

**Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og
hitaveitna á Íslandi til ársins 2009**

**Ingimar G. Haraldsson
Jónas Ketilsson**

**Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og
hitaveitna á Íslandi til ársins 2009**


**Ingimar G. Haraldsson
Jónas Ketilsson**

OS-2010/03

ISBN 978-9979-68-277-6

Orkustofnun

Orkugarður • Grensásvegji 9 • 108 Reykjavík • Sími 569 6000 • Fax: 568 8896 • os@os.is • www.os.is

| | | |
|--|--|---|
| Skýrsla nr.: OS-2010/03 | Dags.: 15. nóvember 2010 | Dreifing: Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar: |
| Heiti skýrslu / Aðal- og undirtíll: Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og hitaveitna á Íslandi til ársins 2009 | Upplag: 20 Fjöldi síðna: 43 | |
| Höfundar: Ingimar Guðni Haraldsson Jónas Ketilsson | Verkefnisstjóri: Jónas Ketilsson | |
| Gerð skýrslu / Verkstig: | Verknúmer: 3033203 | |
| Unnið fyrir: | | |
| Samvinnuaðilar: | | |
| Útdráttur: Gerð er grein fyrir frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og hitaveitna á Íslandi til ársins 2009. Frumorka jarðvarma er skilgreind og endurskoðaðri aðferðafræði við útreikning hennar beitt á vinnslugögn jarðvarmavirkjana aftur til 1970 og vinnsla hitaveitna eins og fyrirliggjandi gögn leyfa. Áður útgefin frumorkunotkun árána 2001–2008 er endurskoðuð í þessu ljósi. Ítarleg úttekt fór fram á frumorkunotkun árið 2008. Lagt er varfærið mat á frumorkunotkun einkahitaveitna, en þar sem vinnsla þeirra er í flestum tilvikum áætluð er frekari úttekt á þeim þörf. Árið 2008 nam heildarfrumorkunotkun úr jarðhitakerfum 144,2 PJ (1 PJ = 278 GWh). Þar af nam notkun jarðvarmavirkjana 114,5 PJ og notkun sérleyfisveitna utan háhitasvæða 25,2 PJ. Hlutfall raforkuvinnslu jarðvarmavirkjana af frumorkuvinnslu hefur aukist í gegnum árin og var 12% árið 2008. Breytt sölufyrirkomulag og bætt umgengni við jarðhitaauðlindina hefur bætt nýtingu jarðvarma til upphitunar hjá nokkrum hitaveitum. | | |
| Lykilorð: Frumorka, frumorkunotkun, frumorkuvinnsla, vermi, massanotkun, massavinnsla, jarðhitanothitun, jarðhiti, jarðvarmi, hitaveita, jarðvarmavirkjun, nýtni. | ISBN-númer: 978-9979-68-277-6 | Undirskrift verkefnisstjóra:  |
| | Yfirfarið af: GAJ, ÞJ | |

EFNISYFIRLIT

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | INNGANGUR..... | 5 |
| 2 | SKILGREINING Á FRUMORKU JARÐVARMA..... | 6 |
| 3 | FRUMORKUNOTKUN JARÐVARMAVIRKJANA..... | 9 |
| 3.1 | Vermi jarðhitavökvans..... | 11 |
| 3.2 | Massavinnsla jarðvarmavirkjana..... | 12 |
| 3.3 | Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana..... | 14 |
| 3.4 | Meðalafköst háhitaholna..... | 16 |
| 3.5 | Notkunarlutföll og nýtni raforkuvinnslu..... | 17 |
| 4 | FRUMORKUNOTKUN HITAVEITNA..... | 21 |
| 4.1 | Saga hitaveitna á liðinni öld..... | 25 |
| 4.2 | Söfnun og varðveisla gagna í sögulegu samhengi..... | 26 |
| 4.3 | Hitastig jarðhitavökvans..... | 27 |
| 4.4 | Massavinnsla sérleyfisveitna..... | 28 |
| 4.5 | Frumorkunotkun sérleyfisveitna..... | 30 |
| 4.6 | Frumorkunotkun einkaveitna..... | 38 |
| 5 | ENDURSKOÐUÐ FRUMORKUNOTKUN FYRRI ÁRA..... | 40 |
| 6 | SAMANTEKT OG NIÐURSTÖÐUR..... | 41 |

MYNDASKRÁ

| | | |
|----------|--|----|
| Mynd 1: | Meðalvermi vinnsluvökva á virkjunarsvæðum 1970-2008. | 11 |
| Mynd 2: | Massavinnsla jarðvarmavirkjana 1970-2008. (Tg = megatonn). | 12 |
| Mynd 3: | Niðurdæling jarðvarmavirkjana 1984-2008. (Tg = megatonn)..... | 13 |
| Mynd 4: | Massavinnsla,-notkun og niðurdæling virkjana 1970-2008. (Tg = megatonn). | 13 |
| Mynd 5: | Frumorkuvinnsla jarðvarmavirkjana 1970-2008. (1 PJ = $1 \cdot 10^{15}$ J). | 14 |
| Mynd 6: | Niðurdæling jarðvarmavirkjana 1984-2008. (1 PJ = $1 \cdot 10^{15}$ J)..... | 15 |
| Mynd 7: | Heildar frumorkuvinnsla, frumorkunotkun og niðurdæling íslenskra jarðvarmavirkjana 1970-2008 (1 PJ = $1 \cdot 10^{15}$ J)..... | 15 |
| Mynd 8: | Dreifing frumorkuframlags borholna í rekstri í íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2008 ásamt lognormal- og veldisdreifingum með sama heildarfjölda. Væntifjöldi lognormal- og veldisdreifinga innan hvers bils er námundaður að næstu heilu tölu..... | 16 |
| Mynd 9: | Hlutfall raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu á íslenskum virkjanasvæðum. Framan af fór hluti frumorkuvinnslunnar beint til heitavatnsframleiðslu. | 19 |
| Mynd 10: | Hlutfall raforkuvinnslu af frumorkunotkun á íslenskum virkjanasvæðum... | 19 |
| Mynd 11: | Hlutfall raforkuvinnslu jarðvarmavirkjana af frumorkuvinnslu og frumorkunotkun. | 20 |
| Mynd 12: | Þróun frumorkuvinnslu, niðurdælingar, raforkuvinnslu og hlutfalls raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu..... | 20 |
| Mynd 13: | Upphafsrátugur veitna í töflu 2. | 21 |
| Mynd 14: | Hitaveitur úr töflu 2 eftir frumorkunotkun..... | 22 |

| | |
|---|----|
| Mynd 15: Dreifing massavinnslu á lághitasvæðum eftir hitastigi á holutoppi..... | 28 |
| Mynd 16: Massanotkun Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu. | 29 |
| Mynd 17: Hlutfallsleg skipting massavinnslu sérleyfisveitna á lághitasvæðum árið 2008. Heildarvinnslan nam 78,8 Tg. (Tg = megatonn). | 30 |
| Mynd 18: Frumorkunotkun Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu..... | 33 |
| Mynd 19: Frumorkunotkun Orkuveitu Reykjavíkur utan höfuðborgar..... | 33 |
| Mynd 20: Frumorkunotkun Norðurorku..... | 34 |
| Mynd 21: Frumorkunotkun Skagafjarðarveitna. | 34 |
| Mynd 22: Frumorkunotkun RARIK. | 35 |
| Mynd 23: Frumorkunotkun Selfossveitna. | 35 |
| Mynd 24: Frumorkunotkun Hitaveitu Dalvíkur, Hitaveitu Egilsstaða og Fella og Hitaveitu Flúða. | 36 |
| Mynd 25: Skipting frumorkunotkunar sérleyfisveitna til upphitunar árið 2008 að meðtöldum blönduðum virkjunum. Heildarnotkunin nam 37,1 PJ. | 37 |
| Mynd 26: Skipting frumorkunotkunar sérleyfisveitna á lághitasvæðum árið 2008. Heildarnotkunin nam 24,6 PJ. | 37 |
| Mynd 27: Fjöldi einka- og sérleyfisveitna eftir áætlaðri frumorkuvinnslu á ársgrundvelli. Heildarfjöldi einkaveitna með áætlaða vinnslu er 134. | 39 |

TÖFLUSKRÁ

| | |
|--|----|
| Tafla 1: Massa- og frumorkunotkun jarðvarmavirkjana 2008 og hlutfall raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu. | 18 |
| Tafla 2: Hitaveitur með einkaleyfi skv. gildandi reglugerð í janúar 2010. Hitaveiturnar eru auðkenndar með númerum í öðrum dálki á mynd 14..... | 23 |
| Tafla 3: Massanotkun, frumorkunotkun og tekjur hitaveitna árið 2008. Íbúafjöldi á veitusvæðum áætlaður árið 2007..... | 24 |
| Tafla 4: Áður útgefin og endurskoðuð frumorkunotkun fyrri ára. | 40 |

1 INNGANGUR

Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og hitaveitna á Íslandi.

Frumorka er sú orka í náttúrunni sem ekki hefur gengið í gegnum umbreytingarferli af manna völdum. Fyrir jarðhitanýtingu er þá átt við hámarks nýtanlega varmaorku sem vökvinn býr yfir er hann nær til yfirborðs. Nýtanleikinn takmarkast af umhverfisaðstæðum, þ.e. því hitastigi og þrýstingi sem mögulegt er að taka vökvann niður í.

Taka má tillit til sértækra umhverfisaðstæðna á hverjum nýtingarstað, en sú nálgun hefur þann ókost í för með sér að samanburður frumorkunotkunar við ólíkar umhverfisaðstæður, s.s. á milli landa, verður erfiðleikum bundinn. Því er nauðsynlegt að setja föst viðmiðunarmörk sem hafa sem víða st notkunargildi þegar kemur að frumorkuútreikningum.

Fram að þessu hefur Orkustofnun notast við staðlaðar reikniáferðir sem alþjóðastofnanir á borð við Alþjóða Orkumálastofnunina (IEA) hafa sammælt um. Þannig hefur frumorka jarðvarma sem nýttur er til hitunar reiknast sem sú orka sem losnar úr vatninu er það kólnar niður í 15°C, en frumorka jarðvarma sem nýttur er til raforkuvinnslu hefur reiknast sem tífold raforkuvinnslan. Þar sem meðalnýtni íslenskra jarðvarmavirkjana hefur aukist töluvert á undanförunum árum var talið tímabært að taka reikniáferðirnar til endurskoðunar.

Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og hitaveitna var metin út frá fyrirliggjandi vinnsluupplýsingum fyrir árið 2008 á grundvelli endurskoðaðrar aðferðafræði, en jafnframt var frumorkunotkun fyrri ára endurskoðuð frá og með árinu 2001 með hliðsjón af breyttum reikniáferðum.

Skjöl málinu tengd eru vistuð í GoPro undir málsnúmerinu 2010-100002.

2 SKILGREINING Á FRUMORKU JARÐVARMA

Skilgreining frumorku jarðvarma er ekki sjálfgefin út frá náttúrulegum málum og getur því verið misjöfn á milli landa og stofnana eftir því við hvaða grunnhitastig eða vermi er miðað.

Orkustofnun hefur miðað frumorkunotkun hitaveitna við varmaorku ofan 15°C, en á Nýja-Sjálandi er miðað við 0°C þar sem frumorkuútreikningar annarra orkugjafa taka mið af því hitastigi (Brian White, 2006). Um leið viðurkenna Nýsjálendingar þó sterk rök fyrir því að nota 15-20°C sem viðmiðunarhitastig þegar kemur að frumorku jarðvarma þar sem nýting hans takmarkast af umhverfishitastigi.

Reikniaðferðir á frumorku jarðvarma til raforkuvinnslu voru teknar til endurskoðunar á Nýja-Sjálandi fyrir um áratug. Í árlegri skýrslu Efnahagsþróunarráðuneytis landsins kemur fram að fyrir árið 1999 hafi verið gert ráð fyrir 10% nýtni frumorku til raforkuvinnslu en eftir það hafi verið notast við upplýsingar um gufunotkun þar sem þær liggja fyrir, en annars gert ráð fyrir 15% nýtni og eru þar meðtaldar blandaðar jarðvarmavirkjanir, en að auki er lagt mat á töp, eigin notkun og beina notkun jarðhita sem varmagjafa. Þar kemur fram að hin lága umbreytingarnýtni jarðhita á þátt í hárrí heildarfrumorkunotkun Nýja-Sjálands í samanburði við flest önnur ríki (Ministry of Economic Development, 2009) rétt eins og hún gerir hér á landi.

Samkvæmt Evrópusambandsstíllskipun nr. 1099/2008 er orkuvinnsla úr jarðvarma skilgreind sem mismunur á milli vermis vökva úr vinnsluholu og þess vermis sem vökvinn býr yfir þegar honum er fargað. Skilgreininguna má skilja á þann veg að orkuvinnslan jafngildi frumorku, en hún er þó óljós og þarfnast frekari skýringar.

Í orkutölfræðibæklingi Efnahagssamvinnu- og þróunarstofnunarinnar (OECD) og IEA kemur fram að brúttóvinnsla jarðvarma teljist það varmamagn sem tekið er úr varmaeða gufukerfi í jarðskorpunni. Samkvæmt bæklingnum má meta brúttóvinnsluna út frá raforkuvinnslu jarðvarmavirkjana ef varminn er eingöngu nýttur til þeirrar framleiðslu og engar mælingar á varmanotkun liggja fyrir (OECD/IEA, 2005). Þó ekki sé vikið beinum orðum að frumorkunotkun, má líta svo á að hugtakið brúttóvinnsla sé hér í reynd jafngilt hugtakinu frumorkunotkun, þó svo að útlistun á viðmiðum til frumorkureikninga vanti.

Skýringar Evrópusambandsins á vinnslu jarðvarma annars vegar og OECD/IEA hins vegar má túlka þannig að þær séu illsamræmanlegar. Breytingar á þeim sem leiddu til aukins skýrleika og samræmis yrðu því til bóta.

Víðast hvar er hlutur jarðhitans í heildarfrumorkuöflun miklum mun minni en á Íslandi, sér í lagi þegar kemur að beinni notkun, og kann það að hafa áhrif á það hversu lítil áhersla er lögð á skýra skilgreiningu frumorku jarðhita á alþjóðlegum vettvangi. Þar sem frumorkunotkun jarðhitavökva sem hlutfall af heildarfrumorkunotkun hefur farið ört vaxandi hér á landi á síðustu árum, er lögð fram endurskoðuð skilgreining sem nota má sem grundvöll fyrir útreikninga orkutölfræði, jafnt hér á landi sem annars staðar.

Áfram er notast við 15°C sem viðmiðunarhitastig óháð því hvort jarðhitavökvinn er nýttur til hitunar eða raforkuvinnslu, enda um staðlað varmafræðilegt lofthitastig við meðalsjávarmál að ræða (ISO, 1975). Viðmiðið er nærri meðalárshitastigi jarðar við

yfirborð og því eitthvað sem allar þjóðir ættu að geta sammælt um til að auðvelda samanburð á milli landa (IPCC, 2007). Viðmiðið fer einnig saman við lágmarks-hönnunarhitastig frá snjóbræðslukerfum og því má fullyrða að nánast öll notorka fái úr jarðhitavökva ofan þessara marka hér á landi. Undantekningar finnast þó í fiskeldi þar sem jarðhitinn er notaður niður í um 10°C og í ylrækt þar sem jarðhitavatn er notað í litlum mæli til að hita upp jarðveg á vorin. Að auki eru 15°C notaðar sem staðalhitastig á öðrum sviðum, m.a. af IEA og Eurostat (OECD/IEA, 2005).

Mat á frumorkunotkun jarðhita sem nýttur er til hitunar breytist því ekki frá því sem áður var, en breytt skilgreining þegar kemur að raforkuvinnslu kallar eftirleidis á að frumorkunotkun jarðvarmavirkjana sé metin út frá massavinnslu og vermi.

Hér á eftir er listi yfir nokkur hugtök sem koma oft fram í skýrslunni. Miðað er við íslenskar aðstæður:

Frumorka jarðvarma (*e. primary energy of geothermal heat*)

Frumorka jarðvarma er sú orka sem losnar úr jarðhitavökva á leið hans úr upphafsástandi í viðmiðunarástand. Hér er viðmiðunarástand tekið sem 15°C við 1bar_a.

Íðorka jarðvarma (*e. exergy of geothermal heat*)

Íðorka jarðvarma er sú hámarksvinna sem jarðhitavökvi fær framkvæmt á leið sinni frá upphafsástandi í viðmiðunarástand. Hér er viðmiðunarástand tekið sem 15°C við 1bar_a.

Vermi (*e. enthalpy*)

*Vermi kerfis er summa innri orku kerfisins og margfeldis rúmmáls þess og þrýstings. Algengt er að vermi sé gefið upp á massaeiningu (*e. specific enthalpy*) og er vísað til þess á þann hátt hér. Vermi er tilgreint m.t.t. þrípunkts vatns, en þar hafa innri orka og óreiða (*e. specific entropy*) fengið gildið núll (IAPWS, 2007). Til að fullnægja þeim skilyrðum reiknast vermið 0,611783 J/kg við þrípunktinn. Við útreikning frumorku og íðorku jarðvarma er notast við vermismismun.*

Jarðhitakerfi (*e. geothermal system*)

Afmarkað rúmmál í jarðskorpu þar sem varmahræring á sér stað. Inniheldur uppstreymisrás, aðrennsli, hverasvæði og afrennsli.

Jarðhitageymir (*e. geothermal reservoir*)

Heiti og vatnsgæfi hluti jarðhitakerfis, sem hægt er að nýta til orkuframleiðslu.

Frumorkuvinnsla jarðvarma (*e. gross geothermal primary energy use*)

Frumorkuvinnsla jarðvarma er frumorka jarðhitavökva sem unnin er úr jarðhitageymi yfir tiltekið tímabil.

Frumorkunotkun jarðvarma (e. net geothermal primary energy use)

Frumorkunotkun er frumorkuvinnsla að frádreginni frumorku jarðhitavökva sem dælt er niður í sama jarðhitageymi innan sama tímabils.

$$\text{Frumorkunotkun} = \text{Frumorkuvinnsla} - \text{Niðurdæling í jarðhitageymi}$$

Jarðvarmavirkjun (e. geothermal power plant)

Jarðvarmavirkjun er samsafn mannvirkja og tæknibúnaðar þar sem jarðvarmi úr tilteknu jarðhitakerfi er nýttur til raforkuvinnslu.

Blönduð jarðvarmavirkjun (e. Combined geothermal heat and power plant)

Blönduð jarðvarmavirkjun framleiðir auk raforku heitt vatn til beinna nota.

Hitaveita (e. geothermal district heating system)

Hitaveita er samsafn mannvirkja og tæknibúnaðar sem hefur þann tilgang að veita heitu vatni til notenda á afmörkuðum svæðum. Hitaveita nýtir jarðvarma frá einu eða fleiri lághitasvæðum, milliheitum svæðum (Hveragerði) og/eða frá blönduðum jarðvarmavirkjunum á háhitasvæðum og er flutningsmiðillinn ýmist jarðhitavatnið sjálft eða grunnvatn sem hitað hefur verið upp með jarðvarma. Nokkrar hitaveitur bæta varma í vatnið í raf- og olíukyntum kötlum, en veitur sem byggja eingöngu á þessum orkugjöfum kallast fjarvarmaveitur.

Sérleyfisveitur og einkaveitur

Sérleyfisveitur vísa til hitaveitna sem starfa samkvæmt reglugerð iðnaðarráðuneytis um sérleyfisveitur á grundvelli einkaleyfis innan veitusvæðis. Einkaveitur eru hitaveitur sem starfa utan reglugerðar.

Nýtni (e. efficiency)

Nýtni er það hlutfall heildarmassa eða orku sem fer inn á kerfi, sem kerfið skilar frá sér á formi sem hæft er til tiltekinna nota. Í kerfinu fer fram umbreyting og/eða tilfærsla af einhverju tagi.

Frumorkunýtni (e. primary energy efficiency)

Frumorkunýtni er það hlutfall frumorku sem ratar inn á kerfi, sem skilar sér aftur frá kerfinu á formi sem gagnast neytendum og sem beint er til þeirra.

Íðorkunýtni (e. exergetic efficiency)

Íðorkunýtni er það hlutfall íðorku sem ratar inn á kerfi, sem skilar sér aftur frá kerfinu í formi íðorku sem gagnast neytendum og sem beint er til þeirra.

