatninu og þurfti því ekki að aðlaga flokkunina að íslenskum aðstæðum til muna (Hrefna Kristmannsdóttir, o.fl., 2000).

Flokkarnir sem jarðhitavatnið í heilsuhælum er skipt upp í er eftirfarandi:

- A) Ölkelduvatn: Vatn með yfir 300 mg/l af kolsýru (CO_2 (T)).
- B) Brennisteinsvetnisríkt vatn: Vatn með yfir 1 mg/l af brennisteinsvetni (H_2S), og a.m.k. þaðheitt ($\sim 40^\circ\text{C}$).
- C) Efnaríkt vatn: Vatn með yfir 1000 mg/l af uppleystum efnun (TDS), og a.m.k. þaðheitt ($\sim 40^\circ\text{C}$).
- D) Járnríkt vatn: Vatn með yfir 20 mg/l af jární ($\text{Fe}^{(II)}$), og a.m.k. þaðheitt ($\sim 40^\circ\text{C}$).
- E) Flúorríkt vatn: Vatn með yfir 2 mg/l af flúor (F), og a.m.k. þaðheitt ($\sim 40^\circ\text{C}$).
- F) Joðiðvatn: Vatn með yfir 1 mg/l af joði (I)
- G) Geislavirkt vatn: Vatn með yfir 666 Bq/l af Radoni (Rn)
(Hrefna Kristmannsdóttir, o.fl., 2000)

Niðurstaða flokkunar jarðhitavatnsins sýndi að á Íslandi er ekki til staðar geislavirkt né joðið vatn, aftur á móti er mikið um vatn sem fellur undir efnaríkt vatn, flúoríðríkt vatn og brennisteinsvetnisríkt vatn. Auk þess er á nokkrum stöðum á Íslandi ölkelduvatn. Allt háhitavatn á Íslandi fellur undir skilgreininguna á efnaríkt jarðhitavatn. Síðar hafa verið notuð gögn um efnasamsetningu jarðhitavatns til frekari flokkunar á afmörkuðum svæðum (Hrönn Brynjarsdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 2009).

12.2. Markhópar

Markhópum heilsutengdrar ferðapjónustunnar má skipta upp í þrjá flokka.

Í fyrsta lagi eru það einstaklingar sem sækjast eftir lækni meðferð við ákveðnum sjúkdómum m.a. iktsýki og psoriasis. Æskilegt er að slík þjónusta sé í nálægð við stærri sjúkrahús þar sem lækniþjónusta og umönnun er aðgengileg.

Annar hópur er sá sem sækist eftir almennri hvíld, andlegri og líkamlegri endurhæfingu. Slík heilsutengd ferðapjónusta hefur þörf á lítilsháttar læknisefirliti en þó ekki jafn mikið og í hópnum á undan. Sjúkraþjálfun og líkamsþjálfun væri mjög æskileg og nauðsynlegt yrði því að byggja upp þá þjónustu í nálægð við þéttbýli.

Þriðji og síðasti flokkurinn miðast við þá sem sækjast eftir afþreyingu og skemmtun samhliða ferðamennsku, t.d. baðgarðar eða sækja í afslöppunarhótel sem hafa áherslu á böð. Lítil sem enginn þörf er á lækniþjónustu né sérhæfðri meðferðapjónustu samhliða rekstri (Hrefna Kristmannsdóttir, o.fl., 2000).

Möguleg uppbygging slíkra flokka er mjög mismunandi eftir landsvæðum. Einna helst er það vegna staðsetningar, hværrar gerðar auðlindin er og þjónustustig sem er breytilegt (Hrönn Brynjarsdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 2009).