3 FRUMORKUNOTKUN JARÐVARMVIRKJANA

Á Íslandi eru starfræktar sjö jarðvarmavirkjanir með 575 MWe í uppsettu rafafli. Frumorka gufu og vatns sem knýr orkuverin er ákvörðuð út frá tveimur lykilstærðum: massastreymi og vermi. Massavinnsla borholna er yfirleitt metin út frá stöðu stjórnloka sem hafa verið kvarðaðir út frá reynslu eða reiknuð út frá holutoppsþrýstingi þar sem um streymi í gegnum blendu er að ræða. Raforkuframleiðsla og mælingar á afrennslisvatni eru notaðar til afstemmingar og má gera ráð fyrir að nokkuð góð nálgun fáið fyrir vinnslu hvernar holu með þessum hætti. Vermi einfasa vökva, gufu eða fljótandi vökva, ákvarðast af þrýstingi og hitastigi. Fyrir vökva í sjóðandi eðlisástandi þarf auk þess að þekkja hlutfall gufu og fljótandi vökva. Háhitaholum jarðvarmavirkjana má skipta í þrjá flokka eftir eðlisástandi innrennslisvökva (Sverrir Þórhallsson, 2009):

1. Háhitahola sem nýtir jarðhitakerfi sem er fullt af vatni og suða hefst uppi í fóðringu. Rennsli úr þannig holum er oftast með stöðugu vermi sem stýrist af hitastigi vatnsins. Þessar holur svara breytingum á holutoppsþrýstingi nokkuð fljótt.
2. Háhitahola sem nýtir jarðhitakerfi sem er fullt af gufu. Gufusvæði eru gjarnan við 240°C og 25-30 bar þrýsting og er gufan yfirleitt mettuð. Vermið stýrist af þrýstingi gufunnar. Í einstaka tilfellum getur gufan verið yfirhituð. Álagsbreytingar eru nokkuð fljótar að koma fram í gufuholum.
3. Sjóðandi jarðhitakerfi þar sem suða er til staðar eða hefst fyrir utan holuna. Við þrýstilækkun sem verður af völdum vinnslu hefst suða utan holunnar og verður innrennslid þá tvífasa. Þetta á einkum við holur sem eru boraðar í svæði með hitaferil sem afmarkast af suðumarksferli (BPD) og í holum sem eru gjörnýttaðar, þ.e. þrýstingur á holutoppi stilltur lágt til að hámarka afköstin. Þessar holur hafa gjarnan breytilegt vermi og lengri tíma tekur að ná jafnvægi í afköstum. Sumar holur af þessari gerð auka lítið við sig í rennsli þrátt fyrir að þrýstingurinn sé felldur á holutoppi („choking“). Algengt er fyrir svona holur að gufustreymið haldist nokkuð stöðugt í árávís en að það dragi úr vatnsrennslinu með þeim afleiðingum að heildarvermið eykst.

Allmargar aðferðir eru tiltækar til að meta vermi ofangreindra háhitaholna. Sammerkt með þessum aðferðum er að nákvæmnin er ekki mikil og mat á frumorku getur verið breytilegt eftir aðdraganda mælinga. Mismunandi aðferðir skila ekki sömu niðurstöðum og því þurfa upplýsingar um mæliaðferðina og tækjabúnað að liggja fyrir. Afköst holna ákvarðast svo af þrýstingi á holutoppi sem mæling fer fram við, því afköstin stjórnast af því á hvaða þrýstingi holan er rekin. Hér verður helstu aðferðum lýst stuttlega (Sverrir Þórhallsson, 2009; Sveinbjörn Björnsson og Sigurður Benediktsson, 1968):

Mæling á vermi með blástursprófun

Háhitaholur eru oft hita- og þrýstimældar í blæstri og þessar upplýsingar má nýta við ákvarða vermið. Ef háhitaholan er af gerð 1 og suða hefst inni í vinnslufóðringunni má nota hitann sem mælist við suðuborðið til að fletta upp verminu í gufutöflum. Hefjist suðan úti í jarðhitakerfinu, gerð 3, þá er hægt að umreikna þrýstifallið fyrir ákveðna

lengd í holunni yfir í eðlisþyngd tvífasa vökvans og þar með ákvarða hlutfall vatns og gufu og þar með reikna vermið.

Mæling á vermi með kísilhita

Með efnagreiningu kísils (SiO_2) í vatnssýni á holutoppi (mg/kg) og þrýstingi við sýnatöku P_o (bar) má reikna svonefndan kísilhita ($^{\circ}\text{C}$). Vermi vatns við þann hita getur verið leiðbeinandi um aðstæður í svæðinu.

Mæling á vermi með aðferð Russell James

Nýsjálenskur efnaverkfræðingur Russell James kynnti til sögunar reynslujöfnu (1) til ákvörðunar á massastreymi frá holu með því að mæla einfaldlega þrýsting P_c (bar_a) á blástursstút með þekktu flatarmáli A (m^2), þar sem rennslið er við hljóðhraða. Þá þarf heildarvermið að vera þekkt h (kJ/kg), en síðan var bætt við mælingu á vatnsrennsli (kg/s) því þá er hægt að leysa jöfnuna með ítrun og ákvarða vermið einnig. Þetta er algengasta afkastamæliaðferðin í notkun á Íslandi og víðar.

$$Q_{\text{total}} = K \cdot A \cdot P_c^{0,96} / h^{1,102} \quad (1)$$

Mæling á vermi með ferilefni

Víða er rennsli vatns (kg/s) og gufu ákvarðað með því að blanda nákvæmlega með skömmunardælu tveimur efnum inn í lögnina frá holunni. Síðan er mæld með efnafræðiaðferðum þynning sem verður annars vegar á efni sem fylgir vatninu eingöngu og hinsvegar rokgyörnu efni sem fylgir gufunni. Skömmunardælan afkastar 3-6 l/klst og verður þynningin í sýninu þá oft 1/8000 til 1/10000 og þarf því að velja efni sem auðvelt er að greina í smáum styrk. Ferilefni sem notuð eru einkum fyrir gufumælingu eru SF_6 og ísopropyl alkahol en natríum benzoat og fluorescein fyrir vatn. Fylgst er með framvindu skömmunar á nákvæmri vog. Kosturinn við þessa aðferð er að eingöngu þarf tvo stúta á lögnina, inn og út fyrir ferilefni, og því þarf ekki að aftengja holuna frá virkjuninni á meðan mælt er. Vermi vatns (h_{vatn} : kJ/kg) og gufu við lagnarþrýstinginn er þekkt og því auðvelt að reikna heildarvermið.

$$H = h_{\text{gufa}} \cdot Q_{\text{gufa}} + h_{\text{vatn}} \cdot Q_{\text{vatn}} \quad (2)$$

Mæling á vermi í orkuveri

Gufuhverfla má nota sem gufurennslismæla og þar eð skráning á afköstum þeirra er yfirleitt góð gefa þeir gagnlegar upplýsingar. Í flestum orkuverum er einnig gufurennslismælir sem byggir á mælingu þrýstifalls dP (mbar) yfir kverkplötu með venturi- eða pitot-röri. Vatnsrennsli er oft skráð með segulrennslismæli eða doppler hljóðmæli og einnig er hægt að reikna út streymið frá varma- og massajafnvægi orkuversins. Þannig má fá viðbótar upplýsingar um vinnsluna (rennsli og vermi) í heild og einnig um einstakar holur þegar lokað er fyrir rennsli þeirra tímabundið.

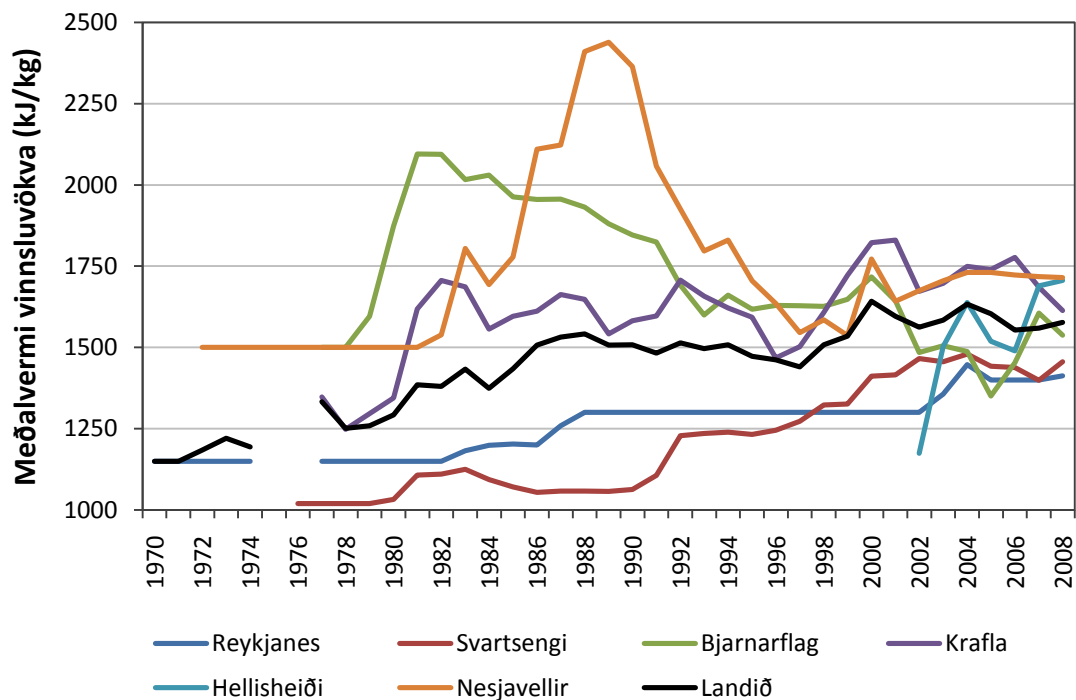
Við holur er oft gataplata til að stjórna rennslinu eða þá að hafður er fjarstýrður hemilloki. Falli þrýstingurinn um helming við það næst hljóðhraði og streymið verður krítískt. Þetta hefur við vinnslueftirlit verið notað ásamt upplýsingum um vermi holna til að ákvarða massastreymið. Ef vermið er breytilegt eða óvissa ríkir um það, verður ákvörðunin á massastreyminu marklaus. Það gildir þó um þessa mælingu líkt og um Russell James að mælingin sýnir gufustreymið nokkuð rétt því þversniðið og hraðinn á gufunni er þekktur (hljóðhraði gufu), ásamt eðlisþyngd hennar í þversniðinu. Rangt vermi kemur þá fyrst og fremst fram í ákvörðun á vatnsstreyminu. Þegar hemilloki er

notaður þurfa upplýsingar um opnun lokans (% opinn) að liggja fyrir svo að hægt sé að reikna streymið. Sé streymið ekki krítískt þurfa flóknari reikningar að koma til.

3.1 Vermis jarðhitavökvans

Þar sem mat á frumorku jarðvarma grundvallast á vermismælingum er mikilvægt að þær séu framkvæmdar á sem áreiðanlegastan hátt og með nægilega hárrí títíni til að fylgjast megi með breytingum. Vermis hveirrar hólur er ákvarðað í upphafi við blástursprófanir, en eftir að hólur eru teknar í notkun er mismunandi eftir orkufyrirtækjum hversu tíðar mælingarnar eru. Landsvirkjun og Orkuveita Reykjavíkur hafa alla jafna mælt einu sinni á ári, en mælingar hafa verið stopulli hjá HS Orku. Landsvirkjun hefur fyrst og fremst notast við aðferð Russell James við reglulegt vinnslueftirlit í Kröfluvirkjun og Bjarnarflagsvirkjun (Trausti Hauksson, 2009). Orkuveita Reykjavíkur notast einnig við þá aðferð, en hefur jafnframt mælt vermi með ferilefnum á síðustu árum (Einar Gunnlaugsson, 2009). HS Orka hefur til umráða færanlega skilju sem nota má til að ákvarða vermi með aðferð Russell James eða beinum mælingum á hitastigi, vatns- og gufurennslí, en hólur hafa lítið verið afkastamældar eftir að þær eru teknar í notkun (Geir Þórólfsson, 2009).

Meðalvermi unnins jarðhitavökva á einstökum virkjunarsvæðum síðustu 4 áratugi er sýnt á mynd 1 ásamt meðalvermi yfir landið. Breytingar á milli ára geta stafað af ólíku massaframlagi hólna, áhrifum af nýjum hólum eða eldri hólum sem teknar eru úr notkun, og/eða breytingum í jarðhitakerfum. Nokkra athygli vekur hátt vermi borholna á Nesjavöllum á árabílinu 1987-1989, en á þessum árum voru aðallega 4 hólur í blæstri, allar með hátt vermi og það háan lokunarþrýsting að ekki þótti ráðlegt að loka þeim (Einar Gunnlaugsson, 2009).



Mynd 1: Meðalvermi vinnsluvökva á virkjunarsvæðum 1970-2008.

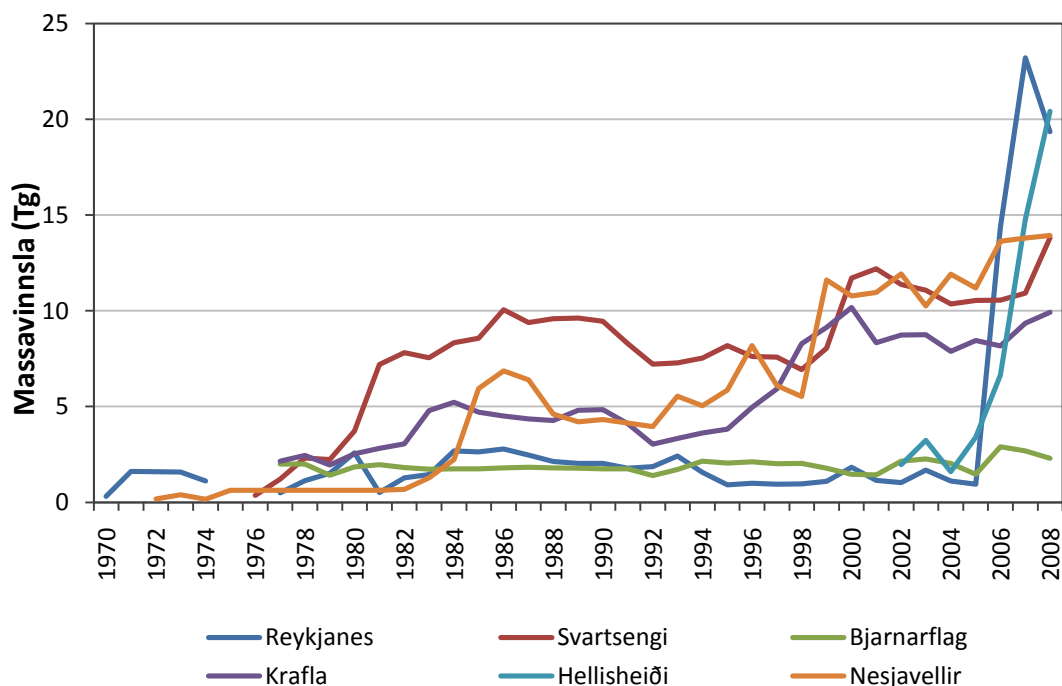
Þegar litið er yfir landið í heild nam meðalvermi unnins vökva 1577 kJ/kg árið 2008, en lægst var meðalvermið 1413 kJ/kg í Reykjanesvirkjun og hæst 1715 kJ/kg á Nesjavöllum. Meðalvermi vinnsluvökva á landinu hefur þökast upp á við yfir 39 ára tímabil, en um leið hefur dregið saman með meðalvermisgildum einstakra virkjana. Búast má við hærri nýtni í raforkuvinnsluferli virkjana eftir því sem vermi er herra, en þættir á borð við efnainnihald, nýtni tækjabúnaðar, orkuverð og kröfur samfélagsins hafa einnig sitt að segja.

3.2 Massavinnsla jarðvarmavirkjana

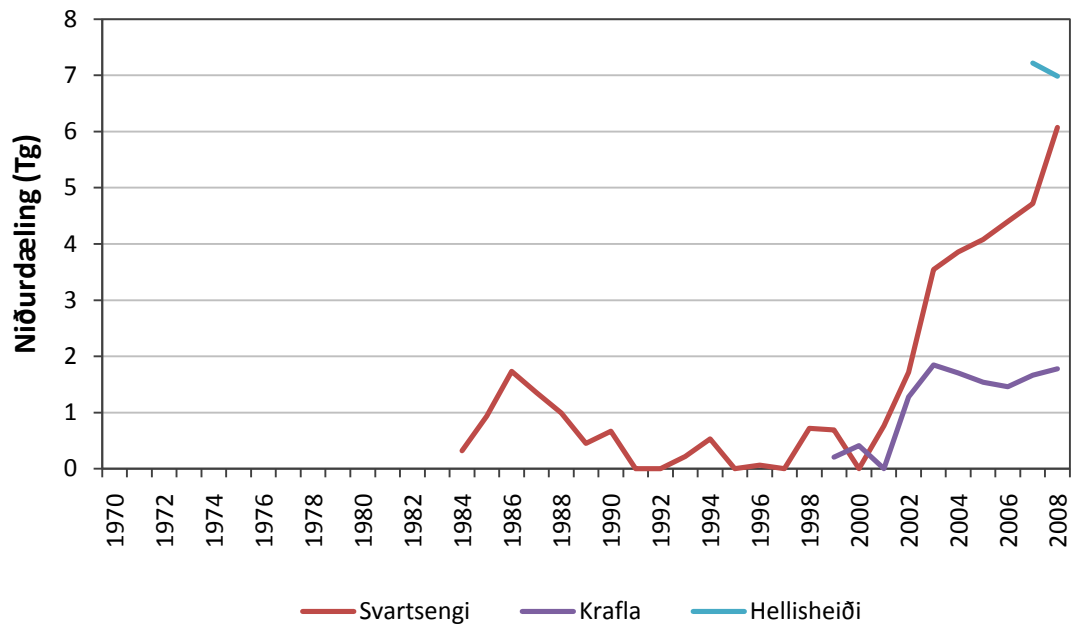
Massavinnsla jarðvarmavirkjana frá árinu 1970 fram til 2008 er sýnd á mynd 2. Fram til 1996 var vinnslan mest í Svartsengi, en hefur eftir það verið svipuð vinnslunni á Nesjavöllum. Á allra síðustu árum hefur vinnsla jarðhitavökva verið umfangsmest í Reykjanesvirkjun og Hellisheiðarvirkjun.

Fyrstu gögn um niðurdælingu í Svartsengi eru frá árinu 1984 þegar hún nam 0,3 megatonnum ($1 \text{ megatonn} = 1 \cdot 10^9 \text{ kg}$). Hún jókst í 1,7 megatonn árið 1986, en fór síðan minnkandi fram til 1991. Eins og sjá má á mynd 3 hefur niðurdæling aukist ár frá ári í Svartsengi frá aldamótum og nam 6,1 megatonni árið 2008. Niðurdæling í Kröfluvirkjun jókst einnig frá því að vera engin árið 2001 í 1,9 megatonn árið 2003 og hefur verið svipuð síðan. Í Hellisheiðarvirkjun hófst niðurdæling mjög fljótlega eftir að virkjunin var tekin í gagnið og nam 7,0 megatonnum árið 2008. Í heild hefur niðurdæling jarðvarmavirkjana því aukist mikið síðasta áratuginn.

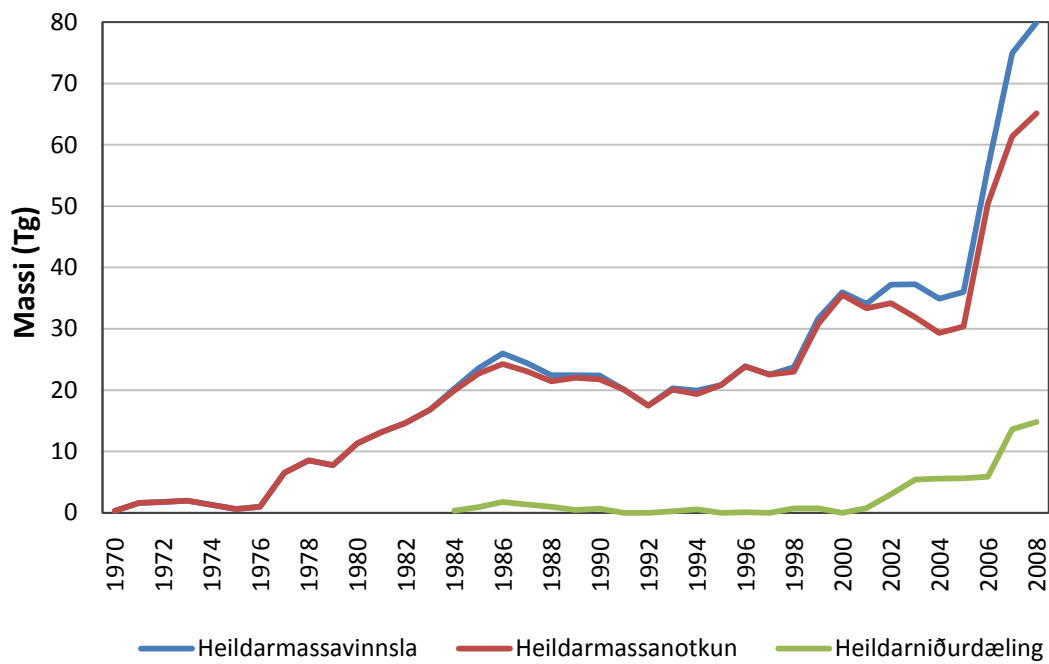
Á mynd 4 er heildarmassavinnsla, massanotkun og niðurdæling íslenskra jarðvarmavirkjana sýnd frá árinu 1970. Heildarniðurdæling hefur aukist umtalsvert frá aldamótum og nam 14,8 megatonnum árið 2008. Hefur þetta valdið því að dregið hefur í sundur með massavinnslu og massanotkun, en framan af voru stærðirnar svipaðar.