12.3. Möguleikar á uppbyggingu heilsutengdrar ferðapjónustu á Seltjarnarnesi.

Á Seltjarnarnesi gætu verið möguleikar á uppbyggingu heilsutengdrar ferðapjónustu, sem byggði á sérsöku jarðhitavatni, nálægð við höfuðborgina og þjónustu þar. Unnt væri að opna þar heilsuhæli, þó skortur á landrými takmarki nokkuð möguleikana. Náttúrufegurð er mikil og góðar og fallegar gönguleiðir eru á svæðinu.

Helstu forsendur fyrir byggingu heilsulindar eru meðal annars heitt og kalt vatn, rafmagn, landsvæði, heilbrigðisþjónusta, góðar samgöngur, afþreyingarmöguleikar, gott aðgengi ferðamanna og almenn góð þjónusta. Allt þetta er til staðar á Seltjarnarnesi og möguleiki væri að tengja starfsemi heilulindar við sjóinn á mjög svipaðan hátt og gert er í Nauthólsvík í Reykjavík. Slík viðskiptahugmynd hefur ekki verið nýtt mikið hér á landi og þar sem borholurnar á Seltjarnarnesi eru staðsettar í nálægð við sjó eru möguleikar að sameina sjósund við heitar laugar.

Jarðhitavatn á Seltjarnarnesi fellur í flokk C undir efnaríkt vatn (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl.,2000).

Taflan hér fyrir neðan sýnir mun á efnasamsetningu vinsæla baðstaðarins Baden Baden í Þýskalandi og jarðhitavatnsins úr holu SN-12 á Seltjarnarnesi.

Tafla 2

Samanburður á efnasamsetningu Seltjarnarness og Baden Baden		
Staður	SN-12	Baden Baden
Hitastig °C	107,2	56
pH/°C	8,37/23	8,2/20
Heildar karb. (CO ₂)	5,5	20,4
Brennst.vetni (H ₂ S) mg/L	0,18	-
Kísill (SiO ₂) mg/L	114,9	167
TDS mg/L	3777	3115
Natríum (Na) mg/L	726	851
Kalíum (K) mg/L	14,1	32,9
Magnesium (Mg) mg/L	0,400	58
Kalsíum (Ca) mg/L	634	144
Strontíum (Sr) mg/L	2,87	4,3
Flúoríð (F) mg/L	0,5	0,6
Klóríð (Cl) mg/L	1940	1442
Brómíð (Br) mg/L	6,6	1,6
Súlfat (SO ₄) mg/L	345	209
Radon (Rn) Bq/L	1,1	26

Hægt er að lesa úr töflu 3 að efnasamsetning vatnsins mismunandi að einhverju leyti, er t.d. saltara, með lægri styrk heildarkarbónats og magnésíums og verulega hærri styrk kalsíums, en það bendir allt til þess að unnt sé að nýta það á baðstað eða heilsuhæli, einungis væri þörf á kælingu þess. Affallsvatn frá annarri nýtingu gæti því verið tilvalinn kostur t.d. kælisjór frá hugsanlegri raforkuframleiðslu sem myndi vera með aðra efnasamsetningu en núverandi jarðhitavatns og auka fjölbreytnina.

Vatnið er frekar heppilegt til meðferðar á psoriasis og iktsýki en því svipar mikið til efnasamsetningar vatns á mörgum frægum heilsuhælum í Evrópu (Hrefna Kristmannsdóttir, Hildur Vésteinsdóttir og Elvar Árni Lund, 2006).

12.4. Niðurstaða

Ferðamannastraumur um Ísland hefur aukist til muna á síðustu árum og nær yfir allt landið. Fyrsti viðkomustaður erlendra ferðamann er í flestum tilfellum Keflavíkurflugvöllur og liggur síðan leiðin í gegnum höfuðborgarsvæðið. Mikil ásókn er í Bláa Lónið ár hvert og bróðurparturinn af henni eru erlendir ferðamenn. Með opnun nýs heilsuhælis á Seltjarnarnesi væri hægt að innleiða nýjungar í heilsuþöðum og fjölbreytileika.