Mynd 2: Massavinnsla jarðvarmavirkjana 1970-2008. (Tg = megatonn).



Mynd 3: Niðurdæling jarðvarmavirkjana 1984-2008. (Tg = megatonn)



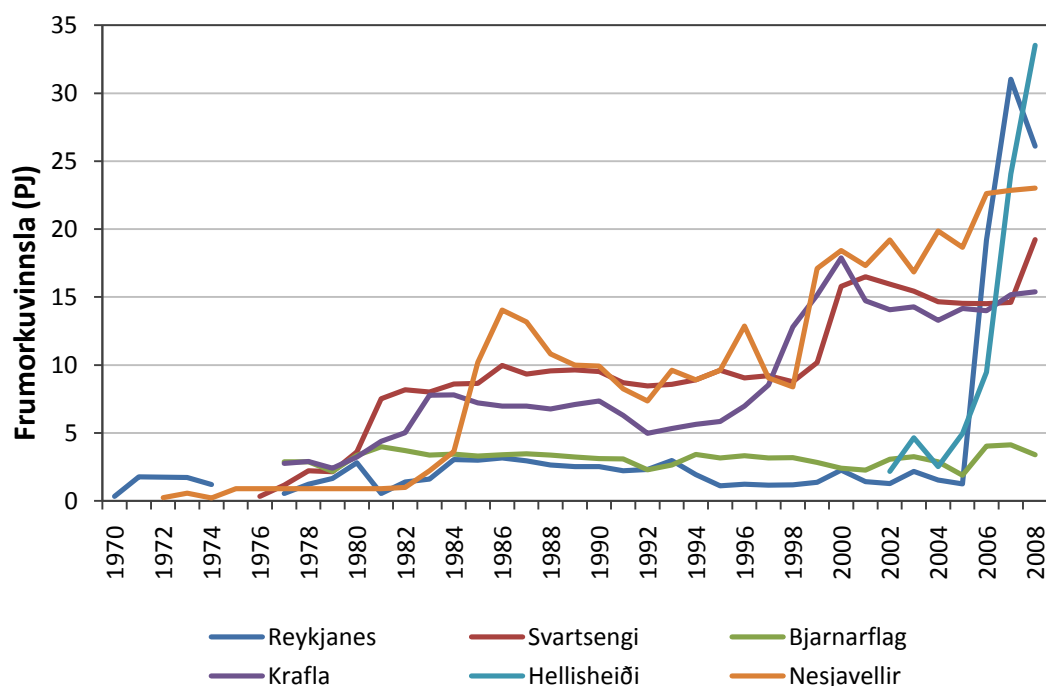
Mynd 4: Massavinnsla, -notkun og niðurdæling virkjana 1970-2008. (Tg = megatonn).

3.3 Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana

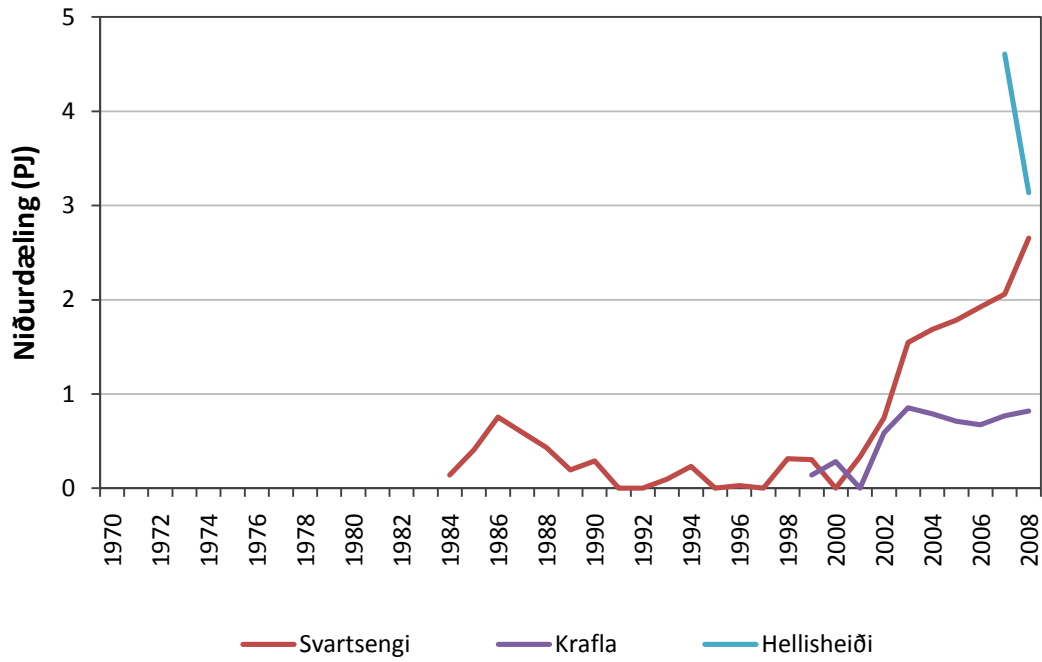
Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana árið 2008 nam 114,5 PJ (1 PJ = $1 \cdot 10^{15}$ J = 278 GWh), eða um 80% af heildarfrumorkunotkun jarðhitavökva á landinu, en um 5,5% frumorkuvinnslu skiluðu sér aftur niður í jörðina með niðurdælingu.

Frumorkuvinnsla jarðhitasvæða á landinu sem nýtt hafa verið til raforkuvinnslu er sýnd á mynd 5. Vinnslan var lítil framan af, en tók að aukast upp úr 1976 með tilkomu Kröfluvirkjunar og uppbyggingar í Svartsengi. Á árabílinu 1976-1986 jókst vinnslan úr 2,4 PJ í 35,9 PJ með tiltölulega jafnri aukningu á milli ára, en næsta áratuginn fór hún heldur minnkandi, m.a. vegna lækkandi vermis á Nesjavöllum og stóð í 31,1 PJ árið 1997. Árið eftir hófst raforkuvinnsla á Nesjavöllum og fylgdu fjölmargar virkjanir í kjölfarið með tilheyrandi aukningu frumorkuvinnslu (mynd 7).

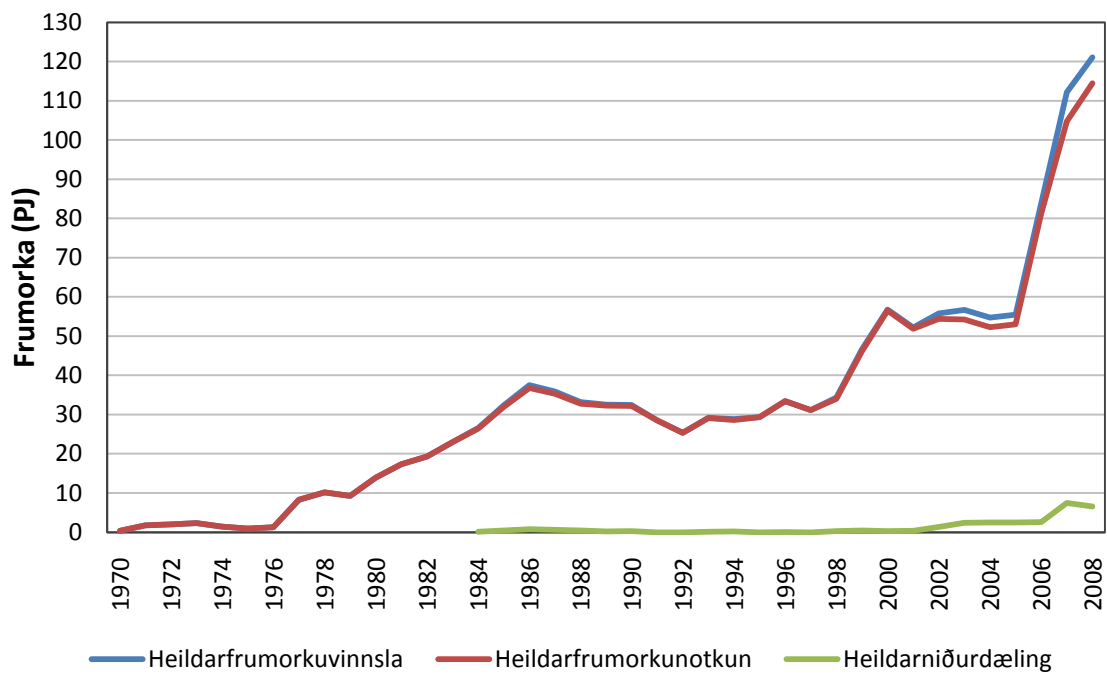
Niðurdæling frumorku hefur aukist mikið frá aldamótum (mynd 6), en vermi niðurrennslisvökva er svipað á milli virkjana (500-600 kJ/kg). Frumorkuvinnsla og frumorkunotkun voru því áþekkar fram til aldamóta, en síðan þá hefur heldur dregið í sundur (mynd 7).



Mynd 5: Frumorkuvinnsla jarðvarmavirkjana 1970-2008. (1 PJ = $1 \cdot 10^{15}$ J).



Mynd 6: Niðurdæling jarðvarmavirkjana 1984-2008. ($1 \text{ PJ} = 1 \cdot 10^{15} \text{ J}$).



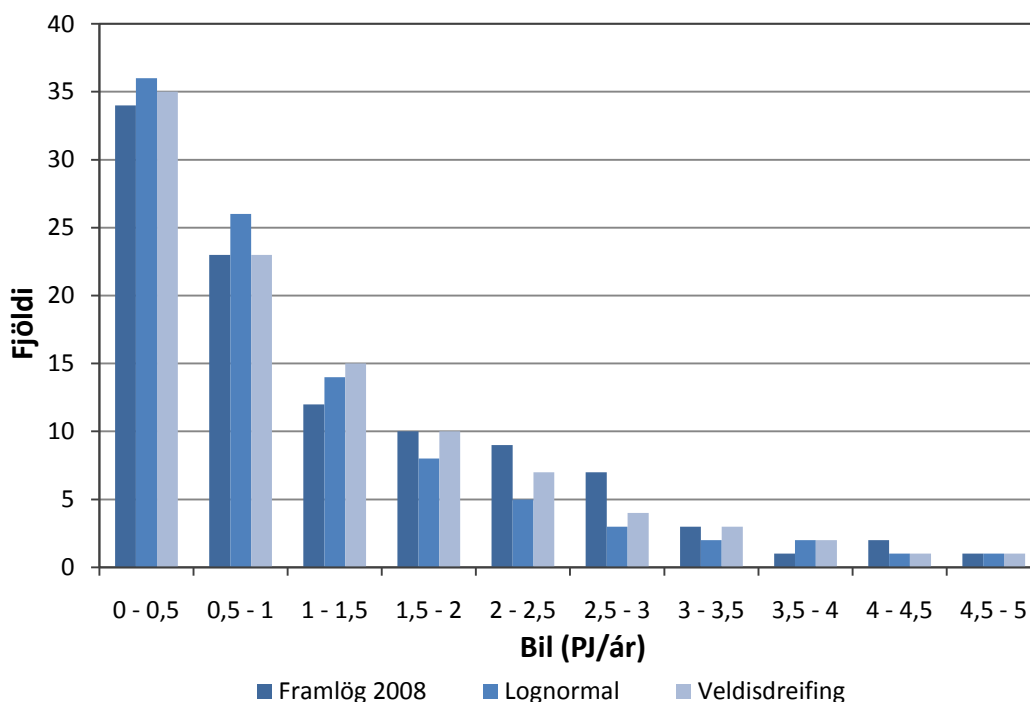
Mynd 7: Heildar frumorkuvinnsla, frumorkunotkun og niðurdæling íslenskra jarðvarmavirkjana 1970-2008 ($1 \text{ PJ} = 1 \cdot 10^{15} \text{ J}$).

3.4 Meðalafköst háhitaholna

Árið 2008 voru 102 borholur í rekstri á íslenskum virkjanasvæðum og nam meðalmassaframlag hverrar holu 0,78 Tg, en meðalfrumorkuframlag 1,19 PJ. Miðgildi frumorkuframlags var 0,85 PJ.

Háhitaholurnar gáfu að meðaltali 5 MW_e miðað við 4.038 GWh raforkuvinnslu árið 2008. Ekki eru þó allar boraðar holur tengdar við virkjun en samtals hafa verið boraðar 126 borholur frá 1980 til 2006 sem lækkar meðalafköstin í 4 MW_e. Meðalafhl háhitaholna á heimsvísu var talið vera nær tvöfalt minna eða 2 MW_e fyrir nær tveimur áratugum síðan (Valgarður Stefánsson, 1992). Á árunum 2007 og 2008 voru boraðar samtals 53 borholur aðallega fyrir nýjar virkjanir sem ekki hafa verið gangsettar og því var ekki tekið tillit til þeirra.

Borholur sem voru í rekstri einhvern hluta ársins 2008 voru flokkaðar eftir frumorkuframlagi (mynd 8), en framlag þriðjungs holna reyndist vera á bilinu 0-0,5 PJ. Með hækkandi framlagi fækkar holum líkt og búast má við ef um lognormal- eða veldisdreifðar stærðir er að ræða. Slíkar dreifingar með sama heildarfjölda holna og afrúnuð gildi eru settar fram til hliðsjónar.



Mynd 8: Dreifing frumorkuframlags borholna í rekstri í íslenskum jarðvarma-virkjunum árið 2008 ásamt lognormal- og veldisdreifingum með sama heildarfjölda. Væntifjöldi lognormal- og veldisdreifinga innan hvers bils er námundaður að næstu heilu tölu.

3.5 Notkunarhlutföll og nýtni raforkuvinnslu

Hlutfall raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu á virkjuðum jarðhitasvæðum hefur þokast upp á við allt frá upphafi raforkuvinnslu og var 12,0% árið 2008. Hlutfall raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu er sýnt á mynd 9, en hlutfallið jafngildir frumorkunýtni raforkuvinnslu ef vökvinn er allur nýttur til vinnslunnar. Lágst hlutfall framan af stafar af lakri nýtni fyrstu hverfla sem teknir voru í notkun auk þess sem töluvert vatnsmagn fór beint til heitavatnsframleiðslu, s.s. í Svartsengi og á Nesjavöllum, og rataði því ekki inn í raforkuvinnsluferlin (mynd 11). Einnig hafa holur í blæstri haft áhrif til lækkunar hlutfallsins.

Mesta fræðilega frumorkunýtni raforkuvinnslu jarðvarmavirkjana fæst þegar íðorku jarðhitavökva er að fullu umbreytt í raforku. Við slík upphugsuð skilyrði verður frumorkunýtni raforkuvinnslunnar 30-35% ef miðað er við aðstæður á íslenskum háhitasvæðum. Þrátt fyrir að notast sé við bestu hönnun og tækjabúnað sem völ er á er þó í reynd ógerlegt að uppfylla ýmis fræðileg skilyrði til að íðorka varmans nýtist að fullu til vinnslunnar, en mesta fræðilega nýtni raforkuvinnslu er engu að síður mikilvæg stærð sem nota má sem viðmið þegar kemur að raunnýtni. Meðalhlutfall raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu íslenskra jarðvarmavirkjana árið 2008 nam 34-40% af mestu fræðilegu nýtni. Hæst hefur hlutfallið orðið 16,4% í Nesjavallavirkjun árið 2006, sem má ætla að sé um helmingur mestu fræðilegu frumorkunýtni.

Einnig má meta frumorkunýtni og íðorkunýtni blandaðra jarðvarmavirkjana með tilliti til heildarorkuframleiðslu, þ.e. raforku- og heitavatnsframleiðslu. Hlutfall raforkuvinnslu af frumorkunotkun er ekki hefðbundið nýtnihlutfall, þar sem niðurdælingarorka er dregin frá frumorkuvinnslu, og getur fræðilega nálgast 100% ef öllum afgangsvarma frá jarðvarmavirkjun er dælt aftur niður í jarðhitakerfið sem hann var unninn úr.

Á mynd 12 kemur fram hvernig hlutfall raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu hefur yfir það heila aukist með frumorkuvinnslu. Helstu skýringa kann að vera að leita í eftirfarandi þáttum:

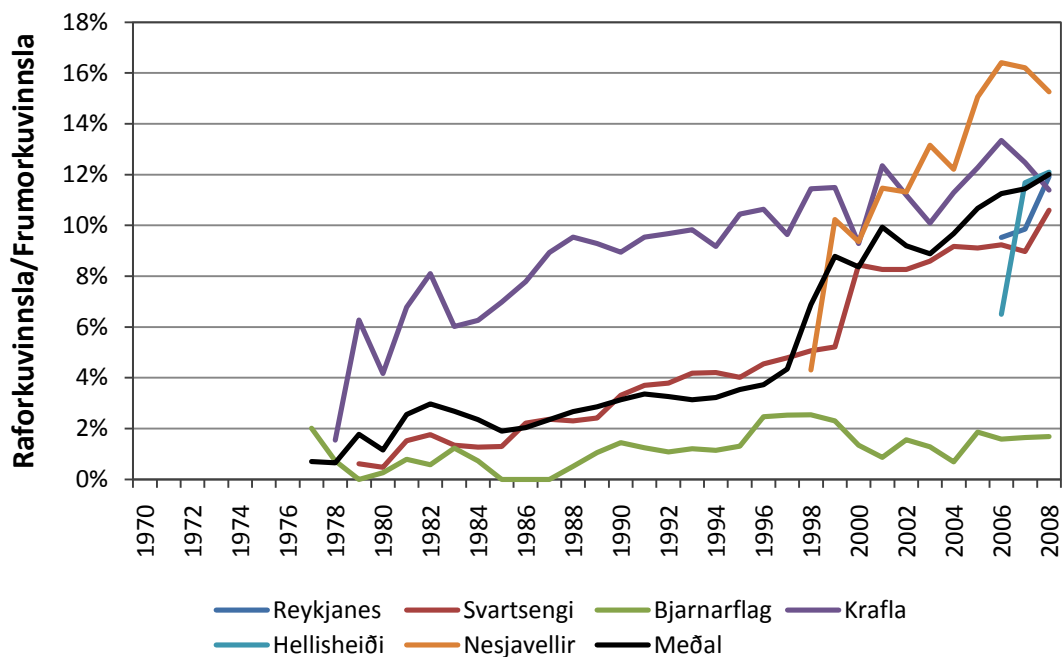
1. Í upphafi var heitavatnsframleiðsla markmið vinnslu í Svartsengi og á Nesjavöllum og því rataði umtalsverður hluti jarðhitavökva ekki inn í raforkuvinnsluferli. Með tímanum hefur hlutfall vökva sem nýttur er beint til raforkuvinnslu hinsvegar farið vaxandi og í dag er fyrst og fremst notast við afgangsvarma úr raforkuvinnsluferli blandaðra jarðvarmavirkjana við heitavatnsframleiðslu.
2. Meðalvermi jarðhitavökva til raforkuvinnslu yfir landið hefur þokast upp á við á síðustu áratugum (mynd 1). Þannig nam meðalvermi vinnsluvökva 1150 kJ/kg árið 1970, en var komið upp í 1577 kJ/kg árið 2008. Búast má við betri nýtni raforkuvinnslu eftir því sem vermi jarðhitavökva er hærra.
3. Umbreytingarnýtni í vinnsluferli nýrra virkjana hefur þokast upp á við. Tækjabúnaður hefur batnað að einhverju marki, en einnig hefur betri umgengni við vökvann skilað sínu. Með því að auka fjölda skilja og þrýstiprepa verða töp minni og nýtni eykst.

Betri umgengni við jarðvarma kemur ekki einungis fram í betri frumorkunýtni raforkuvinnslu jarðvarmavirkjana, heldur hefur niðurdæling aukist á síðustu árum með þeim áhrifum að hlutfall raforkuvinnslu af frumorkunotkun hefur aukist enn frekar. Í heildina hefur umgengni við auðlindina því tekið sífelldum framförum.

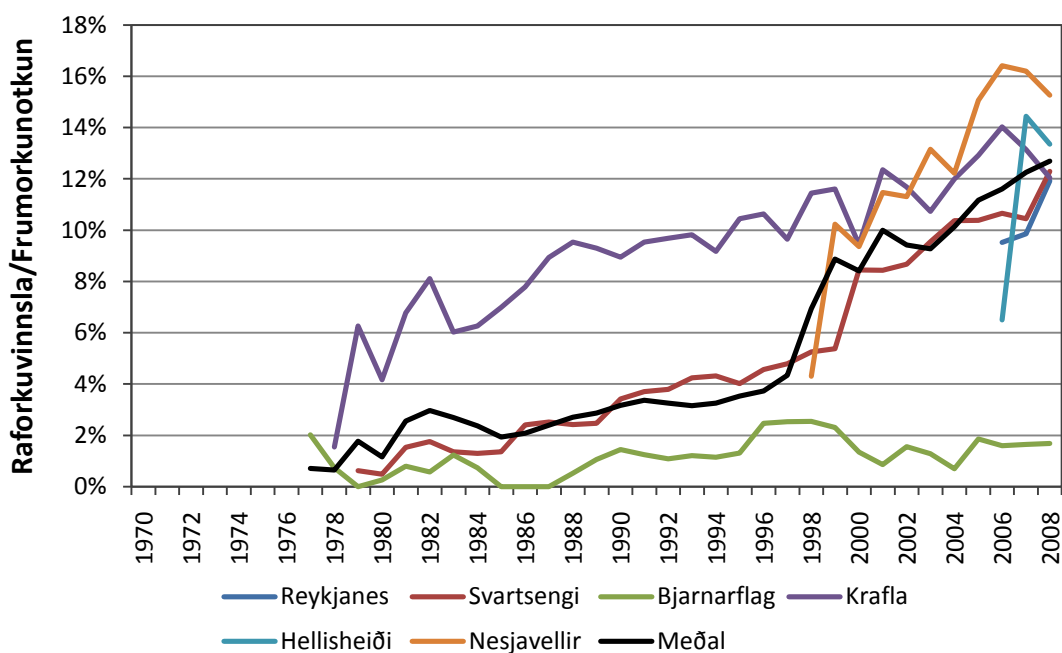
Tafla 1: *Massa- og frumorkunotkun jarðvarmavirkjana 2008 og hlutfall raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu.*

| Virkjun | Massavinnsla (Tg) | Massanotkun (Tg) | Frumorku- vinnsla (PJ) | Frumorku- notkun (PJ) | Raforkuhlutfall ¹ (%) |
|-------------|----------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Krafla | 9,93 | 8,15 | 15,40 | 14,58 | 11,4 |
| Bjarnarflag | 2,30 | 2,30 | 3,39 | 3,39 | 1,7 |
| Nesjavellir | 13,93 | 13,93 | 23,02 | 23,02 | 15,3 |
| Hellisheiði | 20,41 | 13,43 | 33,53 | 30,39 | 12,1 |
| Svartsengi | 13,81 | 7,74 | 19,24 | 16,58 | 10,6 |
| Reykjanes | 19,35 | 19,35 | 26,12 | 26,12 | 11,9 |

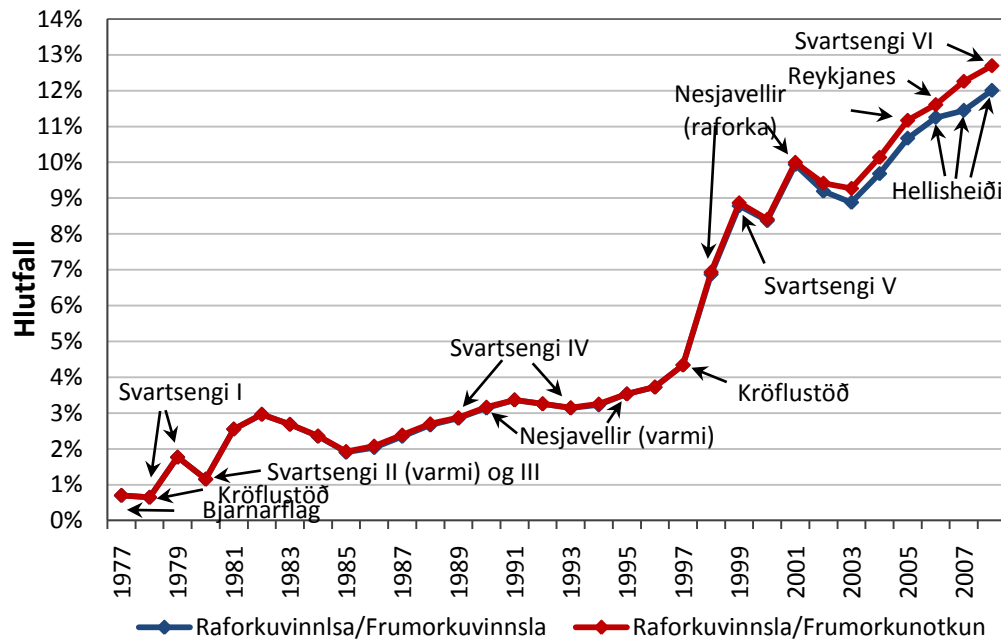
¹ Hér vísar raforkuhlutfall til hlutfalls raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu.



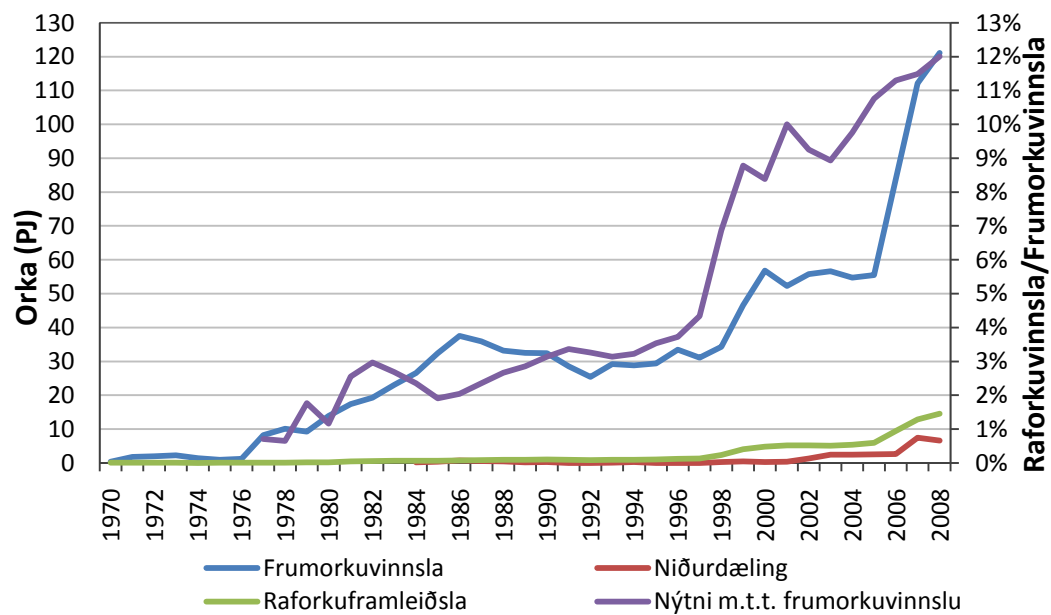
Mynd 9: Hlutfall raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu á íslenskum virkjanasvæðum. Framan af fór hluti frumorkuvinnslunnar beint til heitavatsframleiðslu.



Mynd 10: Hlutfall raforkuvinnslu af frumorkunotkun á íslenskum virkjanasvæðum.



Mynd 11: Hlutfall raforkuvinnslu jarðvarmavirkjana af frumorkuvinnslu og frumorkunotkun.



Mynd 12: Þróun frumorkuvinnslu, niðurdælingar, raforkuvinnslu og hlutfalls raforkuvinnslu af frumorkuvinnslu.

4 FRUMORKUNOTKUN HITAVEITNA

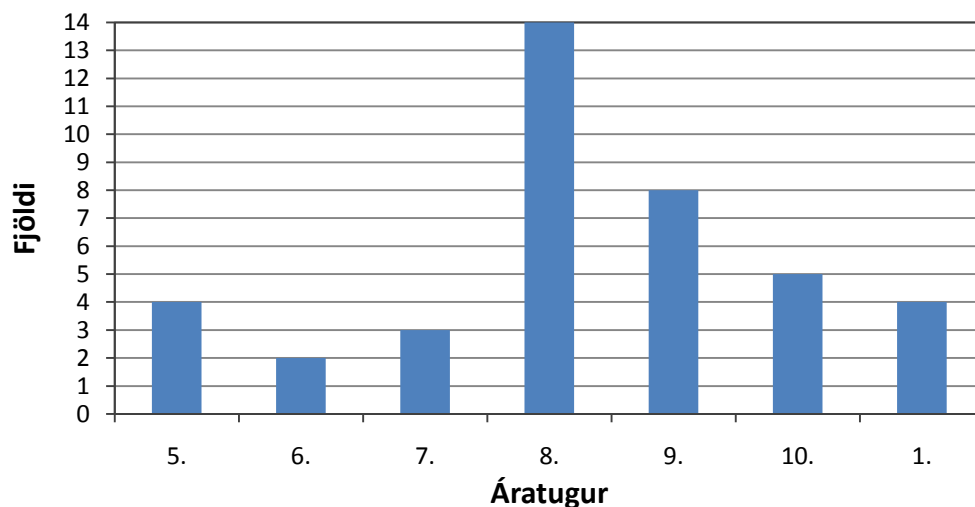
Hitaveitur skiptast í tvo flokka eftir því hvort þær hafa einkaleyfi til starfsemi á sínu veitusvæði og starfa samkvæmt reglugerð iðnaðarráðuneytis eða hvort starfsemin fer fram án slíks leyfis. Vísað er til veitna sem starfa samkvæmt einkaleyfi sem sérleyfisveitur, en annarra veitna sem einkaveitur. Um leyfisveitingu er að finna í V. kafla orkulaga nr. 58/1967 með síðari breytingum.

Hitaveitur og veitufyrirtæki sem starfa samkvæmt einkaleyfi iðnaðarráðuneytis í janúar 2010 eru talin upp í töflu 2 og er ráðað eftir umfangi frumorkuvinnslu árið 2008 að meðtöldu framlagi blandaðra jarðvarmavirkjana. Hitaveiturnar eru auðkenndar á korti á mynd 14. Upphafsrátugur 40 veitna er á mynd 13. Í fyrsta dálki töflu 2 koma fram veitufyrirtæki með gildandi reglugerð í janúar 2010 og undirveitur þeirra. Sérleyfisveiturnar voru á þessum tíma 22 talsins. Heildarvinnsla Orkuveitu Reykjavíkur (OR) nam 22.517 TJ. Aðrar veitur fá hlutfallsleg gildi eftir vinnslu, en minnst var vinnsla Hitaveitu Drangsness, 21 TJ. Um þúsundfaldur stærðarmunur er því á stærsta og minnsta orkufyrirtækinu þegar tekið er mið af frumorkuvinnslu til hitaveitu. Hitaveita Mosfellsbæjar starfar samkvæmt reglugerð, en kaupir þó allt sitt vatn í heildsölu frá Orkuveitu Reykjavíkur og fær því gildið núll.

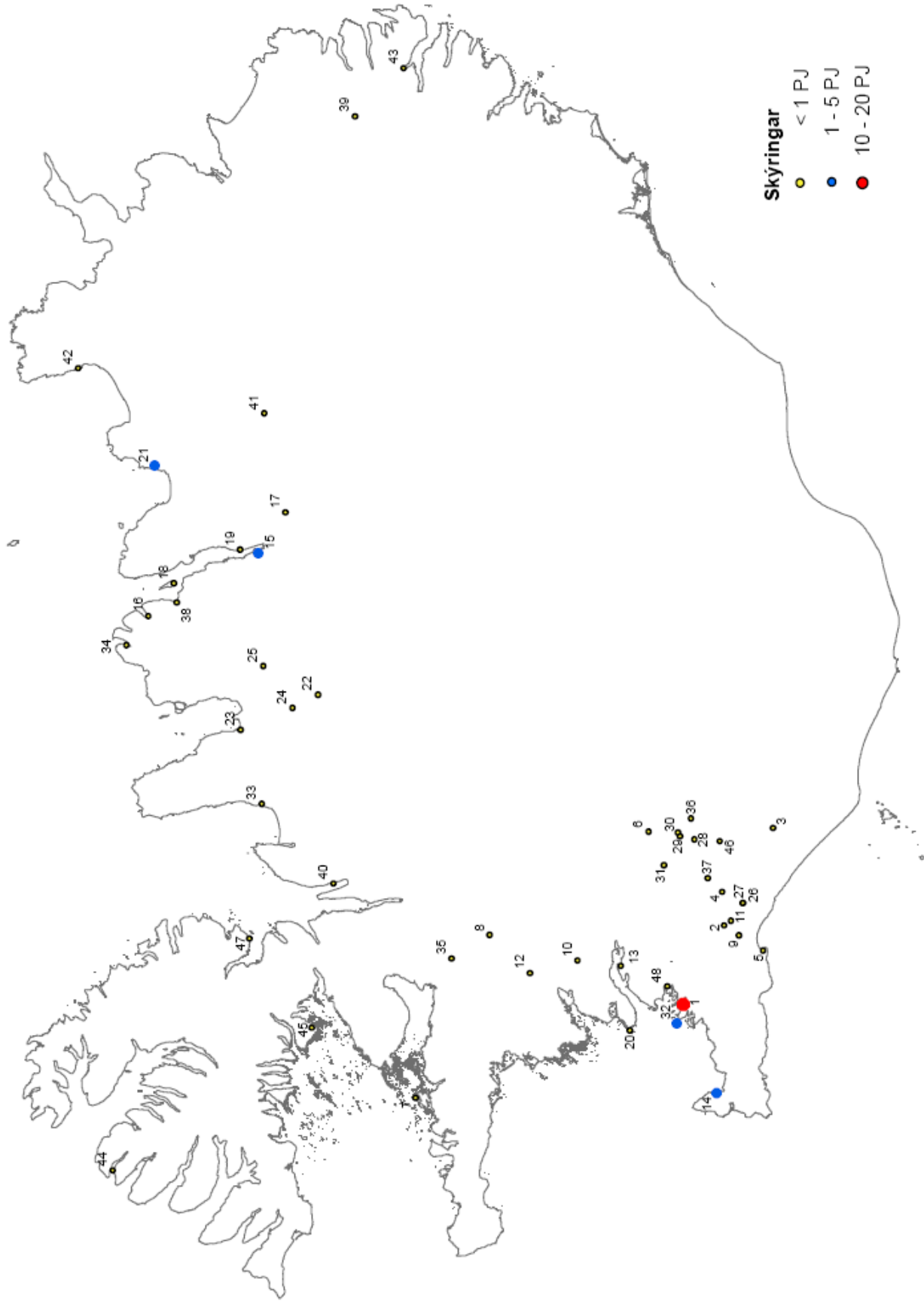
Stærsta staka dreifiveitan er hitaveita OR á höfuðborgarsvæðinu sem tekur við 88,5% af þeirri frumorku sem ratar inn á veitur fyrirtækisins og er á við 885 Drangsnessveitur. Það sem út af stendur fer til veitna fyrirtækisins utan höfuðborgarinnar.

Massanotkun, frumorkunotkun, meðalhitastig lághitasvæða, tekjur hitaveitna af vatnssölu og íbúafjöldi á svæðum sérleyfisveitna eru tekin saman í töflu 3, þar sem veitum og veitusvæðum er ráðað eftir umfangi frumorkunotkunar árið 2008. Massi og hitastig eru einungis gefin upp fyrir lághitasvæði, en frumorkunotkun er einnig gefin upp með framlagi blandaðra jarðvarmavirkjana á háhitasvæðum.

Þar sem um blandaðar virkjanir er að ræða er kalt ferskvatn við um 5°C hitað í 80-98°C í varmaskiptum, en frumorka hitaveituvatns er miðuð við 15°C sem fyrr. Sú varmaorka sem fer í að hita upp vatnið er því nokkru meiri en uppgefin frumorkunotkun.



Mynd 13: Upphafsrátugur veitna í töflu 2.



Mynd 14: Hitaveitur úr töflu 2 eftir frumorkunotkun.

Tafla 2: Hitaveitur með einkaleyfi skv. gildandi reglugerð í janúar 2010. Hitaveiturnar eru auðkenndar með númerum í öðrum dálki á mynd 14.

| | Auð-kenni | Stærð veitu ² | Fyrsta vinnsluhola | Upphaf nýtingar | Stofnár veitu | Sameining við yfirveitu | Fyrsta reglugerð | Gildandi reglugerð |
|--|-----------|--------------------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------------------|------------------|--------------------|
| Orkuveita Reykjavíkur | | 1000 | | | 1999 | | | 297/2006 |
| Höfuðborg/ Hitav. Rvíkur | 1 | 885 | 1928 | 1930 | 1943 | | 1961 | |
| Hitaveita Hveragerðis | 2 | 25 | 1946 | 1947 | 1953 | 2004 | 1962 | 320/2000 |
| Hitaveita Rangæinga | 3 | 21 | 1980 | 1982 | 1981 | 2005 | 1982 | 632/1982 |
| Grímsnesveita | 4 | 16 | 1991 | 1975 | 2002 | 2006 | | |
| Hitaveita Þorlákshafnar | 5 | 14 | 1977 | 1979 | 1979 | 2000 | 1980 | 245/2001 |
| Hlíðaveita | 6 | 10 | 1988 | 1988 | 1989 | 2003 | | |
| Hitaveita Stykkishólms | 7 | 9 | 1996 | 1998 | 1998 | 2005 | 1999 | 869/1999 |
| Bífröst / Norðurárdalsveita | 8 | 5 | 1991 | 1992 | 1992 | 2002 | | |
| Ölfusveita | 9 | 5 | | | | | | |
| <i>Bakki</i> | | | 1987 | 1987 | 1987 | 2002 | | |
| <i>Fiskalón</i> | | | 1977 | 1977 | 1978 | 2003 | | |
| Hitaveita Skorradals | 10 | 4 | 1994 | 1996 | 1996 | 2006-2007 | | |
| Austurveita | 11 | 3 | 1985 | 1988 | 1988 | 2004 | | |
| Munaðarnesveita | 12 | 3 | 2003 | 2005 | 2004 | | | |
| Hvammsvíkurveita | 13 | 0 | 1992 | 1993 | | | | |
| Hitaveita Suðurnesja | 14 | 159 | 1974 | 1974 | 1974 | | 1976 | 214/1997 |
| Norðurorka | | 99 | | | 2000 | | | |
| Hitaveita Akureyrar | 15 | 82 | 1975 | 1977 | 1977 | 2000 | 1977 | 186/1989 |
| Hitaveita Ólafsfjarðar | 16 | 10 | 1962 | 1944 | 1944 | 2006 | 1975 | 058/1989 |
| Reykjaveita í Fnjóskadal | 17 | 5 | 1982 | 1982 | 2006 | 2006 | | |
| Hitaveita Hríseyjar | 18 | 2 | 1966 | 1973 | 1973 | 2004 | 1973 | 323/1973 |
| Svalbarðsströnd/Svalbarðseyri | 19 | 1 | 1978 | 1979 | 1983 | 2003 | | |
| Hitaveita Akraness og Borgarfj. | | 78 | | 1981 | 1979 | 2001-2002 | 1980 | 754/2002 |
| Hitaveita Borgarfjarðar | 20 | | 1976 | 1980 | 1977 | 1979 | | |
| Orkuveita Húsavíkur | | 52 | | | 1995 | | | 647/1995 |
| Hitaveita Húsavíkur | 21 | | 1974 | 1970 | 1970 | 1996 | 1970 | |
| Skagafjarðarveitur | | 45 | | | 2002 | | | 1047/2006 |
| Hitaveita Skagafjarðar | 22 | | | | 1997 | | | |
| Hitaveita Sauðárkróks | 23 | 23 | 1953 | 1953 | 1953 | 2002 | 1971 | |
| Hitaveita Seyluhrepps | 24 | 8 | | | 1986 | 2002 | 1993 | |
| <i>Hitaveita Varmahlíðar</i> | | | 1972 | 1973 | 1973 | | | |
| Hitaveita Hjaltadals | 25 | 9 | 1978 | 1980 | 1980 | 2005 | | |
| Selfossveitur | | 42 | | | 1992 | | | 504/1990 |
| Hitaveita Selfoss | 26 | | 1948 | 1948 | 1948 | 1992 | 1985 | |
| Hitaveita Eyra | 27 | | | 1980 | 1980 | 1992 | 1981 | 559/1981 |
| Bláskógaveita | 28 | 32 | | | 2007 | | | 505/2008 |
| Hitaveita Laugaráss | 29 | 14 | | 1923 | 1965 | ~2007 | 1964 | 207/1985 |
| Reykholt | 30 | 12 | 1973 | 1928 | 1969 | ~2007 | | |
| Laugarvatn | 31 | 6 | | 1928 | 1955 | ~2007 | | |
| Hitaveita Seltjarnarness | 32 | 27 | 1969 | 1971 | 1972 | | 1971 | 183/1971 |
| Rafmagnsveitur ríkisins / | | 20 | | | 1947 | | | 122/1992 |
| Hitaveita Blönduóss | 33 | 9 | 1976 | 1977 | 1977 | 2005 | 1977 | 582/1989 |
| Hitaveita Siglufjarðar | 34 | 6 | 1975 | 1975 | 1975 | 1991 | 1977 | |
| Hitaveita Dalabyggðar | 35 | 4 | 1992 | 1999 | 1999 | 2003 | 2000 | 897/2000 |
| Hitaveita Flúða | 36 | 19 | 1949 | 1929 | 1967 | | 1969 | 729/2003 |
| Hitaveita GOGG³ | 37 | 15 | 1985 | 1992 | 2001 | | 2001 | 252/2001 |
| Hitaveita Dalvíkur | 38 | 15 | 1968 | 1969 | 1969 | | 1970 | 893/1999 |
| Hitaveita Egilsstaða og Fella | 39 | 12 | 1977 | 1979 | 1979 | | 1979 | 564/2008 |
| Hitaveita Húnaþings Vestra | 40 | 7 | | 1933 | 1999 | | | 063/2001 |
| Hitaveita Hvammstanga | | | 1971 | 1972 | 1973 | 1999 | 1973 | |
| Hitaveita Ytri-Torfustaðahr. | | | | 1933 | 1986 | 1999 | 1986 | |
| Hitaveita Reykjahlíðar | 41 | 7 | | 1971 | 1971 | | 1971 | 432/1985 |
| Hitaveita Öxarfjarðarhéraðs | 42 | 6 | 1988 | 1994 | 1994 | 2001 | | 261/2003 |
| Hitaveita Fjarðabyggðar | 43 | 6 | 2002 | 2005 | 2005 | | 2005 | 908/2005 |
| Orkubú Vestfjarða | | 4 | | | 1976 | | | 192/1978 |
| Hitaveita Suðureyrar | 44 | 3 | 1976 | 1977 | 1977 | 1993 | 1977 | |
| Hitaveita Reykhóla | 45 | 1 | 1953 | 1954 | 1974 | 1996 | 1976 | |
| Hitaveita Brautarholts | 46 | 1 | 1950 | 1950 | 1989 | | 1979 | 076/1979 |
| Hitaveita Drangsness | 47 | 1 | 1997 | 1999 | 2000 | | 2000 | 301/2000 |
| Hitaveita Mosfellsbæjar | 48 | 0 | | 1929 | 1943 | | 1975 | 959/2001 |

² Stærð veitu er miðuð við frumorkuvinnslu veitunnar að meðtöldu framlagi frá blönduðum virkjunum þar sem við á. OR fær gildið 1000 og aðrar veitur fá gildi í hlutfalli við vinnslu.