Vatnið sem hugsað er til nota í heilsulindina flokkast undir efnaríkt vatn, sem reynst hefur vel gagnvart ýmsum húðsjúkdómum líkt og psoriasis. Möguleg stærð heilulindarinnar yrði að vera í svipuðum stærðarflokki og Jarðböðinn við Mývatn eða um 5000 m² auk búningsaðstöðu, verslunar og jafnvel veitingaraðstöðu.

Kostirnir eru að allar forsendur til framkvæmda eru til staðar. Mikill ferðamannastraumur er í gegnum höfuðborgarsvæðið ár hvert. Unnt væri að tengja baðlónið við lækniþjónustu og almenna útiveru sem myndi gera reksturinn að heilsutengdri ferðaþjónustu. Staðsetning heilsuhælis er inni í borginni, sem þýðir meira úrval af hótelum og fleiri möguleikar á samtengdri þjónustu.

Landsvæði Seltjarnarness er líkt og kom fram í byrjun ekki stórt, því þyrfti að skipuleggja svæðið vandlega og taka tillit til fyrirhugaðra framkvæmda í framtíðinni. Uppbygging heilsuhælis yrði að gera í samstarfi við bæjaryfirvöld og Hitaveitu Seltjarnarness sem tryggði heilsuhælinu efnaríkt vatn úr borholum sínum, þá annaðhvort með affallsvatni eða borun á nýrri holu.

Möguleikar á raforkuframleiðslu myndu styðja við notkun af affallsvatninu frá slíkri framleiðslu, slík notkun af affallsvatni til heilsuhælis myndi gera raforkuframleiðslu ábatasamri og síðan væri möguleiki að hreinsa vatnið til niðurdælingar og einnig væri unnt að endurnýta það með íblöndun af nýju, heitara vatni. Upphitaður sjór eða ferskt kælivatn gæti líka fallið til og verið nýtt í heilsuhæli. Sjór hefur aðra efnasamsetningu en jarðhitavatnið á svæðinu og því væri meiri fjölbreytileiki á vali á heilsuvatni til meðferðar.

Vatnið úr öllum borholunum er of heitt til að hægt sé að baða sig upp úr því og því væri hægt að blanda bakrásarvatni frá húsum bæjarins við vinnsluvatnið og kæla það niður. Einnig væri hægt að blanda jarðhitavatnið með köldu neysluvatni en þá væri hætt á breytingum á efnasamsetningu vatnsins og hætt á að flokkun vatnsins myndi breytast.

Ferskt kælivatn af svæðinu myndi ekki falla í neinn flokk. Slíkt vatn er líklegt til að henta til notkunar á baðstöðum til afþreyingar og til slökunar og endurhæfingar. Hvað varðar önnur atriði eins og tengsl við aðra þjónustu þá er ljóst að stutt er í góða heilbrigðisþjónstu á höfuðborgarsvæðinu.

Þeir markhópar sem mögulega væri hægt að stíla inn á eru einna helst fólk sem sækist eftir almennri hvíld og endurhæfingu. Þar gæti vatnið hentað einstaklega vel til endurhæfingar þar sem auðvelt er að hreyfa sig í söltu vatni og meðhöndlunar á psoriasis sjúklingum. Síðast en ekki síðst þá væri unnt að stíla inn á hóp sem sækist eftir afþreyingu og skemmtun samhliða annarri ferðamennsku.