³ Hitaveita Grímsnes- og Grafningshrepps.

Tafla 3: Massanotkun, frumorkunotkun og tekjur hitaveitna árið 2008. Íbúafjöldi á veitusvæðum áætlaður árið 2007.

| | Massa- vinnsla | Massa- notkun | Meðal- hitastig lághitas- væða | Frumorku- notkun lághitas- væða | Frumorku- notkun sérleyfis- veitna | Tekjur af vatnssölu (án VSK) | Íbúafjöldi á veitusvæði 2007 |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|---|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | (Tg) | (Tg) | (°C) | (TJ) | (TJ) | (M kr) | |
| Alls / Meðal: | 78,81 | 77,73 | 90,5 | 24.647 | 37.065 | 8,8*10 ³ | 275.322* |
| Orkuveita Reykjavíkur | 42,60 | 41,96 | 92,9 | 13.828 | 22.517 | 5491,1 | 190.063* |
| Höfuðborgarsvæði | 35,50 | 35,50 | 94,5 | 11.802 | 19.932 | 5.120,3 | 182.688* |
| Hitaveita Hveragerðis | | | | | 560* | 75,6 | 2.186* |
| Hitaveita Rangæinga | 1,99 | 1,91 | 72,9 | 473 | 473 | 99,8 | 1.927* |
| Grímsnesveita | 1,31 | 1,31 | 78,6 | 349 | 349 | 37,7 | 40* |
| Hitaveita Þorlákshafnar | 0,82 | 0,82 | 106,7 | 314 | 314 | 50,7 | 1.572* |
| Hlíðaveita | 0,63 | 0,63 | 96,7 | 216 | 216 | 17,6 | 53* |
| Hitaveita Stykkishólms | 0,79 | 0,22 | 87 | 201 | 201 | 40,6 | 1.091* |
| Bífróst / Norðurárdalsveita | 0,52 | 0,52 | 72,1 | 123 | 123 | 12,7 | 298* |
| Ölfusveita | 0,29 | 0,29 | 116,3 | 122 | 122 | 5,0 | 6* |
| Hitaveita Skorradals | 0,28 | 0,28 | 90 | 89 | 89 | 6,5 | 60* |
| Austurveita | 0,27 | 0,27 | 82,1 | 76 | 76 | 15,1 | 140* |
| Munaðarnesveita | 0,20 | 0,20 | 86,5 | 60 | 60 | 9,4 | 2* |
| Hvammsvíkurveita | 0,01 | 0,01 | 85 | 2 | 2 | 0,03 | |
| Hitaveita Suðurnesja | | | | | 3.570 | 959,0 | 20.250* |
| Norðurorka | 8,10 | 7,80 | 83,0 | 2.214 | 2.214 | 793,3 | 19.425* |
| Hitaveita Ólafsfjarðar | 1,20 | 1,20 | 61,2 | 232 | 232 | 53* | 859* |
| Hitaveita Hríseyjar | 0,14 | 0,14 | 79,2 | 37 | 37 | 13* | 179* |
| Hitaveita Akureyrar | 6,31 | 6,01 | 88,1 | 1.820 | 1.820 | 704* | 18.243* |
| Hitaveita Svalbarðsströnd | 0,09* | 0,09* | 46,8 | 13* | 13* | 3* | |
| Reykjaveita, Fnjóskadal | 0,36 | 0,36 | 90,2 | 112 | 112 | 20* | 144* |
| Hitav. Akranes og Borgarfj. | 5,17 | 5,17 | 96,1 | 1.758 | 1.758 | 245,3** | 8.969** |
| Orkuveita Húsavíkur | 2,71 | 2,71 | 118 | 1.169 | 1.169 | 121,2 | 2.556* |
| Skagafjarðarveitur | 4,34 | 4,34 | 71,2 | 1.022 | 1.022 | 146,5 | 3.252* |
| Selfossveitur | 3,75 | 3,75 | 75 | 943 | 943 | 225,1 | 7.342* |
| Hitaveita Bláskógabyggðar | 1,96 | 1,96 | 103,9 | 728 | 728 | | 632* |
| Hitaveita Seltjarnarness | 1,55 | 1,55 | 109 | 612 | 612 | 90* | 4.424* |
| RARIK | 1,72 | 1,72 | 76,1 | 440 | 440 | 154,4* | 2.488* |
| Hitaveita Dalabyggðar | 0,36 | 0,36 | 83 | 101 | 101 | 28,8 | 344* |
| Hitaveita Blönduóss | 0,78 | 0,78 | 75,2 | 196 | 196 | 62,1 | 912* |
| Hitaveita Siglufjarðar | 0,59 | 0,59 | 73 | 143 | 143 | 63,5 | 1.232* |
| Hitaveita Flúða | 1,11 | 1,11 | 106 | 423 | 423 | 32,6 | 541* |
| Hitaveita GOGG | 1,24 | 1,24 | 80,3 | 340 | 340 | 8* | 51* |
| Hitaveita Dalvíkur | 1,55 | 1,55 | 65,5 | 328 | 328 | 82,6 | 1.856* |
| Hitaveita Egilsstaða og Fella | 1,09* | 1,09* | 75,5 | 276* | 276* | 104,6 | 2.649* |
| Hitaveita Húnaþings Vestra | 0,50 | 0,50 | 95,2 | 167 | 167 | 30,3 | 696* |
| Hitaveita Reykjahlíðar | | | | | 158 | 15* | 323* |
| Hitaveita Öxarfjarðarhéraðs | 0,33 | 0,33 | 114 | 138 | 138 | 15* | 183* |
| Hitaveita Fjarðabyggðar | 0,50 | 0,37 | 80,8 | 128 | 128 | 55,2 | 1.028* |
| Orkubú Vestfjarða | 0,38 | 0,38 | 64,5 | 91 | 91 | | 388* |
| Hitaveita Reykhóla | 0,09 | 0,09 | 96,0 | 30 | 30 | 7,8 | 128* |
| Hitaveita Suðureyrar | 0,30 | 0,30 | 64,5 | 61 | 61 | | 260* |
| Hitaveita Brautarholts | 0,09 | 0,09 | 71 | 22 | 22 | 1* | 38* |
| Hitaveita Drangsness | 0,11 | 0,11 | 61 | 21 | 21 | 5,3 | 61* |
| Hitaveita Mosfellsbæjar | | | | | | 187,7 | 8.107* |

* Áætlun.

** Smásala/íbúafjöldi á veitusvæðum HAB, OR-Akranes og OR-Borgarnes.

4.1 Saga hitaveitna á liðinni öld

Töluvert er til af sögulegum heimildum um hitaveitur landsins og jarðhitanotkun í víðara samhengi. Má þar meðal annars nefna bækurnar *Auður úr iðrum jarðar: saga hitaveitna og jarðhitanýtingar á Íslandi* eftir Svein Þórðarson (1998) og *Jarðhitabók: eðli og nýting auðlindar* eftir Guðmund Pálmason (2005), sem og greinargerðina *Um hitaveitur á Íslandi* eftir Svein Þórðarson og Þorgils Jónasson (2007).

Upphaf nýtingar jarðhita til húshitunar má rekja til ársins 1908 þegar Stefán B. Jónsson á Suður-Reykjum í Mosfellsbæ veitti hveravatni heim að bæ sínum til upphitunar. Þá var hitaveita tekin í notkun í Laugaskóla í Reykjadal í nóvember 1924 og í Laugarvatnsskóla árið 1928, en samfélagslegar veituframkvæmdir hófust þó ekki í stórum stíl fyrr en með tilkomu Laugaveitunnar árið 1930 þegar 3 km löng pípa var lögð úr Þvottalaugunum í Reykjavík að Austurbæjarskóla. Hitaveita Reykjavíkur var í framhaldinu formlega stofnuð árið 1946, en áður höfðu Hitaveita Mosfellsbæjar og Hitaveita Ólafsfjarðar verið stofnaðar árin 1943 og 1944.

Árið 1948 hóf Hitaveita Reykjavíkur heitavatnsvinnslu í Mosfellsdal sem bættist við vinnsluna á Laugarnessvæðinu og þremur árum síðar var svo komið að rúmlega helmingur íbúa bæjarins hitaði hús sín með hitaveituvatni. Þrátt fyrir kaup á jarðhitaréttindum í Mosfellsdal og frekari boranir var vatnsskortur viðvarandi vandamál, enda íbúafjöldun mikil í höfuðstaðnum. Að tilstuðlan bæjarstjórnar Reykjavíkur og Alþingis þokaðist þó í rétta átt. Lagaumgjörð jarðhitamála var bætt, hitaveitunefnd var sett á laggirnar árið 1954 og keyptur var til landsins öflugur jarðbor árið 1957 sem olli straumhvörfum í borunum eftir heitu vatni. Nýjar og gjöfular holur urðu til þess að um 40.000 Reykvíkingar nutu hitaveitu árið 1961. Frekari boranir á Laugarnessvæðinu og við Elliðaár, notkun djúpdælna og endurbætur á veitukerfinu urðu til þess að auka afkastagetu hitaveitunnar enn frekar eftir því sem leið á 7. áratuginn. Árið 1971 var svo komið að 98% íbúa Reykjavíkur voru tengdir hitaveitunni.⁴

Þrátt fyrir að Reykjavík hafi verið nánast að fullu hitaveituvædd í upphafi 8. áratugarins, var þróunin á landsbyggðinni mun hægari eins og sést þegar horft er til fjölda nýrra sérleyfisveitna á 6. og 7. áratugnum í töflu 2 og á mynd 13. Sviptingar í heimsmálunum urðu þó til þess að beina áhuga stjórnvalda og jarðhitasamfélagsins frekar að uppbyggingu hitaveitna þar, en olúkreppurnar sem skulu á vegna Yom Kippur stríðsins árið 1973 og írönsku byltingarinnar árið 1979 urðu til þess að hækka olúverð til muna. Því var mikil áhersla lögð á að draga úr innflutningi á olú. Áhrif þessa má glögg sjá á mynd 13, en af 40 hitaveitum í töflu 2 voru einungis 9 settar á laggirnar fyrir 1970. Af þessum 40 var hinsvegar 14 komið á fót á 8. áratugnum, 8 á 9. áratugnum, 5 á 10. áratugnum og 4 á 1. áratug þessarar aldar. Þó listinn sé ekki tæmandi gefur hann góða hugmynd um þróunina yfir tímabilið.

Mikið hefur verið um samruna og kaup stærri veitna á smærri veitum síðustu tvo áratugi eins og fram kemur í töflu 2. Á 10. áratug síðustu aldar sameinuðust Hitaveita Selfoss og Hitaveita Eyra í Selfossveitur, en Hitaveita Selfoss hafði selt vatn í heildsölu til Hitaveitu Eyra á Stokkseyri og Eyrarbakka. Jafnframt keypti Orkubú Vestfjarða Hitaveitu Suðureyrar og Hitaveitu Reykhóla og Rafmagnsveitur ríkisins festu kaup á

⁴ Málsgreinin er tekin saman úr kafla XI í bók Sveins Þórðarsonar, *Auður úr iðrum jarðar: saga hitaveitna og jarðhitanýtingar á Íslandi*.

Hitaveitu Siglufjarðar. Á 1. áratug þessarar aldar hélt þessi þróun áfram. Hitaveita Sauðárkróks, Hitaveita Seyluhrepps og Hitaveita Steinsstaða sameinuðust í Skagafjarðarveitum, en síðastnefnda veitan nýtir vatn úr laug og starfaði ekki samkvæmt reglugerð fyrir samrunann.

Norðurorka varð til árið 2000 við sameiningu Rafveitu Akureyrar og Hita- og Vatnsveitu Akureyrar, en fyrirtækið festi síðar kaup á Hitaveitu Hríseyjar, Hitaveitu Ólafsfjarðar og hitaveitu á Svalbarðsströnd. Jafnframt réðst fyrirtækið í lagningu Reykjaveitu í Fnjóskadal til Grenivíkur árið 2006. Þá keyptu Rafmagnsveitur ríkisins Hitaveitu Dalabyggðar og Hitaveitu Blönduóss, og Bláskógaveita varð til við sameiningu Hitaveitu Laugaráss og hitaveitna í Reykholti í Biskupstungum og á Laugarvatni. Ennfremur sameinaðist Orkuveita Reykjavíkur Kjalarnesveitu og hitaveitu í Bessastaðahreppi sem hún hafði áður selt vatn í heildsölu, festi kaup á fjölmörgum smærri veitum utan höfuðborgarsvæðisins og hóf rekstur annarra, s.s. Munaðarnesveitu í samstarfi við Bandalag starfsmanna ríkis og bæja.

Árið 2008, þegar öld var liðin frá frumkvöðlastarfi Stefáns, hituðu um 90% þjóðarinnar híbýli sín með jarðhita. Á síðustu árum hefur töluverð áhersla verið lögð á jarðhitaleit á köldum svæðum og er því nokkur von til þess að jarðhitinn muni að einhverju marki ná til þess hluta þjóðarinnar sem nú þegar nýtur hans ekki við, en einnig getur notkun jarðhita til húshitunar aukist hlutfallslega með fólksflutningum frá köldum svæðum yfir á jarðhitasvæði.

4.2 Söfnun og varðveisla gagna í sögulegu samhengi

Þegar fyrstu hitaveitur landsins voru stofnaðar á 5. áratugi síðustu aldar var minna vitað um eðli og dreifingu jarðhitans en í dag og sjónarmið gagnvart nýtingu náttúruauðlinda voru að nokkru leyti önnur. Áherslan var fyrst og fremst á notagildi og praktískar lausnir sem leiddu til aukinnar hagsældar og lífsgæða, en minni gaumur var gefinn að langtímanýtingarsjónarmiðum, enda hafði sjálfbærnihugtakið ekki enn rutt sér til rúms. Í stórum dráttum virðist þróunin hafa verið sú að í fyrstu hafi veitur nýtt yfirborðslaugar og hveru, en þegar eftirspurn jókst var tekið til við boranir í grenndinni. Með tíð og tíma breiddist nýtingin svo út til svæða þar sem erfiðara var að ná til jarðhitavatnsins og meiri þekkingar var krafist á eðli jarðhitakerfa. Þó skilningur á lágheitsvæðum hafi aukist mikið frá því að fyrstu veiturnar voru teknar í gagnið er jarðhitasamfélagið enn virkt í að bæta við þekkingarfordönn.

Ef horft er til sögunnar og þeirra sjónarmiða sem ríkjandi hafa verið gagnvart nýtingu jarðhitans á hverjum tíma er ekki að undra þó áhersla á gagnasöfnun hafi verið lítil til að byrja með. Svæðin sem virkjuð voru í upphafi voru gjöful og töluverður tilkostnaður fólgin í nákvæmu eftirliti með vinnslu og notkun. Fjármunir og mannafl beindust heldur að frekari uppbyggingu en magnmælingum.

Eftir því sem byggðir á hitaveitusvæðum stækkuðu og eftirspurn eftir jarðhitavatni til upphitunar jókst fór takmörkuð afkastageta jarðhitakerfa að segja til sín. Varð það til þess að veitur gripu til ráðstafana til að minnka sóun og jafnframt var betur hugað að langtímanýtingu kerfanna. Kom þetta m.a. fram í því að rennslismælar voru teknir upp í auknum mæli þar sem áður hafði verið notast við hemla og skilaði bætt kostnaðarvitund neytenda sér í betri nýtingu á auðlindinni. Með auknum fjölda mæla sköpuðust jafnframt tækifæri til að fylgjast betur með heildarnotkun og notkunarmynstri.

Í gegnum tíðina hafa Jarðhitadeild og Rannsóknasvið Orkustofnunar, Íslenskar Orkurannsóknir sem arftaki þeirra og einkafyrirtæki unnið að rannsóknum á jarðhitasvæðum, haft eftirlit með vinnslu og efnainnihaldi jarðhitavökva og gefið niðurstöður út í skýrslum samkvæmt samningum við veitur. Í sumum tilvikum hefur áhersla frekar verið lögð á vinnslueftirlit en efnaeftirlit og í öðrum hefur þessu verið öfugt farið. Þar sem eftirlitið hefur verið undir veitunum sjálfum komið, með hliðsjón af ráðleggingum sérfræðinga, eru samfelldni og gæði gagna mjög misjöfn eftir svæðum, enda fjárhagur og aðstæður breytileg milli veitna. Sjá samantekt um vinnslueftirlit með hitaveitum og orkufyrirtækjum í grein eftir Steinunni Hauksdóttur o.fl. (2001).

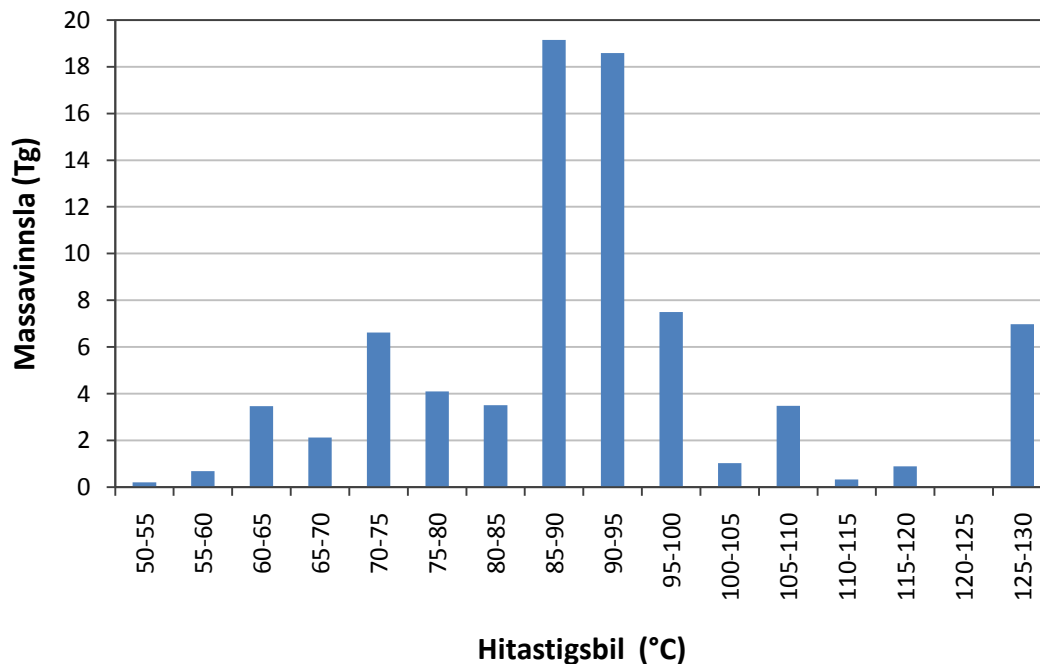
Árið 1994 hóf Orkustofnun kerfisbundna söfnun og útgáfu upplýsinga sem varða starfsemi sérleyfisveitna og stærstu einkahitaveitna og komu þær fyrir sjónir almennings í töflu 5 í ritinu Orkumál á árabílinu 1994 – 2001. Við þetta batnaði vitneskja um vinnslu, notkun og ýmsar aðstæður veitna umtalsvert, þó nokkur brögð væru að því að gögn skiluðu sér seint og illa eða að tiltekna upplýsingar lágu ekki fyrir hjá veitum. Mikil vinna fór í söfnun, utanumhald og áminningar um skil. Eftir að Orkumál breyttu um mynd og útgáfa gagnataflna lagðist niður var kerfisbundinni gagnasöfnun engu að síður haldið áfram og hefur hún haldist fram á þennan dag. Eftir sem áður hefur þó reynst erfitt að nálgast vinnsluupplýsingar frá ýmsum veitum þar sem þær hafa ekki haft yfir nauðsynlegum búnaði eða mannskap að ráða.

Gagnagrunnur Orkustofnunar gegnir veigamiklu hlutverki þegar kemur að varðveislu gagna, enda geymir hann ógrynni upplýsinga sem stofnuninni hafa borist í gegnum tíðina og ber þar sérstaklega að nefna borholuskrána sem inniheldur upplýsingar um allar þekktar jarðhitaborholur á landinu. Eru holurnar flokkaðar niður eftir staðarnúmerum, svæðum og hreppum og koma m.a. fram upplýsingar um borár, dýpi, fjölda borverka og stærð fóðringa.

Við úttekt þá sem gerð eru skil í þessari skýrslu var upplýsingum safnað aftur í tímann eins og mögulegt var fyrir hverja veitu, en eins og að framan er greint eru þær nokkuð misjafnar að umfangi, samfelldni og gæðum. Leitað var fanga í töflu 5 í Orkumálum og upplýsingablöðum sem Orkustofnun hafa borist frá árinu 1994, en jafnframt stuðst við tiltækar eftirlitsskýrslur stofnunarinnar, ÍSOR og einkafyrirtækja. Gögnum bar yfirleitt vel saman, en þó mátti í einhverjum tilfellum finna frávik bæði í magntölum og hitastigsmælingum. Líklegt má telja að frávik í magntölum endurspeglar að einhverju leyti óvissu og komi til af því að rennismælur detti út hluta úr ári þ.a. brúa þurfi óþekkta bilið, notast sé við aflestra úr mismunandi hlutum kerfis, eða að mælur séu óvirkir eða ekki til staðar. Í slíkum tilvikum fæst besta mat frá þeim aðilum sem best þekkja til kerfanna, þó það sé háð nokkurri óvissu. Um 1-2°C getur munað á uppgefnum hitastigum frá veitum og mæliniðurstöðum í eftirlitsskýrslum og stafar sá munur líklega af því að hitastigsmælingar eru teknar á mismunandi stöðum, en mikilvægt er að þær séu gerðar sem næst holutoppi þegar kemur að því að meta frumorkuvinnslu.

4.3 Hitastig jarðhitavökvans

Á lághitasvæðum er hitastig á 1 km dýpi oftast innan við 150°C og því liggur hitastig á holutoppi innan þeirra marka. Vatn sem er heitara en 100°C snöggsýður er það kemur undir bert loft og við það getur töluverð orka tapast, en með því að halda þrýstingi á



Mynd 15: Dreifing massavinnslu á lághitasvæðum eftir hitastigi á holutoppi.

holutoppi má koma í veg fyrir suðu og veita allri orku jarðhitavatnsins inn á veitukerfi. Dreifing massavinnslu á lághitasvæðum eftir holutoppshitastigi er sýnd á mynd 15. Árið 2008 reyndust rúm 16% unnins massa vera yfir 100°C á holutoppi, en massahlutfall vökva sem hafði hærra hitastig en 80°C á holutoppi var hinsvegar rúm 78%. Algengt er að miða við 80°C sem inntakshitastig á dreifikerfi, s.s. hjá Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu og Orkuveitu Húsavíkur. Þó finnast dæmi þess að allt að 100°C heitu vatni sé veitt inn á flutnings- og dreifikerfi, sérstaklega þar sem vegalengdir eru miklar. Má þar nefna 63 km langa aðveituæð Hitaveitu Akraness og Borgarfjarðar frá Deildartunguhver að Akranesi sem er sú lengsta á landinu, en inn á hana er veitt 98-99°C heitu vatni sem kólnar niður í 77-78°C yfir þá tvo til þrjá sólarhringa sem það tekur vatnið að streyma að vatnsgeymi á Akranesi (Anna Lilja Oddsdóttir, 2008). Á Flúðum r hitastig til notenda á bilinu 95-98°C og í Hveragerði er gufa notuð að hluta beint til upphitar. Um 22% unnins massa árið 2008 voru kaldari en 80°C á holutoppi, en gæði þess vökva fara minnkandi með lækkandi hitastigi.

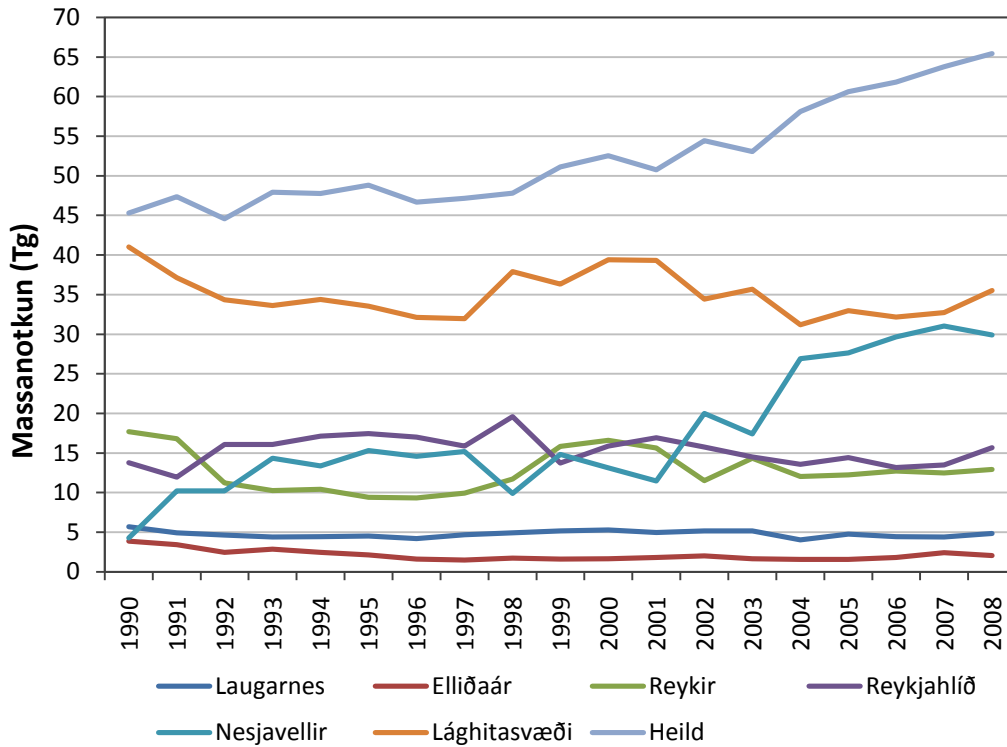
4.4 Massavinnsla sérleyfisveitna

Massavinnsla sérleyfisveitna á lághitasvæðum nam 78,8 megatonnum árið 2008 og var því lítillega minni en vinnsla jarðvarmavirkjana sem nam 80,0 megatonnum. Hitaveita Rangæinga, Hitaveita Stykkishólms, Norðurorka á Akureyri og Hitaveita Fjarðabyggðar starfrækja allar niðurdælingarholur og nam niðurdælingin alls 1,1 megatonni. Massanotkun sérleyfisveitna á lághitasvæðum var því um 77,7 megatonn.

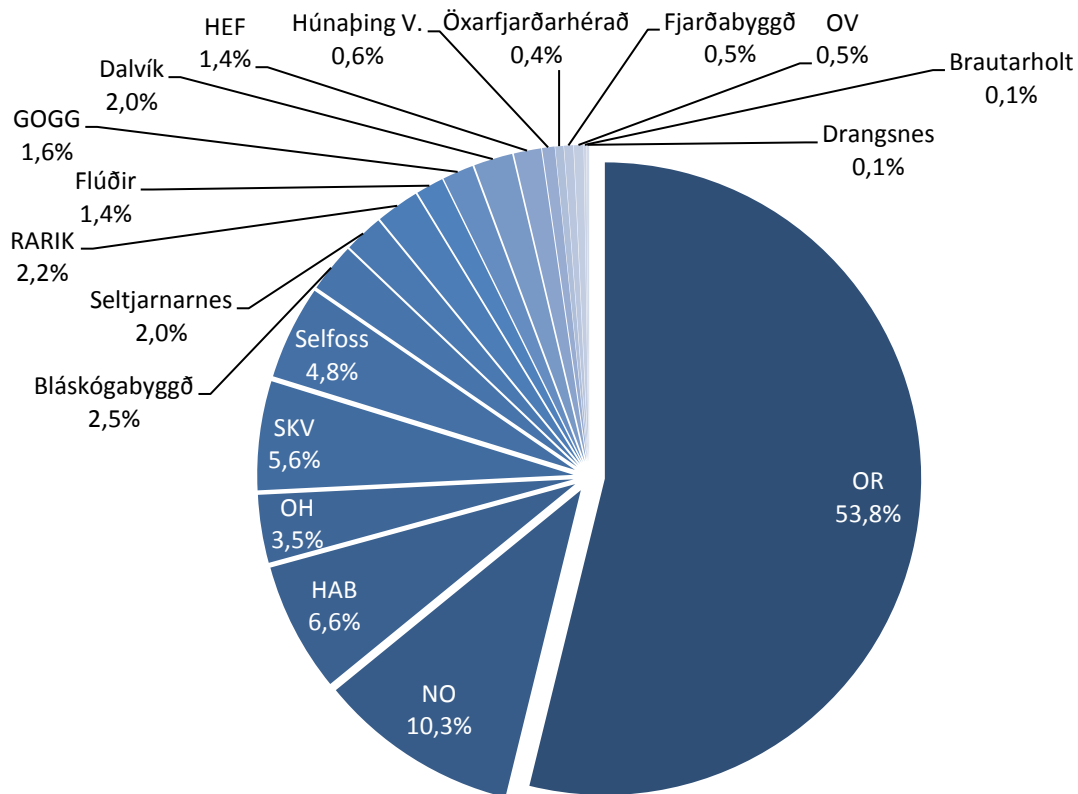
Massanotkun Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu frá árinu 1990 er sýnd á mynd 16. Heildarnotkunin jókst úr 45,3 megatonnum í upphafi tímabilsins í 65,4 megatonn árið 2008, þ.e. um 44,4%. Þrátt fyrir þetta minnkaði massavinnsla á lághitasvæðum veitunnar úr 41,0 megatonni í 35,5 megatonn á sama tímabili. Framlag

Nesjavallavirkjunar hefur því ekki einungis verið nýtt til að mæta aukinni eftirspurn, heldur einnig til að létta á lághitasvæðum, en varmaorkuver virkjunarinnar var tekið í notkun í september árið 1990.

Hlutfallsleg skipting massavinnslu sérleyfisveitna árið 2008 er sýnd á mynd 17. Langmest var vinnsla Orkuveitu Reykjavíkur, þ.e. hátt í 54% af heildinni, en hlutfallsleg vinnsla Norðurorku, Hitaveitu Akraness og Borgarfjarðar, Skagafjarðarveitna og Selfossveitna lá á bilinu 5-10%. Af 21 sérleyfisveitu sem vinna jarðhitavökva standa þær stærstu 5 fyrir um 81% vinnslunnar.



Mynd 16: Massanotkun Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu.



Mynd 17: *Hlutfallsleg skipting massavinnslu sérleyfisveitna á lághitasvæðum árið 2008. Heildarvinnslan nam 78,8 Tg. (Tg = megatonn).*

4.5 Frumorkunotkun sérleyfisveitna

Frumorkuvinnsla sérleyfisveitna á lághitasvæðum nam 24,7 PJ árið 2008, en heildarvarmi í niðurdælingarvökva var innan við 0,1 PJ. Til viðbótar tóku Hitaveita Reykjavíðar, HS Veitur og Orkuveita Reykjavíkur alls við um 11,9 PJ frá blönduðum jarðvarmavirkjunum í Bjarnarflagi, Svartsengi og á Nesjavöllum. Með framlagi Hveragerðis nam heildarfrumorkunotkun sérleyfisveitna 37,1 PJ. Mesta eftirspurnin var eftir sem áður á höfuðborgarsvæðinu þar sem þrjú stærstu vinnslusvæðin stóðu fyrir um 45% af heildarvinnslu sérleyfisveitna á lághitasvæðum (mynd 19). Eftirspurn og vinnsla hafa aukist töluvert á síðustu árum vegna mikillar uppbyggingar á höfuðborgarsvæðinu og víðar.

Frumorkunotkun veitna OR utan höfuðborgarsvæðisins er sýnd á mynd 20. Eins og fram kemur í töflu 2 voru veiturnar flestar stofnsettar eða sameinaðar OR á fyrsta áratugi þessarar aldar og vinnslusagan því ekki löng. Þó skera Hitaveita Þorlákshafnar og Hitaveita Rangæinga sig úr hvað þetta varðar. Vinnsla fyrri veitunnar náði hámarki árið 1989, en lækkaði eftir það vegna gjaldþrota orkukaupenda á svæðinu (Valgerður Einarsdóttir, 2008). Eftir árið 1994 jókst vinnslan á ný og hefur verið nálægt 300 TJ síðasta áratuginn. Frá árinu 1983 hefur vinnsla Hitaveitu Rangæinga aukist úr 207 TJ í 473 TJ, en þar sem jarðhitakerfið á Laugalandi í Holtum reyndist ekki nægja til að mæta þörfum var jarðhitakerfið í Kaldárholti virkjað með holu KH-36 árið 2000. Við það minnkaði álag á fyrri kerfið. Frá árinu 2004 hefur meðalársvinnslan á Laugalandi verið í námunda við 140 TJ og á sama tíma hefur vinnslan í Kaldárholti aukist um 137 TJ.

Athygli vekur hve vinnsla Grímsnesveitu hefur aukist mikið frá stofnun veitunnar árið 2002, en hún nam 349 TJ árið 2008 og var sú næstmesta af veitum OR utan höfuðborgarsvæðisins á eftir Hitaveitu Rangæinga ef Hveragerði er undanskilið.

Hveragerði telst til háhitasvæða, þó í kaldari kantinum sé, og hefur því nokkra sérstöðu meðal þeirra svæða sem eingöngu eru nýtt til hitaveitu. Þar er gufa tekin inn á röravarmaskipta á um 5 bar og 150°C og notuð til að hita upp kalt vatn í lokuðu dreifikerfi, en einnig er hún í nokkrum mæli notuð beint til upphitunar. Þar sem magnmæling á gufu- og tvífasa streymi er erfiðleikum bundin, var framan af hvorki notast við magnmæla né hemla eins og tíðkast hjá öðrum hitaveitum. Gjaldtaka var miðuð við upphitaða rúmmetra húsnæðis og gjaldið stillt af þannig að veitan stæði undir sér. Síðar var tekin upp gjaldskrá sem tók mið af fermetrafjölda húsnæðis. Eftir tilkomu varmaskiptastöðva hafa magnmælar verið settir upp í lokuðu dreifikerfinu og hefur þeim fjölgað með auknum fjölda húsa sem tengd eru inn á kerfið (Þorgils Jónasson, 2008). Frumorkunotkun hitaveitunnar hefur af þessum sökum einungis verið áætluð.

Frumorkunotkun Norðurorku frá árinu 1981 er sýnd á mynd 20. Það ár stóð jarðhitakerfið á Syðra Laugalandi fyrir stórum hluta af orkupörf Hitaveitu Akureyrar, en á næstu árum var álagi létt af kerfinu samhliða því sem vinnsla var aukin á Botni og í Glerárdal. Árið 2008 nam heildarvinnsla hitaveitu Norðurorku á Akureyri 1,8 PJ og þar af kom helmingur frá jarðhitakerfinu á Hjalteyri sem tekið var í notkun í lok árs 2003. Í Hrísey hefur vinnsla farið jafnt og þétt minnkandi og lækkaði úr 80,8 TJ árið 1994 í 36,9 TJ árið 2008. Á Ólafsfirði hefur vinnsla hinsvegar aukist lítillega á síðustu árum og stóð í 232,4 TJ árið 2008.

Þróun frumorkunotkunar Skagafjarðarveitna er sýnd á mynd 21. Á Sauðárkróki, sem fær jarðhitavatn sitt frá Borgarmýrum við Áshildarholtsvatn í landi Sjávarborgar, minnkaði frumorkunotkun um 15,7% á milli árána 1980 og 2008 sem skýrist m.a. af betri stýringu á rennsli úr vinnsluholum og uppsteypingu í eldri holur (Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1991). Samkvæmt gögnum Hagstofunnar fjölgaði íbúum kaupstaðarins úr 2188 í 2561 á tímabilinu og því lækkaði frumorkunotkun á íbúa úr 276,7 GJ í 199,4 GJ yfir tímabilið, þ.e. um 27,9%. Þróunin á Sauðárkróki er því gott dæmi um þau áhrif sem bætt umgengni við jarðhitaauðlindina geta haft.

Gögn fyrir aðrar undirveitur Skagafjarðarveitna ná ekki eins langt aftur, enda eiga sumar hverjar sér stutta sögu. Má þar nefna hitaveituna á Hofsósi sem tók formlega til starfa 13. desember 2007, en hún fær jarðhitavatn frá borholu á Bræðraá í Hrolleifsdal. Vinnsla hefur verið á Reykjum í Hjaltadal frá því um 1980 eins og fram kemur í töflu 2, en þar tekur fiskeldi við umtalsverðum hluta vatnsins. Í Varmahlíð hefur verið nokkur stífgandi í notkun frá því um aldamót, en notkun á Steinsstöðum og á Barði hefur lítið breyst á síðustu árum.

Rafmagnsveitur ríkisins (RARIK) tóku við rekstri Hitaveitu Siglufjarðar árið 1991, en til eru gögn um áætlaða vinnslu í Skútudal aftur til 1963 (Ómar Sigurðsson og Auður Ingimarsdóttir, 1989) þó að hitaveitan hafi ekki verið tekin í gagnid fyrir en 1975 (sjá töflu 2). Vinnslan jókst mjög fyrstu tvö árin sem veitan var starfrækt, sem hugsanlega kann að skýrast af því að enn var verið að tengja ný hús við veituna. Þar sem vatnið úr tveimur fyrstu vinnsluholum, SK-07 og SK-10 dugði ekki, var hola SK-11 boruð sumarið 1983 og sjást þess merki á mynd 22 (Sveinn Þórðarson, 1998). Um áramótin 1991-92 breytti hitaveitan sölukerfi sínu frá hemlum í magnmæla og í júní 1992 var

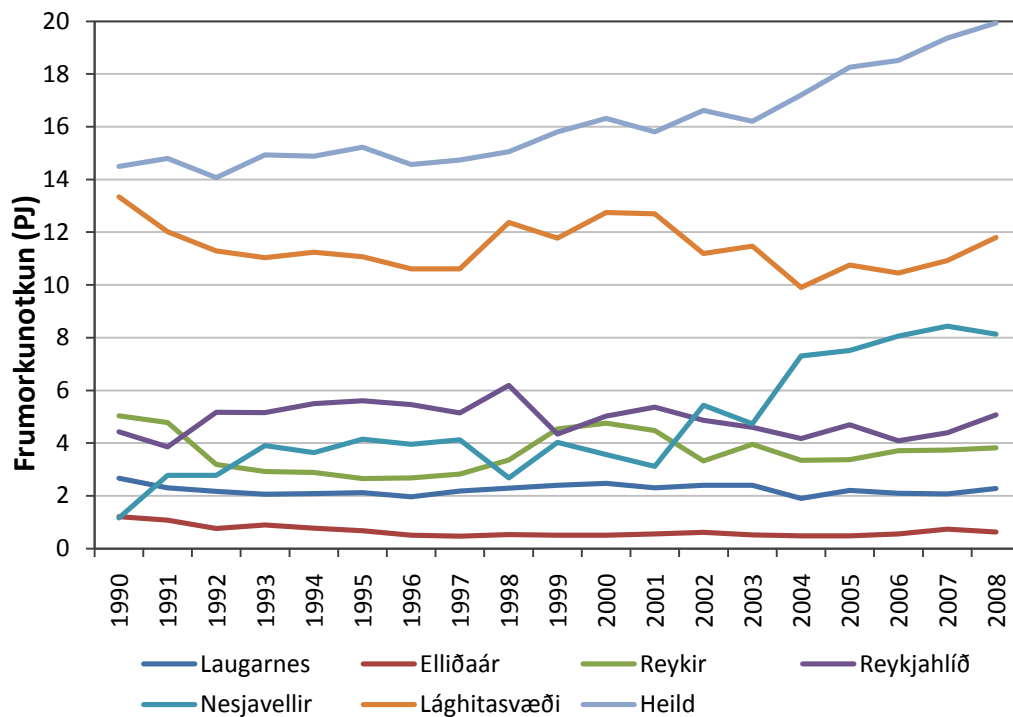
tekin í notkun hraðastýring fyrir dælingu úr holu 11 (Ómar Sigurðsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1994). Áhrif þessa koma greinilega fram og eru dæmigerð fyrir þær breytingar sem verða á notkun við slík umskipti á sölufyrirkomulagi, en vitna einnig um mikilvægi markvissrar stýringar vinnslu. Eftir árið 1993 var vinnslan nokkuð stöðug í kringum 130 TJ á ári, en frá árinu 2004 hefur hún aukist nokkuð á ný. Rafmagnsveitur ríkisins tóku við rekstri Hitaveitu Dalabyggðar árið 2003, en þar hefur meðalfrumorkunotkun verið um 93 TJ frá árinu 1993. Í hópinn bættist Hitaveita Blönduóss árið 2005, en þar hefur frumorkunotkun sveiflast í kringum 197 TJ að meðaltali og var árið 2008 mjög áþekkt því sem hún var árið 1978.