13. Niðurstöður rannsóknarverkefnisins

Helstu niðurstöður verkefnisins felast í mati á eiginleikum jarðhitavatnsins á Seltjarnarnesi, frá heimildum annarra rannsókna sem farið hefur verið í við kortlagningu og athuganir á svæðinu. Efnifræði vatnsins gerir það að verkum að stáltæring á sér stað þegar súrefni kemst að heitu jarðhitavatninu. Efnainnihald vatnsins hentar sérstaklega vel til notkunar í heilsulind samanborið við helstu heilsulindir erlendis, t.d. samanborið við heilsuhælið Baden Baden í Þýskalandi. Hitinn er á mörkum þess að vera nægilegur til framleiðslu á raforku en hugsanleg er borun við holu SN-12 sem talin er vera á uppstreymi jarðhitavarmans og jafnvel dýpkun á holu SN-06 þar sem rannsóknir á djúpsýnum gáfu til kynna að neðar í jarðhitakerfinu væri jarðhitavatn með hitastig allt að 150 °C.

Allt bendir til þess að orka jarðhitasvæðisins sé næg til að sinna þörfum raforkuframleiðslu og heilsuhælis að vissu marki sjálfbærrar orkunotkunnar.

13.1. Vinnsloeiginleikar

Jarðhitasvæðið á Seltjarnarnesi flokkað sem lághitasvæði. Vinnsluvatnið er í kaldara lagi fyrir raforkuframleiðslu, en svæðið er sjóðandi þó það sé kaldara kerfi efst. Núverandi vinnsla hljóðar upp á meðaldælingu tæplega 50 l/s á ári og hefur verið það undanfarin ár. Vegna hárrar seltu vatnsins er bein nýting vatnsins ekki möguleg til kyndingar og verður að nota varmaskipta. Setja þarf upp varmaskipti sem hitar upp ferskt vatn sem Orkuveita Reykjavíkur sér Seltjarnarnesi fyrir. Vegna hitastigs er raforkuframleiðsla einungis möguleg með tvívökvatækni, sem felur í sér raforkaframleiðslu með vinnuvökva sem hefur lægra suðumark en vatn. Dæmi um slíkar virkjanir eru Kalina stöðin á Húsavík og tvívökvastöðin sem notar ORC tækni í Svartsengi (Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson, 2001). Möguleiki gæti verið á að framleiða nægilegt rafmagn fyrir stofnanir, skóla, dælustöðvar og ljósastaura bæjarins.

13.2. Raforkuframleiðsla

Helstu styrkleikar við raforkuframleiðslu er að mikið er af jarðhita á svæðinu og með ORC tækni væri hægt að virkja frá 0,5 MW- 1 MW raforku úr þeim jarðhita sem fyrirfinnst á svæðinu eins og staðan er í dag.

Veikleikar eru einnig helst að upphafskostnaður tækja og uppsetningar raforkuvers er mikill. Einnig er ekki hægt að staðfesta nákvæmlega hversu mikil möguleg raforkuframleiðsla sé. Hætta er á að svæðið kólni og vinnslueiginleikar versni. Umhverfisspjöll verða nokkur vegna slíkrar framkvæmdar þó einkum mannvirkjagerð.

Þær ógnir sem helst helsta áhyggjuefni stafar af er að núverandi rafmagn er keypt af Orkuveitu Reykjavíkur og því þarf verð raforku framleiddrar á Seltjarnarnesi að vera samkeppnishæft við það. Til að fá rannsóknar- og nýtingarleyfi fyrir jarðhitann þarf framkvæmdaraðili að fara í gegnum flókið og kostnaðarsamt ferli sem tengist ýmsum lögum, meðal annars lögum um rannsóknir og nýtingu auðlinda í jörðu (57/1998), lögum um mat á umhverfisáhrifum (63/1993), skipulags- og byggingarlögum (73/1997) og lögum um náttúruvernd (44/1999). Leyfisveitendur eru þrír: Iðnaðarráðherra, Skipulagsstofnun og bæjarstjórn Seltjarnarnesbæjar.