Frumorkunotkun Selfossveitna frá árinu 2003 er sýnd á mynd 23. Vinnslusvæðin eru 3 og er umfang vinnslu mjög misjafnt á milli þeirra. Lang mest er vinnslan að Þorleifskoti, en einnig er umtalsverð vinnsla að Ósabotnum. Laugarbakkar telja hinsvegar lítið í heildinni.

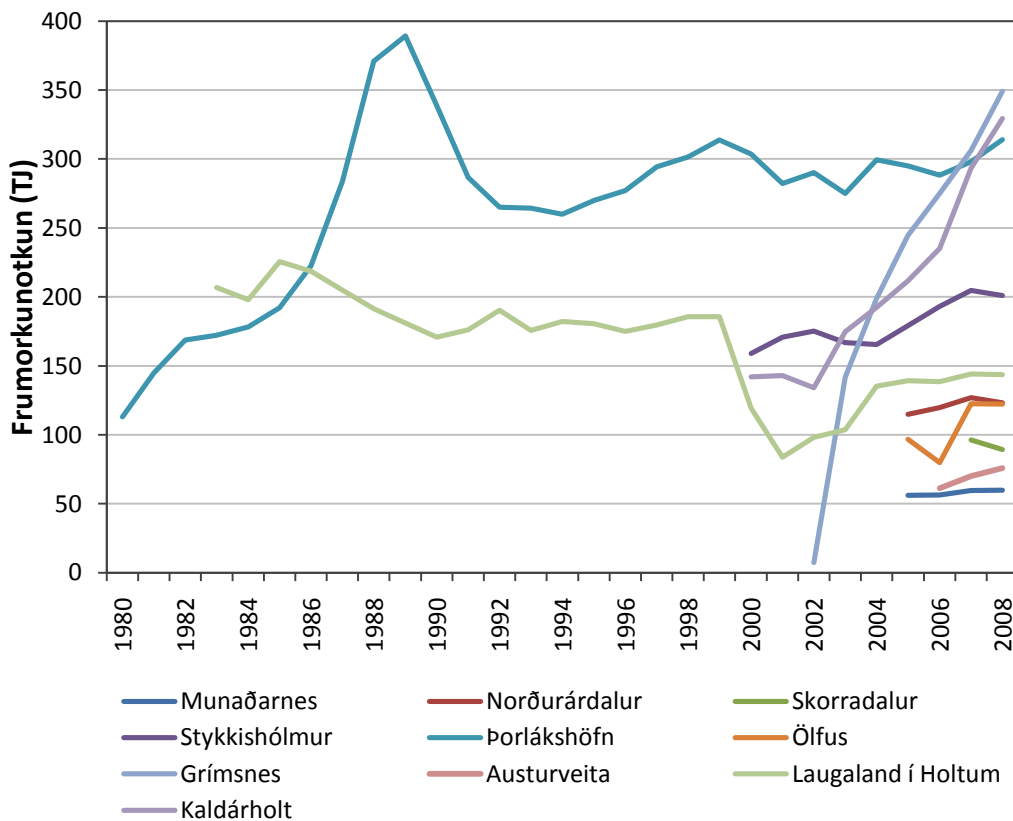
Frumorkunotkun annarra meðalstórra hitaveitna á landinu sem vinnslugögn liggja fyrir um aftur í tímann er sýnd á mynd 24. Hitaveita Dalvíkur starfrækir vinnslusvæði að Hamri í Svarfaðardal og Birnunesborgum á Árskógsströnd, en nýting síðara svæðisins til heitavatnsvinnslu hófst 20. nóvember 1998 (Jónas Ketilsson o.fl., 2006). Veitan var formlega tekin í notkun haustið 1969, en þá var búið að tengja 44 hús (Sveinn Þórðarson, 1998). Árið eftir voru flest hús komin með hitaveitu, þó ekki væri lokið við dreifikerfið fyrr en 1979. Í upphafi var notast við holu HA-02, en árið 1975 var hola HA-09 jafnframt tekin í gagnid og enn bættist hola HA-10 við árið 1977, en með henni batnaði vinnslustaðan talsvert. Vinnslan jókst yfir þann tíma sem nýjar holur bættust við og dreifikerfið var í uppbyggingu, en hemlar voru notaðir til ársins 1986 þegar rennismælar voru settir á inntök allra húsa. Þessa sjást glögg merki á myndinni, enda minnkaði frumorkunotkunin um rúm 35% á milli árána 1985 og 1987 og sýnir því enn og aftur þann hvata sem í slíkri breytingu liggur til að minnka sóun. Frá árinu 1991 hefur verið nokkuð jafn stígandi í frumorkunotkun veitunnar og með tilkomu vinnslusvæðisins að Birnunesborgum var dreifikerfi veitunnar víkkað út til Litla-Árskógssands, Hauganess, Árskógsstrandar og í stóran hluta Svarfaðardals.

Nokkuð góð gögn eru til um frumorkunotkun Hitaveitu Egilsstaða og Fella frá upphafi, þó upplýsingar um vinnslu tveggja síðustu ára séu ekki tiltækar (mynd 24). Fyrstu húsinn fengu vatn frá holu UV-04 þann 20. desember 1979, en vatnið úr henni kólnaði um 2°C fyrsta árið. Nokkuð erfiðlega gekk að finna meira vatn á næstu árum og þar sem vinnslan nægði ekki til að mæta vaxandi eftirspurn í stækkandi dreifikerfi var kyndistöð tekin í notkun í desember 1981. Haustið 1983 var hola UV-08 hinsvegar boruð og gaf hún nægt vatn til að mæta þörfum byggðarinnar. Eftir tilkomu holu UV-08 jókst vinnslan töluvert og náði tímabundnu hámarki árið 1986. Fyrri hluta árs 1988 var sölufyrirkomulagi breytt þegar hemlum var skipt út fyrir magnmæla. Breyting á vinnslu á milli árána 1988 og 1989 ber þess ljós merki. Frá þeim tíma hefur frumorkunotkunin hinsvegar aukist jafnt og þétt. Athyglivert er að síðustu tvo áratugina eða svo hefur þróun vinnslu Hitaveitu Egilsstaða og Fella og vinnslu Hitaveitu Dalvíkur úr jarðhitakerfinu að Hamri haldist nokkurn veginn í hendur.

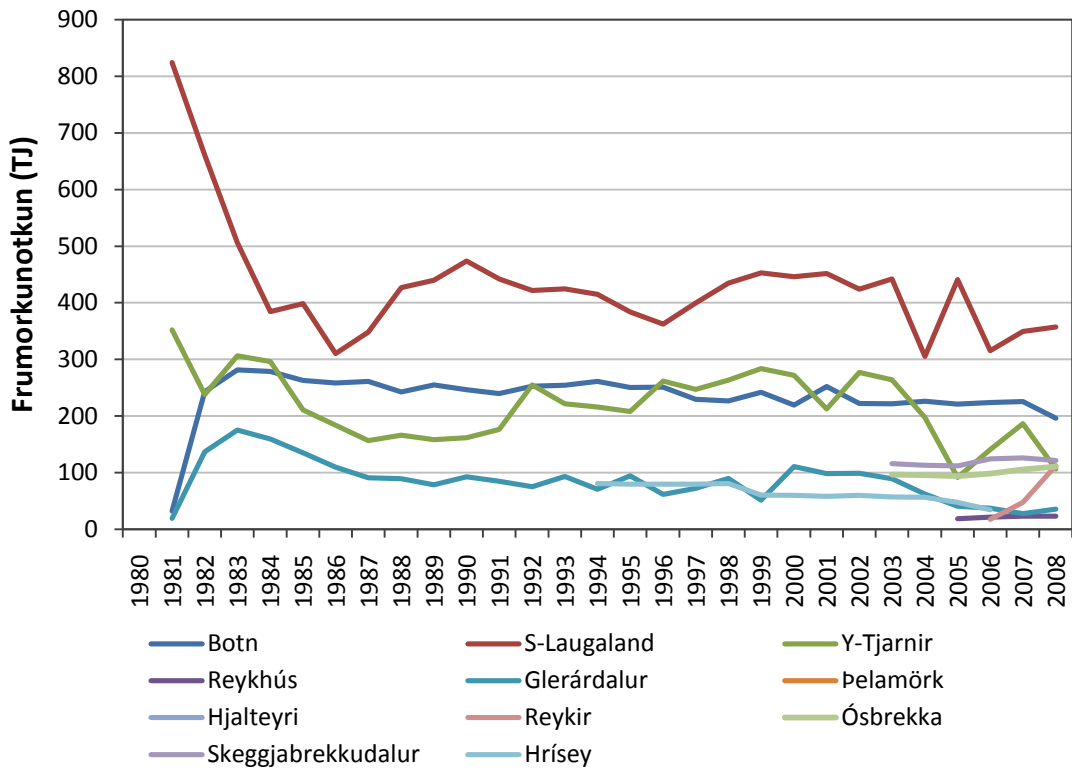
Á Flúðum á jarðhitavinnsla sér langa sögu, en gögn liggja hinsvegar einungis fyrir frá árinu 2004 (mynd 24). Á þeim tíma hefur frumorkunotkunin farið vaxandi.



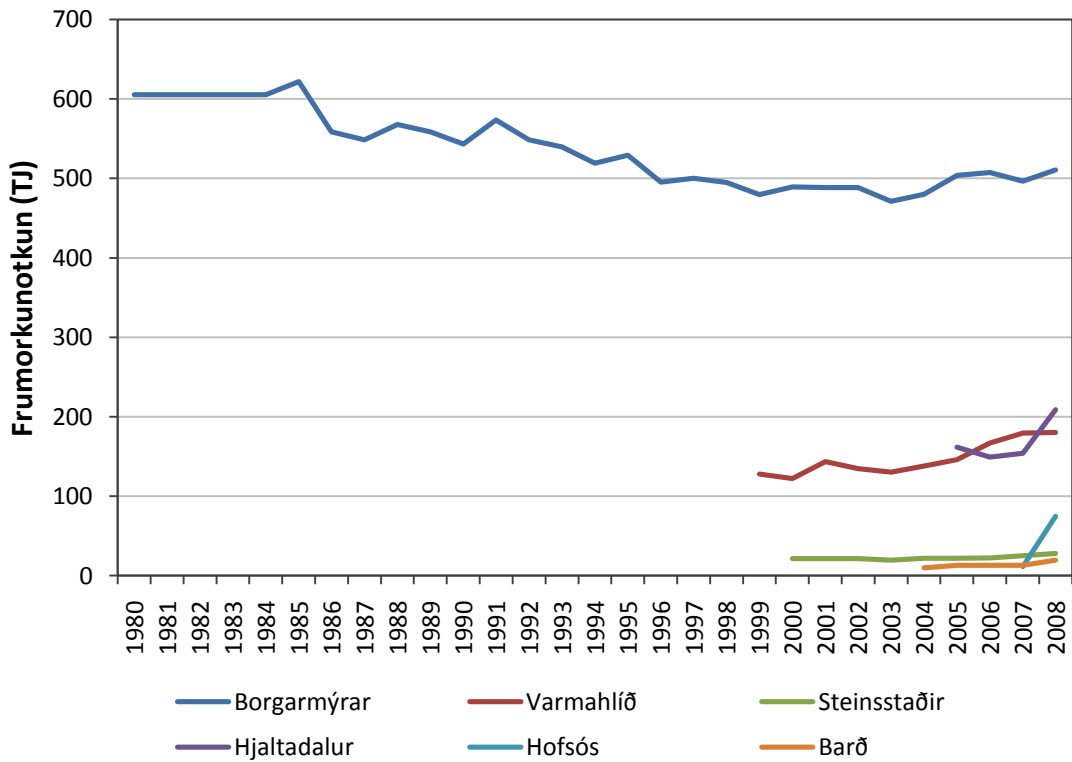
Mynd 18: Frumorkunotkun Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu.



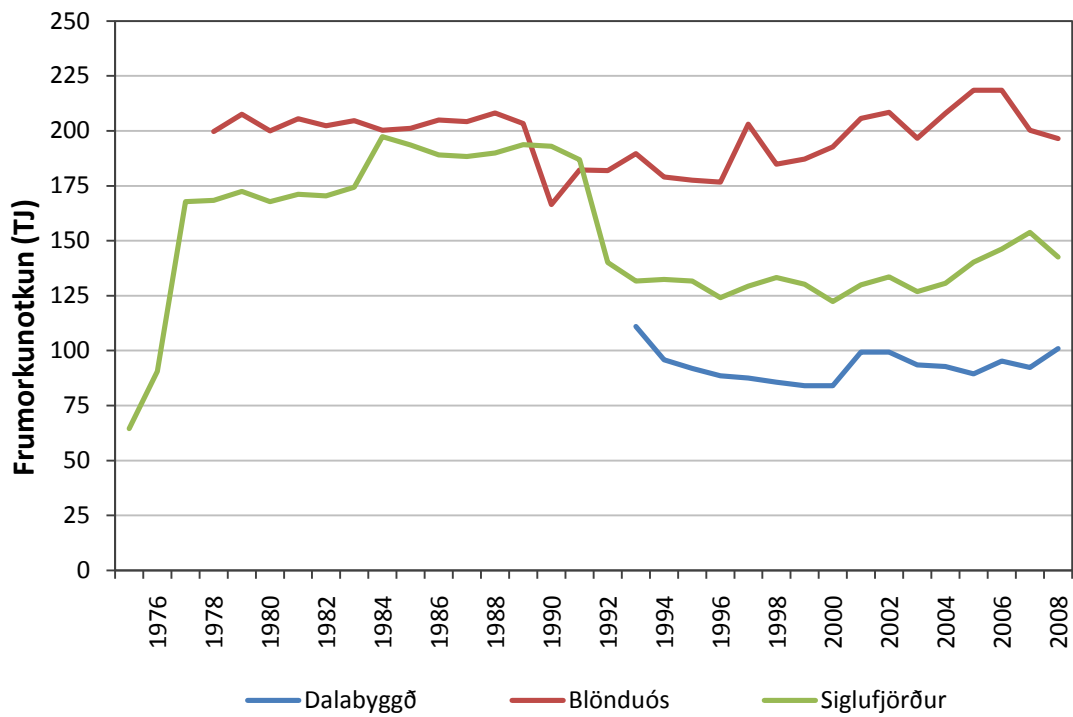
Mynd 19: Frumorkunotkun Orkuveitu Reykjavíkur utan höfuðborgar.



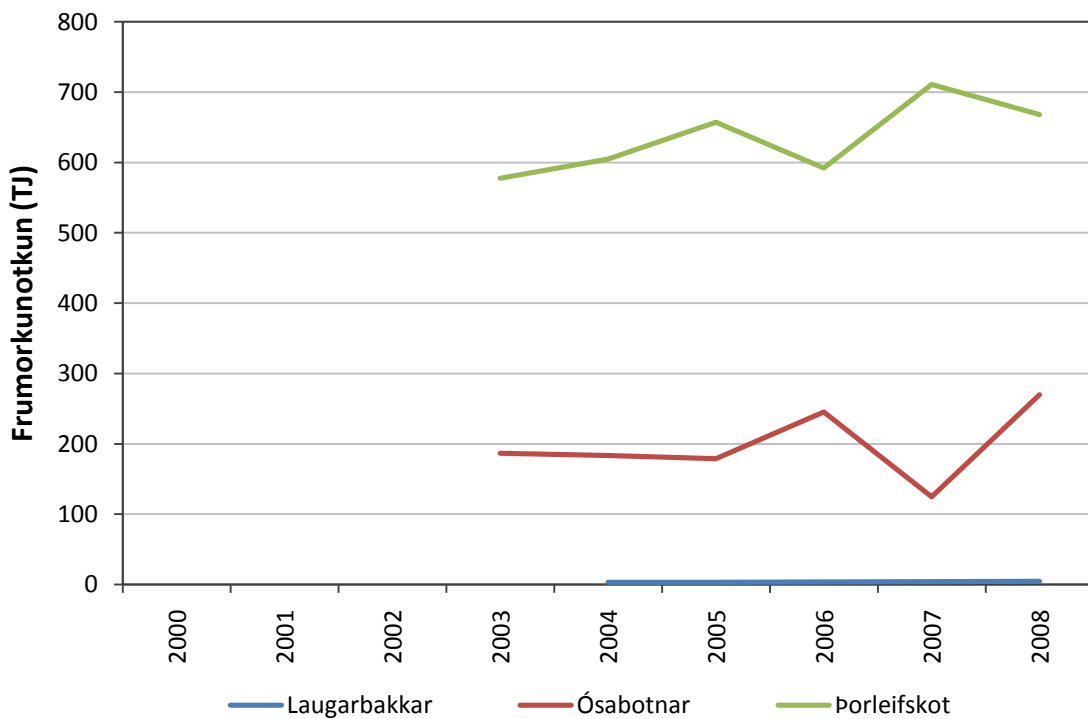
Mynd 20: Frúmkunotkun Norðurorku.



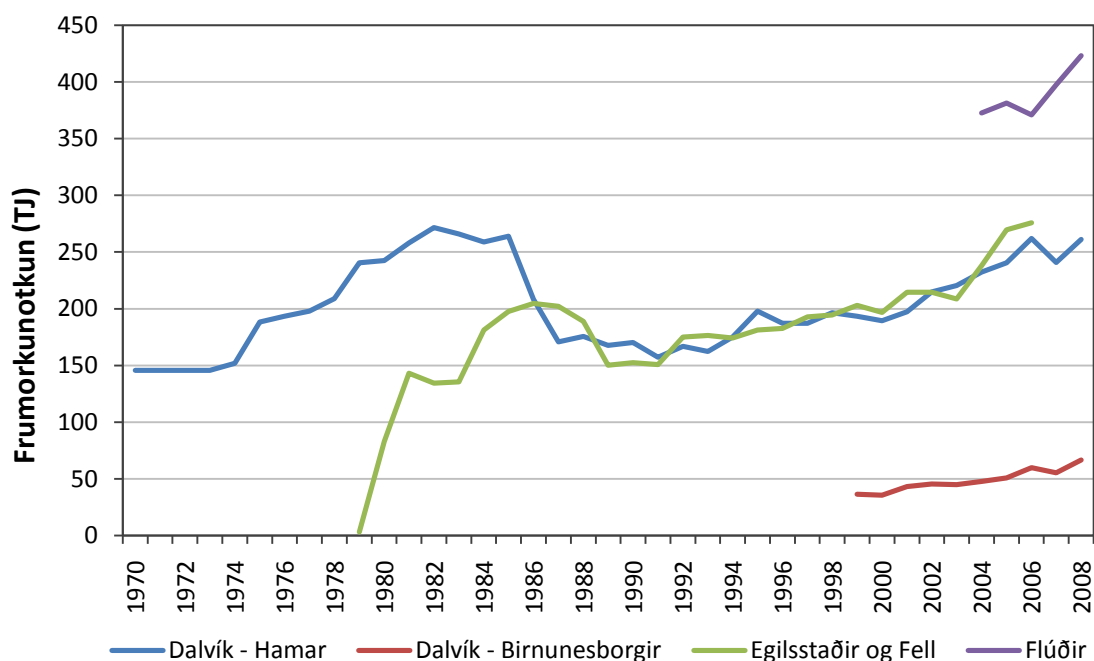
Mynd 21: Frúmkunotkun Skagafjarðarveitna.



Mynd 22: Frumorkunotkun RARIK.