Mikil tækifæri liggja í nýtingu jarðvarmans til raforkuframleiðslu eins og staðan er í dag. Mikil þróun er í tækni með notkun á tvívökvatækni þar sem vinnuvökvi er látinn sjóða, snýr síðan túrbínu og framleiðir rafmagn. Allt það affallsvatn sem fengist af slíkri framleiðslu væri unnt að nýta beint á núverandi hitaveitukerfi bæjarins og sleppa blöndun með núverandi bakrásarvatni vegna of hás hitastig frá vinnsluholum. Kælivatn væri hægt að fá frá sjónum eða keypt yrði ferskvatn af Orkuveitu Reykjavíkur líkt og gert er í dag.

13.3. Heilsutengd ferðapjónusta

Helstu styrkleikar með uppbyggingu á heilsutengdir ferðapjónusta er að Seltjarnarnes er staðsett á höfuðborgarsvæðinu og mikill fjöldi af erlendum sem innlendum ferðamönnum leggja leið sína þar í gegn á hverju ári. Hægt yrði að nýta núverandi reynslu sem fengist hefur frá Baðlóninu í Mývatnssveit og Bláa Lóninu sem er eitt af þekktustu baðlönunum heims. Með tilliti til efnasamsetningar jarðhitavatnsins eru möguleikar á að ná til markhóps sjúklinga með psoriasis og iktsýki. Reikna mætti einnig með að erlendir ferðamenn komi til með að nýta sér slíka þjónustu. Unnt væri að nýta affallsvatn frá raforkuvirkjun í heilsuhælið.

Veikleikar eru einna helst kostnaður við markaðsetningu, auk nauðsynjar á samvinnu og samhæfingu hagsmunaaðila á svæðinu. Breyting gæti orðið á núverandi umhverfi og mögulega áraun á skólperfið.

Þær ógnir sem mesta áhyggju efni yrði leyfisveitingar til byggingar heilsuhælis og samvinnu hagsmunaaðila á svæðinu. Slík framkvæmd þarf samþykki Skipulagsstofnunar vegna laga nr (106/2000) um mat á umhverfisáhrifum. Álit um framkvæmd þarf einnig frá Ferðamálastofnun Íslands, Fornleifavernd ríkisins, Umhverfisstofnun og bæjarstjórn Seltjarnarnesbæjar.

Mikil tækifæri liggja í slíkri framkvæmd með til tilliti til fjölbreytileika í afþreyingu ferðamanna og möguleika á markaðsetningu mismunandi og ólíkra markaðshópa. Mögulega væri hægt að stíla inn á tvo markhópa, annars vegar þá sem sækjast eftir almennri hvíld og endurhæfingu og hins vegar hóp sem sækist eftir afþreyingu og skemmtun samhliða almennri ferðamennsku.

14. Umræður

Möguleikar á nýtingu jarðhitasvæðisins miðað við núverandi vinnslu eru töluverðir og mundu gefa atvinnulífi á svæðinu aukinn kraft og styrkja áframhaldandi uppbyggingu á svæðinu til muna.

Raforkuframleiðsla á Seltjarnarnesi er vel hugsanleg en þó ekki til stórtækrar framleiðslu. Jarðhitasvæðið er almennt flokkað sem lághitasvæði með hitastig í vinnsluholum í kringum 120°C. Vísbendingar eru þó fyrir því að í neðri lögum jarðhitageyminum sé hitastig allt að upp í 150°C. Ef miðað væri við 40 l/s dælingu úr jarðhitakerfinu á 120°C væri mögulegt að framleiða á milli 0,5-1 MW með ORC tækni eða Kalina tækni. Fjöldi starfsmanna við raforkuframleiðslu er ekki mikill, einungis væri að ræða um eitt til tvö störf sem myndu skapast við reksturinn. En aftur á móti þá mundu skapast fleiri störf tengd mögulegri nýtingu affallsvatnsins til heilsuhælis. Áður en farið yrði í slíka framkvæmd væri þörf á að bora tvær til þrjár hitastigulsboranir í nálægð við holu SN-12 líklegast út við sjó og rannsaka hvort möguleiki sé á heitara vatni, þar sem hola SN-12 er talin vera við uppstreymi jarðvarmans á svæðinu.