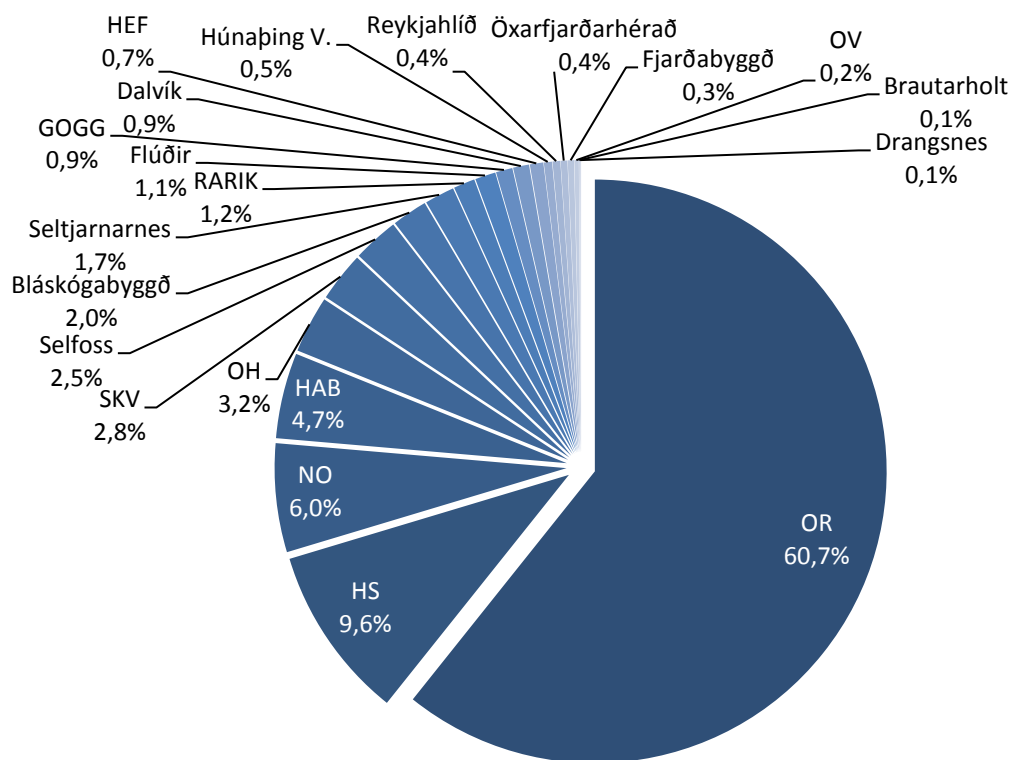
Mynd 23: Frumorkunotkun Selfossveitna.



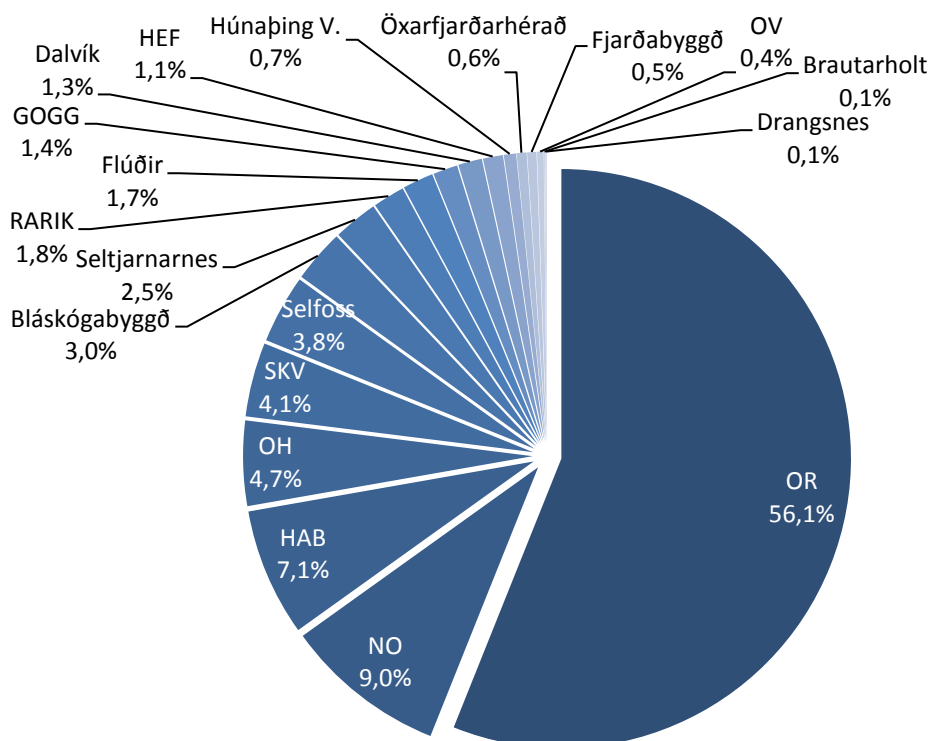
Mynd 24: Frumorkunotkun Hitaveitu Dalvíkur, Hitaveitu Egilsstaða og Fella og Hitaveitu Flúða.

Skipting frumorkunotkunar sérleyfisveitna til upphitunar árið 2008 að meðtöldu framlagi blandaðra virkjana er sýnd á mynd 25. Orkuveita Reykjavíkur var langstærsti notandinn, með rúmlega 60% heildarfrumorkunotkunar yfir landið. Hitaveita Suðurnesja og Norðurorka komu næst þar á eftir með hlutdeild á bilinu 5-10%. Af 21 sérleyfisveitu stóðu stærstu þrjár veiturnar fyrir rúmlega 76% frumorkunotkunar og stærstu fimm fyrir ríflega 84% notkunar.

Skipting frumorkunotkunar sérleyfisveitna á lághitasvæðum eingöngu er sýnd á mynd 26. Þar er hlutur Orkuveitu Reykjavíkur um 56% af heildarnotkun og því nokkru minni en þegar tekið er tillit til framlags blandaðra virkjana. Hlutfallsleg massavinnsla fyrirtækisins af heildarvinnslu á lághitasvæðum er nokkru lægri en hlutfallsleg frumorkunotkun, þ.e. um 54% (mynd 16), sem skýrist af því að meðalhitastig vatns sem fyrirtækið hefur til umráða á hlotuþoppi á veitusvæðum sínum er nokkru hærra en meðaltal yfir landið.



Mynd 25: Skipting frumorkunotkunar sérleyfisveitna til upphitunar árið 2008 að meðtöldum blönduðum virkjunum. Heildarnotkunin nam 37,1 PJ.



Mynd 26: Skipting frumorkunotkunar sérleyfisveitna á lághitasvæðum árið 2008. Heildarnotkunin nam 24,6 PJ.

4.6 Frumorkunotkun einkaveitna

Fjölmargar smærri hitaveitur eru starfræktar á landinu sem ekki starfa samkvæmt einkaleyfi og reglugerð. Er áætlaður heildarfjöldi slíkra veitna um 200 (Sveinn Þórðarson og Þorgils Jónasson, 2007). Þær nýta flestar heitt vatn úr borholum, laugum eða hverum til húshitunar. Margar sjá einungis stökum sveitabæjum fyrir vatni, en einnig er um að ræða veitur sem veita vatni til fleiri bæja og sumarhúsabyggða eða atvinnustarfsemi á borð við fiskeldi, iðnað og ylrækt.

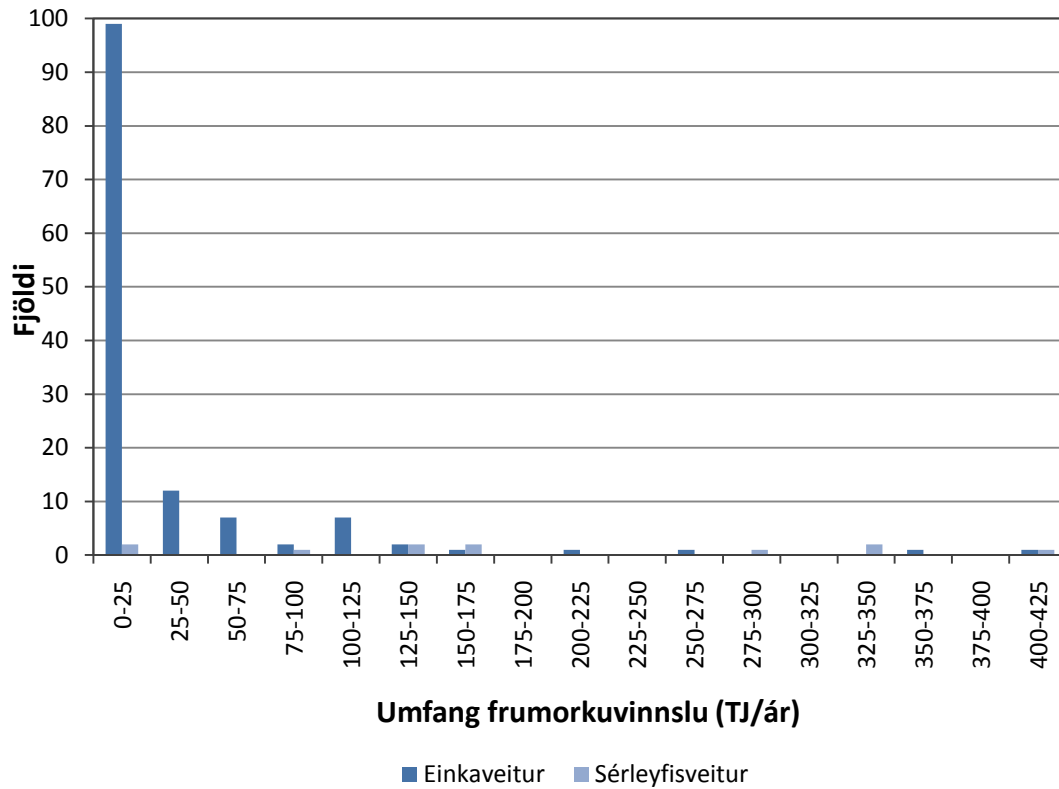
Einna stærst einkaveitna er hitaveita Þörungaverksmiðjunnar á Reykhólum, en hún starfrækir 3 holur sem gefa af sér um 35 l/s af 112°C heitu vatni sem nýtt er til þurrkunar þangs og þara. Algengara er þó að notkun einkaveitna sé frá því að vera um 0,5 l/s upp í fáeina sekúndulíttra. Í fiskeldi er áætluð massavinnsla einkaveitna 10,6 megatonn á ári og frumorkuvinnsla um 1300 TJ. Í iðnaði er áætluð massavinnsla einkaveitna 1,7 megatonn á ári og frumorkuvinnsla um 380 TJ. Einnig nota gróðuræktarstöðvar töluvert af jarðhitavatni frá einkaveitum.

Hjá Orkustofnun eru nú skráðar 194 einkaveitur og af þeim hefur vinnsla verið gróft áætluð fyrir 134. Nemur massavinnsla þeirra um 560 l/s í heildina og frumorkuvinnslan um 4,5 PJ. Ef gert er ráð fyrir að þær 60 veitur sem út af standa gefi að meðaltali svipað magn af vatni og orku má ætla að rennsli frá þeim sé um 250 l/s og frumorkuvinnsla um 2,0 PJ. Heildarvinnsla einkaveitna kann því að liggja á bilinu 600-800 l/s og samsvarandi frumorkuvinnsla á bilinu 4,8-6,4 PJ, sem svarar þá til 16-21% af frumorkuvinnslu á lágghitasvæðum.

Þeim 134 einkaveitum sem vinnsla hefur verið áætluð fyrir hefur verið raðað niður í flokka eftir frumorkuvinnslu á ársgrundvelli (mynd 27). Frumorkuvinnsla Þörungaverksmiðjunnar á Reykhólum á Barðaströnd nemur um 422 TJ á ári og er svipuð frumorkuvinnslu Hitaveitu Flúða sem var 423 TJ árið 2008. Af þeirri 21 sérleyfisveitu sem starfrækja vinnsluholur var frumorkuvinnsla 11 undir 425 TJ árið 2008 (tafla 3, mynd 27).

Langstærstur hluti þeirra einkaveitna sem áætlaðar tölur liggja fyrir um eru með vinnslu á bilinu 0-25 TJ, þ.e. 99 veitur. Frumorkuvinnsla Hitaveitu Drangsness nam 21 TJ árið 2008 og er því sambærileg vinnslu margra einkaveitna.

Til að bæta vinnslumat á lágghitasvæðum landsins er mikilvægt að frekari kortlagning fari fram á einkaveitum.



Mynd 27: Fjöldi einka- og sérleyfisveitna eftir áætlaðri frumorkuvinnslu á ársgrundvelli. Heildarfjöldi einkaveitna með áætlaða vinnslu er 134.

5 ENDURSKOÐUÐ FRUMORKUNOTKUN FYRRI ÁRA

Önnur og nákvæmari aðferðafræði við útreikning á frumorkunotkun sem beitt er á vinnslugögn fyrri ára getur leitt til niðurstaðna sem víkja að nokkru frá fyrra mati. Frumorkunotkun var því endurmetin aftur í tímann á grundvelli núverandi aðferðafræði og áætlaðrar frumorkunotkunar einkaveitna sem ekki hefur verið tekið tillit til í útgefnum tölum fram að þessu.

Í töflu 4 er sett fram endurskoðuð frumorkunotkun jarðvarma aftur til ársins 2001 með áður útgefnar tölur til hliðsjónar, en þær má meðal annars nálgast á vef Hagstofunnar. Gert er ráð fyrir að frumorkunotkun einkaveitna hafi numið 4,5 PJ öll árin, en slíkt mat verður að teljast varfærið í ljósi framangreindrar umfjöllunar og kann að breytast með frekari úttekt á einkaveitum. Af þessum sökum vegur aukning einkaveitna um 4,5 PJ á móti lækkun mats á frumorkunotkun jarðvarmavirkjana.

Tafla 4: Áður útgefin og endurskoðuð frumorkunotkun fyrri ára.

| | Fyrri mat PJ | Endurskoðað mat PJ |
|------|-----------------|-----------------------|
| 2009 | | 157,8* |
| 2008 | 139,4 | 144,3 |
| 2007 | 135,0 | 132,7 |
| 2006 | 110,1 | 107,8 |
| 2005 | 85,0 | 79,7 |
| 2004 | 79,7 | 77,5 |
| 2003 | 77,3 | 80,1 |
| 2002 | 78,2 | 79,8 |
| 2001 | 78,9 | 78,6 |
| 2000 | 73,9 | |
| 1999 | 69,9 | |
| 1998 | 55,7 | |
| 1997 | 51,6 | |
| 1996 | 50,4 | |
| 1995 | 48,3 | |
| 1994 | 45,7 | |
| 1993 | 46,4 | |
| 1992 | 42,6 | |
| 1991 | 45,0 | |
| 1990 | 44,2 | |
| 1989 | 43,7 | |
| 1988 | 42,3 | |
| 1987 | 40,9 | |

* Bráðabirgðatala

6 SAMANTEKT OG NIÐURSTÖÐUR

Frumorka jarðvarma er skilgreind sem sú orka sem losnar úr jarðhitavökva á leið hans úr upphafsástandi í viðmiðunarástand, sem hér er tekið sem 15°C og 1 bar_a. Því kallar mat á frumorkunotkun eftirleiðis á upplýsingar um massavinnslu og vermi. Mikilvægt er að mælingar séu framkvæmdar með bestu aðferðum og nægilega hárrí tíðni til að skeykja í niðurstöðum verði sem minnst.

Endurskoðaðri aðferðafræði var beitt á vinnslugögn jarðvarmavirkjana aftur til 1970 og vinnslu hitaveitna eins og fyrirliggjandi gögn leyfðu, auk þess sem ítarleg úttekt fór fram á frumorkunotkun árið 2008. Jafnframt var lagt varfærið mat á frumorkunotkun einkahitaveitna, en þar sem vinnsla þeirra er í flestum tilvikum áætluð er nákvæmari úttekt á þeim þörf.

Árið 2008 nam heildarfrumorkunotkun jarðvarma 144,2 PJ. Þar af nam notkun jarðvarmavirkjana 114,5 PJ og notkun sérleyfisveitna 25,2 PJ. Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana jókst um 237% á milli áráanna 1998 og 2008, en á sama tíma jókst notkun sérleyfisveitna á lághitasvæðum um 21%.

Hlutfall raforkuvinnslu íslenskra jarðvarmavirkjana af frumorkuvinnslu hefur farið stigvaxandi í gegnum árin og var um 12% árið 2008, en til samanburðar var það um 7% árið 1998. Hingað til hefur Orkustofnun gert ráð fyrir 10% frumorkunýtni jarðvarmavirkjana til raforkuvinnslu. Í ljósi þess að nýtnin hefur aukist undanfarin ár hefur frumorka jarðvarma verið endurskoðuð aftur til ársins 2001. Framvegis er lagt til að frumorka jarðvarma verði metin samkvæmt fyrrgreindri skilgreiningu. Við mat á bráðabirgðatölum í upphafi hvers árs, áður en vinnsluskýrslur berast frá orkufyrirtækjunum fyrir árið á undan, er hægt að miða við þekkta raforkuvinnslu ársins og frumorkunýtni frá fyrra ári þar sem gögn um raforkuvinnslu eru alla jafna fljótari að skila sér en gögn sem liggja til grundvallar mati á frumorkuvinnslu.

Breytingar á sölufyrirkomulagi hafa bætt nýtingu jarðvarma til upphitunar og hafa Hitaveita Sauðárkróks (Skagafjarðarveitur), Hitaveita Siglufjarðar (RARIK), Hitaveita Dalvíkur og Hitaveita Egilsstaða- og Fella náð umtalsverðum árangri í þá átt með því að taka upp sölu magneininga í stað áskriftar.

HEIMILDIR

Anna Lilja Oddsdóttir, 2008. *Vatnsvinnsla Hitaveitu Akraness og Borgarfjarðar (HAB) 2007*. Orkuveita Reykjavíkur, Nýjar virkjanir 11 – 2008, 22 bls.

Brian White, 2006. *An Assessment of Geothermal Direct Heat Use in New Zealand*. New Zealand Geothermal Association, 30 bls.

Einar Gunnlaugsson, 2009. *Frumorkunotkun á Nesjavöllum*. Orkuveita Reykjavíkur, Nýjar virkjanir 2009-22, 14 bls.

Einar Gunnlaugsson og Anna Lilja Oddsdóttir, 2009. *Hellisheiði – Gufuborholur 2008: Afl, vatnsborð og vinnsla*. Orkuveita Reykjavíkur, Nýjar virkjanir 2009-8, 93 bls.

Einar Gunnlaugsson og Anna Lilja Oddsdóttir, 2009. *Nesjavellir – Gufuborholur 2008: Afl, vatnsborð og vinnsla*. Orkuveita Reykjavíkur, Nýjar virkjanir 2009-7, 44 bls.

Geir Þórólfsson, 2009. Samtal 22. apríl 2009.

Guðmundur Pálmason, 2005. *Jarðhitabók: Eðli og nýting auðlindar*. Hið íslenska bókmenntafélag, Reykjavík, 298 bls.

Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1991. *Hitaveita Sauðárkróks: eftirlit með jarðhitavinnslu við Áshildarholtsvatn árið 1990*. Orkustofnun, OS-91021, 10 bls.

IAPWS (The International Association for the Properties of Water and Steam), 2007. *Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam*. IAPWS, 49 bls. <http://www.iapws.org/>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Framlag vinnuhóps I til fjórðu matsskýrslu Milliríkjaráðs um Loftslagsbreytingar*. Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>

ISO, 1975. *International Standard ISO 2533: Standard Atmosphere*. International Organization for Standardization, ISO 2533:1975, 108 bls.

Jónas Ketilsson o.fl., 2006. *Hitaveita Dalvíkur: Eftirlit með jarðvarmavinnslu 2002-2006*. Íslenskar Orkurannsóknir, ÍSOR-2006/058, 28 bls.

New Zealand Ministry of Economic Development, 2009. *New Zealand Energy Data File: 2008 Calendar Year Edition*. Crown Copyright, 168 bls.

OECD/IEA, 2005. *Energy Statistics Manual*. <http://www.iea.org/publications>

Ómar Sigurðsson og Auður Ingimarsdóttir, 1989. *Hitaveita Sigluffjarðar: Eftirlit með jarðhitavinnslu í Skútudal*. Orkustofnun, OS-89035/JHD-14B, 14 bls.

Ómar Sigurðsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1994. *Hitaveita Sigluffjarðar: Vinnslueftirlit 1993-1994*. Orkustofnun, OS-94038, 16 bls.

Sveinbjörn Björnsson og Sigurður Benediktsson, 1968. *Greinargerð um aflmælingar á gufuholum*. Jarðhitadeild Orkustofnunar, 31 bls.

Sveinn Þórðarson, 1998. *Auður úr iðrum jarðar: Saga hitaveitna og jarðhitanytingar á Íslandi*. Hið íslenska bókmenntafélag, Reykjavík, 656 bls.

Sveinn Þórðarson og Þorgils Jónasson, 2007. *Um hitaveitur á Íslandi*. Norræna sagnfræðingafélagið 2007, Reykjavík, 34 bls.

Sverrir Þórhallsson, 2009. *Minnisblað: Afkasta- og vermimæling háhitaholna*. Íslenskar Orkurannsóknir, 3 bls.

Steinunn Hauksdóttir, Þorgils Jónasson, Magnús Ólafsson, Guðni Axelsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson og Grímur Björnsson, 2001. *Vinnslueftirlit fyrir hitaveitur og orkufyrirtæki*. Orkuþing 2001. Samorka, Reykjavík. 6 bls.

Trausti Hauksson, 2009. Tölvupóstur 15. apríl 2009.

Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2008. *Krafla og Bjarnarflag: Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2007*. Landsvirkjun.

Valgerður Einarsdóttir, 2008. *Vatnsvinnsla Hitaveitu Þorlákshafnar 2007*. Orkuveita Reykjavíkur, Nýjar virkjanir 13 – 2008, 18 bls.

Valgarður Stefánsson, 1992. *Success in geothermal development*. Geothermics 21, 823-834.

Þorgils Jónasson, 2008. *Borholur í Hveragerði*. Orkuveita Reykjavíkur, Nýjar virkjanir 21 – 2008, 57 bls.