Heilsutengd ferðapjónusta er að verða sífellt umfangsmeiri á Íslandi. Stórbrotin náttúra og jarðhiti eru helstu ástæður þess að erlendir ferðamenn koma til Íslands. Heilsutengd ferðapjónusta nær yfir fjölda afþreyinga líkt og hestaferðir, fjallgöngur og almenna útiveru. Með tilkomu jarðbaða á Seltjarnarnesi myndi skapast grundvöllur fyrir öðruvísi jarðböðum en fyrirfinnst á Íslandi nú, líkt og Bláa Lónið. Þjónusta væri önnur, meiri nálægð við höfuðborgarsvæðið og öðruvísi efnasamsetning jarðhitavatnsins sem gerði það einstakt og fjölbreyttara en fólk er vant. Erlendum ferðamönnum þykir mjög eftirsóknarvert að baða sig í heitum laugum eins og vinsældir Bláa Lónsins vitna um, en hátt í 400.000 gestir sækja þangað ár hvert.

15. Lokaorð

Jarðhiti Íslands er einungis ein af mörgum auðlindum sem landið býr yfir og hefur líklegast mesta vægið hvað varðar lífskjör og þægindi. Framleiðsla á raforku er gott upphafsþrep fyrir nýtingu á þeirri orku sem fyrirfinnst á jarðhitasvæðinu á Seltjarnarnesi. Vinnsla á heitu vatni á Seltjarnarnesi hefur farið fram síðan 1971 þegar fyrstu húsin á svæðinu voru tengd við hitaveituna og hitaveitan hefur ávallt sinnt þörfum bæjarins.

Mikilvægt er að vinnsla haldist sjálfbær með tilliti til langtíma vinnslu af svæðinu. Ef rétt er staðið að hugsanlegum framkvæmdum á svæðinu getur nýting jarðhitans farið fram í sátt við núverandi vinnslu, umhverfi og komandi kynslóðir. Á komandi árum er má gera ráð fyrir því að þróun á tækni og reynsla á búnaði sem beislar jarðvarmaorku og breytir í raforku mun aukast gríðarlega, sérstaklega þar sem eftirspurn eftir grænni orku er mikil og orkufyrirtæki leggja mikið upp úr því að hámarka nýtingu auðlindana. Því vilji er fyrir hendi að næstu kynslóðir geti nýtt sér auðlindina líkt og gert er í dag.

Heimildaskrá

- Axel Björnsson. (1990). Jarðhitarannsóknir. yfirlit um eðli jarðhitasvæða, jarðhitaleit og vinnslu jarðhita. *OS-90020/JHD-04* , 50.
- Axel Björnsson, Guðni Axelsson og Ólafur G, Flóvenz. (1990). *Uppruni hvera og lauga á Íslandi*. Reykjavík: Náttúrufræðingurinn, 60, 15-38.
- Árni Ragnarsson. (2010). *Geothermal Development in Iceland 2005-2009*. Reykjavík: Ísor Iceland GeoSurvey.
- Bragi Árnason. (1976). *Groundwater systems in Iceland traced by deuterium*. Reykjavík: Vísindafélag Íslendinga.
- Freysteinn Sigurðsson, Kristinn Einarsson. (1988). Groundwater Resources of Iceland – Availability and Demand. *Jökull 38* , 35-53.
- Guðmundur Pálmason. (2005). *Jarðhitabók Eðli og nýting auðlindar*. Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Guðmundur Ómar Friðleifsson. (1990). *Jarðfræði jarðhitasvæðisins í Laugarnesi Reykjavík*. Reykjavík: Orkustofnun OS-90035P/JHD-07.
- Hagstofa Íslands. (e.d.). *Hagstofa Íslands*. Sótt 19. febrúar 2012 frá Íbúafjöldi Seltjarnarness: <http://hagstofa.is/?PageID=2593&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=MAN02001%26ti=Manfj%F6ldi+eftir+kyni%2C+aldri+og+sveitarf%2E91%F6gum+1998%2D2012+%2D+Sveita%2E9lagaskipan+hvers%2E1rs++++%26path=../Database/mannfjoldi/sveitarfelog/%26lag=3%26units=Fj%F6l>
- Hrefna Kristmannsdóttir. (1983). *Breytingar á efnasamsetningu jarðhitavatns á Seltjarnarnesi á tímabilinu 1970-1983*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Hrefna Kristmannsdóttir. (1990). *Hitaveituvatn á Íslandi. Efnasamsetning og flokkun*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Hrefna Kristmannsdóttir. (1994). Niðurstöður mælinga og prófana í holu SN-06. *HK-94/07* , 4.
- Hrefna Kristmannsdóttir. (2008). *Jarðhitaauðlindir: Tækifæri til atvinnusköpunar og byggareflingar á Norðurausturlandi*. Akureyri: Ferðmálasetur Íslands.
- Hrefna Kristmannsdóttir. (2008). *Sýnataka á jarðhitavatni til efnagreininga*. Akureyri.
- Hrefna Kristmannsdóttir. (2011). Jarðhitasvæðið á Seltjarnarnesi. *Jarðhitafræði 1103* , bls. 35.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Hildur Vésteinsdóttir og Elvar Árni Lund. (2006). *Jarðhiti í Öxarfirði sóknarfæri til atvinnusköpunar*. Orkuþing.

- Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Jón H. Björnsson. (2001). *Nýting jarðhitasvæðisins á Seltjarnarnesi í þrjátíu ár*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Guðrún Sverrisdóttir. (1994). *Hitaveita Seltjarnarness, vinnslueftirlit 1993-1994*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Ólafur Grímur Björnsson og Steinunn Hauksdóttir. (2000). *Baðlækningar - Ný sóknarfæri til nýtingar jarðhita í atvinnuuppbyggingu*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Hreinn Hjartarson. (2002). *Orkuveita Húsavíkur Fjölnýting Jarðhita*. Orkuveita Húsavíkur.
- Hrönn Brynjarsdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir. (2009). *Flokkun jarðhitavatns á Vestfjörðum, með tilliti til heilsuáhrifa og náttúrulækninga, RA09:06*. Háskólinn á Akureyri, viðskipta og raunvísindasvið.
- HS Orka. (e.d.). Sótt 15. mars 2012 frá <http://.hsorka.is/HSProduction/Svartsengi/OrkuverIV.aspx>.
- ÍSOR, Í. O. (16. nóvember 2004). *Íslenskar Orkurannsóknir ÍSOR*. Sótt 10. apríl 2012 frá Málþing um niðurdælingu: <http://www.isor.is/frettir/malthing-um-nidurdaelingu>
- Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Ingvar Birgir Friðleifsson. (1977). *Höfuðborgarsvæðið Jarðhitarannsóknir 1965-1973*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Jón Benjamínsson. (1984). *Kenniefni. Um notkun flúrefnanna rhódamíns-WT og flúoresceins við ferlunar- og streymisathuganir*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson, Grímur Björnsson, Guðni Axelsson og Kristján Sæmundsson. (2010). *Álitsgerðfaghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson og Ólafur G. Flóvenz. (2003). *Hitastigulskort af Íslandi*. Reykjavík: ÍSOR.
- Kristján Sæmundsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Jens Tómasson og Hilmar Sigvaldason. (1993). *Hita-stigulsboranir á Seltjarnarnesi haustið 1993 og aðgerðir í holum Sn-2 og Sn-3*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Landmælingar Íslands. (e.d.). *Landmælingar Íslands*. Sótt 18. febrúar 2012 frá http://www.lmi.is/Files/Skra_0051582.pdf
- Læknaminjasafn Íslands. (e.d.). *Framkvæmd og forsaga*. Sótt 25. mars 2012 frá <http://www.laekningaminjasafn.is/um-safnid/laekningaminjasafn-ris/nr/12>
- Merz, S. K. (2009). *Assessment of Current Costs of Geothermal Power Generation in New Zealand*. Newmarket.
- Nordic Adventure Travel. (e.d.). *Nesstofa*. Sótt 28. mars 2012 frá Nordic Adventure Travel: http://www.nat.is/Sofn/seltjarnarnes_nesstofa.htm

- Norðurorka. (e.d.). *Niðurdæling á Laugalandi*. Sótt 10. maí 2012 frá <http://www.no.is/is/um-no/vinnslusvaedi-nordurorku/nidurdaeling-i-jardhitasvaedid-vid-laugaland-i-eyjafjardarsveit>
- Orkustofnun. (e.d.). *Orkustofnun*. Sótt 11. apríl 2012 frá Smáskjálftar og niðurdæling: <http://www.os.is/jardhiti/skjalftar/nidurdaeling/>
- Orkuveita Reykjavíkur. (2012). *Orkuveita Reykjavíkur*. Sótt 14. apríl 2012 frá Verðskrá heitt vatn: <http://www.or.is/Heimili/Heittvatn/Verdskra/>
- Samgönguráðuneytið (2007) *Samanburður á rekstrarumhverfi ferðaþjónustu á Íslandi, Noregi, Svíþjóð og Danmörku*. Reykjavík: Samgönguráðuneytið
- Seltjarnarnesbær. (e.d.). *Fræðasetur í Gróttu*. Sótt 26. mars 2012 frá <http://www.seltjarnarnes.is/thjonusta/menning/fraedasetur>
- Seltjarnarnesbær. (e.d.). *Ljósmyndasafn Seltjarnarness*. Sótt 28. mars 2012 frá <http://www.seltjarnarnes.is/myndasafn/search/?sin=keywords&sfor=Gr%C3%B3tta>
- Seltjarnarnesbær. (e.d.). *Læknaminjasafn Íslands*. Sótt 25. mars 2012 frá <http://www.seltjarnarnes.is/thjonusta/menning/laekningaminjas/>
- Seltjarnarnesbær. (e.d.). *Menning og listir*. Sótt 20. mars 2012 frá Nesstofa: <http://www.seltjarnarnes.is/thjonusta/menning/nesstofusafn/>
- Seltjarnarnesbær. (e.d.). *Saga Hitaveitu Seltjarnarness*. Sótt 3. apríl 2012 frá <http://www.seltjarnarnes.is/thjonusta/umhverfi/hitaveita/saga/>
- Seltjarnarnesbær. (e.d.). *Seltjarnarnesbær*. Sótt 11. febrúar 2012 frá Umhverfi á Seltjarnarnesi: <http://www.seltjarnarnes.is/umhverfi/>
- Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson. (2001). *Fjölnotkun jarðhita á sjóðandi lághitasvæðum*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Stefán Arnórsson. (2011). *Verkefnisstjórn rammaáætlunarum vernd og og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafl og jarðhita*. Reykjavík: Iðnaðarráðuneytið.
- Umhverfisstofnun. (e.d.). *Gróttu, Seltjarnarnesi*. Sótt 28. mars 2012 frá <http://www.ust.is/einstaklingar/nattura/fridlyst-svaedi/sudvesturland/grotta--seltjarnarnesi/>
- Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir. (2011). *Hitaveita Seltjarnarness Vinnslueftirlit 2010-2011*. (Skýrsla nr. 11/05). Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil.
- Verkfræðistofan Vatnaskil og Hrefna Kristmannsdóttir. (2012). *Hitaveita Seltjarnarness Vinnslueftirlit 2011-2012*. (Skýrsla nr. 12/05). Reykjavík: Verkfræðistofna Vatnaskil.

